

# Mobility 2030: 持続可能な社会を目指すモビリティの挑戦



日本語版

持続可能なモビリティ・プロジェクト

Full Report 2004



World Business Council for  
Sustainable Development

持続可能な発展のための世界経済人会議

# 序

モビリティの促進は、我々の企業活動において重要な位置を占めております。我々は、この実現をめざして、安価で安全な、環境負荷を削減した、そして最新で最適な技術を利用した輸送機関を、広く社会に満足して頂ける様に探し求めております。

我々はこのような目的を掲げて前進しつつあり、また多くの社会が同様の目標を共有していることを心強く思っています。しかしながら、こうした目標を達成するための方針は社会によって大きく異なり、我々参加企業のビジネスを取り巻く事情は、年を追うごとに複雑になってきています。こうした多様性に対応することも我々の課題です。

世界中の国や地域がモビリティを向上し、輸送による影響を軽減しようとしている現在、この2つの目標は多くの懸案事項の中でも優先事項として位置づけられています。その両方の達成が可能であるという統一した見解を我々は常に持ってきました。我々は4年前、その課題や選択肢について理解を深めるために、協力していく決意を固めました。

この協力の成果が『Mobility 2030』です。この報告書には持続可能なモビリティ・プロジェクトの作業部会や分科会に参加した広範な領域にわたる12の参加企業からの200名以上のエキスパートによる、総体的な取り組みが反映されています。通常は熾烈な競争を繰り広げている参加企業が、このような詳細で合意に基づいた分析資料を作成できたことは注目に値する成果と言えます。

こうした成果を容易にするために、素晴らしい取りまとめ役を果たし基盤を提供してくれたWBCSDに、感謝の意を示したいと思います。また、諮問委員会を始めとする、外部の有識者による多大な貢献に対しても厚く御礼申し上げます。

『Mobility 2030』では、持続可能なモビリティに関するビジョンとこれを達成するための方法が述べられています。報告書では

まず、経済・社会・環境という多種多様な側面をつなぎ合わせる枠組みを築きました。そして、我々が現在直面している重要な問題や選択肢を特定しながら、今後重点を置く行動の目標を策定し、その基盤となる経路をいくつか示してきました。しかし言うまでもなく、こうしたプロジェクトは、あらゆる社会で起きている極めて複雑で多様なテーマへと導く序章に過ぎません。

我々は最初の研究報告となる『Mobility 2001』を作成することから本プロジェクトを開始しました。『Mobility 2001』では、世界のモビリティの現状を評価し、モビリティをさらに持続可能なものにするための課題を特定したのです。

今回の報告書ではこの考えを発展させ、持続可能なモビリティを達成させる方法、またそのための進捗を確認する方法についても示しています。報告書は道路輸送に焦点を当てていますが、これは参加企業のこの分野における専門知識を反映するものとなっています。『Mobility 2030』では、燃料や車両技術についての内容が重要な役割を果たしています。我々は、他の業界および利害関係者（ステークホルダー）がこれに触発されて、この報告書と同様の視点をもって独自の研究に着手することを期待しております。

競争市場で事業を行う企業として、我々はどういう技術を採用し、どのような期間で進めるかについて異なった見解を持つ可能性があり、またそれが現実でもあります。『Mobility 2030』には、最適な解決策を見出し提案するという中心的な目的を損なうことなく、このような見解の相違が反映されていると考えています。

学ぶべきことはまだ多く残されています。特に、持続可能なモビリティの課題においては、社会がどのように効果的に関与することができるのかについて最善の方法を見つけなければなりません。しかしそれでもなお、輸送関連の製品やサービスの提供に深く関わる企業として、我々はこのプロジェクトが、持続可

能性という課題を発展可能なかたちで前進させることができた  
と考えております。

『Mobility 2030』は、新たに連携を取って行う取り組みを指  
し示していますが、多くのことがすでに現実のものとなりつつ  
あります。道路安全については、先進国と発展途上国の両方  
において、車両の乗員と歩行者の安全性予測を向上させるための  
プログラムが参加企業の間いくつか存在します。加えて、参  
加企業は当報告書で明確に打ち出された問題に取り組む一方  
で、顧客が求めるモビリティ選択肢の提供を模索しています。  
この動きによって、現在、代替燃料およびパワートレインの開  
発を進めている業界パートナーシップなど、道路安全以外の領

域においても多くのことが進行しています。また我々は、報告  
書に示されている、発展途上国における重大な課題にも焦点を  
当てています。

持続可能なモビリティを達成するならば、世界中の社会のあら  
ゆる部分からの貢献が必要になる——これが、『Mobility 2030』  
の示す明確なメッセージです。我々参加企業は、これに貢献す  
るよう決意しています。本プロジェクトの活動を進めることで、  
これから協力していく上での自分たちの役割や分野を明確にす  
ることができるようになるでしょう。皆様方の国および組織が、  
本報告書が示す内容を踏まえて新たな成果を積み重ねていくこ  
とを期待して、この研究成果をご報告する次第です。

**General Motors Corporation**

Mr. Thomas A. Gottschalk  
Executive Vice President, Law &  
Public Policy and General Counsel  
Project Co-Chair

**Toyota Motor Corporation**

Dr. Shoichiro Toyoda  
Honorary Chairman, Member of the Board  
Project Co-Chair

**Royal Dutch/Shell Group of Companies**

Mr. Jeroen Van der Veer  
Chairman of the Committee of Managing Directors  
Project Co-Chair

**BP p.l.c.**

Lord Browne of Madingley  
Group Chief Executive

**DaimlerChrysler AG**

Prof. Jürgen E. Schrempp  
Chairman of the  
Board of Management

**Ford Motor Company**

Mr. William Clay Ford, Jr.  
Chairman and  
Chief Executive Officer

**Honda Motor Co., Ltd.**

Mr. Takeo Fukui  
President and  
Chief Executive Officer

**Michelin**

Mr. Edouard Michelin  
Managing Partner

**Nissan Motor Co., Ltd**

Mr. Carlos Ghosn  
President and  
Chief Executive Officer

**Norsk Hydro ASA**

Mr. Eivind Reiten  
President and  
Chief Executive Officer

**Renault SA**

Mr. Louis Schweitzer  
Chairman and  
Chief Executive Officer

**Volkswagen AG**

Dr. Bernd Pischetsrieder  
Chairman of the  
Board of Management

## ビヨン・スティグソン WBCSD事務総長

持続可能性を追究する中で、個々の企業にできることは多々あります。しかし、取り組むべき課題は複雑すぎて、たとえ大企業であっても独力で取り組むのは困難です。適切な枠組みを形成することは不可欠であり、それは企業のバリューチェーン全体を通じた協力によってのみ効果的に実行できるものです。また、課題に対処する方法についての共通の理解を得るために利害関係者（ステークホルダー）との幅広い対話も必要です。これは、メンバー主導の分野別プロジェクトとして、WBCSDでは最大規模となる持続可能なモビリティ・プロジェクトの核心部分です。

今になって振り返ってみれば、4年前にこのプロジェクトが立ち上げられた当初、途方もなく意欲的な趣旨としか言いようのないものに我々は取り組んだのでした。それは、先進国と発展途上国の両方におけるあらゆる輸送形態のモビリティの現状を評価し、持続可能なモビリティを実現するとすればどのようなものになるのか、どのようにしてそこに至るのかについてビジョンを構築しようというものでした。参加企業の飽くなき情熱は賞賛に値するものでしたが、それは、問題の表面をなぞるだけになるという危険もはらんでいました。徹底した研究を行うために、参加企業は最終的に、よりのめを絞ったアプローチを取ることになり、出発点として道路輸送を選択しました。

持続可能なモビリティへの道は平坦なものにはならないでしょう。本プロジェクトの最初の報告書『Mobility 2001』は、20世紀末時点でのモビリティの状況を客観的に描いたものですが、今後の見通しがいかに困難であるかということを示していたのです。それでも私は、本プロジェクトはこれまでに約束したことを成し遂げてきたと言うことができます。その約束とは、世界のさまざまな地域において、持続可能なモビリティの姿はどうあるべきか、そしてそれを実行するために何が必要かということについて、確かな情報に基づき綿密に調査された説明をすることでした。本報告書は、参加企業が持続可能な発展に向けて、これからも継続的に貢献していこうという姿勢を証明するものです。

本プロジェクトでは、これまでに実施されたあらゆるプロジェクトよりもさらに踏み込んだ取り組みが見られた領域がありました。モデリングの挑戦に始まり、現在我々が置かれている位置と、我々がたどり着きたいと願う地点との差がどれほどの

かを測定するまでに至る試みです。私はその最大の成果として、2つの要素が挙げられると考えています。1つ目は膨大な量の知識を収集したことです。プロジェクトの活動期間中ずっと、専門家達がサンパウロから上海、プラハからケープタウンなど、世界各地を飛び回り、社会のあらゆる階層のステークホルダーと対話を行ってきました。また、よりどころとなるあらゆる知的情報源を活用し、真に注目すべき実績を残したのでした。

2つ目は、本プロジェクトによって、自動車技術、燃料および部品サプライヤーを代表する大企業の中核的なグループの中で、かつてない協力関係が育まれたという成果です。このグループは総計で世界全体の自動車生産能力の4分の3以上を占めていました。このような企業の参加と積極的な取り組みは、持続可能なモビリティが、遠い道のりではあるけれども、いずれ達成されるものであると信ずるに足る根拠を示すものです。

参加企業の皆様ならびに3名の共同議長の皆様に対しましては、そのビジョン、強力な支援、そして各社の専門家をこのプロジェクトに参加できるよう計らってくださったことに対し感謝の意を表したいと思います。また、WBCSDの活動を支えてくれた同僚、Per Sandberg、Michael Koss、Tony Spalding、Arve Thorvik、Kristian Pladsen、Peter Histon、John Rae、Claudia Schweizer、Mia Bureauに特別の感謝を捧げます。

また、本プロジェクトに献身的に取り組んでくださった作業部会にも感謝したいと思います。特に、Charles Nicholsonは、その外交および意見調整の手腕を発揮して作業部会を効果的に機能するチームに仕立て上げてくれました。また、リード・コンサルタントを務めるGeorge Eadsには、その経験、極めて明晰な考察、そして責任ある取り組みによって、『Mobility 2001』および『Mobility 2030』を完成させる上で重要な役割を果たしていただきました。さらに、国際エネルギー機関のLew Fultonの多大なる貢献に対しても、ここにお礼の言葉を述べておきたいと思います。

最後になりましたが、Simon Upton議長の下で研究の初期段階から最終報告書の完成に至るまで、研究の質と妥当性に対し細心の注意を払ってくださった諮問委員会にも感謝の意を表したいと思います。有り難うございました。



Bjorn Stigson  
President, WBCSD

# 第1章

## 目次

I.	はじめに	12
	A. 本報告書のねらい	12
	B. モビリティの持続可能性の向上	13
	C. 輸送サービスが実現する経済成長	14
	D. 経済成長が生み出す輸送面の影響	15
	E. 輸送がもたらす経済・環境面での悪影響	15
	F. 輸送がもたらす好影響	16
	G. 放置による経済・環境面の影響が輸送サービスによる 経済成長の実現を妨げる可能性	16
II.	モビリティの持続可能性を実現するために 必要な合意	17
III.	本プロジェクトにおける持続可能なモビリティの指標	18
	A. 指標の選択	18
	1. 利用しやすさ	18
	2. 家計支出	19
	3. 移動時間	20
	4. 信頼性	20
	5. 安全性	20
	6. セキュリティ	21
	7. 温室効果ガス (GHG)	21
	8. 環境と健康への影響	21
	9. 資源の利用	22
	10. 公平性	22
	11. 財政収支への影響	23
	12. 民間企業予想収益率	23

# 第2章

## 目次

I. はじめに	26
II. IEAの基準シナリオとプロジェクトの 基準ケースとの関係	27
III. 指標の予測から明らかになったテーマ	28
A. 人と物の輸送活動	29
1. 人の輸送活動	30
2. 貨物の輸送活動	32
B. 人のモビリティの利用	32
1. 自動2輪車の重要性	33
2. 公共交通機関を利用するために必要な距離または時間	34
3. 輸送の混合形態の重要性	35
4. 利用しやすさの傾向	35
C. 物のモビリティ	36
D. 温室効果ガス (GHG)	36
E. 先進国における従来型排出物	38
F. 発展途上国における従来型排出物	40
G. 死亡・重傷者数	42
1. 基準ケース予測	42
H. 渋滞	46
1. 将来の渋滞レベルの予測方法の確度	47
I. セキュリティ	48
J. 騒音	48



K. 材料、土地、エネルギー	49
1. 材料の使用	50
2. 土地の利用	52
3. エネルギー利用	52
L. 人および貨物のモビリティ費用の傾向	53
M. 公平性	55
<b>IV. 持続可能なモビリティの展望を改善する7つの目標</b>	<b>58</b>
A. 輸送関連の従来型排出物を、世界のいかなる場所でも公共の健康への深刻な懸念にならないようなレベルまで削減する	58
B. 輸送関連のGHG排出量を持続可能なレベルにまで抑制する	59
C. 道路交通事故による死亡・重傷者の総数を先進国および発展途上国において現状よりも大幅に削減する	59
D. 輸送関連の騒音を削減する	60
E. 交通渋滞を緩和する	60
F. 最貧国の人々、およびほとんどの国における経済的・社会的に恵まれない人々にとって、自分自身や家族がより良い暮らしを送ることを阻む「モビリティ機会の格差」を縮小する	60
G. 先進国および発展途上国の一般の人々が利用できるモビリティ機会を保護し、高める	60

# 第3章



## 目次

I.	推進システムと燃料	67
	A. 一次エネルギー源	69
	B. 推進システムと関連燃料	70
	C. さまざまな車両の推進システムと燃料の組み合わせの進化と 影響の可能性	76
II.	推進システム以外の車両技術	81
	A. 材料	81
	B. 高度道路交通システム (ITS)	83
	C. 空力抵抗	86
	D. 転がり抵抗	87
	E. 室内空調	88
III.	LDV以外の道路車両への応用の可能性	89
	A. 「重量」車両 (HDV) — 中量・重量トラックおよび トランジットバス、「路面」バス	89
	B. 自動2輪車および3輪車	91
	C. 道路車両以外の輸送機関	91
IV.	車両技術と燃料の改善が先進国および 発展途上国に及ぼす影響	94



# 第4章

## 目次

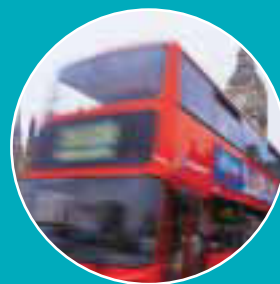


I.	はじめに	98
II.	従来型排出物の削減： 輸送関連の従来型排出物を、世界のいかなる場所でも 公共の健康への深刻な懸念にならないようなレベルに まで削減する	99
	A. 先進国	99
	B. 発展途上国	100
	1. 価格の課題—車両	101
	2. 価格の課題—燃料	101
	3. 価格の課題—メンテナンス	101
	4. 自動2輪・3輪車に関する課題	101
	5. 対処の遅れが及ぼす影響	101
	C. まとめ	102
III.	温室効果ガス（GHG）： 輸送関連のGHG排出量を持続可能なレベルにまで 抑制する	104
	A. 4つの要素	104
	B. 単位あたりGHG排出量削減	104
	1. 「低炭素」輸送システム	104
	C. 輸送活動量や輸送形態の組み合わせによるGHG排出量削減	112
	D. SMP表計算モデルから得られた見解	113
	1. 他の研究によるシミュレーションの結果との比較	114
	2. 技術の組み合わせケース	115
	E. 他の排出源による削減との比較	118
	F. まとめ	119
IV.	道路車両関連の死亡・重傷者数の削減： 道路交通事故による死亡・重傷者の総数を先進国 および発展途上国において現状よりも大幅に削減する	120
	A. 先進国	121
	1. 道路インフラの改善	121
	2. 道路利用者の行動の変革	121

# 第4章

## 目次

3. 車両の変更	122
4. 制度的、社会的相違の影響	122
5. 相殺行動	123
B. 発展途上国	123
C. まとめ	124
<b>V. 輸送関連の騒音の低減： 輸送関連の騒音を削減する</b>	<b>125</b>
A. 自動車の運転者	126
B. 道路設計およびメンテナンス	126
C. 交通流の円滑	126
D. 車両設計	126
E. まとめ	126
<b>VI. 渋滞の緩和： 交通渋滞を緩和する</b>	<b>127</b>
A. 需要の削減	127
1. 車での移動削減	127
2. 需要の均一化	127
3. 容量追加によるインフラ供給の増加	128
4. 効率的利用によるインフラ供給の増加	128
B. まとめ	130
<b>VII. モビリティ機会の格差の縮小： 最貧国の人々、およびほとんどの国における 経済的・社会的に恵まれない人々にとって、 自分自身や家族がより良い暮らしを送ることを阻む 「モビリティ機会の格差」を縮小する</b>	<b>131</b>
A. 国間の「モビリティ機会の格差」の縮小	131
1. 格差縮小への取り組み	132
B. 国内の「モビリティ機会の格差」の縮小	135
1. 公共交通機関の役割と限界	135
2. パラトランジット	136
C. まとめ	137



VIII. モビリティ機会の向上： 先進国および発展途上国の一般の人々が利用できる モビリティ機会を保護し、高める	138
A. 公共交通機関の役割	138
B. 車両の共有化（カーシェアリング）	139
1. 起源	140
2. 顧客の視点から見た利点	140
3. 運営上の課題	141
C. さまざまな新技術を組み込んだ全く新しい解決策	141
D. 人に対して、生活パターンを従来の公共交通システムによる 技術的制約に合わせる選択肢としての新たな輸送システム	142
E. まとめ	144
IX. 「積み木（基本要素）」、「てこ（誘導・促進策）」、 「制度的枠組み」の役割	145
X. 我々企業の目標達成に向けた貢献	147
XI. 将来に向けて	148
<hr/>	
References	152
Appendix 発展途上国の都市における移動需要の促進要因	
8つのケーススタディの統合 by Ralph Gakenheimer and Christopher Zegras	156
Glossary of terms	172
Assurance Group statement	175
Acknowledgements	176



## はじめに

本書は、持続可能な発展のための世界経済人会議（WBCSD）による持続可能なモビリティ・プロジェクト（SMP）の最終報告書である。我々は2000年4月にSMPを立ち上げた。これは、現在や将来における他の人間や生態系の基本的価値を犠牲にすることなく、自由に移動し、目的地へ到達し、連絡を取り、交易をし、関係を樹立するための社会の必要性の理解に努めるためである。

我々参加企業は皆、モビリティに深くかかわりがある企業であることから、一致協力してSMPに取り組んだ。参加企業のうち8社は輸送機器を製造している。3社は輸送燃料の供給企業である。道路車両用タイヤの世界最大の製造企業もあれば、自動車産業のための軽金属を製造する企業もある。こうしたすべての企業にとっての長期的な成功は、今後いかにモビリティを発展させることができるかにかかっている。モビリティが持続可能にならなければモビリティ分野の長期にわたっての繁栄はないというのが参加企業すべての一致した見解である。

本書は、SMPが発行する2番目の主要報告書である。最初の報告書『Mobility 2001』は、2001年10月に発行され、そのなかでは、20世紀末時点での世界のモビリティ、およびその持続可能性の状況を評価した。<sup>1</sup>『Mobility 2001』の主なメッセージは、その最終章「世界

のモビリティとその持続可能性に関する課題」の導入部分に述べられた内容に集約することができる。

「先進国の住民の大多数にとっては、人のモビリティも貨物のモビリティもかつてない水準に達している。しかし人のモビリティは、年齢、所得、場所によって大きく異なる。それに対し、発展途上国の人々の大半は、モビリティの不足や悪化に悩んでいる。最大の課題は、発展途上国の都市が成長しモータリゼーションが急速に進んでいることである。21世紀半ばまでに持続可能なモビリティを実現するには、少なくともモビリティに関する7つの『大いなる挑戦』に取り組む必要がある。さらに、モビリティ以外の課題——これらの『大いなる挑戦』に対応できる制度的機能の確立——にも対処しなければならない。」（Mobility 2001, p.7.1）

『Mobility 2001』の発行後、SMPでは、報告書に挙げられたモビリティ関連の動向が今後数十年の間にどのように変化していくのか、どのような手法であれば輸送の持続可能性を高めながらその発展に貢献できるのか、またこうした手法を成功させるために何が必要なのかを評価してきた。

## A. 本報告書のねらい

我々が持続可能なモビリティ・プロジェクトを開始した時点で直面した大きな課題は、その範囲を定めることであった。結果的に、本報告書は我々参加企業の能力をはるかに超え、我々だけでは解決できない課題を取り上げている。なぜ我々はこれほど広い範囲を視野に入れたのだろうか。

実のところ、選択の余地はほとんど無かった。我々は、長期的利益を得るためにはモビリティが持続可能になることが不可欠だと考えている。そのために何が必要か、また参加企業にはどんな貢献ができるかを理解するためには、望ましい最終成果についての総合的なビジョンを描かなければならなかった。また、その方向に社会がどれだけ近づいているかを測定する手法の考案も必要であった。さらには、進展させるために他のステークホルダー（利害関係者）との協力が必要となる領域、また、しかるべき行動を実施するために他者に全面的に委ねなければならない領域も知らねばならなかった。その結果、我々はプロジェクトの範囲を非常に広く設定することになった。

言うまでもないが、SMPの参加企業は、モビリティのある側面について、またそ

の持続可能性に影響する要因について、他の企業よりかなり多くの知識を持っている。概して言えば、我々の専門分野は主に道路輸送である。そのため本報告書では、他の交通形態に比べて道路輸送についてかなり詳しく取り上げるようになった。<sup>2</sup> ただし、本報告書全体を通して、モビリティの提供者としての航空、鉄道、水上交通の重要性も強調している。

モビリティが持続可能となるにあたっては、こうした産業やそのサプライヤー、また顧客が重要な役割を担っていると確信している。しかし、我々はその関与の内容を詳細に定義するための専門知識は持ち合わせていない。また、あえてこれらの産業の経営形態や直面する課題について十分に理解しているというつもりもなければ、具体的な行動内容を特定するつもりもない。他の産業がそうした行動内容を特定する自前の研究を始めるきっかけとなること——むしろ、それが当プロジェクトの目的の一つである。

## B. モビリティの持続可能性の向上

評価を通じて絶えず認識させられたことだが、モビリティ向上に対する人々の欲求は強い。モビリティは、生活水準の向上にとって最も重要な必要条件の一つとほとんど普遍的にみなされている。人のモビリティが向上すれば、生活に必要なサービスだけでなく、生活をより快適なものにするサービスも利用しやすくなる。また、生活する場所やそこでのライフスタイルについての選択肢が広がり、職業や職場環境の選択肢も広がる。物のモビリティが向上すれば、従来よりもはるかに多様な商品やサービスが、消費者にいつでも手頃な価格で提供されるようになる。なぜなら、栽培した産物や製造した商品をはるかに広範な地域で販売することが可能になり、原価が低下するか

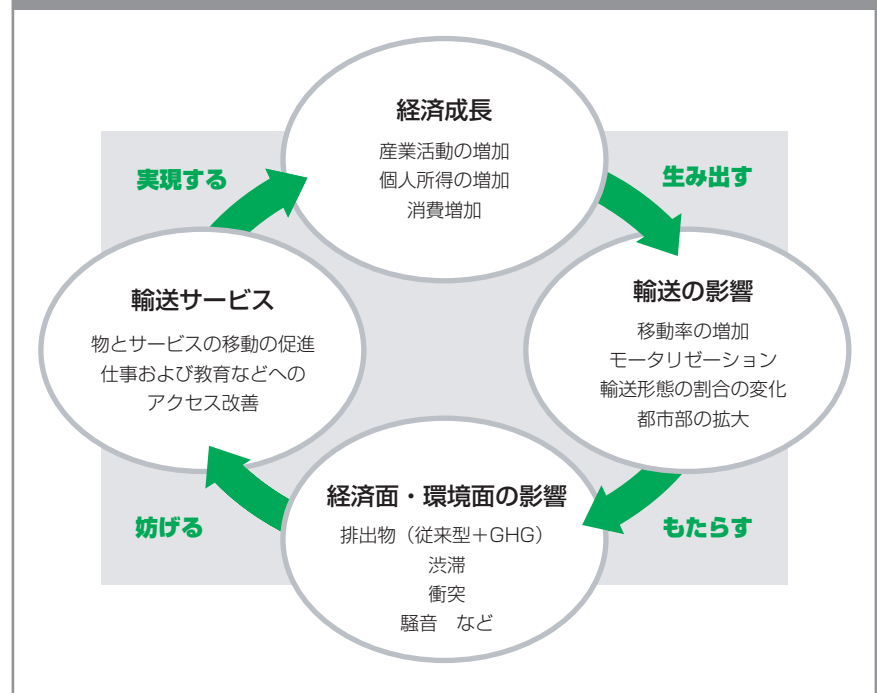
らである。過去100年間の自動車およびトラックの台数急増は、人と物のモビリティの向上に対する欲求の強さを如実に物語っている。これらの車両のおかげで、ユーザーは、いつ、どこに行くかについて、かつてない融通性を手にすることになった。

しかし人々は、モビリティの向上は高い代償が伴うという認識を徐々に持ちつつある。「高い代償」には、モビリティのシステムやサービスの提供者がそれらを提供できるようにするため、利用者側が支払わなければならない金額も含まれている。しかしそれだけでは済まない。一般的に、モビリティが向上すると、環境汚染、温室効果ガス（GHG）の排出、渋滞、死亡・重傷事故のリスク、騒音、また地域社会や生態系破壊が悪化する傾向にある。

図1.1は、長所と短所というモビリティの2つの側面と、少なくとも今日までそれを特徴づけてきた関係の一部を説明してい

る。この図では、利用されることになれば、モビリティの長所を増大し、かつ短所を削減するようなかたちで、その関係を変えることができる「てこ（誘導・促進策）」も明らかにしている。こうした「てこ」については後ほど詳しく述べるが、ここでも簡単に触れておきたい。第1に、輸送サービスの効率を高め、一定量の輸送サービスによって実現する経済成長を促進することができる。第2に、モビリティの「誘発」需要の程度と構成を、高まるモビリティ需要を満たしつつ、輸送面での影響が小さくなる方向へと導くことが可能である。第3に、どの程度の輸送活動であれ、著しい技術変革などにより、経済・環境面での悪影響を大幅に低減させることができる。経済・環境に与える悪影響が大きく、輸送サービスが経済成長を阻むという恐れがあるが、これらのてこのいずれかあるいは全部を実行に移せば、そうした恐れを減らせるか、おそらくは完全になくすことができる。このような状況が達成されれば、モビリティは持続可能であると言うことができる。

図 1.1 モビリティを持続可能にするための課題



出所：Molina and Molina 2002, p.214より

図1.1に示されたさまざまな関係を詳しく検討してみよう。

## C. 輸送サービスが実現する経済成長

輸送サービスが経済成長にどの程度貢献しているのかを評価すると、ほとんどの場合は、輸送サービスを移動の行為者という役割のみで考えていることが多い。すなわち、輸送車両の製造、動力源となる燃料の生産、輸送インフラの整備に関連する公的および民間部門の支出、提供される輸送サービスの価値が、一国のGDPに対してどれだけ貢献しているかという点に集中している。

こうした評価では、輸送は経済成長に大きく貢献している。たとえば、G7諸国<sup>9</sup>では「輸送および関連産業」の就業者数は英国の87万2,000人から米国の1,030万人にまでわたっている。(US DOT 1999) EU-15カ国全体では輸送部門に約700万人が就業している。(Panorama of Transport 2002) 2001年の米国の輸送は、ユーザーが自身で運転する輸送が大半を占めたが、輸送に関連する個人消費支出は可処分所得のほぼ11%に相当するほぼ8,000億ドルであった。(US DOT 2002) EUでは、2000年における世帯別の輸送に対する個人消費は、家計支出全体の14%超えに相当するほぼ7,000億ユーロと報告されている。(European Union Energy & Transport in Figures 2002) 全体的に見ると、2001年の米国のGDPに占める輸送の割合は10.5%であった。(US DOT 2002)

しかしこれらの数字は氷山の一角にすぎない。たとえば、従来のGDP計算では企業内での輸送業務が抜けている。このことは特に道路輸送の場合に重要である。なぜなら、多くの国では、企業は移

動に自社の輸送手段を利用する割合が高いからである。米国における最近の推定値を見ると、「賃貸」輸送の4,750億ドルに対し、この「自前」輸送は2,000億ドル相当にのぼっている。この数字は、実際にはほぼ同じサービスを提供しているが異なるカテゴリーに分類される輸送を計算に含めるかどうかにより、会計処理においては40%以上の増加となる。(Fang et al 2000)

この計算でさえ、経済成長を実現するという輸送の役割における多くの重要な点が無視されている。輸送は、本来であれば利用できない物を利用可能にすることで原材料を「生み出す」。また、一企業が従業員を集めることのできる地域を拡大することで労働を「生み出す」。さらに、そうした労働や原材料のより効果的な結びつきを可能にすることで生産性を高める。ある研究では、2人のドイツ人研究者が、経済学者の間で「成長会計」と呼ばれる手法を用いて、「規模」とみなすものを導き出し、資源を「生み出す」ということと、そうした資源の生産性の向上という2つの要素が、第二次世界大戦後におけるドイツの国民生産の伸びにどの程度貢献したかを推定した。その研究者は、1950年から1990年までの期間におけるドイツの成長の半分近くを輸送が「もたらした」との結論に至った。(Baum and Kurte 2002)

経済成長の実現において輸送サービスが果たすきわめて重要な役割がもう1つある。輸送システムは、それが存在し、そのサービスを提供することにより、本来は期待できないような機会が生産者と消費者にもたらされる。しかし実際のところ、輸送の貢献はそれよりはるかに大きい。輸送システムの最も基本的な機能は、人と物を結ぶことである。こうした結びつきは、一定期間に実際にどの程度活用されているかにかかわらず、それ自体が極めて有益なのである。このような結びつきが必要なときに可能であることがわ

かれば、人は私生活や仕事の計画を立てることができるようになる。

人と物を確実に輸送する信頼性と安全性の高い安価な交通網が存在しなければ、自分のごく身近な地域にある資源を活用し、自分のごく身近な地域にいる人と交流することを考えるしかない。必要とする物とサービスの利用可能性が保証されないために、大きな社会で生活するリスクを冒すことができなくなる。自ら生産・製造することができない人が生活を支えるためには、商売を専門化して物やサービスを交換する必要があるが、そうした商売を専門にすることで取り扱いが可能になる大量の物やサービスの交換が可能ではないために、何かひとつの商売を専門にするリスクを冒すことができなくなる。つまり、輸送システムが利用可能であるというだけで、先進国で現在見られる生活を実現するのに役立つのである。

輸送システムのこの「利用可能性効果」の規模をどのようにすれば測定できるのだろうか。測定に必要な思考実験では、輸送システムがある社会とない社会を想定しなければならないため、測定は難しい。ただし、これに似たやり方での測定は過去に行われている。世界銀行ならびにペンシルバニア大学の研究者たちは、インドを対象に、インフラ整備をはじめ、各種の要素が農業生産と投資に与える影響を分析した。それによれば、道路への投資が増加するとまず販路が拡大し、あらゆる取引費用が減少するために、農業生産が活発化することがわかった。(Binswanger, Kandker, and Rosenzweig 1993) これとは別に、世界銀行の別の研究者は、ネパールの情報を基に、「市場への道路輸送を大がかりに整備すると、通常著しい効果が生まれ、その多くは貧困世帯の利益となる」ことを明らかにした。ただし、「農村部に道路を建設することが貧困撲滅の特効薬にはならない」と

も述べている。この研究者はさらに、農村部の道路は市場への往復輸送費を節減するほか、学校や保健医療施設の利用を改善し、もっと一般的には、入手できる消費財が多様化するなどといった効果をもたらすとも述べている。(Jacoby 1998) また、高速道路の利用しやすさと地方自治体の社会経済的特性の関係を研究している日本の研究者たちは、高速道路までの到達時間が短い地方自治体は、人口増加率が高く、高価値の工業製品を生み出し、第三次産業に従事する労働者数が多いことを明らかにした。(Itoh, Nakagawa, and Matsunaka 2001)

輸送サービスが経済成長を促進できる方法はさまざまであり、測定可能で実際に測定されたものもあれば測定不可能のものもある。しかし、測定法が何であれ、経済成長には、信頼性に優れ、安全性やセキュリティ、効率のよい安価な輸送サービスが必要であることは間違いない。

## D. 経済成長が生み出す輸送面の影響

輸送活動の質および量と経済成長の関係は確かに存在する。しかし、輸送活動の増加が経済成長を「もたらす」のだろうか。それとも、経済成長が輸送活動の増加を「もたらす」のだろうか。

答えはもちろん、両方とも正しい。前項では、交通網と、交通網によって人や物が移動することが経済成長にとって不可欠であることを述べた。しかし、経済が成長すると輸送サービスに対する需要が増大することや、望まれるサービスの性質が変化することも同様に真実である。



## E. 輸送がもたらす経済・環境面での悪影響

Marlon BoarnetとRandall Craneは、近著『Travel By Design: The Influence of Urban Form on Travel』の冒頭で「車のどこが悪いのか」という修辭的な問いを投げかけている。(Boarnet and Crane 2001 p.17) そして、その著作の末尾で、「車の問題点を考えると、車それ自体が悪いのではなく、車での移動が、市場が補償しないような望ましくない副次的影響をもたらすことに問題がある。そうした外部効果は例えば、大気環境問題や交通渋滞、生活水準への好ましくない影響などである」という答えを出している。(Boarnet and Crane 2001 p.175)

外部効果は外部費用を生み出す。「外部費用」は個人、集団、あるいは社会全体に降りかかるものであるが、その損害を引き起こす当事者はそれに気付かず、したがって考慮することもない。例えば、ある運転者が道路渋滞の起こる時間帯に都心に乗り入ると、渋滞は多少とも悪化し、同じ路上にいるすべての運転者の

苦痛が増す。この渋滞の悪化は、運転者がおそらく自覚してはいない「外部費用」である。渋滞悪化が他者に与える損害を反映させた料金を運転者に課すると、移動の「値段」は上がる。この料金（それに移動に伴う諸費用が加わる）を考慮して、運転者は移動を取り止める（あるいは渋滞の少ない時間に移動する）こともできるし、追加費用を払うこともできる。前者の場合、渋滞悪化は生じない、つまり外部費用は存在しない。後者の場合、運転者は自分の決定から生じた外部費用の全額負担を選ぶことになる。

この例から、社会が外部効果を「是正する」ことを望む場合、それを実現させるためにとる行動は、排除したい外部費用の原因となっている特定の活動に直結しなければならないことが明らかになる。それができない場合、問題となる活動に及ぼす影響はほとんどないか皆無となる。関係のない活動に要する費用を徴収して資金とすることは、たとえこの資金が被害者への補償に使われるにしても、外部効果の「是正」とは言えない。そのため、ある地域内での運転に対して運転者に一括払いの年間料金を課すことは、運転する本人

の決定によって起こる渋滞とはほとんど、あるいは全く関係ない。それによって運転者の財布は軽くなるが、ひどく渋滞する時間帯にその地域に乗り入れるかどうかを運転者に再考させる結果とはならない。

現在、技術は進化し、外部費用を発生させる活動そのものに賦課金を課するという方策の実行可能性が高まりつつある。(これは後の章で掘り下げる。)多様な輸送サービスの利用に伴う「外部費用」分の費用を運転者に課したいと考える社会はその損害の原因となる活動となんら関係のない賦課金などを課することで満足すべきだという考えは、時代遅れになりつつある。更に、金額はともあれ料金は課すべきとの考え方が、そして料金を課すとすればその水準が、依然として大きな争点となっている。社会が異なれば、結論も確実に異なってくる。

## F. 輸送がもたらす好影響

近年、輸送活動がもたらすと思われる負の外部効果に重大な関心が寄せられている。こうした負の要素が存在することは確かであるが、輸送は正の外部効果をももたらすことを忘れてはならない。これは、市場が報償を与えない好ましい副次的影響である。これらの好影響でも特に明らかな例は、輸送システムの「存在利益」、すなわち、輸送システムが存在しているだけで発生するメリットである。

政府は、輸送活動に伴う外部費用の一部を、税、受益者料金その他の政策手段を利用して補てんしようとするのと同時に、外部利益の一部も回収しようとする。経済開発のまったく新しい領域を開拓しようとするインフラ・プロジェクトの場合はなおさらである。

アメリカ初の大横断鉄道の場合、鉄道建設予定地の大部分を所有する連邦政府は、建設業者のセントラルパシフィックとユニオンパシフィックに、それぞれの鉄道が敷設を管理した線路の距離に応じてかなりの土地を払い下げた。<sup>4</sup> この払い下げは、上記の民間企業2社の鉄道建設資金調達を支援することを目的としており、実際に、連邦政府は、線路用地の両側の片側6マイルずつを交互に払い下げた。鉄道が開通してこの地域に住民が定住し商業が発展すれば、交互に残された部分の価値がいずれ上昇すると考え、鉄道に割り当てなかった土地を引き続き保有した。その後土地の価格は上昇し、連邦政府はやがてこの土地を売却して巨額の収益を得た。実際、建設時には知られていなかったが、鉄道が開通した土地には貴重な鉱床も存在していた。鉄道の存在によってこの鉱床の商業化が可能になり、連邦政府が保有していた土地の価格がさらに上昇することになった。

## G. 放置による経済・環境面の影響が輸送サービスによる経済成長の実現を妨げる可能性

図1.1に示された4つの関係の中で、もっとも理解されずもっとも受け入れられないのはおそらくこの部分である。この関係では、輸送活動の増加による経済・環境面での悪影響が大きくなると、輸送システムがそのきわめて重要な経済・社会的役割を果たすことができなくなる恐れがあるということが基本的な前提になっている。

一例として、輸送関連の従来型排出物の量が増大すれば、人々は自分の望む活動に従事することができなくなる。

慢性的な渋滞によって物やサービスを提供する費用が上昇し、住宅や企業の立地に不経済な変化をもたらすかもしれない。GHGの相当部分の原因となっている輸送活動や、輸送におけるエネルギー利用（特に石油）によって、輸送に依存する国は石油の流れが途絶えないように対策を講じざるを得ず、そのためその国民や世界全体に費用の負担を強いることになる。

しかし、この関係においていくつかの点が論理的だとしても、そうした点が実際に存在していることにはならないし、存在していたとしても重要だとは限らない。単に、(第2章で述べる)全世界で予想される輸送活動の増加がモビリティの持続可能性に与える影響を理解する、ということの重要性を高めるに過ぎない、という可能性もある。



## II.

# モビリティの持続可能性を実現するために必要な合意



図1.1に描かれた関係は、基本的にどの国や地域にも当てはまる。しかし、それぞれの関係の規模は、国や地域によって大きく異なるかもしれない。さらに重要なのは、さまざまな関係による影響の拡大あるいは縮小についての優先順位も、国や地域によって異なる場合があることである。

これは「持続可能なモビリティ」が定義不可能であることを意味するのだろうか。必ずしもそうではない。だが実際問題としては、持続可能なモビリティが何を意味するのかは、限度はあるものの、場所により異なってしまう。

国や地域にとって、持続可能なモビリティの構成要素の多くは、自らの優先事項を反映したモビリティの選択を基盤としている。急速な経済成長を目指す中国は、輸送関連の渋滞と騒音について、英国よりも大目に見た状況を許容するかもしれない。しかし、このことは、英国が持続可能なモビリティについて最適とみなす選択を行う能力に重大な影響を及ぼすことはない。

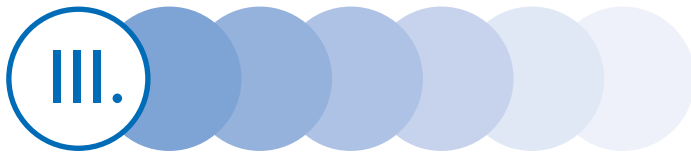
輸送関連の問題の中には、優先順位の自由度についてあまり許容できないものもある。その顕著な例が、輸送関連のGHGの排出である。<sup>5</sup> 2000年の時点では、輸送関連の活動に起因するGHG

排出量は、人為的な（人間が原因となった）GHG総排出量のおよそ20%であったと推定される。<sup>6</sup> しかし、ある輸送関連の活動により世界のどこかでCO<sub>2</sub>が1Kg出されるごとに、大気中のCO<sub>2</sub>濃度は高まる。CO<sub>2</sub>排出量削減の優先度を低くし、その結果CO<sub>2</sub>排出量が増えるモビリティを選択する国や地域は、その優先度を高くしようとする国や地域にとってのモビリティの選択を難しくさせてしまう（もしくは、おそらく選択を不可能にしてしまう）のだ。

これは全ての国や地域がCO<sub>2</sub>削減の時期と対象について合意しなければならないということではない。ある国が、将来の莫大な排出削減を可能にするために、現時点では他より多い排出を認める手法を推進しても不都合はない。また、ある分野（例えば、輸送）からの排出削減に力を入れる国もあれば、別の分野（例えば、発電）からの排出削減に力を入れる国もある。他にも、国内産業からの排出削減に力を入れる国もあれば、排出削減枠を増やすために、他国に金を払う国もある。このように、柔軟性は非常に大きい。しかし、騒音や渋滞と違い、最終目標について異を唱える余地は無い。

本報告書では、モビリティ関連の課題に

対して、国や地域ごとの優先度の違いから生じる結果についておおむね価値判断をしないことにしている。ただし、そうした選択のために他の国や地域がそれぞれの優先度を表す自由が大幅に制限される場合は別である。しかし我々は持続可能なモビリティについて共通の指標を実際には提案している。これらの指標は、持続可能なモビリティの実現に普遍的に（あるいはほぼ普遍的に）関係すると思われる要素を反映させるように作成された。たいていの場合、さまざまな指標の改善をどの程度重要視するかという点は、国や地域によって異なるであろう。特定の指標の方向性について異議を唱えることもあるかもしれないが、それでも自らのモビリティの持続可能性向上を主張することは正当とみなされる。



# 本プロジェクトにおける 持続可能なモビリティの指標

モビリティの持続可能性の現状を把握し、将来の状態を推測すると同時に、その改善のための手法がどの程度効果的かを評価するためには、持続可能なモビリティを構成するさまざまな要素を表す指標が必要である。できれば、それらの要素は測定可能なものであり、実際に測定することが望ましい。しかし輸送活動と経済成長の関連性について検討した際に示したように、図1.1の全体図の主な要素は定量化が容易ではなく、定量化へのさまざまな試みにも問題点が指摘されている。

しかし、測定できないから無視してよいという意味ではない。下記の指標のうち、測定が比較的「容易」なもの、SMPが量的な値を示している。一方、測定が「困難」な指標もある。必要なデータを定期的に収集できない、またはどのように測定すべき、またはできるかが不明なためである。こうした場合には、その指標の規模と、行動や政策が変化した場合の動向について、可能な限りの情報を提示している。

## A. 指標の選択

指標を選択するための出発点は、『Mobility 2001』の持続可能性採点表であった。そこに記載された項目を十分に審議し、過去の文献研究、ステークホルダーとの多数の対話をもとに修正した。

その結果、12の指標を選択し、これらによって持続可能なモビリティの最も重要な側面を表せると判断した。これらの指標は、持続可能なモビリティの将来像と、そこに辿り着くまでの過程の核をなすものである。また、持続可能なモビリティ・システムであればうまく機能すべき主要な側面でもある。そして、さまざまな手法の効果を評価するための基準でもある。

特に発展途上国のステークホルダーの意見のうち、指標の決定に強く影響したものが2つある。1つ目は、持続可能性を達成するために必要と考えられている3つの柱（環境、社会、経済）を指標に含めること。2つ目は、「人を中心」にした指標にすることが重要だというものである。そのような指標を目指し、我々はモビリティの製作者、使用者、提供者、そして社会全体（政府）の立場で検討した。

各グループの観点を考慮した後に、モビ

リティの持続可能性を決定する上で、それぞれにとって最も重要となる点を自らに問うた。そうして得られた答えを組み合わせ、重複するものを削除し、次の指標が生み出された。

### 1. 利用しやすさ

#### 人のモビリティ

2001年の後半、The Journal of Transportation and Statistics誌はモビリティの利用しやすさを測定する手法の問題を取り上げた特集版を発行した。その導入部分では、モビリティの利用しやすさとは「根本的に、任意の場所にいる個人が有する、特定の活動あるいは一連の活動に参加する機会に関わるものである」ことであると、おおよその人々が同意していると述べられている。そして、「輸送システムが、配慮を要するグループや特殊な目的にどのような影響を及ぼすかを測る以外には、立案者や政策決定者は利用しやすさという視点に立って都市（輸送）システムを定期的・継続的に評価してこなかった」と続けている。(Thakuriah 2001)

SMPでは、利用しやすさの測定方法を決定しようとしてこの問題に直面した。「利用しやすさ」はまず例外なく「人のモビリティ手段の利用しやすさ」と定義される。そして、その「利用しやす

さ」は相容れない2つの手法のいずれか一方で測定される。1つは車両保有率（つまり、車や原動機付き自転車など自家用車が利用できる人口の割合）のみに着目する手法、もう1つは公共交通システムへの行きやすさ（つまり、公共交通システムを利用するために人が歩かなければならない、あるいは自転車に乗らなければならない距離）のみに着目する手法である。

SMPではよりバランスの取れた「利用しやすさ」の測定方法を採用することとした。我々の見方では、上記のどちらの方法も単独では「利用しやすさ」の指標として適切ではないが、2つを組み合わせれば測定方法としてうまく機能するはずである。その方法とは、自家用車類を利用できる世帯率、プラス最低限のレベルを有する公共交通システムまでにある特定の距離以内にある世帯率を使用したものである。

この計測のもとでは、自動車または基準を満たす公共交通システムのいずれかを利用できる人は、定義上、人のモビリティ手段の利用が「しやすい」ということになる。さらにこの2つから選べる人は、どちらか片方しか利用できない人よりも、人のモビリティ手段の利用が「一層しやすい」となる。

### 物のモビリティ

「利用しやすさ」のコンセプトは、物のモビリティでは確実な定義すらされていない。そのためSMPは即席で、作らざるをえなかった。我々は、物のモビリティの「利用しやすさ」とは、輸送業者とユーザーがそのサービスを利用しやすいか否かを反映していなければならないと考える。すなわち物のモビリティ手段の利用を測定するためには、輸送サービスの発注から受取までにかかる予想時間、輸送業者あるいは荷物を受け取るユーザーがそれぞれ自分で荷物を持って移動しなければならない距離を表すことが必要だ。

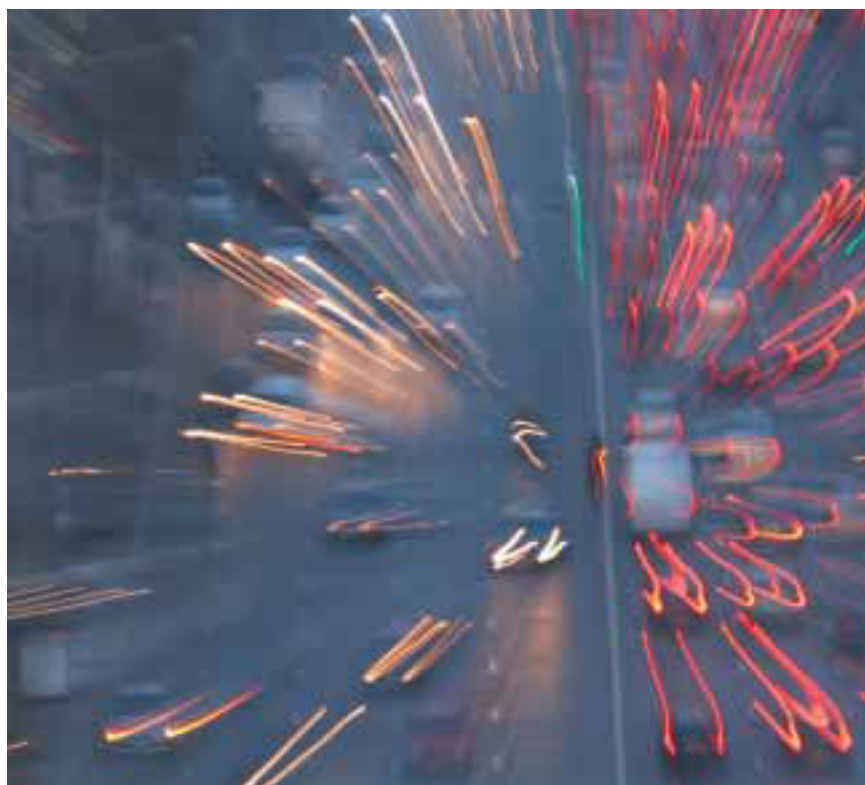
したがって、物のモビリティの利用しやすさに対するSMPの定義は次の通りとする：レスポンスタイム（輸送サービスの発注から集荷までにかかる時間、または荷物の到着後配達されるまでの時間）と、輸送業者が荷物を配達あるいは集荷する際、または顧客が配達を依頼あるいは受け取る際に移動しなければいけない距離を組み合わせたもの。

この定義のもとでは、輸送サービスの発注から配達までにかかる時間、プラス輸送業者や荷物を受け取る顧客がそれを移動させる距離が短い（あるいは全くない）場合は、物のモビリティ手段の利用は「しやすい」ことになる。たとえ「ドア・ツー・ドア」であっても、集荷や配達に時間がかかれば利用は「しにくい」し、同様に、輸送業者や荷物を受け取る顧客が、発送または配達場所までに荷物を長距離移動して初めて利用できる「手際の良い」サービスも、利用は「しにくい」といえる。

## 2. 家計支出

SMPの第2の指標は、望ましい人と物の輸送サービスを得るために必要となる家計支出を測定する。これには輸送の外部費用は反映されないが、外部費用によって生じる私的費用などの料金を支払う側の視点からみた金銭面におけるサービスの利用しやすさは反映されている。（私的費用は望ましい輸送サービスを得るのに必要な家計支出に反映されるためである。）

例えば、渋滞の悪化で燃料費が余分にかかる、家計支出は増加する。また、外部費用を私的費用に転換する公共政策が導入されると（例えば、道路の利用者が渋滞の原因を作った場合、あるいは渋滞を悪化させた場合の責任を反映した道路賦課金を設定することなど）、家計支出にも大きな影響が出る。<sup>7</sup> 実際の指標は、次の通り定義される。



人のモビリティ：個人（または家族）の生活費のうち、人の移動のために使った割合。

物のモビリティ：ある距離を移動した物の単位（重量または金額）別の総物流費用。または、物の値段のうち、製造や最終配達にかかる総物流費用が占める割合。

### 3. 移動時間

移動時間は我々の指標の中で2つの役割を果たしている。第一に、1つ目の指標である家計支出を補完する。つまり、移動の「費用」は、移動に必要な家計支出だけでなく、必要な移動時間によっても測定されるということである。実際、個人や輸送者が輸送形態やサービスの質に関して行う選択では、多くの場合、明らかに時間と家計支出はトレードオフの関係になっている。

我々の目的に照らしてみると、移動時間は出発地から目的地までを基準に測定しなければならない。輸送機関の速度が速くても、乗り換えの多さ、乗り場に到達するのに要する時間の長さ、便数の少なさによって、速度は帳消しどころではない場合もある。短・中距離の旅客輸送で鉄道と航空機との競争が成り立つのは、この種のトレードオフを反映している。自家用車対公共交通システムのサービスの特性についても同様である。

移動時間が果たす第二の役割は、渋滞の影響の部分的指標としての役割である。輸送サービスが混雑すると、その利用にかかる標準時間は長くなる。標準通勤時間は、しばしば渋滞の「費用」の測定値として使われる。（下記参照）

人の移動に関するデータは、主として通勤時間として報告される。一方、物のモビリティに関するデータは、運送業者および政府当局から提供を受ける。そのた



め、SMPが推奨するこの指標の定義は次の通りとする。

人のモビリティ：出発地から目的地までにかかる平均時間。乗り換えまたは移動手段の変更にかかる時間、待ち時間を全て含む。

物のモビリティ：荷物の出発地から目的地までにかかる平均時間。

### 4. 信頼性

我々の渋滞指標の2つ目となるのは信頼性である。これは輸送システムによる移動時間の確実性を表す。「信頼できる輸送システムは、予定時間より大幅にずれることなく、特定の目的地に着くことを保証する。信頼できない輸送システムでは予想外の遅れが生じる。輸送システムを信頼できないものにする主な原因は、いつ起こるかかわからない渋滞である。」（TRB 2001 pp.16-17）

一般の人々にとっては意外なことかもしれないが、輸送専門家の間で、渋滞は本来「良い」のか「悪い」のかとい

う議論がある。この議論は、渋滞は複雑かつ移動が頻繁な社会における避けられない副産物であるという一部の見方を反映するものである。本報告書では後ほど将来の人と物のモビリティ需要について取り上げるが、そこでこの議論を詳細に検討する。

SMPでは、他の要素が全て同じとして、物であれ、人であれ、輸送が信頼できないことをともかく「良い」と主張する人間はいないということが示された。実際、渋滞緩和への取り組みの多くは、この信頼できない状態を減らすことを主眼としている。その際、平均移動時間の増加は、それが予測できるものであれば、個人や企業が我慢したり、移動の習慣や場所を変えたりすることで修正できることとして容認している。

そのため、SMPの本指標では、移動する人、輸送業者、荷物を待つ顧客がそれぞれ経験する時間のばらつきという点から、渋滞の「信頼性」という要素を測定する。指標の定義は、次の通りとする。

人のモビリティ：「典型的な」モビリティ・システムの利用者が経験する、ドア・ツー・ドアの移動時間のばらつき。

物のモビリティ：さまざまな種類の荷物の「典型的な」輸送にかかる、出発地から目的地までの時間のばらつき。

### 5. 安全性

安全性は2つの観点から考えなければならないというのが、本プロジェクトにおける一致した見解である。個人の観点からは、問題となるのは、自分が事故に巻き込まれて死亡したり重傷を負ったりする可能性である。同様に、物の輸送の場合には、輸送中の衝突や誤った取り扱いで、積荷に傷がついたり壊れたりするリスクを荷主がどう考えるかがこれに相当

する。社会全体としての観点からは、問題となるのは、交通事故によって生じる負担、つまり、輸送関連の死亡・重傷者数である。物の輸送の場合、社会的観点からみた問題は、路上の衝突事故による損傷や損壊に対して、経済が求める総「請求額」である。

輸送関連の死亡・重傷者数は個人に無関係ではない。むしろ危険に対する個人の認識の形成に役立つのである。同様に、死亡・重傷率は社会に無関係ではない。それは、(輸送活動量と合わせて)輸送関連の死亡・重傷者数を確定する要素の1つである。しかし、個人的観点と社会的観点は根本的に異なるもので、SMPの指標はこの差異を反映しなければならない。

人のモビリティ：個人が移動システムの利用中に事故で死亡したり負傷したりする可能性、およびカテゴリー別(航空輸送、自動車、トラック、バス、原動機付き自転車、自転車、歩行者など)の年間の死亡・重傷者数(DALY：障害調整生存年数で表される)。

物のモビリティ：任意の積荷が損傷や損壊を受ける可能性、および衝突事故で損傷や損壊した商品の総価格。

個人の観点からいえば、負傷または死亡の確率が低いことと、荷物の損傷の可能性が低いことは「良い」ことになる。社会全体にとっても、これらの確率が低いことは「良い」。ただし、それは全体像をとらえたものではない。人と物の移動量が割合として増加し、死亡・負傷者数が増加したり、物の損害総額が増加するようになれば、社会にとっては「悪い」ということになる。

## 6. セキュリティ

ここ数年の出来事をきっかけに、輸送シ

ステムのセキュリティについてかつてないほど関心が寄せられるようになった。しかし、セキュリティとは、単に暴力行為によって、人や物の輸送システムを混乱させて、何千人もの命を奪い、何十億ドルもの損害をもたらすリスクに対する問題ではない。セキュリティの問題には、個人が輸送システムの利用中に身体的危害を受けるのではないかと、積荷が無傷で届かず、丸ごと盗まれたり、一部を抜かれたり、故意に壊されるのではないかと、といったようなことが関わる事項も含まれる。<sup>8</sup>

個人が輸送手段を選ぶきっかけと輸送システムへの満足度を調査したところ、セキュリティの問題が必ず関わっていた。この点は特に発展途上国で顕著であり、時には輸送システムを利用するか否かを決定する際に、セキュリティが大きく影響している。さらにセキュリティは全ての地域の輸送業者にとって、大きな懸念となっている。

安全性と同様、SMPではセキュリティの問題を個人と政府の両方の立場から検討する。

人のモビリティ：個人の場合は、移動中に迷惑行為、盗難、身体的危害を被る確率。社会の場合はこれに加え、事件の総数(重大性を考慮に入れる)。

物のモビリティ：個人の場合、輸送中に荷物が盗まれる、または盗難によって損傷を受ける確率。社会の場合はこれに加え、盗難に遭った荷物の総額。

## 7. 温室効果ガス (GHG)

二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)が注目を集めているが、GHGはCO<sub>2</sub>だけではない。輸送分野から排出されるその他のGHGには、空調システム用のフルオロクロロカーボンまたはハイドロフルオロクロロカーボン、未燃メタン(発生するか否かは使用

燃料による)および亜酸化窒素がある。

水蒸気やCO<sub>2</sub>といったGHGの他に、航空機は、これもGHGであるオゾンの形成を促進する窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)を大量に排出するだけでなく、黒色炭素も排出する。これらのガスや光吸収性エアロゾルは高高度で排出あるいは形成されるため、その影響は特に大きいと考えられる。

特定のバイオ燃料の生産における農業用窒素固定の利用によっても、亜酸化窒素が排出される。このバイオ燃料関連のNO<sub>x</sub>排出量を測定する方法を決めるだけでも、バイオ燃料から出るGHG削減の可能性を「採点する」にあたっての、かなり複雑な課題の1つとなる。

異なるGHGはそれぞれ大気への影響の度合いも大きく異なる。GHGとその抑制について議論する場合、この影響を「炭素等価」単位と呼ばれるものに換算するのが通例となっている。すなわち、地球温暖化への各種ガスの持つ影響の度合いが、CO<sub>2</sub>と比較してどの程度のものであるか示そうとするものである。

SMPの指標もこれに従う。一定期間におけるGHG排出量を炭素等価で測定する。

## 8. 環境と健康への影響

この「包括的な」指標は、社会がモビリティについて特に懸念を抱いていること、すなわち環境および健康に対する影響を表そうとするものである。この指標は、輸送関連の「従来型」排出物、輸送が生態系に与える影響、そして輸送関連の騒音という3つの項目から成る。データは幅広い政府担当各局から収集した。文献をあたり、ステークホルダーとの対話を行うことで、それぞれの項目がSMPの指標に反映されるべきであることが明らかになった。



- 輸送関連の「従来型」排出物  
一定期間毎の、NOx、CO、粒子状物質（PM）、未燃炭化水素、および鉛の排出量。
- 輸送が生態系に与える影響  
生態系（例：居住地、水）への輸送関連の影響および土地利用。
- 輸送関連の騒音  
さまざまな期間において、さまざまなレベルの輸送関連の騒音にさらされた人の数（または人口の割合）。

## 9. 資源の利用

この「包括的な」指標も、社会が別の分野で抱いている懸念を表している。この指標は、輸送関連のエネルギー利用とエネルギー安全保障、輸送関連の土地利用、および輸送関連の材料利用の3つの項目から成っている。

- 輸送関連のエネルギー利用とエネルギー安全保障  
エネルギー利用については、輸送関連に使われた各燃料の総量。エネルギー安全保障については、他地域、または「不安定な」資源から得たある地域でのエネルギー供給量の割合。
- 輸送関連の土地利用  
先進国では、輸送関連の土地利用の拡大が（または現状に対しても）、好ましくない現象と受け止められる場合がある。したがって、土地利用の拡大は、持続可能なモビリティに逆行していると考えられることもできる。一方発展途上国では、それとは反対のことがいえる（ただし常にそうであるとは言えない）。なぜなら、輸送関連の土地利用の拡大は、モビリティの改善とその利用しやすさの向上を意味しているためである。

この指標の複雑な側面については、後に触れる。SMPではこの指標を

次のように定義したい。輸送活動に使用されている土地の面積（または割合）。

### ● 輸送関連の材料利用

輸送システムは、エネルギーのみならず材料も大量に使用している。車両の製造には大量の物質を要すると同時に、使われなくなった後は廃棄物処理やリサイクルが必要な物質が大量に出る。輸送インフラの建設およびメンテナンスにも多くの材料が必要となる。これらを把握するため、下記の指標の定義を用いる。

輸送分野で使用される材料の総量、全使用材料に占める輸送分野の割合、実際のリサイクル率。

## 10. 公平性

さまざまなモビリティ関連の指標の平均値にとられると、コミュニティ、国、地域、そして世界全体でみた指標値の範囲および分布といった、持続可能なモビリティの重要な局面を無視することになる。

すでに述べたとおり、輸送によって、経済的、社会的機会が大きく開ける。しかし、異なる収入、年齢および民族的背景を持つ人々が利用できる輸送サービスの範囲が、社会の平均的構成員が利用できるサービスの水準向上と並行しない場合、その社会のモビリティの持続可能性は疑わしいものとなる。

従来型排出物、死亡・重傷者数をはじめ、モビリティの負の結果を反映する指標についても同じことが言える。SMPの公平性の指標はこうした懸念を反映したものとなっている。

情報は、異なる人口グループを網羅した持続可能なモビリティ「値」の分布を反映して作成されるのが望ましいと

考える。例として、モビリティ手段の利用しやすさ、人および物のモビリティを得るために必要な費用、「従来型」排出物、騒音、安全性やセキュリティへの脅威、などが挙げられる。

### 11. 財政収支への影響

もともと「持続可能性」には、環境、社会、経済の3つの柱があると考えられてきた。SMPの指標のほとんどは、これまでのところ、主にその最初の2つの柱に関係している。本章ではすでに、輸送機関の利用者に求められる家計支出を指標の1つと定義したが、この指標は、極めて重要ではあるものの（利用する金銭的ゆとりがない人々には、輸送システムはほとんど意味がないため）、それだけでは輸送の経済的な持続可能性の測定に十分ではない。

経済効果の指標があと2つある。1つは財政収支への影響、もう1つはモビリティ関連物とサービスの供給者の収益率である。最初の指標は政府にとって大きな関心の的となっている2つのことを反映

している。それは、輸送システムに必要な財源およびその輸送システムが生み出す収益である。

政府は、公的資金の投入や公益の実現など、さまざまな輸送活動に関係している。数多くの輸送サービスや、輸送インフラも提供している。今日、政府が輸送サービスの運営をすべきかどうかについては、世界中で論議的となっている。しかし、人や貨物の輸送を維持する上で民間資源が不足している場合は、その差を埋めるため公的資金が必要だという点には異論がない。

この指標に含まれる各項目は、公的資金の投入が必要と予想される政府の輸送活動と、輸送活動によって費用を上回る利潤が得られる可能性を示すのが目的となる。今回用いる指標の定義は次の通りである。

輸送サービスやインフラを提供するための公的資金と運営費用の規模とその推移。具体的には、「事業開始助成金」、公的インフラ資金、運営補助金、輸送

サービスの運営および使用料によって政府が得た収入、政府が輸送サービスの量および質的影響によって節減できた支出。

### 12. 民間企業予想収益率

輸送システムが使うモビリティ関連物（車両、燃料、インフラなど）や輸送サービス自体（トラック、飛行機、船舶、鉄道など）を生み出す企業は、モビリティの経済的な持続可能性に重大な関わりを持っている。これらの企業がモビリティを持続可能にするのに必要な関連物およびサービスを提供し続けるには、モビリティ関連活動への投資に対し、適正な収益率を得られることが必要だからである。<sup>9</sup>



これをもとに我々が提案する指標は次のとおりである。

モビリティ関連の製品やサービスを提供する民間企業が、効率的な運営をしている場合に得られる予想投資収益率。費用（資本および運営）、企業収入、政府からの収入（「事業開始助成金」、運営補助金、財務資本への公的資金供与など）、また政府の規制によって課せられる費用を含む。

この他のSMP指標と違い、この指標は持続可能性を測定する「バロメーター」というよりはむしろ、「限界値」と捉え

るべきである。民間企業が提供する事業で、一定以上の収益率確保が可能ならば合格である。ただし、それを上回る収益率を得ていても「より持続可能」であるとはいえない。しかし、収益率がこの限界値を下回る場合は「持続不可能」であることを示す。

指標の定義を終え、次の課題として、現在の傾向が続く場合の、今後数十年間の指標の展開予測を行った。その後、この予測をもとに、モビリティが現在よりも持続可能である見込みがあるか否かを評価した。

<sup>1</sup> 『Mobility 2001』の著者は、マサチューセッツ工科大学とその委託先、チャールズ・リバー・アソシエイツであり、その内容は、必ずしもWBCSDの持続可能なモビリティ・プロジェクトのメンバーの意見を表したものとは限らない。

<sup>2</sup> 当報告書では、農業用機器および建設機器は対象としない。多くの農業用車両及び建設用車両は路上を走行できる（時には走行している）。しかし、それらは「輸送」車両とはみなさない。

<sup>3</sup> G7諸国は、米国、カナダ、フランス、ドイツ、イタリア、英国、日本。

<sup>4</sup> ユニオンパシフィックには525万haが与えられた。

<sup>5</sup> CO<sub>2</sub>が最も注目を集めてきたが、他にも数種類のGHGがあり、その中には1Kgあたり排出ベースでCO<sub>2</sub>よりもはるかに大きい温室効果をもつものもある。大半の輸送では（航空輸送を主要な例外として）、GHGの構成要素として、CO<sub>2</sub>の重大性は群を抜いている。そうした事情はあるが、我々がこの報告書で「輸送関連のGHG排出」という語句を用いる場合、普通CO<sub>2</sub>を指す。

<sup>6</sup> 輸送による排出は、輸送車両が用いる燃料の燃焼による直接的排出ばかりでなく、「油井から車輪まで」(WTW)の排出など、輸送燃料の生産及び流通に伴う排出も含むものとする。WTW排出という概念は第3章で詳しく説明する。

<sup>7</sup> この影響は道路税から、渋滞が緩和された結果節約できた燃料費、時間等を引いた経済的出費として測定される。

<sup>8</sup> 「セキュリティ」と「安全性」との違いは、安全性では従来「事故」とみなされてきた事例から生じる、過失による傷害または損傷を含むのに対し、セキュリティでは意図的に危害や損害を与えようとする試みが考慮されることである。

<sup>9</sup> ある活動を私的出費で可能な範囲を超える水準で実施することを社会が求めている、と政府が判断する場合、政府はこの私的出費を補う方法を見出さなければならない。たとえ政府自体があるモビリティ関連物および／またはサービスの提供者である場合でも、政府が運営するその活動は経済的な持続可能性という試験を通らなければならない。補助金は透明にし、秘密にしてはならない。また、社会はこれらの活動が効果的に実施されるよう求める権利を持つ。





## 第2章

モビリティが  
持続可能となる展望：  
現在の傾向が継続した場合

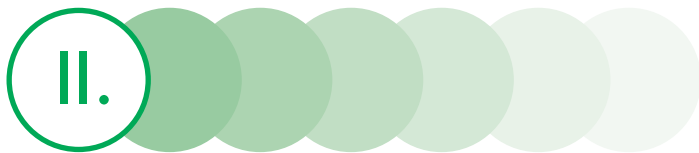


# し はじめに

『Mobility 2001』の著者は、モビリティの未来とその持続可能性を予測しようとはしなかったが、他の人々により作成されたモビリティ関連の複数の指標から予測を記載した。そして、持続可能なモビリティ・プロジェクト（SMP）が進むにつれ、我々はさまざまな選択肢を比較するための基準点があると便利であるという結論に達した。

そのような基準点を決定し、選択肢の分析に一貫した手法を用いるため、我々は国際エネルギー機関（IEA）のエネルギー政策・技術部に委託して、輸送分野のエネルギー技術展望モデルを拡充し、さまざまなモビリティ関連の指標を予測する機能を持つ、表計算モデルの作成を依頼した。この表計算モデルは、原動機の付いたあらゆる輸送形態と世界中の主要地域を対象とし、IEAの『World Energy Outlook 2002 (WEO)』の中で発表された基準シナリオを基準とするものだった。(IEA 2002a)

本章では、この表計算モデルが行った予測の一部を紹介するとともに、このモデルだけでは直接予測できなかった一部の指標の進化から考えられる事項について述べる。



# IEAの基準シナリオとプロジェクトの基準ケースとの関係

IEAは基準シナリオを「予想」ではなく「予測」であると位置付けており、我々はこの慣例に従った。この2つの表現の違いは語義的なものにとどまらない。

予測は数学的な試算、つまり特定の変化率と開始時の状況から算出される結果である。予測においては、本質的に、試算に使用されるすべてのレベルや変化率が必ず正しいものである必要はない。これに対して予想は、使用されるデータが他のデータよりも正しいものである可能性が高いという仮定に基づいている。したがって、予測に比べて可能性がより高いものとして受け取られる。<sup>1</sup>

IEAの基準シナリオは、一貫した人口予測とGDP予測の組み合わせを用いて、地域別、燃料の種類別、主な最終利用分野（輸送分野を含む）別に、エネルギー需要の予測を行っている。またIEAは、他のいくつかのエネルギー関連の不定要素（特に、主な最終利用分野のCO<sub>2</sub>排出量）の値も予測している。この基準シナリオの予測は、2000年から2030年までの期間を5年ごとに分けて示されている。

IEAが発表したエネルギー利用およびCO<sub>2</sub>排出に関する予測の根拠となっているのは、それぞれの主な「要因」についての予測である。輸送分野の場合、こうした「要因」には輸送活動（量および輸

送形態）、さまざまな輸送車両の実際のエネルギー効率、および輸送燃料のCO<sub>2</sub>排出特性がある。IEAは、『WEO 2002』に記載された輸送に関する予測についての文書を発表していないが、『WEO 2002』の前身である『WEO 2000』に記載されたOECD地域の輸送に関する予測について詳細に説明した文書を発表した。（Landwehr and Marie-Lilliu, 2002）

SMPではこの文書を利用して、『WEO 2002』の輸送関連の予測に微調整を行い、詳細を追加した。そしてこの情報が、本プロジェクトの表計算モデルの中心となった。さらに、公的出典の情報やSMPの参加企業から提供された情報を活かして、輸送形態および地域に関する詳細情報を大量に加えた。また、IEAが基準シナリオの作成に当たって考慮しなかった、持続可能性の視点を反映した輸送関連の「従来型」排出物、安全性、原材料の使用などのデータや関連性の情報も使用した。

我々の予測の対象期間は、2030年までではなく、2050年までに延長された。輸送分野において、30年は非常に短い期間である。2000年から2030年の間にとられる対策が、2030年までに社会において完全に効力を発揮することはないであろう。2030年から2050年までの予測は、我々が予測する2030年までの状況の延長である。

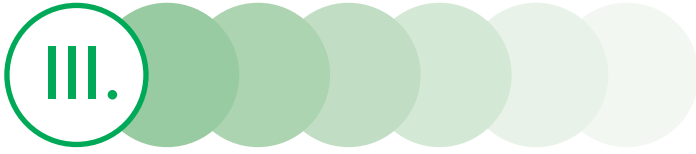
## ボックス2.1 「現在の傾向が継続した場合」というフレーズの意味

モビリティとその持続可能性は、人の行動、経済成長、公共政策が複雑に入り組んだ結果である。持続可能なモビリティ・プロジェクト（SMP）が、基準ケースの予測において「現在の傾向が継続する」ことを前提とするという場合は、この行動・技術・経済・政策の組み合わせが、基本的に変化しないことを指している。

しかしながら、変化は常に発生している。そのため、基準ケースを設定するためには、何をもって「変化」とするのか、また途切れることのない歴史の流れに何を含めるのかを決定する必要がある。

このことは、人間の行動や経済成長の傾向を扱う際にはそれほど大きな問題とはならないが、政府による公式または非公式の政策的措置を扱う際には、難問となる。たとえば、法律を実施する権限を持つ当局が新しい規制を公布した場合は、「変化」と言えるであろう。ただし、この「変化」がいつ起こったのかは不明確である。政府が非公式の措置を取る場合、問題はさらに難しくなる。たとえば、政府当局が規制の公布を「検討している」と発表した場合や、ある業界と、将来、法的に実施可能な規制となる可能性のある「自主的合意」に達した場合を想定しよう。「変化」は起こったのか？ また起こったとすれば、いつ起こったのか？ 検討するという意思の発表はいつ行われたのか？ 「自主的合意」に達したのか？

不明瞭な状況においては、SMPは以下のように実際的であろうと試みた。将来とられるかもしれない措置が、企業、業界、消費者の行動に、すでに大きな影響を及ぼしている可能性が高い場合は、その措置を基準ケースとして考慮した。これはつまり、「継続する」と仮定されている「現在の傾向」として考慮したということである。しかし、将来何らかの措置がとられる可能性はあるものの、現時点で行動に大きな影響を及ぼしていない場合は、その措置を基準ケースとして**考慮しなかった**。そうした措置が、その後、実際に行動に大きな影響を及ぼした場合は、それは「変化」と捉えられるため、基準ケースに当てはまらない事例となる。



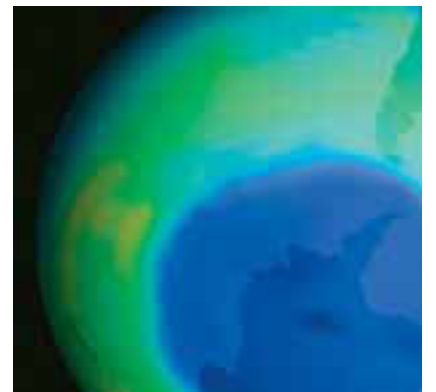
## 指標の予測から明らかになったテーマ<sup>2</sup>

現在の傾向が継続すると仮定し、SMPの指標の予測から明らかになったテーマは以下のとおりである。

- 主に1人あたり実質所得の伸びなどにより、人と物の輸送活動は世界中で急速に増加するであろう。発展途上国における輸送活動の増加は特に急速である。しかし、先進国と多くの発展途上国の間に存在する大きな「モビリティ機会の格差」は解消されないであろう。
- ほとんどの先進国においては、人のモビリティの利用度はすでに高いが、これはさらに向上する。しかしこれが将来、発展途上国の一般住民にもあてはまるかどうかは大きな疑問である。
- 物のモビリティを向上させることで、消費者が、より多くの、より豊富な種類の物を、より低コストで得られるようになり、それによって経済成長や発展が実現する。
- 輸送関連のGHG排出量は、特に発展途上国では大幅に増加するであろう。輸送車両のエネルギー効率は改善するが、その改善によるGHG排出量抑制効果は、車両数と平均的な利用の増加により相殺され、GHG排出量は増加すると思われる。輸送の石油系燃料への圧倒的な依存傾向は今後も

継続するため、輸送燃料のGHG排出特性が変化しても、輸送関連のGHG排出量にはそれほど大きな影響を与えない。

- 今後20年間で、先進国においては、より厳しい排出規制、技術の改善、また総車両台数の比較的緩やかな伸びなどを反映して、輸送関連の従来型排出物（NOx、VOC、CO、PM）は急激に減少するであろう。一方多くの発展途上国では、車両台数の急速な伸びを反映し、都市部において、少なくとも今後数十年間はそれらの排出物は増加するが、その後は減少する。
- OECD諸国と一部の中所得国では、自動車に関する死亡・重傷者数は減少するであろう。しかし、所得が低く、急速にモータリゼーションが進んでいる多くの発展途上国においては、その数は少なくとも今後20年間は増加する。
- 渋滞は、先進国と発展途上国の多くの都市部で悪化するであろう。個人や企業が所在地の選択やその他のモビリティ関連の決定を行う際に、相殺的な調整が行われるため、平均移動時間が渋滞に比例して長くなることはない。<sup>3</sup>しかし、人や物のモビリティに悪影響が出ると見込まれる。



- 輸送関連のセキュリティへの深刻な懸念は今後も続くであろう。
- 輸送関連の騒音はおそらく減少しないであろう。
- 輸送関連で使用する材料、土地、エネルギーはすべて増加し、それに伴い輸送資源の「利用跡」は増加するであろう。
- 先進国の平均的世帯については、世帯の総支出に占める人のモビリティ費用の割合はほぼ変化しない、もしくは減少するだろう。発展途上国では、世帯所得の支出の傾向を予測することは困難である。
- 一方、物のモビリティに費やされる平均的世帯所得の割合は、ほぼすべての地域で引き続き減少するであろう。

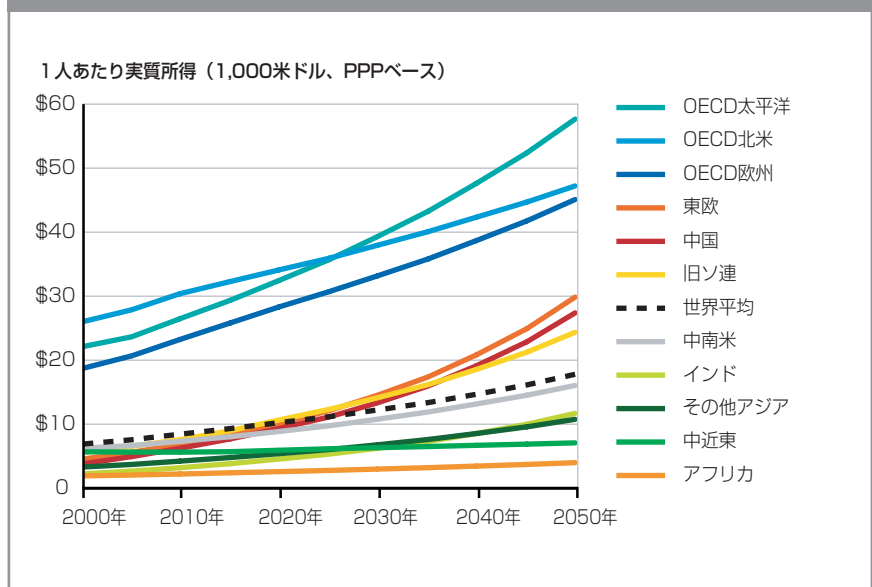
- モビリティに関連する公平性の問題は深刻化するだろう。それは特に、物のモビリティ手段の利用しやすさに関する公平性の問題や、貧困層や高齢者など、社会のさまざまな構成集団の違いによって、人のモビリティの利用にかかる1人あたりの費用の違いの問題である。またその他にも、輸送関連の従来型排出物に極端にさらされている人々の存在などの問題もあるが、それは改善されるだろう。

## A. 人と物の輸送活動

人の輸送活動には、重要な「要因」が数多くあるが、その中でも突出して影響力の強いものは、世帯の可処分所得（納税後に世帯に残る所得）の増加である。所得の増加はさまざまな方法で人の輸送活動に影響を与える。例えばそれは、個人の車両保有率の最も重要な「要因」になり、移動距離（および回数）の増加につながる。また、時間の価値も高くなるため、より速い輸送形態が選ばれるようになる。さらに、貨物輸送需要の背景となる経済プロセスの重要な要因にもなる。これらの理由から、SMPにおける人および物の輸送活動の基準ケース予測は、その大部分が所得増加予測に基づいている。

我々が採用したのも含めた最も長期的な経済予測では、実質1人あたり所得は、特に一部の発展途上国では、今後数十年間は着実に増加すると予測されている。このような実質1人あたり所得の増加が実現すれば、絶対的生活水準と相対的生活水準の両方が、大幅に変化する地域も出るであろう。<sup>4</sup> 図2.1で示すように、実質1人あたりGDPは、OECD諸国では引き続き増加するが、それらの国が世界経済に占める割合は、現在の状況ほどではなくなる。

図2.1 購買力平価（PPP）ベースの1人あたり実質GDP



出所：2000年のデータはIEA；2000年～2030年の予測はIEA 2002, p.408；2030年～2050年の予測はIEA予測からのSMPでの推定値

2050年までには、旧ソビエト連邦、東欧、および中国の実質1人あたりGDPは、OECD北米およびOECD太平洋における2000年のレベルと、概ね

同じになると予測されている。また、中南米の実質1人あたりGDPは、2050年までに、OECD欧州における2000年のレベルと概ね同じになると予測され

ボックス2.2 経済成長率および人口増加率の想定（WE0 2002）

	年間平均経済成長率		年間平均人口増加率	
	1971-2000年	2000-2030年	1971-2000年	2000-2030年
<b>世界合計</b>	<b>3.3%</b>	<b>3.0%</b>	<b>1.7%</b>	<b>1.0%</b>
<b>OECD</b>	<b>3.0</b>	<b>2.0</b>	<b>0.8</b>	<b>0.4</b>
北米	3.2	2.1	1.3	0.8
米国およびカナダ	3.2	2.0	1.0	0.8
メキシコ	3.9	3.4	2.4	1.0
欧州	2.5	2.0	0.5	0.1
欧州連合	2.4	1.9	0.3	-0.1
太平洋	3.7	2.0	0.9	0.1
日本、オーストラリア、ニュージーランド*	3.2	1.6	0.8	0.0
韓国	7.4	3.6	1.3	0.4
<b>移行経済国</b>	<b>0.1</b>	<b>3.1</b>	<b>0.5</b>	<b>-0.3</b>
ロシア	-2.9 <sup>(1)</sup>	3.0	-0.3 <sup>(1)</sup>	-0.6
<b>発展途上国</b>	<b>4.8</b>	<b>4.1</b>	<b>2.0</b>	<b>1.3</b>
中国	8.2	4.8	1.4	0.5
東アジア	5.6	3.6	2.0	1.0
インドネシア	6.1	3.9	1.9	1.0
南アジア	4.8	4.6	2.1	1.3
インド	4.9	4.6	2.1	1.1
中南米	3.1	3.0	2.0	1.1
ブラジル	3.9	2.9	1.9	1.0
中近東	2.9	2.6	3.2	2.3
アフリカ	2.7	3.6	2.7	2.1

<sup>(1)</sup> 1992年～2000年

出所：IEA 2002, pp.408-409

ボックス2.3 発展途上国の8つの都市に関するプロジェクト支援によるケーススタディ

今後数十年は発展途上国における人と物の輸送活動の増加が重要なため、それらの国の輸送機関やその運転者に関するデータの不足を反映して、SMPIはRalph GakenheimerとChristopher Zegralsに委託し、発展途上の都市部における輸送の課題についてのケーススタディを行った。ブラジル・ベロホリゾンテ、インド・チェンナイおよびムンバイ、メキシコ・メキシコシティ、セネガル・ダカールの地域の協力を得て、8つのケーススタディが用意された。このケーススタディの結果の概要も作成され、本報告書の付録として収められている。詳細はWBCSDのウェブサイトにて閲覧可能。(www.wbcsd.org)

ている。人と物の輸送需要への大きな促進材料となるであろう。ただし第1章で述べたとおり、こうした需要増加の一部は、これらの国々で、より多くのモビリティ機会が利用できるようになることによって実現される結果でもある。

1. 人の輸送活動

我々の基準ケースでは、人の輸送活動（旅客Kmで測定）は、2000年から2030年までの間に世界平均で年間1.6%（2000年から2050年までの期間では年間1.7%）増加すると予測されている。増加率は、地域（図2.2）および輸送形態（図2.3）によって大きく異なる。2000年から2030年における旅客輸送活動の平均増加率は、中国、中南米では約3%、旧ソ連、インド、中近東では2%になり、3つのOECD地域では年間約1%以下になる

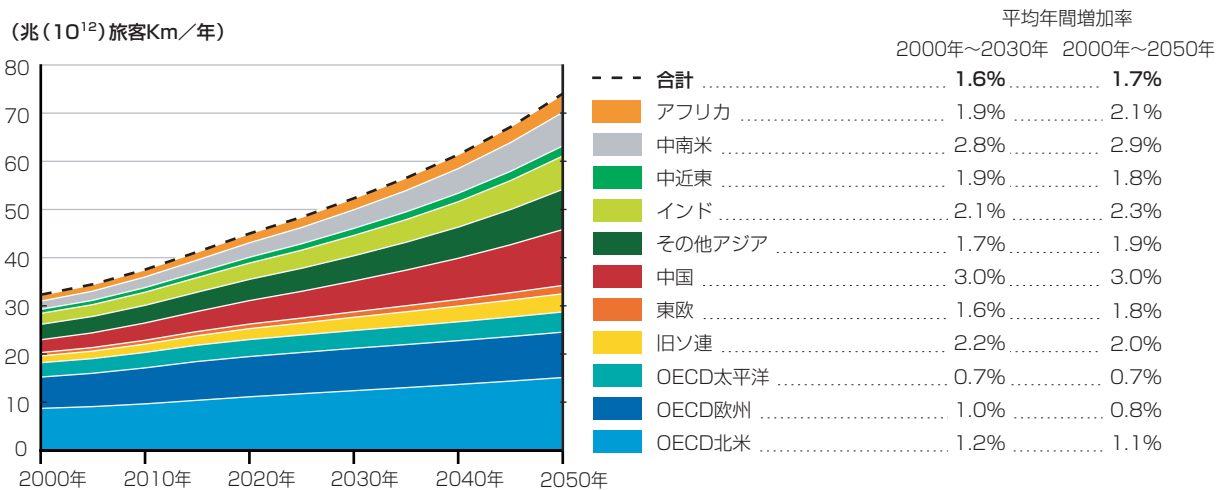
と予測される。

航空輸送は、2000年から2030年まで、および2000年から2050年までの両方の期間において最も急速に増加すると考えられる人の輸送形態であり、その増加率は年間平均で約3.5%になるであろう。2番目に急速な増加が予測される輸送形態は旅客鉄道で、3番目は2輪・3輪車である。軽量車（LDV）<sup>5</sup> による移動は、人の輸送需要において他よりもはるかに大きな割合を占めているが、増加率から見ると4番目である。

図2.3には、対象諸国および地域間における平均的住民が利用できるモビリティ機会の格差や、その格差が今後50年間にどのように変化するかについては示されていないが、この点を強調するために、図2.4では、予測される1人あたりの人の輸送活動を示している。

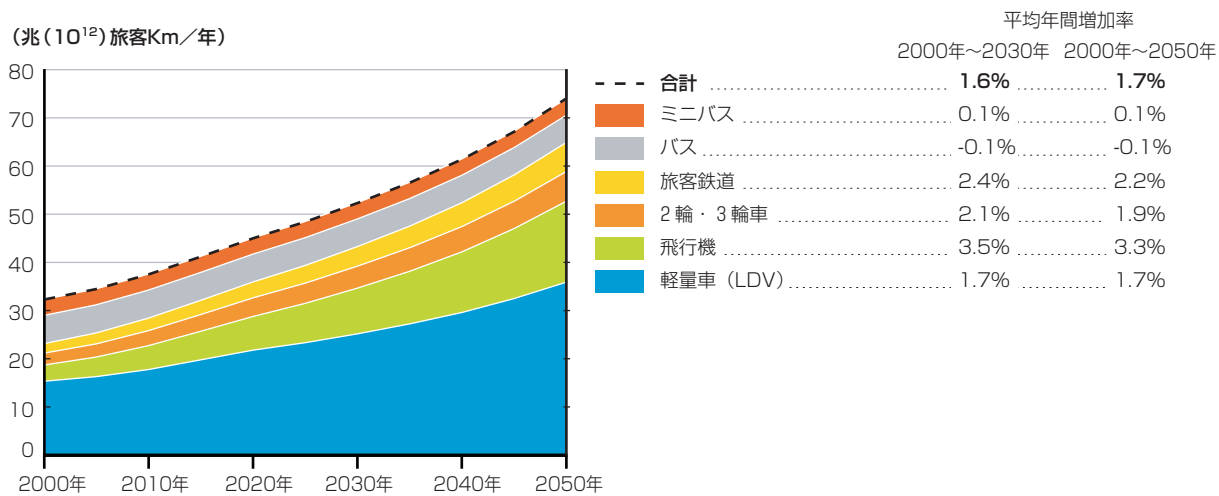
2000年時点で、1人あたりの人の輸送活動には、下はアフリカの年間1,700Kmから、上はOECD北米の2万1,500Kmまで、12倍以上の格差があった。同年において、1人あたり旅客輸送活動の平均レベルが、OECD諸国の中で最も低いOECD欧州の半分にま

図2.2 人の地域別輸送活動



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

図2.3 人の輸送形態別輸送活動



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

で達していたのは、非OECD諸国の中では東欧の国々だけであった。

2000年から2050年までの間に、この「モビリティ機会の格差」は、特に東欧や旧ソ連など一部の非OECD諸国ではおおむね解消し、中国や中南米などでは縮小するだろう。一方、アフリカ、中国以外のアジア、中近東といった地域では、この格差はほとんど変化

しないと思われる。

1人あたりの旅客輸送活動が、すべての地域において同じレベルになるか、せめてOECD諸国のレベルに到達すると予測できるだけの説得力のある理由を発見することはできない。しかし、現在のモビリティ機会の格差の大きさと、一部地域におけるこの格差の持続性を考慮すると、モビリティ機会の欠如は今後数十年

間にわたり、世界の一部地域における成長と発展を大幅に阻害するであろうことがわかる。

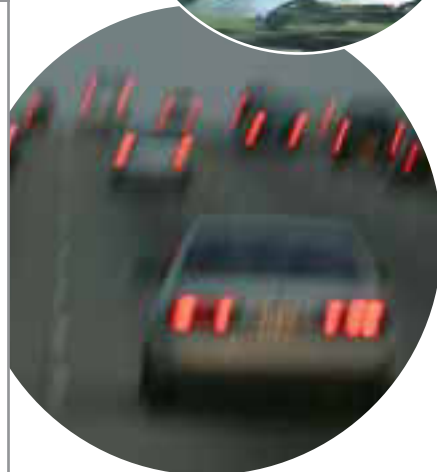
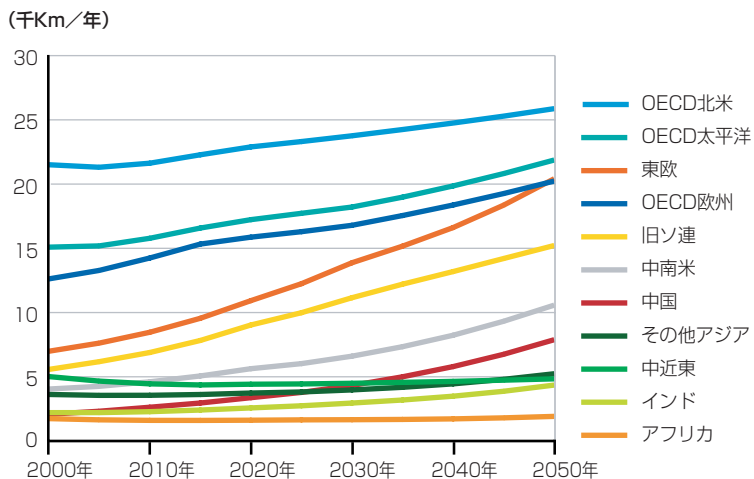
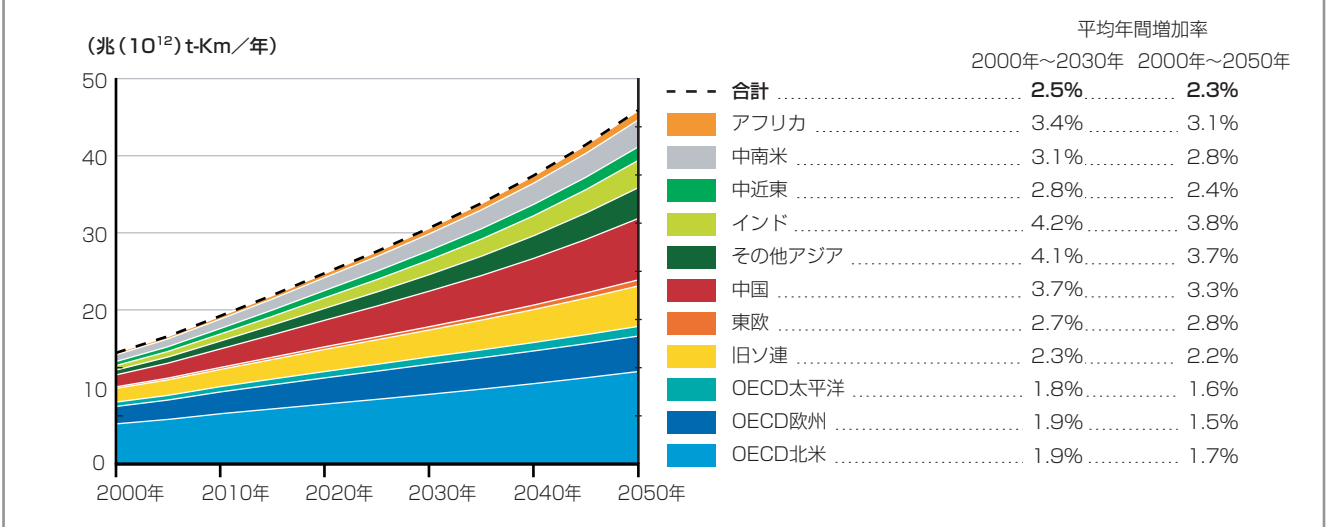


図2.4 1人あたりの地域別輸送活動



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

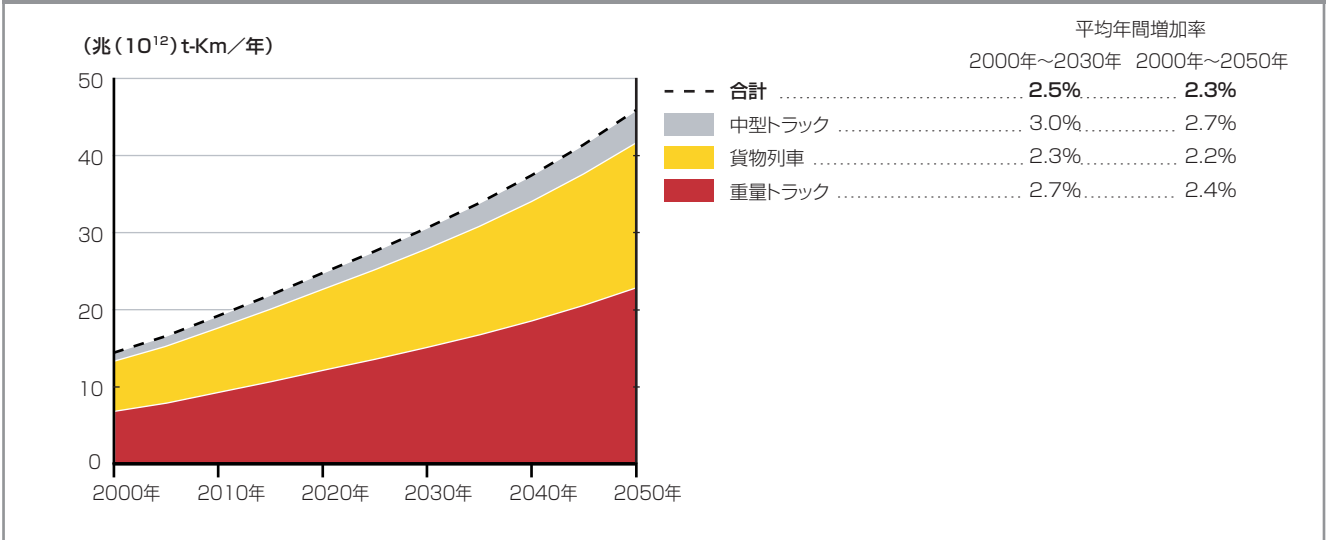
図2.5 地域別貨物輸送活動



注記：航空機、船舶、パイプラインは除く

出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

図2.6 輸送形態別貨物輸送活動



注記：航空機、船舶、パイプラインは除く

出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

## 2. 貨物の輸送活動

貨物の輸送活動も、2000年から2050年の間に大幅な増加が予測されている。図2.5はSMPによる地域別の基準ケース予測を、そして、図2.6は貨物輸送形態別のデータを示している。<sup>6</sup>

1人あたりの貨物の輸送活動には地域によって格差があり、解釈は難しい。特定の地域の貨物トン数には、資源の豊かさ

が大きく影響する。天然資源や農作物を生産する地域では、1人あたり貨物輸送活動レベルは極端に高くなる場合があるが、その地域の人々がそうした物をどの程度利用できるかにはまったく関係ないだろう。輸送物資の価値に関する地域別データがあれば、物の利用しやすさについての、よりわかりやすい指標となる可能性があるが、そのようなデータの入手は困難である。

## B. 人のモビリティの利用

人のモビリティの利用に関するSMPの指標は、2つの要素から構成される。1つは自家用車の保有率、もう1つは、一定の品質を持つ輸送サービスを利用するために、利用者が歩く必要のある距離である。



我々の表計算モデルによると、1つ目の要素については単位あたりの自家用車保有率（1,000人あたりの車両数で測定）が、すべての地域で増加すると予測されている。（図2.7参照）一部の事例によると、乗用車と軽量トラックの保有率増加が、自家用車保有率増加の圧倒的な要因となるであろう。（図2.8参照）その他の事例では、増加分のほとんどが、いわゆる「自動2輪車」の数の増加を反映したものである可能性が高い。（図2.9参照）

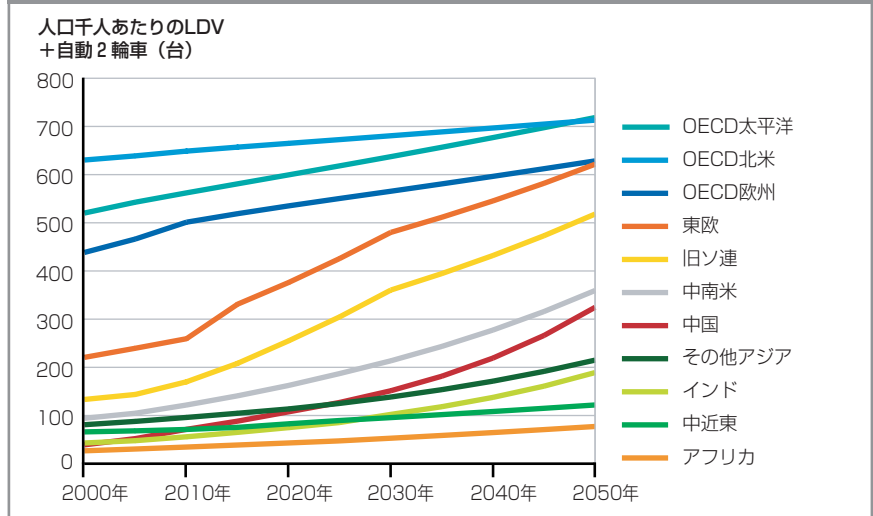
こうした予測が正しければ、2050年までに、東欧や旧ソ連における1,000人あたりの自家用車保有率は、現在、太平洋や欧州のOECD諸国で見られる水準を上回るであろう。また、中南米および中国では現在のOECD欧州の水準に近づくと見込まれている。

### 1. 自動2輪車の重要性

一般にモータリゼーションに関する分析はこれまで、自動車とLDVを中心に行われてきた。しかしながら、発展途上国におけるモータリゼーションのパターンを理解しようとするならば、自動2輪車の役割を考慮しなければならない。

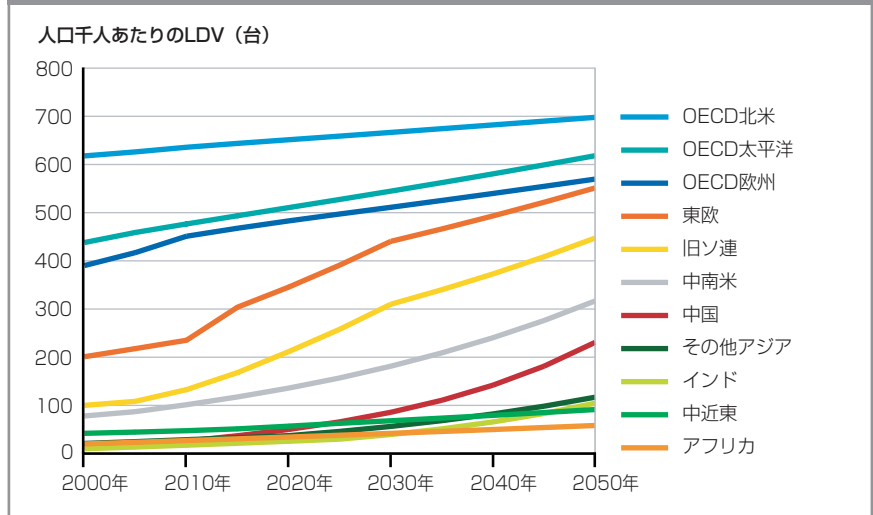
自動2輪車の重要性は、発展途上国においても地域によって大きく異なる。今日では、世界中の全2輪車のうちアジアが75%以上を占めている。中国だけで約50%、インドは20%にのぼる。SMPが支援したケーススタディで調査対象となった発展途上国の都市のうち、モータリゼーション率全体に占める自動2輪車の割合が高いのは、チェンナイ、上海、武漢の80%、ムンバイの50%、クアラルンプールの40%である。これに対し、調査対象となった中南米の都市では、2輪車の普及率ははるかに低く、ベロホリゾンテとメキシコシティの両方で、モータリゼーション率の10%未満である。（図2.10参照）

図2.7 基準ケース—自家用車保有率の増加予測



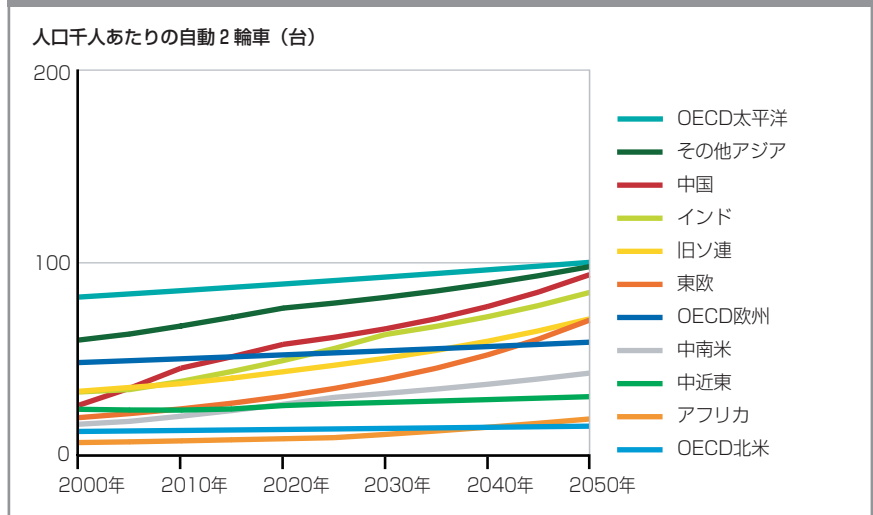
出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

図2.8 基準ケース—LDV保有率増加予測



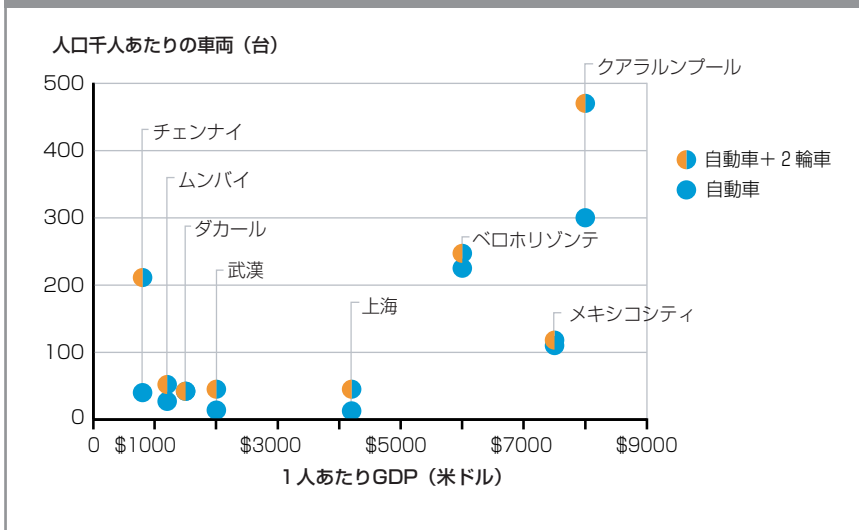
出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

図2.9 基準ケース—自動2輪保有率増加予測



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

図2.10 1人あたりGDPと比較した自動2輪を含む場合と含まない場合のモータリゼーション率



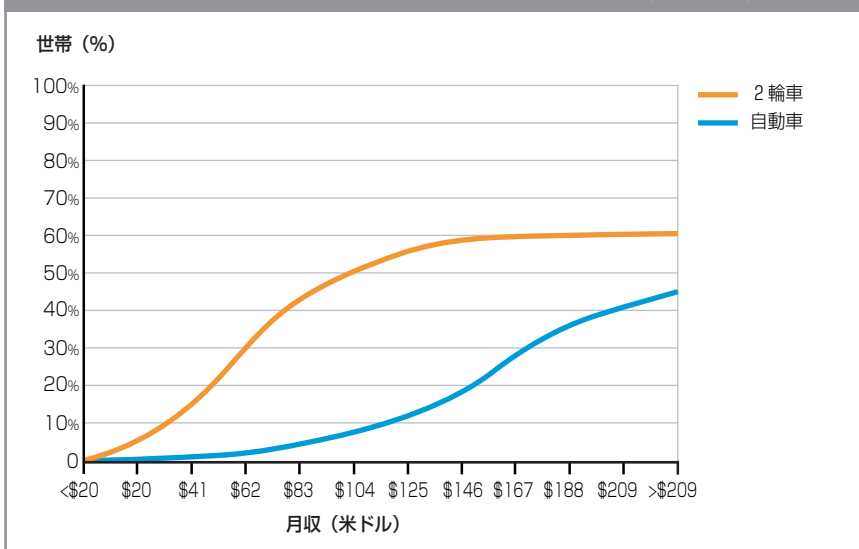
出所：Appendix

自動2輪車をモータリゼーション率全体に反映すると、1人あたり（または世帯あたり）の所得がはるかに高い都市と上記の都市とのモータリゼーション率が同レベルになる場合もある。実際に、我々のケーススタディのデータによれば、1人あたりGDPがチェンナイの10倍であるメキシコシティでは、自動2輪車を含むモータリゼーション率がチェンナイよりも低い。（図2.10参照）つまり、自

動2輪車はモビリティを均一化させる役割を果たすものといえる。

2輪車を考慮に入れると、モータリゼーションの現象に対する認識は変わる。図2.11ではチェンナイにおける月収と自動車保有率を示している。インドでは2輪車を200米ドルで購入できる。所得が上昇すると、より多くの人々が2輪車を利用するようになるため、それにより

図2.11 チェンナイにおける所得と自動車保有率との関係（1993年）



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

モータリゼーションのプロセスが加速されていると考えることができる。

## 2. 公共交通機関を利用するために必要な距離または時間

我々の表計算モデルでは、人のモビリティの利用に関する指標のうち、上記の要素の予測は行っていない。第1章で論じたように、ほとんどの政府は公共交通機関の利用しやすさの測定に関する情報を収集していない。また、そのような情報が収集されている地域でも、利用される公共交通サービスの質という肝心な要素については、一般的には定義されていない。

ただし一部の事例では、我々がここで利用しようとしている基準が実際に存在する。表2.1は、英国運輸省が行った最新の『National Travel Survey』からの引用であるが、ちょうど上記のような方法で定義されたバスの利用しやすさに関するデータが示されている。

『Mobility 2001』では、公共交通機関を利用する人のモビリティの割合は、先進国、発展途上国の両方において、多くの都市部で低下しつつあることが指摘された。その原因としては、自家用車により比較的高い柔軟性が実現されたことと、都市部で進む人口密度の低下が挙げられる。公共交通システムにとっては、このどちらの要因も、政府が進んで供与する助成金の額を維持しつつ、適正レベルのサービスを低価格でユーザーに提供することを、より困難にさせている。

こうした課題に対し、公共交通システムの中には、サービスレベルの制限や料金の引き上げ、またはその両方により対処してきたものもある。どちらの対策も、自家用車を利用する機会を持たない人々や、そうした車両を利用できない、または利用したくない人々にとって受容できる人のモビリティ手段という、公共交通

表2.1 英国のさまざまな地域におけるバスの利用しやすさ

	1991年/1993年			2002年			利用可能性の指標			
	バス停までの 所要時間の世帯割合			バス停までの 所要時間の世帯割合			少なくとも1時間に1本は停車する バス停まで徒歩13分以内で到達できる世帯			
	6分 以下	7~13分	14分 以上	6分 以下	7~13分	14分 以上	英国		イングランド	
						1996年 /1998年	2002年	1996年 /1998年	2002年	
全地域	88	9	3	86	10	4	0.1	0.1	0.1	0.1
ロンドン建物密集地域	88	11	1	87	11	2	3.2	3.2	3.2	3.2
主要都市建物密集地域	92	7	1	89	10	2	3.2	3.2	3.2	3.2
25万人を超える大都市	92	7	1	90	8	2	3.9	3.9	3.9	3.9
2万5,000~25万の 中堅都市	91	7	1	89	9	2	2.5	2.5	2.5	2.5
3,000~2万5,000の 小規模都市	85	11	4	83	12	5	2.4	2.4	2.4	2.4
うち1万~2万5,000	-	-	-	83	12	5	3.7	3.7	3.7	3.7
うち3,000~1万	-	-	-	82	13	5	3.2	3.2	3.2	3.2
農村部 <sup>(1)</sup>	77	12	11	72	13	15	7.4	7.4	7.4	7.4

<sup>(1)</sup> 2002年のサンプルは1999年/2001年のものと比べより農村部の実状を反映している。

出所：UKDfT 2004, p.42.

機関の機能をさらに損なってしまう。

### 3. 輸送の混合形態の重要性

自家用車による移動と公共交通機関を利用している移動の違いは、特に都市部においては以前から存在する。しかし、この違いによって、重要な現象が隠されてしまう可能性がある。多くの場所では、行き先や移動の目的、移動の時間や時期、1人での移動か誰かと一緒に移動かによって、人々は複数の乗り物を使い継ぐ。この行動は「輸送の混合形態」と呼ばれ、人の移動の「習性」を発見することを目的とした移動についての調査では過小評価される場合がある。<sup>7</sup>

フランスで行われた調査 (INRETS 1995) によると、人口10万から30万人の町では、移動に自動車のみを利用する者は63%で、輸送の混合形態の利用者は20%であった。人口30万人以上の町 (パリおよびイルドフランスを除く) では、モータリゼーション率は88%で、ほぼすべての住民が運転免許を持っているか取得する予定であるが、7%が公共交通機関のみ利用者、53%が自動車のみ利用者、36%が輸送の混合形態の利用者であった。公共交通サービスの

レベルが非常に高いパリおよびその近郊 (ファーストリング) で実施された同様の調査 (INRETS 1996) では、住民の14%が公共交通機関のみを利用し、30%が自動車のみを利用し、53%が輸送の混合形態の利用者であった。輸送の混合形態を利用する者は、35歳未満の若年層で、都市中心部に居住し、収入および学歴のレベルが高く、一人暮らしまたは子供一人だけの世帯で暮らしているケースが多かった。

### 4. 利用しやすさの傾向

人のモビリティ利用には、自家用車保有率の上昇と、自家用車の所有に替わる公共交通システムの実現可能性の低下という2つの対照的な傾向が存在するが、それらが利用しやすさに及ぼす影響は地域によって異なると考えられる。自家用車の利用がすでに非常に高いレベルにある先進国の中には、自家用車の保有に替わる公共交通システムの実現可能性の低下は、公共交通機関への依存度が極端に高いグループ (高齢者、障害者、貧困層) に特に影響を及ぼすであろう。<sup>8</sup> (公平性に関する解説を参照) これは途上国の中にもあてはまる国があるかもしれない。これらの国や地域では、最終的には

人のモビリティの利用しやすさが向上する可能性は高い。

多くの発展途上国で急速に都市化が進みつつある地域では、ほとんどの人がモビリティの主な手段として、原動機のない公共交通機関に依存している。(発展途上国の8つの都市における自家用車保有率と公共交通機関の利用に関するデータについては、表2.2を参照されたい。これは、Ralph GakenheimerとChristopher ZegrasがSMPのために行った調査である)。<sup>9</sup>

これら8都市については、公共交通機関と原動機によらない移動手段 (徒歩および自転車) を合わせた距離は、総移動距離のうちの非常に大きな割合を占める。都市の範囲が広がり、平均人口密度が低下するにしたがって、公共交通機関も原動機によらない移動手段も減少する可能性が高い。

表2.2 発展途上国の8都市部における人の移動についての特性

都市部	ベロ ホリゾンテ	チェンナイ	ダカール	クアラル ンプール	メキシコ シティ	ムンバイ	上海	武漢
国	ブラジル	インド	アフリカ・ セネガル	マレーシア	メキシコ	インド	中国	中国
移動率（移動回数／日）	1.43 (1995年)	1.24 (1993年)	2.3 (1998年)	2.4 (1997年)	1.2~1.4 (1994年)	1.26	1.95 (1996年)	2.25 (1998年)
1,000人あたりの 自家用車台数	225 (4輪) 22 (2輪)	40 (4輪) 171 (2輪)	42	300 (4輪) 170 (2輪)	110 8 (2輪)	27 (4輪) 25 (2輪)	4~20 (4輪) 35 (2輪)	20 (4輪) 31 (2輪)
原動機によらない移動	5~7% (1995年)	44%	44%	データなし	データなし (予測：15%)	データなし (1981年時点で 26%)	72% (1995年)	61%
公共交通機関	69% (1995年)	47%	45%	20% (動力つき車両 による移動に 占める割合)	70% (動力つき車両 による移動に 占める割合)	88% (動力つき車両 による移動に 占める割合)	17% (1995年)	22%

出所：Appendix

## C. 物のモビリティ

物のモビリティは、より柔軟かつ廉価な輸送システムが世界中で普及するにしたがって、この50年間で大幅に拡大した。この傾向は今後も継続し、それによって消費者が、より多くの、より豊富な種類の物を低コストで利用できるようになると予測しているが、それは情報技術のより効果的な利用による物流システムの継続的な発展、道路インフラの拡大などを前提としている。これがひいては、専門化、効率向上、成長拡大を促進することになる。しかし道路渋滞の悪化が個人の物の輸送に与える影響は、これらプラス傾向を相殺する要素になるであろう。（渋滞に関する解説（46ページから）を参照）

モビリティ・システムは、製品やサービスが、確実かつ経済的に生産、流通することにより、近代社会の成立をその大部分において可能にしている。物のモビリティ・システムは経済活動の展開範囲や場所を決定づけるが、それは人のモビリティ・システムと同様、あるいはそれ以上かもしれない。

歴史的に、港湾、水路、鉄道は産業活動を行う場所に深く影響してきた。しかし

ながら、ここ1世紀の間に、トラックが「古い輸送技術がもたらした規模の経済を排除した」。(Glaeser and Kahn 2003) トラックは列車や船舶ほど固定インフラを必要としないため、19世紀には重要であった港湾、鉄道、または水路の近くで製造業を営むことの必要性が大幅に薄れ、その結果産業活動の分散化が進んだ。トラックはまた、販売地点まで、さらには購入者の自宅まで、より直接的に物を届けることができる。これにより、物の利用しやすさは向上する。



## D. 温室効果ガス (GHG)

輸送関連の活動によるGHG排出量には、次の4つの要素を合わせた影響が反映される。

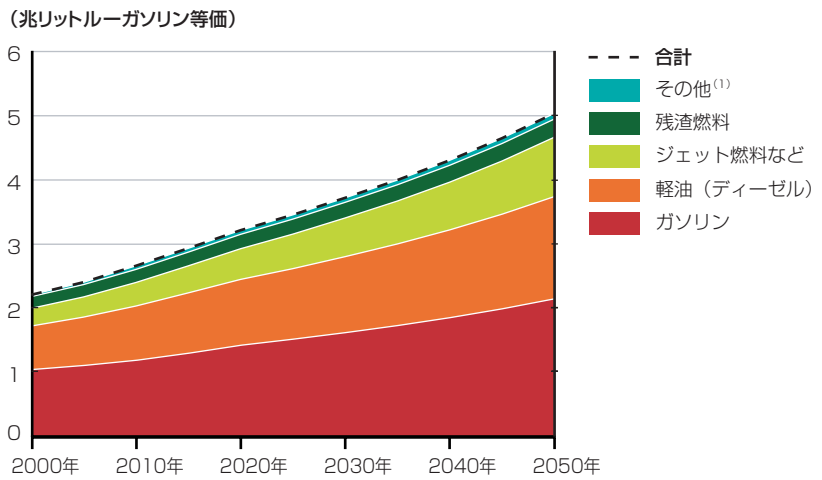
- 輸送活動の量。これは稼働させる自動車、および消費者の需要に比例する。
- その輸送活動における輸送の混合形態。これは、消費者の選択、自動車やその他の輸送形態の利用料金の設定、および輸送形態の選択に対し影響力を持つ法的・財政的対策により異なる。
- そのエネルギーのGHG排出特性。これは、使用する燃料の炭素含有量と、燃料を抽出・加工・分配するのに要するエネルギーの両方に直接的に関連している。
- さまざまな輸送形態における、輸送活動の単位あたりのエネルギー。これは、各輸送形態を構成する輸送車両のエネルギー消費特性と、それらの輸送車両が稼働する状況に依存する。

このうち最初の要素、すなわち輸送活動の量については、今後数十年間にわたって増加するであろうと述べてきた。(図2.2および2.5) また、輸送活動における輸送の混合形態が大きく変わることはないであろうという結論にも達した。(図2.3および2.6) 我々の基準ケースでは、石油系燃料であるガソリン、ディーゼル燃料、ジェット燃料は、2050年においても、輸送分野で圧倒的シェアを占めることが予測されている。(図2.12参照)

これで、最後の要素、つまり輸送車両単位のエネルギー消費特性が残った。我々の基準ケースによると、輸送活動の一般的な単位あたりの平均エネルギー消費量は、各輸送形態において間違いなく減少している。予測される減少幅は、地域、車両タイプ、輸送形態によって異なるが、世界平均では、2000年から2050年までの単位あたりのエネルギー消費削減率は、LDVでは約18%、重量トラックと航空機では29%である。輸送関連のGHG排出の大部分は、これら3つのカテゴリーが占めている。ただし、同じ期間における輸送活動の増加率は、LDVで123%、重量トラックで241%、航空機で400%と予測されており、上記のエネルギー消費量減少では追いつかない。したがってSMPでは、GHG排出量は各輸送形態、地域において増加するという予測に至った(図2.13および2.14参照)。<sup>10</sup>

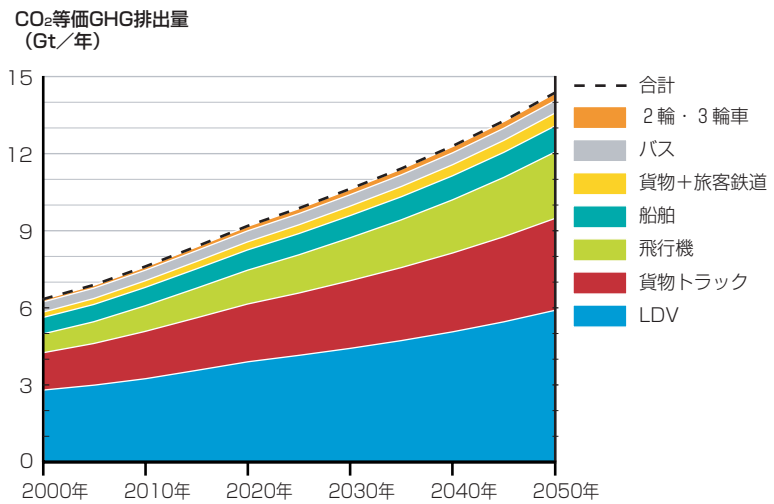
予測されるGHG排出量の増加は地域によって大きく異なり、比較的变化の少ない先進国に比べ、発展途上国でははるかに大きな伸びを示している。これは、予測される輸送活動の増加率の違いと、発展途上国では、GHGの排出削減に必要な車両技術や燃料の導入と普及が先進国に比べて遅れる可能性が高いという予測による。

図2.12 世界における輸送関連の燃料使用量—全輸送形態



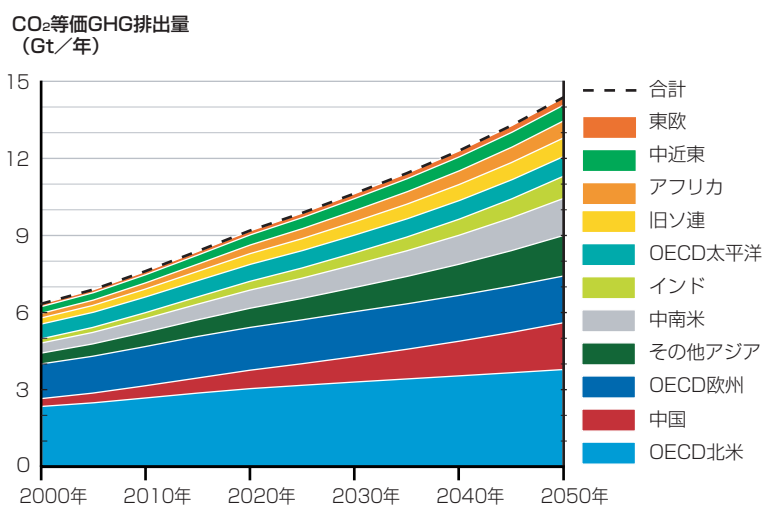
<sup>(1)</sup>CNG/LPG、エタノール、バイオディーゼル、および水素 出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

図2.13 輸送形態別のWTWにおける輸送関連のCO<sub>2</sub>排出量



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

図2.14 地域別のWTWにおける輸送関連のCO<sub>2</sub>排出量



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

## E. 先進国における従来型排出物

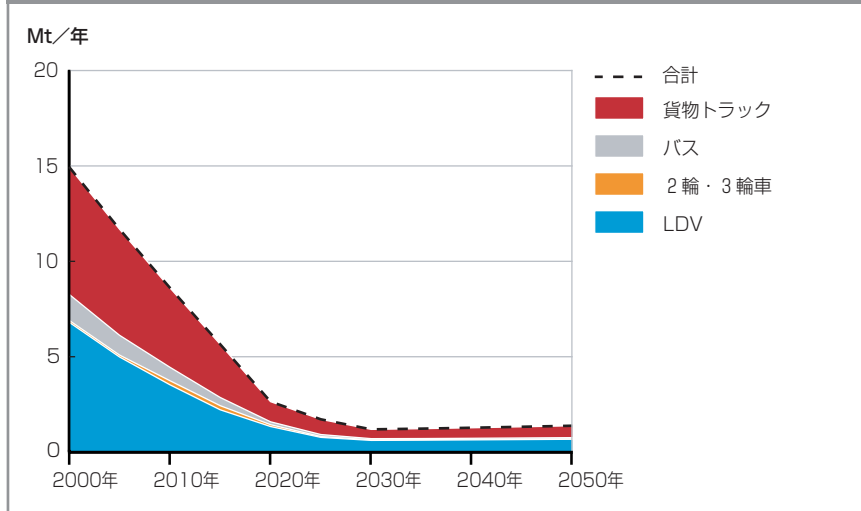
先進国では、輸送関連の「従来型」排出物（NOx、CO、VOC、鉛、粒子状物質（PM-10）<sup>11</sup>）の排出を削減するための努力が何十年も続けられている。ほぼ全世界で無鉛燃料が利用可能になり、すでに鉛は事実上除去された。

しかしながら、その他の排出物の総排出量の削減は、鉛に比べて遅れている。LDV1台の1Km走行あたりの排出量は大幅に減少したが、輸送活動の増加、および使用過程車の排出管理に関する問題が、期待される改善の一部を相殺する傾向にある。

鉛以外の輸送関連の「従来型」排出物については、総排出量を削減するための努力は実り始めている。かなり厳しい車両排出基準が適用され、新車にはその基準に適合させるための装置が搭載されつつある。また少なくとも先進国では、こうした装置の効果的な稼動に必要な、よりクリーンな燃料が生産され、普及しつつある。

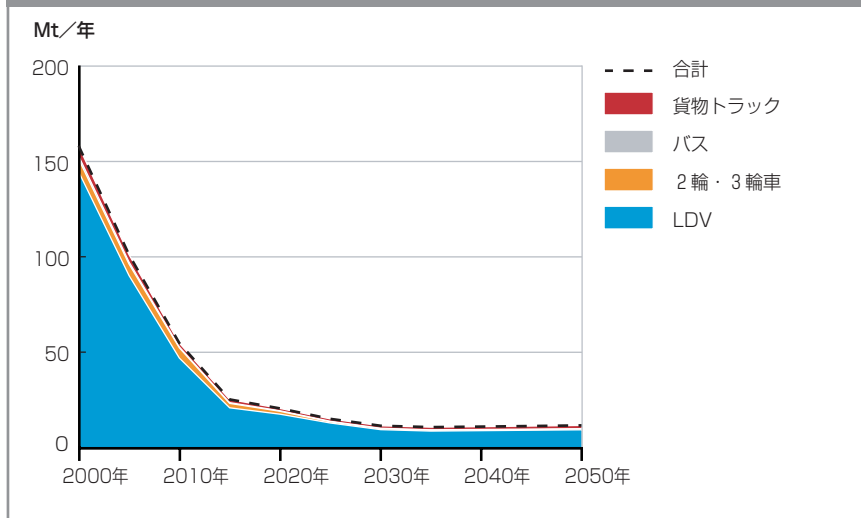
自動車と道路脇の両方に監視装置を設置することにより、現時点で排出の削減の妨げとなっている、基準に適合していない自動車を、より効果的に検知できるようになる。（第4章参照）

図2.15 OECD諸国：輸送形態別の輸送関連の窒素酸化物（NOx）排出量



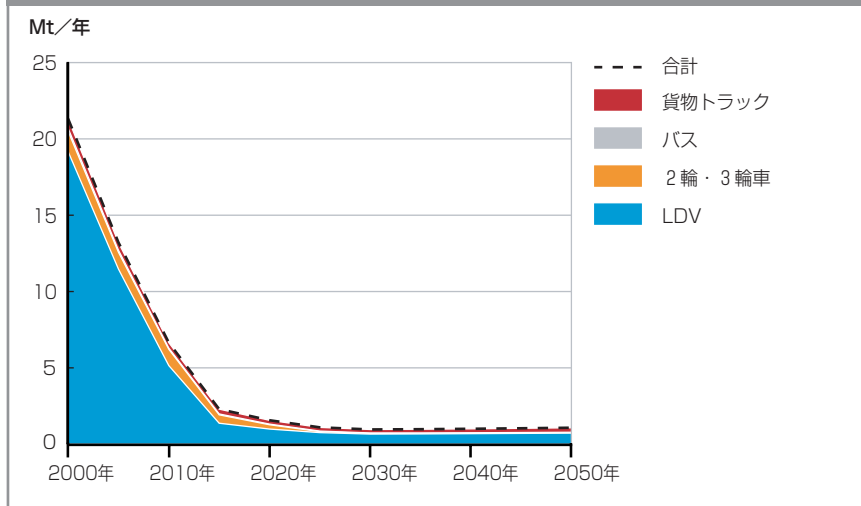
出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

図2.16 OECD諸国：輸送形態別の輸送関連の一酸化炭素（CO）排出量



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

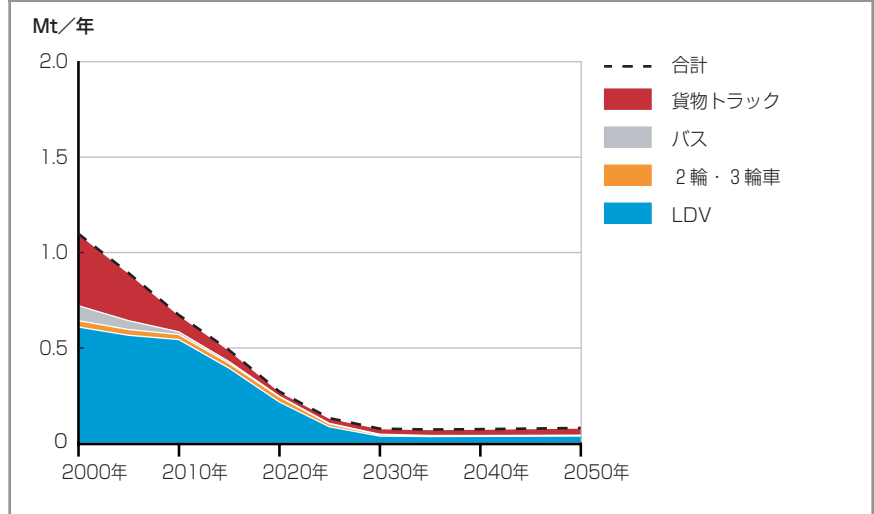
図2.17 OECD諸国：輸送形態別の輸送関連の揮発性有機化合物（VOC）排出量



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

こうした理由から、現在の方策（または実行される予定の方策）を前提とするならば、ほとんどの先進国において、これらの「従来型」排出物の排出量が大幅に減少すると予測することは、理にかなっていると考えられる。図2.15から2.18は、OECD諸国における輸送関連の各排出物の排出量を、車両の種類別に予測している。

図2.18 OECD諸国：輸送形態別の輸送関連の粒子状物質（PM-10）排出量



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

#### ボックス2.4 発展途上国で予測される輸送関連の排出物の排出量の変化に影響する仮定

第2章の冒頭で、「現在の傾向が継続する」というフレーズについて論じた。発展途上国における輸送関連の従来型排出物の排出量の変化についてのSMPの予測を見るにあたり、この仮定の意味を補足説明する必要がある。

発展途上国のほとんどでは、新たに発売されるLDVに一定の排出抑制策を実施し始めている。こうした抑制策は、米国、欧州、日本ですでに採用されているものと同等である。また、ほぼすべての発展途上国は、時間的な遅れの度合いは異なるものの、現在先進国で実施されている基準にいずれ到達するように計画していると表明している。

もちろん、SMPの予測において重要なことは、排出抑制策が取り入れられる時期だけにとどまらない。実際の排出量は、確かにこの時期にも依存するが、車両の買い替え率や排出基準の遵守の有効性にも左右される。本報告書の最終章で解説するとおり、これらの条件は、発展途上国で従来型排出物を削減するにあたり、特に困難な問題となる。

基準ケース予測では、発展途上国全体における排出抑制策の採用と効果的な導入の速度について、その時間的な遅れを一律10年と仮定した。しかし、これは楽観的な見方かもしれない。最終章では、この時間的な遅れの変化が我々の予測に及ぼす影響を示し、その遅れに影響する可能性のある行動について解説する。

発展途上国において、先進国の排出規制が一定の遅れを伴って採用され、正常に導入されるであろうという仮定は、我々の「新たな政策が実施されない」という仮定に反する。しかしながら、新たな政策が実施されない場合も、安全対策がとられた場合（以降で解説）も、発展途上国の方向性は十分に明確であるため、その将来の行動を基本的に既成事実として扱うことに支障はないと判断している。

## F. 発展途上国における従来型排出物

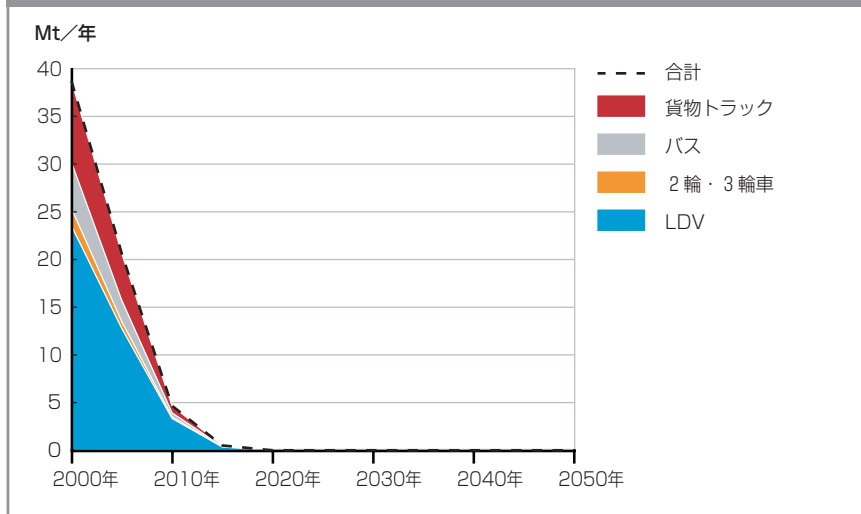
発展途上国（特に急速に成長しつつある都市部）における「従来型」排出物の状況は、先進国とはやや異なる。無鉛燃料はほとんどの地域で導入済み（または近々導入される予定）であるため、輸送関連の鉛の排出はまもなく皆無となるであろう。しかし、その他の輸送関連の「従来型」排出物はそう容易に、また急速には削減されない。

ほとんどの発展途上国では、輸送活動の増加スピードは先進国と比べてはるかに速いが、自動車の排出物制御技術およびそれに必要な燃料の導入が先進国よりも大幅に遅れている。我々の基準シナリオでは、この遅れは今後も継続すると予測されている。（第4章では、その影響を遅れの程度を変えて分析する。）

さらに発展途上国では、使用過程車の排出基準への適合を保証することが先進国に比べて難しいと考えられる。これらすべての要因により、多くの発展途上国では、ほとんどの従来型排出物の総排出量が、最終的には減少の道をたどるものの、今後数十年間は確実に増加し、さらにそれ以上の期間にわたって増加する可能性が高いという予測に至った。

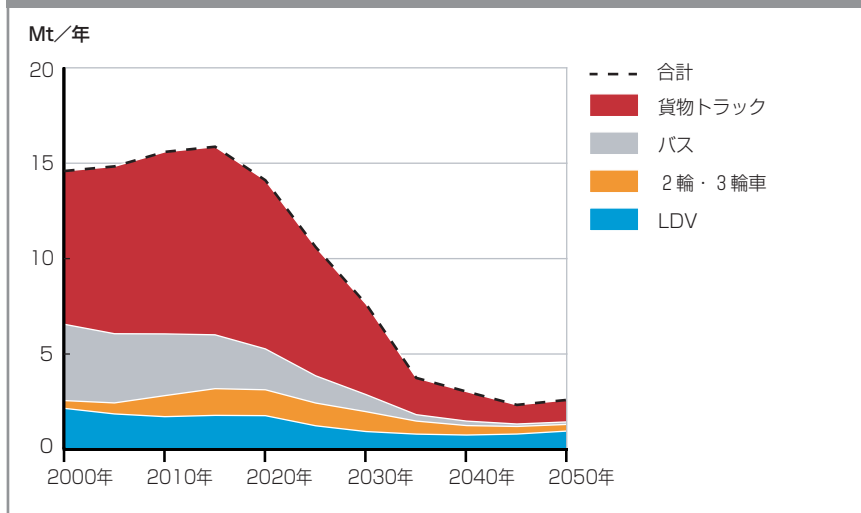
図2.19から2.23は、輸送形態別の発展途上国全体における2050年までの鉛、NOx、CO、VOC、および粒子状物質（PM-10）の輸送関連の排出物についての基準ケースの予測を示している。

図2.19 非OECD諸国：輸送形態別の輸送関連の鉛（Pb）排出量



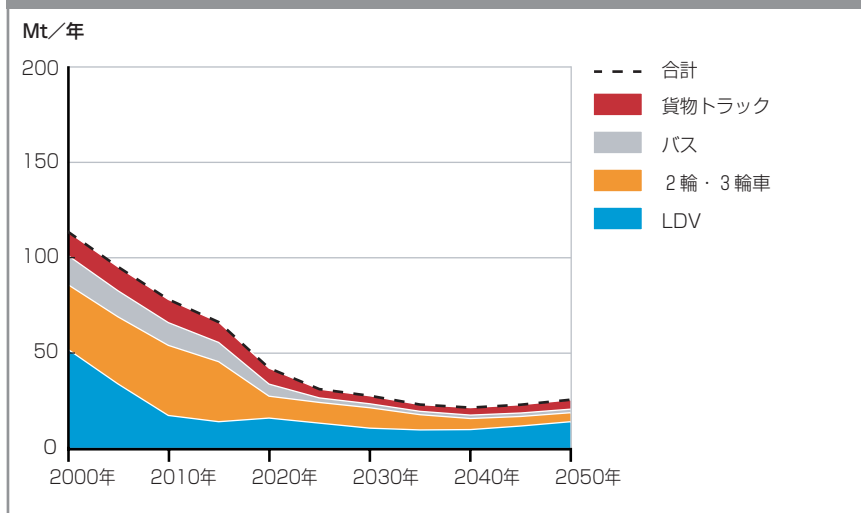
出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

図2.20 非OECD諸国：輸送形態別の輸送関連の窒素酸化物（NOx）排出量



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

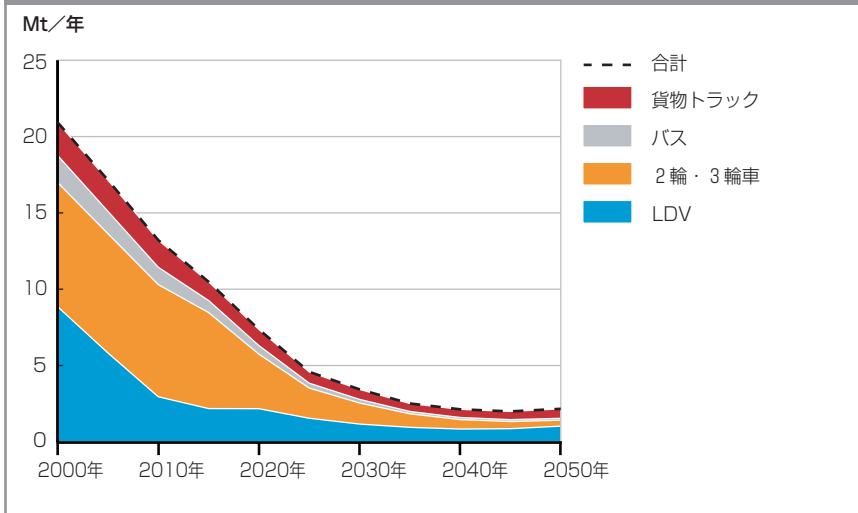
図2.21 非OECD諸国：輸送形態別の輸送関連の一酸化炭素（CO）排出量



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

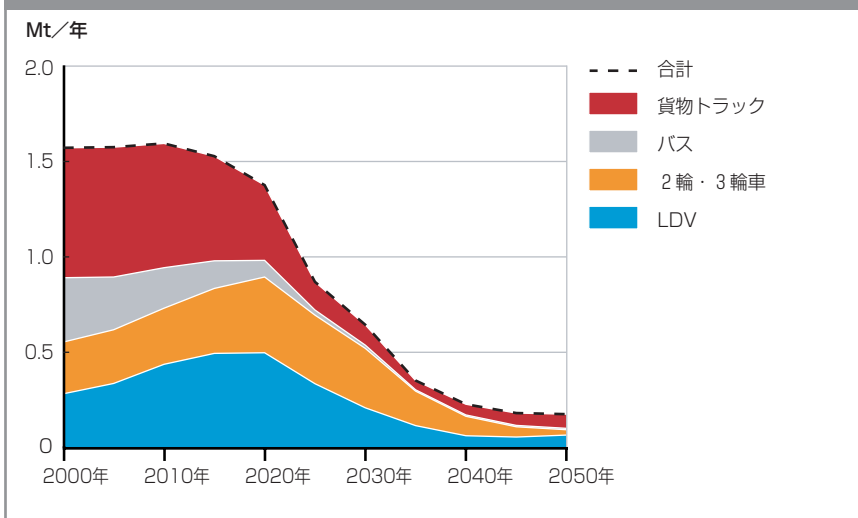


図2.22 非OECD諸国：輸送形態別の輸送関連の揮発性有機化合物（VOC）排出量



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

図2.23 非OECD諸国：輸送形態別の輸送関連の粒子状物質（PM-10）排出量



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出



## G. 死亡・重傷者数

2000年には、世界中での交通事故による死亡者は推定120万人、さらに重傷者は推定780万人であった。世界保健機関（WHO）によると、1990年における世界の疾病・負傷原因のうち、交通事故は9番目の要素であった。（WHO 2004）

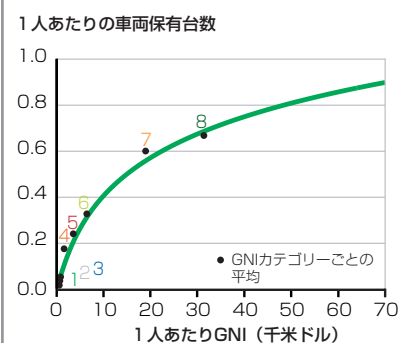
WHOのランキングは120万人という交通事故死亡者数とは整合性があるが、道路関連の重傷者数については、2つの理由により、その数値を少なく述べている可能性がある。1つ目の理由は、WHOはこのランキングの作成にあたり、重傷者数が少なく報告されていることを部分的にしか考慮しなかったことである。2つ目の理由は、重傷によって正常な生活が営めない期間の平均が、はるかに短く見積もられていることである。これは、一生涯、完全に、または部分的に正常な生活が営めなく

なる重傷が占める割合を少なく計上したことが原因である。Koorstraは、これらの要素を考慮して調整すると、交通事故による死亡・重傷者は、世界の疾病・負傷原因のうち、9番目から5番目上がるであろうと推定している。（Koorstra 2003, p.10）<sup>12</sup>

### 1. 基準ケース予測

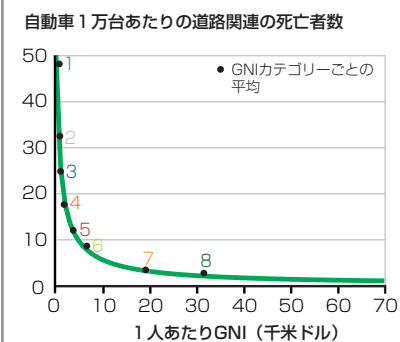
道路関連の死亡・重傷者数は、主に2つの要素の相対的变化率に左右される。その要素とは、モータリゼーションのレベル、およびその単位あたりの死亡・重傷率である。Koorstraにより作成された図2.24および2.25では、これら2つの要素と、2000年のデータによる1人あたり実質所得のレベルとの関係を示している。<sup>13</sup> この2つのグラフの線上にある数字は、1人あたり国民総所得（GNI）の範囲をもとにした国のグループ分けを表している。このグループ分けの内容は、表2.3で示されている。

図2.24  
モータリゼーションと1人あたりGNIの関係



出所：Koorstra 2003, p. 8

図2.25  
1万台あたりの死亡者数とGNIの関係



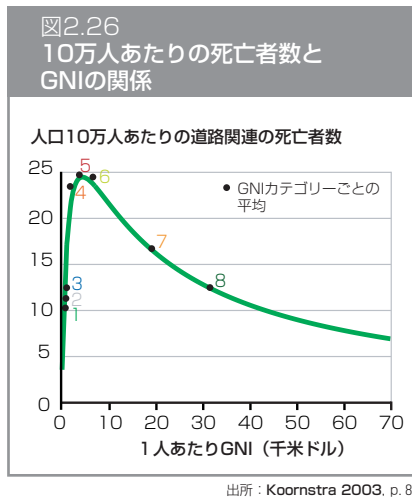
出所：Koorstra 2003, p. 8

表2.3 1人あたりGNIにより分類される国のグループ

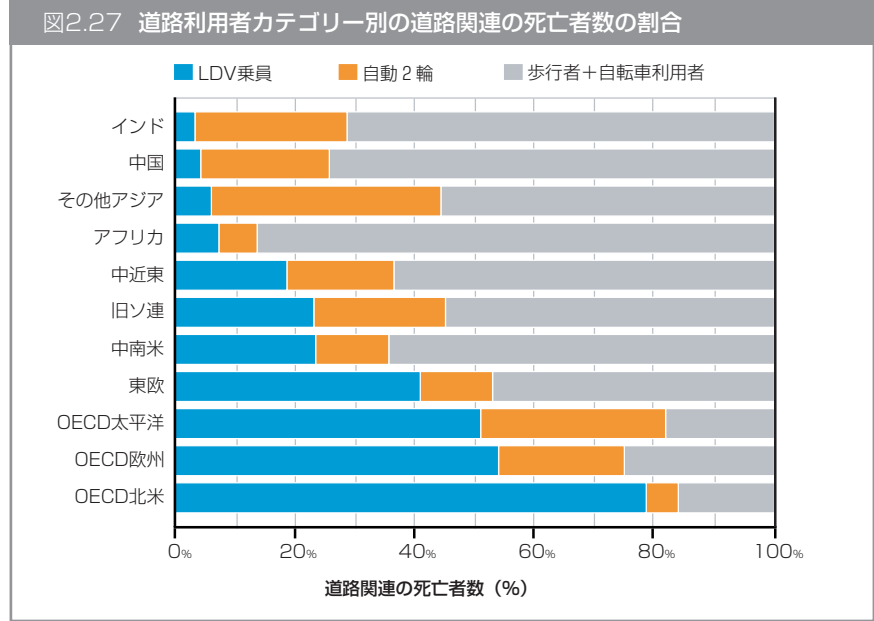
グループ	1人あたりGNIレベルのカテゴリーに含まれる国	2000年の人口 (100万人)	1人あたりGNIの範囲 (千米ドル)	平均1人あたりGNI (千米ドル)	年間増加率 2000年~2015年 人口	1人あたりGNI
1	ベトナム、バングラディッシュ、ミャンマー、ラオス、カンボジア、ネパール、モンゴル、キルギスタン、タジキスタン、イエメン、アフガニスタン、サハラ以南・中南部・東部アフリカ諸国	893.5	0.40未満	0.27	2.36%	2.9%
2	独立国家共同体諸国、コートジボワール、コンゴ、カメルーン、レソト、セネガル、ジンバブエ、ギニア、インドネシア、パキスタン、インド、ハイチ、ニカラグア	1568.0	0.75~0.40	0.49	1.22%	3.9%
3	エジプト、モロッコ、シリア、スワジランド、カーボベルデ、赤道ギニア、アルバニア、ボスニア/ヘルツェゴビナ、パラグアイ、エクアドル、ボリビア、ホンジュラス、カザフスタン、トルクメニスタン、スリランカ、フィリピン、中国、ババアニューギニア、オーシャン島	1547.0	1.50~0.75	0.90	0.75%	4.1%
4	ベラルーシ、キューバ、ジャマイカ、ドミニカ共和国、コロンビア、ペルー、エルサルバドル、グアテマラ、タイ、リトアニア、ラトビア、欧州中南部、ロシア連邦、チュニジア、イラク、ヨルダン、イラン、アルジェリア、ナミビア、オセアニア諸島	520.0	3.00~1.50	1.85	0.69%	3.5%
5	ポーランド、スロバキア、エストニア、リビア、レバノン、台湾、マレーシア、ベネズエラ、コスタリカ、ブラジル、パナマ、トルコ、ガボン、南アフリカ、モーリシャス	415.0	4.50~3.00	3.55	1.10%	2.7%
6	大韓民国、サウジアラビア、オマーン、アルゼンチン、ウルグアイ、チリ、メキシコ、欧州中東部諸国	252.5	9.25~4.50	6.27	1.07%	2.1%
7	南欧諸国、カナダ、オーストラリア、ニュージーランド、イスラエル、アラブ首長国連邦	245.0	24.0~9.25	19.02	0.22%	1.8%
8	米国、日本、欧州北西部および中西部諸国、香港、シンガポール、ブルネイ	632.5	24.0超	31.33	0.44%	1.5%

出所：Koorstra 2003, p.7

この2つの関係を組み合わせると、図2.26に示されているとおり、1人あたり所得のレベルと住民10万人あたりの道路関連の死亡者数との関係がわかる。図2.24と2.25の相反する傾向を反映して1人あたり所得が増加し、モータリゼーションが進むに従って、地域における住民10万人あたりの死亡率は、まず急激に増加し、その後減少に転じる。



このパターンについては「常識的な」説明ができる。モータリゼーションの初期段階では、交通流全体では、「従来型」原動機付き車両、つまり自動車、トラック、バスの数は少なく、原動機付きでない輸送形態（徒歩と自転車）が主流である。一部の地域、特にアジアでは、自動2輪・3輪車が道路上の車両の大部分を占めている。道路利用者別にインフラが分かれているわけではないため、乗り物により比較的保護されている「従来型」自動車、トラック、バスの運転者および利用者とは比べ、特に被害者となりやすいグループ、つまり歩行者、自転車利用者、自動2輪・3輪車の運転者や利用者が、死亡者数の高い割合を占めることになる。図2.27では、2000年における道路利用グループ別の車両関連の総死亡者数



に占める割合を地域ごとに比較している。歩行者、自転車利用者、自動2輪・3輪車の運転者が車両関連の総死亡者数に占める割合は、OECD諸国における同等の計測結果に比べ、低所得地域において著しく高い。

KoornstraがSMPのために行った基準ケース予測では、モータリゼーションが高度に進んだ国で観察された道路関連の死亡・重傷者数の漸進的変化を説明するため、長期にわたるリスク消滅要因を追加した。基準ケース1では、この要因は全車両から自動2輪車を除いたモータリゼーションのレベルに左右され、基準ケース2では、自動2輪車を含むモータリゼーションの総合的レベルに左右されるものとした。これは図2.28~2.30に示されている。

基準ケース1では、この追加された要素により、基準ケース2に比べ道路関連の死亡・重傷率はより大きく低下している。またどちらの基準ケースにおいても、当初推測されていた死亡・重傷率と所得レベルとの単純な関係よりも低下幅は大きい。図2.26で示されている、追加さ

れたリスク消滅要因から導き出される論理は、所得の増加とモータリゼーションの進化が同時に起こると、その地域の道路交通においては原動機付きの車両がより大きな割合を占め、中でも「従来型」原動機付き車両の割合が大きくなるということである。2つの基準ケースの違いは、これら2種類の原動機付き車両が交通量においてどのような相互作用を及ぼすのかについてだけでなく、その相対的割合についての仮定がいかに重要であることを示している。



図2.28a 地域別の道路関連の総死者数—基準ケース 1

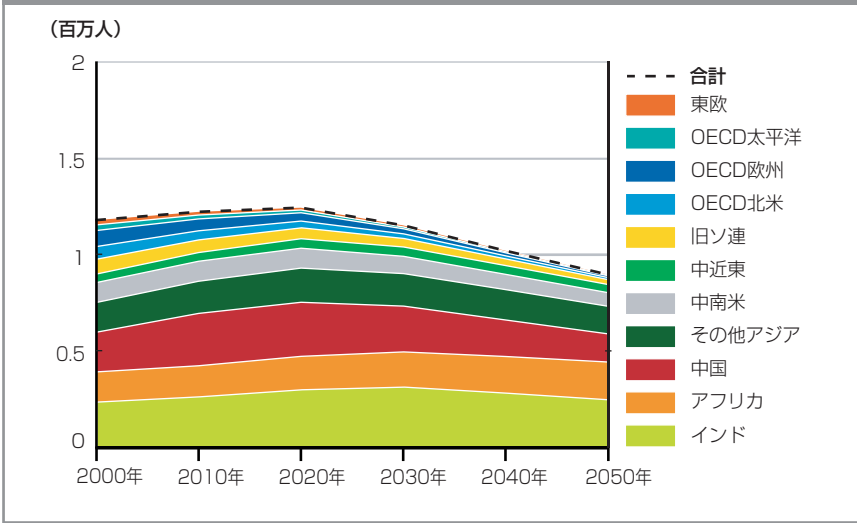


図2.28b 地域別の道路関連の総死者数—基準ケース 2

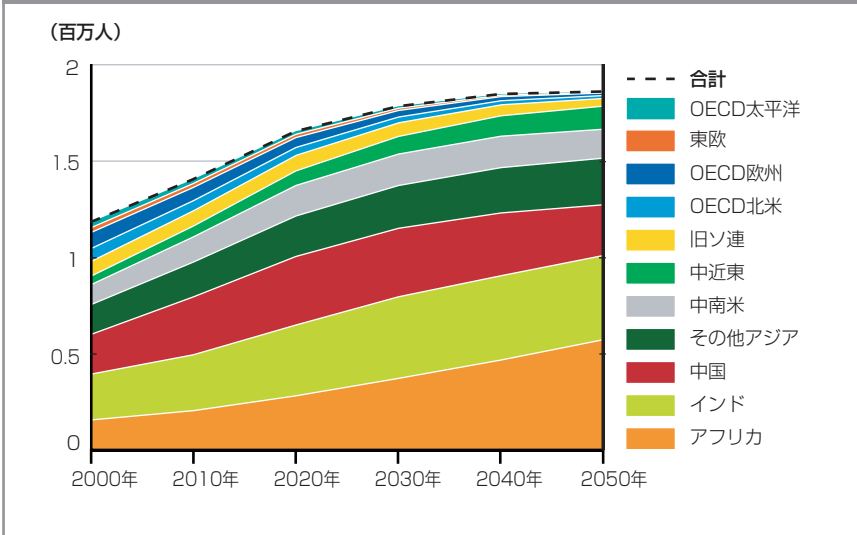


図2.29a 地域別の自動車1万台あたりの死亡率—基準ケース 1

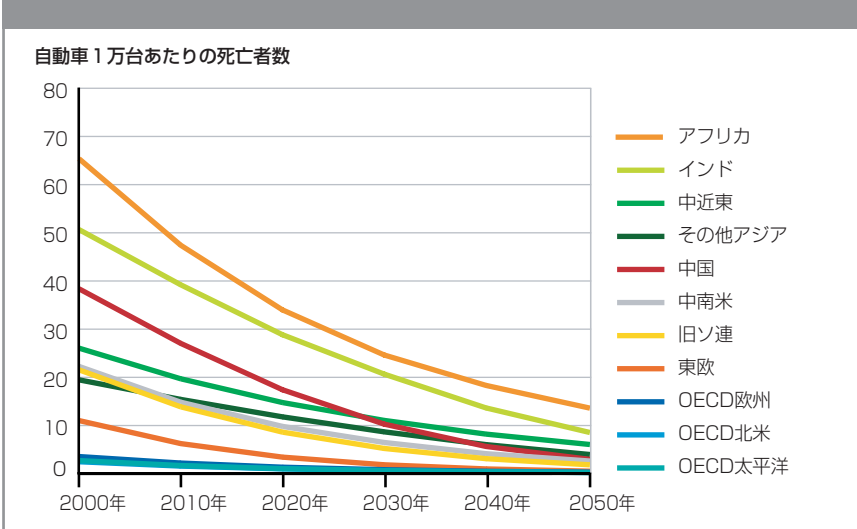


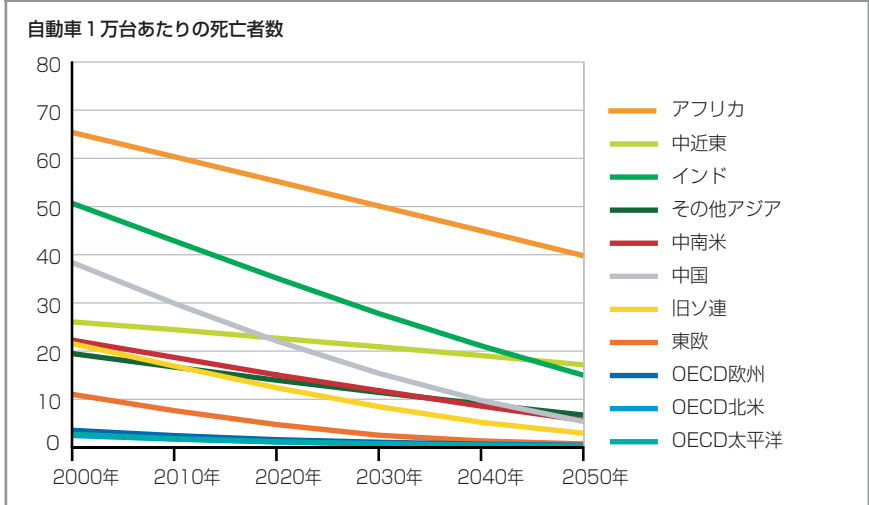
図2.28、2.29、2.30は、Koornstraのそれぞれの基準ケースを使用した、地域別の道路関連の総死者数、車両1万台あたりの死亡率、および人口1万人あたりの死亡率をそれぞれ示している。各図のaのグラフは基準ケース1、bのグラフは基準ケース2を示す。

OECDの3地域は、図2.28、2.29、2.30のすべてのグラフにおいて似通った傾向を示している。道路関連の総死者数は世界の総死者数から見ればほんのわずかな割合で、車両1万台あたりの死亡率、人口1万人あたりの死亡率とも、他のほとんどの地域よりも低い。どの数値も、両方の基準ケースにおいて、2000年から2050年までの間に大幅に減少すると予測される。

他の地域の傾向はより複雑である。旧ソ連や東欧では、いずれも道路関連の総死者数は少ない。しかし、車両1万台あたりの死亡率および人口1万人あたりの死亡率は、予測開始時の2000年には非常に高いレベルにあり、これはモータリゼーションが比較的進んでいるにも関わらずインフラが整備されていないことを反映している。特に東欧では、いずれの死亡率も時間を追うごとに減少しており、2050年までにはOECD諸国と遜色のないレベルに到達するであろう。旧ソ連における同時期の人口1万人あたりの死亡率は、OECD諸国や東欧に比べてやや高いが、その差は急速に縮まりつつある。

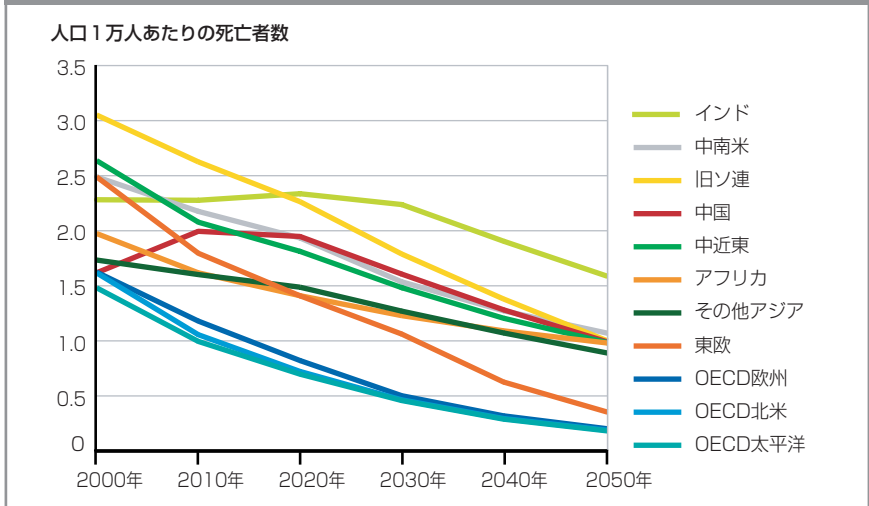
発展途上国の特定の地域では緊急の課題が存在している。車両1万台あたりの死亡率はすでに一般的に減少傾向を示しており、今後も着実に減少すると予測される。中国およびインドにおける人口1万人あたりの死亡率は、2010年から2030年の間に減少に転じると予想されているが、OECD諸国におけるレベルに比べると、高いままにとどまると見込まれる。中南米、その他アジア、中近東、アフリカではいづらか改善が見られるかもしれないが、2030年までにOECD諸国のレベルに到達することはないであろう。

図2.29b 地域別の自動車1万台あたりの死亡率—基準ケース2



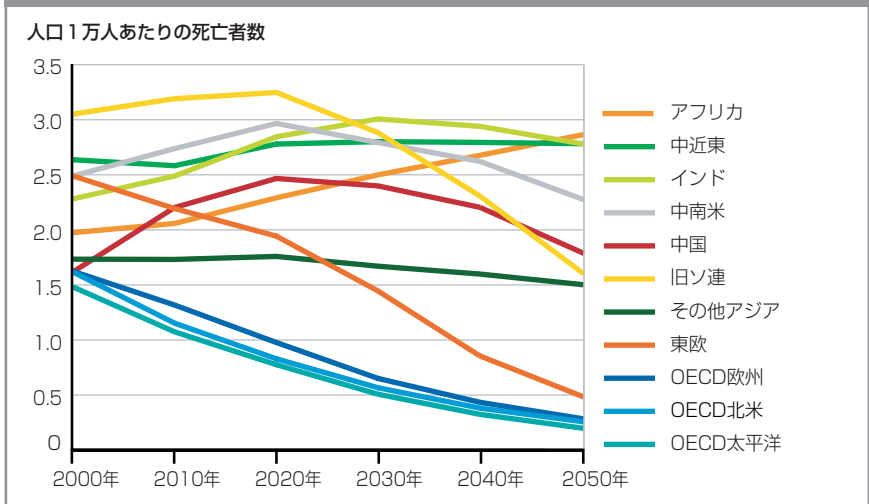
注記：基準ケース1および基準ケース2では長期にわたるリスク削減要因の想定が異なる。  
出所：Koonstra 2003に基づく持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

図2.30a 地域別の人口1万人あたりの死亡率—基準ケース1



注記：基準ケース1および基準ケース2では長期にわたるリスク削減要因の想定が異なる。  
出所：Koonstra 2003に基づく持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

図2.30b 地域別の人口1万人あたりの死亡率—基準ケース2



注記：基準ケース1および基準ケース2では長期にわたるリスク削減要因の想定が異なる。  
出所：Koonstra 2003に基づく持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

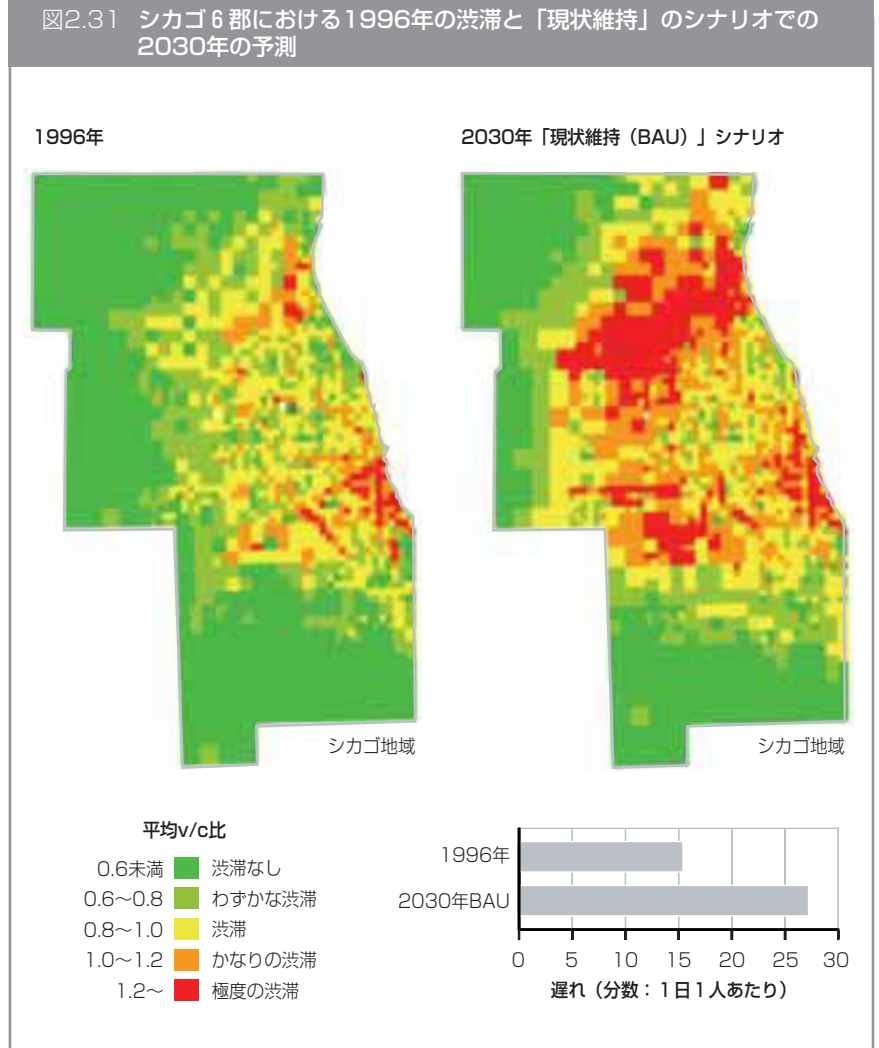
## H. 渋滞

第1章で設定した指標を考案するにあたり、我々は2つの異なる指標に渋滞の影響を反映した。その指標とは、ドア・ツー・ドアの移動（または荷物の輸送）にかかる平均時間の増加と、それに対する確実性の増大である。表計算モデルではどちらの指標についても予測を行っていないが、輸送活動のレベルは予測している。

先進国と発展途上国の多くの主要都市部で渋滞が増加するであろうというSMPの予測のもととなっているのは、輸送活動の増加が、妥当とされるインフラ容量の増加よりも大幅に速く進むであろうという予測からである。

交通機関のプランナーが渋滞の可能性を示す指標として使用する基準に、ある場所でのインフラの推定容量に対する予測交通量の平均の比、つまりその場所における「平均v/c (volume/capacity) 比」がある。v/c比と渋滞は必ずしも比例関係にはない。v/c比がある一定の値未満の場合は、交通は「スムーズに流れて」おり渋滞は起こらない。平均v/c比がこの「臨界」値を越えると、渋滞が起こる可能性が高まり始める。平均v/c比がさらに増加すると、渋滞は避けられない。

次に示す図2.31は、1996年のシカゴとその周辺地域を含む6郡における加重済み渋滞レベル、および「現状維持 (BAU)」シナリオに基づく2030年の加重済み渋滞レベル予測を示している。これらの渋滞予測は、平均v/c比の変化予測に基づいて行われている。(図2.31の左下の凡例では、平均v/c比、予想される渋滞レベル、2枚の分布図の色分けの関係を示している。) この「現状維持」シナリオでは1996年から2030年までの期間にインフラ容量が変化する。つまりシカゴ地域では、道路、高速道路、および高速路線のメンテナンスや容量拡大に、500億米ドル以上の



出所：Commercial Club of Chicago 2002, pp.13, 56-57

投資が推測されている。しかしながら、道路交通量がインフラ容量の増加を上回る速度で増加すると予測されているため、図2.31の右上の図のような結果になると考えられる。

そして、図2.31の右下のグラフは、上の2枚の分布図に示された渋滞レベルを、その地域の住民が2030年に経験するであろう1日あたりの渋滞関連の移動の遅れに換算し、1996年と比較している。これは、前述の渋滞に関する2指標のうちの一つである移動にかかる平均時間の増加を測定するための基準となる。平均v/c比によって、もう片方の指標である移動にかかる時間の確実性を直

接測定することはできない。ただし、移動の平均時間が増加すれば、事故や機械の故障、有害物質の漏れなど、一時的渋滞の要因が発生する可能性も高くなる。

シカゴ地域が特別だということではない。図2.32は、ドイツ自動車協会が予測した、ドイツのアウトバーン・システムの区間で2015年に予測される渋滞を示している。また、図2.33は、現在の東京のレベルを示している。どちらも輸送活動とインフラ容量の実際の（または予想される）関係に基づいたものである。

図2.31  
ドイツの高速道路において2015年  
に予測される交通問題と渋滞



出所：VDA 2003, p.31

図2.33  
東京における平均的なラッシュ  
アワーの移動速度と交通量



出所：TDM Tokyo Action Plan 1999

## 1. 将来の渋滞レベルの予測方法の確度

渋滞が移動にかかる平均時間に及ぼす影響を予測するための方法は、論理的ではあるが絶対に確実なものではない。一部の地域では、移動活動とインフラ容量の両方が予測どおりに増加しても、移動の平均時間はそれほど増加しない。たとえばフランスでは、ここ数十年間で道路交通量が大幅に増えたが、道路を使用した都市部における平均的移動にかかる時間はそれほど増加しなかった。

これにはいくつかの理由が考えられる。公共交通機関と道路インフラに対する的を絞った投資により、「ボトル・ネック（交通流を妨げる場所）」は緩和されるからかもしれない。また、人々が移動の習慣や、居住地、勤務地、買い物のパターンなどを変えることによって、実際の（または予測される）渋滞に合わせた調整を行うからかもしれない。しかしこうした行動は、この指標で測定される渋滞の深刻化をある程度相殺する可能性はあるが、それは不規則に行われる。このような調整を行う人々が、本来一般の道路利用者が負担すべきである外的渋滞費用を、個人費用として背負うことになる。したがって、標準的な方法で予測した通りに渋滞が増加しないからと言って、予測される渋滞にかかる費用が発生しないと考えることはできない。むしろ、本来負担すべき人々の費用が転嫁されただけのことである。

## I. セキュリティ

現在はテロリストによる行動が最大の注目を集めているが、一般的には輸送関連のセキュリティが最大の関心事である。人の輸送に関して言えば、強盗、誘拐、暴力・破壊行為は多くの国や地域で旅行者が日常的に直面する脅威となっている一方、輸送中の物品の盗難については世界中で懸念が増大している。たとえば、欧州運輸大臣会議（ECMT）による『Crime in Road Freight Transport』という調査では、次のように述べられている。

「一部の（欧州の）国では、使用されている貨物車のうち最大1%が毎年盗難に遭っている。…情報によれば、問題は多くの国で深刻化している傾向にあるという。1995年から1999年までに発生した車両盗難を11カ国について分析した結果、2カ国では減少

したものの、その他の国では最大50%の増加が見られた。

盗まれる物品としては、特に電化製品や電子製品、衣料や靴が多く、次に家庭用品、タバコ、アルコール類がある。ただし車両から盗まれる物品の価値に関するデータは（欧州全体では）知られていない」（ECMT 2002）

発展途上国では人および貨物の輸送活動が飛躍的に伸びるとSMPでは予測しているが、これは人と財産のセキュリティへの潜在的脅威も今後高まることを意味する。

したがって、こうした注目度は低いものの人と物の日々のセキュリティに対する脅威は、政治的動機を持つテロがもたらす脅威よりも、モビリティの持続可能性に対していっそう大きな挑戦となる。人々が公共交通機関や自家用車の使用中

に安全を感じることができなければ、また、窃盗や盗難を危ぶむことなく物を移動させることができると輸送業者が感じることができなければ、成長と発展の促進に不可欠な役割を果たすモビリティ能力には深刻な打撃となるであろう。

## J. 騒音

「騒音」は「無用な音」と定義される。それは客観的な物理的現象（音）と人々の主観的な心理的影響が重なったものである。（City Soundings 2003）このことは、騒音は渋滞問題と同様、非常に局所的な現象であることを示唆している。それはまた、騒音への過敏さが非常に局所的になりやすいことも示唆している。

とりわけ都市部においては、輸送活動は騒音の主な発生源である。「往来の激しい道路、主要鉄道本線、航空機はロンドンの近隣騒音の主要な発生源である」。<sup>14</sup> また、輸送手段の特性、利用形態、利用者の挙動、交通量が互いに影響し合いながら「騒音」を生み出すメカニズムはきわめて複雑である。

SMPの表計算モデルでは騒音の予測はしていない。しかし、いくつかの指標と同様、さまざまな騒音の要因に関する情報を組み合わせることにより、輸送関連の騒音に対して見込まれる傾向を合理的に推察することができる。

### 道路交通騒音

道路交通関連の騒音のレベルにとって最大の要因の1つは、特に都市部における総交通量である。交通の速度とパターンもまた重要である。高速（時速80Km以上）時には、タイヤ・道路間接触（TRC）が最大の騒音の発生源となっているが、こうしたケースの代表例として、交通流の規制が無い状態にある都市近郊の密集地区（近郊環状地域など）の高速





道路が挙げられる。また、時速約50Kmで、中加速度（約 $1\text{m/sec}^2$ ）の道路でも、TRCが依然として騒音の大きさの原因の大部分を占める。そのケースの例としては、渋滞が全くない、もしくは少ない時間帯における都市部の大通りでの自動車走行が挙げられる。さらに低速度（時速25Km～35Km）で高加速度（ $2\text{m/sec}^2$ 以上）の道路では、自動車の動力装置（エンジン、吸気装置、排気装置）からの騒音が圧倒的であり、このようなケースの代表例は、住宅街や渋滞時間帯の道路での自動車走行である。

本章ではすでに、貨物輸送の増加をはじめとする輸送活動の増加を予測したが、この大部分は、渋滞が増した都市部で起きであろう。都市部での渋滞は平均して悪化するだけでなく、日に日に長くなる可能性もある。こうした要因が道路交通からの騒音増加につながっている。

騒音増加を防ぐ要因がいくつかある。1台あたりの自動車から発生する平均的な「走行中の」騒音は、自動車設計の改良と低騒音タイヤにより減少できるかもしれない。<sup>15</sup> 政府は、道路騒音を発生させている路面と道路メンテナンスの重要性を認識し始めており、これらの面で改善が図られるかもしれない。対策として、すでに多くの政府が主要高速道路に沿って防音壁を設けた。

正確にどの程度の騒音関連の活動が可能かを決定付ける情報は存在していないが、道路交通関連の騒音の減少を予測することはきわめて楽観的と思われる。



#### 航空機からの騒音

その他の輸送関連の騒音の主な発生源として航空機があり、特に離着陸時の空港周辺に響く騒音は問題となっている。各航空機の騒音レベルの影響と離着陸の頻度を組み合わせた調査を政府が実施したところ、日常的に不快なレベルの騒音にさらされる区域はほとんどの空港の周辺でかなり減少していることが明らかになった。航空機エンジンの騒音ははるかに小さくなり、空港では騒音を抑制するフライト手順が用いられている。これにより航空機の運行作業数の大幅な増加にもかかわらず、航空機からの騒音の削減が可能となった。

今後どのような航空機の騒音抑制技術が登場するのかは予想できないが、現在実用化されている最も高度な騒音抑制技術はすべての航空機に導入されているわけではないので、1フライトあたりの平均騒音量のさらなる削減は可能である。しかし、総知覚騒音量は、平均的な騒音と、それをどの程度の頻度で聞き手が聞くことになるかによる。航空機を利用した移動はこれからの数十年で極めて急速に増加すると予測されているが、その増加がある特定の飛行場においてどの程度フライト数の増加へと直結するかは、今後の

平均航空機サイズと乗客積載重量の成り行きによる。世界規模の民間航空機メーカーであるエアバス社とボーイング社は、どちらもフライト数の増加を予測しているが、エアバス社が予測する増加率はボーイング社のそれほど大きいものではない。（Boeing 2003）（Airbus 2002）

フライト数がどちらかのメーカーが予測するペースで増加した場合、航空機の騒音レベルに対する圧力は強まるであろう。しかしながら、どのようにしたら航空機の騒音の減少とフライト数の増加のバランスを保てるかについては、はっきりとはわかっていない。全体的に見て、航空機からの騒音は減少しないと見込まれている。

## K. 材料、土地、エネルギー

運輸部門、特に道路輸送は、材料、土地、エネルギーの主な使用者である。材料の使用については後述する。1996年には、輸送インフラがEUの地上総面積の1.2%を占め、そのうち93%は道路網（高速道路、州道、県道、および自治体道路）であった。（EEA 2001）さらに、輸送は石油系燃料の最大の使用者であり、今後もその状況は変わらないと見込まれている。

## 1. 材料の使用

SMPはCamano Associatesに対し、道路車両における材料使用の将来的傾向を、資源の入手可能性と車両の材料消費に重点を置いて分析するよう依頼した。(Camano Associates 2003)<sup>16</sup> この分析は、SMPの基準ケースの予測と整合性がとれるよう考案された自動車、トラック、バスの材料消費に基づいて行われた。つまり、プロジェクトの表計算モデルと類似した車両クラス、地域、販売数の仮定を使用した。この章で報告する結果を作成するにあたり、調査担当者は、現在の傾向が継続すると仮定した。したがってこれらの結果には、「軽量化」など、材料に関連するさまざまな戦略の影響は反映されていない。

調査担当者の最初の作業は、LDVの詳細な材料構成を算出することだった。<sup>17</sup> まず10種類の主要材料グループを選択し、さまざまな種類のLDVで使用されるこれらの推移を地域別に予測した。こうした試算は、公表されている資料、個人的対話、モデリング、およびマサチューセッツ工科大学の材料システム研究所で行われた作業の分析結果の組み合わせに基づくものである。<sup>18</sup>

そして予測の結果得られた車両の材料構成はSMPの基準ケースから得られた販売シェア予想に従って材料グループごとの地域別総消費量、および全世界の総消費量として示されている。

### a) リサイクル材料の使用

運輸部門では大量の材料が消費されるため、登録抹消された車両に使用されている材料も、リサイクル材料市場で重要な役割を果たす。そのため、回収される材料の量が地域別に推測され、それを材料の総消費量と比較することにより、リサイクル材料の他に、新品の材料がどの程度必要なのかを算出で

きるようにした。

リサイクルできる材料の量は次の方法で算出された。表計算モデルの車両耐用年数（世界平均で約17.5年）を使用して、1年間に登録抹消される車両の数と、これらの車両の「車齢」を予測した。次に、この情報とCamano Associatesが仮定したリサイクル効率を使って、リサイクル材料の概算を出した。<sup>19</sup>

このリサイクル効率の仮定についてあら探しをすることは簡単である。たとえば、Camano Associatesはプラスチック、ガラス、ゴムについて、リサイクル効率が常にゼロと仮定している。この仮定は、たとえばリサイクル効率を長期にわたり増加させなければならないEUの廃車（ELV）指令とは一致していない。しかしここでは、材料利用に関する予測の主な目的が、資源の利用可能性と材料消費を示すことにあったと認識することが重要である。したがって、プラスチックの予測リサイクル効率がゼロということは、車両から回収されたプラスチックは（その量に関わらず）、自動車製造用途に大量に利用されることはないという意味と理解されたい。また同時に、そのようなリサイクル材料を使用することにより、資源の利用可能性に重要な影響が及ぶことはないという意味でもある。

リサイクルに関するもう1つの仮定は、他部門から回収された材料が、車両製造に使用されることはないということである。

### b) 軽量車（LDV）の材料構成において仮定される変化

将来の自動車と軽量トラックの材料構成について、いくつかの重要な仮定が行われた。最も重要なものは、鉄類（主に軟鋼や鋳鉄）の大部分が、より軽量で特定の性能に優れた材料、特にアルミニウムや高張力剛板に変更されるであろうということである。車両が大きくなれば、変更される部分も多くなる。その結果、北米と日本については、他の地域よりも重量の変化が大きくなることが予測される。さらにこれらの地域では、こうした技術がより大きな影響力を持つため、製造者はこうした技術の利用と開発を支援している。

従来のスチールが高張力剛板に変更されることで、鉄類をアルミニウムに変更すると同程度の車両重量削減効果があると見込まれている。アルミニウムへの変更は、まず鋳造物で普及し、その後、車両の構造に使用される薄板と、複雑な鋳造物でも普及するであろう。車両におけるプラスチックの使用は、最初にやや増加した後、減少に転じるが、現在のレベルを維持すると予測されている。構造上の用途で使用されるマグネシウムの量は堅調に伸びるが、それでも全体から見ると少ないレベルである。電気および電子機器の車両における使用が増加することにより、銅、鉛、ニッケルの使用量は増加するであろう。プラチナ系貴金属（PGM）の使用量は、排出規制が厳しくなるため増加することが予測されるが、この増加の一部は技術の向上により相殺されるであろう。

鉄類をより軽量な材料や高剛性の金属に変更することは、対象車両の質量が比較的堅調に減少するという予測の主な理由である。一見すると、これは車両の燃費に関するIEAの基準予想と整合性がないと映るかもしれない。予測される重量の削減を考慮すると、より大きな燃費向上

が期待できるとする見方もあるからである。ただし、軽量化による燃費向上の「可能性」は、車両の種類のリミックスの変化（車両の大型化）や、車両性能の向上を目的としているものの重量増加を伴う機能の追加により相殺される場合が多い。（第3章参照）

### c) 予測される材料の総消費量

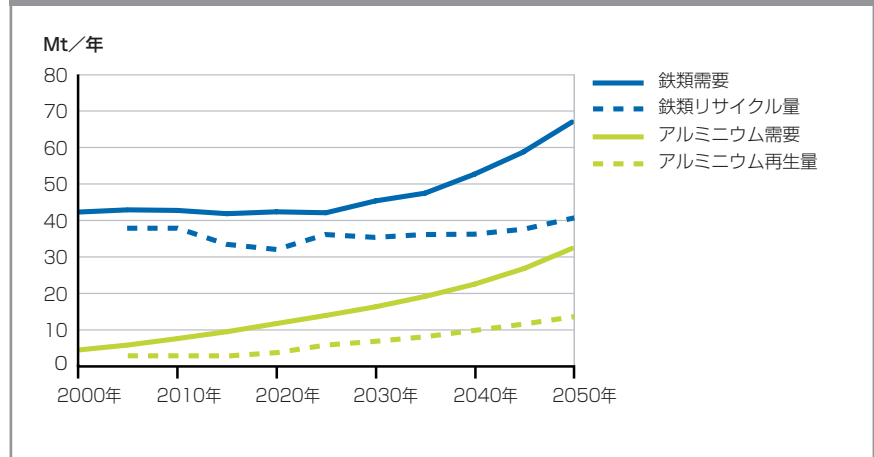
推測したLDVの構成を、表計算モデルの基準ケースから予想された販売シェアに当てはめることにより、LDVクラスについて予測される材料の総消費量が得られた。この消費量に、大型トラックとバスについて予測される材料使用量が追加され、予測される材料の総必要量が算出された。

この分析により得られた結果の1つは、車両の材料消費量は増加するであろうということである。これは、基準ケースで予測された車両数の増加を考慮すると、何ら驚くべきことではない。

別の結果は、各材料に対する需要レベルに関係している。鉄類の総消費量は、2030年までは年間4,200万トン程度で変化しないが、その後は増加に転じ、2050年には6,500万トン以上になると予測される。一方、リサイクル鉄類の供給は、この期間全体を通して年間3,500万トン程度で変化しないと予測されている。（図2.34参照）そのため、新品の鉄類の必要量は、2030年までは年間700万トン程度であるが、2050年には3,000万トン程度まで増加するであろう。

アルミニウムの消費量は、鉄類とは大きく異なる傾向を示しており、現在の年間500万トンから一定して増加し、2030年には1,600万トン、2050年には3,200万トンになると予測されている。この一定した大幅な増加傾向と、車両の推定平均耐用年数である約17.5

図2.34 鉄類とアルミニウムの使用とリサイクル



出所：Camano 2003および持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

年という期間を経過しなければ材料をリサイクルできないことを考慮すると、再生アルミニウムは（鉄類とは違い）、アルミニウム総需要のうちの大きな割合を供給できない。つまり、登録抹消された車両からの回収率の仮定は、鉄類とアルミニウムの間にそれほど差がない（それぞれ90%と80%）ように見えるにも関わらず、2030年には、総消費量のうちリサイクル材により供給される割合は、鉄類が78%、アルミニウムが42%と、大きく異なる。

輸送部門における鉄類とアルミニウムの消費量は絶対ベースでは多いが、これらの材料の総生産量と、生産量拡大の容易さを考慮すると、供給能力に関する懸念はないはずである。

PGMに関する状況はそれほど単純ではない。一見すると、2005年において、車両によるPGM総消費量は世界の生産能力の85%近くに達しているように見える。リサイクル材料の利用を考慮に入れると、主なPGMのLDVによる実質消費量はこれよりも大幅に少なく、世界の生産能力の30%程度である。

それでも、触媒コンバーターの世界規模での採用と、自動車の総需要の伸びを考

え合わせると、この結果から、プラチナとパラジウムの採掘および精錬能力を大幅に増強する必要があることがわかる。2030年における主要PGMの予測年間必要量は、現在知られている世界全体の埋蔵量の約0.5%であるため、十分な量のプラチナが利用できるように思える。ここで必然的に発生するのが価格の問題であり、このような需要増加が現実となれば、価格が上がり、利用効率とリサイクル効率が向上し、さらに探査が行われることは明白である。

全タイプの輸送車両において電気および電子機器に対する需要が増加するため、銅の需要は増加するであろう。

リサイクル鉛市場が堅調なため、鉛の消費量拡大による影響は緩和される傾向を示すであろう。また、電池の開発により、鉛の利用効率が向上する可能性もある。一方、鉛の総消費量が増加することにより、長期的に見ると環境が損なわれる可能性がある。

ゴムは消費量が大幅に増加すると予測されているもう一つの材料である。一般に、現在タイヤに使用されているゴムは、天然ゴム、合成ゴム、ブチルゴムの3種類である。天然ゴムと合成ゴムの割合はタ

イヤの種類によって異なり、使用中に温度変化にさらされるタイヤでは天然ゴムがより多く使用されている。乗用車用オールシーズン・タイヤで使用されている天然ゴムは、重量で約8%の含有率である。乗用車用冬用タイヤでは、天然ゴムの含有率は18%となる。大型トラックでは、この割合は32%に上り、さらに土木機械のタイヤでは44%となる。

合成ゴムは石油から生産されるため、資源の供給能力は大きな問題ではない。(第3章参照) それとは対照的に、天然ゴムはゴムの木の樹液からしか生産できず、さらにゴムの木は世界の一部の地域でしか育成できない。今日、世界で生産される天然ゴムの70%近くを、タイヤ産業が消費している。

トラックで輸送される貨物のt-Km数は大幅に増加すると予測されているため(32ページ図2.6)、トラック用タイヤに対する需要は特に高まると考えられるが、天然ゴムの生産は、タイヤの需要を満たすだけの量に達しない可能性が高い。その結果、タイヤに使用される合成ゴムの割合は増大すると見込まれている。

要約すると、車両の材料消費および資源の利用可能性について、次の2つの結論

が得られる。

- 輸送車両の製造に使用できる材料資源は、他部門における資源の需要が大きく変化しない限り、今後50年間は十分に利用可能であろう。ただし、天然ゴムは、唯一の例外となる可能性がある。
- リサイクル率を最大に見積もっても、主な材料資源の必要量は増加するであろう。その理由は、予測される車両製造量と材料に対する需要の増加が、登録抹消車両から材料がリサイクルされる速度を、簡単に越えてしまうことである。

## 2. 土地の利用

ほとんどの先進国の都市部では、輸送インフラ(道路、駐車施設、鉄道、港湾、貨物ターミナル、空港等)が土地の相当部分を占めている。経済成長とともに、輸送インフラに供される土地の面積は一般的に増加する。<sup>20</sup> 欧州環境庁(EEA)は、1990年から1998年の間に、EU内だけでも合計3万ha以上または1日約10haの土地が高速道路の建設に「収用された」と見積もっている。(EEA 2001) EEAの同報告書は、さまざまな輸送インフラのための土地「収用」(車

の走行1Kmあたりに必要な土地の面積: ha数)を表している。(表2.4)<sup>21</sup>

将来的には、液体バイオ燃料や「カーボンニュートラルな」水素の生産に対応するため、広大な土地が必要になる可能性がある。SMPの基準ケースでは、これら両タイプの燃料の使用を最小限に見積もっているため、必要となる土地については予測していない。第3章および第4章では、液体バイオ燃料やカーボンニュートラルな水素が石油系輸送燃料に置き換わる可能性について、詳細に解説する。

## 3. エネルギー利用

図2.35は、SMPの基準ケースでの2000年~2050年のエネルギー需要予測を地域別に示したものである。すでに述べたように、2050年になっても輸送用の燃料はほぼすべてが石油由来のままであると見込まれている。全世界の輸送エネルギー使用はほぼ倍増するが、使用量の配分は地域によって異なる。OECD諸国は、2000年には輸送エネルギー使用全体の約65%を占めたが、2050年までに約40%へと減少する。アジアの発展途上国は最大の成長株になり、2000年の11%から2050年には約30%へと上昇するであろう。中国だけ見ても、2050年までには輸送エネルギーの総需要の12%以上を占めるようになり、その数字は2000年のOECD北米の国々の需要である81%と同等になると予想される。<sup>22</sup>

表2.4 輸送による直接的および間接的な土地収用

インフラの種類	直接的 <sup>(1)</sup> 土地収用 (ha/Km)	直接的 <sup>(1)</sup> +間接的 <sup>(2)</sup> 土地収用 (ha/Km)
道路 高速道路	2.5	7.5
州道路	2	6
県道路	1.5	4.5
自治体の道路	0.7	2
鉄道 在来および高速鉄道	1	3
船舶 運河	5	10
航空	なし (滑走路は除外)	空港

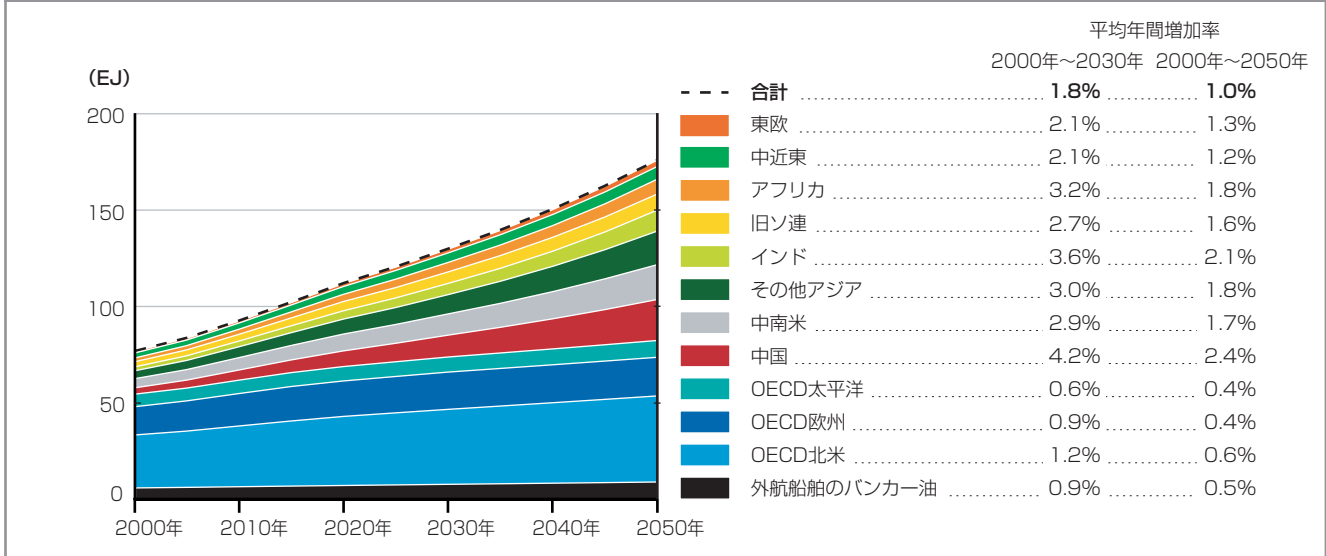
<sup>(1)</sup> 直接的土地収用とは輸送インフラに利用される範囲を指す。

出所: EEA 2001

<sup>(2)</sup> 間接的土地収用とは、警備エリア、ジャンクションおよびサービスエリア、駅、駐車場など、道路インフラに関連する土地収用を指す。

注意: 高速道路と高速鉄道線路の推定値(線路数または車線数、および平均幅を仮定して算出)は変動する可能性がある。たとえば、車庫、燃料補給施設、駐車施設などの関連施設は考慮していない。

図2.35 地域別の輸送エネルギー



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

## L. 人および貨物のモビリティ費用の傾向

### 人のモビリティ

第1章で、輸送利用者に要求される家計支出を、SMPの持続可能なモビリティの指標として特定した。人の輸送の場合は、この指標を評価する基準として、輸送に費やされる平均家計支出の割合を使用することにした。表2.5は、2001年における主要先進国3カ国（米国、英国、日本）について、この測定値を示している。対象となった年に、これら3カ国の世帯<sup>23</sup>では、人の輸送費用として、総支出のうち平均19%（米国）、17%（英国）、9%（日本）が費やされた。

人の輸送に費やされる家計支出の割合は大きく異なるが、どの国でも、自家用車の保有と運転に関係する費用が、家計における人の輸送費用の大きな割合（米国で95%、英国で85%、日本で71%）を占めている。OECD諸国以外の多くの国について相当する消費者支出のデータはないが、この消費パターンは先進国に限られたものではない。

表2.5 世帯の輸送費用

	米国	英国	日本
家計総支出に占める世帯の輸送費用の割合	19.3%	16.7%	8.5%
世帯の輸送および移動費用の内訳			
公共交通機関	5.2%	13.5%	28.7%
鉄道	n.a.	3.1%	15.6%
バス	n.a.	2.2%	3.0%
タクシー	n.a.	n.a.	2.9%
航空機	n.a.	2.0%	2.7%
高速道路	n.a.	n.a.	4.1%
その他	n.a.	6.0%	0.4%
自家用輸送手段	94.7%	86.5%	71.3%
車両の購入	46.9%	36.9%	22.7%
自動車の購入	46.3%	34.7%	21.2%
2輪車/その他の購入	0.6%	2.2%	1.5%
車両の運転および維持	47.9%	49.6%	48.6%
ガソリン/モーターオイル	16.8%	24.5%	16.6%
維持/修理/部品	8.7%	9.6%	8.3%
駐車	n.a.	n.a.	7.1%
保険	10.7%	12.7%	11.5%
その他	11.7%	2.8%	5.0%

n.a. = 出所よりデータが示されていない。「その他」に含まれていると考えられる。

注：

日本：2001年のデータ：「2輪車/その他の購入」には「その他の車両」および「自転車」が含まれる  
「ガソリン/モーターオイル」には「ガソリン」が含まれる  
「維持/修理/部品」には「自動車部品」、「自動車両の修理および維持」、「乗り物の修理および維持（自動車以外）」が含まれる  
「駐車」には「年間または月間駐車料」および「その他駐車料」が含まれる  
「保険」には「自動車保険料（強制加入）」、「自動車保険料（任意加入）」、「乗り物保険料（自動車以外）」が含まれる  
「その他」（自家用輸送手段）には「自家用輸送手段に関連する物品」および「自家用輸送手段に関連するその他のサービス」が含まれる

英国：2000年/2001年のデータ：

「その他」（公的輸送機関）には「組み合わせチケット」、「その他の輸送および移動」が含まれる  
「自動車の購入」には「新しい自動車およびバン」、「中古の自動車およびバン」が含まれる  
「2輪車/その他の購入」には「オートバイおよびスクーター」、「自転車および船：購入および修理」が含まれる  
「保険」には「車両税」および「車両保険」が含まれる

米国：2001年のデータ：

「自動車の購入」には「自動車およびトラック（新車）」、「自動車およびトラック（中古車）」が含まれる  
「その他」（自家用輸送手段）には「車両費用の調達にかかる料金」、「車両のレンタル、リース、免許取得、その他にかかる料金」が含まれる

Source: Japan Family Income and Expenditure Survey, UK DFT 2003, US BLS 2003.

世帯による車両の保有を決定する要因は複雑である。国による1人あたりの車両保有数の違いのうち90%程度を、1人あたり実質可処分所得によって説明できることから、これが車両保有の最も重要な決定要因であると考えられる一方、1人あたりGDPが同じレベルにある国の間でも、車両保有レベルに50%もの違いが見られる場合がある。1人あたり所得が同等の都市部の間で、モータリゼーション率に違いがあるのは、次の要素が原因である。

- 人口密度の違い
- 公共交通機関の利用可能性レベルおよびサービスレベルの違い
- 渋滞レベルの違い
- 自動車保有および交通量抑制政策の違い

### a) 基本的な輸送ニーズを満たす

これらの要素のうち最初の2つは相互関係にある。国や地域のモータリゼーションが進むと、都市部の平均人口密度は低下する傾向があり、公共交通システムにかかる圧力が強まることになる。家族のメンバーが行きたい（または行く必要がある）場所のうち、その家族で何らかの自家用車両を利用できなければ行くことのできない場所の割合が次第に増加する。自動2輪車が利用できる地域もある。本章の初めの方で（図2.10）、こうした安価な車両の利用可能性が、自家用車を買う経済的余裕のある人口の割合に与える影響が示された。安価な車両が利用できない地域では、低所得世帯は基本的輸送手段として中古車両に大きく依存するケースが多い。

世帯所得が増加すると、人の輸送に対する世帯の需要も高まる。所得の増加は、長距離移動に対する需要の増加に反映さ

れる場合もあるが、複数の自動車を保有する可能性の増加にも反映される。図2.36は、英国、米国、および日本の世帯における平均保有車両台数を、世帯の総所得から示したものである。高所得世帯はより多くの車両を保有していることが分かる。このように世帯の所得増加に伴って保有車両数が増加すると、人の輸送に費やされる家計支出の割合は増加傾向を示す。ただし、輸送がより廉価になっているわけではなく、輸送の利用が増加していることを表している。

### b) 人の輸送手段に対する家計支出に影響を与える政府の課税および規制政策

すべての政府が、自動車の保有、使用、またはその両方に課税している。これらの税金が名ばかりである国もあり、またそれ以外の国では、税金を合計すると車両の初期購入費用の数倍になる場合もある。税金のかからない航空機用のジェット燃料を除き、金額に差はあるものの、輸送燃料も課税される。さらに、政府の指令による安全装置および排出抑制装置の装備により車両価格が増加し、場合によっては車両の維持費も増加する。

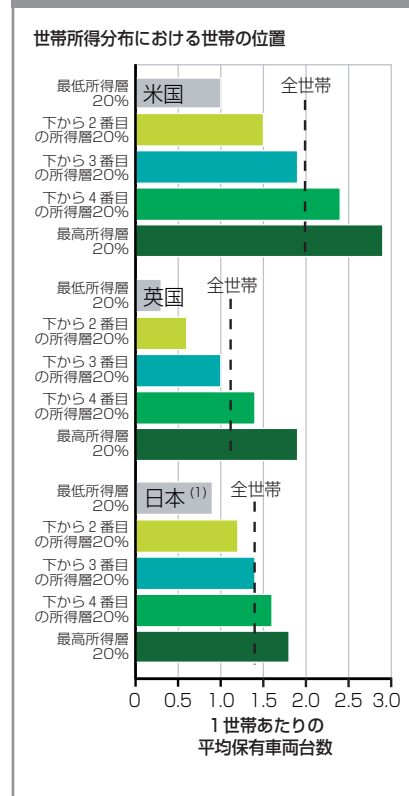
輸送に費やされる家計支出の将来の割合を予測するには、こうした傾向が与える影響を総合的に判断する必要がある。多くの発展途上国で予測されている急速なモータリゼーションにより、家計支出に占める人の輸送費用は増加傾向を示すであろう。そのため、1人あたりの所得がさらに増加するに従って、世帯あたりの車両台数も増加傾向を示すであろう。一方、公共交通機関に大きく依存している世帯は、輸送の利用しやすさに対する基本的ニーズを満たすことができなくなり、自動車を入手し利用することに対する圧力が增大するであろう。

### c) 物のモビリティ

物のモビリティのコストは人々がそれを購入するのに支払う代金に反映される。人が購入するあらゆる物品には、それが生産され、最終販売地点に配送されることを可能にした輸送や物流サービスの「集積」が盛り込まれている。また、人が購入するあらゆるサービスには独自の輸送と物流サービスが「集積」されている。

この「集積」はどの程度ものなのか？購入したものがサービスであった場合、そのサイズを測ることは非常に難しいが、物の場合はそれを推定するのはそ

図2.36 異なる所得の世帯ごとの保有車両台数



(1)日本のデータは2人以上の世帯

出所：USBLS 2002, Table 1; UK DfT 2001, p.101; Japanese Ministry of Public Management, Home Affairs, Posts and Telecommunications, Statistics Bureau, 1999 National Survey of Family Income and Expenditure, Statistical Tables (Major Durable Goods), table 6.

う難しくはない。『State of Logistics Report』と題する年刊誌で、Rosaly WilsonおよびRobert Delaneyは、輸送コストと在庫保管費用の合計額（米ドル）とそれが米国GDPに占める割合を追跡した。最初の結果が報告された1981年から我々がデータを確認した2002年までの間に、このコストは米国GDPの16.2%から8.7%へとほぼ半減した。同じ期間において、米国での世帯数は約30%増加している。したがって、1981年から2002年の間に、米国における世帯あたりの物流費用はおおよそ60%減少したことになる。(Wilson and Delaney 2003)

この減少の一部は貨物輸送費の値下がりによるものであり、米国では年平均で約3%のペースで値下がりしている。全体としてこの期間には、これらのコストは米国GDP比で7.3%から5.5%へと減少した。しかし、この減少の大半は在庫保管費が占めている。この費用はGDP比で1981年の8.3%から2002年には2.8%へと減少した。こうした在庫保管費の減少は主に物のモビリティの利用しやすさ（および信頼性）の改善により実現した。

物のモビリティにかかるコストについてのデータは、米国以外の国では見当たらない。しかし、これらのコストの引き下げ要因となってきた傾向は、米国特有でもなく、また近い未来に上記のような効果をもたらさなくなる可能性も低い。ある調査で指摘されているように、近年、物の輸送コストは、「都市経済においてますます影響がなくなりつつある」。(Glaeser and Kohlhase 2003)

物のモビリティにかかるコストの減少を妨げる要因の1つに、渋滞の悪化がある。すでに述べたように、渋滞によって発送元から宛先までの平均移動時間が延びれば、物の輸送サービスを提供する企業が負担する燃料費および人件費が増えるた

め、物のモビリティにかかるコストは増加する。

渋滞によるさらに大きな影響は、物のモビリティに対する信頼性の低下に伴うコストである。断続的渋滞は、すでに輸送システムに対する信頼性を低下させる主要因として特定されているが、その増大により、メーカーと小売業者にとっては余分な在庫を置かないようにすることがより困難になる。荷主が輸送中の物より正確に追跡できるようにする技術や、集荷と配送のより効率的なスケジューリングを支援する技術が開発、実施されている。(UPS 2003) ただし、こうした技術が経済全体にもたらす利益は渋滞の増加により徐々に薄れてきている。

## M. 公平性

社会的疎外という問題は先進社会において最も悩ましい現象の1つである。許容可能な時間内でかつてないほど大きな地理的範囲に個人が到達できるということが、今日の近代的な生活の基盤になっている。それができなくなると、自家用車や必要な公共交通機関もない、輸送資源の使用が難しい、あるいは近隣の場所なら得られる機会に気づくことができななど、さまざまな理由により、普通の生活を送る上でますます大きなハンディキャップを抱えることになる。特にこうした困難に面しているのは次の2つのグループである。

### 高齢者

先進国では、自動車社会で生活してきた高齢者は、そうした輸送形態から得られる柔軟性を手放すことには積極的でない。最新の全米世帯旅行調査(NHTS 2001)によると、米国の高齢者による旅行の87%が自家用車によるものであることがわかった。70歳以上の米国人の75%は運転を続けていると回答し

ている。米国で免許を持つ70歳以上のドライバーの数は、1991年~2001年の間に32% (1,910万人) 増加している。米国人ドライバー全体のおよそ10%は70歳以上であるが、これは10年前は8.6%であった。(NHTS 2001)

今日の高齢者は昔よりも一般的に健康で能力も高いが、運転を止めなければならぬレベルにまで安全に運転する能力が衰える時がいずれは訪れる。そうなったとき、高齢者は自身のモビリティの機会の急な縮小に直面することになる。

高齢者が運転を止めることに抵抗するのは自由と自立性を維持したいという思いを反映している面があるが、多くの都市部で運転に代わる魅力的な公共交通機関がないことも原因の1つである。他の年齢層に比べ、高齢者は買い物や、家族や個人の用事での外出、および社会活動、レクリエーション活動の外出にクルマを使うことが多い。こうした用事に公共交通機関を利用することは、通勤に利用するよりも、より可能性の低い状態となっている。

米国において従来の公共交通機関の使い勝手がますます疑問視されるようになるにつれ、孤独感に襲われ、コミュニティに積極的に参加できないと感じる高齢者の数は増えるであろう。

この問題はこれからの数十年でかなり深刻化する見通しである。高齢者の人口比率は、ほぼすべての先進国で目に見えて増加している。このことは一部の主要発展途上国にも同様に当てはまるであろう。高齢者の人のモビリティ手段の利用を改善する対策が講じられてきた地域もあるが、現状の安定のためにも、こうした対策を着実に増やしていかなければならないと思われる。

## 低所得世帯

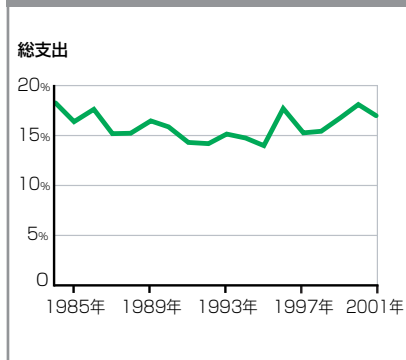
人の移動を自家用車に大きく依存する社会では、自家用車を持っていないことが大きな負担になる。

英国運輸省が発表した最新の報告書では、この問題を次のように要約している。

「移動の不十分さは、すでに社会的な疎外を経験している人々にとっては重要な問題となり得る。なぜならそれによって実際の移動の選択肢が不足し、行動や行き先の選択肢も制限されるためである。場合によっては、それが社会的疎外の一因ともなる。移動が不十分だと、職場、病院、商店、教育機関など、不可欠なサービス・施設と、『不可欠でない』サービス・施設の、両方が利用できなくなるため、移動の不十分さは社会的疎外と強く関連している。通常、自動車を持っていない人は自動車を持っている人に比べ、同じ目的地へ到達するのに、より多くの時間と、より大きな労力が必要とされ、より多くの限界費用を支払う必要がある」(UK DTLR (date unknown), p.18)

世界中のどの地域でも低所得世帯の自動車保有率は比較的低い。しかし自動車を保有する貧困世帯（所得分布の最低20%に属する世帯と定義される）の割

図2.38  
米国における輸送に費やされる  
総世帯支出（1984年～2001年）



出所：USBLS Survey of Consumer Expenditures (various years), Table 1

合は、国や地域によって大きく異なる。図2.37は、英国と米国の概ね同じ期間における貧困世帯の自動車保有に関するデータを示している。英国では5つの所得グループの中で最低所得に属する世帯のうち、車両を保有している世帯が占める割合は27%から35%に上昇した。また米国でも63%から66%に増加している。

図2.38は、米国で最低所得に属する世帯における人の輸送に費やされる総世帯支出の割合に関するデータを示している。すでに見たとおり、米国では一般に人の輸送に対する世帯支出額が英国に比べて若干多いが、この割合は比較的变化が少ない。

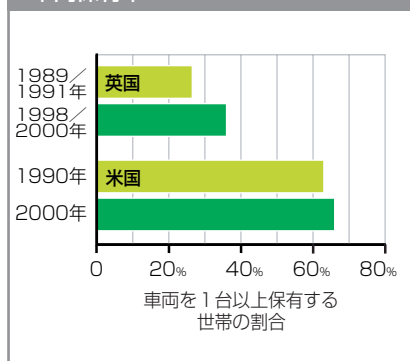
公共交通機関は、低所得世帯にモビリティを提供するという大切な役割を果たすことができる。ただし、利用しにくいために、そうした役割を十分に果たすことができない。米国では、全国で行われる移動のうち公共交通機関による移動の割合がわずか1.6%だが、所得が2万ドル未満の世帯では、その割合は4.8%となる。米国の最大都市圏<sup>24</sup>では、公共交通機関の質が若干高いと考えられるため、公共旅客輸送による移動の割合が、すべての所得層で3.4%となる。ただしここでも、所得が2万ドル未満の世帯では、その割合は10.6%に達する。

フランスではすべての国民が公共交通をより幅広く利用するが、人口全体の移動の9%が公共交通機関によるものであるのに対し、貧困層ではこの割合は11%となる。通勤に限って見ると、この割合は、人口全体では15%であるのに対し、貧困層では20%となる。

ただし、貧困層で人の輸送に費やされる世帯支出の割合が他よりも高いとは必ずしも言えない。米国では、貧困層で人の輸送に費やされる世帯所得の割合は、実際には他の全世帯よりも低い。ただし「労働貧困層」では、通勤費用が所得に占める割合が他よりも高くなる。1999年に米国で通勤に自家用車を使った平均的労働者は、通勤費用として1,280ドル使用した。(US DOT 2003) これは個人所得の4.9%に当たる。これに対し、個人年収が8,000ドル未満の労働貧困層<sup>25</sup>は、自家用車を使用した場合は通勤費用は個人所得の21%であったが、公共交通機関を使用した場合は個人所得の13%であった。<sup>26</sup> 米国では少なくとも「労働貧困層」は、より所得の高い人に比べ、カーブール、自転車、徒歩といった、自家用車や公共交通機関以外の通勤手段を利用する傾向も強い。これらの通勤手段は、どれも雇用機会の利用や居住地の選択を制限している。

世帯所得の増加に伴って、何らかの自家用車を購入できる貧困世帯の割合も増加傾向を示すであろう。しかし、こうした増加傾向の大部分は、その社会のモータリゼーション特性を反映する。自動車やその他の自家用車などの輸送手段を購入できない世帯は、貧困状態からの脱出の機会から次第に遠ざかってしまう可能性が高い。

図2.37  
最低所得層の所得における  
車両保有率



出所：USBLS 2000 Table 1, USBLS 1990 Table 1, and DTLR 2001, p.45.



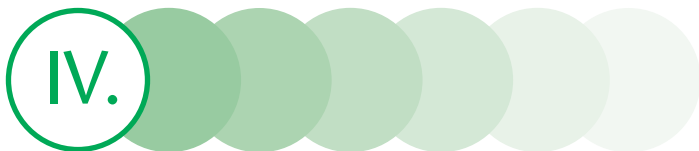
### 物の利用しやすさにおける不公平

物の利用しやすさにおける所得層別の格差に関しても同様の問題が起きている。物のモビリティ・システムで講じられてきたほとんどの改善策は、小規模な店舗よりも、より大型の店舗にとってメリットが大きい。こうした大型店は一般的に郊外に立地し、自家用車でしか訪れることができない。たとえ公共交通機関で気軽に訪れることができる場合でも、こうした店が提供する安さというメリットを実現するのに必要な商品の量や重さは大きすぎるので、公共交通機関では容易に運ぶことができない。こうして、年齢や所得、あるいは障害が原因で自家用車を持たない人は、物のモビリティの改善がもたらす利益の多くから疎外されていることを実感するのである。

### 輸送関連の従来型排出物と騒音による被害における不公平

所得関連の不公平な傾向の中には、逆行しているように見えるものがある。手の届く値段の住宅を見つけることが困難なため、貧困層は輸送関連の排出物の発生源や道路、鉄道、空港からの騒音に近い場所へ追いやられることを余儀なくされており、その悪影響に明らかにより多くさらされていると考えられている。輸送関連の従来型排出物の総量の減少に伴い、こうした状況は緩和されるであろう。実際、鉛は輸送システムから消滅したため、こうした改善は確かに起きているようである。ガソリン中の鉛が健康へ及ぼす影響は、当初、交通量の多い道路近くで生活し、遊び、登下校していた都会の子供たちを心配して問題視されるようになった。鉛がガソリンから除去されることで、特にその利益を得たのはこうした子供たちだった。





# 持続可能なモビリティの展望を改善する 7つの目標

すべての指標を考慮すると、現在のモビリティ・システムは持続可能なものではなく、このままの傾向が続けば、今後も持続可能なものにならないと思われる。

確かに、すべての指標が状況の悪化を示しているわけではないが、社会がその方向性を変えるために行動を起こさなければならないと示すには十分である。発展途上国でのモビリティを持続可能なものにしようとするならば、なおさらのことである。

SMPでは、上記の状況を容認できる結果とは考えていない。分析と議論を重ねた結果、次の7つの目標を提案することを決定した。我々は、これらの目標に向けて大きく前進すれば、持続可能なモビリティの展望は大幅に改善できると確信している。

## A. 輸送関連の従来型排出物を、世界のいかなる場所でも公共の健康への深刻な懸念にならないようなレベルまで削減する

2030年まで

- 先進国においては、「ハイ・エミッター（大量排出）」車両の特定に、より大きな関心を払い、SMPの基準ケースで予測されている排出削減を確実に実現させなければならない。これらの車両からの排出システムを改良するか、または運用停止にすべ

きである。

- 発展途上国においては、輸送関連の従来型排出物をSMPの基準ケースの予測を十分に下回るレベルにまで削減すべきである。その決定因子となり得るのは、必要な技術や燃料の価格と、輸送関連の従来型排出物の排出量を削減するための積極的な取り組みが、これらの国の輸送システムの経済成長のスピードを支える能力に及ぼすと思われる影響である。

2030年以降

- 発展途上国での排出物削減を完了させるためには、世界中の先進国で現在採用されている排出物削減の技術と燃料の利用を拡大する必要がある。また発展途上国では、先進国の経験を利用して、自国の技術的・制度的な調整をし、現在使用している車両からの排出量を既に定められている水準内に必ずとどめる必要があるであろう。

### ボックス2.5 何かが「目標」であるという場合、それはどのような意味であるのか？

「目標」は、取り組みによって達成しなければならない何かではなく、達成することが有意義である何かと考える。実際、辞書の定義では、目標は「努力の対象となる成果あるいは業績」となっている。さらに、以下に挙げる目標は、ある単独の分野が引き受ける「約束事」ではない。どの目標も、ある分野の独立した活動によって達成できるわけではない。そうではなく、目標とは、企業や社会が共に努力をしていくための方向性を示す決意として理解されるべきものである。



## B. 輸送関連のGHG 排出量を持続可能なレベルにまで 抑制する

輸送機関をGHGの主要発生源とならないようにすることを社会の長期的な目標とすべきである。しかし、最善の条件下でも、この目標の達成には20年、30年という期間よりも長い（場合によっては極めて長い）時間がかかると思われる。

### 2030年までに

「輸送関連のGHG排出量のグラフ曲線を下降させる」ということを目指して、経済的に実現可能であり、また政策的にも受け入れられる次のような措置を実施すべきである。

- 輸送車両のエネルギー効率は、ユーザー受容とコスト効果を考慮して改善すべきである。
- 輸送燃料中の化石起源の炭素の影響を最終的に排除するための技術的な土台づくりを行っておくべきである。排除には主な輸送エネルギー・キャリアとしての水素の使用、先進バイオ燃料の

普及、またはその両方の組み合わせによって達成できるであろう。

- 輸送燃料中の化石起源の炭素の影響を最終的に排除するために必要な新しい燃料のインフラを計画し、それが現実的なものであれば、その構築を開始するべきである。

### 2030年以降

輸送関連のGHG排出を持続可能なレベルにまで抑制するという課題を完了する。

- 輸送関連ではない発生源からのGHG排出抑制に関連するコスト効果を考慮して、あらゆる輸送関連のGHG排出増大に歯止めをかけ、それ以降も著しく、そして継続的にそうした排出物を削減していくべきである。
- もしもGHG排出が十分に削減できる可能性があり、生産コストが十分に競争に勝てるものであるならば、非炭素系燃料を使用する道路車両の世界的な「普及」を推進すべきである。
- これらの車両を駆動するのに必要な燃料を世界規模で確実に利用できるようにするべきである。

- 現実的でコスト効果が上がるのであれば、他の輸送形態にもこれらの車両で利用されている技術・燃料を適用すべきである。

## C. 道路交通事故による死亡・重傷者の 総数を先進国および 発展途上国において現状よりも 大幅に削減する

あらゆる国で、輸送関連の死亡・重傷事故、特に道路車両に関連する死亡・重傷者事故を削減するための積極的なプログラムに取り組むべきである。

- 先進国は、戦略を策定し現在の発生を大幅に削減することを目指すべきである。発展途上国は、現在の死亡・重傷事故の増加率を抑制し、先進国の死亡・重傷事故発生率と比較できるほどの数値を確実に目指せるよう、社会の対策を軌道に乗せることを目標とすべきである。
- 特に被害者となりやすいグループ

(歩行者、自転車利用者、子供、高齢者、障害者)に対する取り組みに焦点を当てるべきである。

- モータリゼーションが急速に進みつつあるために発展途上国で起こる独特の状況を理解し、考慮すべきである。
- 死亡・重傷者数を削減するプログラムでは、ドライバーの挙動、インフラの改善および衝突回避と負傷の緩和のための改良技術の進歩と普及などを含めて、車両関連の死亡・重傷事故のあらゆる要因に取り組むべきである。

## D. 輸送関連の騒音を削減する

地方、地域、国家の優先事項を考慮し、次のことに重点を置きながら輸送関連の騒音の削減に向けて取り組むべきである。

- 騒音を緩和する路面を利用し、防音壁を建設すること
- 騒音の悪化につながる車両の改造を減少させ、不必要な騒音を出すような車両の運転を禁止すること。

輸送関連の騒音の削減では、持続可能なモビリティの他の指標の改善を狙う戦略により生み出される相乗効果を適切に生かすべきである。

ある状況下では、新車における騒音関連の特性についての改良が必要となるかもしれないが、その一方で、実際にそうした車両を使用する中で、改良点が確実に目に見える利益を生み出すように、そしてその利益の対価が不当金額にならないように配慮がなされなければならない。

## E. 交通渋滞を緩和する

輸送インフラの容量を追加することを渋滞緩和のための唯一の戦略とすべきではない。しかし、特に発展途上国での需要の高まりに対応するためには、次の方法でインフラの容量を増加する必要がある。

- インフラ計画において、輸送インフラにとって最も重要な要素を効率よく使用することを阻む「ボトル・ネック（交通流を妨げる場所）」の解消に徐々に力点を置く。
- 実現可能かつ政策的に受け入れられるのであれば、輸送需要増の受け皿は既存のモビリティ・システムと輸送インフラをより効果的に利用すること。その実現のためには、高度道路交通システム（ITS）が重要な役割を果たすであろう。

## F. 最貧国の人々、およびほとんどの国における経済的・社会的に恵まれない人々にとって、自分自身や家族がより良い暮らしを送ることを阻む「モビリティ機会の格差」を縮小する

最貧国および先進国の間に存在する「モビリティ機会の格差」を縮小する。

- 基本的な輸送利用の手段がない地域でそうした手段を提供することにより、発展途上国や農村部における輸

送費用を低減させる。

- 基本的な安全性および排出基準を満たす廉価な自動車の開発を促進する。

国および地域内部に存在する「モビリティ機会の格差」を縮小する。

- パラトランジットなどの輸送技術を利用して、最貧層、高齢者、障害者、恵まれない人々が仕事や社会サービスを利用できるようにする。
- これらの既存輸送技術にITS技術を組み合わせて、応答性、安全性、セキュリティを向上させ、かつ費用を削減する。

## G. 先進国および発展途上国の一般の人々が利用できるモビリティ機会を保護し、高める

- 現在は、従来の公共交通の形態が十分に機能している地域は人口の密集した都市中心部のみである。そのため、自家用車に依存できない、または依存することを望まない人々は、人の輸送の要件の大部分またはすべてを満たすために都市中心部に居住し、行動範囲をその周辺に限定する以外にほとんど選択肢はない。

- 「従来型」の公共交通システムには人のモビリティの提供という重要な役割があるが、そのシステムを支える費用の増大や、都市「中心部」以外の地域での人口密度の下降により、その役割を果たすことが難しくなってきた。

- これからの数十年間、政府はこの重

要なモビリティの選択肢を保護することを大きな目標とすべきである。ロンドン、パリ、東京、ベルリン、ニューヨークは、公共交通機関なしではまるで機能しない先進国の都市のほんの一例に過ぎない。また、我々が支援した発展途上国の都市についての調査で明らかになったとおり、公共交通システムは発展途上国の多くの都市部にとっては、さらに重要である。

- しかしながら、長い目で見れば、より抜本的な改革が必要となる。提案されているアプローチの1つに、土地利用計画とさまざまな積極的および消極的動機を組み合わせ、都市部の人口を強制的に増加させるとい

う方法がある。この考え方によれば、都市部の人口を十分に増加させることができれば、はるかに高レベルなサービスを提供できる公共交通システムの構築と運営が、技術的にも経済的にも実現可能になる。

- SMPでは、より良い（そしてより現実的な）アプローチは、比較的人口密度の低い地域に居住する人々のために、人の輸送の選択肢の幅を拡大するような新たな車両技術および情報技術を生み出すことにあると考える。これらの選択肢により、自家用車で得られるような目的地や経路選択の柔軟性を得るチャンスや方法が、従来の公共交通機関に近い低料金で、かつ自分で運転する手間を省くかた

ちで提供されるであろう。

このアプローチでは、人々が住環境を現在の公共交通システムの技術的・経済的性質に合わせる必要はなく、輸送システムの性質を人々のニーズ（および希望）に合わせることになる。

## ボックス2.6 現在の傾向が継続しなかった場合に何が起こるだろうか？—プロジェクトのシナリオ

第2章の冒頭で、SMPでの予測の背景となっている主な仮定は、現在の傾向が継続し、新たな政策が実施されないこと、消費者価値または挙動が大きく変化しないこと、抜本的な技術改革が市場に大きく浸透しないことであると強調した。これらすべての仮定が実現する可能性はどの程度だろうか？

「そう高くない」というのがその答えであろう。第2章で示したような予測の目的は、将来における指標の正確な値を予測することではなく、将来における値がどのように変化するかを決定する重要な関係を理解する手掛かりを得ること、および我々のモビリティ指標に対する潜在的影響を測定できるようにすることであったことを思い出していただきたい。たとえば、経済成長が予測における仮定よりもはるかに微弱であるが、経済成長とさまざまな輸送に関連する要素との関係が変化しない場合は、その結果は単純明快であろう。

しかし、何らかの重要な関係、たとえば実質1人あたり所得とLDVに対する需要との関係などが、大幅に変化した場合はどうなるであろう？ 予測に影響する可能性のある何らかの不定要素のレベルが別の値をとるだけでなく、こうした不定要素の値が決定される背景となるプロセスが大幅に変化する可能性がある。元の関係に基づく企業戦略、公共政策、および消費者の挙動に関する仮定を、根本から考え直す必要が生じるかもしれない。

これを受けて、SMPでは、変化が起こる可能性のある主な分野について考察する手掛かりとして、現在予測されている将来がどのように変化するかについての考えを広げるため、3つのシナリオを策定した。シナリオは、将来のある時点における世界の「スナップ写真」と、現在からその時点までの経過を示す「動画」との組み合わせと考えることもできる。良いシナリオの組み合わせを判断する基準は、実現する可能性があると思われるか（シナリオに論理的に整合性があり、実現する可能性があると思われるか？）、関連性があるか（持続可能なモビリティに対する主な課題に焦点を当てているか？）、互いに異なっているか（各シナリオに違いがあるか？）、挑戦し甲斐があるか（少なくとも1つのシナリオが、モビリティの性質がどのように変化するかに関するある基本的な仮定および確信の正当性を問うものであるかどうか？）によって判断される。

我々はSMPの3つのシナリオを、「経済至上」、「地球市民」、「地域優先」と名づけた。各シナリオは、未来がどのように展開する可能性があるかに関する広範な仮定的記述である。各シナリオでは、「情勢」について概説し、2030年頃における将来の「情勢」を形作るさまざまな影響力について考察している。また、「ワイルドカード」（現実の結果をすべて根本的に変えてしまうような力を持つ意外な出来事）を想定し、シナリオに含めている。シナリオの全文は本報告書の付録となっている。

#### シナリオ1—経済至上

要約：企業、政府、一般市民を取り巻く状況がより世界的かつ自由市場指向のものになるにしたがって、世界中で相互関連性がより強くなっていく。世界貿易機構、世界銀行、IMFが引き続き世界経済の標準を策定して、多国籍企業が世界共通の方針に基づいて市場に参加し、影響を及ぼすことができるようになるための道が開かれている。資本や物が国境を越えて自由に行き来するため、世界の文化が次第に似通ってくる。それと共に、国の内外で貧富の格差が広がる。この自由市場シナリオでは、短期的な投資収益が優先されるため、都市化、輸送、環境に関する決定に即時の金銭報酬が求められ、長期的観点が見失われがちである。

#### シナリオ2—地球市民

要約：燃料供給の途絶、世界的セキュリティに対する懸念、気候変動による洪水や食糧不足など、2000年代初頭には衝撃的な事件が続き、世界的問題に対して共同アプローチが採られるようになる。政府は一般市民から与えられた使命に従って、税制上の優遇措置や技術革新を促進する政策により、社会的、経済的、環境的責任を果たすために圧制的行動をとる。これにより、再生可能なエネルギー源の革新が実現する。個人および組織間の相互関連性が世界的に強まることにより、貧困、社会的不公平、地域の大気汚染、持続可能なモビリティといった大いなる挑戦への対策が一応の成功を収める。熟考に基づく都市計画、燃料および輸送システムにおける技術革新、消費者心理の根本的変化が同時に実現することにより、個人および物の輸送の方法が抜本的に変化する。

#### シナリオ3—地域優先

要約：情報伝達が容易になり、かつ多国籍企業や小売チェーンの世界進出が進んだために、世界はかつて共通化の方向へ進んだ。この動きは、2000年代初頭において、自己認識とナショナリズムに対する願望の増大が世界中で表面化するにしたがって、強力で中断された。安全性に対する懸念の増大と、自国の経済、社会、環境に関する計画をより自由に管理したいという願望により、世界経済の分割が起こった。また、自己依存を進める動きが各国家で高まり、保護貿易主義へ向かう国も現れた。これにより、各地域社会では、独自の目標と目的が採用され、それを達成するための戦略が採られるようになる。その結果、決定は高度に地域化され、問題が異なる地域社会、国、地域ごとに、数え切れないほどの解決策が採用されるようになる。

<sup>1</sup> IEAの他にエネルギー関連予測を手がけている米国エネルギー情報局 (USEIA) は、自機関の予測を次のように位置付けている。

「Annual Energy Outlook 2003 (AEO2003) で予測されている、現在および将来の米国におけるエネルギー利用に関するUSEIAの予測は、特定の仮定および手法を使用した場合に、発生すると予想されることではなく、発生する可能性があることについての説明である。この予測は、周知の技術、技術的・人口統計的な傾向、および現在の法律と規制を前提とした、現状維持のシナリオでの傾向についての予測である。したがって、この予測は、政策に左右されない基準ケースであり、政策活動の分析に使用できる。(中略) すべての法律は、現在実施されている状態を維持すると仮定されている。ただし、今後発生する規制変更の影響が定義されている場合は、この影響も反映されている。」

<sup>2</sup> これらの予測については、表計算モデルにおける主な仮定とともに、「SMPモデル資料および基準ケース予測」で解説されている。

<sup>3</sup> これらの相殺的調整により、個人および企業が渋滞の悪化に伴う平均移動時間の増加を緩和できる可能性がある一方で、こうした調整には、結果的に多大な費用がかかる可能性がある。

<sup>4</sup> プロジェクトでは、長期的な地域ごとの1人あたり実質経済成長について、独自の予測を行わず、IEAのWEO2002で使用された予測を採用した。これらの予測は、世界銀行および国連による経済成長予測および人口増加予測に基づいている。これら2つの予測は、ボックス2.2で示されている。

<sup>5</sup> 「軽量車」(LDV) には、自動車、小型バン、SUV、および家用軽トラックが含まれる。これらの車両をひとくくりに表す用語はどの国にも存在しない。たとえば英国では、「car」という言葉には、「…通常、4輪・3輪車、ランドローバー、ジープ、小型バス、キャンピングカー、ドーマービル、およびライトバンが含まれる」(UK DfT, Focus on Personal Travel, p. viii)。

<sup>6</sup> どちらの表でも、水上貨物輸送活動の予測は行っていない。我々は、2000年から2050年間の間の水上貨物輸送活動について、適正と思われる予測を特定することができなかった。また、水上貨物輸送活動を地域ごとに割り振ることは、ほぼ不可能である。

<sup>7</sup> これは、実際の移動行動に関する記録に基づいた調査には当てはまらない。

<sup>8</sup> 第4章では、輸送の利用に関するこの不公平を緩和させるための方法について議論する。たとえば欧州の混雑した都市部においては、複数の輸送手段に乗り換えながら連続的に利用できるようにすることによって、利用しやすさを向上させることができる。

<sup>9</sup> GakenheimerとZegrasによる8つのケーススタディの結果要約が、この報告書に付録として添付されている。8つのケーススタディについては、SMPのウェブサイト参照のこと。

<sup>10</sup> これらの予測は、輸送車両の稼働による排出だけでなく、これらの車両で使用する燃料の採掘、精製、輸送による排出も考慮しているため、「油井から車輪まで」(WTW) の予測であることに注意されたい。ただし、輸送車両の製造、および輸送車両に使用されている原料に関わる排出は考慮されていない。

<sup>11</sup> 粒子状物質の排出については、規制の対象がより小さな粒子 (PM-2.5など) に移行しつつある。しかし、これらのより小さな粒子の排出についてはデータが不十分なため、その傾向を予測できない。そのため、差異が生じる可能性を承知の上で、規制の対象となっている粒子状物質の排出量の代わりに、PM-10の予測排出量を使用した。

<sup>12</sup> Koornstra博士がプロジェクトのために行った分析で使用したデータは、これらの要素が反映されるよう可能な限り調整されている。

<sup>13</sup> Koornstra博士は、我々とは異なる1人あたり所得の測定基準を使用した。同博士の基準は、購買力平価を反映するよう調整されていない。

<sup>14</sup> City Soundings, p. iv

<sup>15</sup> しかしながら、タイヤの騒音と安全性は相矛盾する関係にある。

<sup>16</sup> Camano Associatesの報告書はSMPのウェブサイトで見覧可能。

<sup>17</sup> 詳細な情報が不足していたため、大型トラックとバスはLDVのように詳細にモデル化されなかったが、材料の総使用量の総合的推定値には含まれている。実際には、このモデルでは大型トラックとバスの材料構成は変化しないと仮定している。関連情報が入手できれば、それをこのモデルに組み込むことも容易にできる。

<sup>18</sup> Camano Associatesの2人の調査担当者、Joel P. Clark教授とRandolph Kirchain教授は、マサチューセッツ工科大学 (MIT) の物質科学・工学部およびMIT工学システム科と協力関係にある。また他の2人、Frank FieldとRichard Rothは、MIT 技術・政策・産業開発センターと協力関係にある。

<sup>19</sup> リサイクル効率は期間を通して変化しないものと想定する。想定リサイクル効率は次のとおり。鉄類90%、アルミニウム80%、銅80%、鉛95%、ニッケル0%、マグネシウム80%、PMG 80%、プラスチック0%、ガラス0%、そしてゴム0%。

<sup>20</sup> 「インフラに供される土地」がどのような土地を指すのかは、解釈により異なる。たとえば、1900年以降、馬の飼料の栽培を目的としていた9,000万エーカーの米国の土地が、自動車、トラック、トラクターのために開放されてきた。こうした事例は、通常、自動車の環境会計には含まれていない。(Hayward 2002)

<sup>21</sup> EEAは、土地収用を直接的収用と間接的収用の2つに分類している。「直接的土地収用」は、輸送インフラに利用される範囲を指す。「間接的土収用」は、警備エリア、ジャンクションおよびサービスエリア、駅、駐車場など、道路インフラに関連する土地収用を指す。

<sup>22</sup> IEAによると、2003年には中国は日本を抜いて世界第2位の原油消費国となった。(Financial Times, Wednesday, January 21, 2004., p.1)

<sup>23</sup> 消費データ収集の対象となる人口グループを表す専門用語に、「消費単位」がある。いくつかの国では、「消費単位」は通常「家族」を表すが、他の国では「世帯」を表す。「家族」と「世帯」の違いは、同じ住居単位で生活しているかいないかの違いである。

<sup>24</sup> 都市圏の人口が300万人以上と定義される。

<sup>25</sup> 扶養家族を持たない成人の単身者の1999年における公式政府貧困ラインは8,501ドルであった。

<sup>26</sup> 公共交通機関を使用する平均的な通勤者の通勤費は個人所得の3.3%である。



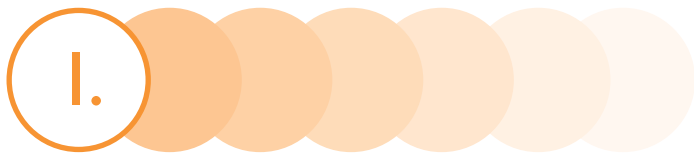


## 第3章

輸送機関の技術および  
輸送用燃料の可能性：  
持続可能なモビリティの  
「積み木（基本要素）」



本章では、さまざまな車両技術と輸送燃料が、持続可能なモビリティの「積み木（基本要素）」としてどの程度機能するのかという可能性を評価する。「可能性」という言葉は、本章で扱う情報を解釈する際には重要な意味を持つ。この可能性が実際にどの程度実現されるのかということ判断する要素については、第4章で展開することとする。



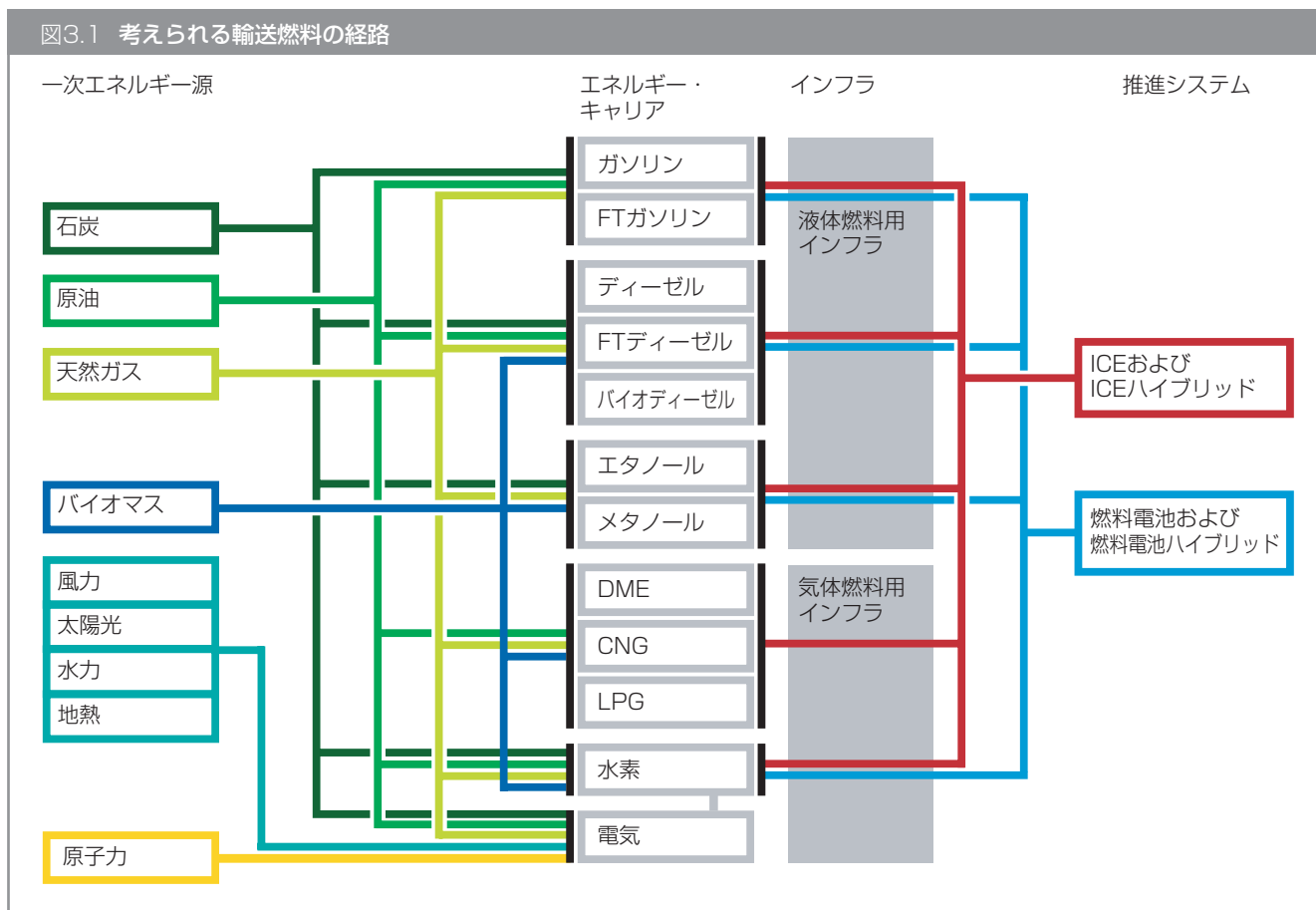
# 推進システムと燃料

今日の道路交通システムは、19世紀後半の内燃機関（ICE）の発明と、原油の蒸留によって精製される軽質の石油製品（ガソリンやディーゼル燃料など）である輸送用燃料の実用化を経て、100年にわたり構築されてきたものである。その黎明期より、数十億ドル規模の巨大産業が、世界中におけるあらゆる輸送ニーズに応えるべく発展してきた。多少の例外はあるものの、これらの業界は、現在

も当初と変わることなく、ICEや石油系燃料などの基本技術を基盤としている。もっとも、それらの基本技術は今では持続可能性の阻害因子であると判断されつつあり、より持続可能性が高いと考えられている代替燃料や駆動技術が検討されている。

本章の燃料および推進システムに関する項の構成を図3.1に示す。一番左の列は、

輸送車両の駆動時に利用されるさまざまな一次エネルギーを示している。これらは時には「供給原料」とも呼ばれている。石炭および天然ガスは例外ではあるが、ほとんどの場合はこれらの一次エネルギー源が輸送燃料として直接利用されることはなく、我々は一次エネルギー源から生産されるエネルギー・キャリアを利用している。左から2列目は、輸送燃料として現在利用されている、あるいは将来



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクト

### ボックス 3.1 世界の石油は枯渇寸前か？

1859年にペンシルバニア州タイタスビルで最初の油田が開掘されて以来今日にいたるまで、世界の「石油は枯渇寸前である」と言われ続けてきた。我々の基準ケースに見られるような、実質的な石油需要は増加するという予測を受けて、この問題が再燃しつつある。ニューヨークタイムズ紙の最近の記事で、ケンブリッジ・エネルギー研究所の会長を務め、『石油の世紀—支配者たちの興亡』の著者でもあるDaniel Yerginは、こうした懸念について考察している。以下は同記事の一部を引用したものである。

「ピークオイル」論の支持者たちは、恒久的な石油不足を警告している。彼らは、今後5年～10年間のうちに、世界の石油生産能力は地質学的な限界に達し、需要の伸びに追いつけなくなると主張する。このような意見を持つ人々は、1956年にアメリカの石油生産が1970年頃に頂点に達すると正確に予測した地質学者、M. King Hubbertの意見に論拠を置いている。最近出版された『Hubbert's Peak』（ハバート・ピーク：下降に転ずる石油産出高）の中で、プリンストン大学の地学名誉教授であるKenneth S. Defeyesは、「世界の石油生産はここ10年間のうちにピークに達するだろう」と記している。同書には、現在の価格が「重大な危機の序章である可能性がある」とも記されている。また、『Out of Gas』（アウト・オブ・ガス：ガスの枯渇）の中で、カリフォルニア工科大学のDavid Goodstein教授は、世界の石油生産高は、「ほぼ間違いなくここ10年間のうちに」ピークを迎え、その後は「恒常的に減少していく」との意見を述べている。

…これらの、ピーク論者たちの意見は正しいのだろうか？

答えはイエスだ。石油は限りある資源であり、枯渇の恐怖は常に石油業界について回ってきた。1880年代に、John D. Rockefellerの後を継ぎ、スタンダード石油トラストのトップとなったJohn Archboldは、技師たちからアメリカが石油生産国である時間は限られているという報告を受けて、社内で自身が保有する株式の売却を開始した。…

1973年のアラブ諸国の石油輸出禁止政策と1979年～1980年のイラン革命がもたらした1970年代の石油危機も、「石油の終えん」の前兆であると考えられた。1972年、ローマ・クラブと呼ばれる国際研究グループは、世界はまもなく天然資源不足に陥ると予測した。翌年以降、石油価格が1バレルあたり3ドルから34ドルに高騰したことは、その裏づけのように思われた。

歴史的に見ると、石油に関する恐ろしい予測がいまだに現実のものとなっていないのは2つの要因が挙げられる。第一に、常に減少する埋蔵量を埋め合わせなければならないという課題を抱える企業が、探鉱により新たに油田を開発（あるいは再開発）してきたという点である。第二に、新技術がもたらす極めて大きな影響がある。第一次世界大戦後、敵の砲兵隊の位置を突き止めるために利用された地震工学は油田探鉱に応用された。また、1990年には沖合深海油田の掘削が実現したが、これは1970年代の石油危機の頃には想像もできないものだった。

技術とマネジメントの改善によって、1998年以降ロシアの産出量は45%増加し、ロシアは世界第2位の石油産出国となった。また、米国のリビアへの制裁措置が解除されれば、新たな投資によって生産量が増える可能性もある。同時に、先進の情報技術と洗練された遠隔探査技法によって、探鉱および生産の効率性はさらに上がるため、今後10年間でさらに1,250億バレルの石油が利用できるようになる可能性もある。この量は、現在のイラクの確認埋蔵量よりも多い。

石油不足は差し迫った問題ではないと考える人々は、産出量がいずれピークに到達するということを否定しているわけではない。彼らはただ、それはまだずっと先のことだと考えているだけである。

「2050年までに、従来型の石油生産量がピークに達することは当然だと考えて差し支えない」と、ある大手石油会社の探鉱部門のトップは語った。しかし彼らは、石油生産量が当分の間頭打ちの状態となり、減少に転ずるのはずっと先のことになると考えている。

また彼らは、ピークオイル説を擁護する者たちがロシア、カスピ海、中近東およびメキシコ湾深海域の埋蔵量をあくまでも過小評価していると主張する。さらに、業界が既存の採油エリアにおける石油の回収率をさらに上げていくであろうとも言う。

ペルシャ湾の埋蔵量が本当はどの程度なのかという点は大きな問題である。世界の確認埋蔵量は、合計で現在1兆2,000億バレル（1970年代初頭のほぼ2倍）である。そのうちの60%近くがペルシャ湾のものだ。しかし、近い将来の石油不足を不安視する人々の多くは、ペルシャ湾の埋蔵量が湾岸諸国の政治的目的によって水増しされてきたと考えている。それとは異なる意見を持つ人々は、これから探鉱する余地がまだ多く残されているため、実際の埋蔵量はさらに多くなると考えている。いずれの意見も否定できない部分がある。

一方で、技術の進歩によって石油の定義が拡大されつつある。今後数十年間で、いわゆる非通常型のオイルから作られるガソリン、暖房用の油、ジェット燃料はさらに多くなるだろう。これには、かつては抽出に途方もない費用がかかるとされていたカナダのオイルサンドや天然ガス由来の液体から採られたオイルが含まれる。遠隔地に大量に埋蔵されている天然ガスを利用しやすい液体に変える技術は、商業的に実現可能どころまでできていると思われる。

省エネが進んでいるとはいえ、中国やインドが主な牽引力となる経済成長によって、世界の今後10年間の石油使用量が20%増加するという予測はかなり可能性が高く、世界はこうした需要を満たす供給源を確保する必要に迫られるであろう。

それでも供給は需要を満たしていくかのように思われる。障害があるとしても、少なくとも今後数十年間のうちに予測されているような生産量のピークを迎えるという事態ではないと思われる。むしろ、産油国の政治、政策および世界の経済成長の変動が障害となるだろう。そしてこれらの諸問題の影響はやがて、その問題の結果がどうであれ、ガソリンポンプのオイルの増減に響くことになるだろう。

的な利用が提唱されているエネルギー・キャリアを示している。1列目と2列目を結ぶ線は、さまざまな一次エネルギー源をエネルギー・キャリアに転換するのに考えられる多くの経路のうちの一部を示している。

エネルギー・キャリアが輸送燃料として広く普及するには、その流通のためのインフラが不可欠である。そこで3列目は、輸送エネルギーの流通システムを大まかに分類した2つのカテゴリー（液体輸送燃料と気体輸送燃料）を示している。2列目と3列目をつなぐ線は、どのエネルギー・キャリアがどちらのエネルギー・インフラで流通され得るのかを示している。最後に、図3.1の4列目は、道路、鉄道、水上交通の輸送機関で現在利用されている、あるいは今後利用されそうな推進システムを大きく2つのカテゴリーに分けている。それはICE（ICEハイブリッドを含む）および燃料電池（燃料電池ハイブリッドを含む）である。<sup>1</sup>

## A. 一次エネルギー源

図3.1に示されているように、あらゆる輸送燃料は、一次エネルギー供給原料のいずれかから生産されている。社会全般のエネルギー選択肢について幅広い議論を取り扱うことは本報告書の範囲内ではないが、以下は輸送におけるエネルギー需要の背景となる、一次エネルギーの生産および移動における技術の動向を要約するものである。

今日消費されているほとんどの石炭は発電に利用されているが、気化または液化することによりさまざまな気体や液体の合成燃料の生産にも利用可能である。北米、ロシア、中国を筆頭に、世界には石炭の埋蔵量が豊富な地域は多い。しかし、これらの埋蔵量の豊富な石炭を持続可能な方法で利用するには、「炭素隔離」と

呼ばれる技術の開発、応用を成功させる必要がある。

原油は、今日の輸送燃料に使用される一次供給原料で、輸送エネルギーの95%を軽く超える割合を占める。原油は世界の多くの地域で生産されるが、2030年までは、その生産はOPEC諸国に集中すると見られており、OPEC諸国での石油生産は2020年代に頂点を迎えるとする向きもある。石油の需要は、特にいくつかの発展途上国において急速に増加しており、実際、既に第2章で述べたように、現在中国は日本を抜いて世界第2位の石油消費国となっている。こうした要因により、長期間にわたる十分な石油供給に関する懸念が持ち上がっている。なぜこのような懸念が生じるのかという点は理解できるものの、データに基づく根拠はほとんどない。（ボックス3.1 世界の石油は枯渇寸前か？を参照）

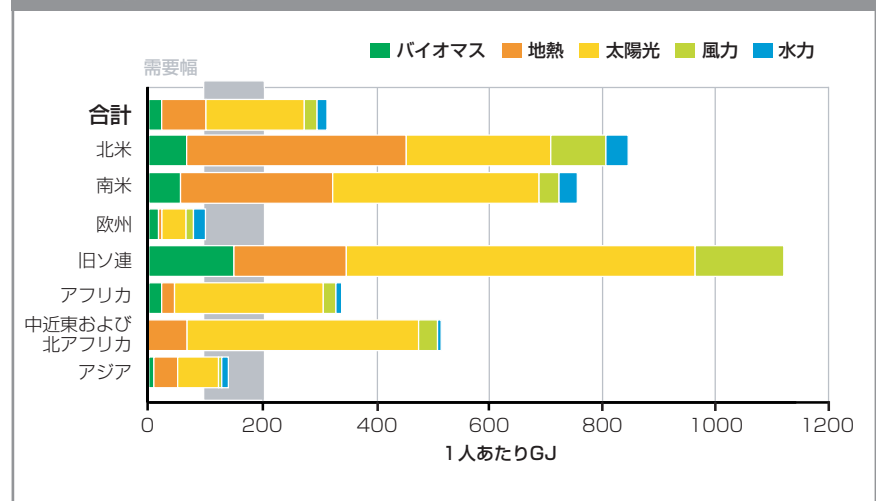
これまで、石油需要の伸びに、新たな油田の発見のスピードが追いつかないという傾向にあった。OPEC諸国外での石油生産はより厳しい条件下にあり、沖合の深海や陸地から離れた場所などとなっている。それでも掘削技術の発展により原油の回収率が上昇し、現存の油田の生産コストが減少したため、

こうした厳しい状況をもたらす影響は緩和されている。

天然ガス資源は豊富だが、世界の天然ガス埋蔵量のおよそ3分の1は現在「身動きのとれない」状況、つまり、生産コストや、市場への輸送コストが高すぎて、掘削の採算が取れないという状態にある。こうした「身動きのとれないガス」に関しては、低温タンカーによる輸送用に液化するか、常温で液体の燃料に転換するか、いずれかの方法をとることによってのみ、パイプラインでの輸送が可能になる。すでにパイプラインでの輸送が可能埋蔵分に関しては、主に海中基地と地震探査法の改善により、生産性は向上するだろう。天然ガスを輸送分野へ応用すると、それをプラスチックや医薬品の貴重な供給原料として利用している化学業界と競合することになる。

風力、太陽光、水力などの再生可能なエネルギー源により、（価格の問題はあるものの）100億人分に相当するエネルギー需要を満たすことができると推測されている。（図3.2）輸送分野に関しては、再生可能なエネルギー源から推進エネルギーを得る方法として2つの大きな選択肢がある。それは、バイオマスから生産される燃料と、「再生可能な」電力

図3.2 推測される再生可能なエネルギー源



注記：人口100億人に基づく算出

出所：Shell International, Ltd.

を利用して生産される燃料である。いずれも、本章で後ほど詳しく考察することにする。

原子力エネルギーによる発電ではGHG排出量が低い。多くの国では、経済面、環境面での懸念が社会の受容の問題とあいまって、このエネルギー経路の成長を阻んでいる。天然ガスのように、より安価で一般的に受け入れられやすい代替燃料を採用し、原子力から手を引く国もあることを受け、IEAは発電における原子力エネルギーの役割は今後数十年間で減退すると予測している。それでもなお、「本質的に安全な」設計などの原子炉技術の新たな開発により、特に大規模な炭素隔離が非現実的または高価すぎるものと判明した場合には、原子力が現実的な代替エネルギーあるいは化石燃料を補完するものとなるかもしれない。

## B. 推進システムと関連燃料

ここでは、表3.1に要約されているように、エンジンと燃料の組み合わせについて考察する。さまざまな組み合わせと、それらがエネルギー使用や排出に及ぼす影響を説明する。

### 1. 内燃機関 (ICE)

適切でクリーンな燃料の利用可能性を考慮すると、今後30年以上にわたり、ICE技術はこれからも改善されていくであろうと考えられる。ガソリン技術に関しては、近いうちにより小型の火花点火エンジンがガソリンエンジン市場でのシェアを拡大すると思われる。小型化される新型エンジンにより、排気量は最大30%削減され、ひいては燃費と二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の排出の大幅な低減につながる。<sup>2および3</sup>

表 3.1 想定しうる燃料／推進システムの組み合わせ

	火花点火	圧縮着火	燃料電池	改質器+燃料電池	電気モーター
ガソリン	●			●	
軽油		●		●	
CNG	●			●	
LPG	●				
水素	●		●		
メタノール	●	●	●	●	
エタノール	●	●		●	
バイオディーゼル		●			
DME		●		●	
電気					●
FTディーゼル		●		●	

出所：Frost & Sullivan 2002, Figure 2.2

2020年までには、ガソリン直噴(DI)エンジンは、従来型のポート噴射式(PFI)エンジンよりも重要な地位を占めるようになると思われる。DIエンジンは、希薄燃焼に必要な最先端の噴射技術とNOxの後処理技術を採用しているため、従来型の火花点火エンジンに比べてコストが10%~15%高くなる。2010年以降になれば、DIエンジンの中には、ハイブリッド化しなくとも、アイドル時にエンジンを自動的に停止するようになるものも出るだろう。また、可変電磁バルブ機構やその他のフリクション低減技術、可変気筒、ターボ・チャージャー、マルチスピード・トランスミッションなどによっても、約20%のコスト増でエネルギーの利用率を高めることができると思われる。ガソリンエンジンに関する最先端の技術としては、コントロールド・オート・イグニッション(CAI)が挙げられる。これは将来、NOx除去の高度な後処理を必要とする現在のDI燃焼システムに替わる技術であり、2030年までには市場での商品化が実現すると言ってもいいであろう。

2010年までには高性能のターボ・チャージャーやインタークーラーを搭載し、小型化も実現した直噴技術が、ディーゼルエンジン技術の主流になるであろう。このようなエンジンには、高い噴射圧(最大2,500バール)と完全な可変

噴射機能(パイロット噴射、ポスト噴射、スプリット噴射および噴射量の決定など)を備えた噴射システムが使用されると思われる。最適化された噴射穴サイズの噴射ノズルと可変タービン・ジオメトリ付き排出ガスターボチャージャーの搭載が標準設計となるであろう。電気アシスト付き排出ガスターボチャージャーと可変バルブトレイン技術は2020年までに実用化されると思われる。このような機能の付いたエンジンのコストは、現在のディーゼルエンジンよりも約20%は高くなるかもしれない。

ディーゼルエンジンの燃費は現在でもすでに極めて高いものだが、積極的な排出ガス制御(粒子フィルター、NOxトラップ)の必要性によっては、技術的には現在よりも向上できる可能性がある。最も将来性の高いディーゼルエンジン技術は、予混合圧縮自己着火燃焼プロセス(HCCI)である。この先端の燃焼プロセスによって排出ガスの後処理システムが簡素化される。2010年以降には実用化の可能性はあるが、それよりも前に部分的な利用が可能になると期待されている。

希薄燃焼(リーン・バーン)ガソリンエンジン、特に直噴型の開発により、ガソリンエンジンと比較した際のディーゼルの燃費面でのメリットが少なく

なった。エンジンの小型化については、ディーゼルエンジンよりもガソリンエンジンの持つ可能性の方が大きいと、さらに両者の差が縮まるだろう。基本的に、極めて厳しい排出ガス規制により、あらゆるエンジンの燃料消費量は増加するが、エンジンの種類により、その減少の割合は異なる。極めて厳しい排出ガス規制とGHG排出量との間のバランスは、PFIガソリンエンジンにはほとんど影響がなく、DIディーゼルエンジンには最も深刻な影響がある。リーン・バーン（DI）ガソリンエンジンはその中間である。超低排出レベルを達成するために必要な追加コストに関しても、この順序が当てはまる。

CAIガソリンエンジンとHCCIディーゼルエンジンの開発を進めるに従い、両タイプのエンジンはより近いものとなり、DI、予混合および自己着火などの特徴を共有することになる。時期をみて双方の開発成果を1つの型のエンジンに融合し、特にNOxやPMなどのエンジンから出る排出物を極めて低く抑えながら高い燃費を実現することができるようになるかもしれない。これにより地域によっては排出物の後処理が不要になるだろう。

技術的特性、コスト目標、排出ガス基準など多くの影響因子があるため、ディーゼルおよびガソリンエンジンの燃費がどのように変わるかということを経験することは不可能である。2010年までには、ガソリンエンジンの燃費の向上はディーゼルエンジンのそれよりも多いと思われる。その後予混合ディーゼルの開発が成功すれば、この傾向は再び逆転するだろう。

車両の燃料消費量とそれに伴うGHG排出量は、エンジン効率のみによって決まるのではなく、車両パラメータにも影響される。通常の車両の燃料消費は、現在の最も燃費が優れているディーゼル車と比較して、2030年までに20%程度削減されるであろうという具体的な予想がなされている。これには、エンジン、トランスミッション、車両技術（空力抵抗低減、軽量化、タイヤや付属部品の効率化など）すべての融合が想定されている。

## 2. ハイブリッドシステム

ICEの効率を向上させ、従来型排出物およびGHGの排出量を削減させることができるもう1つの方法として、ハイブリ

ッドシステムの利用が挙げられる。このシステムでは幅広い推進システムのアレンジが可能であるが、そのすべてが、ICEエンジンまたは燃料電池に発電機、バッテリー、1つ以上の電動モーターを組み合わせたものである。ただし、これらの構成部品はさまざまな方法でアレンジすることができる。電動モーターは、車両推進の負荷の大部分または一部を担うことができる。一般的に、電動モーターだけで駆動可能な時間が少しでもある場合、その車両は「フル・ハイブリッド」に分類される。

ハイブリッドシステムの燃費は次の何通りかの方法により向上する。

- 1) 車両停止時にICEエンジンを完全に停止させる。ハイブリッド車は、ドライバーが運転を再開しようと思う時に、ICEエンジンの再始動と車両を「発進させる」電気モーターを駆動することの両方にバッテリーを利用する。
- 2) 低速運転中に電気自動車（EV）モードに切り替える。ICEエンジンの効率が低速運転中に悪くなるため。
- 3) 無段変速機（CVT）と電気モーターの使用によりエンジンを最適動作させる。
- 4) 高効率エンジンを使用し、ハイブリッド運転中の効率を最適化する。高効率エンジンとは、リーン・バーン技術を使用した、小排気量エンジン、高膨張比エンジンなどである。高速走行時の加速など、大きな駆動パワーが必要な走行では、電池パワーアシストが得られる。
- 5) 電気モーターを電気回生のために作動させる。この回生エネルギーを上記2)、4)の駆動エネルギーとして再利用する。回生効率は、



回生ブレーキシステムとの協調によっても向上できる。このシステムでは、伝達ロスや低減させるモーターレイアウト、および減速時にダブルクラッチまたはプラネタリギアでエンジン気筒やエンジンそのものを停止させるメカニズムを採用することによるエンジン回転損失の低減により、制動時に回生制動力に応じてブレーキ油圧を減少させることが可能である。

ハイブリッドによる燃費向上効果は走行モードにより変化し、加減速頻度、停車頻度の少ない高速走行では効果が減少するが、上記3)のエンジン効率最適作動と4)の高効率エンジンとの組み合わせにより、燃費向上率を高めることができる。また、都市内走行、郊外走行での効果もシステムデザインとその仕様で大きく変化し、停車中にエンジンを停止したり、回生ブレーキシステムをあまり利用しないハイブリッドシステムではその効果も小さくなる。

ディーゼルエンジンではエンジン性能の最適化の効果は小さく、ガソリンエンジンに比べ、燃費向上効果は小さくなる。このため、ディーゼルハイブリッドは都市部を走るバス、トラックの用途が有望である。

ICE車もICEハイブリッド車も、決してゼロ・エミッション車にはなり得ないが、単位走行距離あたりのCO<sub>2</sub>削減に向けた将来性は高い。将来的な小型でクリーンなガソリンICEやディーゼルICEをベースにした場合はなおさらである。ハイブリッド車の基本的な機能である停車時におけるストップ&ゴーのシステムや、シンプルなエネルギー回生システムを搭載している現行のハイブリッドパワートレインの中には、従来型のガソリンパワートレインと比較して燃費が大幅に向上したものもある。空力抵抗の低減、転がり抵抗の低減（低転がり抵抗タイヤ

など）、最適化されたリーン・バーン・エンジンや高膨張比エンジンなどの高効率エンジンとの組み合わせによっては、最終的には燃費においてさらに高い数字を生み出すかもしれない。

我々は、電気モーター・コントローラー、バッテリーおよびハイブリッドシステムの最適なエンジン・チューニングなど、ハイブリッド構成部品の各分野において、引き続き技術革新が進むものと考えている。先進のクリーンICE、空力抵抗の低減、軽量化、そして転がり抵抗の低減により、ハイブリッドの（そして、従来型車の）総燃料消費量をさらに減らすことになるだろう。したがって、近い将来、これらの最新技術をすべて搭載したハイブリッド車は、同程度の車内スペースを持つ現在の従来型ICE車およびICEハイブリッド車と比較して、燃料消費量を極めて低く抑えることができると思われる。(WTW比較は下図3.3に記載)

### 3. ICEとICEハイブリッド車の燃料

代替燃料にはさまざまな種類があるが、ICE燃料という言葉は原油から精製されるガソリンやディーゼルと同義語とみなされてきた。ここ30年間は、エンジンからの排気の削減と排気触媒や補助システムの利用による自動車の排出ガスの低減が、これらの燃料改良を促してきた。今後の変化の原動力として、本報告書に記載されているような、より燃費の良い将来のエンジン技術の開発、ICE燃料の化石炭素含有量の削減、供給原料の多様化とエネルギー供給の確保の検討などが挙げられる。輸送インフラは、重要な役割を果たし、既存のものであろうとも、新しいものであろうとも、新たな燃料には別個のネットワークを必要とする。

#### a) 既存燃料インフラで流通可能なICE燃料

ガソリンとディーゼルは、2030年ま

ではICEやその派生技術用の燃料として道路輸送燃料の主流であり続け、高効率エンジン技術や車両排気制御システムを最も効果的に機能させるであろう。生産プロセスや既存の供給インフラの拡大に対する莫大な投資が行われ、これらの燃料をめぐって国際経済が発展してきた。生産量を高めるための投資が増加しており、これは既存のフリート車両や利用できる流通インフラの普及具合から考えられる需要を考慮すると、別の燃料を採用する場合に比べてリスクが低いと言える。

火花点火エンジン(ハイブリッド用含む)の主な燃料は、今後も無鉛ガソリンであろう。2010年までには世界のほぼ全域で無鉛ガソリンが入手可能になるため、触媒を使用した排出ガスの後処理システムが利用できるようになると見込まれている。ガソリンおよびディーゼル燃料の硫黄含有量を抑える（おおむね10 ppm以下）ことが、先進国では2010年以降の、また多くの発展途上国においてもおそらく2030年までに達成すべき目標となるであろう。超低硫黄燃料は、排出ガスが極めて少ない自動車に必要なだけでなく、超低排出ガス車と大幅な燃料消費の削減を結びつけるコンセプトにも必要となる。このコンセプトとは、NOx貯蔵触媒を搭載したリーン・バーン・ガソリンエンジンや、NOx貯蔵触





媒または粒子トラップ（あるいはその両方）を採用した超クリーン・ディーゼルエンジンなどである。

原油を精製してガソリンやディーゼルを生産する技術は確立されているが、現在および将来の自動車排気のクリーン化技術を効果的に実現し、古い車両の触媒の劣化を防止するために必要な超低硫黄燃料の生産には、まだ開発すべき点が残っている。この脱硫黄化は、主にその過程における水素消費量が多いという理由でエネルギー集約型であり、使用段階での排気を改善するために精製段階でCO<sub>2</sub>を排出している形となる。そのため、超低硫黄燃料の導入は排出ガスの浄化用に触媒コンバータを搭載した自動車の導入に合わせて行うというのが妥当だ。そうすることによって、使用段階での排出量の低減と燃費向上の両方を達成するための燃料特性を引き出すことができる。

HCCIなど、開発中のエンジン技術の最高性能を達成するためには、ガソリンやディーゼル燃料の規格変更が必要となるかもしれない。一般的な傾向として、燃料の炭素含有量の削減、つまり炭素の対水素比率をできる限り低く抑える（水素の場合は最終的にはゼロにすること、またエネルギー供給の多様化には、エネルギー・キャリアの修正が必要となるであろう。

短中期的には、精製所での水素添加プロセスの追加によってガソリンと軽油に含まれる原油以外の一次エネルギー源に由来する混合化合物が増加する傾向があり、状況によってはそのような混合化合物に移行していくことも考えられる。このような成分は、地域や地球規模の排出削減、エネルギー保証の強化、石油依存の緩和など、持続可能性にとって効果的であるため、常に選択肢に挙がるものと思われる。このような方法で改良された燃料は、既存の供給インフラに大幅な修正を加えるこ

となく利用できるであろう。

代替燃料または代替成分の中には、現行規格の従来型燃料よりもエンジンからの排出を抑えるものもあるが、それらをここに要約する。

#### FTディーゼル

この製品は、セタン価が高く硫黄分や芳香族を含有していないため、ディーゼルエンジン用の燃料または燃料成分として極めて望ましいものである。これにより排出ガスを大幅に抑えつつ燃費も高いディーゼルコンセプトが可能となる。FTディーゼルはフィッシャー・トロプシュ（FT）処理により天然ガスから精製される。（FT処理によりFTガソリンやナフサも可能。）

しかし欠点もある。FT処理自体はエネルギー集約型の処理であり、そのため精製時のCO<sub>2</sub>排出量も大きい。さらに、近い将来には従来型の低硫黄ディーゼルに対抗できるようになるとしても、投資コストは依然として高い（現在は1プロジェクトごとに約20億ドル）。何より、比較的安い原油がまだ潤沢にあるという現在の市況において、FTディーゼルの経済的な成功は低コストの天然ガスにかかっていると言えそうだ。これは、天然ガス市場で流通するもの以外の「身動きの取れない」天然ガスの備蓄があって初めて実現する。本章ですでに示した通り、そのような天然ガスは豊富にある。しかし輸送方法が複雑でありコストもかかるほか、市場での流通に適した立地でFT工場を建設するという点でもさまざまな問題と高いコストが障害となるため、FTディーゼルが世界の主要燃料成分となるには限界があるだろう。

天然ガスから精製されるFTディーゼルは燃料の主流にはならないであろう。しかし、石炭やバイオマスなどの供給原料を利用すれば、その利用可能性が大幅に広がるかもしれない。石炭を利用する場

合には、CO<sub>2</sub>を隔離することで、GHG排出量を一般に受け入れられるものにする必要がある。

#### 従来型バイオ燃料

天然ガスやバイオマス、その他の再生可能資源から精製されるメタノールやエタノールなどのアルコール燃料は、ガソリンの成分として利用される可能性がある。圧縮着火（ディーゼル）エンジンに関しては、菜種メチルエステル（RME）のようなバイオマス由来の脂肪酸メチルエステル（FAME）を含むバイオディーゼルが選択肢のひとつとなっている。

理論上、バイオマス由来のエネルギーは、バイオマスの成長段階で大気中のCO<sub>2</sub>を除去するという自然のプロセスを活用しているため、世界の輸送エネルギー要件を100%満たす可能性を秘めている。しかしながら、これはすべてのバイオマスの残渣が回収され処理されることを想定したものであり、現実には商業的、社会的な側面を考慮した場合、その可能性のパーセンテージはもっと小さい。それでもバイオ燃料は将来主流となる低炭素燃料源として現実的な選択肢であり、化石燃料への依存を緩和し、輸入エネルギー源からの独立を実現するものでもある。

バイオ燃料の可能性を見極めることはかなり難しいが、それには次のような要因が挙げられる。

- 燃料作物用の土地の拡大が、食物や自家用作物、商用作物の土地利用と競合する可能性がある。エネルギー作物から精製されるバイオ燃料は、利用可能な土地と水資源の問題で、その利用が制限される地域もあるであろう。
- 作物の収穫（ディーゼルトラクターなどを使用）や肥料の使用（大気中へ窒素を含むGHGを放出する）など

からの排出を考慮に入れた場合、GHG削減の真の可能性を正確に見極めることが困難である。

- バイオ燃料の生産におけるさまざまな経路の真のコストに関する情報がない。バイオ燃料の生産は、少数の大規模工場ではなく多数の小規模工場で行われるため、規模の経済から見れば、物流が問題になり、石油産業には匹敵できない。近い将来、すべてとはいかないまでも、多くのバイオ燃料の経路に対して財政支援の優遇措置を講じることで、実際のコストを低減させる必要がある。

バイオマスは、それ自体が単体の燃料として見なされるべきではないが、世界中で普及しているガソリンやディーゼル燃料向けに発展している流通システムの一部となりうる。一貫した高品質のバイオマスを供給するために適切な基準を設け、維持することが、重要な課題となるだろう。

#### 先進バイオ燃料

バイオ燃料の産出量を増加させたり、その生産を食物生産から切り離したりする新たな「先進」バイオ燃料の生産方法が模索されている。具体的には、リグノセルロース物質の酵素による燃料成分への転換や、バイオマスのガス化後のFT処理などが挙げられる。(このプロセスは「バイオマスの液化」またはBTLとして知られている。)

このような処理のすべてにおいて、農業廃棄物や都市廃棄物も含め、幅広いバイオマスの供給原料を利用できる可能性がある。これらの技術の実用化が成功すると、従来型のガソリンや軽油と価格面で競争できるレベルにまでバイオ燃料のコストを下げられる可能性がある。もっとも現段階では、その進捗スピードは極めて不明瞭なものである。BTL (主に軽油) もリグノセルロース・ガソリン成分

(エタノール) の生産も、まだ実用化の段階にはない。

その他にも供給原料の流通の問題がある。流通を完全に最適化するためには極めて大きな規模でのバイオマス供給原料の生産が必要となる。世界規模のBTL工場 (毎年150万トンの生産が可能) であれば、ベルギーの国土のおよそ半分の面積から集められる木のバイオマスを要するであろう。また、世界規模のリグノセルロース物質発酵工場 (毎年20万トン) では、ベルギーの国土の約10分の1に相当する小麦作付面積から取れる余剰わらが消費されると考えられる。

#### b) 別個のインフラが必要となる ICE燃料

液化石油ガス (LPG)、圧縮天然ガス (CNG)、ジメチルエーテル (DME) および水素などの、混合成分として利用できない代替燃料は、供給インフラに莫大な投資が必要となる。これが、代替燃料普及への経済的な障害となっている。

LPGやDMEなど低圧貯蔵の液体燃料と比較して、CNGや気化水素など高圧貯蔵が必要となる燃料のインフラコストは大幅に高くなる。例えば、原油や圧縮ガス由来のLPGのインフラとして必要なものは加圧型の「ボトル」または「タンク」だけであり、トラックや鉄道車両で輸送できる。しかし、CNGや水素の場合は、より安全性の高い供給・貯蔵のネットワークが必要となる。水素の場合は生産能力の問題も含まれる。

CNGおよびLPG燃料に関しては、(主に) 都市部での局地的な排出抑制やフリート車両での利用において有効性が高い。これらの燃料への投資は特定の地域に限定することが可能であり、また、現在の混在するフリート車両からの排出と比較しても、局地的な排出量の削減ができるという理由で投資が正当化されう

る。ほぼすべてにスパークアシストが搭載されているため、気体燃料で駆動するICEやハイブリッドには高度な改造が必要となる。気体燃料の最高性能を引き出すためには、バイフューエルまたはデュアルフューエルのシステムではなく、専用の自動車での利用が望ましい。バイフューエル運転では、どちらの燃料を利用する場合でも各々の最高性能を引き出すことができないという弊害がある。しかし、ある特定の代替燃料しか利用できない車は購入したくないと考える消費者でも、バイフューエル車を購入し代替燃料を利用するという選択が魅力的に感じられればそうする可能性があるだろう。

従来型排出物の削減という点では、ガソリンやディーゼル燃料はもちろんのこと、ICEそのものや排出ガスの後処理技術の向上に伴い、気体燃料の魅力は薄れていく。したがって、これらの燃料の長期的なメリットは限定的なものとなる。

CNGには石油への依存を緩和する可能性があり、PMの排出という点では、旧型ディーゼル車に勝る。しかし、新型のディーゼル車に採用されている先進の排出ガス後処理装置を考慮すると、CNGのメリットは大幅に薄れてきている。CNGは、輸送用燃料としてガソリンや軽油ほど普及しておらず、普及のためのインフラ整備の速度も遅い。それにもかかわらず、多くの行政機関が石油よりもCNGを好んで利用しているのは、その資源が世界中に散在しているのと、石油輸入への依存を緩和できるという利点があるためである。

CNGは現代のあらゆる気体燃料につきものの障害に直面しているが、CNGエンジンは、ディーゼルエンジンに必要な先進の排出ガス処理をしなくても、比較的排出を実現できる。現在の傾向と政府による優遇措置が継続すれば、CNGは2030年までに、さらに重視されるようになるであろう。すでに固定

発電に大量に利用されているが、道路交通用の需要のうち大部分を賄うことができる可能性も秘めている。(液体燃料と比較して) エネルギー密度が低いため、車両の走行距離や出力の点で見劣りがするという点が、消費者を考慮した際の課題として残っている。今後も気体燃料用のインフラが整うまで、暫定的にバイフューエル車の利用が求められると見込まれている。

インフラ投資のコストは引き続き中心的課題となるだろう。国内での供給のために構築されたネットワークの存在が、CNGの実現可能な代替燃料としての利用を促進してきた地域もある。天然ガスは「持続可能な燃料」ではないが、スウェーデンでは天然ガスのインフラがバイオガスから精製されたバイオメタンの供給に利用されてきた。したがって、ちょうどCNGエンジンを水素で動かす事ができるように、CNGインフラの開発は水素ベースのモビリティのための新しいインフラ作りに必要な経験を提供することができる。

LPGには、すべてではないが、一部の従来型排出物の面においてガソリンと比べて改善が見られる。LPGは原油からも天然ガス成分からも生産することができ、その燃料供給インフラは、天然ガスのもものと比較すると整備がよく進んでいる。またフリート車両において軽油やガソリンの代替燃料として特に認められつつある。液体燃料として消費者がその安全性を認識しており、代替燃料の中では比較的求めやすい価格になっている。燃料補給ポイントを安価に設置できるため、2030年までにはLPGの燃料補給インフラはさらに普及するであろう。しかし、幅広い利用がなされる国もあるであろうが、ほとんどの市場ではニッチ燃料に留まると考えられる。

水素をICE燃料として利用すると、車の排出ガスに含まれるCO<sub>2</sub>はゼロになる。

しかし、完全なCO<sub>2</sub>フリーのモビリティ、つまり車自体と燃料の生産段階の両方でCO<sub>2</sub>ゼロを実現しているものということになると、再生可能な資源や炭素隔離技術を利用した水素の生成が可能とされない限り、達成し得ない。しかし、ICE燃料に水素を利用することで、都市における汚染物のレベルを大幅に抑えることができる。

### c) ICEを利用しない推進システム— 燃料電池

燃料電池システム、特に水素を利用する燃料電池システムに対する注目が高まりつつある。カーボンニュートラルな資源から生成した水素で駆動する燃料電池自動車(FCV)であれば、全体的な推進システムのエネルギー効率是最も高く(40%以上)なり、GHG排出量および従来型排出物からの排出量は最も低く抑えることができると考えられる。バッテリーが補助電力を提供するという設計では、ICE同様、FCVの性能は更に高めることができるであろう。ICEハイブリッドに比べると、(燃料電池自体がとても効率が良いので)バッテリー電源の付加的なメリットはさほど大きくないが、回生制御など、ICEハイブリッドと同様の利点もある。こうしたコンセプトは現在開発中である。

燃料電池の最大の魅力は、さまざまな資源から作られる水素の普及の可能性と共に、その高効率性やGHG排出量の低減(またはゼロ化)の可能性に対する貢献といったところにある。また別の魅力的な特徴としては、車が古くなり、所有者がメンテナンスをしなくなった時でさえも排出ゼロのままであることが保証されている点にある。

しかし、そのような究極的な期待とはうらはらに、燃料電池が従来型の推進システムに替わるものとして実用化できると考えられるようになるまでには、数多く

の高いハードルが残っている。現在最も期待されている技術は、車載の貯蔵タンクを利用し、水素を原動力とする固体高分子型(PEM)燃料電池である。しかしながら、圧縮水素タンク、低温タンク、水素吸蔵合金タンクなどの水素貯蔵技術はまだ量産車には適したものではないことが課題となっている。他にも未解決の主な問題としては、燃料電池スタックに必要なとされる高コストの貴金属の割合の低下、より高度な燃料電池膜技術の開発、また消費者やドライバーにとって安全で信頼性が高く、魅力的かつ手ごろな価格となる燃料電池システムを車体に組み込むことなどが挙げられる。

### d) 燃料電池用の燃料— セントラル(集中方式)、オンサイト(スタンド側)、もしくはオンボード改質器で製造された水素

車両での利用を想定した燃料電池コンセプトは、水素を燃料として利用するという前提で開発されるであろう。これは、水素と酸素を結合させることによって電力と水を生成するという燃料電池の作用そのものによって、水素が不可欠だからである。水素燃料電池車では、(水以外の)排出物は「ゼロ」になる。水素や燃料電池からのGHGの影響がどの程度になるかは、生産段階の処理工程において発生する水素や原料に含まれるGHGの量に左右される。再生可能なエネルギー(太陽光、水力、風力、地熱など)を利用して発電した電気による水の電気分解で水素を生成すれば、燃料の生産から車両での最終用途に至るシステム全体が、GHGも局地的な汚染物質もまったく排出しない真の「ゼロ・エミッション」になる可能性がある。

また、水素生成過程で発生するCO<sub>2</sub>を隔離すれば、化石燃料由来の水素でもゼロ・エミッションをほぼ達成できる。この場合、水素の生成過程で汚染物質が地域に排出されるという点だけが異なる。

大切なのは、両方とも「GHGほぼゼロの」モビリティを実現できるという点だ。<sup>4</sup>

石炭、天然ガス、または水の電気分解から水素を生産するための技術はすでによく知られており、特に石油業界で実用化されている。この分野では、低硫黄のガソリンやディーゼル燃料生産のために水素の需要が急増している。現在生産されている高純度水素の90%近くが天然ガスのメタン水蒸気改質によるものであり、これは近い将来においても主流かつ最も経済的な方法であり続けるであろう。これらのプロセスにおいてコストを削減し、エネルギー効率を改善するには、水素の生成と供給における技術の進歩が必要となる。

自動車市場の発展に貢献するような水素インフラへの移行は、とりわけ一般の消費者が製品を安全に利用できるようにするという点では壮大な取り組みであろう。移行のどの段階においても、一部の有利な立地条件を除いては、その大規模な生産や流通への投資に見合うような水素の需要はないと思われる。

燃料電池で液体燃料を利用すれば、現在の燃料補給インフラを利用してその燃料を入手できる、あるいはこれから入手可能になるため、インフラの問題は大幅に減少する（あるいは全くなくなる場合すらある）であろう。現在のところ、その方法で液体燃料を利用できるのは、車載改質器付きの燃料電池のみである。改質技術の開発が進めば、集中方式で生成された水素をベースとする長期的な将来への架け橋となるかもしれない。しかし、この方法は複雑すぎて自家用車分野での市場への適用には向かないと思われる。簡素化された改質方法が（できれば2010年までに）開発されれば、メタノールや、GTL（天然ガスの液化）燃料のように硫黄分を含まない高性能パラフィン系燃料の利用が期待できそうだ。改質器を車両に搭載するよりもむしろ、

そうした改質方法は小売の燃料補給場所でも利用可能になると考えられる。

これらの極めて特別な燃料は、必ずしも既存のICE燃料インフラで利用できるには限らないだろう。他の燃料の混入を防ぎ、正確な燃料の配給を行うためには、別個のシステムが必要となるか、大幅なインフラの修正や分離、拡張などが必要となるだろう。改質器の付いた燃料電池補助パワーユニットを重量車に応用することも魅力的な発電方法ではあるが、最も重要なのは、車載改質器では供給原料の多様性という点においてはメリットが皆無であり、またGHG排出やエネルギー効率においても高度なICEシステムに勝るメリットがほとんどない、あるいはまったくないということである。

## C. さまざまな車両の推進システムと燃料の組み合わせの進化と影響の可能性

これまでに考察してきた推進システムと燃料の組み合わせは、それぞれまったく異なる開発段階にある。すでに商業利用されているものもあれば、開発の初期段階にあるものもある。こうしたばらつきを考えると、将来的に異なるタイミングで本格的な量産が実施される際の、さまざまな推進システム／燃料の組み合わせの性能・コスト予想は推測の域を出ない。本報告書で提示されている予測は、そうした推測ではなく、これらの技術を商業的に実現可能なものにするために克服しなければならない課題の重要性を示している。

もうひとつ重要な点は、現在の車両推進システムと燃料の組み合わせから将来的なシステムへの移行段階である。今世紀

半ばには、新たな推進システムを搭載した多数の車両が、再生可能エネルギーからの燃料で駆動しているという状況は想像に難くない。しかし、現在からこのような状況にどうやってたどり着くかという問題も、そこからさらに将来へむけて移行することと同様に困難な性格のものである。車両技術、車両数、必要とされる燃料の品質と量の調和を取り、既に市場に出回っている技術との両立をはかる中間段階が必要となるだろう。

### 1. GHG排出量の特徴

推進システム／燃料の組み合わせがGHG排出量に及ぼす影響を測るためには、「油井から車輪まで（WTW）分析」という手法を利用する必要がある。この手法では、燃料使用時に発生するGHG（タンクから車輪まで—TTW）だけでなく、燃料の生産や供給において（油井からタンクまで—WTT）排出されるGHGも考慮する。GHG排出量を車両が消費する燃料の面から捉えるだけでは、推進システム／燃料の組み合わせの真の影響について誤解を招くような印象を与えかねない。なぜなら、せっかく車両の改良によってGHG排出量が削減されても、燃料の生産・供給による増加量によって相殺されてしまう、また時には後者の方が上回ってしまう可能性があるためである。

図3.3は、燃料／推進システムのさまざまな組み合わせの今後約10年から20年（またはそれ以上）にわたるWTWでのGHG排出量を本プロジェクトで予測したものであり、またそれぞれがWTTとTTWの予測に分かれている。図3.3で示されているのは、ICEエンジンと水素以外の燃料の組み合わせでは、概してTTWでの排出量が相対的に高くなっているという点である。植物が成長する過程で大気中のCO<sub>2</sub>を吸収するため、バイオマス由来燃料のCO<sub>2</sub>削減はWTTの部分で起こる。WTW分析ではCO<sub>2</sub>排出

量を全体的に見た場合のみ、GHG排出量の削減に関して異なる燃料と推進システム技術のメリット/デメリットを把握できる。

また図3.3は、水素を燃料とする車両のWTWのGHG排出量は、水素の生成・供給に利用されるプロセスに完全に左右されてしまうということも示している。そのプロセスの差は大きい。実際、一部の水素生成方法ではWTTの排出量が極めて高くなるため、WTWの排出量が現行のガソリンICEシステムのWTWの排

出量を上回ってしまう。

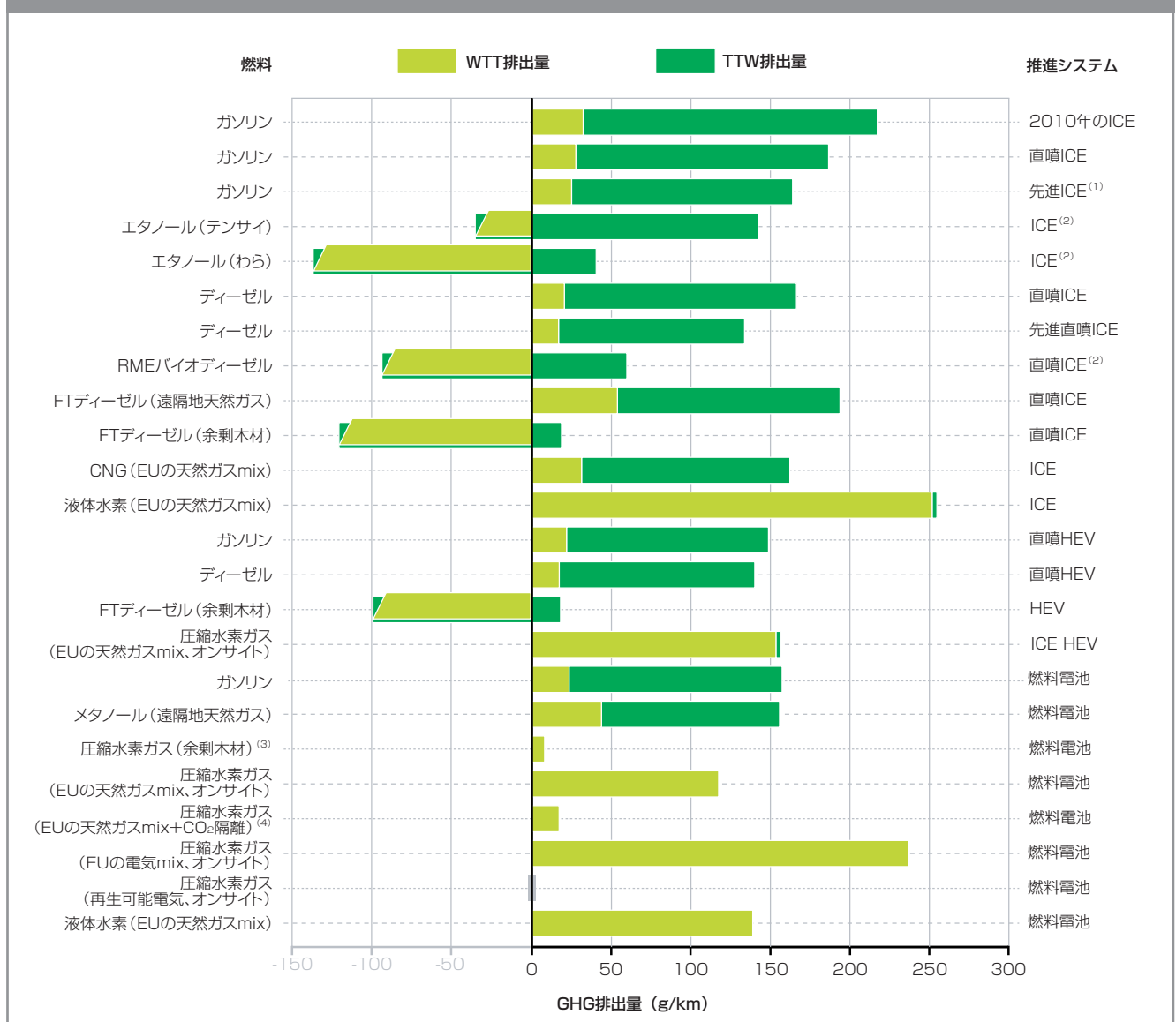
また、バイオ燃料/ICEの組み合わせではWTWの排出量が極めて低くなる場合があるという点も明らかになっている。これは、バイオ燃料の原料である植物は炭素を最終的に吸収するものであるということを受けて、燃料の生産・供給(WTTの排出量)によるCO<sub>2</sub>排出量がマイナスとなっているためである。SMPで分かっている限りすべてのWTT研究では、バイオ燃料の生産に関連して発生するGHGの排出(中には、CO<sub>2</sub>よりも

影響力の強いGHGもある)を正確に計算することは困難であるということが強調されている。また、後にバイオ燃料になるバイオマスの栽培に与えられる適切な炭素隔離クレジットを決定する難しさも強調されている。

## 2. 車両の保有コストと維持費用、およびGHG排出量削減における推進システム/燃料のさまざまな組み合わせのコスト効率

今後数十年を経なければ普及しないと思

図3.3 推進システムと燃料のさまざまな組み合わせにおけるWTW (WTT+TTW) のGHG排出量



注記: <sup>(1)</sup> VKAIによる推計 <sup>(2)</sup> GMデータに基づくBPIによる推計 <sup>(3)</sup> 変換処理におけるエネルギー使用からの正味排出量 <sup>(4)</sup> ハイドロの数値に基づく出所: 持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

われる車両や燃料のコストを予測することは、極めて困難な作業である。また、このような予測の結果は誤った解釈をされやすい。想定を注意深く記述し、分析の限界を肝に銘じておく必要がある。

SMPで推進システムと燃料の課題に取り組んでいる頃、EUCAR (The European Council of Automotive R&D)、CONCAWE (Conservation of Clean Air and Water in Europe)、およびJRC (Joint Research Centre of the EU Commission) は、まさにこのような情報を提供するための共同研究を行っていた。この研究の目的は、透明かつ客観的な方法で、2010年とそれ以降の欧州でのさまざまな車両燃料と推進システムのWTWのエネルギー利用とGHG排出量に関して一致した分析結果を出すこと、それぞれの燃料経路の実現の可能性を検討し、それに関連するマクロ経済的コストを算出すること、そしてあらゆる利害関係者（ステークホルダー）の参照する目安として納得してもらえるような結果を出すことである。この研究の取り組み結果を詳しく文書にまとめた報告書が、2003年の終わりから2004年の初めにかけて公表された。(EUWTW 2003, 2003a, and 2004) 我々は同じ内容の研究を行うのではなく、この研究の成果を活用することとした。

上述の燃料／推進システムの組み合わせに関しては、自動車や燃料に対する投資の度合いに大きなばらつきが見られる。これらのコストを比較するためには、欧州WTW分析により、どの組み合わせでも実施される輸送サービスが同じレベルになるようなシナリオを設定する必要があった。これにより、車両の生産・販売台数が決定し、供給すべき燃料の量が明らかになった。

欧州WTW分析において作成されたシナリオは、2010年時点でのEU-25カ国

において予想される移動状況を反映することを意図したものである。同年のEU-25カ国において予測される自動車での移動の5%、すなわち2,250億Kmの総走行距離を推進システム／燃料の組み合わせを特徴とする車両で走行することを想定した。車両の1台あたりの年間走行距離を1万6,000Kmと想定すると、約1,400万台の車両を要することとなる。異なる燃料インフラを必要とするこれらの推進システム／燃料の組み合わせに関しては、EU-25カ国の約10万の燃料補給所の20%、つまり約2万カ所でその燃料を販売することが必要になると想定した。(EUWTW 2004, pp.20-22)

この分析報告書の著者が注意深く説明しているように、こうしたシナリオは分析上のものであり、実際に2010年までに欧州において、技術的、経済的どの程度普及が可能であるかを判断するものではない。

「純粋にエネルギー資源の利用の可能性という点では、原理的にすべての代替燃料が5%という代替レベルに届く可能性がある。これは、この研究で特定した時間枠の中で実質的に実現可能であるということの意味するものではない。実際、多くの事例の中には、本研究の時間枠の中では、実用的、技術的な限界があり、この普及レベルに届かないと考えられるものもある。」(EUWTW 2004, p.22)

約50にもおよぶ推進システム／燃料の組み合わせを利用するそれぞれの車両の小売価格がどの程度まで上昇するかということ推測するのは特に難しい課題である。これを実施するために、本分析報告書の著者は、例えばVWゴルフに相当するような典型的な欧州のコンパクト5シーター・セダンの特徴を反映した「仮想」車両を選んだ。小売価格の試算のため、まず基準となる車両本来のICE (1.6リットルPISIエンジン) の価格と、

表 3.2 技術が車両の小売価格に及ぼす影響

技術／構造部品	コスト
ICE	
エンジン+トランスミッション	30ユーロ/kW
DICI	1,500ユーロ/kW
DISI	500ユーロ/kW
ターボ	180ユーロ/kW
ストップ&ゴーシステム (SI)	200ユーロ/kW
ストップ&ゴーシステム (CI)	300ユーロ/kW
CNGバイフューエルのダブル噴射システム	700ユーロ/kW
ユーロ4 (ガソリン)	300ユーロ/kW
ユーロ4 (ディーゼル)	700ユーロ/kW
三元触媒のクレジット	430ユーロ/kW
燃料タンク	
CNGタンク	1,838ユーロ/kW
ガソリンタンク	125ユーロ/kW
DMEタンク	1,500ユーロ/kW
液体水素 2002年	1,150ユーロ/Kg (水素)
圧縮水素 2010年 @35 MPa (350 バール)	635ユーロ/Kg (水素)
圧縮水素 2010年 @70 MPa (700 バール)	575ユーロ/Kg (水素)
液体水素 2010年	575ユーロ/Kg (水素)
燃料電池	
電気モーター	8ユーロ/kW
モーターコントローラー	19ユーロ/kW
電気モーター+モーターコントローラー	27ユーロ/kW
リチウムイオン電池	250ユーロ/kWh
燃料電池+改質器	251ユーロ/kW (正味)
燃料電池	105ユーロ/kW (正味)

注記：欧州WTW分析では水素駆動方式燃料電池車用の圧縮水素の正味タンク容量を4.7Kgと想定している。上の表で示される燃料タンクのコスト（貯蔵水素をユーロ/Kgで表す）は、圧縮水素4.7Kgを運ぶ車両用タンクでは、想定される貯蔵圧力の違いにより2,700~2,900ユーロの範囲内となる。

出所：EUWTW 2004, p.17

その他の必要の無い部品（例えば排出制御装置など）の価格を減算した。その後、この「仮想」車両に必要なと思われる（他の研究の試算による）新しいパートレインの構成部品の価格を加算した。表3.2はこれら構成部品の試算価格を示している。<sup>5</sup>

このパートレインの置き換えによってのみ発生する小売価格の追加分の試算を次の図3.4に示す。

著者は燃料電池自動車の追加コストの試算には、特に不確かな部分が多いと考えた。今はまだ燃料電池のコストは高すぎて、商業利用をすることができない。これから何年かをかけて、世界中の車両メーカーが、燃料電池を車両の推進力として使用する際の技術的な課題を解決できるか、また燃料電池のコストが十分に低下しうるか、という点を検討していくことになるだろう。

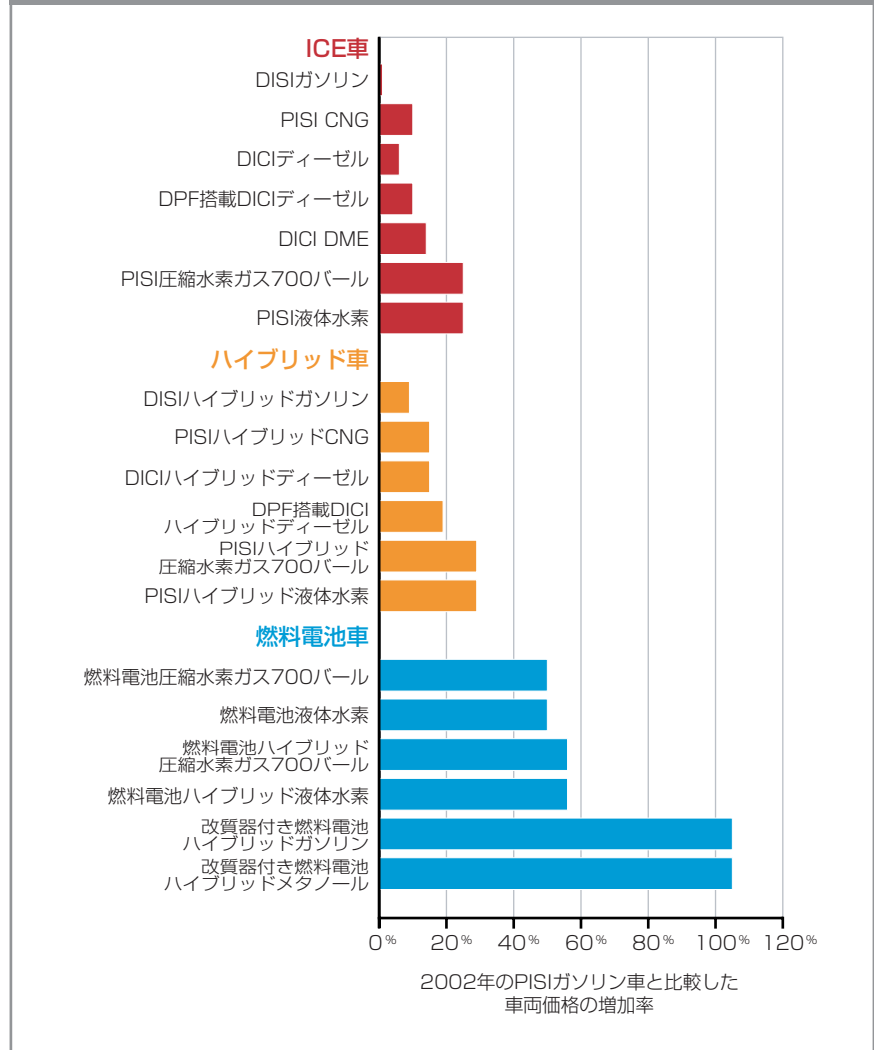
燃料電池を駆動する水素の生成・供給コストに関しても、不確かな部分が多い。これらのコスト、特に、大量のCO<sub>2</sub>を排出しないようなプロセスを利用して生産された水素のコストの試算には、大きなばらつきがある。

表3.3には欧州WTW分析による移動距離5%置き換えのシナリオの結果がまとめられている。左から1列目と2列目は、分析対象の燃料と推進システムを表している。(特筆すべき場合には、想定される燃料の生産プロセスを示している。) 3列目は、それぞれの車両/推進システムの組み合わせで2,250億Kmの車両走行距離を提供するために必要になる総燃料量(PJ/年)を表している。

4列目は、WTWでのエネルギー使用量の変化(PJ/年)を、5列目はWTWでのGHG排出量(Mt CO<sub>2</sub>等価/年)を表している。いずれも基準車両に関する値である。4列目、5列目の数字がマイナスになっている欄は、その推進システム/燃料の組み合わせには基準車両よりも多くのエネルギーが必要になること、あるいは基準車両よりもWTWでのGHG排出量が多くなることを示している。

6列目、7列目、8列目はそれぞれ、WTTでの追加コスト、車両コスト、総コストを、推進システム/燃料の組み合わせごとに10億ユーロ/年で示している。そして最後の9列目の数字は、それ

図3.4 2002年のPISIガソリン車と比較した小売価格の追加コストの試算



出所：EUWTW 2004, p.17

ぞれの組み合わせで削減できるCO<sub>2</sub>排出量1トンあたりのコスト(CO<sub>2</sub>等価1トンあたりをユーロで表示)を、該当する場合には示している。<sup>6</sup>

基準ケースと比較した年ごとの総追加コストは、10億ユーロ未満(天然ガスから生産したFTディーゼルのDPF<sup>7</sup>を搭載したCIDIの推進システムを使用した車両で利用する場合)から300億ユーロ以上(木材から生産されたメタノールを用いて、車載改質器で間接的に生成した水素を、ハイブリッド燃料電池推進システムを使用した車両で利用する場合)までの幅がある。削減されるCO<sub>2</sub>等価

1トンあたりのコストも同様に、約200ユーロから6,500ユーロ以上までの大きな幅がある。<sup>8</sup>

欧州WTW分析は、輸送関連のGHG排出量を削減するための推進システム/燃料の組み合わせの相対的な可能性と、その実施のための相対的なコストを大局的に見るのに役立つ。本報告書の最終章では、輸送関連のGHG排出量を一般に受け入れられ、かつコストがかかりすぎない方法で削減するための手法を検証した上で、このWTW分析の結果を再び取り上げることにする。

表3.3 欧州WTT分析によるさまざまな代替燃料と推進システムの組み合わせでの乗用車移動距離5%置き換えのシナリオ

1 燃料	2 推進システム	3 燃料需要 PJ/a	4 WTTでの削減量 <sup>(1)</sup>		6 基準シナリオからの追加コスト <sup>(2)</sup> G€/a			9 削減できるCO <sub>2</sub> 1トンあたりの コスト <sup>(2)</sup> €/t
			PJ/a	Mt/a (CO <sub>2</sub> 等価)	WTT	TTW	WTW	
従来型	ハイブリッド	357	73	6	-0.4	2.4	2.0	364
CNG	PISI	434	-50	5	0.3	1.9	2.2	480
	ハイブリッド	331	76	12	-0.1	3.3	3.1	256
<b>合成ディーゼル燃料</b>								
天然ガス由来のFTディーゼル	DPF搭載CIDI	405	-508	-5	0.7	0.0	0.7	
木材由来のFTディーゼル	DPF搭載CIDI	404	-748	32	9.5	0.0	9.5	300
天然ガス由来のDME	CIDI	404	-214	1	1.1	1.1	2.2	2039
木材由来のDME	CIDI	388	-576	33	6.3	1.1	7.5	227
<b>エタノール</b>								
テンサイ	PISI	428						
パルプから飼料			-724	14	6.0	0.0	6.0	418
パルプからエタノール			-591	12	6.5	0.0	6.5	563
パルプから熱			-499	24	6.1	0.0	6.1	254
小麦由来			-760	5	8.2	0.0	8.2	1812
木材由来			-714	29	9.9	0.0	9.9	346
<b>FAME</b>								
RME	DPF搭載CIDI	405						
化学物質としてのグリセリン			-378	16	4.6	0.0	4.6	278
熱としてのグリセリン			-399	14	5.0	0.0	5.0	345
SME								
化学物質としてのグリセリン			-288	22	4.8	0.0	4.8	217
熱としてのグリセリン			-309	20	5.2	0.0	5.2	260
<b>水素（熱処理）</b>								
天然ガスの改質による	ICE PISI	377	-273	-7	7.6	5.8	13.5	
	ICEハイブリッド	335	-187	-2	7.1	7.0	14.1	
	燃料電池	212	58	12	5.7	12.7	18.4	1539
	燃料電池ハイブリッド	189	105	15	5.4	14.3	19.8	1351
石炭のガス化による	ICE PISI		-424	-41	8.7	5.8	14.6	
	ICEハイブリッド		-321	-32	7.8	7.0	14.7	
	燃料電池		-26	-7	5.1	12.7	17.8	
	燃料電池ハイブリッド		30	-2	4.6	14.3	18.9	
木材のガス化による	ICE PISI		-361	32	11.8	5.8	17.6	
	ICEハイブリッド		-265	33	10.9	7.0	17.9	
	燃料電池		9	34	8.3	12.7	21.0	615
	燃料電池ハイブリッド		61	34	7.9	14.3	22.2	645
<b>水素（電気分解）</b>								
天然ガスからの電気	ICE PISI		-891	-45	13.5	5.8	19.3	
	ICEハイブリッド		-735	-35	12.1	7.0	19.1	
	燃料電池		-288	-9	8.3	12.7	20.9	
	燃料電池ハイブリッド		-204	-4	7.6	14.3	21.9	
石炭からの電気	ICE PISI		-1169	-129	13.7	5.8	19.6	
	ICEハイブリッド		-981	-110	12.4	7.0	19.3	
	燃料電池		-444	-56	8.4	12.7	21.1	
	燃料電池ハイブリッド		-343	-46	7.7	14.3	22.0	
風力からの電気	ICE PISI		-192	33	18.9	5.8	24.8	746
	ICEハイブリッド		-116	34	17.2	7.0	24.1	718
	燃料電池		104	35	12.1	12.7	24.8	714
	燃料電池ハイブリッド		145	35	11.2	14.3	25.5	730
原子力からの電気	ICE PISI		-1868	33	22.6	5.8	28.4	857
	ICEハイブリッド		1601	34	20.7	7.0	27.7	825
	燃料電池		-837	35	15.4	12.7	28.0	808
	燃料電池ハイブリッド		-692	35	14.4	14.3	28.7	822
<b>間接水素</b>								
ガソリン	Ref+ FC/ハイブリッド	366	65	5.0	-0.4	27.5	27.2	5487
ナフサ		366	76	6.5	-0.4	27.5	27.2	4215
ディーゼル		366	58	4.1	-0.4	27.5	27.2	6656
天然ガスからメタノール		333	-55	4.0	-0.3	27.5	27.2	6828
木材からメタノール		333	-208	32.8	4.1	27.5	31.6	964

(1) マイナス表示は増加を示す

(2) 「現状維持」のガソリンPISI+ディーゼルCIDIシナリオによる



## II.

# 推進システム以外の 車両技術

輸送システムにおける持続可能性の向上は、採用される推進システムや燃料によってのみ決定されるものではない。製造に使用されている素材、採用されている安全技術、利用可能な先進の電子システム、タイヤの特性、およびその他の設計上の特徴なども、我々の持続可能なモビリティの指標に影響を及ぼす可能性がある。

## A. 材料

欧州を走行する軽量車（LDV）の平均重量は、ここ30年間で約30%増加している。この同じ期間、もともとは（そして今でも）欧州よりもかなり重量が大きかった米国の平均LDVは、1975年の1,845Kgから1981/82年には1,455Kgと21%も軽量化したが、その後また増加しはじめた。2003年までには、1981/82年比24%増となり、ほとんど1975年の水準まで戻った。

(USEPA 2004, Table 2, p.9)

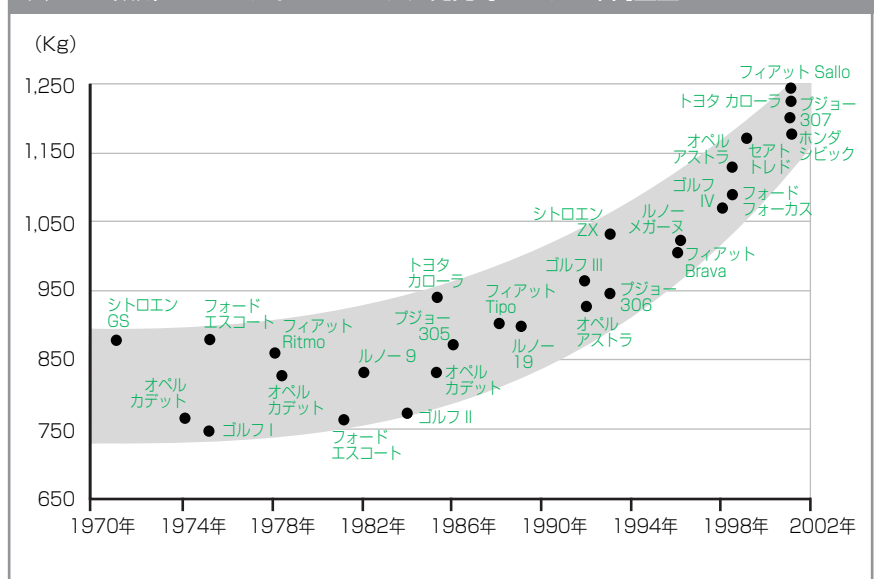
米国、欧州の両方における平均車両重量の増加は、それぞれの車両クラス（図3.5参照）内での平均車両重量の増加、および総販売台数における大型車両クラスの比率の上昇という2つの動向が組み合わさった影響が反映されている。

車両クラス内での重量増加を説明する要素は何か。車両技術が発達するにつれ、とりわけ安全性の強化、運転性能の改善、騒音や排気の低減、快適性の向上など、より多くの機能が加えられ、そのために車両のインテリア、ボディ、シャシーには新たな構成部品を追加しなければならなくなり、これに伴い、こうした構成部品は車の構造の一部となった。さらに電化または電子化が進み、たとえば消費電力量の増加に対応するために、電気システムの容量も増加せざるを得なくなった。車が重くなると、望ましい運転性能を維持するための追加装備も必要とな

る。デザインの改善や代替素材の採用により、個々の構成部品は軽量化されている。しかし、車両の機能向上に伴う重量化がそれを帳消しにしてしまう。

車両クラスごとの軽量化には主に2つの方法がある。（1）車両全体の外観デザインの変更、および各部品に使用可能なデザインの変更、そして（2）重い素材をより軽い素材（アルミニウムや高剛性のスチール、マグネシウム、プラスチックなど）に直接置き換えるという方法の2つである。これらは同時に行われることが多く、互いに影響しあう関係となっ

図3.5 欧州のコンパクトカーのモデル発売時における車両重量



出所：FKA 2002

ている。また車両が軽量化されれば、車両性能を維持しながらも、より小型で軽量のエンジンが使用できるといったように、さらなる軽量化の可能性も生まれる。

ほとんどの場合、軽量化を行うと、軟鋼を用いた通常の設計よりも高価なものになる。従って、軽量化による値上げ分を消費者が受け入れる用意がない限り、また軽量化によってなんらかの形で生産の簡素化や安全性の向上がない限りは、こうした解決策は競争力のあるものにはならない。素材が変われば軽量化の可能性も変わり、構成部品のコストに対する影響も変わってくる。

概算だが、パワートレインが小型化され、車両重量が10%減るとすれば、(1ガロンあたりの走行マイル数またはリットルあたりの走行Km数において)約5%~7%の燃料が節約できる。(IPAI 2000) 車両重量が軽量化されてもパワートレインに変化がない場合は、節約できる燃料はこれよりも少なく、一般的には3%~4%くらいとなる。実際にどれだけ節約できるかは車両と走行サイクルによる。5%~7%という範囲の中間をとり、そのパーセンテージを絶対数にすると、質量100Kgの削減につき100Kmあたり0.46リットルのガソリンを節約できると予測される。<sup>9</sup> これをCO<sub>2</sub>排出削減量に換算した場合、車両を1Kg軽量化すると、車両のトータルライフにおいて25.3KgのCO<sub>2</sub>が削減できるということになる。<sup>10</sup>

#### 原材料利用が総エネルギー消費量に及ぼす影響

さまざまな原材料の利用による、エネルギーの総削減量とそれに起因するGHG総削減量も、原材料の生産時におけるエネルギー消費に左右される。つまりこれは、使用される一次材料と二次材料の比率の影響を極めて受けやすい。特に、一次アルミニウムを生産するには大量の工

ネルギーが必要であるが、リサイクルされたアルミニウムを使用する場合は、このエネルギーはほんのわずかで済む。一次アルミニウムだけを利用してこの軽量化を行った場合、車両のライフサイクル中の使用段階において削減できるエネルギー量の45%が「失われる」。しかし将来は、車両の構造においてはリサイクルされたアルミニウムが占める割合が大きくなるであろう。実際、SMPで材料分析プロジェクトを実施した研究者たちは、2030年には車両関係のアルミニウム総需要の42%を再生アルミニウムでまかなうことになるかと予想している。このパーセンテージを上述の試算に当てはめると、使用段階で「失われる」燃料削減量は現在の45%から10%~30%の間になると考えられる。

#### 重量(質量)と乗員の安全

乗員の安全は、車両重量(質量)、構造上のデザイン、そして「つぶれ」の距離で決まる。しかし、これらは複雑に絡み合い、すべての要件を同時に満たすことができない関係になっている。<sup>11</sup> 交通事故が発生した場合、より小さく軽い車両と比較して、より大きく重い車両の方が乗員のリスクは少ないということが、30年以上にわたり確立されてきた。しかし、2台の車両の衝突の場合では、一方の車両の質量が増加すると他方の車両の乗員のリスクが増すということが分かっている。車両の大型化も乗員の保護につながるが、衝突した相手の車両の乗員に何らかの悪影響が及ぶことはない。

車両の質量とサイズは強い相関関係にあるため、リスクに対する質量とサイズの原因的役割を別個に判断するのは困難である。最近、Evansは分析を行い、ある方法でそれを実証した。Evansは、運転者の車の質量およびサイズ(全長)と相手の車の質量およびサイズ(全長)との関数として、2台の自動車の事故における運転者の死亡リスクを割り出す等

式を考案した。(この分析における質的なリスクの結果は、すべて2台の自動車の衝突だけに関するものである。しかし、Evansはそれらを一般的な衝突にも当てはめることができる原則として解釈することもできると主張している。)そして次にこの等式を利用して、車両の乗員と、衝突の相手車両の乗員のリスクを低減するためには車両の長さをどの程度伸ばせばよいかということを検討した。(Evans 2004) 要するにEvansの分析では、いかにして車両を軽量かつ安全にできるかという方法が示されている。

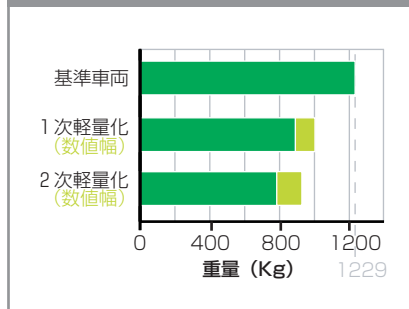
Evansによれば、彼の研究は構造上の剛性やデザインの詳細といった重要な設計上の検討材料に取り組むものではない。その分析は一般的なものであり、質量を抑えながら車両の全長を伸ばすためのある特定の設計方法を提供するものではなかった。従来の車両よりも全長が長く、軽い車両を作ることができるような素材の置換が必要となるだろう。これには軽量素材をより多く使用することが求められるが、そのような素材はスチールよりもコストがかかる傾向にある。

またEvansの研究では、質量とサイズ(重量と全長)のトレードオフの状態が緩和されるかどうかという点を検討しなかった。SMPの参加企業の中には、適切な構造設計と原材料を用いれば、車両をより軽く、より安全にするだけでなく、小さくできると強く信じている企業もある。

#### 重量および乗り心地とステアリング性能

車両を軽量化すれば、乗り心地とステアリング性能が向上し、制動距離を短縮できる。軽量化によって剛性の向上も実現し、ステアリング性能はさらに改善される。また、特定の構成部品を軽量化することにより、車両の荷重配分を向上させることもできる。

図3.6  
1次および2次軽量化での可能性



出所：FKA 2002, p. 8

### 軽量化のための戦略

上記のとおり、車両の軽量化には主に2つの方法がある。第一に、車両全体の外觀デザインの変更、および各部品に使用可能なデザインの変更、そして第二に、重い素材をより軽い素材に直接置き換えるという方法の2つである。

欧州アルミニウム協会がスポンサーとなり、ドイツの研究機関であるFKAが実施した最近の研究で、この累積的な軽量化の可能性が明らかにされた。(FKA 2002) この研究の基準車両となったのは、欧州の5種類のコンパクトカーの平均値を利用して設定された合成車であった。車両を使用に適した構成部品に分解する方法を開発し、その後、スチール製部品の平均重量を使用してスチール製の基準車両を製作した。そしてこの従来型のスチール製の車の重量をアルミ製部品を利用した車の重量と比較した。

この研究結果は図3.6のとおりである。図3.6の一番左の列は、スチール製の基準車両の重量(1,229Kg)を示している。さまざまなアルミ製部品を利用すると、車両重量を226Kg~301Kgほど軽量化し、928Kg~1,003Kg(2列目)にすることができるということが分かった。この「1次軽量化」の結果、車両性能を犠牲にすることなく、さらなる軽量化が可能であることが分かった。そ

れは、車両に使用するエンジンを小型化することができるためである。「2次軽量化」と呼ばれる段階では、さらに116Kg~143Kgの軽量化を実施し、最終的な車両重量を887Kg~785Kg(3列目)にすることができる。したがって、合計で342Kg~444Kg、つまり(28%~36%の軽量化が実現したことになる。

### 個々の構成部品による軽量化の可能性

別々の研究では個々の部品の軽量化のさまざまな可能性が特定された。軽量化できると考えられる重量の幅は、交換部品のデザインにおける改良の可能性をどのように判断するかという点による部分もある。ある構成部品が、機能やデザインの面で最適化されればされるほど軽量化は進む。

軽量材料とは、一般的にアルミニウム、マグネシウム、高剛性スチール、各種プラスチックを指す。これらの原材料の応用は、今日でも利用可能な段階にあり、既に多くの車両に組み込まれている。集中的な技術革新や設計開発が行われており、それによって持続可能性を向上させる素材が実現するチャンスも増える。

### 軽量素材への転換を成功させるための要件

アルミニウムやマグネシウムなどの軽量素材を導入することによって軽量化を図ると、素材の1Kgあたりの価格が軟鋼と比較して極めて高い。車両メーカーは、製品の軽量化のためには、ある程度割高な価格を受け入れると考えられるが、この素材のコストは販売の上での大きな課題となる。したがって、次のような対処法を採用する必要がある。

- **軽量化**  
構成部品の重量を最低限に抑えることによって、高い原材料の価格の影響を大幅に縮減することができる。

原材料そのものの具体的な重量だけでなく、代替原料によってさらに最適化されたデザインが実現し、さらなる軽量化につながるということが考えられる。

- **生産コストの削減**  
異なる原材料を選択することによって、これまでとは違う生産プロセスを利用し、生産コストの削減を実現できる場合がある。アルミニウム合金の押し出し鍛造およびマグネシウムの鋳造などのプロセスは、スチールでは不可能な解決策を提供するケースが多い。しかし、場合によっては、軽量材料の使用が実際には生産コストの増加につながることもある。この例としてアルミニウムの溶接が挙げられるが、これは一般的に軟鋼の溶接よりもコストがかかる。

- **設計の最適化**  
軽量材料を基盤として競争力のある解決策を提供するためには、設計を使用材料に適したものにしなければならない。構成部品や接合部の数を減らすだけでなく、重量の最適化や機能の統合の機会を十分に利用すべきである。これには、パッケージング・スペースや組み付け方法など、「定められた境界内」の条件にも適応しなければならない場合が多い。したがって、開発プロジェクトの初期段階で軽量化を考慮すると、十分に最適化された方法によりたどり着きやすくなると考えられる。

## B. 高度道路交通システム (ITS)

高度道路交通システム (ITS) 技術によって、旅行者、車両の運転者、政府機関は、より多くの情報を入手し、これまでより安全な輸送に関する意思決定が可能

になる。ITS技術には、無線・有線通信によるさまざまな情報が含まれるが、そのほとんどは、交通や輸送に応用される以前に、本来は電気通信、情報技術、防衛といった分野のために開発されたものであった。

マイクロエレクトロニクス、衛星ナビゲーション、移動体通信、センサーなどは、ITSにより実現した技術である。車両や輸送システムのインフラにこれらの技術が組み込まれると、交通の流れの監視および管理、渋滞の緩和、ドライバーへの迂回ルートの提示、救命などに役立つ。

現在広く普及しているITSの応用例は、交通管理システム、旅客情報システム、自動料金徴収である。これらの応用例は、特にインフラの「高度化」の向上に一番に重点を置いたものである。<sup>12</sup> しかし現在、ITS技術は車両そのものにも採用されるようになってきている。将来的に、先進運転支援システム（ADAS）と呼ばれる車載ITS技術は、さまざまな機能や技術（センサー、通信など）に組み込まれる傾向にある。それによって、より安全性の向上とよりスムーズな交通の流れに貢献できるため、インフラのより効率的な利用が実現するであろう。

ITSシステムの普及には、2つの車両技術の開発が不可欠である。1つ目は「X-by-Wire」である。これは、車両のさまざまな機能を制御するために、電子的または電子機械的な接続を利用する技術である。ブレーキ、スロットル、およびモーター管理は、既にこの方式で制御されている。現在は、「X-by-Wire」方式をステアリングなど、上記以外の車両機能に応用するための研究が進められている。2つ目は、車両の電気システムの12Vから42Vへの変換である。今日の車両では、電気および電子制御の構成部品の数が増加しているため、12Vの電気システムはその限界に近づきつつあ

る。より高い電圧の電気システムによって、これらの限界を克服することができると。このような開発が統合すれば、運転機能におけるドライバー支援の新たな可能性を切り開き、安全性の向上とよりスムーズな交通の流れに貢献できる。

克服すべきハードルの1つに、ある技術を利用可能なものにするために必要な普及のレベルの問題がある。車両対車両／車両対インフラの通信に依存する、さらに進んだ技術の影響力は、それに必要な電子システムを搭載した車の数が不十分であれば、極めて限られたものになってしまう。大幅な効果を生むための最低の普及率は約20%である。高い普及率を確実にする選択肢の1つとして、通信およびローカリゼーション機能を持つ車載ユニットに、自動緊急信号など、その他のシステムを組み合わせるという方法がある。

### 1. 車両ベースのITS技術の実例

情報技術の点から車両をさらに高度なものにするための最初のステップは、車両周辺の観察を行いドライバーを支援するインテリジェント・センサー・システムの追加である。次の重要なステップは、道路前方で何が起きているかを早い段階でドライバーに知らせる車両対車両／車両対インフラの通信システムの追加である。

欧州先進運転支援システム（ADASE）を中心に扱うプロジェクトは、最近、商業利用が可能な、または研究開発段階にあるシステムの世界的なリストを作成した。（ADASE 2004）その中で、ADASは、ドライバーの操作を支援する、あるいはそれに変わるシステムとして定義されている。ADASEは安全性向上の可能性と、複雑さの観点からこうしたシステムをランク付けしている。

• **スピード警告：**カーブ速度予測、交

通標識認識、速度アドバイス、路面状況、交差点支援、車両インフラ通信などがその例として挙げられる。これらのシステムは、路面や環境に合った推奨速度や、曲がり角、渋滞または悪路条件へ接近した際の推奨速度をドライバーに知らせるのに役立つ。それによって、これらのシステムは安全性の向上と交通の流れの改善に貢献する。不適切な速度は、衝突の危険性や重大性と密接な関係がある。

• **レーン支援：**レーン内走行、死角警告、レーン変更アシスト。これらのシステムによって、不用意にレーンから外れる危険性が減少する。予期せずにレーンから外れると、他の車両が走行している場合は側面衝突に、単独で走行している場合でも路側の障害物に衝突する事故につながる。交通量が多い中での操作の誤りを防げば、移動の信頼性を大幅に損なうような予測不能な渋滞を防止するのに役立つと考えられる。

• **安全な追従走行：**衝突警告、衝突回避、ストップ&ゴー、車両間通信、アクティブ・クルーズコントロール（ACC）。これらのシステムは、自動的に車間距離を維持し、常に適切な速度に調整するものである。ほとんどのシステム案では、高速道路に見られるような交通状況の管理が必要である。このようなシステムによる安全面での可能性を大きく見積もる意見も出されているが、技術的および行動的な観点で問題を含んでいるコンセプトも数多くある。その他に期待できる効果として、より滑らかなスピード調整、安全な車間距離の維持、よりスムーズな交通の流れという点が挙げられる。

• **歩行者保護：**交通弱者と歩行者の認識。これらのシステムは、歩行者ま

たは交通弱者（自転車、オートバイの乗員）との衝突の危険性が高い場合に警告を発するものである。

- **視界の向上システム：ナイト・ビジョン。**このシステムは、特に夜間や悪天候時など、悪条件下での運転で周囲の状況を検知するようドライバーを支援する。
- **ドライバーの監視：**ドライバーの居眠り感知および警告。これらのシステムは、ドライバーを監視し、注意力が落ちていることを感知する。居眠りが事故に及ぼす影響は、まだ十分に理解されていないが、高速道路での死亡事故のうち、居眠りによるものは最大で約4分の1を占めると報告されている。この割合は、農村部および都市部の道路では減少する。
- **交差点での安全性：**交差点での衝突回避。従来の自動車関連の事故警告システムと平行して、危険な交差点を監視して、危険ゾーンに侵入または接近する車両に警告を発するシステムも（特に日本と米国で）開発段階にある。このシステムでは、感知機能、および道路対車両、車両対車両の通信が採用されている。このような状況は極めて複雑であるため、信頼性および精密さの要件は極めて高い。
- **車両診断および動力学：**転覆警告システムおよび横転安定性制御、路面監視（トラクションロス警告）。これらのシステムは、車両動力や速度補助と、制動距離の短縮や滑りまたはぐらつき防止などの車両管理の補助を組み合わせたものである。これらのシステムは特に貨物輸送など道路の利用頻度の高いドライバーにとって魅力的なものである。
- **人と機械のインターフェース：**ドラ

イバー支援システムおよびサービスは、運転操作を支援するためのものであり、聴覚、触覚、視覚によるフィードバックや運転操作の引継ぎなど、ドライバーとの相互作用が必要とされる。人と機械のインターフェースは、すべてのドライバー支援システムやサービスに不可欠な要素である。その他の車載システムとしては、ドライバーの状態の監視がある。このシステムは、ドライバーの疲労や正常に機能できない状態を検知するのに役立つ。

ADASEロードマップに特に記載されていないが、この他にもタイヤをITS技術に組み込むことができる。

- **「進化した」タイヤ：**車両と路面の唯一の接点として、タイヤは安全性向上において重要な役割を果たす。数年のうちに、空気漏れや膨らみ不足が原因の破裂の危険を未然に防止するタイヤ圧センサーが搭載されるようになるだろう。タイヤと路面の密着度の情報を（タイヤに搭載されたセンサーによって）提供することのできる「進化した」タイヤの開発が進められている。この場合、提供されるデータを瞬時に処理することが可能なため、ESPやABSが密着度の低下を防止できるようになる。

## 2. 革新的なモビリティ・システムの開発を促進するITS技術の可能性

ITS技術によって、全く新しい輸送システムが実現されるだけでなく、既存の輸送システムをより洗練させたシステムの開発も促進される。短期的に見て、最も有望と思われる開発が行われているのは、電気通信および情報サービスの分野である。これらの技術によって、既存のシステムが互いに「協力」することができるようになるため、より柔軟性が高く、効果的なシステムが実現し、またそれは

比較的小額の投資で実現することができる。しかしその可能性は、それぞれのシステムをつなぐ方法やユーザーへの情報表示の方法によって左右される。

バス・システムは、発展途上国だけでなく先進国においても、注目が高まっているテーマである。バスには特別なインフラが不要であるというのがその主な理由だ。特に先進国では、集客力という点でバス・システムが直面する大きな問題の1つに、バス輸送の立場および魅力が低く認識されているという点がある。ITS技術はこの問題の解決のために利用されつつある。CIVISおよびフィリアス・バス・システムを例に挙げよう。双方とも、狭いレーン、短い停留所間隔という状況において、快適な車両の挙動を可能にする方法でドライバーを支援するものである。こうした車両では完全な自動運転が可能であるが、法的問題および信頼性の問題の方が懸念されている。これらを発展させたものが、日本のIntelligent Multimode Transport System (IMTS) である。このシステムでは、完全に隔離されたインフラ上を、ドライバー不在のバスが自動で走行する。

トラム・システムは、サービスが良質であり、生活水準の向上に貢献しているとして、多くの欧州の都市で人気となっている。停留所で自動運行情報が得られることなどが大きな利点となっているトラム・ネットワークもある。ドイツでは、まずトラムが都市の中央部を出発し、そのまま地方へ行くときには通常の電車用線路を使用することで、乗客がバスを利用することなく目的地に到達できるよう実験を行っている。このようなシステムは、フランスのアルザス地方でも開発段階にある。

またITS技術は、さまざまな交通条件での重量鉄道車両の安全確保にも使用されている。地下鉄分野におけるITSの技術

革新によって、完全自動鉄道システム (VAL) が実現した。このシステムは 1980年代、フランスのオルリー空港とリールで導入された。これは、比較的小さいトンネルを利用し、加速向上のためにゴムタイヤを採用した小型地下鉄システムである。ドライバーが乗車しない車両は、管制室と常に通信している。VALの導入以降、より大型の自動地下鉄システムや都市鉄道がフランス、英国およびカナダで導入された。これらの先進地下鉄システムは、コスト効率が極めて高く、時間に正確で本数も多いサービスを提供している。プラットフォームと車両の間に仕切りとドアが付いており、統合安全制度が採用されているため、極めて高い安全性が実証されている。

「ピープル・ムーバー」や「パーソナル・ラピッド・トランジット (PRT)」などのモビリティ・システムは自律運転が可能だが、専用の線路 (ガイドウェイ) が必要となる。しかし既にいくつかの国では、従来の道路上で走行しつつ「自動運転」が可能な車両のデモンストレーションが行われている。センサー技術とイメージ認識技術を利用した障害物検出の技法は、車両がその周辺を「見て」、走路で発生する出来事に適切に反応できるようにするために必要なものである。測位システムや視覚認識技術などは、ナビゲーションの課題を取り扱う新たな方法である。

デュアル・モード・システムとは自動車と公共交通の長所を組み合わせることを目的とするものである。このシステムは、従来の道路インフラ上でも利用することができ、また専用のインフラで利用すれば相当のメリットが得られる。興味深い例として、欧州のRUFやオートシャトル、米国のメガレールが挙げられる。このシステムで使われる特別仕様の車を通常のドライバーが道路上で運転することもできるが、専用のレールシステム上で、短い車間距離で自動誘導のもとに運転す

ることでもある。

デュアル・モードは、専用インフラ上で走行する手動ステアリング/自動誘導の車両を指す言葉としても使われるようになっている。車両搭載用のITS技術の進歩と、電子ガイダンスに必要なインフラの調整が少なく済むことから、この種のデュアル・モード・システムは有望であると考えられる。上記のIMTSは専用道路での自動運転と一般道路での手動運転の両方が可能である。自動の車両ガイダンスにより、電気駆動の車両はインフラから電力を受け取ることができるようになる。

## C. 空力抵抗

空力抵抗は、車両が空気中を移動する際に車体が受ける圧力と摩擦推力によって生じる。車両のサイズや外観の形状、設計上の機能は、この空力抵抗にどれも大きく影響する。機能的要件 (車両の定員数、トランクスペース、荷台、トレーラー牽引、オフロード走行性能) は、全体

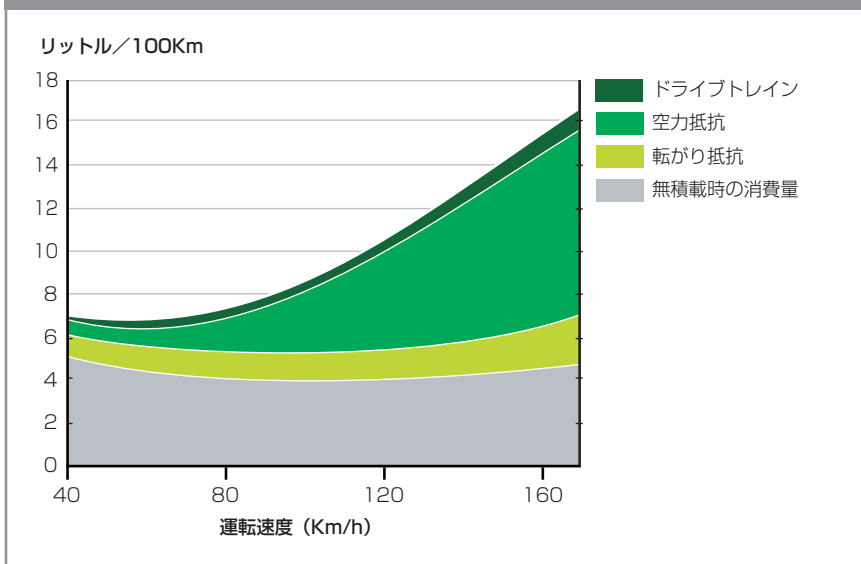
の空力抵抗を決定する際の重要なパラメータである。車両後部の形状は、車両の底面への圧力配分に重要な影響を及ぼす。圧力が低く、面積が広いほど、抵抗が増す。加えて、ボディの上部と下部の空気圧の差によって、2つの大きな縦の渦を形成するクロスフローが生じることもある。これらが軌跡と相互に作用し、抵抗を増す。

空力抵抗は、車両のサイズ (前面の面積) と空力効率因子 (車両の形状と機能) によって左右される。一定の車両速度では、空力抵抗はこれら2つの因子の積に比例する。他のすべてが等しい場合、運転速度の上昇は、直線以外の形状の空力抵抗の増加につながる。図3.7は、車両の速度による空力抵抗と燃費の関係を示している。

車両のサイズと機能面での条件が同じ場合、抵抗の最小化は主に車両形状の改善に左右されるが、それにはさまざまな方法がある。

車両の前面には空力抵抗を軽減する多数の可能性があるが、その多くはデザイ

図3.7 乗用車の速度の違いによる空力抵抗と燃料消費量の関係



出所: RAND Europe, RWT, and DLR 2003, p.323

ン面での壁に突き当たるであろう。車両のサイズと前面の面積の縮小は、快適さと安全性を望む顧客の要求と矛盾する。例えばボンネットを低くすると、エンジンルームのサイズ要件、前方の視界の向上、ドライバーの位置からのフロントの見切りなどのニーズを満たせなくなってしまふ。

車両設計者はリアエンドを変更することもできる。側面およびアンダーボディを引っ込めてリアエンドをわずかに上げると、空力抗力を軽減できる。この場合、後方の視界向上とトランクスペースの拡大のためにリアエンドを低くしたいという要求との妥協点を探る必要がある。ピックアップトラックやSUVでは、車両の機能面で大幅な妥協となってしまうであろう。

アンダーボディを滑らかにし、エンジンルームを覆うことによっても、空力抗力を改善することができる。しかし、余熱を取り除くために、エンジン部分と排気システムに十分な空気が流れることが保証されるように車両を設計しなければならない。熱が過度にこもると、製品の信頼性と安全性が損なわれる。車両のボディと地面との距離を短縮しても空力抵抗を軽減できるが、この場合は乗降のしやすさとオフロード能力という消費者のニーズに相反することになる。

走行中の車両は、外気の流れだけでなく、エンジン、ブレーキ、ボンネット内部品の冷却や室内の換気などに利用される空気など、車内の空気の流れの影響も受けている。ラジエーター、エンジンルーム、ホイールベースおよび室内空間を空気が流れると、車両内部の気流の乱れや分離だけでなく摩擦によるロスが生じる。結果として生じる内部抵抗が全体的な空力抵抗の一因となる。

LDVの空力抵抗軽減のためのありとあらゆる方法が車両に取り入れられてい

る。今日、LDVの空力効率率は車両の歴史において最も高い。さらなる改善は、設計面での大きな進歩によってというよりはむしろ、少しずつ実現されるであろう。

確かに先進技術には空力抵抗を軽減できる可能性がある。Woodは、米国の総エネルギー消費量の16%が輸送車両の抵抗で消費されているという推測をし、先進空力技術が車両の燃費に対して担う役割について、有用な情報を提供している。(Wood 2004) しかし現実的には、LDVの持つ多くの実用的・機能的側面を好むユーザーの志向および市場における経済的圧力を考慮すると、車両設計者が今後数年間で達成できる空力のさらなる低減は、微々たるものに留まるであろう。トラックやバスの空力抵抗を軽減できる方法はまだ他にもあると思われる。

## D. 転がり抵抗

転がり抵抗とは、一定の走行距離ごとのタイヤによるエネルギーの損失として定義される。転がり抵抗は、より多くのエネルギーを用いることによるのみ克服できる。自動車のエネルギーは燃料から供給されるため、転がり抵抗は燃費に影響を及ぼす。

ある特定の車両において、転がり抵抗が燃費に占める割合は、該当する運転サイクルの各モーメントの速度と加速、車両特性（質量、合理化、内部摩擦、トランスミッションなど）、およびタイヤの転がり抵抗係数に左右される。転がり抵抗による燃料消費量（100Kmあたりのリットル数）は、そのサイクルの各モーメントにおけるエンジン効率にも左右される。運転サイクルが異なれば、転がり抵抗係数が12Kg/トンのタイヤの場合、その燃費に占める割合は、20%（高速道路サイクル）か

ら30%（都市部サイクル）の間でばらつきが出る。絶対値で表すと、タイヤの影響は小型乗用車（ルノー・クリオのタイプ、51kW）で100Kmあたり1.4リットル（高速道路サイクル）から2.6リットルの範囲となる。

燃料消費量を最低限に抑えるためには、適切なタイヤ圧を保っておく必要がある。フランスの道路で実施されたフィールドスタディでは、5割を超える車が既定のタイヤ圧よりも0.3バール低い状態、あるいはさらに低いタイヤ圧で走行しているということが明らかにされた。この結果は、転がり抵抗の大幅な増加につながる。つまり、推奨タイヤ圧よりも0.3バール低い場合で+6%、1バール低くなると+30%の増加となってしまうのである。また、転がり抵抗が30%増加すれば、燃料消費量も3%~5%増加する。タイヤ圧が既定値未満の場合、復元不能な損傷を起こしやすい傾向もある。このため、走行中のタイヤ圧が充分かどうかをドライバーに知らせる技術への関心が高まっている。

車両のタイヤの一番の目的は、あらゆる気象条件や路面状況において安全な走行を可能にすることである。タイヤの安全性能なくして転がり抵抗の削減を達成するなどということはとうていあり得ない。タイヤの特性は、車両の乗り心地やステアリング性能など、車両の購入者にとって重要な部分にも大きな影響を及ぼす。

## E. 室内空調

道路車両によって消費されるエネルギーのうち、相当な割合が車両の室内を快適に保つために使用されている。2種類の技術によって、このエネルギー要件を削減することができると思われる。1つは車両の室内空調管理システムの効率向上、もう1つはこれらのシステムが実行するタスクの軽減に重点を置くものである。

**室内空調管理システムの効率向上：**この8年間で、コンプレッサー駆動のために必要なエネルギー量や冷媒HFC-134aのGHG特性など、現在の室内空調管理システムの環境性能に対する注目が高まってきた。冷媒の漏れ対策としての気密性の向上、充てんサイズの縮小、エネル

ギー効率の向上、車両の整備・廃棄段階における回収・リサイクルの改善に重点を置いた改良が進んでいる。最近では、地球温暖化への影響が少ない代替冷媒を使用したシステムが開発段階にあるが、今のところ商用化や新車への導入は実現していない。

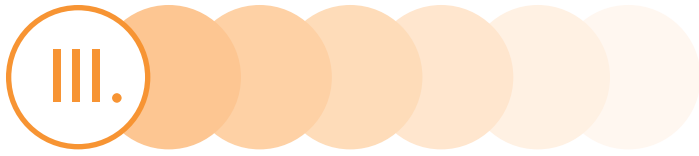
可能性があるのは、HFC-152、超臨界CO<sub>2</sub>、炭化水素などの代替HFCである。CO<sub>2</sub>システムは、夏に室内を冷却するだけでなく冬にはヒート・ポンプによって室内をさらに暖めるような構造に適しているため、特に新世代のDIディーゼルなど、客室内を暖めるのに余剰熱をほとんど、あるいは全く発生しないエンジンコンセプトに適している。新たな自動車室内空調管理システムから排出される直接的(冷却材)および間接的(燃料の利用)総排出量は、2020年までには実

質的に削減できると期待されている。

**室内空調管理システムが機能するためのタスクの規模縮小：**暖房または冷房の負荷によって、それを扱うように設計された車両の室内空調管理システムの必要容量が決まる。暖房、冷房の負荷を削減すると、乗員の快適さを失うことなく、車両の室内空調管理システムの容量を削減することができる。エネルギー損失の少ない車両室内空調管理システムの開発に関する研究が行われている。これには、冬季の暖房と夏季の冷房を抑えることが必要となる。







## LDV以外の道路車両への 応用の可能性

LDV（乗用車、軽トラック、またそれらの類似車種）は、世界で最も数の多い動力付き輸送車両である。LDVは消費される輸送燃料の大半を占めており、また世界の輸送関連のGHGや「従来型」排出物のほとんどの原因となっている。ここまでの車両技術と燃料に関する我々の考察では、これらの車両を中心的に扱ってきた。しかし、我々が述べてきた技術や燃料はその他のカテゴリーの道路車両にも関連がある。

### A. 「重量」車両 (HDV) — 中量・重量トラック およびトランジットバス、「路面」バス

陸上の貨物輸送では、トラックが中心の輸送手段である。バスは、多くの地方や地域の公共交通システムとして活躍している。また、特に発展途上国においては都市間でかなり多くの人数を運んでいる。トラックとバスはICEによって駆動し、LDVと同様（大きさは必ずしも同じではない）の設計や構造を持つコンポーネントを数多く利用している。

HDVは、第2章で示されたとおり、輸送関連のエネルギー利用やGHGの排出量、さらに従来型排出物（特にNO<sub>x</sub>およびPM）の排出量で大きな割合を占めている。<sup>13</sup> これらの車両（現時点では、圧倒的にディーゼル車が多い）で使用されているパワートレインのエネルギー効率の向上と、これらの車両の従来型排出物の削減に対する注目が高まっている。

天然ガス、メタノール、エタノールなどで駆動するエンジンが、既に世界各地の一部のトラックやバスに应用されている。ハイブリッドや燃料電池などの新型推進システム技術を一部のトラックやバスに应用するという取り組みも行われている。これらの取り組みは、LDVに関連する取り組みと比較してあまり知られていないが、本来であれば広く認識されるべきものである。ハイブリッド・システムを、都市バスに採用すれば、燃料の節約と排出物の抑制により、そのバス1台分で、同じ技術を採用した軽量の乗用車数台分にあたるCO<sub>2</sub>を削減することができる。(Reynolds 2003)

2000年12月、米国エネルギー省は「技術ロードマップ」を発表して、大型トラック（クラス8）<sup>14</sup>、トランジットバス、中型トラック（有蓋、シングルアクスル配達用トラック）、小型トラック（メーカーの車両総重量が8,500ポ

ンド（約3,900Kg）を超える「業務用」ピックアップ・トラック）、そして軍用車両にとって有望と思われる技術を特定した。この技術ロードマップでは、代替燃料、ICE技術、排出ガスの後処理技術、ハイブリッド技術、機械的ハイブリッドトラック技術、燃料電池、補助動力、熱管理、原材料、高効率/低排出のエンジンシステム、車両の高度化、その他の革新的でメリットの高い技術など「最先端技術」も取り上げられている。(US DOE 2000)

クラス8のトラックをこのパートナーシップと呼ばれるものの中に盛り込んだことは特に有意義であった。これらの車両の数は、米国で利用されている4,500万台の商用トラックのわずか200万台ほどであるにもかかわらず、その燃料消費は、全商用トラックの68%を占めている。とりわけ、通常の移動距離が100マイル以上であると定義される長距離輸送用のクラス8商用トラックだけで、全商用トラックの燃料消費のほぼ半分を占めていることになる。

国際エネルギー機関（IEA）の作成した報告書『Bus Systems for the Future』にはトランジットバス・システムに関連して世界各地で行われている技術革新の情報が含まれている。(IEA 2002) この報告書の大部分は、バス用

表3.4 バスの技術による推定コスト

カテゴリー	バス購入コスト (米ドル)	その他コスト
定員20~40名の小型の新型または中古バス。通常はトラックのシャシーを使用。	10,000~40,000	
定員100名までの大型近代スタイルのディーゼルバス。地元業者により製造されたものか、低価格で輸入されたもの。	40,000~75,000	
国際的な企業により製造された発展途上国用のディーゼルバス。ユーロ2に適合する。	100,000~150,000	取り扱いのための再訓練と、場合により、さらに高価なスベア部品と装備の費用。
欧州または米国で販売されるOECDユーロ2の標準的ディーゼルバス <sup>(1)</sup>	175,000~350,000	
ユーロ3以降の規制に適合する先進排出ガス抑制機器搭載のディーゼルバス。	同等のディーゼルバスに比べ5,000~10,000ドル高い。	低硫黄軽油であれば、リットルあたり0.05ドル以下の燃料費 (小型および輸入車用)
CNG、LPG駆動のバス。	同等のディーゼルバスに比べ25,000~50,000ドル高い。 (発展途上国ではそれほどではない。)	燃料補給インフラの費用はひとつの市あたり最高で数百万ドルになる。
ハイブリッドバス (生産台数限定)	同等のディーゼルバスに比べ75,000~150,000ドル高い。	取り扱いのための再訓練、メンテナンスおよびスベア部品の費用にかなりかかる可能性あり。
燃料電池バス (生産台数限定)	ここでは後発発展途上国においても、同等のディーゼルバスに比べ最高で100万ドル高い。	水素補給インフラとその他支援システムの費用にひとつの市あたり数百万ドルかかる可能性あり。

<sup>(1)</sup> 値段の範囲には欧州、北米の両地域のトランジットバスも含む。一般的に、北米と比べ欧州のバスは低価格であり、欧州での連結バスの価格は通常27万5,000ドル以下である。

出所：IEA 2002, p.120

の先進的な推進システム技術や燃料の説明に費やされている。ここで取り上げられている先進的な推進システム技術には、ディーゼル、ハイブリッド、燃料電池などが含まれている。燃料としては、ウォーター・イン・オイル型乳化物、バイオディーゼルおよび混合物、圧縮天然ガス、液化石油ガス、ジメチルエーテル (DME) が含まれている。この報告書には、現在行われている研究についての解説と、実施中のデモンストレーション・プロジェクトの記述が含まれている。IEAの報告書から引用した表3.4は、さまざまなトランジットバス技術のコストおよび性能特性に関連する報告書の所見を要約したものである。

### 1. 先進推進システムおよび燃料を利用した試作車、デモンストレーションおよびフリート規模の試験的HDVプログラム

世界各地で、試作車、デモンストレーションおよびフリート規模の試験的HDVプログラムが数多く行われている。<sup>15</sup> ハイブリッドバスに関しては、ブラジル (Ribiero 2003) および米国など、いくつかの国の都市部で試験が行われている。2003年10月にシアトル市はハイブリッドバスを250台ほど発注した。(King County Department of Transportation 2003) 日本のトラックメーカー3社はそれぞれハイブリッド中型トラックを開発したが、いずれも、同容量のディーゼルトラックと比較して、約25%割高であると報告されている。<sup>16</sup> その中のひ

とつは、ガロンあたり約23マイル~25マイル (100Kmあたり9.4リットル~10.2リットル) の燃費を達成すると推定されている。米国では、ある企業が米国エネルギー省から助成金を受けて、中型トラック用のハイブリッド・システムを開発した。この車両は、PMの排出量を90%、「スモッグの原因物質」の排出量を75%削減し、燃費を50%向上させることを目的としている。FedEx社の子会社であるFedEx Express社は、これらの車両を20台、試験フリートとして利用することに合意した。FedEx Express社は、これらのテストが計画通りに進めば、現在30,000台のW-700ステップバンの配達車両を今後10年間ですべてハイブリッド車に替える可能性があると述べている。(Eaton 2003) 同じくUPSも燃料電

池駆動の商用配達車両の試作車の実験的な使用に合意した。(UPS 2003)

## B. 自動2輪車および3輪車

アジアには、現在も自動2輪・3輪車が道路車両の大半を占めている国もある。これらの車両は安価で、多くの世帯にモビリティを提供している。また、車両1台あたりにおいては、自動車や軽トラックほど燃料を使用しないが、不釣り合いなほど大量の従来型排出物を排出している。現在、このような排出を抑制するための強化対策がなされている。

この対策でもっとも重要な措置の1つが2ストロークエンジンから4ストロークエンジンへの移行である。2ストロークエンジンは燃料に潤滑油を加えなくてはならないため4ストロークエンジンよりも排出量が多い。排出ガス規制を強化して、2ストロークエンジンの2輪・3輪車の新車としての販売を禁止している国もある。これは排出物対策を大いに前進させる動きである。しかし、今でも多数の2ストロークエンジンが利用されていることを考えると、真の前進にはさらなる取り組みが必要となるであろう。

多くの解決策が、技術的に実現可能であると思われる。例えば、ある大手メーカーは最近、世界初の4ストローク50ccエンジン用電子制御式燃料噴射システムを開発したと発表した。(Honda 2003)<sup>17</sup> PGM-FIと呼ばれるこのシステムは、2004年に日本で発売される新型のスクーターに搭載される予定である。また、2007年までには日本でこのメーカーから販売されるすべてのスクーターにPGM-FIが搭載され、2010年までには世界中で販売されるモデルの大部分にも搭載される予定であるとのことである。

三元触媒の追加によって、2輪・3輪車からの排出量は乗用車並みに抑えられると考えられる。自動車や軽トラックの場合と同様に、触媒コンバーターが搭載された2輪・3輪車では、まずは無鉛燃料(広く普及しつつある)、そして最終的には硫黄分も少ない燃料が必要となる。ただし、こうした革新によって、適切な燃料の利用や車両メンテナンスの必要性の増大という問題だけでなく、価格の問題も生じる。

## C. 道路車両以外の輸送機関

### 1. 鉄道機関

鉄道機関のほとんどは、主要動力源として外部発電の電力または車両に搭載しているディーゼル燃料を利用している。<sup>18</sup> 世界全体では、鉄道で利用されるエネルギーの27%が外部発電の電力、59%がディーゼル、12%が石炭(実質的にはすべて中国で利用されている)となっている。鉄道の電化の進行状況は国によって大きく異なる。カナダおよび米国の鉄道はほとんどすべてがディーゼル駆動である。日本では鉄道エネルギーの78%、そして欧州では61%が電力である。(IEA 2003)<sup>19</sup>

近年、AC電源の利用によって電気機関車の効率は大幅に向上した。ディーゼル駆動の機関車の場合、推進システムの開発は主に出力、信頼性の向上や、オンボードの電気エネルギーを発生させるために使われるディーゼルエンジンと、車輪にそのエネルギーを伝える電動牽引機関の効率改善を中心に行われてきた。近年、ディーゼル機関車には排出物基準が導入され、場所によっては、騒音基準の対象にもなっている。

ディーゼル電動機関車は、1,500 hp

(馬力)の入換機(スイッチャー)エンジンから6,000 hpを超える路面機関車まで、さまざまなサイズがある。近年、これらには従来の直流(DC)モーターに替わって交流(AC)牽引モーターが利用されるようになってきた。AC機関車は、信頼性が高く、メンテナンスが少なく済むほか、DC技術を利用した機関車に比べてより大きな馬力が期待できる。

機関車メーカーもまた、代替燃料の実験を行ってきた。1994年に、あるメーカーが100%の天然ガスで駆動する4スイッチャー機関車を生産したが、これらは火花点火エンジンを利用したものであった。その他の会社も、燃焼開始時にディーゼル燃料を最大10%使用する圧縮点火エンジンである「デュアルフェューエル」エンジンの実験を行っている。しかし、いずれのタイプの機関車も量産には至っていない。(Railway Age 2000)

あるカナダの会社が最近、従来のディーゼルスイッチャーエンジンに匹敵する牽引力を有するハイブリッド電気ディーゼルスイッチャーの生産、試験を行った。(現在は市販もされている。)これらのスイッチャーでは、出力が100 hpから200 hpの小型のディーゼルエンジンを利用してミニ発電機を駆動している。このミニ発電機で発電された電力が特別仕様のバッテリーに供給され、それが電動牽引モーターを駆動させる仕組みである。このスイッチャーのコストは、新型スイッチャーの半分<sup>20</sup>、同等出力の従来型構内スイッチャー機関車の最新モデルと比較して燃料消費も半分になっており、NOxとPMの排出量を90%抑えることができると言われている。

最近では、機関車用の補助電源としての燃料電池の利用に対する関心が非常に高まっている。これが実現すれば、走行していない機関車で電力が必要とされる場合に、メインのディーゼルエンジンを停止

させることが可能となる。ディーゼルエンジンの総駆動時間にアイドリングの時間が占める割合は驚くほど高い。カナダの鉄道で最近行われた機関車の負荷サイクルに関する研究によると、機関車のエンジンのアイドリング時間は54%から83%であるということである。<sup>21</sup> これまでに述べた補助電源装置として燃料電池を利用するケースと「ハイブリッド」を利用するケースと、いずれの場合もアイドリングを大幅に削減することが可能となるであろう。機関車は、アイドリング時よりもフルパワーでの走行時の方が燃料消費量と排出量が多いが、その両方で改善の可能性を探ることが重要である。<sup>22</sup>

米国では、燃料電池が路面機関車のエンジン用の主要動力源として使用できるかどうかを判断する取り組みが進められている。1,200億ドル、5年間のプロジェクトで、米軍のディーゼル電気EMD GP10機関車を分解し、PEM燃料電池と水素400Kg相当の水素吸蔵合金の貯蔵装置を使用して再度組み立てるという取り組みを進めている。このデモンストラーション・プロジェクトにおいては、その他の燃料電池および燃料貯蔵システムの利用の可能性に関する分析も行われている。(Railway Age 2003)

## 2. 海上輸送、沿岸輸送、内陸水路輸送

一般商船はほぼすべてディーゼルエンジンで駆動しているが、大型の外航海運で利用されているものが最大である。これらの巨大エンジンには、それぞれの内径が980 mm、行程が2,660 mmのシリンダーが最高で14本搭載されており、エンジン排気量は1,000リットルにも上る。<sup>23</sup> これらのほとんどは「低速」に分類される。つまり、約100 rpmで動作し、船のスクリューに直接つながっているため、減速装置が不要となっている。

内陸水路の引き船や自走式船舶に利用されるディーゼルエンジンはこれよりもかなり小型なもので、大型のディーゼル電気機関車とほぼ同じ大きさのエンジンが、時には複数個搭載されている。米国内陸水路で使用されている大型の引き船の出力は10,500馬力を超える。水上交通の船舶で利用される燃料は、「重い」ディーゼル燃料および「残渣燃料油」と呼ばれる「より重い」石油製品である。一般的に、これらの燃料は他の輸送燃料に比べて硫黄含有量が多い。(下記参照)

2000年3月に発行された国際海事機関(IMO)への報告書には、1996年時点の遠洋航行船のエネルギー利用と排出に関する詳しい記述がある。(IMO 2000) 表3.5は、それらの船舶が1996年に消費した1億3,800万トンの蒸留燃料と残渣燃料により発生した排出量の推定値を示したものである。

同報告書は、エネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量を抑制するために新規および既存の船舶に応用できるさまざまな技術的手法と運営上の方策の影響を明らかにし、それらの評価を行っている。表3.6は、新規および既存の船舶に応用できると考えられる技術的手法に関連してこの報告書が出した所見を要約したものである。

## 3. 航空輸送

航空輸送は2000年から2050年まで

ガスの成分	排出量の幅 (Mt)
CO	0.7~1.1
NM VOC	-
CH <sub>4</sub>	-
N <sub>2</sub> O	-
CO <sub>2</sub>	436~438
SO <sub>2</sub> 残渣	5~7
蒸留	0.2~0.8
計	5.2~7.8
NOx	10.1~11.4

出所: IMO 2000, p.11

の間も引き続き、最も急成長する人の輸送手段であり続けるだろうとSMPでは予測している(第2章)。実際、既に世界で使用される輸送エネルギーの12%近くを航空輸送が占めている。SMPの基準ケースでは、全エネルギー消費量の中で航空輸送が占める割合は、2050年までに18%以上になると予想されている。

1960年代以来、ほぼすべての新規導入の民間航空機は、「ジェット燃料」と呼ばれる「軽量の」石油製品を燃料とするタービンエンジンを動力としている。これらのエンジンの燃焼プロセスは極めて効率的だが、機体と収益荷重を離陸させ、高速で長距離の推進力を保つためには、膨大なエネルギーが必要である。実際、飛行機で輸送される「収益荷重」の大部分は、自身の燃料が占めている。したがって、当然のことながら、航空交通システムの運営費全体において燃料の使用量と燃料費が、人件費、所有費、投資コストなどと比較して極めて重要な要素となる。<sup>24</sup>

航空機のエネルギー消費におけるこれまでの傾向、および予想される今後の傾向について発表された最近の見解があるが、その中でLee、Lukachko、WaitzおよびSchafer (Lee, et. al. 2001) は、1971年から1998年の期間における、さまざまな技術改良や運営面の要因がそれぞれ民間航空機のエネルギー消費削減にどのような作用をしたのかを相対的に分析した。有償旅客Kmあたりのメガジュール(MJ/RPK)で測定した米国の航空機のエネルギー消費量は、60%以上減少している。平均すれば毎年3.3%の減少となる。(図3.8参照)

このような大幅な減少の原因となったのは、特定の燃料の消費率の低下、空力効率に反映されるエンジン効率の向上、構造的な効率の改善の3つの技術的要因である。エンジン効率は、1959年から

1995年までの間で約40%向上しているが、1970年までに実現した改良のほとんどは、ハイバイパス・エンジンの導入によるものであった。その他の要因には、エンジン内のピーク温度の上昇、圧力比の増加、エンジン部品効率の向上などがある。

翼のデザインおよび推進力／機体の統合の改良によって、空力効率は、これまでに約15%向上している。機体に使われる素材の改良があったにもかかわらず、構造効率の向上の貢献度はそれほど高くなかった。自動車の場合がそうであるように、素材の改良によって軽量化が実現した機体の重量も、その他の技術的な改良や乗客の快適さの追求のためにまた大きく増加してしまったのである。

Lee、Lukachko、WaitzおよびSchaferは、今後数十年間は、民間航空機のエネルギー消費量はまだ低下傾向にあるが、過去数十年間の毎年平均3.3%という数字と比較して、1.2%～2.2%という緩やかな低下になると予測している。

表 3.6 技術的な取り組みによる船舶でのCO<sub>2</sub>削減量

対応策	燃料/CO <sub>2</sub> 削減可能量	小計 <sup>(1)</sup>	合計 <sup>(1)</sup>	
<b>新船舶</b>				
船体の形の最適化	5~20%	5~30%	5~30%	
スクリューの選択	5~10%			
効率最適化	10~12% <sup>(2)</sup>			
燃料 (HFOをMDOに変更)	2~5% <sup>(3)</sup>	14~17% <sup>(2)</sup>		
機械設備コンセプト	4~5%	6~10% <sup>(3)</sup>		
燃料 (HFOをMDOに変更)	4~6%	8~11%		
燃料 (HFOをMDOに変更)	4~5%			
機械監視	0.5~1%	0.5~1%		
<b>既存の船舶</b>				
船体の形の最適化	3~5%	4~8%		4~20%
スクリューのメンテナンス	1~3%			
燃料噴射	1~2%	5~7%		
燃料 (HFOをMDOに変更)	4~5%			
効率算定	3~5%			
燃料 (HFOをMDOに変更)	4~5%	7~10%		
効率算定+総コストの改善	5~7%	9~12%		
(HFOをMDOに変更)	4~5%			

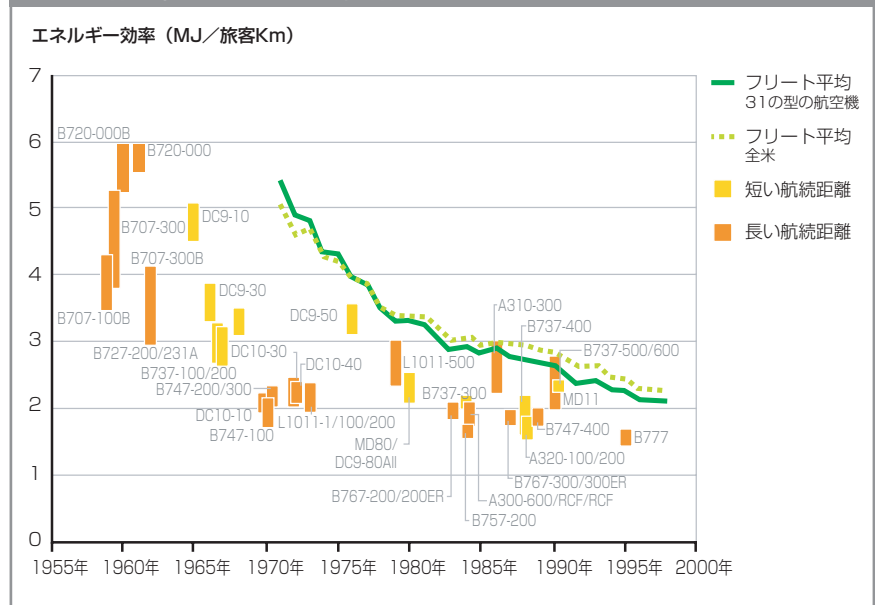
<sup>(1)</sup>個々の対応策から得られる削減の可能性はさまざまな情報源から十分に文書化されているが、対応策を組み合わせた場合の可能性については予測値のみに基づく。

<sup>(2)</sup>HFOで駆動する新型中速エンジンの最新技術

<sup>(3)</sup>NOxとの相殺に対応した場合の低速エンジン

出所：IMO 2000, p.14

図3.8 米国における新型航空機の導入年別エネルギー効率および航空フリート全体の平均エネルギー効率の推移



出所：Lee, et al., 2001, p.184

## IV.

# 車両技術と燃料の改善が先進国および 発展途上国に及ぼす影響

輸送システムに技術を組み込む方法は、さまざまな地域における社会的、経済的な影響により変わってくる。異なる地域には異なるシナリオを想定することができる。

先進国においては、信頼性、快適性、局所的な都市部の汚染状態、パフォーマンス、実用性、利便性、費用、安全性を維持、改善しつつ、従来型排出物とGHGの排出量の両方を削減し、エネルギー供給を確保したいという一般の要望が、改善の主な推進力となると考えられる。ここに挙げたすべてが実現可能なわけでも手ごろなコストで実現できるわけでもないが、先進国であれば、どのような可能性も十分に検討されるであろう。ほとんどの地域で、従来使用されなかった、より持続可能な成分を含む、さらにクリーンな燃料（バイオ燃料である可能性が高い）が、次第に利用されるようになる。気体燃料（CNGやLPG）も、局所的汚染に対処するため、引き続き都市中心部でのフリート車両に好んで利用されるであろう。こうした動きにより、これまでに概説した技術的進歩（増加傾向にあるハイブリッド技術など）を数多く取り入れた自動車の性能が向上するであろう。燃料としての水素が最初に登場するのは先進国である可能性が高く、まずはフリート車両（燃料電池車とICE車）の燃料として採用され、その後広く普及するで

あろう。

現在先進国で採用されている自動車の安全性向上のためのシステムは、すでに高い水準にあるが、電子技術の利用が増えることにより、さらに安全性の高い自動車が実現できる可能性が高い。「X-by-Wire」や「運転者支援」システムのように、予防安全を目的とした安全技術システムは、はその重要性を次第に高めている。ブレーキ・バイ・ワイヤーやステア・バイ・ワイヤーなどのシステムにも同じことが言える。アクティブサスペンションシステムは自動車の安全性と運転者の快適性を向上させるであろう。また、法律や規制の利用により、歩行者保護やドライバーの挙動の改善が促進され、運転者にさらなる（または今より少ない）自律性をもたらす技術が利用できるようになるであろう。

多くの発展途上国、特に急速な経済成長を遂げつつある国では、先進国を大幅に上回る勢いで道路輸送が成長しているが、これには、渋滞、騒音、汚染、交通事故の増加を伴うことが多い。発展途上国の多くでは、先進国で既に利用されている有益な技術や慣習をいまだに実現できていない。

先進技術、規制、取引方針、課税方法がより多く利用されるようになれば、発展

途上国と先進国の自動車の性能に関する格差は縮小するであろう。このため発展途上地域ではさまざまな要因が生まれ、その結果もさまざまであると予想される。特に、優先順位は地域の状況を反映したものになるだろう。先進国よりも、エネルギー供給の確実性、廉価な輸送、既存インフラの利用、そして資源などは、すべてが優先順位の高い事項になる。また、GHG排出量の削減ではなく、局地的な排出の削減と制御により重点を置くという可能性もある。

発展途上国において最も重要な持続可能性の傾向の1つは、自動車の排出物抑制技術の採用である。世界的に事業を展開している自動車メーカーは、発展途上国のユーザーの予算に合わせた自動車を設計することで市場に対応している。主にICE車や後処理技術の向上、そしてドライブレイン以外の技術や原材料の変更は、発展途上国において徐々に普及していくと考えられる。いずれは、液体燃料（ガソリンや軽油）と関連インフラの改善という結果ももたらされるであろう。

とりわけ、無鉛ガソリンの採用と硫黄レベルの低下が大幅に進み、近代的排出抑制装置を搭載した車両がより広く導入されるであろう。また、現地の資源を利用したバイオマスを原料とする燃料成分の採用も進むであろう。CNGとLPGも、

急速に拡大しつつある発展途上国の都市、特にこの新技術が大量排出の「古い」車両技術に代わって採用される地域では、局所的な汚染の抑制に適用される例が増えるであろう。さらには、2輪車や3輪車で広く使用されている2ストロークエンジンは、今後10年間で姿を消し、より経済的でクリーンな4ストロークエンジンが採用される可能性が高い。

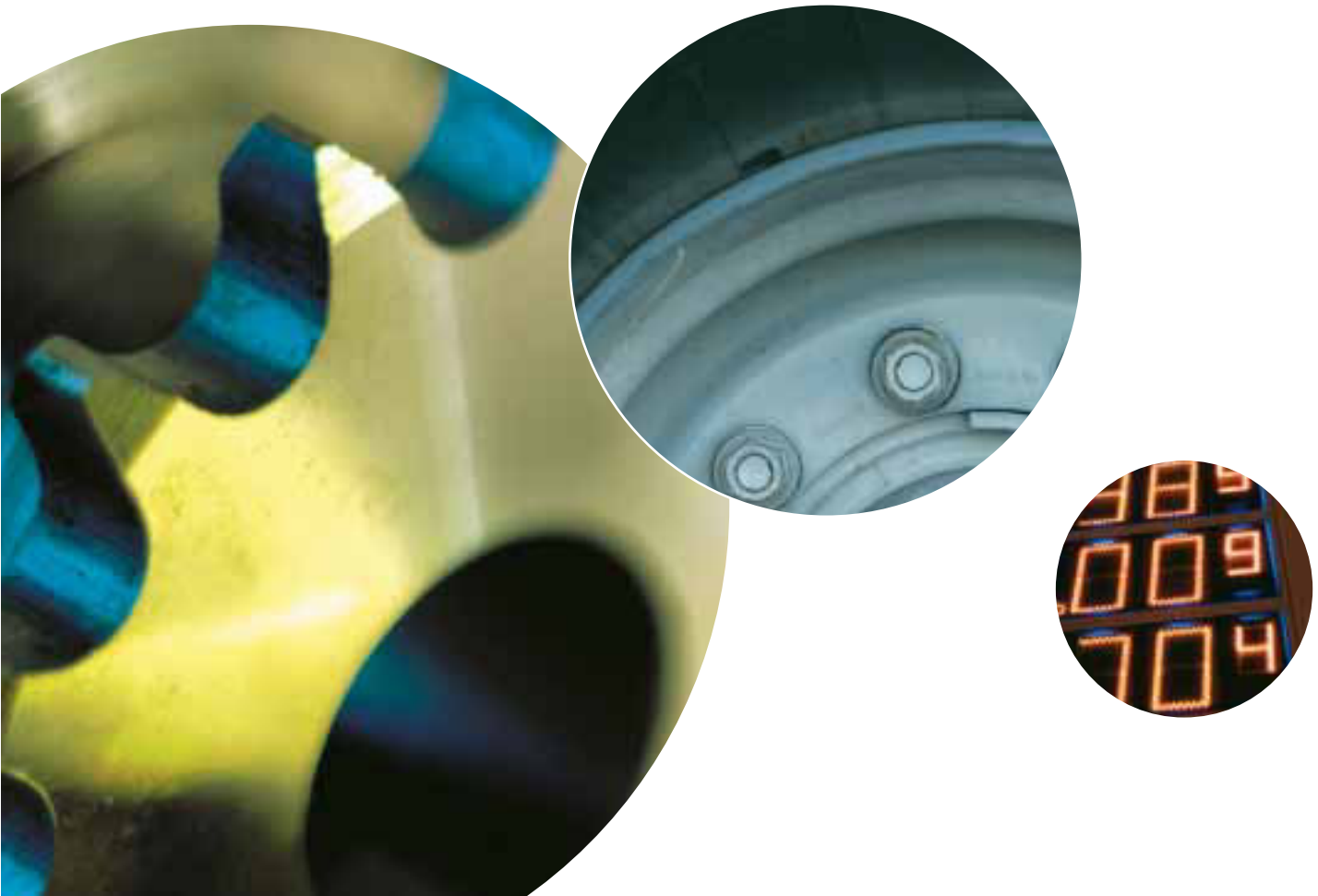
また、天然の化石燃料を豊富に持つ一部の国（石炭が豊富な中国など）は、そうした資源を利用して、FTディーゼル、ガソリン、また場合によっては水素などの燃料を生産する方法を模索するであろう。しかし、それにはコスト効率やエネルギー効率の高い変換技術が開発できるかどうかにかかっている。さらには、CO<sub>2</sub>隔離の手法も開発することが望ましい。これまでに説明したとおり、コスト、インフラ、車両技術などが要因とな

り、本報告書が対象としている期間中に、燃料電池が発展途上地域の輸送に大きく貢献する可能性は低い。たとえば中国などでは、経済的に実現可能なCO<sub>2</sub>隔離技術が開発され、埋蔵されている膨大な量の石炭を水素に変換し、水素インフラを建設して従来の燃料インフラの利用を中止しなければ、こうした状況を変えることはできない。

現在の傾向が続けば、発展途上国における車両の安全性は劇的に改善する。ただし、現在利用可能な技術のさらに広範囲での利用が条件となる。概して、発展途上国の都市政府は、渋滞の緩和と交通管理の改善のために、技術的手法よりも規制による手法を好む傾向が強い。

これらの手法により実現する進展がより高度な手法を採用した場合と同等の利益をもたらす可能性は低い、特に

これらの地域では急速な成長が見込まれるため、総合的に見た持続可能なモビリティを左右する非常に重要な要素となるであろう。実際には、世界に存在する全自動車の75%は、依然として先進国のものであるが、発展途上国における自動車の所有率は、ここ10年で急速に増加している。今後30年間で、世界における自動車の純増分のほとんどを発展途上国が占めることになるであろう。そのため、発展途上国において持続可能なモビリティの実現を進展させることは、間違いなく持続可能なモビリティを世界規模で実現させるための重要な要素となるであろう。



<sup>1</sup> 第3のタイプの推進システムがある。外燃機関である。往復（レシプロ）蒸気エンジンや、蒸気タービン、ガスタービンなどがこのタイプの例である。現在、輸送に広く採用されているのはガスタービンのみであり、それはほぼ全て航空輸送に限られている。本章で後ほど考察する。

<sup>2</sup> 少なくともここ10年は、市場においては性能や機能がより充実した大型車が人気であり、世界的なエンジン排気量の傾向は逆行している。

<sup>3</sup> 性能や機能の低下を避けるためにはエンジンには技術的な変化の必要があるであろう。

<sup>4</sup> これは、ICEの駆動に利用される水素の場合にも当てはまる。

<sup>5</sup> これらのコストの数字は個々の技術に関するものであり、多くの場合、基本となる技術コストを上回る可能性のある、車両への組み込みのコストは含まれていない。

<sup>6</sup> その組み合わせが、WTWにおいて基準車両よりもGHG排出量が多くなる場合は、その数字に意味がないため、第9列目が空欄になっている。

<sup>7</sup> DPF=ディーゼル微粒子フィルター

<sup>8</sup> 削減量1トンあたりのコストに数字が入っていない箇所については、WTWでのGHG排出量が実際に基準ケースよりも多いことを示している。

<sup>9</sup> この値は、車両重量1,532Kgの北米ミッドサイズクラス車の場合。

<sup>10</sup> 車両の走行寿命を19万3,000Kmと想定。

<sup>11</sup> 例えば、特定の安全特性（エアバッグなど）を追加すると車両重量も増す可能性がある。

<sup>12</sup> 交通管理システムは、自動速度標識、高速道路入り口での速度計測、フレキシブル・レーン割り当てなどによる予測に基づくシミュレーションやモニタリングをもとに、交通の流れを最適化する。できるだけ迅速に事故処理を行うことを目的とした突発事象管理が、交通管理の一部として組み込まれていることが多い。旅行者／ドライバー情報システムは、輸送の利用者にとって、よりよい輸送の選択を行えるような情報を提供する。ほかにも、自動ルート情報パネル、ラジオ放送、インターネット、迂回ルート情報などを提供するカーナビ・システムからの情報も利用可能である。ETCは特定のインフラでの料金徴収プロセスを迅速化するために導入された。フランス、イタリア、スペイン、オーストラリア、日本、カナダ、米国などの国々では、このシステムが利用されている。

<sup>13</sup> 2000年には、輸送関連のGHGの総排出量のうち、トラックとバスを合わせた数値はほぼ30%に達した。これはLDVからのGHG排出量のお

よそ3分の2にあたる。

<sup>14</sup> クラス8トラックとは、メーカー自動車総重量が33,001ポンド（15,000Kg）以上のトラックと定義されている。

<sup>15</sup> 米国エネルギー省の先進車両試験活動によって、世界中の重量ハイブリッド車両プロジェクトを特定するウェブサイトが運営されている。2003年11月中旬の時点で、このウェブサイトには米国およびカナダで60以上のプロジェクトが、欧州、アジアおよびその他の地域で50以上のプロジェクトが掲載されている。（US DOT 2003a）

<sup>16</sup> いすゞのトラックは、同容量のディーゼル・トラックと比較して、9,000米ドル割高であると報告されている。（このサイズのディーゼル・トラックの現在の価格は、27,000米ドル～36,000米ドルである。）日産ディーゼルのトラックは、同サイズの標準的なディーゼル・トラックと比較して、8,200米ドル割高であると報告されている。（Automotive News, January 12, 2004, p.28L.）

<sup>17</sup> ホンダの2003年資料。Hondaは、大型オートバイ（1,800ccモデルから125ccモデルまで）の燃料噴射を提供してきたが、PGM-FIのような技術を超小型スクーターに応用するのは初の試みである。50ccクラスのスクーターは、日本では販売台数の最も多いカテゴリーである。

<sup>18</sup> 実際は、実質的にすべての「ディーゼル」機関車は電動である。ディーゼルエンジンは発電機を駆動するために利用され、牽引モーターは電動となっている。

<sup>19</sup> この場合の「欧州」とは、IEAに属するヨーロッパの国々を指す。

<sup>20</sup> 北米のほとんどの入換機（スイッチャチャー）エンジンは30年から40年前に製造されたのもので、中にはスイッチングサービスに「迷い込んだ」路面機関車もある。そのため、多くの鉄道のコスト比較はこれらのスイッチャチャーの変動的な運営コストに対してのものとなっている。

<sup>21</sup> この83%という数値はスイッチャチャーエンジンにあたる。

<sup>22</sup> 1990年以降の負荷サイクルでは、カナダのEMD 645 E3機関車はアイドリングを止め、燃費を5%～8%向上し、NOx排出量を6%～9%減少し、CO排出量を18%～21%削減し、そしてHC排出量を27%～29%減少させた。

<sup>23</sup> これと比較し、4シリンダー乗用車は2.0リットルから3.0リットルの排気量となるであろう。（MAN/B&Wのウェブサイト、2003年）

<sup>24</sup> Lee, et. al. 2001, p.182.





## 第4章

# 持続可能なモビリティの達成



# はじめに

我々は、本章までに、持続可能なモビリティの12の指標を特定し、2050年までにそれらがどのように進化していくのかを予測した。その結果、我々はモビリティが今日において持続可能ではなく、現在の傾向が継続すれば、今後も持続可能となる可能性は低いと結論づけた。そして、モビリティの持続可能性を大幅に高めるであろう7つの目標を提案した。さらに、我々は輸送車両のさまざまな技術や燃料が、こうした目標達成を可能にする上で貢献する可能性について述べた。

この最終章において、我々は7つの目標を実際に達成可能とする方法に目を向ける。原則として2030年までに実現が可能と思われるものと、それよりも長い時間を経て達成可能になるとと思われるものについて区別している。

## II.

# 従来型排出物の削減： 輸送関連の従来型排出物を、世界のいかなる場所でも公共の健康への深刻な懸念にならないようなレベルにまで削減する

先進国では、輸送関連の従来型排出物がかつては公共の健康への懸念ではないという時代に近づきつつある。我々は、2020年までに先進国においてこの目標が完全に達成できると確信している。発展途上国においても、完全に達成するまでにはより長い時間を要すると思われるが、2030年までにはかなりの進展が可能である。

これまでの進展のほとんどは次の4つの

戦略により遂げられた。

第一に、政府が、健康に配慮したより厳格な排出基準を設定し、メーカーが、新型車両により効果的な排出物制御技術を搭載することが必要になったという点である。第二に、政府がメーカーに対し、それらの装置が車両の「使用期間」を通じて認証を受けた基準を満たすことの保証を求めたという点である。また、政府は、これらの装置が正常に機能すること

を保証するために、車検制度も設けた。第三に、政府が、装置を適切に機能させるために必要な燃料を入手できるようにすることを求めた点である。第四に、排出物制御技術と燃料にかかる追加コストを、まず車両および燃料メーカーが負担することとし、その後で購入者および使用者に負担させるようにしたという点である。

公共の健康に対する深刻な懸念となる輸送関連の従来型排出物の排出量を完全にゼロにするためには、第五の戦略的要素、すなわち個々の「ハイ・エミッター（大量排出）」車両を特定し、管理することが必要になる。

## A. 先進国

SMPの基準ケース予測によると、OECD諸国で既に設けられている（または導入が予定されている）排出基準によって、今後数十年間でこれらの国々における輸送関連の従来型排出物の排出量を、急速かつ大幅に削減することが可能である。この削減には、LDVばかりで



なく重量車両（トラックおよびバス）、鉄道機関車、水上輸送船、および航空機も含まれる。

ただし、先進国がSMPの目標を達成するには、別の課題に取り組む必要が出てくる。排出物制御装置が先進国の輸送車両において標準的に装備されると、残りの排出量の大部分は規制に適合しない車両によって排出される可能性が高い。米国などにおける沿道監視や無作為試験によると、相対的に少数の「ハイ・エミッター」車両が、実際の排出総量に対して不釣り合いなほどの大きな割合を占めていることが分かっている。<sup>1</sup>

表4.1は、4年間（1999年、2000年、2001年、2003年）をかけてデンバーの同じ場所でデンバー大学（コロラド州）が収集したデータと、別の研究（Burgard, et. al. p.7）の一環としてそれより前の2年間（1996年、1997年）に収集されたデータを示している。CO、HC、NOxの平均濃度は時間の経過と共に減少しており、より新しい排出物制御技術が導入されていること、あわせて旧式車両が廃車されていったことを表している。しかし、全車両の中で汚染量の多い10%の車両が排出するCO、HC、NOxが全体に占める割合は、相対的に一定であるか（CO、HC）、もしくは上昇している（NOx）。表4.2は、1999年における米国のLDVからの総排出量に占める「ハイ・エミッター」

車両の割合を、米国環境保護庁（EPA）のMobile 6モデルにより計算したものである。

基本的に、「ハイ・エミッター」車両の検知は、それほど難しい問題ではない。多くの国において、新車に課せられる非常に厳しい排出基準では、排出システムの性能を電子的に「読み取る」装置や、ドライバーに車両の排出物制御システムが誤動作している可能性があることを警告する装置の車両への搭載も要求されている。ただし、これまでの車検プログラムでは、明らかに賛否両論がある。搭載されている排出物制御システムが故障していると判断された場合でも、当局はその車両の所有者に対してシステムを規制に適合させるよう要求することを躊躇しがちである。「ハイ・エミッター」車両に対して効果的な対処ができないからといって、排出物制御システムの改善による排出量の削減が完全に無効になるわけではない。ただ、削減の度合いは減ることになる。

車載および沿道監視システムの性能が向

表 4.2 米国：LDV総排出量に占める「ハイ・エミッター」車の割合

	CO	NMHC	NOx
排出量	65%	54%	47%
車両	11%	13%	23%
VMT	11%	12%	22%

注記：1999年現在  
出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

上し、安価になっているため、ハイ・エミッター車両の特定や対処は、技術的な問題というよりも、政治的および文化的な問題という色合いが濃くなっている。まもなく、車両自体が実際の排出量を運転者や規制当局に対して「自己申告」できるようになるだろう。すでに述べたように、社会が異なれば、受容される「政府による干渉」のレベルも異なる。自分の車に排出基準に適合していないという「自己申告」を行わせること、あるいは過度な排出を沿道の探知装置に検知させ、車両の所有者に対して修理を求め通知を自動的に送信し、その所有者が修理を行わない場合には所有者に自動的に罰金を科すことは、技術的には実行可能である。ただし、これは大衆にとって受け入れられる場合もあるが、そうでない場合もある。（Automotive News, September 22, 2003）

また別の課題は、所得が低い世帯や人々に対する影響の緩和である。低所得世帯で保有されている車両は、高所得世帯の車両と比較して古く、メンテナンス状況も悪くなりがちである。従って、低所得世帯の車両が、「ハイ・エミッター」車両の中でも大きな割合を占めている可能性が高い。自家用LDVに代わり、公共交通システムが効果的に機能していない地域ではなおさらである。

## B. 発展途上国

先進国において道路車両からの従来型排出物を抑制し、「ハイ・エミッター」車両を検知するために用いられる技術は、発展途上国の車両にも適用できる。しかし、発展途上国において同程度の成果を上げるためには、他にもいくつかの課題がある。<sup>2</sup>

表 4.1 リモートセンシングによる測定結果：コロラド州デンバー、1996年 - 2003年

	1996年	1997年	1999年	2000年	2001年	2003年
CO:最も汚い10%の車両からの排出量が占める割合(%)	63.8	67	66.3	65.3	73.2	68.9
平均CO濃度 (ppm)	0.53	0.51	0.45	0.43	0.34	0.35
HC:最も汚い10%の車両からの排出量が占める割合(%)	77.5	72.5	66	77.6	77.2	74.8
平均HC濃度 (ppm)	180	160	125	115	112	88
NOx:最も汚い10%の車両からの排出量が占める割合(%)	38.1	43.6	44.6	48.4	51.7	53.5
平均NOx濃度 (ppm)	860	620	600	511	483	456
平均年型 (年/月)	1989年 2月	1990年 3月	1992年 4月	1993年 4月	1994年 6月	1996年 4月

出所：Burgard et. al. 2003, p.7

## 1. 価格の課題—車両

発展途上国における国民1人あたりの所得は先進国に比べて極めて低い。そのため車両の購入予定者にとっては、先進国の場合と比較して、排出物制御装置の初期費用がより大きな経済的負担となり、特に小型乗用車、小型トラック、2輪・3輪車などの小型で安価な車両に先進の排出物制御装置を搭載することに対する反発は強くなる。厳しい排出物制御の要求がその土地のメーカーに不利な（または不利と思われる）場合、反発は一層強まる可能性がある。

また、平均所得が低いために、購入した車両をより長期間にわたり使用することが多い。すなわち発展途上国では、ある特定の排出物制御技術がその国の車両全体に浸透するのが先進国に比べて遅くなる。

## 2. 価格の課題—燃料

発展途上国においては、汚染の少ない最新の燃料を入手可能な状態にし、そのうえ確実に使用できるようにするのは、さらに困難である。このような燃料は、従来の燃料よりも高価な場合が多いためである。先進の排出物制御装置の普及を遅らせる価格の問題と同様の問題が、より高価な燃料の導入を遅らせる原因にもなっている。高価な車両と高価な燃料は同時に導入される場合が多いが、そのような場合には、まさにこの問題が当てはまる。さらに、発展途上国の多くでは輸送燃料の精製および販売を政府が独占しているため、高額な費用をかけて精製所、燃料流通システム、給油所を最新化しようとする、強力な政治的抵抗に遭うことが多い。

## 3. 価格の課題—メンテナンス

新型の排出物制御装置を搭載した車両を適切にメンテナンスし、適切な燃料供給

を行うことは、発展途上国におけるもう1つの大きな課題である。コストがその原因の1つであるのは明らかだが、おそらくより重大なのは文化的な背景であろう。比較的富裕な国でさえも、当局に走行車両の基準遵守を徹底するために必要な資源を当てるのは難しい。また、旧型で排出量の多い車両を道路から無くするための手段を一般社会に支持させることは、さらに困難なことである。これに対し、排出物制御装置を効果的に機能させるための作業を車両メーカーが担うという措置は、かなり効を奏してきた。<sup>3</sup> さらに、発展途上国の多くでは、車両のメンテナンスと修理がほとんど「無認可」で行われている。車検プログラムは皆無であるか、もしくは厳格には実施されていない。当局にも、このような作業を適切に実施する人材がほとんどおらず、モチベーションも低い。

## 4. 自動2輪・3輪車に関する課題

自動2輪・3輪車は相対的にエネルギー効率が良い。しかし、その台数の多さと2ストロークエンジンのために、従来型排出物の排出量では不釣り合いなほど大きな割合を占めている。第3章に述べたように、この種の車両からの排出を抑制するための措置が取られつつある。その中でも最も重要なのは、2ストロークエンジンに代わり4ストロークエンジンの搭載を義務付けるという措置である。

ただし、この措置のみでは不十分であるため、4ストロークエンジンを搭載した2輪・3輪車からの排出を大きく減少させることができる技術が利用可能になりつつある。例としては、電子制御燃料噴射や三元触媒などがある。これらが導入されれば、2輪・3輪車からの排出量を最新の乗用車と同等にまで引き下げることができるかもしれない。しかし、自動車や軽量トラックの場合と同様に、触媒コンバーターを採用した自動2輪・3輪車では、無鉛ガソリン、そして（最終的

には）低硫黄燃料が必要になるため、価格の手頃さ、適切な燃料の利用、車両メンテナンスなどの問題が生じる。先進国においてはこのような課題を克服できると思われるが、発展途上国に関しては正確な予測はできない。

## 5. 対処の遅れが及ぼす影響

第2章で詳しく述べた排出量予測では、SMPは発展途上国における道路車両からの従来型排出物の抑制は、先進国より10年の遅れがあるという仮説を立てた。その中では、「排出抑制」とは単に、高度な手段を新車に搭載することを義務付ける法律や規制を設け、そうした装置を設計された通りに機能させるために必要な燃料を導入することをだけを指しているのではなく、排出物制御装置をあらゆる車両に行き渡るようにし、車両のライフサイクル全体を通して機能するようにするということである。発展途上国の中には、EUの排出基準を採用しようという国もあり、実際に近年では数多くの発展途上国がこうした基準を採用しているということを考慮すれば、10年の遅れは妥当なものと思われる。

こうした抑制実施の遅れは排出量に大きな影響を与える。図4.1～4.4に、さまざまな遅れの長さによる排出量の変化を示す。

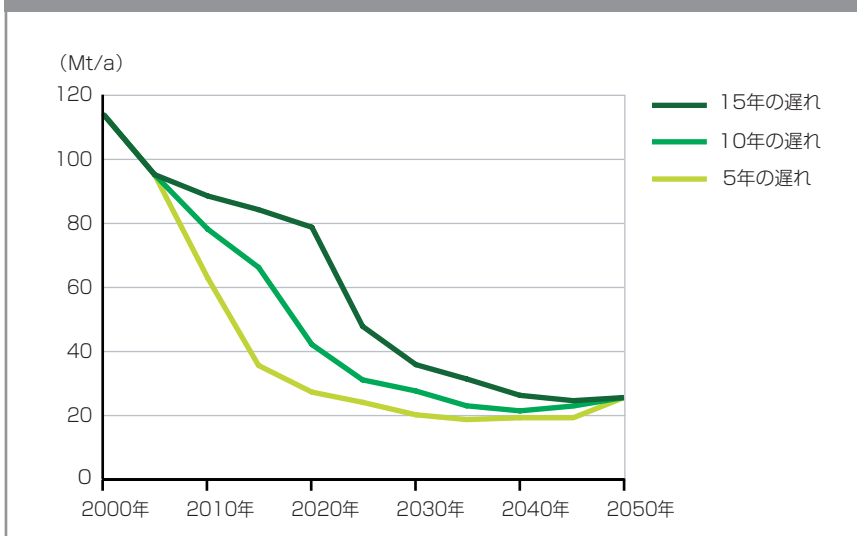
図4.1～4.4は、遅れの長さに関わらず、2050年では総排出量の差がなくなること示している。これは、OECD諸国が2010年の排出基準を超えて、基準を強化しないと推定されるためである。この推定に基づくと、遅れの程度に関係なく2050年までには非OECD諸国が「追いつく」と考えられる。ただし、2000年から2050年までの期間では、排出量のレベルは遅れの程度によって異なり、その差が極めて大きい場合もある。例えば、想定される遅れの長さによって2020年におけるCOおよびPM-10の

排出量はほぼ4倍、NOxでは2倍程度の差が生じている。遅れがどの程度になるかにより、2010年までにそれぞれの排出物の排出量は大きく減少するか、少し減少するか、あるいは増加する。

SMPの参加企業は、上記のような政治的、文化的問題に対する発展途上国の取り組みに対して支援できることは多くはない。ただし、排出抑制の遅れに関する他の要素を緩和することへの支援は可能である。例えば、現在OECD諸国内で導入されつつある高度な排出物制御技術の開発費用は、発展途上国で販売される「主流の」車両に導入される時点で完全に回収されていると思われる。生産にかかる追加コストとしてこのような技術の値段を定めると、値頃感が増し、発展途上国におけるこのような技術の利用が促進される。燃料に関しては、国営の石油会社に対して、より高品質の燃料を精製するために、精製所の性能を高めるスピードを上げるように働きかけることはできると思われる。

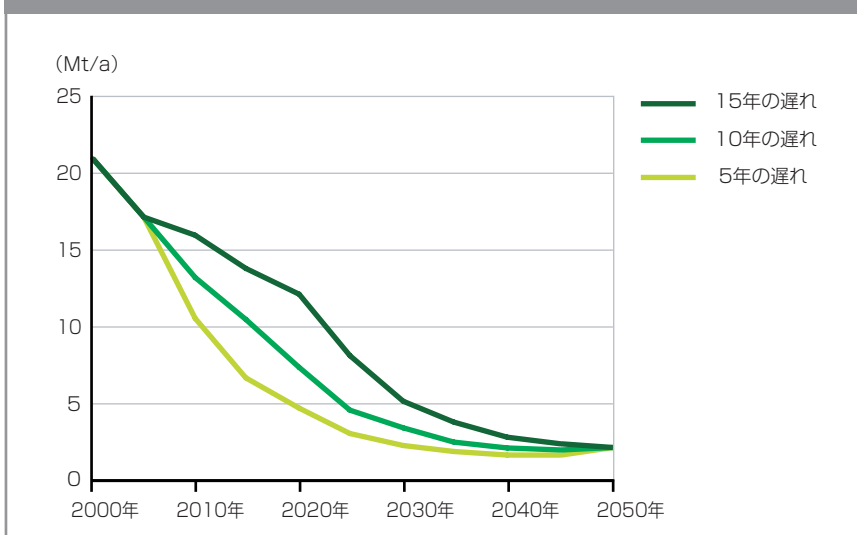
世界各地において、先進の排出物制御技術とそれを効果的に機能させるために必要な燃料の導入を慎重に調整しなければならない。さもなければ、排出物削減を加速させようという取り組みの効果が出ないだけでなく、実際には逆効果になることも考えられる。<sup>4</sup>

図4.1 発展途上国：排出基準導入の時間差による総排出量の差異：CO



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

図4.2 発展途上国：排出基準導入の時間差による総排出量の差異：VOC



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

## C. まとめ

先進国では、輸送関連の従来型排出物の排出量は、今後数十年の間に急速に減少すると思われる。これまでに述べた目標を完全に達成するために残された大きな課題は、「ハイ・エミッター」車両からの排出量を検知し、抑制することである。これを実行するための技術は存在しているが、このような技術をどのように利用

するか、あるいはそもそも利用するかどうか、という点については、社会によって見方が異なるだろう。

発展途上国は、輸送関連の従来型排出物の制御について、先進国と同じレベルを達成する可能性を持っている。ただし、必要な技術や燃料の価格が大きな不確定要素である。また、多くの発展途上国が先進国の排出基準を採用する姿勢は持っているものの、実際に実施することも大

図4.3 発展途上国：排出基準導入の時間差による総排出量の差異：NOx

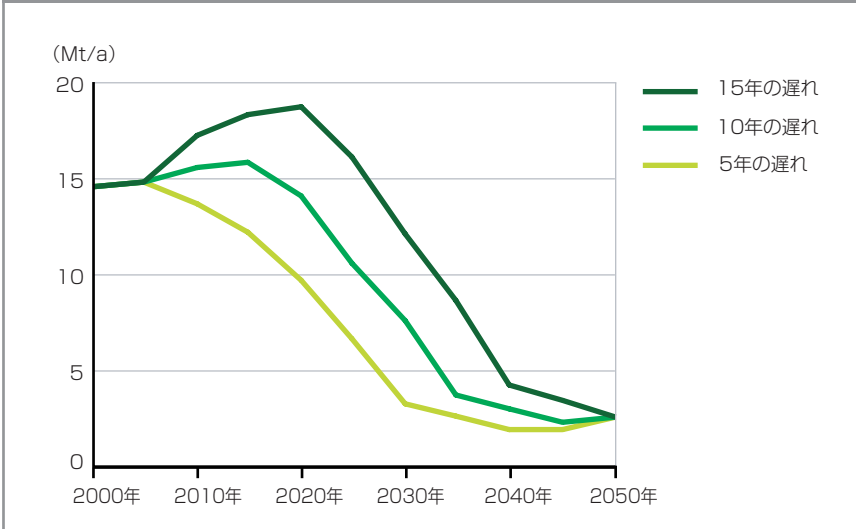
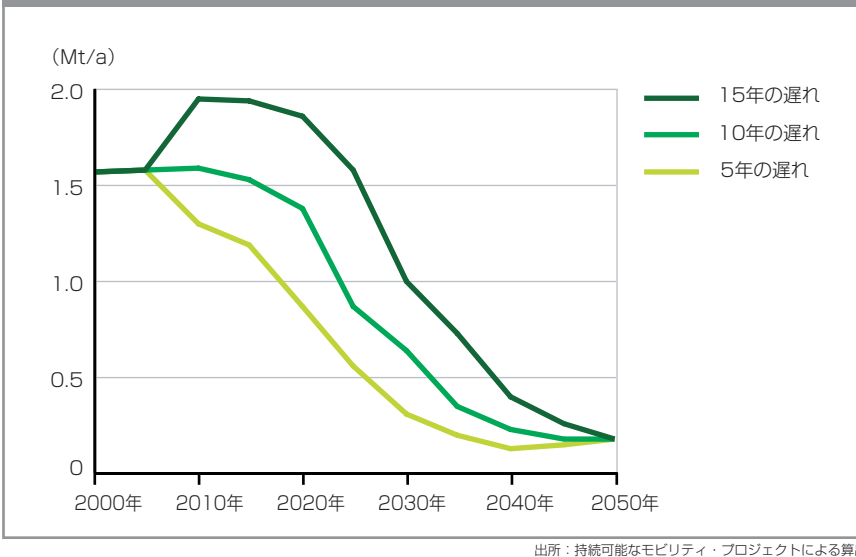


図4.4 発展途上国：排出基準導入の時間差による総排出量の差異：PM-10



きな課題となるだろう。排出物制御装置と「よりクリーンな」燃料の価格を大幅に下げることができれば、この目標を世界的に達成する可能性は大きく高まる。

### III.

## 温室効果ガス（GHG）： 輸送関連のGHG排出量を持続可能なレベルにまで抑制する

「持続可能な」レベルの輸送関連のGHG排出量というものを厳密に定義することはできないかもしれないが、それが現状レベルよりも低いということはほぼ確実である。一方、我々の基準ケースでは輸送関連のGHG排出量は2050年までに現在の倍以上に達すると示されている。これは明らかに持続可能なレベルではない。どのようにすればこの予測を劇的に変えることができるのだろうか。

### A. 4つの要素

第2章で述べたように、輸送関連の総GHG排出量は次の4つの要因によって決まる。

**要素1**—車両が特定の輸送活動を実行するために利用するエネルギー量：これはその輸送形態または運搬のエネルギー消費特性、および運転条件に左右される。

**要素2**—それぞれの車両燃料が採掘、精製、輸送、消費によって発生するWTWのGHG排出量：これは使用燃料の炭素含有量および燃料の生産・流通方法に直接関係する。

**要素3**—輸送活動の総量：これは使用される輸送車両の台数とその利用に左右され、消費者需要の働きによるものである。

**要素4**—輸送活動の混合形態：これは消費者の選択、車両・輸送形態の価格、形態選択に影響を与える法的・財政的措置に左右される。

輸送関連のGHG排出量を削減するための手法に関するSMPの議論は、上記の4つの要素が中心となっている。我々は、要素1と要素2に影響を与える行動についての議論から始めることにする。これら2つの要素が相互作用し、それぞれの輸送車両のGHG排出特性を決定する。次に、要素3と要素4に影響を与える行動について検討する。これらの要素は、各車両の活用の度合いと輸送車両全体の活用パターンを決定する。

### B. 単位あたりGHG排出量削減

輸送活動の単位あたりのGHG排出量を削減するには、その輸送活動の1単位に必要なエネルギー量を削減するか（要素

1）、そのエネルギーの単位ごとの生産、使用によって生じる（WTWベースで測定された）GHG排出量を削減する（要素2）必要がある。前者を実行するには、輸送車両のエネルギー効率が改善されなければならない。後者を実行するには、低炭素輸送燃料の生産、流通、使用が必要になる。

#### 1. 「低炭素」輸送システム

さまざまな輸送車両に使用される燃料消費量を低減し、またさまざまな輸送燃料の精製や使用で生じる炭素排出量を抑制する可能性がある技術については、第3章に記載されている。ただし、この可能性を輸送関連のGHG排出量の実際の低減に変えるためには、そうした技術を幅広く普及しなければならない。さらに、削減の規模がどの程度であっても、GHG排出量はこれらの技術や燃料を搭載した車両が日常どのように使用されるのかに大きく影響される。

現時点では、こうした技術や燃料の多くが普及していくという保証はない。一般に、GHG排出量の削減を目的としてこのような技術を採用した車両と燃料は共に、元の車両や燃料よりも高価である。さらに、GHG排出量削減の恩恵は、個



別の輸送利用者に対してというよりも、むしろ社会全般に対して与えられるものである。従って、GHG排出量を大幅に抑えた車両を自発的に取得、運転するように、個人に追加の費用を負担させるためのインセンティブは極めて限られるだろう。<sup>5</sup> インセンティブはおそらく必要になると思われるが、それを実施するための資源および権限を持っているのは政府のみである。

必要となるインセンティブや、それがGHG排出量に及ぼす影響、そして影響が感じられるようになるまでの期間を検討する場合、第3章で述べた車両技術と燃料を2つのカテゴリーに分けることが重要である。1つ目のカテゴリーには、どこかである程度の販売実績が存在する、あるいはまもなく存在するようになると思われる車両技術や燃料が含まれる。先進ICEガソリン、先進ICEディーゼル、ICEハイブリッド推進システムを使用したLDVは既に市場に出ているか、それに近い状態にある。中量車および重量車両へのこのような技術の応用は遅れているが、その費用やこうした車両の性能上の特性はすでになりに明らかになっている。「従来型」のバイオ燃料も、複数の国で商業化されている。

上記の車両や燃料については、世界の一部ではある程度の販売実績が存在する（あるいはまもなく存在するようになる）といっても、これらに関連するすべての技術上の問題が解決したわけでも、その費用やあらゆる状況での性能が知られるようになったわけでもない。ただし、このような車両や燃料の場合、大規模な導入を実現するためにどのようなインセンティブが必要となるかという点について、専門家ではない一般の人に理解できるように議論することは有意義である。

2番目のカテゴリーには、燃料電池やカーボンニュートラルな水素、先進バイオ燃料などの、より高度な車両技術が含ま

れる。このような技術に輸送関連のGHG排出量を削減する可能性があるということは理解されるようになってきたものの、大規模な実用化はまだ先のことである。技術的な可能性に対する大きな疑問には、これから答えを見つけなければならない。こうした車両や燃料が量産される場合の費用も憶測に過ぎず、通常の運転条件における車両の日常的な性能に関しても同様である。これらの不確定要素をすべて考慮すると、先進の車両や燃料を普及させるために最終的にどのようなインセンティブが求められるのかを定義するのは、現段階では現実的でないということが分かる。ただし、導入に関して意味のある議論ができるよう、業界がこうした不確定要素を減らすのを支援するために、今後政府と協調していくことは可能である。

#### a) 既存の車両技術および燃料

第2章でのSMPの基準ケースによる予測では、先進ディーゼルまたはハイブリッド推進システムを採用する車両の普及率（世界ベース）は、2030年までに、あるいは2050年まででも、あまり高いレベルには到達しないということが示されている。これは、「従来型」のバイオ燃料についても当てはまる。先に述べた通り、このような推進システムを搭載した車両や、その燃料の費用が、現在の車両および燃料の費用を大きく上回るものがほぼ確実だからである。より高い普及率を実現するには、需要を刺激する必要がある。

「低炭素排出」車両や燃料に対する需要を刺激するための数多くの手法が提案されているが、それらすべては、次に挙げる2種類の基本的な手法のバリエーションである。

- 使用者があらゆる燃料消費の削減に置く価値が高まる。これは、燃料価格が上昇している（将来的にはさら

に上昇すると予想される）ことを受けて、消費者の基本的な志向が燃費向上やGHG排出量削減に対価を支払うことに積極的になるように変化するためである。

- 政府が、「低炭素排出」車両や燃料の購入、使用をより魅力的なものとするインセンティブを設ける。政府は次の2つの基本的な方法を実施できる：

国庫収入を引き上げ、それを使用できるという権限を活かして、税金、補助金などの財務的措置を施し、個人や企業が燃料選択や車両購入を行う際に費用か利益の二者択一になるという状況を変えることができる。その方法としては、こうした車両や燃料の購入、使用を奨励するために、燃料税の水準や構造を変更したり、補助金を設定することが含まれる。また、燃料効率の悪い車両やより多くの化石炭素を含む燃料の購入には、より重い税を課すことも考えられる。

政府はその法規制を定める権限を活かし、自動車メーカーに対して、燃料消費を削減するような車両を生産し、その販売を成功させるように求める法律の制定や規制の採用を行うことができる。燃料メーカーについても同様の手法を用いることができる。その他にも、政府が、同じ目的を持つ自動車メーカーや燃料メーカーと自主的に合意する可能性もある。

複数の国がこうした手法を活用し、効果を上げている。

## 使用者が燃料消費を削減する 価値の向上

地球の気候というのは典型的な「公益に関わるもの」である。すべては人間の活動から生じる変化の影響を受けるが、どのような行動であれ、それが一方的に行われるものならば、誰も目に見えるような恩恵を得ることはできない。利他主義を別にすれば、燃料消費低減によりGHG排出量を削減できるような車両を購入することから個人が期待できるメリットは、燃料への出費が減るということだけである。

このように、支出に影響を与える要素、あるいは将来的に影響を与えると考えられる要素は、車両の購入行動を変化させる。最も重要なのは、現在および将来の輸送燃料の価格である。車両購入者は、燃費の良い自動車を求めることによって、高い燃料価格に対処しているという証言が圧倒的である。また、輸送活動の量や輸送形態の組み合わせを変えることによって対処することもある。<sup>6</sup>

エネルギー価格が上昇せず、その見込みがない場合でも、車両の購入者は、将来期待されるエネルギー費用の節約を価値あるものと位置づけている。つまり、車両の購入を決定する際に「燃費」をより重視する可能性があるということである。また、低炭素燃料を選択するようになるかもしれない。現在、車両の購入者は、経済面から「燃費」に価値を置いているが、これと「合理的な消費者」が重視するような、その他の車両の属性との間で妥協点を探っていると思われる。すなわち、予測される年間のエネルギー費用の節約額を見積もり、これを現在かかっている費用から減額しているのである。また、現在の購入者は燃料の炭素含有量をまったく重視していない。

しかし、車両購入の決定は常に完全に「合理的」なわけではなく、特定の車両の属性に大きなウェイトが置かれる場合も

ある。燃料の購入の場合も同様だ。「地球市民」のシナリオで描かれているような状況下では、燃費向上または低炭素燃料が消費者に対する強力な訴求要素となる可能性もある。

## 財政的なインセンティブ (補助金および税金)

車両購入者が燃料消費の削減に置く価値が変わらない場合、あるいはこの変化が小さすぎて、より燃費の良い車両に対する需要の拡大が必要と感じられるには至らない場合は、よりGHG排出量が少ない車両に対する需要を促進するために政府の介入が必要となる。

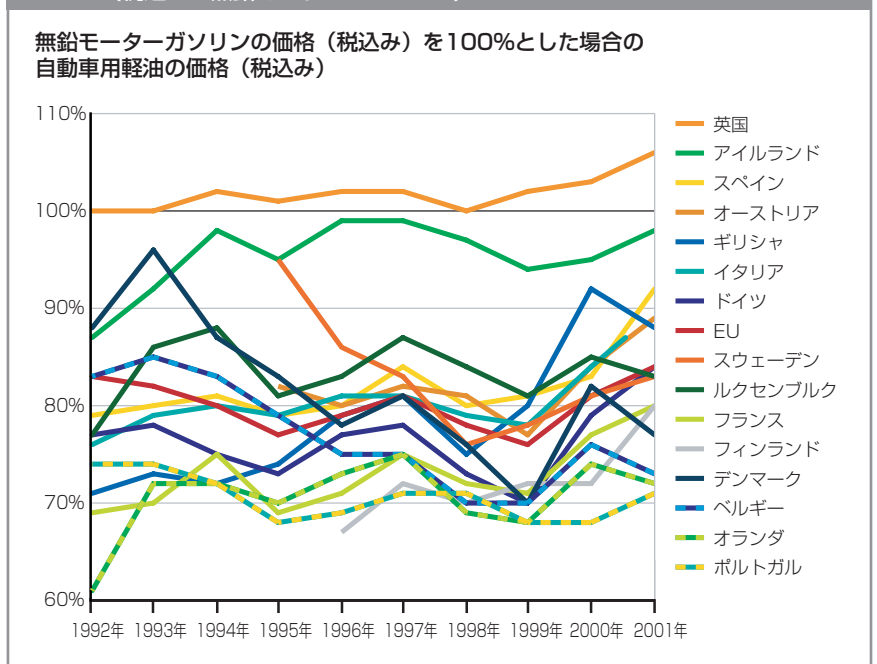
政府は、その権限でさまざまな財政的措置を実施できる。輸送燃料に対する増税や、燃料の種類によって異なる税率を適用することなどが一例として挙げられる。また、GHG排出量がより少ない推進システムや燃料の購入に対して補助金を出したり、車両のGHG排出特性に基づいて、異なった登録料を課したりする

ことも可能だ。

これまでの経験から、財政的措置は、より燃費の良い車両の需要に大きな影響を長期的に及ぼす可能性があるということがわかっている。欧州の国の中には、より高額なディーゼル駆動のLDV<sup>7</sup>を、各種の財政措置で支援してきた国もある。これらの措置には、ガソリンよりもディーゼルを優遇する燃料税などが含まれる。<sup>8</sup> (図4.5参照。) 欧州では、1990年には15%未満だったディーゼル車の新車シェアが、2004年には45.9%に達すると予想されている。(Automotive News Europe, October 20, 2003) フランス、スペイン、オーストリア、ベルギー、ルクセンブルクでは、既にディーゼル車の売上がガソリン車の売を上回っている。2003年9月には、6番目の国として、これにイタリアが加わった。

ディーゼルLDVは、常に北米や日本よりも欧州において一般的であったが、この状況を説明できる、欧州独自の本質的

図4.5 欧州：無鉛ガソリンを100%とした場合のディーゼル燃料価格  
(税込み、無鉛ガソリンは95RON)



出所：European Union Energy and Transport in Figures 2002

な理由はない。両者の違いは、欧州では（燃料税が高いため）一般的に輸送燃料の価格が高く、ディーゼル化を奨励するために政府がさまざまなインセンティブを提供してきたという点である。ディーゼルに適用される排出基準も北米や日本ではより厳しいものになっている。J.D. Power-LMCによる最近の調査によれば、各国の規制や財務状況が、引き続き各国のディーゼル車の普及率の格差に大きな影響を与えていくということが強調されている。<sup>9</sup> この報告によると、世界のディーゼルLDVの年間売上は、2003年の1,250万台から2015年には2,700万台に増え、その増加分の6割は欧州以外の伸びによると推測されている。

一部の政府は、従来型バイオ燃料と、それを使用できる車両の購入の促進を直接的ではないが奨励してきた。1980年代中頃にブラジルが達成したアルコール駆動の車両の普及率が良い例として挙げられる。<sup>10</sup> 1985年、純エタノールで走行可能な乗用車と軽トラックの新車の売上は、ブラジルにおけるLDVの総売上の96%に上った。ブラジルのエタノール生産への補助金は、1978年から1988年で10億ドルに達したと報告されている。(Nakicenovic 2001) エタノールとガソリンの価格差は徐々に縮まっていったものの、1990年代中頃の時点ではエタノール燃料の生産コストはまだガソリンよりもかなり高かった。このため、政府のコスト負担を減らすため、ガソリンの価格が2倍になるように「課税」し、その結果得られた収入で、エタノール生産を助成した。<sup>11</sup> その間も、ブラジルにおけるエタノールの生産効率は向上し続け、2003年までに、エタノールの価格は容積換算でガソリンとほぼ同じになり、政府の補助金も打ち切られて久しい。エタノールの補助金が減少し、政策の重点がアルコール燃料の助成から、廉価な車両（いわゆる「大衆車」）の販売促進へと移行するにつれて、純エ

タノールで走行する車両の売上はほとんどゼロにまで落ち込んだ。<sup>12</sup> ブラジルでは、2000年までに全ての車両燃料にエタノールを22%混合することが求められている。LDVは特殊なエンジンを搭載することなく、このエタノール22%混合燃料を使用できる。FFV（ガソリン中のエタノール濃度がどのような値でも走行可能な車）もブラジルで近く導入される予定である。

### 規制、法律、自主合意

しかしながら、政府は、GHGの排出量が少ない推進システムや燃料の需要を押し上げるための財政的措置をとると、費用がかかりすぎると考えるかも知れない。特にこうした措置を長期にわたり実施しなければならない場合にはなおさらである。その代わりに、政府は規制という別の権限を展開して、低炭素の車両や燃料に対する需要を喚起するための予算支出をできる限り抑えようとする場合もある。米連邦政府、EU、および日本政府はそれぞれ、このような権限を使い、自動車メーカーに対し、政府からの補助がなくても一般に受け入れられるような、燃料消費が少ないLDVの開発と販売を奨励（あるいは要求）してきた。現在中国でも同様の取り組みが検討されている。(The New York Times, November 18, 2003)

規制、法律、自主合意だけでは、低炭素燃料や燃料消費が少ない車両に、より高い金額を支払おうという車両購入者の意欲を高めることはできないことを理解するのが重要である。実際に車両や燃料の購入行動を変える要因は、規制、法律、自主合意に付随する経済的なインセンティブや罰則である。しかし、政府からの直接の補助金や課税とは異なり、このような経済的インセンティブや罰則は、まず自動車や燃料のメーカーにふりかかり、その後、それら企業の顧客に及ぶ。

これらのインセンティブや罰則には、明

白なものや微妙なものがある。明白なインセンティブや罰則の好例としては、米国の企業平均燃費基準（CAFE）規制が挙げられる。CAFEプログラムの基準を満たせないメーカーは、販売車両1台につき、未達0.1mpg毎に5.50米ドル相当の罰金を支払わなければならない。<sup>13</sup> 基準を満たない可能性のあるメーカーは、この罰金を支払うか、技術を追加するか、顧客からの要求の有無にかかわらず車両特性の変更を行う。もしくは、燃費の良い車両の価格を下げ、燃費の悪い車両の価格を上げることによって燃費の良い車両を「助成」する場合もある。いずれにしても、顧客は自分の購入する車により高い金額を支払うか、少ない機能で手を持つかである。<sup>14</sup>

より多くの費用がかかれば、それは高い車両価格という形で車両購入者の負担となる。そうすると、自動車の需要は下がり、自動車メーカーの利益に悪影響が生じる。しかし、自動車メーカーは、紙幣を印刷することも、望ましい金利で無限の金額を借り入れることもできないため、良燃費車両の価格を下げ、悪燃費車両の価格を上げるといった助成が需要に悪影響を及ぼして、その結果損失が生じて、それに対処する能力は政府ほど持ち合わせていない。つまり、燃費の良い車両を奨励する規制などの手法をとっても、直接的な補助金や税金による影響力には及ばないのである。

表4.3 欧州WTW分析によるさまざまな代替燃料と推進システムの組み合わせでの「乗用車移動距離5%置き換え」のシナリオ

燃料	推進システム	GHG削減量			追加コスト	
		Mt (CO <sub>2</sub> 等価)	基準ケース との差	年間に削減できる CO <sub>2</sub> 等価1トンあたりの コスト(€)	代替燃料か推進システム (または両方)を使用する 車両1台あたり (€/a)	代替燃料か推進システム (または両方)を使用する 車両100Km走行あたり (€/a)
従来型	ハイブリッド	6	-16%	364	141.8	0.89
CNG	PISI	5	-14%	460	156.0	0.98
	ハイブリッド	12	-32%	256	219.9	1.38
合成ディーゼル燃料 天然ガス由来のFTディーゼル 天然ガス由来のDME	DPF搭載CIDI	-5	14%	n.m.*	49.6	0.31
	CIDI	1	-3%	2,039	156.0	0.98
エタノール テンサイ パルプから飼料 パルプからエタノール パルプから熟 小麦由来	PISI	14	-38%	418	425.5	2.67
		12	-32%	563	461.0	2.89
		24	-65%	254	432.6	2.71
		5	-14%	1,812	581.6	3.64
FAME RME 化学物質としてのグリセリン 熟としてのグリセリン SME 化学物質としてのグリセリン 熟としてのグリセリン	DPF搭載CIDI	16	-43%	278	326.2	2.04
		14	-38%	345	354.6	2.22
		22	-59%	217	340.4	2.13
		20	-54%	260	368.8	2.31

\*n.m. = not meaningful

出所: EUWTW 2004, p.22. 持続可能なモビリティ・プロジェクトによる追加の計算を含む

### 「てこ（誘導・促進策）」の 影響力の可能性

これまでの例で示されたように、燃料価格、税、補助金、規制、「自主合意」、法律、消費者の好みの変化などにより、車両技術の購入と使用のパターンは、これらの手段を採用しない場合と比べ、GHG排出量を削減する方向に変化する。こうした「てこ（誘導・促進策）」がGHG排出量のグラフ曲線を「下降させる」ほどの力を持つかどうかは、(1) 罰金による経済的負担がどの程度重大なものであるかという点と、(2) 政府が必要な資源（税、補助金）を長期間投入することに意欲的であるかという点に大きく左右される。

さまざまな推進システム／燃料の組み合わせと、そのGHG削減可能性によって、罰金の規模がどの程度になるかを把握するために、第3章で最初に触れた欧州WTW分析の結果を再検討する必要がある。

表4.3は、表3.3のデータを使用しており、SMPによる追加の計算が含まれている。表4.3では、これまでに多少の販売実績がある（またはすぐに販売されると思われる）燃料と推進システムの組み合わせだけが取り上げられている。したがって、水素、先進バイオ燃料、燃料電池を利用した推進システム／燃料の組み合わせは含まれていない。（これについては、別途後述する。）

CNGを除き、表4.3に含まれる燃料は、ほとんど、あるいはまったく変更を加えずに既存の燃料流通システムで配給することができる液体燃料である。車両は、ガソリンエンジン、ディーゼルエンジンを動力源としているか、あるいはICEハイブリッド車である。この表に記載される推進システム／燃料の組み合わせについては、1列目、2列目、3列目、および5列目に、表3.3と同じデータが含まれている。欧州WTW分析の基準車両に対するGHG排出量の削減割合を示すため

に、4列目を追加した。6列目と7列目は、車両1台あたり、及び100Km走行あたりの年間の追加コストを示している。

これらの推進システム／燃料の組み合わせでのGHG排出量の削減幅は、3%から65%の間である。そのためのコストは、GHG削減量1トンあたり217ユーロから2,000ユーロとなる。また置き換えられる車両1台あたりの年間の追加コストは、142ユーロから582ユーロである。別の見方をすれば、表4.3の推進システム／燃料の組み合わせを使用した車両が100Km走行することに、基準車両が100Km走行する場合よりも、0.89ユーロから3.64ユーロ多くかかることになる。<sup>15</sup> これらの数字から、こうした車両の購入や使用を促進するために欧州において必要なインセンティブの規模がわかる。

表4.3に示される結果は、あくまで「規模の大きさ」の推測とみなすべきである。

車両の追加コストは推進システムの単純な交換に基づいており、燃料の追加コストは、(もしあるのであれば)燃料の精製・供給の追加コストの両方を反映したものである。<sup>16</sup> また、この計算では欧州の実績のみしか表されていない。

## b) 先進車両技術及び燃料：

### 燃料電池、「カーボンニュートラル」水素、「先進」バイオ燃料

世界的規模で輸送関連のGHG排出量に関する基本的な道筋を変えるためには、SMP等が実施したシミュレーションから、最終的に、現在の技術を超えて、燃料電池のような先進の車両推進技術や、「カーボンニュートラル」水素や「先進」バイオ燃料のような先進燃料にまで進まなければならないことは明らかである。

第3章で触れた欧州WTW分析には、各種の供給源に由来する水素を動力とする燃料電池車を限られた台数導入し、先進バイオ燃料を各種の推進システムを搭載した車両で限定量使用する場合のコスト試算が含まれていたが、このような技術や燃料が導入される場合のコスト試算や時間枠のいずれもが推論の域を出ない。

先進車両や燃料に関して現時点ではっきり分かっているのは、現在のコストが高すぎて、市場での競争力を持ち得ないということである。このようなコストレベルでは、大量導入のために必要な奨励金は、ほぼ間違いなく政府の財務的な能力を超えている。したがって、今後10年程の間の最も重要な課題は、これらの車両や燃料のコストが、世界的にみて現実的な選択肢となりうるレベルまで下がるかどうかを判断することになるであろう。

本報告書は、こうした技術を導入するために考えられる経路の概要を示すだけに

とどめている。

## (1) 燃料電池車

燃料電池車は現在、デモンストレーション用に一部の市場に極めて限られた台数が導入されつつある。燃料電池の試験車両および試作車のコストは現在高く、現行のICE車と比較して50倍程になることも多い。また、燃料電池の信頼性と耐久性、車載型の燃料貯蔵に関する重要な技術的問題も解決しなければならない。

技術や費用に関する問題を克服すれば、このような車両の利用台数も増加するであろう。ただし、最初に市場導入されるのは、停車場など中心となる場所で燃料補給を行うことができるタイプの車両になる可能性が高く、これらの車両であれば高価な新しい燃料ネットワークの必要性が抑えられる。また、これらの車両は、現在の(初期段階の)燃料電池システムと圧縮水素ガス貯蔵が必要とする空間的な制約をそれほど受けない。コストがさらに下がり、一般に受け入れられ、信頼性と耐久性を実証することができれば、都市バスや都市部での配達用車両など、より大規模なフリートに採用され、市場開拓がさらに進行すると思われる。このような実地試験や2010年以降にバスなどのフリート車両で利用される燃料としては、圧縮水素が中心になると考えられる。

このシナリオでは、燃料電池車の商品化は2015年頃までは実現せず、量産が始まるのも2020年頃以降になると考えられている。

## (2) 水素

燃料電池車には水素が必要となる。2020年頃までは、水素のほとんどがCO<sub>2</sub>の排出を伴う天然ガス改質や従来のグリッド電気を利用して生産されるだろう。<sup>17</sup> 水素の需要が伸びるにつれて、大規模な水蒸気改質器で天然ガスからCO<sub>2</sub>を回収、貯蔵しながら水素を生産

できるようになると思われる。このような手法を用いると、経済的に実現性があり、カーボンニュートラルでもある水素供給への経路(どの過程でも大気中へCO<sub>2</sub>を排出しない経路)と、将来的な再生可能なエネルギーをベースにした水素への架け橋が実現する可能性がある。

莫大な炭素隔離コストの問題や、技術的課題および政治・社会・環境面での課題は、この過程と歩調をあわせて解決されるべきである。炭素隔離技術は、石炭のガス化による水素生成過程で採用されると思われる。これは、石炭の埋蔵量が多い国々や天然ガスの入手が限定される国々にとって魅力的な選択肢となるであろう。

輸送部門とは対照的に、燃料電池を発電や熱電供給(CHP)へ応用する際の燃料としては水素ではなく天然ガスが選択されるであろう。ただし水素は、分散型発電システムのような据え置き式装置では利用される可能性がある。天然ガスには供給に限界があるという問題点がある。特に石炭や原子力エネルギーに代わる発電用としての天然ガスの使用が増えているだけに、水素生成用の供給原料としての大規模な利用は、供給を圧迫し、石油と同様に利用可能性やエネルギー安全保障の懸念につながる可能性が高い。

水素の膜抽出を備えた天然ガスのパイプラインシステムに少量の水素を組み込むことによって、中央集中型の生産を段階的にある程度導入できる可能性もある。(このプロセスは、まだ技術的に証明されていない。)しかし、これにも極めて高圧の水素を主として扱うパイプラインシステムが必要となり、最終的には低温液体水素として供給されることになるであろう。遠隔地や人口の少ない地域では、電気分解や液体炭化水素の改質にも実用化の可能性はある。

手頃な価格で十分な量の電気を利用し

た水の電気分解が実用的かつ競争力のあるものになると想定した場合、バイオマスのガス化や水の電気分解は2030年以降の重要な技術となると考えられる。水の電気分解は、燃料補給場所におけるオンサイトでの水素生成、家庭用燃料補給装置、再生可能なエネルギーをベースとしたエネルギーシステムにおける生産と需要の変動を管理するエネルギー貯蔵システムの一部などに適した技術である。その他のカーボンニュートラルな水素の資源（炭素隔離技術を用いた石炭のガス化や原子力）も、これらのエネルギー源を利用する分野に貢献するかもしれない。

長期的に見て、それまでに開発される水素のパイプラインシステムは、燃料貯蔵

と燃料供給の両方のシステムとして運用できる可能性がある。再生可能な資源から水素を直接生成するさらに先進的な代替方法（生物学的な生成法や先進の太陽光技術）も水素問題解決に貢献できるものと予測されている。

### (3) 先進バイオ燃料

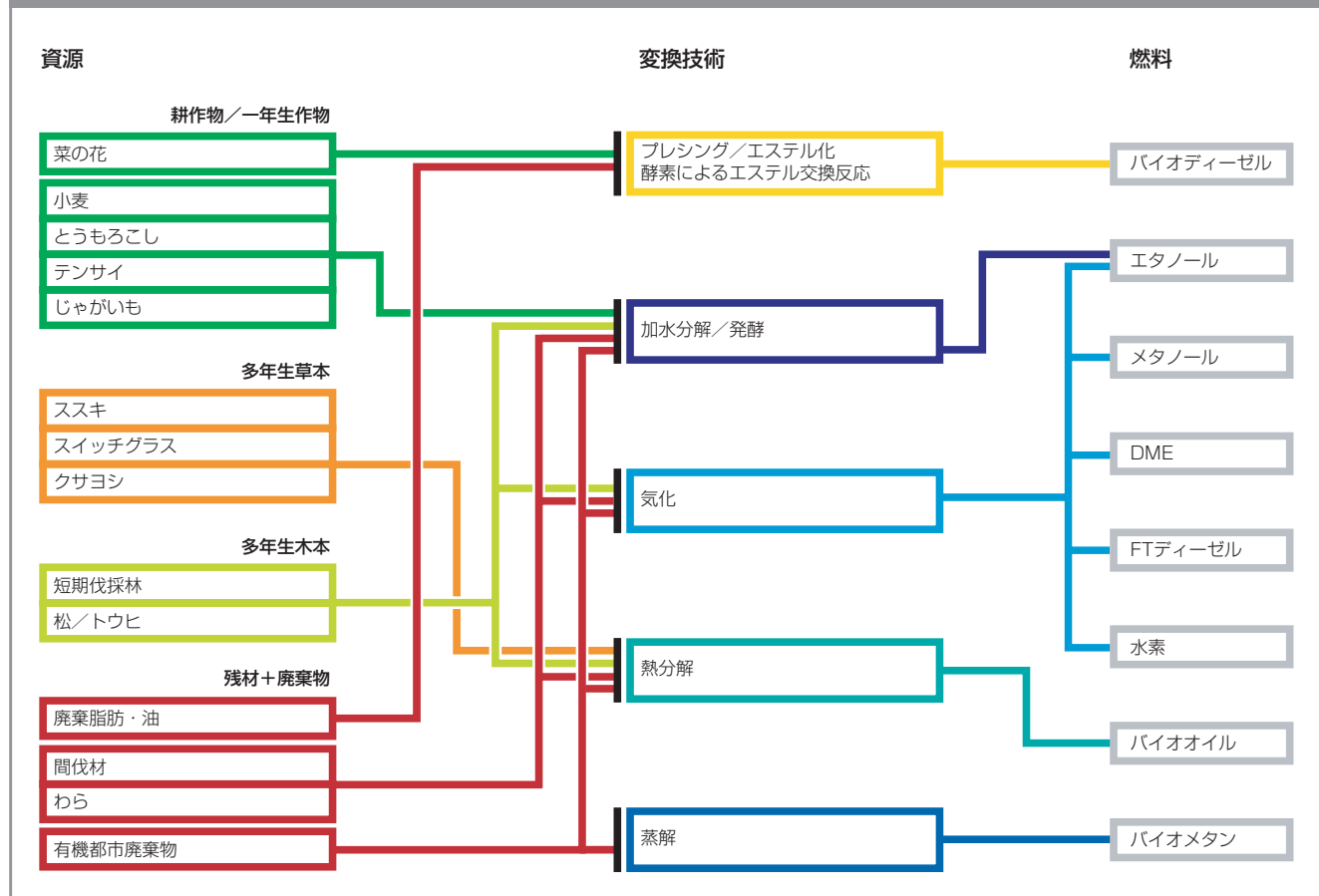
先進バイオ燃料の導入に向けて考えられる経路について述べる上で出発点となるのは、「従来型」バイオ燃料を既に利用している国があり（特にブラジルと米国が有名）、一部の地域（主にEU）はこのような燃料の利用を大幅に増加させる意図があると発表しているということを確認することである。図4.6では、「従来型」および「先進」バイオ燃料の資源、変換技術、および燃料が例

示されている。

現在、バイオディーゼルとエタノールは、（図4.6の「資源」の列の上部に挙げるような）耕作物／一年生作物、また非常に限られた量だが、廃棄脂肪・油（同じ列の「残材+廃棄物」の最初の項目）から生産されている。<sup>18</sup> このような資源を加工するために利用される変換技術は、プレッシング／エステル化、および加水分解／発酵である。

「従来型」から「先進」バイオ燃料へ移行するには、多年生草本、多年生木本、および残材・廃棄物を含めて供給原料の幅を広げる必要がある。また、現在利用されている技術（例、酵素によるエステル交換反応）をより発展させた

図4.6 先進バイオ燃料の経路



出所：E4tech 2003より

ものと3つの追加技術（熱分解、気化、蒸解）の両方が含まれるように、変換技術の幅を広げる必要もある。必要な量のバイオマスなどの資源を育て、回収し、加工するには、流通と加工に関する厄介な課題を解決する必要があるが、中には、「カーボンニュートラルな」水素生産の取り組みが直面している課題と同じものもある。第3章で強調したように、このような資源を活用するための新しい変換技術については、今後商業的な尺度で実証しなければならない。

原則的な2つの経路の違いとして、従来社会が求めてきた輸送サービスを車両が提供するために生産・流通させるべき燃料の量の違いも挙げられる。この点では、燃料電池が大幅に有利である。燃料電池は非常に効率の良いエネルギー転換装置である。オートマチック・トランスミッションを搭載している現在のガソリン車のWTW効率は15%に満たない。燃料電池車のWTW効率は2倍であり、最終的にはこのレベルの3倍に達するだろう。(Muta, Yamazaki, and Tokieda, 2004) つまり、燃料電池車は、同じ輸送サービスを提供する上で、必要な燃料がより少ないということになる。

#### (4) 政府の役割

上述の先進車両技術や燃料を幅広く商業的に導入するために必要となる「てこ(誘導・促進策)」を詳述するのは時期尚早であるが、このような議論が適切となるところまで技術を進歩させる上で、政府が現段階で効果的に実施できることもある。

#### 基礎研究および競争的なものとなる前の 応用研究への支援

「基礎研究」とは、まだ商業化されていないものに対する研究である。民間企業が基礎研究を引き受ける（または資金を出す）場合もあるが、一般的には、社会全体の観点から見ると、適切なシ

ベルの基礎研究を実施する（あるいは、そのための資金を出す）ためには奨励金の影響力が大きい。さまざまな政府が、研究開発への減税措置を実施しているほか、これらの問題に取り組むために企業間で提携して行っている研究を支援し、それに対して部分的（場合によっては全面的）な資金提供を行っている。

「競争的なものとなる前の応用研究」とは、商業的応用は特定されているが、個々の企業がその研究の採算を取るために、販売品の恩恵を十分に受けることができるかどうかは特定されていない研究である。

#### プロトタイプ化と限定生産の支援

商用技術の次の開発段階は、（ここでは車両と燃料両方の）プロトタイプ化と限定生産である。第1段階は、その技術が実用的に機能することを示すためのものであり、第2段階は、その技術を利用した製品の商業規模生産の費用がどうなるかという判断に役立てるものである。

技術がこの段階に達すると、政府が直接的に資金を拠出する理論的根拠は薄れる。政府は依然として重要な役割を果たすことができるが、政治的圧力をかけると、その役割を果たすことが一層困難になる。また、政府の介入が、その技術が商業的に実現可能かどうか決定するという目標を進めるよりも、むしろそれを遅らせることになりかねないという危険性も出てくる。政府がこの段階で果たすことができる有効な役割として、低炭素またはゼロ炭素の推進技術を搭載し、低炭素またはゼロ炭素の燃料で駆動する車両を限定数（ただし、その台数の意味合いは大きい）購入する準備があるということを発表するということが挙げられる。これらの車両の購入価格は、生産の採算が（ほぼ）取れるようなものである必要があるが、（仮に）製品の大量生産が開

始された場合の予想販売価格よりも高くなる。

#### これで十分だろうか？

現在の輸送システムを変えるために必要な変化の規模は、気が重くなるほどである。一世紀以上をかけて作り上げられたシステムの根本的な再構築が必要になる。燃料電池車および水素インフラへの移行において、避けて通れない独自の状況とは、それが同時に実行されなければならないという点である。新しい水素生産システムと水素を輸送サービス用に転換する装置の両方を並行して開発しなければならない。どちらか一方だけでは、いかなる目的をも果たすことができない。

全体として、このような移行を実現させる上で政府が果たす期待される役割には、特別な要件と特別な課題が生じる。米国学術研究会議（NRC）による最近の報告では、米国に関するものだけだが、水素への移行の影響が取り上げられている。ここでは課題が以下のようにまとめられている。

「これまでに（米国）政府が、市場の力がその役割を実行するよりも前に、完全に成熟し、ネットワーク化されたエネルギー・インフラの置換を奨励しようとした例はない。米国のエネルギー・システムの中の相当な割合が水素に移行する場合に必要な変化の規模は、政府が干渉したこれまでの移行の規模を大きく上回っている。このことから、研究開発および実証プログラムが十分であるのか、または政策の追加が必要になるのかという疑問が生じる」(NRC 2004, p. 2.4)

米国以外の先進国の政府には、技術の採用促進に関して別の歴史がある。また、行使できる権限も異なる。従って、米国政府に当てはまるものが、必ずしも他の政府にも当てはまるわけではない。ただし、ここで概要を述べる先進のパートナーや燃料への移行を成功させることは、権限や経験にかかわらず、どの政府にとっても課題である。輸送部門をGHGの重大な排出源でなくすには、先進国や発展途上国が単独ではなく、全世界を通じて、先に述べたような移行を実行に移すことが必要になる。

## C. 輸送活動量や輸送形態の組み合わせによるGHG排出量削減

本章ではこれまでのところ、先進の車両や燃料が今後果たす役割、つまり要素1と要素2に焦点を当ててきた。しかし、SMPの基準ケースでは、今後数十年の間に増加すると予想される輸送関連GHG排出量の主因となるのは輸送活動の量の伸びと輸送の混合形態の増加（要素3および要素4）となっている。<sup>19</sup> この点と、新たな車両および燃料技術に基づく手法の実施に必要なコストと時間という点を鑑みると、輸送活動の成長の抑制（あるいはその逆行）を主張する者がいるということも驚くにはあたらない。

### a) 政治的、社会的考察

輸送関連のGHG排出量の削減において、「需要誘導」手法が果たす役割があるというのが、SMPの見解である。このような手法には、渋滞を緩和し、騒音を低減し、安全性を高める可能性もある。しかしGHG排出量削減におけるその役割がどうあるべきかということだけを判断することも、効果的・効率

的な政策を設定し、その政策が政治的に受け入れられることも、実に複雑なものである。居住地や勤務地の場所および時間や金の使い方に関する個人の判断は、極めてデリケートな問題である。しかし、需要誘導手法によってGHG排出量が大幅に削減されるとすれば、このような手法によって大きく変えなければならないのは、まさにこのような個人の判断なのである。

### b) 経済的考察

必要となる規模の需要誘導手法は費用も高い。輸送機関の利用者が負担する費用も非常に大きい。社会全体にかかる費用は、それよりもはるかに大きくなる可能性がある。第1章で指摘したように、輸送活動は、経済成長の重要な成功因子である。輸送活動の成長を抑制すれば、輸送自体がその極めて重要な役割を果たす能力への直接的な脅威となる。

### c) 影響の早さ

しかしながら、GHG排出量の大幅な削減を実現するために必要な規模の需要誘導手法は、「素早い」結果を生みださない。人々は毎日輸送の利用に関して判断しているが、このような判断の多くは、数十年前、あるいは数世紀前に決められたことによって制限されている。このような判断の中には、数日あるいは数ヶ月のように、比較的早く変更できるものもある。しかし、受け入れられないような混乱を避けようとするならば、効果が出るまでにより長い時間が必要であるものが多い。

1年から2年という短期間では、輸送システムの技術的、物理的特性の大部分、需要に関わる場所や輸送の利用特性の大部分、また利用者の行動における反応パターンの多くが、かなり固定されている。その結果、このような期間では、需要誘導手法の多くは、個人的な移動の選択や、

商品輸送の手配について非常に限られた影響をもたらすのがやっとなのである。輸送燃料の価格変化の影響、道路料金、あるいは道路と鉄道の比較による輸送貨物の相対価格の変更などに関する研究によると、1年から2年間という期間では、輸送活動全体や輸送形態の混合に対するこのような手法の影響は比較的小さいということが分かっている。<sup>20</sup> 人の輸送に関する需要の感応性の研究では、一般に輸送費が1%上昇すると、輸送需要は約0.1%減ると言われている。(VTPI 2003) この反応は大きい。しかし、この程度の反応では、特に（所得の増加などの）他の要素によって輸送活動が成長し続けている場合は、輸送活動の軌道を大きく変えるには不十分である。

数年から10年の間には、輸送需要パターンのある程度大きな変化が現実的なものとなる。人は自分の勤務地や居住地を、メーカーや雇用主は、事業を行う場所を変えることができる。需要誘導手法は、上記の調査では、数年から10年の間では、移動費が1%増加すると、移動活動は約0.3%減ると示している。

人や物の輸送需要パターンに関する大きな変化は、わずか数十年という期間内で起こる。この時間枠で、都市部の構成が変化し、新しい製造販売パターンが登場し、人および物の移動に関する新しい方法が開発・導入される。それぞれの需要誘導手法の長期的な影響を定量的に見積もることはそれほど有益ではない。同時に発生する変化が多すぎて、1つの要素の影響を統計的に区別することは不可能であるためである。ただし、このように長い時間枠での考察も重要ではある。

欧州や日本で自動車の 대중化が達成されたのは1960年代に入ってからのことである。米国の各州間の高速度システムが登場したのは1950年代のことである。ドイツを除き、欧州で高速度道路が



開発されたのは1970年代になってからである。最初の屋内型ショッピング・モールが米国で登場したのは1950年代中頃のことである。また、日本の「新幹線」の営業が開始されたのは1964年、そしてフランスのTGVは1981年である。1970年代に入るまで、航空輸送は長距離輸送の重要な手段ではなかった。国際コンテナ輸送は、ここ30年ほどの間によく重要な貨物輸送の手段となった。数千マイルの距離を超える貨物の翌日配送サービスも登場してからまだ20年程度しか経っていない。

このような輸送の技術革新が、輸送活動の量やパターンを大きく変化させる要因であるが、社会全体でその影響が感じられるようになるまでに、それぞれ数十年かかっている。輸送活動全体や輸送の混合形態、またはその両方に理論上影響を与え、需要誘導手法が数多く存在する。ただし、国家あるいは地域的なレベルから見て、その短中期的な影響は比較的小さいと思われる。すなわち、輸送関連のGHG排出量を直接削減するツールとしての可能性は、極めて限られているということである。

## D. SMP表計算モデルから得られた見解

輸送関連のGHG排出量を削減するさまざまな技術や燃料の持つ影響力の可能性を理解するために、SMPは表計算モデルを用いて複数のシミュレーションを実施した。SMP基準ケース予測をベンチマークとしたが、それによると2000年から2050年の間に、輸送関連のCO<sub>2</sub>総排出量は2倍になり、その増加の大部分が発展途上国で生じると予測されている。先進国についてこの問題を個別に検討した分析はこれまでもあったが、我々の知る限り、世界全体についての検討を行ったのは、SMPが初めてで

ある。

こうしたシミュレーションでは、我々の企業の専門知識の中核である、LDV、自動2輪・3輪車、旅客輸送バス、都市バス、中量車および重量車両などの道路輸送全体に焦点が当てられた。全体として、これらのカテゴリーは、現在の輸送関連のCO<sub>2</sub>排出量の約4分の3を占めている。<sup>21</sup>

我々のシミュレーションでは、対象となる方策が技術的、経済的に実現可能かどうかの検討は行わなかった。このシミュレーションは、ただ単に、ここで述べられた行動が道路車両からのGHG排出量に及ぼす影響を理解する目的で実施されたものである。以下に示す通り、このシミュレーションによって、SMPの成果と、同様に技術的、経済的な実現可能性についての検討を行わなかった他の研究の成果とを比較することが可能になった。

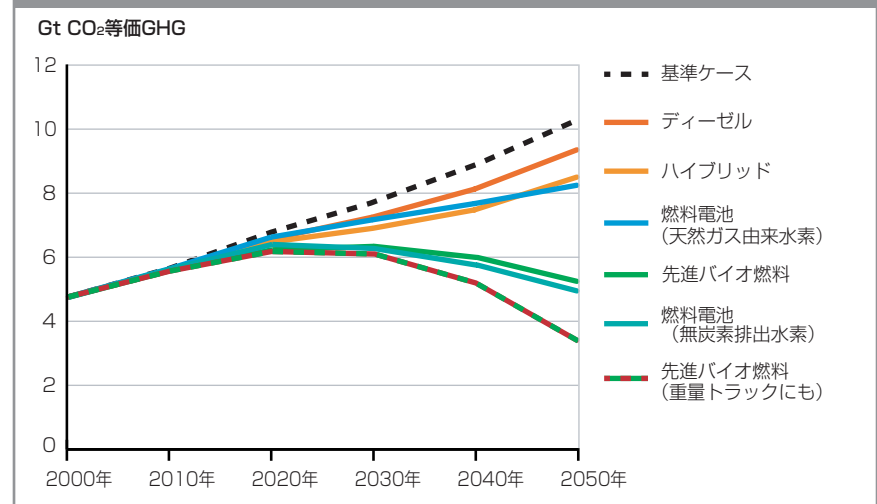
我々はまず、単一の技術が道路輸送からのCO<sub>2</sub>排出量に及ぼす影響の検討から始めた。図4.7は、ディーゼル化、ハイブリッド化、燃料電池、「カーボンニュ

ートラルな」水素、バイオ燃料という5種類の技術に関する結果を示している。前提として、各推進システム技術が可能な限り100%に近い世界的な普及率を達成しており、また各燃料も世界において100%の普及率にできるだけ近づいているものとする。

このような個々の技術の例は、単なる仮説であるということを確認しておかなければならない。現実には、単一の技術が100%普及することはまずありえない。また、単一の技術を互いに足し合わせることもできない。また、このような技術や燃料が先進国や発展途上国で採用されるタイミングの差は、ほとんど無視されている。

ディーゼルと先進ハイブリッドについては、2030年までに100%の普及が実現し、これがLDVと中量トラックで採用されると想定されている。<sup>22</sup> 燃料電池車の場合、2050年までに普及率100%が達成されることを前提としている。<sup>23</sup> また、これらの車両で利用される水素は、天然ガスの改質によって生成され、炭素隔離技術を用いないと仮定されている。カーボンニュートラルな水

図4.7 単一の技術が基準ケースに対しWTWでのCO<sub>2</sub>総排出量を削減できる仮定上の可能性



注記：上記の事例では技術の高い普及率を見込んでいる。従って、各々を加算することはできない。

出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

素の影響は、上述の燃料電池の事例で用いた水素のWTTでの排出特性を変更することによって推算されている。バイオ燃料の影響に焦点を当てるために、SMPの基準ケースのフリートでのエネルギー利用の特性と同じように、このような燃料が世界の道路フリートで使用されると想定されている。(従来型のディーゼル燃料を使用する)ディーゼルICE技術は、すべての時期を通じて、主流であるガソリンICE技術よりも燃料消費が18%優れており、またガソリンICE技術と比較した燃料消費の優位性は、ディーゼル・ハイブリッドが36%、ガソリン・ハイブリッドが30%、燃料電池車が45%と仮定されている。

この単一の技術評価から明らかになったことがある。それは、たとえそうした技術が世界的に採用されても、従来型のガソリンやディーゼル燃料で駆動するディーゼルICEとハイブリッドICE、または天然ガスから生成された水素で駆動する燃料電池車は、2000年から2050年の期間には、道路輸送からのCO<sub>2</sub>排出量の増加を抑えることができないということである。燃料電池でのカーボンニュートラルな水素の使用と、ICE車両での先進バイオ燃料の使用のみが、十分に、また総合的に、2000年から2050年の期間に道路輸送活動の増加によって生じるCO<sub>2</sub>排出量の増加を相殺することができる。

これは、車両のエネルギーの利用特性が不適切であるという意味ではない。これらは、非常に長期的な道路車両のGHG排出量の軌跡には大きな影響を与えないかも知れないが、世界の道路車両に生産される低炭素またはカーボンニュートラルな燃料の量には大きな影響を与える。すなわち、道路車両からのGHG排出量を大幅に削減するためのコストに極めて重要な影響を与えうると言える。<sup>24</sup>

このような結果に基づき、SMPIは、大

幅なCO<sub>2</sub>排出量の削減を達成できるのは、燃料と推進システムの組み合わせを通じてのみであると結論づける。唯一の長期的な解決策として選ばれるほどに突出している個別技術はない。

### 1. 他の研究によるシミュレーションの結果との比較

このような結果は目新しいものではない。最近行われた他の研究でも、それぞれの特定の地域と関心の範囲を検証し、似たような結果に達している。一例として、水素への大幅な移行によって米国が直面する課題に関する上述のNRCの研究が挙げられる。この研究は、考えられるあらゆる水素利用を検証するため行われたが、水素は主にLDVの動力源として利用されることから、2050年までのLDVからのCO<sub>2</sub>排出量に対する影響を予測するものとなった。図4.8は、排出量の予測を示している。図4.9は、車両技術別の販売シェアと、図4.8の排出量予測における車両の総普及率を示している。

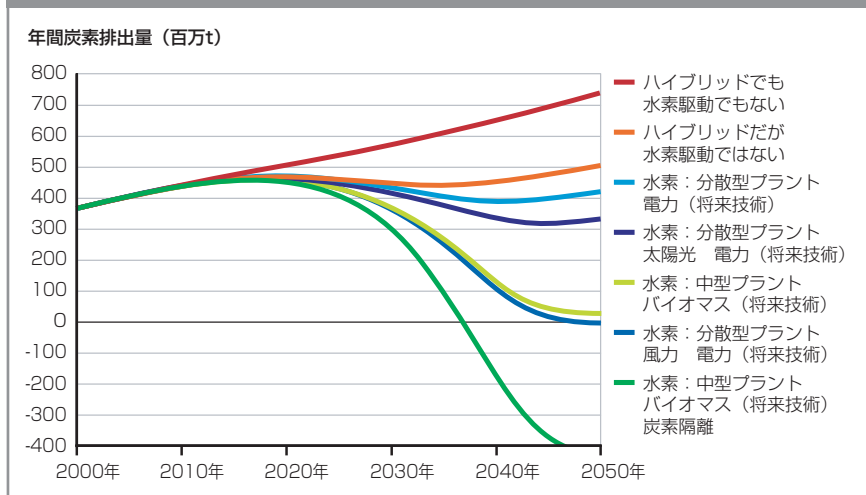
図4.8は、SMPの図4.7によく似ている。図4.9では、図4.8の一番下の線に

示されるように、米国のLDVによるCO<sub>2</sub>排出量を減少させるために、いかに急速に、燃料電池車の数と、その燃料となるカーボンニュートラルな水素の生産量が増加しなければならないかということを示している。NRC委員会は、このような車両と燃料の導入率と車両販売の成長率を「楽観的」と特徴付けている。ただしこれは、SMPによる単一技術ケースほど楽観的ではない。SMPの単一技術ケースは、(2050年以前の)同じ期間内にこれらの比率が世界的に急上昇することと、乗用車に加え道路車両も含めることを求めている。

図4.8および図4.9に使用されたNRCの想定では、以下のことに言及しなければならない。

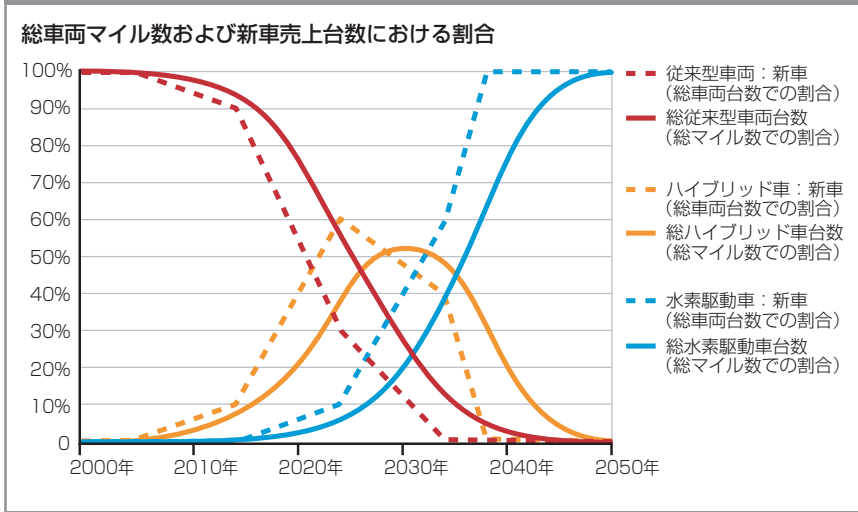
「この分析で想定されていることは・・・、低価格で耐久性のある燃料電池が入手可能になること、車載型の高密度エネルギー貯蔵技術を用いることで車両のある程度の走行距離と素早い再充電が可能になること、燃料電池車の機能、信頼性、コストがガソリン車に匹敵するようになる

図4.8 NRC委員会『Alternatives and Strategies for Future Hydrogen Production and Use』での「楽観的」展望に基づく、2000年～2050年に予測される乗用車と軽量トラックからの炭素排出量；考えられる今後の水素生成技術（電気分解と再生可能エネルギー利用）



出所：NRC 2004, Figure 6.10

図4.9 NRC委員会『Alternatives and Strategies for Future Hydrogen Production and Use』での「楽観的」展望に基づく、米国のLDVで2000年～2050年に想定される従来型車両、ハイブリッド車両、水素駆動車両の割合



出所：NRC 2004, Figure 6.1

こと、また水素駆動車がガソリン車と同じくらい安全になることなどである」(NRC 2004, p. 6.1) <sup>25</sup>

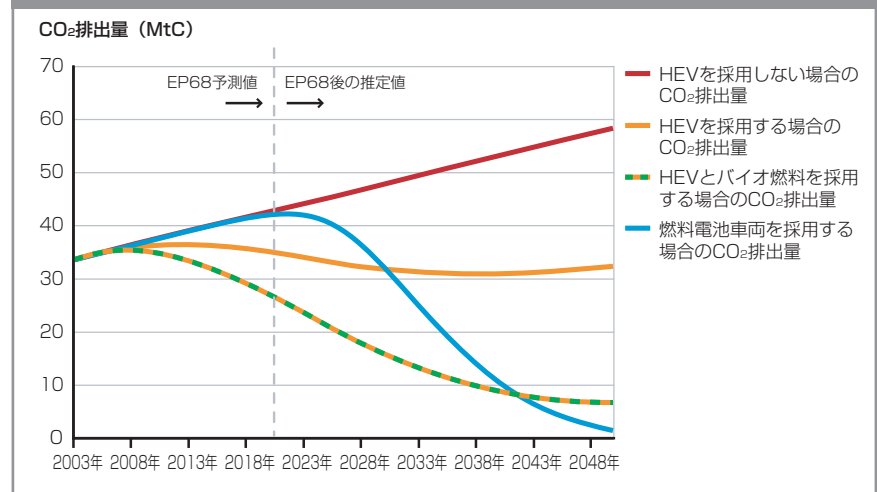
つまりNRCの研究は、燃料電池に関する技術面、コスト面での課題はすべて解決されるという前提に立っているが、これはNRCの本来の目的を考慮すれば当然である。(NRC 2004, pp 1.1-1.5) しかし現実では、決然たる取り組みを行わなければ課題を解決することはできない。

次に取り上げる最近の研究は、英国のコンサルティング会社、E4tech社 (英国) が、英国運輸省のために作成したものである。この研究では、英国において2050年までに、道路輸送全体の燃料供給のために、再生可能な資源から生成される液体バイオ燃料と水素が技術的に可能であるかどうかに関心が当てられた。そして、可能性のある車両および燃料に関する複数の経路と普及率について分析されている。NRCの研究と同様に、車両関連の技術的、コスト面の問題は考慮されていない。「この研究では、燃料電池車が従来型の車両に対する価格競争

力を持つと仮定する必要がある」(Hark, Bauen, Chase, and Howes 2003)

図4.10は、さまざまな仮定のもとでの、2003年から2050年間の英国における道路車両関連のCO<sub>2</sub>排出量の予測を示している。この研究の主な結論は、「輸送によるGHG排出量を大幅に削減し

図4.10 従来型燃料を使用するハイブリッド車 (HEV)、または再生可能なエネルギーを使用する車両の輸送への急速な導入による考えられるCO<sub>2</sub>排出量の削減



出所：E4tech 2003, p.12

ようとするのであれば、従来型技術の改善は開発の重要な役割を果たすものの、燃料の切り替えは不可欠であると思われる」ということであった。(Hark, Bauen, Chase, and Howes 2003, p. 12)

## 2. 技術の組み合わせケース

道路車両からの実質的なCO<sub>2</sub>排出量の削減には、先進燃料および車両技術の幅広い採用やその他の要素が必要であると考えられるため、SMPは、以下のような複数の措置の複合的な影響を検討することとした。

- (我々がWTWでのCO<sub>2</sub>排出量を少なくとも80%削減する燃料と定義した) カーボンニュートラルな燃料
- 非常に燃料効率の良い推進システム
- より大型な車両への輸送形態の変化の傾向
- 情報技術 (IT) によって、少なくとも部分的には実現された輸送システムのより優れた統合による交通流や輸送活動などの向上

2050年までに世界全体の道路輸送からの年間CO<sub>2</sub>排出量を半減させるといふ具体的な目標が定められた。これは、我々の基準ケースの予測では、何も行動を起こさない場合のレベルと比較すると、年間約5 GtのCO<sub>2</sub>排出量を削減するのに匹敵するレベルであり、また偶然にも、2050年における道路車両からの年間CO<sub>2</sub>排出量をほぼ現在のレベルに戻すということになる。

説明しやすいように、具体的なCO<sub>2</sub>削減目標を7つの「削減分」に分ける。各削減分のタイミングと規模は固定されおらず、最終的には、国家、地域および世界的なレベルでの持続可能性と投資の選択によって決まる。この分析の目的は、採用する各ステップの費用や可能性に関する判断を下さずに、仮に大胆な変更がSMPの基準ケースを超えて実施された場合に、何を達成することができるのかを明らかにすることである。

#### 削減分1 ディーゼル化

LDVおよび中型トラックのディーゼル化が2030年までに地球全体で45%程度（現在の欧州のレベル）に上昇すると仮定する。ディーゼルエンジンは、現在のガソリンICEと比較して燃料消費が約18%少ない（CO<sub>2</sub>排出量が18%少ない）と仮定される。

#### 削減分2 ハイブリッド化

LDVと中型トラックのハイブリッド化（ガソリンおよびディーゼル）は、2030年までに販売される全ICE車両の半数にまで増加すると仮定する。ガソリン・ハイブリッド車は、現在のガソリンICEに比較して、燃料消費が平均で30%少なく、ディーゼル・ハイブリッド車は、現在のディーゼルICEよりも燃料消費が平均で24%少ないと仮定される。<sup>26</sup>

#### 削減分3

従来型および先進のバイオ燃料  
世界のガソリンおよびディーゼル全体に

占めるバイオ燃料の量が着実に増加し、2050年までにその3分の1に達すると仮定する。従来型のバイオ燃料（CO<sub>2</sub>単位あたり20%の効率効果が得られるバイオ燃料）が全体に占める割合の上限は5%となり、先進バイオ燃料（CO<sub>2</sub>単位あたり少なくとも80%の効率効果が得られるもの）が支配的になるものと仮定される。<sup>27</sup>

#### 削減分4

##### 化石燃料から得られた水素を利用する燃料電池（炭素隔離なし）

2020年にLDVと中型トラックの大量市場販売が始まり、2050年までに全車両販売台数の半分を占めるようになると仮定する。燃料電池を搭載した車両のエネルギー消費は、現在のガソリンICEよりも平均で45%少ないと仮定される。

#### 削減分5

##### 燃料電池で使用する

##### カーボンニュートラルな水素

一旦水素LDVフリートの国家レベルでの大幅な普及が実現すると、燃料電池用の水素の生産が、2030年から2050年の間に、カーボンニュートラルな水素の集中生産に移行すると仮定する。2050年までに水素の80%はカーボンニュートラルな工程で生産されるようになる。

これらの5つの削減分は、異なった車両技術と燃料に固有の属性を反映している。ただし、実際のCO<sub>2</sub>排出量削減は、このような属性ばかりでなく、消費者や企業が購入する車両の構成比や、このような車両が日常的にどのように使用されるのかという点によって決まる。このような2つの要素を反映するために、さらに2種類の削減分が含まれている。

#### 削減分6

##### 車両レベルのエネルギー効率の

##### さらなる改善

SMP基準ケースでは、既存のLDVのエネルギー効率の改善は年間平均で約

0.4%、また新車で燃費の改善は年間平均0.5%を達成するものと予測している。実際の車両で見られる改善の可能性は年間約1.0%であるが、この改善のおよそ半分は、車両購入者がより大型の車や重量車両を嗜好するために相殺される。この削除分の展開にあたり、我々は、購入者により多く選択される車両の構成比に関連する嗜好や、このような車両の性能はある程度変化するため、基準ケースに対して、さらに年間平均10%の使用段階における改善につながる（つまり車両レベルにおける改善が、年間平均で0.4%程度から0.6%程度に上昇する）と想定している。

#### 削減分7

##### 交通流の改善など道路車両の利用における効率改善による排出量の10%削減

実際の使用におけるエネルギー性能と車両に搭載される技術改善とのギャップが狭まると想定している。どうしてこのようなことが起きるのだろうか。まず、輸送システムにおけるIT利用の拡大に関連して、移動に関わる需要の管理を向上する可能性があるという点が挙げられる。カーナビゲーション情報の改善によって移動距離が短くなる可能性や、道路状況に関する情報の改善によって、ドライバーが道路で車をアイドリングさせながら車中で過ごす時間が短縮される可能性もある。あるいは、公共交通車両の到着時間や目的地に到着するまでの時間に関してより正確かつ最新の情報が提供されることにより、公共交通の利用がさらに促進されるかもしれない。このような改善のひとつひとつは大きなものではなく、相殺する動きがあるのもほぼ確実である。しかし、我々は、全体として、このような要素が道路車両からのCO<sub>2</sub>排出量をさらに10%削減しうると推定している。

図4.11は、上記のSMPの「技術の組み合わせ」分析の結果を示している。それによると、上記の3種類の単一技術分析から受ける印象通りに、2050年の道

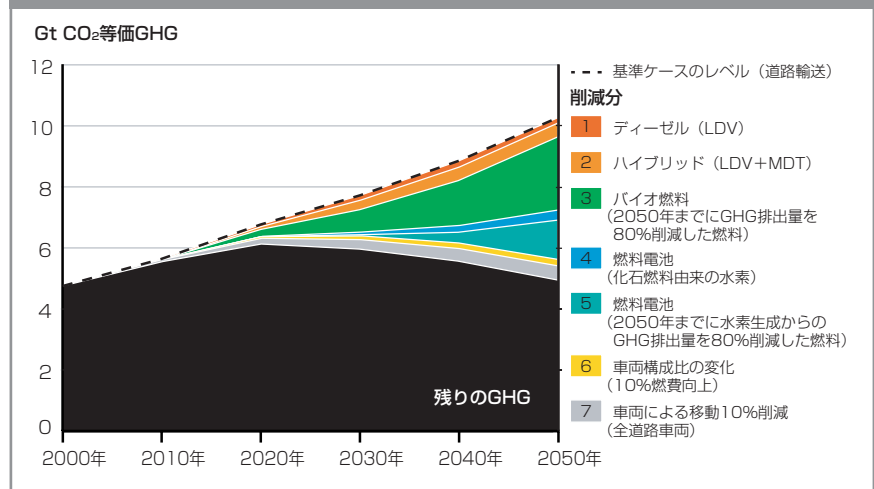
路車両によるCO<sub>2</sub>排出量を2000年のレベルに戻すためには、燃料と車両技術（およびその他の要素）の組み合わせを幅広く採用する必要があるということが分かる。

我々の単一技術分析と技術の組み合わせ分析は、車両および燃料技術の採用率は、先進国と発展途上国でほぼ同じであることを前提としている。しかし、輸送関連の従来型排出物の排出量を削減するという目標から見ると、発展途上国は一般に、このような技術の採用は先進国よりも遅れている。このような採用における先進国と発展途上国の差は、上述の結果にどのような影響を与えるだろうか？

これを明らかにするために、技術の組み合わせケースについて、さらに2種類の検討を実施した。1つ目では、発展途上国における実施が、最初の技術の組み合わせケースで想定した場合よりも5年遅れるものとし、2つ目では15年遅れるものと仮定した。表4.4は、（該当する場合）各削減分に対する元の技術の組み合わせケースと、我々の基準ケースで想定した遅れのほか、結果として生じる遅れを示している。図4.12は、モデル検討の結果を示している。

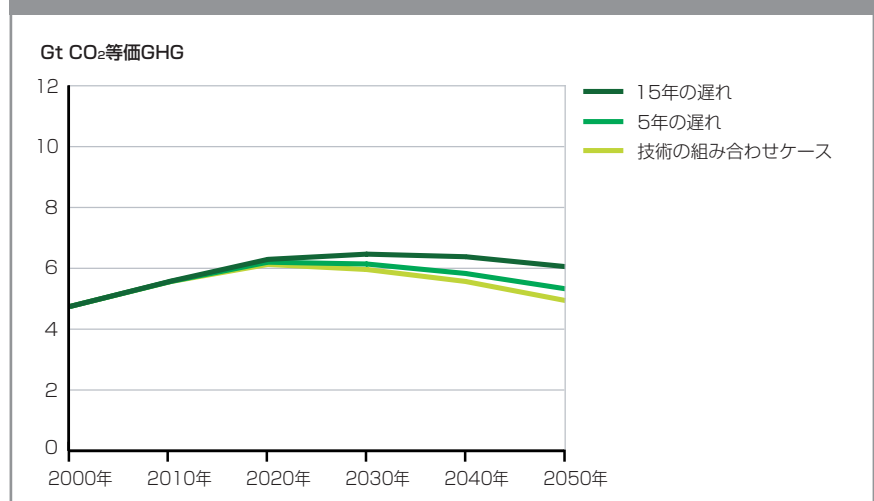
このような車両技術と燃料の組み合わせの採用における発展途上国の遅れについては、想定された遅れの幅が重要であることは明らかである。15年の遅れがあ

図4.11 技術の組み合わせケース



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

図4.12 技術の組み合わせケースと：途上国の技術導入時期の差異



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

ると、2020年にピークに達し2050年までに2000年のレベルに戻るのではなく、ピークは、2030年頃となり、

2050年には2000年のレベルを年間で約1Gt上回ることになる。

表 4.4 発展途上国：各ケースにおける技術導入のタイムラグ

	基準ケース	技術の組み合わせケース	5年の遅れケース	15年の遅れケース
ディーゼル化50%	5年	遅れなし	5年	15年
ハイブリッド化50%	10年	5年	10年	20年
燃料電池化50%	n.a.	10年	15年	25年
バイオ燃料混合レベル33%	5年	5年	10年	20年
バイオ燃料：低GHGバイオ燃料の割合80%	n.a.	遅れなし	5年	15年
水素：低GHG水素の割合80%	n.a.	遅れなし	5年	15年
10%燃費改善	遅れなし	遅れなし	5年	15年

出所：持続可能なモビリティ・プロジェクト

## E. 他の排出源による削減との比較

このプロジェクトは「持続可能なモビリティ」と名付けられ、これまでに検討した持続可能性の問題は、ほぼすべてが輸送部門の視点で検討されている。従って、この章で述べる目標は、輸送部門の目標となることが意図されたものである。

この報告書には、あらゆる輸送形態に関連して世界中のあらゆる場所で放出される1KgのGHGが、大気中のGHG濃度に均等に影響するという記述が数回見られる。<sup>28</sup> しかし、これはその他の人為的活動によって放出される1KgのGHGについても当てはまる。この理由から、輸送関連活動によるGHG排出量を削減

するために取られる措置と他の部門に影響するGHG排出量を削減するために取られる措置との関係を検討することが重要である。

最近の発表で、プリンストン大学の世界CO<sub>2</sub>削減構想（Global Carbon Mitigation Initiative）のRobert Socolowは、あらゆるエネルギー関連用途による「現状維持」（BAU）のシナリオでの炭素排出量は、今後50年で倍増すると推定している。（Socolow 2004）Socolowは、排出量を安定させるのに十分な行動が取られる前に、BAU排出量が50年間低下しない場合、大気中のCO<sub>2</sub>濃度はおよそ800ppmに達し、現在の約350ppmというレベルの倍以上となると報告した。ただし、世界的なエネルギー関連の炭素排出量を現在のレベ

ルまたはそれに近いレベルで安定させることができれば、大気中のCO<sub>2</sub>濃度を500ppmから550ppmの間で維持することができる。

世界のエネルギー関連の炭素排出量を現在のレベルまたはそれに近いレベルで安定させるために何が 필요한のかを示すために、Socolowは、多くの「スライス」を特定したが、このスライスは、50年間で累計25Gtの炭素排出量（CO<sub>2</sub>排出量91.7Gt）の削減を示している。各スライスの年間炭素削減量は、2004年のゼロからスタートし、直線的に増加して、2054年には炭素1Gt（CO<sub>2</sub>排出量3.7Gt）となる。

Socolowの発表から引用した表4.5は、個別のスライスを実現するために必要な

表 4.5 2004年から2054年までに累積25Gtの炭素削減を実現する可能性がある「スライス」

活動	1つのスライスに必要な活動レベル
<b>道路輸送関連</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>内燃機関の効率改善<sup>(1)</sup></li> <li>自動車用燃料として水素を使用<sup>(1)</sup></li> <li>道路輸送燃料として石油からバイオへの転換</li> </ul>	20億台のガソリン／ディーゼル車が30mpgでなく60mpgを達成。 10億台の水素燃料車が30mpgのガソリン／ディーゼル車に取って代わる。 毎年、収穫量の多い作物（年15t/ha）を新たに400万ha植えてそれを維持することで、ガソリンとディーゼルを削減する：2050年に米国の農地面積と同程度（2億ha）に相当。
<b>電力発電における石炭の転換</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>石炭からガスへの転換</li> <li>石炭火力発電から太陽光への転換</li> <li>石炭火力発電から風力発電への転換</li> <li>石炭火力発電から原子力発電への転換</li> </ul>	2054年までに石炭の代替としてガスを燃料とする1,400GWの基底負荷発電所を建設する。 現在の太陽光発電容量の1000倍、すなわち500万haを実現する。 1MW（ピーク時）の風車を毎年40,000台設置し、それを2054年まで維持する。 50年間で700GW（現在の容量の2倍）を追加する： 毎年1GWの発電所を14カ所新設に相当。
<b>炭素捕獲 / 炭素隔離</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>石炭またはガス火力発電所、あるいは水素生産プラントにおける炭素隔離</li> <li>地質上炭素貯蔵</li> </ul>	800GWの石炭または1,600GWの天然ガス、あるいはそれに相当する水素プラントにおいて炭素捕獲と隔離を行う。 70のスレイプナー相当の設備を毎年導入し、2054年まで維持する。
<b>天然資源</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>森林関連</li> </ul>	熱帯の森林伐採を2054年までに50%ではなく100%（現在1.0GtC/年のものを0.5GtC/年ではなく0GtC/年に）削減する。加えて、4億haの温帯林あるいは3億haの熱帯林を再生させる。
<b>その他</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>全体のエネルギー効率の改善</li> </ul>	GNP（ドル）あたりのカーボン濃度をこれまでよりも早い0.2%という割合で減少させる。

<sup>(1)</sup> SMPの基準ケースでは、2050年の軽量車台数はグローバルで20億台になると予測されている。

<sup>(2)</sup> 炭素捕獲・貯蔵（CCS）プロジェクトは、ガス層に1～3の二酸化炭素注入層を作るというのが一般的だと思われる。ノルウェーのスレイプナー・プロジェクトは、CCS試験が実施されている一例である。

出所：Socolow 2004 他にに基づくSMPIによる算出

取り組みのレベルを示している。表4.5に掲載されているスライスが可能なものすべてというわけではなく、中には重複しているものもある。また、実現する上での費用がどのスライスも同等であるという前提もない。

Socolowが示しているのは、今後50年のエネルギー関連の炭素排出量を、大気中のCO<sub>2</sub>濃度を500ppmから550ppmで安定させるのに十分なだけ削減するには、7スライス分に相当する排出量の削減が必要だということである。このセクションで検討された手法は、実施された場合、スライス1つから2つ程度を生み出すことになる。2000年から2050年の間の輸送関連（道路および非道路）GHG排出量の上昇をすべて取り除けば、約4スライスが得られると思われる。

輸送部門に集中した措置は、それ自体では大気中のCO<sub>2</sub>濃度を安定化させるまでには到らないということは明らかである。さらに、各種のGHG排出量を削減する手法の経済性に関してSMPが理解していることに基づけば、輸送関連の活動にGHG排出量に対する比率を不均等に割り当てることは、世界経済にとって望ましいことではないかも知れない。

## F. まとめ

道路交通においては、先進の推進システムと燃料を大幅に導入することで、CO<sub>2</sub>の排出量の伸びを抑え、最終的にはそれを安定させることさえ、技術的に可能であると思われる。（主流のガソリンエンジン技術の改善に加え）ディーゼル化、ハイブリッド化、先進バイオ燃料、燃料電池、カーボンニュートラルな水素、および車両効率向上という、少なくとも6つの技術が安定化に貢献できると考えられる。



このような技術や燃料の中には、導入が始まっているものもあれば、数十年のうちには導入可能にならないと思われるものもある。また、それぞれの技術の導入からその技術を使用した車両がGHG排出量に影響を与えるほど十分に展開されるまでの時間には10年から50年と、かなりの幅がある。

2050年までに単独でCO<sub>2</sub>安定化のための解決策をもたらす新技術は登場しない。新しい燃料、推進システム、および車両の組み合わせを通じてのみ、安定化の解決策に到達できる。これを達成するには、自動車業界と燃料業界の協力が必要となる。先進国におけるこのような技術の広範な利用と発展途上国における利用の遅れは、道路車両からのGHG排出量の経路に影響する。発展途上国の道路輸送を手が届かないほど高価なものとすることなく、この遅れの幅をどのように縮めることができるかという点について

の検討から始めることが重要である。

需要誘導手法には、輸送関連のGHG排出量を削減する上で果たせる役割がある。しかし、これはすぐに、安価かつ簡単に達成できるものではない。需要誘導手法が輸送関連のGHG排出量に対して比較的早く大きな影響を与えるために必要となる需要パターンの変化は、非常に高価で、混乱が生じる危険性が高いと思われる。

# IV.

## 道路車両関連の死亡・重傷者数の削減： 道路交通事故による死亡・重傷者の総数を 先進国および発展途上国において現状より も大幅に削減する

第2章で、SMPは2000年から2050年の間に、道路関連の死亡・重傷事故の件数はOECD諸国全体、および一部の中所得国で減少すると予測した。ただし、自動車による道路輸送が相対的に急成長する低所得国では、少なくとも数十年の間、道路関連の死亡者数は増加するものと思われる。このセクションでは、この予想がどのように改善できるかを検討する。

第2章で詳述したように（特に図2.26および2.27を参照）、道路関連の死亡・重傷事故の問題は、モータリゼーションが大きく進んだ国と、モータリゼーションの初期段階にある国とは異なる。

前者においては、死亡・重傷率は既にかなり低下しており、さらに減少することが予想されている。道路関連の死亡・重傷者の総数も非常に低く、さらに減少しているが、まだ改善の余地がある。自動車の運転者および同乗者が衝突事故の犠牲者の大多数を占めている。（図2.27）

低所得発展途上国においては、死亡および事故率は、OECD諸国の平均に対して10倍以上にも上っている。このような相対的に高い死亡・重傷率は、人口の多さも手伝って、総数でOECD諸国の平均をはるかにしのぐものとなっている。死亡・負傷率は下降するケースもし

ばしば見られるものの、人および貨物輸送の活動が急成長を遂げているため、総死亡数および重傷者数は上昇傾向にあり、時に急増している。歩行者、自転車、そして地域によっては、2輪・3輪車の運転者が主な犠牲者となっている。

このような区別を念頭に置いて、SMPは内外の交通安全の専門家<sup>29</sup>に依頼し、(a) 道路関連の死亡・重傷者数を大幅に減らすという目標をOECD諸国が達成する上で役立つ手法、及び (b) 我々の基準ケースの予測よりも短期間で、途上国における死亡・重傷率を大幅に低減することが期待できる手法を特定した。

表 4.6 オランダ（1994年）、ドイツ（1993年）：道路のタイプにおけるKm毎のリスク

道路のタイプ	速度制限		高速/ 低速交通の混合	交差点の横断/ 反対方向の交通	10 <sup>6</sup> Kmごとの傷害率		10 <sup>8</sup> Kmごとの死亡率	
	オランダ	ドイツ			オランダ	ドイツ	オランダ	ドイツ
閑静なエリア	30	-	yes	yes	0.20	-	0.3	-
住宅地の道路	50	50	yes	yes	0.75	1.75	1.0	1.7
都市部の幹線道路	50/70	50/>50	yes/no	yes	1.33	1.37	2.3	2.1
地方の道路	80	100	yes	yes	0.64	0.44	3.6	2.8
地方の幹線道路	80	100	no	yes	0.30		1.8	
地方の自動車道	100	100	no	yes/no	0.11	0.26	1.0	0.8
高速道路	100/120	no	no	no	0.07	0.15	0.4	0.5

出所: Koornstra 2003, P.14



## A. 先進国

OECD諸国に関しては、(1) 道路インフラにおける改善、(2) 道路利用者の行動の変革、(3) 自動車設計の変更という3つのカテゴリにおける提案に分けることができる。

### 1. 道路インフラの改善

道路インフラはいくつかの点で道路安全に貢献する。傷害のリスクは、速度や方向の違いが比較的大きい道路で、適度な制限速度と組み合わせさせた場合（時速50Kmあるいは70Kmの制限、低速および高速の交通の混在、交差点の横断、反対方向の交通）に最も高くなる。死亡のリスクは、上記のような条件が重なり、さらに制限速度が高い場合（例、制限時速80Kmから100Kmで、交通が混在し、交差点の横断があり、中間分離帯のない反対方向の交通がある場合）に最も高くなる。

表4.6は、インフラの設計と道路交通規則が、道路利用者にとって交通の複雑さを決定し、そのため道路タイプ間におけるリスクの差を決定していることを示している。このような違いは主として、特に弱い立場の道路利用者（歩行者と自転車利用者）を巻き込む衝突における異なった平均衝突速度の影響と、衝突頻度に対する速度差の影響によって説明される。

我々の依頼した欧州の安全専門家によると、欧州における道路の安全性は、以下のようにすれば大幅に改善することができる。

- 路上および交差点で、車両速度が時速30Km以上となる高速および低速の交通の混在を許さない。制限時速30Kmの道路が周辺の時速50Kmの道路と交差する場合、ロータリーの

制限速度は時速30Kmにすべきである。弱い立場の道路利用者が時速50Kmのルートを利用する場合、適切な歩行者および自転車用通路を用意すべきである。

- 制限速度時速50Kmから80Kmの道路は、自動車の横断交差点を設けず、代わりに物理的に車両速度を落とさせるロータリーを使用する。
- 時速80Km以上の制限速度を持つ道路については、分離帯や傾斜交差点を活用すべきである。

ある欧州の安全専門家は、このような形で道路インフラを再設計することで、90%まで「遅い交通」、すなわち歩行者と自転車利用者の死亡者数を減らせる可能性がある一方、都市や地方道路の自動車道路利用者の死亡者数は最大80%まで減少しうると予測している。自動車専用道路（高速道路ではない）上での死亡者数は60%も減らすことが可能である。全体で、死亡者のうち80%から90%を、このような道路インフラの再設計によって救済しうる。全面的な改良は費用がかさみ20年以上かかる模様だが、上記の専門家によると最も効果的で

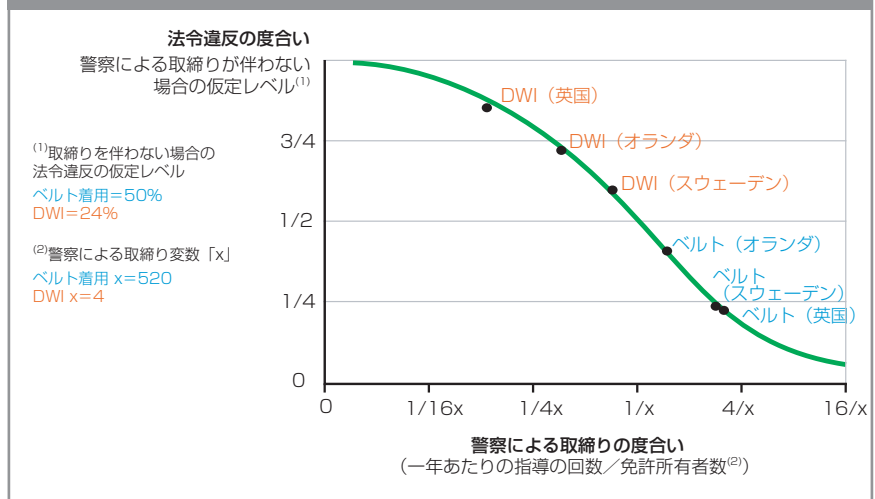
最も費用のかからない対策を2020年以前に実施することは可能で、40%程度事故による死亡者数を減らすことができるだろう。

### 2. 道路利用者の行動の変革

車両利用者の4種類の行動が、死亡率および傷害のリスクを高める原因となっている。すなわち、(1) 自動車の乗員がシートベルトを締めていない、(2) 自動2輪車の運転者および乗員がヘルメットを着用しない、(3) 飲酒運転、および(4) 制限速度違反である。警察がより徹底した取締りを行えば、こうした行動は大幅に削減可能であり、その結果、死傷事故の防止につながる。

警察による取締りはどれだけ強化されるべきだろうか？ Koornstraの研究チームは、EUで最も自動車による死亡率が低いスウェーデン、英国、オランダの3カ国における違反のレベルと取締りの厳しさに関するデータに基づき、推定を試みた。(SUNflower 2002) 図4.13は、各国における2種類の違反、飲酒運転（「DWI」）とシートベルトの不着用（「ベルト」）についてのデータを示している。図4.13は、一般化した関係であ

図4.13 警察による取締りの強化とその効果



出所：Koornstra 2003より

る。特定の種類の違反に対して必要な取締りレベルを予測するために、これを調整するには、最低限の警察による取締りを伴う違反の仮定レベル（Z）と、実際に観察された違反のレベルである、1年に1人の免許所有者が指導を受ける回数（X）に関するデータが必要になる。

シートベルトの着用増加を促す取締りの影響：調査の対象となった国々では、警察による取締りがない場合のシートベルト着用違反のレベルは約50%と推定される一方、1年に運転免許所有者65人あたり1人の取締りという頻度では、違反レベルは約6%まで低下する。この経験を米国でも同様に実行することができるのであれば、シートベルト着用の強制度を改善することによって、道路事故死亡者全体の35%を救うことができることになる。<sup>30</sup>

DWIでの事故を減らすための取締りの影響：運転者の血中アルコール分（BAC）が高まるのに従って、死亡の可能性が急増することはよく知られている。警察による取締りがなければ、週末夜の血中アルコール分（BAC）が0.1%以上の飲酒運転の違反レベルは、一般に約24%である。このレベルは、調査した3ヶ国において国内の道路事故死亡者全体の約40%に相当する。先進国の多くは、0.05%から0.08%でBACを規制する法律を備えている。合法的なBACレベルが0.02%であり、無作為酒気検査による警察の取締りの厳しさが年に免許所有者1名あたり1件とした場合、恐らく25%以上の道路死亡者数が減ることになるだろう。合法的なBACレベルが0.02%であり、取締りのレベルが1年に運転免許所有者4人あたり1度であるスウェーデンにおいては飲酒による死亡事故は12%以下に減少している。

速度制限の取締り強化：Koornstraの研究チームは、警察による取締りが緩い場合、全ドライバーのおよそ半数が速度

制限に違反すると推定している。2000年のオランダの取締りレベルでは、700万人の運転免許所有者に対して、約300万件のスピード違反の罰金が課せられており（運転免許所有者1人あたり0.43件）、これは主要都市道路および都市間道路の違反の約33%に相当する。このようなデータを使用して一般化した取締り曲線を調整すると、違反レベルを10%まで下げるには、1年あたり2人の運転免許所有者に対して約3回のスピード違反の罰金を科す（すなわち運転免許所有者1人あたり1.5件の罰金、または2000年のオランダにおける実際の割合の3倍に当たる）取締りレベルが必要と推定することができる。スウェーデンについてこれを計算すると、このレベルの取締りによって、道路事故による総死亡者数は17%下がることになる。

取締りを補完する教育、訓練、および広報（ETP）：上記の分析において、中心となるパラメーターの一つは、実質的な警察による取締りが行われない場合に存在すると想定される違反のレベルである。この違反レベルは、違反の種類によって異なることが判明している。また国によっても異なる。この違いの中には、明らかに地理、人口密度等の客観的な要素の差によるものもある。ただし、中には諸国の道路安全「文化」によって異なるものもあると思われる。この文化は、教育、訓練および広報の影響を受ける可能性がある。

SUNflower報告書の著者は、スウェーデンが左側から右側通行に変わった1967年に、国民側が受け入れの準備ができるよう大規模な安全教育キャンペーンが行われたことに触れている。このキャンペーンは、スウェーデンの道路安全に関する姿勢に影響を与えたものと思われるが、このキャンペーンの影響は時間の経過と共に減少していった。また、若者やドライバーを対象としたプログラ

ムがある程度の影響を与えたという点にも言及している。

ETP活動の影響を定量的に測定することは困難である。全体として、SUNflowerの著者は、調査の対象となった3カ国で1980年から2000年の間に、車の乗員を死亡から救った割合に対する影響は5%未満であると推定している。（この推定値は、このような活動がDWIの減少やシートベルトの着用による死亡率の低下にもたらした影響を含んでいない。）ただし、この影響は、相対的に限られたETP活動の利用によって制限されてきた可能性がある。さらに、著者が記しているように「一定レベルのETPは、議会による承認を必要とし、従って一般大衆が受け入れる必要がある道路安全政策の前提条件となっている。一般に受け入れられるには、ETPなしではおぼつかないことは確かである」。（SUNflower 2002, pp 138-139）

### 3. 車両の変更

SUNflowerプロジェクトは、車両の衝突安全の向上によって、上記3カ国で過去20年の間に車両の乗員死亡者数が15%~20%減少したと推定している。Koornstraは、追加的な衝突安全および予防安全装置の導入と併せた、新型衝突安全装置の導入は、今後数十年の間に死亡者数を40%ほど削減する可能性があるという見込みを持っている。潜在的な衝突安全装置のうち、検討対象となる可能性があるものとして、シートベルトを着用していない乗員がいる場合の自動イグニッション停止、弱い立場の道路利用者保護のための前面が柔らかい車両構造、自動車コンパティビリティ要件、大型貨物車両のアンダーライド・プロテクションなどが含まれる。検討に値する潜在的な予防安全技術としては、インテリジェント・スピード・アダプター、自動昼間走行時点灯（DRL）、衝突回避支援装置などがある。

#### 4. 制度的、社会的相違の影響

車両に誰かシートベルトをしていない乗員がいるときに、車両の動作を止める自動イグニッション停止を使用すべきであるという提案は、一般に受け入れられるかという重大な問題をはらんでいる。自動イグニッション停止は、1970年代前半に米国で販売される新車に対して、法により義務づけられ、シートベルト着用の割合を高める上で効果的であることが証明された。しかしながら、一般からは大きな反対の声があがった。さらに、多くのドライバーは、インターロックを無効にしたり、解除したりする方法を見つけている。この激しい抗議によって、議会は装置の取り付けに関する要件を取り消したが、この要件がその後復活することはなかった。

一般社会の受容は、各種安全対策を検討しているすべての政府が考慮に入れなければならない問題である。SUNflowerの最終報告の著者は次のように認めている。

「(速度違反、飲酒運転、自動2輪、初心者ドライバーに関する)行動改善の手法が一般に受け入れられるかどうかは、一般的な安全、そして特に道路安全対策に関する国家的な認識、姿勢、それに信念に大きく依存すると思われる」(SUNflower, 2002, p. 126)

この見解には2つの重要な意味がある。第一に、ある国の経験に基づいて、別の国で特定の対策や一連の対策を取った場合の影響を推測するにあたって、必要となる注意の重要性が示されている。第二に、道路安全対策に関する国家的な認識、姿勢、それに信念がどのように形成されるのか、それはどのように変えられるものなのか、研究する必要性が強調されている。

#### 5. 相殺行動

安全強化の対策が予想を下回る成果しか生み出せない場合があるが、その理由の一つは、ドライバーがそのような対策の持つ安全強化の可能性を相殺しがちなかたちでその行動を変化させることである。これは「リスク補償」として知られている。ドライバーはまた、相対的に慣れていない安全技術によって与えられる合図に対して不適切に反応する。

道路安全対策の予期せぬ結果についての議論は、四半世紀以上も遡る。Peltzmanがおそらく、シートベルトを着用しているドライバーは、より攻撃的に運転するようになり、予想される安全上の利益を相殺する可能性がある指摘した最初の人物だろう。(Peltzman 1975)

同じ議論が、アンチロック・ブレーキについても交わされてきた。アンチロック・ブレーキ技術は、米国のLDVで一般的になってきた。アンチロック・ブレーキが、別の車両、歩行者、それに自転車利用者に対して有益であるということには明白な証拠があるように思われる。ただし、期待されたような車両の乗員に対する効果は生みだしていない。事実、一部の研究は、アンチロック・ブレーキを搭載した車両で、車両の乗員が死亡事故を経験する危険が高まっているとしている。可能性のある理由はいくつかある。これをリスク補償に対する「例外」とあとするアナリストもいる。また特に、飲酒が原因でドライバーの反応が損なわれているような状況を例に取り、技術要件にドライバーが慣れていないことによるものであると主張する者もいる。(Harless and Hoffer 2002)

この報告書で述べた、可能性を秘める安全技術の多くは、ドライバーに対して、自分の周囲の環境に関する情報をより多く提供することを目指している。中には、

ドライバーを「悪い判断」から「保護する」ものもある。このような技術が市場化されるにつれ、リスク補償の問題や、不慣れによる不適切なドライバーの反応といった問題の大きさが増していく。

どのような社会でも、車両や道路インフラに対する新技術の導入を通じて、道路事故による死亡・重傷事故を減少させるための取り組みを緩めるべきではない。ただし、行動上の反応が、予想された効果の一部を相殺する可能性があることを理解することが重要である。これはどのような道路安全技術を実施し、どのように資源を割り当てるかを決定する時に、考慮すべき不幸な現実である。

## B. 発展途上国

発展途上国における道路交通安全は、非常に大きな改善の余地がある。世界で最も安全な国は、自動車1台あたりの平均死亡リスクが、最低所得国に比較して1/75程度になっているためである。<sup>31</sup> 中・低所得国の多くでは道路安全は優先すべき問題とは捉えられておらず、安全の重要性を測る体系的な基準がほとんどあるいはまったく設けられていない。こうした状況を是正する努力の一環として、交通事故による死傷事故の重大性を世界規模の公衆衛生上の問題としてクローズアップする試みがなされている。2003年8月、国連事務総長による『Global Road Safety Crisis』と題する報告書が国連総会から発表された。(UN 2003) 2004年の「世界保健デー」のテーマは道路安全であった。その当日、世界保健機関と世界銀行は道路上の死傷事故防止に関する共同調査書を発行した。(WHO 2004)

上記で特定した3つの要因（すなわち、インフラ、行動、そして車両の改善）の発展途上国への適用は、道路安全の大き

な向上につながる。しかし、中・低所得国の道路利用者の混交状態を考えると、多様な要因に対し置かれる重点は非常に異なったものとなる必要がある。MohanとTiwariが考察しているように、中・低所得国では弱い立場の道路利用者が交通事故の犠牲者の多数を占めているため、車両乗員の安全を高める技術では交通事故死傷者数の大幅な減少を実現することはできず、むしろ道路設計、都市部の土地利用政策、弱い立場の道路利用者の安全を高める車両技術の方が有効である。(Mohan and Tiwari 2003, p.7) Mohanたちは、以下の措置を発展途上地域における道路安全政策を改善する上での出発点であるとしている。

- 全国および地方道路安全機関の創設。これは改善政策を実施する前提条件である。このような機関には、訓練を受けた専門家を配置し、事故データ監視分析、研究活動への資本提供、車両や道路基準の設置、および適切な交通工学手法の開発に対する責任を負う。
- 歩行者や自転車利用者に対する危険を引き下げるための、車両（バス、トラック、乗用車、3輪タクシー、トゥク・トゥク、ベチャ等を含む）の前面部分に対する安全基準の開発。
- 適切な人的資源の開発。モータリゼーションが進んでいない国では、道路安全環境の現役の専門家は、1国あたり10人に満たない。訓練プログラムを制度化すべきである。これは道路安全および輸送研究組織を主要な大学や研究機関に設けてはじめて実現する。

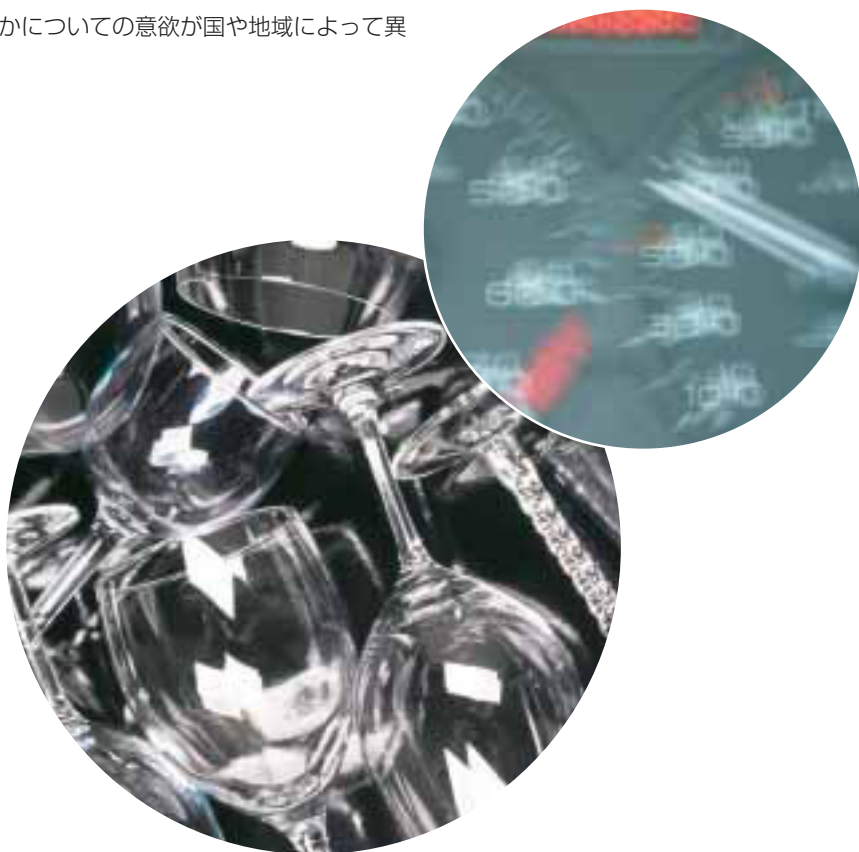
## C. まとめ

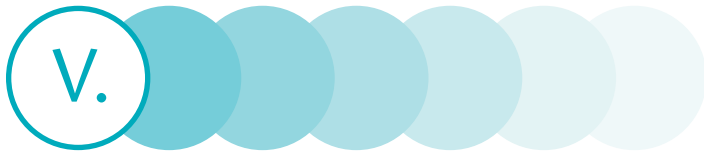
交通関連の死亡・重傷事故は、先進国、発展途上国のいずれにおいても、SMPの基準ケースで予測される水準よりも大きく減少させることができる。車両設計とインフラ設計の改善は、両方の分野において果たせる役割があるが、どちらも完全な解決策ではない。

ただし、先進国、発展途上国の両方における真の進歩の鍵は、自動車の運転者と乗員の行動の改善にある。先進国では、道路の位置や条件に適した速度制限を定め、これを厳格に執行すること、アルコールなどの物質の影響を受けたドライバーに対する法律を強化し、厳密に執行すること、そしてシートベルトの着用を強制することのそれぞれが、道路での死亡・重傷事故を減らす上で、有効である。ITS技術は効果的な取締りに貢献しうが、飲酒運転中のドライバーを発見するために、ドライバーを日常的に停止させるといった法執行戦略を採用するかどうかについての意欲が国や地域によって異

なるように、このような技術を採用するかどうかについての意欲も、国や地域によって大きく異なるであろう。

発展途上国において、最も重要なのは急速に都市化が進んでいる地域の道路と、このような地域と農村地域や他の都市化地域を結んでいる道路に出現しつつあり、その数を急速に増やしつつある自動車、軽トラック、重量車などによる死亡・重傷事故から、弱い立場の人々（歩行者、自転車利用者、自動2輪車・3輪車）を保護することである。道路法規を順守する必要性についてすべての道路利用者を教育することは、このような規則を執行する警察の取り組みと同等に不可欠である。自動車を歩行者や自転車利用者から分離するインフラ設計の改善についても同様である。





# 輸送関連の騒音の低減： 輸送関連の騒音を削減する

気候の変動が世界規模の公益に関わる典型だとすれば、輸送関連騒音は、地域レベルの公益に関わる典型と言えるだろう。

輸送関連の騒音は、外部費用を生み出すので、自発的、あるいは支援の得られない市場が効果的に管理することはできない。しかし、その費用は地方的、全国的、地球規模で感知されるものではなく、局地的に感知されるものである。この理由から、輸送関連騒音低減を目標として設定された優先性は、世界の各地でそれぞれに異なる。欧州諸国の多くは、持続可能なモビリティの要素として、これを次第に優先するようになってきているようだ。(Directive 2002/49/EC) 同じことが日本にも当てはまると思われる。(Ministry of Land, Infrastructure and Transport 2001) その他の国や地域によっては、優先順位の低い目標となっているようだ。

輸送関連の死亡・重傷事故のように、輸送関連騒音は多数の要因の産物である。この理由から、輸送関連騒音低減のための手法が効力を発揮するには、多面的である必要がある。自動車運転者による違法な行動に対処しなければならない場合もある。法律に違反して運転される車両は、人口密度の高い都市地域における最も重要な騒音源の一つであるためである。道路条件や路面材料の選択に取り組まなければならない場合もある。これら

もまた輸送関連の騒音に大きな影響を与えるからである。また車両自体に固有の、騒音を発生させる特性に対処しなければ

ならない場合もある。

ボックス4.1は、騒音低減に対する一つ

## ボックス 4.1 大気騒音低減のためのロンドン市長による戦略の要素

### 3つの主な課題

- ロンドンへ向かう道路に優れた騒音防止のための路面を確保する。
- ロンドンを横切る航空機の夜間運行を禁止する。
- 新しい住宅計画や住居デザインにより騒音を低減する。

### 他の優先事項

優れた騒音防止のための路面の使用を、崩壊の少ない、より良く修復工事された、効果が期待できる全ての道路に拡張する。

低騒音自動車技術の促進。

日々の交通管理に騒音防止を組み入れる—渋滞の緩和、スムーズな交通の流れ、道路のスペース配分の改善、他の輸送手段の提供によって、停発進を減少する。

住宅ゾーン、都市中心部、典型的な公用の場での企画「人々のための道」を通して騒音環境の改善。

目標を明確化した交通騒音軽減プロジェクトなど、ロンドン市交通局が管理する580Kmの道路を対象とした交通騒音対策プログラムの開発。

燃料電池バスの試験運用。電気ハイブリッド・バスの試験運用の検討、およびドライバーの研修などを通じたよりスムーズかつ静かな走行の検討。

模範となる騒音軽減プロジェクトのためのロンドン環境騒音基金と、特に舗装が不十分な路面の車内外の騒音軽減を目指すロンドン国内騒音基金の設立。

組織や財政援助が承認され次第、国鉄と地下鉄における鉄道路面の品質と補修の改良を検討する。

該当する東西の道路・鉄道沿線への防音壁を組み込んだ模範的な太陽光発電装置と、安全フェンスおよびセキュリティ・フェンスによる騒音スクリーニングを支援する。

広範囲のエリアを騒音から守る、適切な道路と鉄道沿い、およびその周辺の開発を促進する。

それぞれの空港に対する航空環境基金などを通じ、「汚染者が支払う」税金により、航空機の騒音などの影響が相殺されることを確認する。

計画と設計の改善による騒音の緩和。ロンドンの人口と通勤者の増加は難題だが、再開発と修復のチャンスもある。高密度で多目的の開発によって交通から離れた静かな野外スペースが実現する可能性もある。

市長のシルバー・サウンド・アワードの対象範囲を検討し、模範的な都市の音のあり方に関するプロジェクトを助成する。

の手法、すなわち2003年3月に公表された環境騒音低減のためのロンドン市長による戦略の主な内容を示している。このリストにある項目は、騒音を発生させる活動に対する市長の権限に影響されている。戦略要素の中には直接技術を対象としているものがある一方で、必要な行動上の変化に関するものや、市民の誇りに訴えかけるものもある。とは言えこのリストは、総合的な騒音低減プログラムが取り入れなくてはならない幅広い要素があることを示している。

## A. 自動車の運転者

都市部の道路関連騒音の多くは、違法な活動の結果である。自動車の所有者は、メーカーが装着した騒音低減技術を無効にする目的で、車両を改造する。<sup>32</sup> 適切に運転される車両が発生させるよりもはるかに高い騒音レベルを生みだすようなやり方で車両を運転する。こうした事態に対処するには、既存の騒音対策の取締りを警察の優先事項とする必要がある。さまざまな社会的、政治的な理由から、多くの社会がこれを実施することに前向きではない。他の社会では、それほど強制する必要もなく、騒音規制が広く遵守されている。

## B. 道路設計およびメンテナンス

路面は、その上を移動する車両が生みだす騒音についての主な決定要因である。この種の騒音に対処するために利用できる手法には2通りある。すなわち、(1) 道路の表面材として異なった素材を使用する、そ

して(2) 騒音を抑制するために、道路沿いに防音壁を設けることである。

路上の交通量と交通形態の混合が等しい場合、路面が異なれば、騒音のレベルも異なる。新しい多孔質の路面は、密度の高いアスファルト路面に比較して、3～5 dBA騒音を低減することができる。オランダには、古く密度の高いアスファルト路面を多孔質のアスファルト路面に取り替える大規模な国家プログラムが存在する。日本では、多孔質路面の利用が数年前に義務化され、既に1,000Km以上の道路がこの材質の舗装となっている。これ以外にも、有効な路面改修事業が英国、ニュージーランド、イタリア、フランス、スペインに存在する。(Sandberg 2001)

輸送調査委員会 (TRB) の2004年の会合で、最高10dBAまでの道路騒音の低減が可能な多孔質弾性舗装 (PERS) の開発が報告された。PERSは、粗骨材として廃タイヤの粉砕ゴムを、バインダーとしてウレタン樹脂を使用した多孔質構造である。この構想は1970年代にスウェーデンで提案されているが、スウェーデンの研究者は、この構想を実用化することができなかった。TRB報告書によると、この構想がようやく最近日本で実現に漕ぎ着けているという。この報告によれば、騒音基準を満足する日本の都市部の高速道路は、現在わずか13%に過ぎないが、この道路舗装材を利用すれば、この数字を90%まで上げることができる。(Meiarashi 2004)

防音壁は、都市部の高速道路による騒音低減のために、多くの国で利用されている。米国では1998年に、このような

防音壁が直線にして1,800Km以上建設された。表4.7は、高速道路から約60m以内の騒音低減に関する防音壁の有効性の推定レベルを示している。防音壁は廉価ではない。1998年に米国で建設された防音壁の平均費用は、直線に換算して1Kmあたり70万ドル近くとなっている。

## C. 交通流の円滑

それ以外の道路関連の問題として、交通の動きの円滑性がある。これについては渋滞の緩和の項で取り上げる。

## D. 車両設計

ほとんどの先進国では、国内で販売される新車は騒音基準を満たすことが要求される。長年に渡り、このような基準が強化されてきているため、今日適切に運転・保守されている車両は、以前より静音仕様となっている。ただし、さらに改善の余地があるかも知れない。例えば、第3章で述べているように、タイヤの改良などが考えられる。

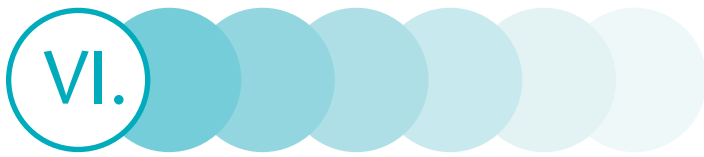
## E. まとめ

道路騒音を引き起こす問題を減らすために数多くの機会が存在する。このような機会でもっと重要なものは、(1) 騒音規制を執行する、(2) 防音壁を設置する、そして(3) より騒音の少ない路面材を採用することである。渋滞の緩和(次項参照)も、交通の流れをスムーズにすることにより、道路騒音の低減に貢献することができる。新しい推進システム、特に燃料電池も騒音の低減に貢献するが、騒音低減自体は、その利用に関して大きな弾みをつけるものにはならないと思われる。

表 4.7 防音壁の有効性

騒音レベルの低減	音響エネルギーの低減	難易度
5 dBA .....	70% .....	容易
10 dBA .....	90% .....	可能
15 dBA .....	97% .....	かなり困難
20 dBA .....	99% .....	ほぼ不可能

出所：US DOT 2000, p.10



# 渋滞の緩和： 交通渋滞を緩和する

渋滞を根絶することはできないが、その悪影響を緩和することはできる。渋滞は、特定の時間において、需要を満たすのにインフラの容量が不十分である場合に発生する。渋滞は、2つの関連しあう形で出現する。すなわち、(1) 標準的な移動を完了するために要求される平均時間量が増加する、および(2) 移動時間の変動性が大きく増大する。輸送の利用者は、移動に許される時間量を増加させることにより(ある程度の追加費用で)前者を相殺することができる。後者は予測が不可能であるため相殺がはるかに難しくまた高いコストを要する。

渋滞は、インフラの容量に対する需要を下げるか、供給を上げるか、あるいはその両方により緩和することができる。「需要を下げる」ことは、そのインフラを使用する車両の総数を減らすことを必ずしも意味するわけではない。一日を通じて、需要の山や谷を緩やかにすれば十分である場合が多い。「容量を増やす」ことは、必ずしも新しいインフラを建設することを意味しない。既存のインフラをより効率的に活用することができる。

しかし、渋滞緩和のためのどのような戦略も、誘発される需要に対処する必要がある。一般的には、道路の渋滞が改善され交通の流れが速くなると、迂回路を利用するドライバー、オフピークの時間帯

に移動していたドライバー、また(自家用車ではなく)他の輸送形態を利用して通勤者が、すぐにその改善されたルートに戻ってくることになる。道路スペースを求める「誘発された」需要の増加は、場合によっては道路の新たな容量を相殺する可能性もある。<sup>33</sup>

誘発された需要の影響を緩和するという意味では、インフラ供給を増加させる戦略よりも、需要を減少させる戦略の方がより効果的であると言えるかもしれない。しかし、車両移動の成長予測に対応したり、インフラの需要と供給のバランスを維持したりするためには、需要の変化だけでは不十分であると思われる。

## A. 需要の削減

インフラ利用の需要を減らす戦略では、利用可能な容量を使用する車両の総数に影響を与える方法や利用の再分配に焦点を当て、ピークの需要を減らすやり方が考えられる。ひとつの道路や橋が常時渋滞していることはめったにない。渋滞は、日中または夜間のある特定の時間や、特定の「ボトル・ネック(交通流を妨げる場所)」で激化するのが一般的である。需要が均等になり、「ボトル・ネック」の負荷が軽減されれば、渋滞が緩和される可能性がある。

### 1. 車での移動削減

走行する乗用車の総数減少には、例えば、在宅勤務の機会向上や出発点と目的地間の距離の短縮、他の輸送形態を利用した移動調整などによって、基本的な移動の必要性をなくすということも考えられる。したがって、都市および地域計画の変更と公共交通機関やさまざまな交通形態間の接続の改善は、奏功するまでに時間はかかるとしても、渋滞水準にプラスの効果をもたらす可能性がある。

行動の変革を誘発するのは極めて困難な場合が多いが、負担を増加することが、道路の利用者と貨物の両方の移動に使われる車両の総数を減らす方策となる可能性がある。前者に関しては、ライド・シェアリング(カー・プーリング)またはトリップチェーンが移動を減らす行動である。最低乗員数を満たす車両のみがアクセスできるHOV(多乗員車両)車線や、都市部への制限付き進入区域といった例も挙げられるが、その成否の見通しは不明である。(通常無料駐車できる)従業員が相乗りや別の移動モードを選んだ場合に経済的な恩恵が受けられるという駐車換金プログラムも、一例として挙げられる。貨物輸送に関しては、ITまたは地域の配送センターを通じた物流処理の改善によって、営業上の移動回数を削減することができる。

## 2. 需要の均一化

「ボトル・ネック」においてピーク時の需要を抑制することに主眼を置いた手段としては、ピーク時のインフラ利用に相対的に高い料金を課すこと、混雑の少ないルートドライバーに知らせる車内情報技術、および業務時間または小売店の営業時間のオフピーク時を再分配または平均化するように変更することなどが挙げられる。

原則的に、コストを外面化して道路利用者に転嫁することにより渋滞のピーク時の容量を管理するならば、移動時間の調整、代替ルートの選択、相乗り、移動の統合または取りやめに対する経済的なインセンティブが提供される。世界中で、さまざまな道路への課金方法が導入されているが、概して大衆の反発を買うものとなっている。大衆の反対によって導入に至らなかったケースもある。このような不安材料（低所得層への影響など）があるものの、道路への課金は、状況によってはピーク時の渋滞緩和に効果があると思われる。

渋滞に悩む都市ゾーンにおける渋滞課金の例として、シンガポールとロンドンの例がよく知られている。シンガポールのやり方は、ドライバーが許可証を購入し、自分の車両の窓に掲示するというシンプルなシステムとして始まった。そこから、リアルタイムで料金の変動が可能な電子システムに発展している。

ロンドンの渋滞課金システムは、技術的にはそれほど高度なものではない。これは主として、欧州の大都市で選出された官吏が道路利用に対し課金するという政治的なリスクを負った最初の事例として注目に値するものだ。ドライバーは、平日にロンドン中心部の指定地域に入るために日額5ポンドを支払わなければならない。1年間の運用後、課金ゾーン内の交通渋滞は課金導入前と比較して30%

緩和された。課金ゾーン内およびその周辺のバスについては、交通渋滞によるダイヤの乱れが最大60%緩和された。該当ゾーン内を循環する交通量は15%減り、課金時間中にゾーンに入る交通量は18%減少した。2004年2月に発行された報告書では、渋滞課金導入の1年後、この仕組みによる課金ゾーン外の交通への目立った悪影響は見られなかったと報告されている。ロンドン交通局の調査では、課金が経済界に悪影響を及ぼすという懸念を裏付ける証拠はほとんどなかったとのことである。(Transport for London 2004)<sup>34</sup>

## 3. 容量追加によるインフラ供給の増加

新たな道路建設や車線拡張を行うと、ことに特定された「ボトル・ネック」がある場所や交通需要の伸びが著しい場所では、短期的には移動ピーク時にそのインフラをより多くの車両が通行できるようになるため、ボトル・ネックが減少し、渋滞の継続時間が短縮されることになる。道路の新規建設または拡張が行われる地域交通網内では、平行ルートによっても渋滞レベルの低減が実現する可能性がある。しかし、道路容量の拡張によって、誘発される需要への何らかの影響が見られ、長期的に見ると以前のレベルまたはそれ以上の渋滞につながるというおそれもある。

したがって、追加インフラ容量の構築は、それ自体としては渋滞の問題に対する総合的な解決策とはなりえないが、多くの渋滞を緩和する手法の重要な要素となりえる。これが当てはまるのは、(1) 地域が高い経済成長を経験したり、経済活動の集中が発生したりして輸送に対する需要が増加している場合、(2) 地方または「周縁」地域が都市化している場合、あるいは(3) 従来利用可能だった道路容量が利用不可能になった場合である。最初のケースは、発展途上国における急速に都市化が進んでいる地域ばかり

でなく、EU統合が進行している欧州でもよく見られる。2番目は、北米や欧州の多くに加え、上述の急成長を遂げている発展途上国でも一般的に見られる。3番目は、特定の地理的要因に基づくものではなく、むしろインフラの一部が担っていたサービスの性質を変化させるような輸送需要構造の変化に関連する。<sup>35</sup>

アジアの急成長期にある国々は、大規模なインフラ建設プログラムに取り組んでいる。人民日報によると、中国は2003年に、4,600Kmの高速道路を含む総距離46,000Kmの道路を新たに建設したとのことである。これによって、中国の道路の総距離は、181万Kmとなり、そのうち30,000Kmを高速道路が占めることになった。(People's Daily Online 2004) 急成長しつつある中国の各都市は特にインフラ建設に積極的である。2002年4月、上海市は今後20年間の輸送計画の概要を明らかにした。特に上海は、幹線道路の容量を2005年までに毎時270万台Kmから410万台Kmに、さらに2020年までには毎時650万台Kmに引き上げるとしている。(Embarq 2003) 同じ時期に、上海は黄浦川を渡る6つのトンネルと橋の建設を計画しており、これによって黄浦川の河川横断道路は合計16カ所となる。(People's Daily Online 2003)

## 4. 効率的利用によるインフラ供給の増加

新たな道路建設が現実的ではない、または望まれていない場所では、専用車線、インフラ設計の変更、先進の車両および通信技術、総合的な交通管理戦略およびシステムなどによって、既存のインフラを改良できる場合が多い。

渋滞（および交通事故）の要因の1つに、車両間の速度および加速のばらつきがある。全車両が同じ速度で走行すれば、容量および安全性が大幅に改善されると考





えられる。専用車線は、異なる交通の流れを分離する方法として有益である。専用車線では、ほとんどの状況下で、主要道路がふさがっていても対象となる車両は渋滞に阻まれずに走行することができる。車線を、乗用車、タクシー、貨物トラックまたはバス専用割り当てたり、高速車線として追い越し専用とするなどの可能性がある。隣接する非専用車線の交通の流れも改善されることが多い。専用車線をマーキングし、その状況を動的に変える技術も利用されており、さらなる改善が見込まれている。

米国内では、HOV車線がHOT（多乗員料金）車線に変更される例もある。規定の乗員数に満たない車両も、定額または調整された通行料を支払うことによって、混雑の少ない専用HOV車線を走行できる。動的HOT車線課金の例を挙げると、サンディエゴの州間高速道路15号線の課金は、HOT車線の車両の流れを指定速度に保つために必要な金額にしたがい、一回の通行あたりの料金が0.50ドルから8.00ドルまで、0.50ドル刻みで6分毎に変化するようになって

いる。どのような所得層の道路利用者でも、移動時間の短縮のために追加料金を払っても良いと思うならば、渋滞のピーク時にHOT車線を選択することができる。HOT車線の特徴づける選択のあり方は、低所得層のドライバーに対してバランスを失った影響を及ぼす可能性がある有料道路のような、固定的で変動しない課金の仕組みよりも、より受容されやすいものになる場合が多い。

道路または鉄道の交差点や道路建設あるいは道路工事の現場など、すべての道路における遅延や停止を最小限に抑えることにより、渋滞の状況が緩和されるであろう。したがって、インフラシステム自体の設計やメンテナンスによって、インフラの容量と性能を改善することができる。道路通行料自動徴収システム（スマートカード、スキャナーおよび電子管理システム）も、通行料の徴収と専用車線の管理を簡略化することによって、遅延を緩和できる。

また、ドライバーの行動も交通流に影響を与えるため、最高速度の引き下げ（お

よび強制）によって道路容量を増加させることもできるほか、車線変更の回数を削減することもできる。将来的には、（前方車両との）車間距離がドライバーによってではなく、車両自体によって維持されるようになるかも知れない。自動車または自動高速道路およびインテリジェント・クルーズ制御における技術革新によって、自動車がより高速で、短い車間距離を安全に保てるようになる日が来る可能性もある。現状では、このような技術を公道に導入するまでに、専用車線であるか否かを問わず、解決すべき技術的、社会的および規制面での課題が残っている。

既存の道路に新規車線を追加して容量を増加することが物理的に不可能である場合は、既存の道路の路肩または安全車線を一般通行専用にするだけで車線を増やすことが可能と思われる。ピーク時には、道路を慎重に監視し、事故発生時には（電子信号によって）この車線を閉鎖することができることを前提に、このような路肩を追加車線として利用することも可能である。路肩の追加車線としての利用は、容量増加のための比較的安価な方法であると思われる。オランダ運輸省は、現在150Kmのいわゆる「ピーク時車線」に対して3億8,000万ユーロ（1Kmあたり250万ユーロ）の投資を行っている。新たな車線を設けるために車線の幅を狭めるというのも、1つの選択肢である。安全面の理由から、幅の狭い車線の導入は、高度な車両車線維持技術または上述のような自動走行車両／自動高速道路の幅広い理解にかかっているとと言えるだろう。

高度道路交通システム（ITS）におけるその他の進歩にも、既存のインフラの有効容量を増加することによる、安全性強化と渋滞緩和の実現の可能性がある。これらの情報技術は、地域の交通管理システムが地域内交通網全体を対象とした交



通管理戦略を展開するための能力を増強してくれる。交通管理者は、リアルタイムに容量の使用状況を監視し、信号、標識およびレーン割り当てなどによってそれに対応することにより、交通流を改善することができる。交通の再分配への取り組みには、交通信号の最適化、自動速度標識、高速道路入り口での速度計測、通勤車線の方向逆転（一方通行化）などが考えられる。パリでは、タクシーによ

って中継される交通流に関する情報（「フローティング・カー・データ」）が道路に敷設される高価な誘導線の代わりに果たしている。

情報技術のおかげで、輸送管理者が事故に迅速に対応し、事故車両を撤去することもできるため、主要道路における移動時間の大幅な短縮と渋滞レベルの緩和が実現する。携帯電話も事故検知の実用的

な選択肢の1つであると思われる。携帯電話の通話可能地域は、カメラや誘導ループのような従来の検知方法で監視できるエリアよりもはるかに広い。将来的には、多くの車両の速度を同時追跡し、比較することができる車両搭載GPSシステムも、交通事故の発見、対応の迅速化および遅延の緩和に対する効果的なツールとなる可能性がある。

オランダ運輸省は、過去25年間で交通管理システムの導入により、そのようなシステムを導入していない場合と比較して、有効道路容量が5%増加し、渋滞が15%~20%緩和されたと述べている。[\(Middelham 2003\)](#) 情報および車両搭載技術において現在進められている技術革新により、新たなバリュー・プライシング・プロジェクトの導入、交通網管理戦略や既存および新たなインフラを効率的に利用するためのさまざまなツールの開発がもたらしてくれる新たな体験が、まもなく現実のものとなるだろう。

## B. まとめ

渋滞は、(1) 最も影響が大きい時間帯にインフラの需要を減らし、(2) インフラの容量を増加させることで緩和することができる。いくつかの手法は、何らかの形で価格設定に依存するケースが多いものの、インフラ需要の低減に十分な効果が期待できる。インフラ容量の増加は、特に「ボトル・ネック」にインフラを追加し、ITSのような技術を活用して、既存インフラの実効上の能力を拡張することで可能になる。ただしある程度、インフラ容量の増加は、どのように達成しても、誘発される移動需要によって相殺される。

## VII.

# モビリティ機会の格差の縮小： 最貧国の人々、およびほとんどの国における 経済的・社会的に恵まれない人々にとって、 自分自身や家族がより良い暮らしを送る ことを阻む「モビリティ機会の格差」を 縮小する

ここまで本章では、モビリティの成長に関連する特定のマイナス影響を緩和する（あるものに関しては撤廃する）ことを持続可能性の目標の中心に据えてきた。これが重要であることは明白である。しかし、モビリティを持続可能なものにするためには、それだけでは不十分である。我々の定義によると、持続可能なモビリティのためには、「現在や将来における他の人間や生態系の基本的価値を犠牲にすることなく」、そして「自由に移動し、目的地へ到達し、連絡を取り、交易をし、関係を樹立するための社会の必要性」を満たす必要がある。SMPの6番目と7番目の目標は、国家間および国の内部に存在するモビリティ機会の格差を縮小し、先進国と発展途上国の住民に対してより良いモビリティの選択肢を提供することによって、モビリティが世界の人々の生活水準向上において不可欠な役割を確実に果たし続けることを目指したものである。

## A. 国間の「モビリティ機会の格差」の縮小

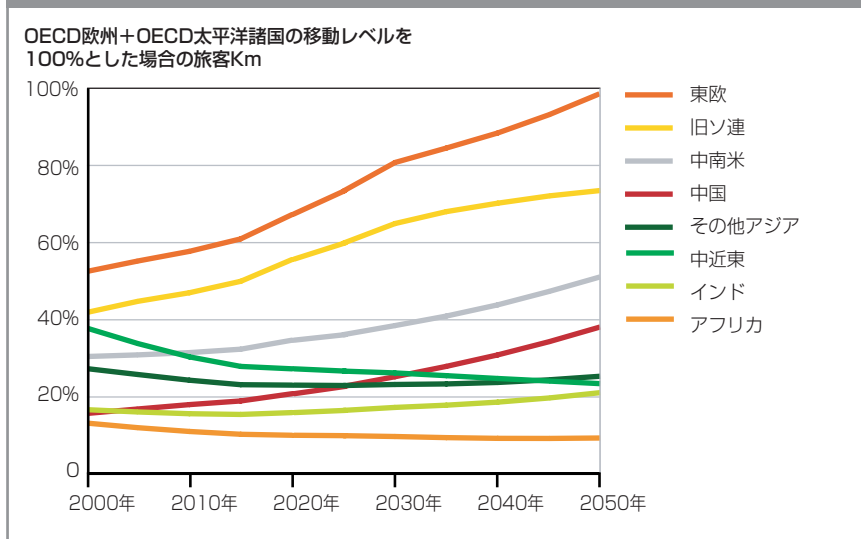
第2章での2000年から2050年までにおけるSMPの予測では、人と貨物の輸送活動は共に成長し続け、特に発展途上国のある地域で急速な拡大が見られるということが示されている。しかしこの予測によると、最も貧しい発展途上国の住民に対して、現在先進国にあるモビリティ機会と比べても何の遜色もないほどのモビリティ機会を提供するには、こうした輸送活動の成長でも不十分であるということも分かっている。我々はこの不公平さを「モビリティ機会の格差」と呼ぶことにした。

SMPでは、このモビリティ機会の格差を縮小しなければならないと考える。これは、アフリカの平均的な住民が、毎年北米、欧州、日本の平均的な住民と同じ

程度の距離を移動すべきだという意味ではない。すべての場所で暮らす人々が「自由に移動し、目的地へ到達し、コミュニケーションを取り、交易をし、関係



図4.14 OECD欧州/OECD太平洋の国民1人あたりの年間移動距離と比較した1人あたりの年間平均移動距離



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

を築く」機会を手に入れるとき、モビリティ機会の格差はなくなるだろう。

図4.14では、現在のモビリティ機会の格差の大きさと、現在の傾向が続く場合にそれがどのように進展していくかということをおおまかに表している。図4.14の各線は、特定された地域において、国民1人あたりの年間平均移動距離をOECD欧州/OECD太平洋の国民1人あたりの年間平均移動距離に対するパー

センテージで示したものである。

2050年までには、人のモビリティ機会に関して、東欧/旧ソ連はOECD欧州/OECD太平洋との格差がなくなるであろう。中南米もこの格差を大幅に縮小すると思われる。しかし、他のアジア諸国、インドおよび中近東の国民1人あたりの平均は、OECD欧州/OECD太平洋の20%程度のレベルに留まるだろう。平均的なアフリカの住民

の年間移動距離は、2000年にはOECD欧州/OECD太平洋の住民の年間平均移動距離のわずか13%であったが、これは2050年までには8%に減少すると思われる。つまり、アフリカ（および中近東）の平均的な住民にとって、モビリティ機会の格差は拡大すると予測されている。

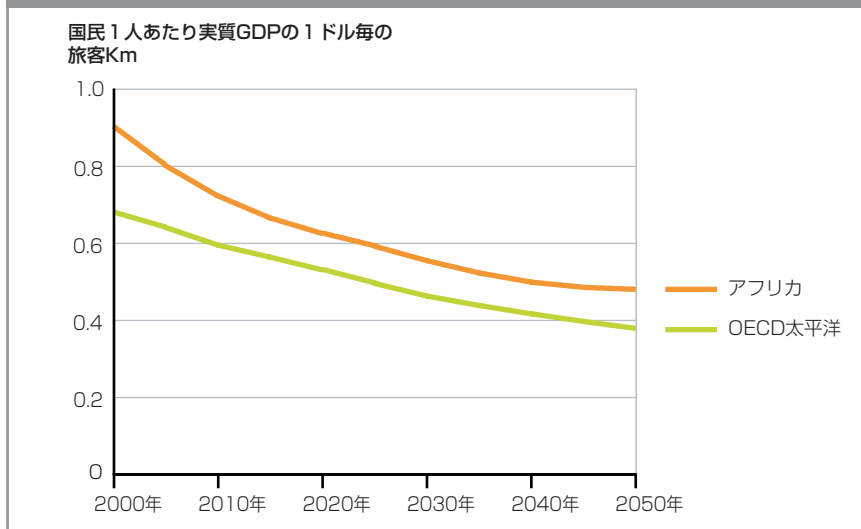
インドと中国も同様な比較ができる。2000年には、国民1人あたりの移動距離をOECD欧州/OECD太平洋と比較した際の割合は、インドが17%、中国が16%と、両国共に同じようなレベルにあった。しかし2050年までにインドは比較的少ない変化（20%）しか見せないのに対し、中国は2倍以上の伸び（37%）を見せている。この差の理由は何であろうか。

SMP基準ケースにおける輸送活動の予測は、まず、各国の国民1人あたりの実質経済成長率予測によって決められている。地域の輸送の程度には多少の変化率が想定されている（国民1人あたり実質GDPの1ドル毎の旅客Kmで計算）ものの、それはモビリティ機会の格差の大きさを主に決定する輸送の規模の差というよりも、むしろ国民1人あたりの実質所得の差を示している。これは、OECD太平洋とアフリカ地域の輸送の程度を比較すると浮かび上がる。（図4.15）2000年におけるアフリカの輸送の程度は、OECD太平洋の輸送の程度よりも高かったが、この差は縮小されると予測されており、だいたい2025年～2050年の間には同程度になる。しかし2050年になると、アフリカの平均的住民は、OECD太平洋の国民の8分の1程度しか移動しないであろうと見込まれている。

### 1. 格差縮小への取り組み

モビリティ機会の格差を縮小するには2つの方法がある。1つ目は、貧しい国の

図4.15 個人の移動：OECD太平洋およびアフリカ



出所：持続可能なモビリティ・プロジェクトによる算出

国民1人あたりの実質所得成長率を加速させることである。2つ目は、貧しい国の国民1人あたりの実質所得1ドルあたりのモビリティ機会を増加させることである。

本報告書の初め(第1章)では、特に現在最もモビリティ機会に恵まれない地域において、モビリティ機会の改善がいかに経済成長を実現するかということを書いた。しかし、国民1人あたりの実質経済成長率を大幅に引き上げるには、モビリティ機会の向上だけでは不十分である。むしろそれは、幅広い対策の一環として組み込まれるべきであるが、そのような対策の多くは本報告書の対象範囲から外れている。とは言うものの、国民1人あたりの実質所得1ドルあたりのモビリティ機会を増大させるための明確な方法が1つある。それは、移動コストの低減である。

### a) 道路インフラ改善による移動コストの低減

発展途上国の最も貧しい農村部における移動コストを低減する重要な方法の1つとして、これらの地域の人々に基本的な輸送の利用手段を提供することが考えられる。

本報告書の初めに、地方で暮らす約9億人の貧しい人々(農村部の人口の約3分の1)が天候によっては利用できなくなる道路を使用している状況であると述べた。(World Bank 2003) Jeffrey Sachsは最近のある記事の中で、アフリカの6カ国(エチオピア、ガーナ、ケニア、セネガル、タンザニア、ウガンダ)が直面しているインフラの欠陥をいくつか洗い出している。その中で最も明白なもの1つは舗装道路である。この6カ国の国民1人あたりの舗装道路は平均で0.01Kmであるのに対し、アフリカ以外の発展途上国の全平均は4.49Kmである。(Economist 2004, p. 20)

アフリカのある地域では、移動がなんと困難なことであろうか。「地獄への道は舗装されていない」という刺激的なタイトルの記事で、エコノミスト誌のライターは発展途上国の貧しい農村部の悪路が一体どのようなものかということと、その地域の人々に押し付けられている代償を体験しようと考えた。

富める国から訪れた人々は、第三世界のインフラの本当の恐ろしさをめったに体験しない。彼らは空港からホテルまでは比較的平坦な道路を利用し、珍しい品を売る市場までのハイキングよりも長い距離は、飛行機で移動する。

しかし、役に立たないインフラがある国々で実際に暮らし、働いている人々は、毎日その影響を切り抜けていかなければならない。それらは有害であるといえるほど深刻だ。したがって、悪路がいかに生活を困難にしているかということ調査するために、記者はカメルーンでビールの運搬トラックに乗車させてもらった。カメルーンはギニア湾の角にある心地よく平和で湿気が多い国である。

ドゥアラの醸造工場から1,600箱のギネスをカメルーン南東の熱帯雨林の中にある小さな町、ベルトアまで運ぶ計画であった。直線距離は500Km(313マイル)に満たない。これはニューヨークーピッツバーグ間、またはロンドンーエジンバラ間と同じくらいの距離である。比較的スケジュールは楽観的で、道中1泊を含む20時間程度の行程になると思われたが、実際は4日かかった。トラックが到着した時、積荷は出荷時の3分の2に減っていた。(Economist 2002, p. 37)

この記者によると、「調査」のためにトラックが止められた回数は47回にのぼり、それを抜けるためには賄賂を渡さなければならなかったという。また、道路

(カメルーンの主要幹線道路の1つ)には雨によって通行できない所が3カ所あり、その度に最大4時間の遅れが生じたという。

貧弱なインフラによって、製品にどれだけの追加コストがかかっているのだろうか?有名なソフトドリンクは、瓶詰めされた街では1本300CFAフランであるが、125Km離れた街では、315CFAフランまで上昇している。そこからさらに100Km離れた小さな村での価格は350CFAフランだ。上述の3つの市町村はすべて主要道路沿いにある。一旦主要道路を外れると、価格は急上昇する。

瓶入り飲料のケースと同じことが、多かれ少なかれどのような製品にも当てはまっていた。石鹸、斧頭および灯油の価格は、すべて大都市よりも遠隔地の村の方がはるかに高い。マッチやマラリアの薬など、輸送にそれほどのコストがかからないような軽い商品でも、価格は大きく跳ね上がっていた。同時に、貧しい人々が売らなければならないヤムイモ、キャッサバ、マンゴーなどは、都市部と比べ農村部で安く売られている。つまり小作農民らは道路状況が悪いために二重苦を背負っていたことになる。購入する品物に対してはより多くの代金を払い、販売から得る収入はより少ないという状況である。

SMPでは既に、中国が自国の道路インフラ改善のために莫大な資金を費やしているということを述べている。この支出の大部分は、地方の道路改善に割り当てられる。これとは対照的に、アフリカでは地方の道路改善のためにそれほどのお金がかけていない。世界銀行は、アフリカ大陸が、国民の大半を貧困から抜け出させることができるような経済成長を達成しようとするのであれば、毎年最低でも180億ドルをインフラ(道路、その他のインフラ要素)に投入する必要があると推測している。

農村部の道路の改善だけでは不十分である。カメルーンの例が示すように、セキュリティの向上も不可欠である。しかし、遠隔地の農村部の住人が外の世界にたどり着くことができるようにすることが、彼らの貧困からの脱出を支援する上で重要な要素である。

## b) 安全及び排出基準に適合した安価な車両の提供

一旦外の世界へのアクセスが簡単になると、農村部の住人は通常、改善された移動と交易の機会の恩恵を受けるようになる。それを実行する中で、さまざまな人や物の移動手段となる車両が活用されるようになるが、そのほとんどは動力付きであろう。これらの車両の入手や操作のコストが低下すればするほど、モビリティ機会は大きくなる。ここにジレンマが生じる。輸送コストを削減するには、貧しい発展途上国で使用される自動車では排出物抑制や安全機能といった「贅沢」を避けたいという強い誘惑に駆られる。ある程度の範囲内ならば、その影響を人々に理解してもらうという条件付きで、そのような妥協も妥当だといえるかもしれない。しかし、このような妥協によって大幅な外部費用が生じると、独立して活動している個人には、外部コストを反映する決定を行えなくなると思われる。

先に考察したように、世界のある地域では自動2輪・3輪車は安価なモビリティ機会の提供において重要な役割を果たしている。しかし、これも先に述べたことだが、これらの車両は「従来型」排出物の排出量においてはその台数に不釣り合いなほど大きな割合を占めているほか、交通事故においても大きな割合を占めている。このような状況においては、排出量を削減し安全性を向上した技術を2輪・3輪車においても手頃な価格で利用できるようにすることは極めて重要である。

しかし、自動2輪車だけが発展途上国の農村部において安価なモビリティを提供できる車両というわけではない。中国では業界全体で、物の運搬用となる安価な3輪・4輪車の生産を展開してきた。このような車両には、地方で開発された単純な技術が採用されている。こうしたメーカーのほとんどは小規模なバックヤードで操業しており、高度な技術を持つメーカーはごくわずかである。中国政府はこのような業者を自動車メーカーではなく農業機械メーカーと分類している。

カリフォルニア大学デービス校交通研究所のDaniel Sperlingと他2名の研究者は、最近この、中国農村部向け車両(CRV)業界に関する初めての体系的な報告書を発表した。(Sperling, et. al., 2004) それによると、年間のCRV生産台数は、ほとんどゼロであった1980年代半ばから1992年には110万台に上昇し、1995年には230万台に達したと推測されている。年間生産台数は、1999年の320万台でピークに達し、2000年から2002年までの間に7%減少した。2001年のCRVの利用台数は、合計で約2,200万台と推測されている。2002年になると、値段が高く、より高度な4輪のCRVで販売台数が再び上昇し、7%の伸びを示した。研究者達は、これは中国政府による規制強化と介入によって、あまり高度な技術を用いない3輪CRVの生産性と存続性が低下したためだと考えている。

断片的なデータではあるが、中国のCRVは中国の道路輸送のエネルギー消費において大きな割合を占めていると考えられる。2,200万台のCRVのうち約80%は、本来据え置き型の農業機械用に設計された一気筒ディーゼルエンジンで駆動している。このような一気筒エンジンは、特に移動という点においては非常に効率が悪い。さまざまな推測から、この研究者達はCRVが2000年の中国の総ディーゼル消費量の21%を占めて

いると結論付けた。それに対し、高速道路での消費(CRVを除く)が占める割合は24%であった。<sup>36</sup>

CRVからの従来型排出物に関しては、さらに評価が困難である。さまざまな情報の断片を組み合わせることによって、CRVは中国国内の他のすべての自動車を組み合わせたものと同程度の汚染物質を排出していると研究者達は推測した。その高い排出量のため、現在、地方当局は多くの都市部へCRVの進入を禁止している。

CRV業界はその規模、範囲および勢いにおいて他の業界とは異なる。しかし、Sperlingらは、タイ、インドおよびクレタ島にも類似の産業が存在すると報告している。<sup>37</sup> どの地域のケースでも、一度外部の競争にさらされると地元の業界は生き残れなかったと述べられている。これは中国でも起こるかもしれない。しかし、どちらにしても、CRV業界の急な出現は、急成長中の発展途上国における原動機付きのモビリティへの強い欲求を立証するものである。また、それは、世界中の最貧国の車両にできるだけ安価な方法で基本的な排出物制御装置を搭載することの重要性を浮き彫りにしている。また、そうした装置に必要な燃料も手頃な価格で入手可能にされなくてはならない。失敗すれば、それを実現できなかった場合よりも輸送コストが上昇し、モビリティ機会の格差が悪化することになるだろう。

## c) モビリティ機会の格差縮小によりGHG排出量が増加する可能性

2000年から2050年の間に予測される輸送関連のGHG排出量の増加の大部分は、発展途上国から排出されると考えられている。しかし、発展途上国の輸送活動の増加によってGHG排出量が増加しても、最貧国と先進国のモビリティ機会の格差が大幅に縮小されることはない

だろう。格差縮小のためにさらなる方策が取られるとすれば、発展途上国の輸送関連のGHG排出量が増加することにならないだろうか。おそらく増加するであろう。しかし、必ずしもそうなるとは限らない。

このようなGHG排出量の増加を防ぐ方法として、発展途上国が自国の住民を貧困から抜け出させるために必要なモビリティ機会の向上を実現できないようにして開発を制約するということが挙げられるだろうが、SMPとしてはこれは受け入れがたい。

世界規模で持続可能なモビリティが達成されるためには、非OECD諸国の生活水準の大幅な改善と、気候変動などの世界的な課題の効果的な解決の両方が実現しなければならないとSMPでは考える。

最初の目標に関しては、廉価な輸送システム（車両とインフラの両方）を発展途上国の住民に提供できるよう注力しなければならない。2つ目の目標に関しては、先進国がGHG排出量削減のための戦略として、非OECD諸国の成長、開発の制約を前提に考えるのではなく、そうした最貧の発展途上国のより速い成長を助長するための支援策を施して、地球規模の耐えがたい環境課題を生じさせないようにすべきである。

## B. 国内の「モビリティ機会の格差」の縮小

経済発展の度合いにかかわらず、ほとんどの国や地域の内部にも大幅なモビリティの格差が存在する。高齢者、障害者、貧困層、恵まれない状況に置かれている少数民族を社会的に排除する要因となっているこのような国内および地域内の「モビリティ機会の格差」は、公平性の



問題の議論とからめて、第2章で取り上げられている。

『Social Exclusion and the Provision of Public Transport』という英国の研究では、適切なモビリティ機会の欠如が社会的排除の要因となり得る例が挙げられている。

- **空間的問題。**適切なモビリティ機会がなければ、人は行きたい（または行かなければならない）場所に到達するための方法が得られない。
- **時間的問題。**人が正確な時間に目的地に到達できない。
- **経済的問題。**人が目的地に行くための経済的余裕がない。
- **個人的問題。**利用可能なモビリティ手段を扱う心身の障害。

これらすべて、あるいはいくつかの点により社会的に排除された人々にとっては、仕事の確保、医療の受診、教育機会の実現、社会サービスの利用、競争力のある価格で品物を幅広く選択す

る機会、友人や親戚の訪問、公共行事への参加などが難しいものとなる。社会において高いモビリティレベルが現実のものとなると、モビリティ機会に恵まれない人々は、モビリティ機会に恵まれた人々が当然のことと考える活動の多くから排除される。

### 1. 公共交通機関の役割と限界

前述の英国の研究は、社会的排除を緩和するために公共交通機関がどのように利用できるかを主に扱ったものである。我々が第2章で示したように、上記の人々や第2章で特定したグループはすべて、公共交通機関に著しく依存しているため、このような点に焦点を当てるのも当然のことと思われる。また、英国には比較的発達した公共交通システムがあり、そのシステムの設備、ルート、料金はある程度、社会的排除を軽減するための一助として調整することができる。これは、欧州のほとんどの大都市の中心部、日本の大部分および北米のいくつかの都市の中心部など、高品質で比較的手頃な価格の公共交通システムがある都市部にも当てはまる。

しかし、公共交通機関が人のモビリティ供給において極めて重要な部分を担うこうした大都市の中心部を外れた地域のほとんどを始めとして、先進国、発展途上国の都市部の大部分では、公共交通サービスはその役割を果たしきれていない。このような地域において現在の公共交通機関の品質は、社会的に排除された人々はおろか、一般住民に対しても有益なモビリティの選択肢を提供するには不十分なものである。従来型の公共交通機関の範囲と品質を、一般住民に対してそのようなモビリティの選択肢を提供するのに十分なところまで拡張することが経済的および技術的に実現可能と思われるケースもある。これらの事例では、このようなサービスを特に社会的に排除されたグループにとって使いやすいように設計し、これらの不足を克服するために調整することも可能だと思われる。しかし、このような事例数には限りがある。ほとんどの都市部では、他の方法を見出す必要が出てくるだろう。

ここからは我々の最終目標と関連して、一般住民にとって主に利益となる2つの対策について論じたいと思う。しかし、まずは社会的に排除された人々に対するモビリティ機会の提供に関連して、パラトランジットと呼ばれる1つの手法を取り上げる。

## 2. パラトランジット<sup>38</sup>

一般的に言えば、パラトランジットは通常、混合交通の公道や高速道路上で運転される道路車両による都市乗客交通サービスを指す。原則的に、個人所有の自動車から従来の公共交通機関までの、あらゆる公共および個人の大量輸送が含まれる。パラトランジット・サービスの中には、一定の利用者グループ（高齢者、障害者等）に限定されるものもあるが、通常は人口密度の低い地域、夜間、あるいは週末に一般大衆が利用できる。

パラトランジット・システムに共通する特長は、程度は異なるが個別の利用者の希望に応じてコースやスケジュールを適応することができるということにある。先進国では「パラトランジット」という言葉の使用は、共同乗り合いタクシー、ダイヤル・ア・ライドシステム、それに契約バスといった需要ベースの制度に限定される。これに対し発展途上国での「パラトランジット」は、従来の固定ルートやスケジュールによる公共交通システム以外の運用を行うすべてのサービスを指す。使用される車両は、単純な人力の車両あるいは動物の引く車両など原動機の付かないものから、動力付き小型バスまで幅広い。

### a) 先進国

1960年代後半から1970年代前半にかけて、特に米国でパラトランジットに対する関心が高まった。当時、多くの従来型公共交通システムは郊外化への対処に苦労していたが、コンピュータ化による派遣およびスケジュール調整により、1時間1車両あたり乗客数6~8名のサービス・レベルを提供できるシステムを可能にする信じられていた。しかし、これは楽観的であることが判明した。一方、パラトランジットは進化し、障害者や高齢者が利用できる公共交通システムになるという法的要件を満たすようになった。欧州では、多くのパラトランジット・サービスが通常の公共交通サービスを補完するものに進化するか、あるいは社会的な目的で地域により始められるものとなっていった。

電気通信や情報技術は発達し、今ではパラトランジットが以前の期待を満たすことができるほどになった。デジタル無線周波データ通信、移動データ端末やコンピュータ、車両位置情報装置、マッピング・ソフトウェア、地理情報システム、カード・ベースのデータ保存・移動メディア、コンピュータによる受注・スケジ

ューリング・派遣、電話およびインターネット・ベースの技術など、現在パラトランジット・サービスにはさまざまな情報技術が利用されているか、あるいは利用が計画されている。

一般的にこうした技術により、サービス改善とコスト削減のために数多くの工夫が可能になる。旅行予約やピックアップ直前の乗客との自動通信、乗り継ぎ調整、そしてスケジュールリングや派遣におけるリアルタイム交通状況の活用などは、特に大きな可能性がある。

車両の改善もまた、パラトランジットの促進に役立つ。パラトランジットに利用される車両には、セダン、バン、スロープ・リフト付きバン、ミニバス、低床バスなどがある。また英国で開発されたバリアフリー・タクシーは、車両における最近の流れとなっている。最新の小型バスの設計では、車両の内部構成を素早く変更することもできる。これにより、1台の車両が24時間の運行の中で、まずは複数の車椅子を運び、次に健常者を基幹ルートに送り届け、その後農村部で運行し、さらにその後には貨物輸送を行ったりすることが可能になる。

### b) 発展途上国

発展途上国では、ここ25年ほどの間にパラトランジットが爆発的な成長を遂げてきた。動力付きのパラトランジットは、マニラ、ジャカルタ、クアラルンプール、バンコクなどの都市の公共交通サービスの20%から50%を占めていると見積もられている。こうした都市では、パラトランジットは狭い通りを抜け、小さな居住地に比較的低運賃で、よりフレキシブルかつ頻度の高いサービスを提供することで、従来型の公共交通システムを補完しており、時には他のサービスが利用できない場所で運行することもある。しかしその他の交通システムと競うためには、定期バスと同じルートで、より高速



かつ高頻度で運行される可能性もある。その結果、中南米やアフリカの一部では、パラトランジット・システムを従来型の公共交通を補完するものとしてではなく、公共交通を経済的に大きく脅かす存在として見なされている。

パラトランジット・サービスは、しばしば安全でなく、不安定で、渋滞の大きな原因と見なされている。上述の電気通信や情報技術の革新が、パラトランジットのこうした懸念を緩和するかもしれない。また、革新的な自動車のデザインが、懸念緩和の一助になるかもしれない。ただし、パラトランジットと従来型の公共交通が果たす相対的な役割に関わるより深い問題に対する解決法を見出すことの方が、優先順位は高い。

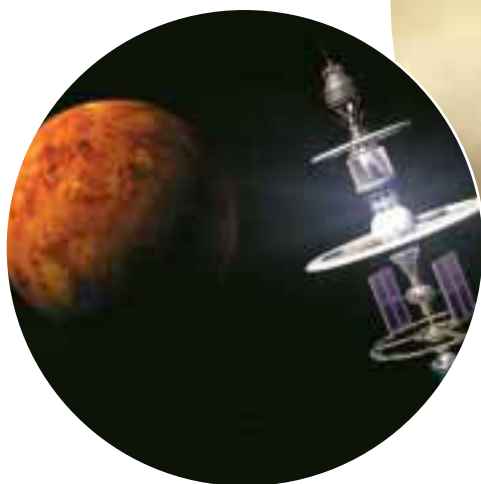
## C. まとめ

最貧の発展途上国の住民が貧困の悪循環を打ち砕くためには、モビリティ機会を大幅に強化する必要がある。また、平均的にすでに高いレベルのモビリティを享受している富める国々に暮らす恵まれない人々が、自分達が社会でより十分な役割を果たすためには、利用できるモビリティ機会を向上する必要がある。

モビリティ機会が向上されれば、現在モビリティを制限されている人々がモビリティ機会を活用し、より移動できるようになる。モビリティが向上し、それにより経済が成長すると、こうした人々の物とサービスへの需要を増加させることになる。物やサービスへの

需要の増加は、さらなる輸送活動の需要を促すであろう。

他に何も起こらなくても、こうした人や物のモビリティに対する需要の高まりによって、汚染、GHG排出量、輸送関連の死亡・重傷者数、渋滞などが悪化する可能性もある。これにより、優れたモビリティ機会の恩恵を受けている人々が、現在そうしたモビリティが不足している人々の機会を制限しようとする動きが促進されることは避けなければならない。むしろ、輸送関連の外部コスト削減のために開発された技術を、他の地域で新たにモビリティ機会を手に入れた人々が手頃な価格で利用できるようにするための取り組みを行うべきである。



# VIII.

## モビリティ機会の向上： 先進国および発展途上国の一般の人々が 利用できるモビリティ機会を保護し、 高める

現在ほとんどの先進国（および多くの発展途上国）の一般市民が利用できるモビリティ機会は、過去のモビリティ機会を大幅に上回るものである。しかし、先述したように、都市生活様式の変化は貧困層、高齢者、障害者、恵まれない人々のモビリティ機会に悪影響を及ぼすだけでなく、多くの平均的市民のモビリティ機会を損なう恐れもある。特に、従来型の公共交通システムが人のモビリティを提

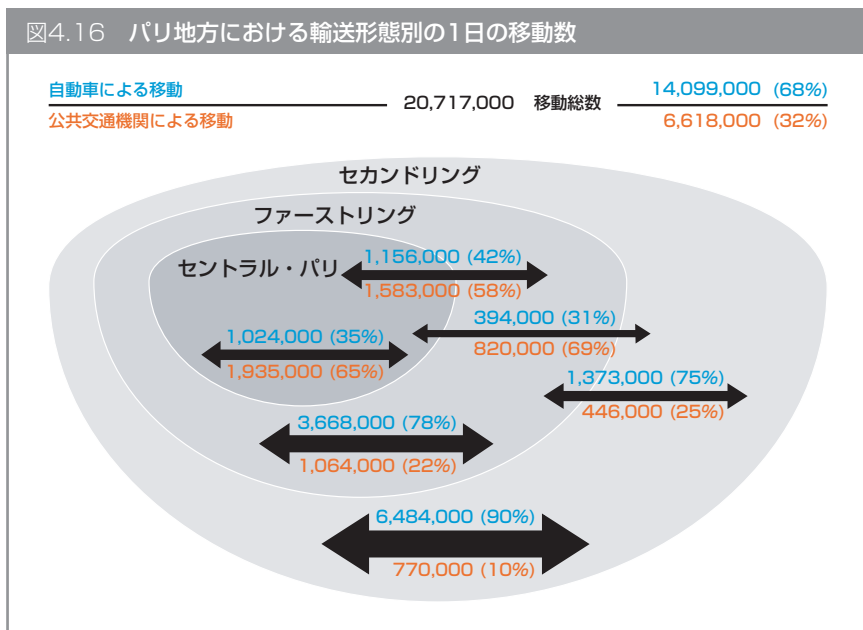
供するという不可欠な役割を果たす能力が脅かされている。

この重要なモビリティの選択肢を維持することを、今後数十年間の主要目的とすべきである。公共交通機関なしでは存在しえない先進国の都市の数少ない例として、ロンドン、パリ、東京、ベルリンおよびニューヨークが挙げられる。また、我々が後援した発展途上

国の都市に関する調査で明らかになったように、公共交通システムは多くの発展途上国の都市部において、さらに不可欠なものとなっている。

先進国、発展途上国を問わず多くの都市部では、バスや「バスのような」システム（パラトランジットを含む）は、道路を基盤とするという本来の柔軟性を生かして利用が向上する機会があると、SMPでは考える。また、新しい車両技術（推進システムなど）や、新しい情報技術を「バスのような」システムに組み込んで活用すべきである。

図4.16 パリ地方における輸送形態別の1日の移動数



出所：Renault Slides, p.2

### A. 公共交通機関の役割

個人が高品質の公共交通機関を難なく利用できる都市部においても、人のモビリティのニーズを完全に満たすことが不可能な場合が多い。例えば、パリ地方およびその周辺で生活する個人の輸送の選択に関する調査によると、輸送の混合形態の度合いが驚くほど高いことがわかる。輸送の混合形態とは、1日のうちあるい

は1週間のうちの異なる時間で異なる移動目的のために個人が異なる輸送形態を利用するということである。

この調査では、パリ地方をセントラル・パリ（1区～20区）、プティット・クロヌ（＝ファーストリング：オー・ド・セヌ県、セヌ・サン・ドニ県、ヴァル・ド・マルヌ県）、イル・ド・フランス地方の残りの部分（セカンドリング）という3つの同心の「リング（環）」に分類した。図4.16は、移動の出発点と到達点がこの地方のどこにあるかということによって決まる公共交通機関の輸送形態の割合におけるばらつきを示している。セントラル・パリの中での移動、およびセントラル・パリとファーストリングまたはセカンドリングとの間の移動は、公共交通機関が優勢であった。しかし、ファーストリングとセカンドリングの間、またはそれぞれのリングの中での移動では自動車が増加した。さらに、3つの地域での1日の移動総数は大きく異なっており、セントラル・パリが発着点でない移動は主に自動車によるものであった。公共交通機関が極めて豊富にあるセントラル・パリとプティット・クロヌでは、全ての動力付き輸送のうち公共交通機関が占める割合は約60%である。しかし、この調査では公共交通機関のみ利用の割合はわずか14%であり、自動車のみを利用する割合は30%

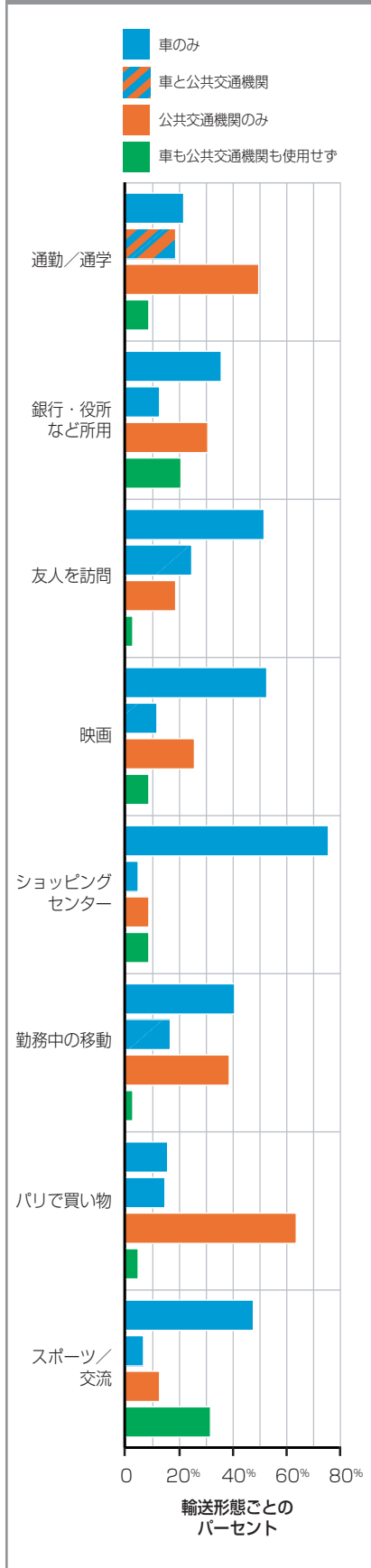
である。また、半数以上（53%）が複数の輸送形態を利用している。（図4.17）約75%の人が商業中心地に行くのに自動車だけを利用しており、また50%以上の人が通勤、通学、「銀行・役所など所用」またはパリでの買い物の際には公共交通機関のみを利用している。（図4.18）

すでに指摘したように、多くの都市部において、人のモビリティのニーズの大部分を満たすのに十分なレベルの従来型公共交通機関の実現は、技術的、経済的に不可能であると思われる。したがって、完全に公共交通機関に依存するか、完全に自動車に依存するかという二者択一は現実的ではない。必要なのは、より幅広いモビリティの選択肢である。我々は、既にパラトランジットという選択肢について考察した。次に、もう一つの選択肢である車両の共同使用（カーシェアリング）について考察したい。これは現在は限られた状況の中で利用されているが、大幅な改善と拡大が期待できる選択肢である。最後に、将来的に利用できる可能性のあるモビリティの選択肢の分野、つまりさまざまな新技術を組み込んだ全く新しい輸送法について考察することとする。

## B. 車両の共有化（カーシェアリング）

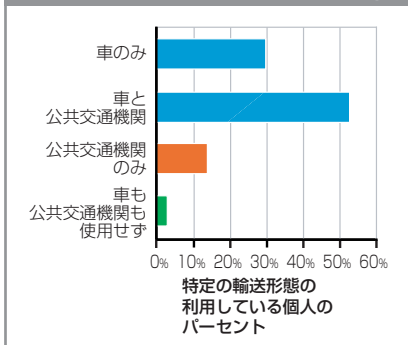
「カーシェアリング」は利用可能な車両を地方にある世帯あるいは商用利用者に需要ベースで提供するサービスである。支払体系については多少の違いはあるものの、カーシェアリングの利用者は一般に利用時間や走行距離に応じて支払いを行う。また、利用料金を通じて、顧客は業者に対して車両の購入あるいはリース、燃料、車両メンテナンスおよび清掃、駐車、登録、税、保険、およびこの事業の管理費を支払っている。サービスを頻

図4.18 移動目的別の輸送形態の選択：パリ（セントラル・パリおよびファーストリング）



出所：Renault Slides, p.4

図4.17 パリにおける人の輸送形態（セントラル・パリおよびファーストリング）



出所：Renault Slides, p.1

繁に利用者する前に、カーシェアリングの顧客、つまり「会員」は通常、運転歴、クレジット・請求に関する設定、情報セッション、それに鍵、コードナンバー、スマートカードの配布などの申請手続きを事前に受けることになる。

## 1. 起源

カーシェアリングの先駆にあたるものは、1948年のスイスの共同組合までさかのぼることができる。1980年代の後半に始まった新しいカーシェアリング事業（主に欧州）は、ここ10年間に複数の地域で本格化しており、中には急成長を遂げている地域もある。（Shaheen, Schwartz, and Wiprywski 2003）カーシェアリング団体の多くは草の根レベルから始まっている（そして終わっている）が、そうした団体は今日では、試験的に行われている研究プログラムであったり、小規模の非営利団体や、欧州、日本、カナダ、米国など複数の都市にまたがる民間ビジネス・ベンチャーであったりと幅広い。最大の団体としては、欧州のモビリティ・カーシェアリング・スイスとシュタットオート・ドライブ、カナダのコミュノート、米国のシティカー・シェア、フレックス・カー、それにジップカーがあり、それぞれが複数の都市でサービスを提供している。

すべてに当てはまるわけではないが、こうしたサービスの多くは、社会的、環境的な目標に基づいて、事業開始時あるいは現在も公共または民間からの寄付による支援を受けてきた。2002年6月に米国で立ち上げられたジップカーは、公的資金を受けずに営利ベースで成長している団体である。ボストン、ワシントンDC、ニューヨーク、チャペルヒルなどでの会員数は1万名以上、提供台数は250台にのぼり、さらなる拡大を計画している。（Grimes 2004）ジップカーの成長の規模は、1999年時点に米国のカーシェアリング団体全体でもわずか

1,600人の会員と115台の車両しかなかったことを見れば明らかである。（Shaheen, Sperling, and Wagner 1999）1987年に設立されたモビリティ・カーシェアリング・スイスは、世界最大クラスのカーシェアリング団体であり、現在52,000人を超える会員に、約1,700台の車両を提供している。（Car Clubs 2004）

## 2. 顧客の視点から見た利点

カーシェアリングには、自家用車の利点（融通性や快適さ）と公共輸送の利点（定額または無料の固定費、償却・保守の責任が低いまたは無いこと）の2つを併せ持つ。従来のレンタカーと異なり、カーシェアリングは1時間またはもっと短い時間でも利用可能であり、利用者に近い場所（あるいは乗換駅）に駐車し、インターネットか電話による予約以外の書類や管理を必要としない。<sup>39</sup>カーシェアリングは、高価な車両所有の固定費を複数の利用者に振り分けることができ、個人と商用利用者の双方にとって有益である。また、配達や商品の集荷、あるいはあらゆる人数の乗客やクライアントの移動のような、顧客の異なるニーズや希望に応じた車両の提供が可能である。

実際には、自分たちが所有している車両1台を利用するのではなく、顧客はより多くの車両を利用し、移動の際の特定のニーズに最適な車種の中から選ぶことができる。このような一般・商用利用者の両方に応えるサービスの車両利用効率率は、それぞれの需要配分がおおむね重複しないことから、改善されることになる。商用は日中の営業時間中に集中し、個人利用は対照的に夕方や週末にかけて多くなるためである。

カーシェアリングサービスは、特に年間の走行距離がそれほど多くない車両に代わるものとして、顧客にとっては非常に経済的になりうる。勿論、車両の維持費

は地域や利用者によって大きく異なり（通常、年間走行距離は1万Km程度）、正確な比較は難しい。カーシェアリングは、毎日の通勤に自家用車を必要としない利用者にとっては最適である。事実、多くの利用者が、カーシェアリングサービスが必要な時にそこにある「モビリティの保険」の一種として見ている。現在の一般利用者は高学歴で専門職に就いている人物であるという傾向にあり、このようなサービスが低所得者にモビリティ利用を拡大する可能性があるとしても、サービスの認知度の低さ、その地域における利用可能な車両台数の少なさ、あるいは必要な手続きや保証金といった、理解の妨げとなるものがいまだに存在していることが示されている。

研究の多くは、カーシェアリングの大部分は都市部の現象であると特徴づけている。これは、自動車を毎日必要としない人々にとっては、自動車を所有するよりも共有することの方が経済的に魅力的であるということの意味している。自動車以外の交通形態を利用し、非常に簡単にほとんどの活動場所に到達することができる都市の中央部ではとりわけこれが当てはまる。都市の周辺部になると、活動の場は近距離になく、また代替の交通形態も少ないため、自動車に依存することが多い。周辺部からの移動であれば、たいていは距離が長くなるが、そうすると費用はすぐにかさむ。従って、カーシェアリングは短距離あるいは中距離の移動に適している。また、都市の中心部には自家用車の駐車スペースが少ないため、特にカーシェアリングに適していると考えられる。そのため、車の利用だけでなく駐車スペースも保証しているカーシェアリングのシステムもある。40Kmを超える移動の場合は、レンタカーの方がより経済的な選択肢である。都市の周辺部で発達するカーシェアリング事業は、たいていは形式ばったものではなく、融通もきくため、しばしば2台目の自家用車を購入する代わりとなっている。



このような「公共の」近隣システムに加え、「閉じた」カーシェアリングシステムも存在する。「閉じた」システムでは、特定の集団が乗換点のような特定のモビリティに関するニーズを持つ場所で、そのサービスを提供している。カーシェアリングサービスは、個人車両の保有（あるいはリース）、タクシー、従来のレンタカー、そして公共および動力の付いていない輸送形態を含む既存の輸送インフラの補完という役割を果たすことができる。

カーシェアリングの中には、輸送と輸送をつなぐ追加的な「リンク」として機能するものもある。「第1リンク」であれば、ユーザーを玄関から公共交通が利用できる場所まで運び、「最終リンク」であれば、公共交通機関を降りてから目的地まで運ぶ。こう考えると、公共交通を補完するものとしての車両共有の位置付けは重要である。スイスやドイツには、公共交通機関とカーシェアリングが、発券とサービスが一元化された交通システムの一部となっている都市もある。さらに、費用のかかる駐車インフラに対するニーズを減らしたり、そうしたインフラの開発を遅らせることができる。米国と

欧州の研究者は、カーシェアリングの利用者の車両移動距離に驚くべき減少があったことを発見している。それによれば、年間の車両移動距離はほとんどの場合で30%~70%減少している。

### 3. 運営上の課題

カーシェアリングサービスの運営にはいくつかの課題があり、近年の急成長にも関わらず、その長期的な可能性はまだまだ不確かなものである。高い保険料、必要な会員数と車両の比率を見出し、維持することの難しさ、そして新技術に対する投資金額の高さの3つは、現在の問題点である。米国のカーシェアリング用車両のうち約30%がガソリンと電気のハイブリッド車や、電気自動車を含む代替燃料車となっている。こうした車両は利用が難しいため、カーシェアリングの取り組みの中には複雑になっているものもある。(Shaheen, Schwartz, and Wiprywski 2003)

いつ、どんな所でも車両の利用を保証することはもう一つの課題である。通常、カーシェアリングの会員は、車を受け取った場所まで返却に戻る。しかし、ある場所で車を引き取り、別の場所で乗り捨てることを認めるシステムでは、車両を配置し直すために何らかの方法が必要となる。これまでのところ、人がそうした車両の「ドライバー」となってきたが、それでは運営費が大幅に増大してしまう。車両の再配置の必要を極力なくすために、ITSに基づいたさまざまな手法が検討されている。最終的には、受け取り場所の間を車両の電子配備を行うことで自動的に再配置することが可能になるかもしれない。

カーシェアリングは、先進国と発展途上国ではまったく異なった課題に直面している。先進国で課題となっているのは「共有車両」のイメージを変える方法を探ることである。そのためには、カーシ

ェアリングが自家用車のデメリットを解消できることを示さなければならないし、また移動のための適切な選択肢が存在しない場所においては公共交通機関のようなサービスを提供する必要もある。一方、発展途上国においては、カーシェアリングそのもののコンセプトを示し、技術的、商業的な可能性のあるものであることを証明するための試験的なプロジェクトが必要となる。

近年のめざましい成長にもかかわらず、カーシェアリングが世界の車両移動距離に占める割合はごくわずかで、どの地域でも1%に満たない。しかし、第3章（および下記）に記載されている技術のいくつかがこの輸送コンセプトに応用できるようになれば、変化が起こるかもしれない。

## C. さまざまな新技術を組み込んだ全く新しい解決策

今後50年のうちに、全く新しい輸送問題の解決策が出現する可能性がある。これらは、完全に新しい輸送形態を提供するか、既存の輸送形態を利用して新たな組み合わせを作り出すかのいずれかになると思われる。モビリティの需要と政府からの支援、必要な技術の利用可能性、あらゆるステークホルダーにとっての経済的なメリットなどが組み合わせられて、新しい解決法が現在の解決法よりも魅力的なものになった時に、それは実現する。

全く新しい輸送問題の解決法は、一夜にして出現するものではない。2030年以降に利用可能にするためには、すぐにも開発に着手する必要がある。一般の承認を受け、試験計画を組み立てる前に多くの課題を解決しなければならない。その間、先進国および発展途上国のステークホルダーは、コスト、インフラ、信

頼性、地理的応用および物流などの分野における異なる要件を認識するようになると思われる。

サイバネティック・トランスポート・システム（CTS）は、完全に自動化された運転機能を持つ道路車両で構成される。このような車両が、オンデマンドおよびドア・ツー・ドアの機能を持つ道路網上で、乗客および物の輸送システムを形成する。全車両は、特定の環境における特定の需要を満足するために、中央管理システムの管理のもとに置かれる。車両の大きさは、特定の用途に従って、1シートから20シートまでの幅がある。サイバネティック・トランスポート・システムは、PRT（パーソナル・ラピッド・トランジット）に近いが、通常の道路インフラで走行できるため、より安く、融通が利くという利点がある。既存の技術によって、相対的に廉価な「グリッド」を、サービスの対象となる地域に広げることができる。ソフトウェアが全車両のルーティングおよび管理の原動力となる。

このようなシステムの可能性は大きい。これは高品質の公共交通サービスである。オンデマンドで、ドア・ツー・ドアのサービスを提供する潜在性は非常に魅力的である。さらに、公共交通の最も費用のかかる要素であるドライバーを代替することができる。最後に、もしこのような車両がグリーンで静かであれば、都市部におけるこのようなシステムの実現は、同時に従来型排出物、騒音、渋滞を減らし、一般的に都市の暮らしやすさを改善する。CTSは、運転できない人や自家用車を持たない人にとっての利用可能性とモビリティ需要に真の解決法を提供する。とりわけ高齢者、障害者はCTSを利用して移動することができる。

3,000人以上から回答があったサイバームーブ・プロジェクト（www.cybermove.org）のインターネット調査では、

回答者の大部分（80%以上）が、特に現在の駐車場の問題が解決する可能性があるという理由から、完全に自動化された車両を利用するつもりであることが示されている。（Janse et. al. 2003）例えば、オランダのスキポール国際空港やカッペル・アーン・デン・エイッセルでこのようなシステムを実現している技術が存在する。より高速かつ低費用の要素によりこのようなシステムの性能を向上するには、さらなる技術的改善が必要である。

その可能性にも関わらず、CTSの普及への道のりは遠いように思われる。大きな障害は、法律および責任上の問題、それに一般の人々による受け入れに関わるものである。例えば、国連のウィーン条約やあらゆる国の交通法規では、公道を走行する際ドライバーは常に自分の車両の制御が求められている。

自動運行センサーが可能な車両では、障害物検知および車両コントローラーが、車両の運転時に人間が使う主な機能、すなわち監視、分析／決定、実行などを代行する。今日では、そうした「代行」が認められる条件を決定するような基準は存在しないが、サイバーカー、サイバームーブ、リスponsなど、欧州でのプロジェクトがこの課題に取り組んでいる。

一般に受け入れられるためには、CTSを既存の交通システムに組み込む必要があるであろう。その実現には、CTSはエンドユーザーとシステム運行者のニーズを満たさなければならない。サイバーカー、サイバームーブなどのプロジェクトでの最近の研究により、こうしたニーズにはどのようなものがあるかを大まかに把握できるようになった。システムの利用者にとっては、ニーズとは、駐車の問題や、駐車場から市の中心部の史跡やビジネスの中心部への移動手段などの課題を「解決する」ということを意味するが、システムの運行者にとっては、それ

は、既存のインフラを活用し、システムの柔軟性を向上することにより、コストを削減することを指している。

CTSを実施するには特定の地域の利用者の輸送ニーズを調査し、単に「乗車」だけでなく実用的な輸送サービスを提供するシステムを設計しなければならない。それには輸送システムの利用者に、単一輸送形態中心（自家用車の利用がほとんどである）からマルチモーダル（旅行などに公共交通機関を利用し、自家用車を家に置いてくる）、さらにインターモーダル（「日替わりで」最適な輸送法を決定する）に発展していくよう促進することを意味する。そうして発展していけば、利用者は必ずしも自動車を好まなくなり、基本的なモビリティ需要にはトランジット・バスを利用したり、トランジット利用で割引を受けるために先払いをしたりするようになるかもしれない。2次的な応用方法としては、CTSが駐車場の問題など特定のニーズに、実的な形で取り組むことで、一般に受け入れられるための足がかりを得ることができるような、たいていの都市部におけるニッチ利用が挙げられる。

## D. 人の生活パターンに沿った新たな輸送システム

都市部の様式は、輸送需要全体やそれを満たすために利用される輸送サービスの混合形態の両方に影響を与える。ただしこの逆も言える。つまり輸送システムの特徴が都市の様式に影響を与えるのである。事実、20世紀に世界の都市部を形成してきた第一の原動力は自動車とトラックであったという議論もある。

「これまでの輸送の革新同様に重要なのだが、自動車は今までの何にも増して、都市により劇的な影響を与えてき

た。また、これまでの輸送革新とは異なり、自動車は歩行という移動方法をほぼ完全になくすことにより、都市を根本的に再構築した。1900年に路面電車を利用した人々は、路面電車の停留所から自宅や職場まで歩かなければならなかった。そのため、会社や自宅は、公共交通駅の周りに集まることになった。自動車の登場以前は、日常的なショッピングなどの仕事に関係しない活動は、徒歩で行うのが普通だった。従って、店舗、学校、レストランも消費者が歩いて行ける距離内になければならなかった。公共交通は消費者が職場から離れて暮らすことを可能にしたが、それでも人々は密集して住まなければならなかった。自動車はこれを変え、結果として都市生活をこれ以上変えようがないほど永遠に変えてしまった」(Glaeser and Kahn 2003)

上記の最後の文章の著者は、自動車の都市生活に対する影響をほぼ肯定的に考えている。しかし、反対意見もある。実際、輸送や都市の計画者の中には、都市部のモビリティがより持続可能性の高いものになるためには、都市部の自動車が現在担っている役割をはっきりと削減し、発展途上国の急速に成長している都市部が先進国のほとんどの都市部と同じように自動車に依存するのを防ぐべきだと強く主張する者もいる。そのような人々は、人の健康に対する大きな懸念としての輸送関連の従来型排出物が削減され、GHG排出量の大きな原因である輸送が大幅に削減され、交通事故に関連する死亡・重傷がどこでも大幅に削減される可能性があるとしても、このような結果を支持している。

このような考え方の背後にある論法は次のように要約することができる。モビリティは、利用しやすく、手頃な価格で入手できるようにならなければ、(および、他の目標も達成しなければ、)持続可能なものになり得ない。しかし、利用しや

すさと価格の手頃は、公共交通機関が簡単に利用できない限り、達成することができない。公共交通機関は、人々が地理的に分散していると、簡単に利用できない。公共交通機関の実行可能性を損なう地理的分散を可能にし、それを促進するのは自動車であるということを考えると、自動車への依存を大幅に削減しなければならない。

このような限定的な結論がどうやって達成できるかということが、この考え方をもつ都市計画家の中にある反対意見の原因である。あるグループは、「適切な」土地利用の方針を確立することに答えている。そのような人々は、次のような方針を主張している。

- 既成市街地の密度を上げて、移動の必要を下げる。この考え方によれば、人や活動が密接するほど、移動距離が減り、後ろ向きの交通に関する外部効果が減る。また、移動距離が減ることで、ピープルムーバーのような新交通システムを可能にする上でも役立つ。住居、ショッピング、そして働く地域を混合することで、移動距離も少なくなる。
- 人々が住む場所の設計を変更する。区域はしばしば自動車利用者のために設計されている。開発の間、非モータリゼーション形態(自転車利用や徒歩)、公共交通、新モビリティ・システムのような代替交通形態に対してそれほど注意が払われない。この考え方によれば、これらの交通形態に対して短く、より魅力的なルートを提供することによって、このような形態の活用を刺激することができる。
- 新しいモビリティ・システムを刺激する上で役立つように、地域のアクセシビリティを変更する。ストックホルムが賞賛されているのは、住民の大部分に代替交通形態に対する最適のアクセ

スを提供するよう、公共交通システム周囲に既成市街地が束ねられているからである。このことによって、ストックホルムが自動車による移動に対する質が高く、競争力のある代替案を探ることができ、そのすべての住人に対して、モビリティの機会を維持している。(TNO 2004)

自動車の利用を管理することを期待する者は、土地利用政策が、コミュニティの自動車に対する依存度を上げる上で効果的であることが証明されたことはないと主張する。車両所有権や利用に対する直接的な管理が必要だと考えているのである。この見方は次のようにまとめられている。

- 土地利用及び交通政策は、自動車による移動の魅力を増やす(すなわちより高価あるいは遅くする)場合のみ、持続可能な都市交通(移動距離、移動時間の短縮および自動車移動の割合の削減)にとって欠かすことのできない基準に関して成功を収めることができる。
- 自動車による移動をより高価あるいは遅くするための措置を伴わない、都市の人口密度あるいは混合土地利用を上げる土地利用政策は、人々はその移動費および移動時間の予算範囲内で長い移動を最大化し続けるために、ほとんど効果はない。ただし、このような政策は、将来的な自動車に対する依存度の低い都市生活への前提条件を与えるという意味で重要である。
- 公共交通の魅力を増加させる交通政策は、一般に自動車による移動の大幅な削減には至っておらず、公共交通駅の開発もほとんど引き起こしてはいないが、さらなる人口の郊外化には貢献している。(TRANSLAND 1999)

SMPが知る限り、このような観点のいずれかの妥当性を判断するための制御実験は実施されたことがない（もしくは、おそらく実施できなかった）。「天然の実験」に最も近いものは、ここ数10年間に渡って個人の自動車所有および利用を思いとどまらせるというシンガポールの取り組みであると思われる。

シンガポールの経験を検証する中で、Willoughbyは、土地利用の方針と輸送方針のいずれもが、それ自体では自動車の所有と利用を思いとどまらせるために不適切であったと結論付けた。シンガポールは、モータリゼーションを極めて低いレベルに抑えるために、結果として住民のほとんどが高層ビル群で暮らすことになる厳しい土地利用の方針と、個人の自動車の所有と利用に対する厳しい課税の両方を求めた。(Willoughby 2000) シンガポールは、自動車の所有を富裕層にのみ制限した。公共交通システムは極めて快適かつ安価である。

しかし、ほとんどの人々にとって、それは代替手段でしかない。

シンガポールは、広い都市部の生活および勤労パターンを現在の公共交通機関技術の制約に合わせるという幅広い社会政策を活用した極端な例である。しかし、それは、利用しやすく価格が手頃なモビリティは社会が自動車へ過度に依存することと両立し得ないという論争の当然の結果である。

SMPは、自動車への依存度を徹底的に低下させるよりも、社会は上述のような都市部（都市の中心部または通常それを取り囲む郊外地区）の住人が利用できる選択肢の幅を増やすなどのアプローチの活用を促進すべきであると考えている。これに加えてそれらの選択肢に適切な価格設定をすることにより、それぞれの選択肢が最適な目的のために利用されることが保証されるだろう。

## E. まとめ

大幅なモビリティ機会の改善の実現を目指している地域だけでなく、既に高いレベルのモビリティ機会を享受している先進国と発展途上国のどちらに対しても、新たなモビリティの選択肢の試行を奨励していくべきである。これらは、カーシェアリングやバス高速輸送などのようなシンプルなものである場合もあるし、自律走行車両や自動高速道路のような複雑なものである場合もある。可能な範囲内で、新たなモビリティの選択肢は、輸送システムの柔軟性を高めるように設計されるべきである。社会の目標は、人々の望む生活パターンを輸送システムに合わせるのではなく、輸送システムを人々の望む生活パターンに合わせることにすべきである。







## 「積み木（基本要素）」、「てこ（誘導・促進策）」、「制度的枠組み」の役割

上述の目標を達成するためのアプローチを解説する中で、我々は、民間企業、さまざまなレベルの政府、個人など、さまざまな利害関係者（ステークホルダー）が果たすと思われる役割を示してきた。この章を終えるにあたり、我々は、さまざまなステークホルダーが目標の達成をどのように補強するか、あるいはその勢いをどのように弱めるかということについて考察する。これを実行するために、我々がこれまでに使用してきた用語の意味を確認しておく必要がある。

前章で、「積み木（基本要素）」とは、もし効果的に活用することができれば、変化を生み出す可能性のある何かであると定義した。我々が主に取り上げた積み木とは車両技術や燃料に関するものだが、積み木だけでは何もできない。動かすには、「てこ（誘導・促進策）」を利用する必要がある。「てこ」は、価格、自主合意、規制、補助金、税、インセンティブ等の政策手段であるか、あるいは社会の根本にある姿勢や価値の変化である。この章では、てこについての説明をし、その効果について明らかになっていることを記載してきた。第3の要素、「制度的枠組み」は、特定の社会を特徴づける経済・社会・政治的な制度から成る。これらに関しては我々の考察の中で、速度カメラのような「おしつけがましい」交通安全の執行方針や、車両の自己診断シス

テムにより不法なレベルの従来型排出物の排出を規制当局に報告するなどの方策を受け入れることに対する意欲には、社会によってバラツキがあるということを示述べてきた。ここからは持続可能なモビリティを追求する上で不可欠なこれらの要素にさらに注目してみたいと思う。

なぜ、制度的枠組みに関する懸念があるのだろうか？「制度とは、ある社会におけるゲームのルールである。つまり、改まった言葉で言うと、人間が考案した、人間同士のやりとりを形成する制約のことである。結果としてそれらは、政治的あるいは社会的、経済的、いずれかの方法で人間の交流における動機を構造化するものである」(North 1990) 我々の特有の状況下では、制度は、国や地域が持続可能なモビリティの目標に優先順位を付け、どの目標の達成を目指していくのか、どの「てこ」が特定の目標達成に用いる上で受容できるか、どれだけ集中的にこのような「てこ」を使用することができるか、そしてその使用に対して課せられる制約は何であるのかなど、国や地域の判断のよりどころを決定するものである。つまり、制度とは、持続可能なモビリティが達成できるかどうか、またどのように達成できるのかを最終的に決定するものである。

『Mobility 2001』では、制度的枠組

みの重要性は次のように強調されている。

「モビリティを持続可能にするための課題についてのおおかたの議論は、もっぱら技術が果たしてくれるであろう役割に集中する傾向がある。われわれは、エネルギー効率の高い「スーパーカー」、石油ベースでなく水素ベースの輸送燃料システム、そして比較的少量のエネルギーで人々を都市間で高速輸送する磁力浮上列車を想像する。われわれは、運転している時にどのように渋滞を避けるかを教えてくれたり、自分が使っている個人用モビリティにかかる社会全体のコストを自動的に徴収してくれるような情報通信技術に思いを巡らす。

このような技術的可能性がどのように興味深く見えようとも、実際にはもっともっとありふれたものが、モビリティ・システムの変化の速度と方向を決めることを歴史が示唆している。このありふれたものとは制度・機構の能力である。政治制度・機構は、助成金、法規や競争相手からの保護策を通して、どの交通形態が好ましいかを決定する。また政治制度・機構は車輛の動力用として使われる燃料の種類とコストを決める。政治制度・機構と社会制度・機構は、交通インフラを建設できるかどうか、どこに建設できるか、ど

の位の期間がかかるか、また建設コストがいくらか、について膨大な影響力を発揮する。経済制度・機構（大企業を含む）は、変化を奨励するための先導的役割を果たすこともできれば、その足を引っ張って変化を困難で費用のかさむものにすることもできる。」  
(Mobility 2001 pp. 7-9)

制度的枠組みは、社会のモビリティの選択肢にさまざまな形で影響をもたらす。政府による長期的手法の策定能力とそのような手法を実行する公約の信頼性に影響をもたらす。社会の法や規範を守らせるために政府がとりうる手段、そしてこのような手段の使い方に影響をもたらす。成功する上で複数の国家の合意と協調行動が必要となる政策や手法を政府が実施する可能性や実施そのものに影響をもたらす。ある製品やサービスの社会的受容性、このような製品の使用に関する異なるパターン、および異なるパターンの許容範囲に関する社会的受容性を定める。望まれる結果を達成するための、社会のさまざまな構成員に対する責任や費用の分担に影響をもたらす。幅広いステークホルダー全般にわたる自発的協力を促すことも思いとどまらせることもある。

持続可能なモビリティの達成には、人や物の輸送システムや、社会がどのようにそれらを利用するのかについて、大きな変化が求められることになるかもしれない。このような規模や種類の変革を行うことは、社会の政治、文化、経済制度に対して大きな圧力を与えることになるかもしれない。たとえば、手法によっては、以前には「非現実的」または「政治的に受け入れがたい」と思われていた対策を政府が実行するよう要求するかもしれない。きわめて長期的な（50年以上の）取り組みを政府に要求するであろう。自動車の使用について、過去には受け入れがたいと考えられたレベルの政府の介入を受け入れるよう一般社会に要求するか

もしれない。前例がない、賛成しがたいと考えられている歳出の項目や金額、例えばインフラのための項目や金額を受け入れるよう一般社会に要求するかもしれない。一部の階層の人々を他より明確に優遇するよう要求するかもしれない。従来の法的権利に対する制限を受け入れるよう一部の社会層に要求するかもしれない。一部の社会が過去には受け入れがたいと考えられた形で他の社会と協力するよう要求するかもしれない。ある製品の従来の購入および使用パターンに大きな影響を及ぼす（または、そうしたパターンを完全に消滅させる）かもしれない。

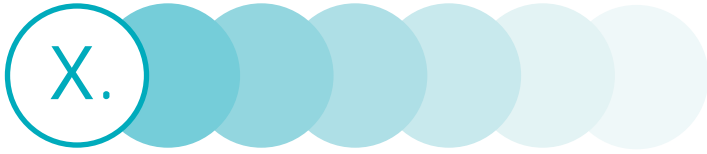
異なる社会がこうした変化の経験に耐えるか（または耐えようとするか）ということの保証はない。その達成が重要であると社会が宣言した目標と、目標達成に必要な「てこ」を採用する意欲（もしくは能力）との間にずれが生じた場合は、ジレンマに陥ってしまう。「絶対に無理だ」と、目標の達成を放棄するような態度を変えさせる施策や活動を宣言することができる。さまざまな団体にとっては受け入れることが「困難な」施策を取って実行し、その既成事実を背景に受け入れを促すよう努める（もしくは強いる）ことも可能である。また、施策を実施する前に、宣伝、施策策定に携わる幅広いステークホルダーの関与、実際の、またはそうであると考えられている「敗者」への補償の合意等を通じて、その受容度を変化させるよう試みることもできる。

持続可能なモビリティの達成に向けては、制度的な枠組み、車両技術や燃料の本来の可能性、また特定の政策での「てこ」や行動に関する理論上の「有効性」と「無効性」に注意を払っていく必要がある。2002年7月に発表されたインタビューで、INRIA（フランス国立コンピュータ科学／制御研究所）のMichael Parent所長は、この課題を以下のように特定している。

「障壁は技術的なものではなく、むしろ規制上のものだ。規制環境は、その性質から、常に技術革新の後を追うことになる。例えば、フランスの現行法では、運転者がその車両に対して責任を負うことになっている。もし車両自体が自動走行するようになったらどうなるのだろうか？それから、自動化した車両を都市部で走らせる場合、従来の自動車の利用は制限されることになるだろう。これは特にラテン的な精神性にとって極めて重要な移動の自由という考えを侵害するものとなる」  
(Renault R & D Review 2002)

制度的枠組みの違いにより、異なる国々あるいは国々の連合は異なる方法で我々が言及してきた目標にアプローチするようになるであろう。場合により、特定の目標の達成に対して、まったく違う優先順位を付けるかも知れない。あるいは、まったく違う「てこ」を用いて、既定の「積み木」を扱うことも考えられる。

第1章では、このような差を調整できる範囲を概説した。我々は、輸送関連の騒音の低減や渋滞の緩和などの目標を、その目標に対する重要性和採用されるであろう「てこ」の両方において、大幅な違いが生じる余地があるものとして取り上げた。GHGの抑制は、最も許容範囲が狭い目標であると特定されている。世界規模のGHGを自分達だけで抑制できる国や地域はない。世界規模の抑制に至らない対策では、地球規模の気候変動を緩和するために必要なGHGの安定化レベルを実現できないと思われる。GHG排出量を抑制するためにどのような「てこ」を活用したいか、それらの「てこ」をどのように適用するかという点で、国や地域によって差が出てくるのは当然のことと思われる。しかしながら、この場合、何らかの形でグローバルかつ国際的なコミットメントが不可欠であると思われる。



## 我々企業の目標達成に向けた貢献

本報告書に記載された問題のほとんどは、我々の企業にとって目新しいものではない。報告書が示すように、我々は、輸送関連の従来型排出物を削減するために、燃料や車両技術の提供において大幅な進展を遂げており、先進国におけるこれらの懸念を払拭するところまで来ている。我々企業はみな、車両の予防安全システム、教習所などでのドライバー訓練プログラム、ドライバー、乗員および歩行者を対象とするさまざまな教育プログラムなどを通じて、道路安全の課題に取り組んでいる。

我々は、自身の事業活動から排出されるGHG排出量の削減だけでなく、顧客が製品（燃料や車両）を利用する段階から発生するGHG排出量の削減に向かって進んでいる。これはより挑戦的な課題であり、GHGに関する状況はさらに複雑な様相を帯びている。基本的な目標は、カーボンニュートラルとなる将来的な燃料・車両の開発に取り組みながら、製品の燃料消費を削減することである。これは、競争と協力という2つの性質を併せ持つ分野だが、我々企業は、例えば、カリフォルニア燃料電池パートナーシップなどの共同イニシアチブや、先進国と発展途上国の双方における水素や燃料電池車の実証プロジェクトに参加している。

しかし、我々の社会における輸送の重要性の高さと、輸送に関連した事項が社会のほぼすべての出来事に何らかの影響力

を持っているという事実を考慮すると、多くの分野において我々が自力で対応できる力は、極めて限られている。

従来型排出物の抑制に関しては、我々は車両の排出物制御装置の効率と信頼性を引き続き向上させていくことができる。「ハイ・エミッター」車両を突きとめ、それらの車両の修理または利用停止を求める積極的な取り組みを促進することもできる。発展途上国では、排出物制御装置のコスト削減と、メンテナンス不足や品質の悪い燃料に対するこのような装置の「頑強さ」の向上に努めることができる。また、追加コストの削減と、必要な燃料の利用可能性の改善に取り組むことも可能である。我々としては、顧客に対して、車両を正しく整備したり、従来型排出物の排出量がより多い車両を廃棄し、より少ない新車に買い替えたりするように強制することはできない。それができるのは政府だけである。また、それを実施するか否かを決定する上で、政府は排出物制御の効率だけでなく、より多くの要因を考慮しなければならない。

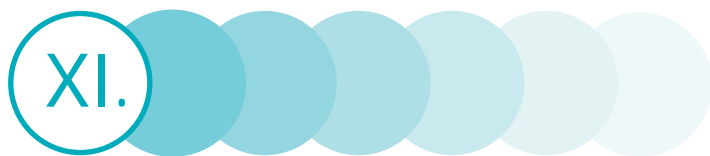
輸送関連のGHG排出量を持続可能なレベルにまで削減するという目標の達成における我々の役割も、同様に限られている。我々は、主流技術の改善と新技術の開発および採用を継続することができるし、それを実行していくつもりである。しかし、ビジネスの観点からすると、顧客が欲しがらない車両の生産や、需要が

ほとんどあるいはまったくない燃料の生産、供給は難しい。道路車両から出るGHG排出量削減に必要な車両や燃料のコストが、顧客が進んで支払う額を超えてしまう場合、または削減のために取るべき措置が社会から求められる場合、我々がこれらの車両や燃料を利用可能なものとするように、企業または顧客に対して必要な促進策を提供するのは政府の役割である。我々は、公の論議へ参加し、政府による促進策の採用を促し、政府が効果的と思われるものとそうでないものを把握するための支援を行うことができる。先進的な技術および燃料に関する限り、我々は力を合わせ、政府とも協力して、技術的に実現可能な事項に関する理解を高め、本報告書で先に述べたような技術的、経済的な不確定要素の軽減に取り組むことができる。

道路安全に関しては、我々は適切かつ効果的な安全関連の車両技術の採用を支援することができる。また、道路交通法のより積極的な執行を奨励することもできる。ドライバーにはより安全な運転法を、交通弱者に対しては身を守る方法を教育するプログラムを実施することができる。また、自動車を交通弱者から隔離したり、路面と現地の状況に適する車両速度を促すように設計されたインフラの建設を支援したりすることもできる。しかし、既に述べたように、排出物の抑制と違い、顧客の製品の使い方から起こる安全面の問題は我々の管理の及ぶものでは

ない。我々の影響力が限られている最も端的な事例は、上述したモビリティ機会の格差の縮小に関するものである。我々は、最貧国の農村部に暮らす住民が基礎的な道路を利用できるように、世界銀行などの機関による取り組みを支援することができる。しかし、これらの道路自体を提供することはできない。我々は、都市部におけるモビリティ機会（カーシェアリング、パトランジットおよび新たなモビリティ・システムなど）の改善を目指す手法を奨励する努力を支援することができる。しかし、社会がこのような手法を採用するか、採用した場合にそれが成功するかどうかという点に関しては、我々が行使しうる影響力はほとんどない。

アリング、パトランジットおよび新たなモビリティ・システムなど）の改善を目指す手法を奨励する努力を支援することができる。しかし、社会がこのような手法を採用するか、採用した場合にそれが成功するかどうかという点に関しては、我々が行使しうる影響力はほとんどない。



## 将来に向けて

本プロジェクトの参加企業は連携を取り、より持続可能性の高いモビリティのパターン実現に取り組むに当たり、対処すべき主要な分野についての理解を深め、どこに解決策があるか、それを実現するために何を実行しなければならないのかという判断力を向上させてきた。

本報告書の重要な目的のひとつは、企業内で持続可能なモビリティのテーマを推進するきっかけとなることである。また、報告書の発行に先立ってその研究の結論を検証するにあたり、各企業は、各自が既に参加している広範囲かつ多種多様な活動を超えて、目標に照らした進捗を促進するために何ができるかということを考察した。機会があるのは明らかだが、それらは企業内および他者との幅広い協議の結果もたらされるものであるべきというのが賢明である。したがって我々は、

社内および幅広いステークホルダーとの対話を実施し、我々の活動のどこに、どのように重点を置くのが最適であるかを決定する必要がある。我々は、本報告書が提示する緊急課題と機会の両方を認識しており、全力でこれを実行するつもりである。報告書内の目標では、検討すべきさまざまな時間枠と選択肢に注目し、それを認識することが肝要であることが明確に提示されている。

本報告書自体に加えて、我々は、取り組みの指針の一助とするために利用したシナリオなど、報告書を作成する中から得られた基本研究や資料の公開に向けた準備を進めている。（これらのシナリオに関しては、報告書の第2章の終わりに要約を記載している。）また、IEAと共同で開発した表計算モデルおよび説明資料の公開に向けた動きも進行中である。こ

れによって他の皆様がさらなる研究に着手するための基盤を提供できると考えている。

本報告書の「序」の中に各企業のCEOが指摘したとおり、モビリティの促進は社会の発展にとって不可欠であるが、それには解決しなければならない一連の影響が伴う可能性がある。これまでに多くの事柄が達成されており、現在我々は持続可能性のさらに高いモビリティを達成するための課題に対し、より良い解決方法をより明確に把握するための取り組みを進めている。本プロジェクトの成果は、我々にとって重要な貢献となるだろう。また、他の皆様に対する貢献にもなれば幸いです。明快な進歩を実現するために、他の皆様と協力できることを期待している。

<sup>1</sup> 分析によっては「ハイ・エミッター」車両に異なる定義がなされている。米国EPAは、「ハイ・エミッター」車両を、認証を受けた基準の2倍以上（ある従来型排出物については3倍以上）の排出レベルにある車両と定義している。Stedman教授らによる研究の中では、車両の中の「最も汚れている10%」を「ハイ・エミッター」車両と定義している。

<sup>2</sup> メキシコシティ都市部の課題については、MolinaおよびMolinaの出版物に詳しい記述あり。

<sup>3</sup> メーカーが販売する車両が排出基準に適合していることを保証しなければならぬ距離や期間は、非常に長くなっている。保証期間中に基準を適合しない車両の修理は、メーカー負担で行われなければならない。

<sup>4</sup> 2年前のThe Wall Street Journal紙によれば、頻繁に故障するという理由で、中国中部のさる名士が自分のSLK230メルセデスベンツに大ハンマーを叩き付けたという。メルセデスベンツ側は悪いのはガソリンの品質であると主張している。(The Wall Street Journal, December 11, 2003)

<sup>5</sup> 我々は、ここでは一般市民のことを取り上げている。さまざまな理由から、これらの追加コストを負うことを選択する人がいる可能性がある。しかし、これが人口の大部分に当てはまらなければ、またこの意欲が無期限に続くことがなければ、輸送関連のGHG排出量の大幅な削減は実現しないだろう。

<sup>6</sup> このような問題を調査した研究の最も完璧な概要はオンラインTDMエンサイクロペディアのウェブサイト (<http://www.vtpi.org/tdm/>) で閲覧できる。

<sup>7</sup> Automotive News紙によれば、2003年の秋現在、「中型のディーゼル車は、ガソリン・エンジンを搭載した車両と比較して、平均約1,087ドル高い」「ディーゼルに関する議論は、欧州ではいまだに白熱している」(Automotive News, September 8, 2003, page 20D)

<sup>8</sup> フランスでは、ディーゼル減税の主な目的は、業務の過程で一般的なドライバーよりもはるかに長い距離を移動しなければならない人々が直面している高いコストを相殺することであった。当時、ほとんどの軽量ディーゼル車は小規模の経営者によって所有、運用されていた。

<sup>9</sup> 『Bright Future of Diesel Engines Forecast』で引用された調査報告『Global Markets for Diesel Powered Vehicles to 2015』より、just-auto.comのウェブサイトに2003年9月15日付で掲載。

<sup>10</sup> 1980年代中頃ブラジルで生産された新車の約75%はアルコール燃料車だったが、補助金が廃止となってから急減した。それでも1998年時点で、アルコール燃料車は約450万台、アルコール24%ガソリン76%の混合燃料車が1,675万台ある。(Ribiero & Younes-Ibrahim, 200?)

<sup>11</sup> ブラジルでは、雇用創出と外貨節約はアルコール燃料プログラムの結果と分析している

<sup>12</sup> 「大衆車」は排気量1.0リットル以下の車。

<sup>13</sup> 基準を超過したメーカーには「繰り戻し」または「繰り越し」による支払猶予が認められる。ただし限られた年数のみ。

<sup>14</sup> 過去15年ほどの間、米国の顧客は、燃費の向上ではなく、性能の改善やその他の自動車の特性について年間に利用できる効率改善のほぼすべてを手にするを選択してきた。

<sup>15</sup> 基準車両は、ポート噴射式火花点火ガソリン・エンジンを動力とする2002年型コンパクト欧州セダンである。この車両の小売価格は、18,600ユーロと想定されている。

<sup>16</sup> この研究の著者は、専用の燃料インフラが必要な場合、EU-25カ国の全車両の約5%に対して適切な燃料を利用できるようにするための、別の供給方法を必要とする代替燃料をEU-25カ国内のガソリンスタンド（約20,000カ所）で供給できるようにする必要があると仮定している。

<sup>17</sup> 図3.3より、これらの技術を使い水素を利用する車両からのWTWでのGHG排出量は現行のガソリンICE車やディーゼルICE車とほぼ同じであることを考慮していただきたい。

<sup>18</sup> この数字は、欧州の資源を特定する英国の研究に基づくものである。したがって、エタノール生産のためにブラジルで使用されたサトウキビは含まれていない。

<sup>19</sup> 輸送活動の成長により、予想される増加の100%以上が説明される。輸送車両のエネルギー効率について予想される改善は、輸送活動の成長による影響の一部を相殺する。輸送用燃料のGHG排出特性の変化は、その規模が小さいことから、ほとんど影響を与えない。

<sup>20</sup> これは価格戦略が短期的には相当の渋滞緩和を生み出すことができるという調査結果に矛盾するものではない。後述するが、渋滞は一般に総需要が過大であることを示すのではなく、むしろ特定の時点で、特定のインフラの要素の利用に対して需要が過大であることを示している。需要のタイミングをずらしたり、輸送活動の全体量に大きな影響を与えずに、インフラの要素の能力を実効上高めるために価格戦略を活用することができる。

<sup>21</sup> 道路以外の輸送（空、水、および鉄道）が輸送関連のCO<sub>2</sub>排出量の残りの4分の1を占めている。SMPの基準ケースでは、このシェアは、2050年までに約30%以上にまで増加すると予測されている。

<sup>22</sup> 重量トラックおよびバスの大部分が既にディーゼル駆動となっている。我々は、重量トラックおよびバスの操作特性により、ハイブリッド技術はこれらの車両ではそれほど利用されないと考えている。第3章で考察したように、公共交通機関のバスは既にハイブリッド化の第1候補と見られている。これらは我々の計算には含まれていないが、それを省いたとしても結果にほとんど差は見られない。

<sup>23</sup> 我々は、ハイブリッドについて行ったように、燃料電池が応用できる可能性のある車両の種類に関しても同様の仮説を立てた。

<sup>24</sup> ガソリンICE技術と比較した燃費のメリットは、ディーゼル・ハイブリッドが36%、ガソリン・ハイブリッドが30%、燃料電池車が45%と推測された。

<sup>25</sup> この研究では次のように述べられている。「分析の中で考察した3種類の車両（水素、従来型ガソリン、ガソリン・ハイブリッド車（GHEV）の車両コストという観点で、この委員会は同程度の性能の車両には同程度のコストがかかるかと推測した。このコストの均等化は自動車業界の目標である。しかし、この推測を作成するにあたって、委員会はこの目標が達成されるかどうかという独自の分析または予測を行わなかった。この3種類の車の均等化を想定することの利点は、それによって、現在行われている車両の開発の成否について判断することなく、燃料供給システムを厳密に比較できるという点である。しかし、ハイブリッドまたは従来型車両の経済性と比較した水素経済の総コストはまだ不確定なままである」

<sup>26</sup> ディーゼルは本質的にエネルギー効率に優れているため、一般的にはディーゼルのハイブリッド化から得られる付加的なメリットはガソリン・エンジンのハイブリッド化から得られるものよりも少ないと認知されている。

<sup>27</sup> これらの先進バイオ燃料は、リグノセルロースを含む砂糖由来するガソリンまたはバイオマスの気化/FT合成から生産されるディーゼルという意味である。

<sup>28</sup> これまで同様、ここでは全てのGHGの排出量はCO<sub>2</sub>等価量で測定されることを前提としている。

<sup>29</sup> SMPがアドバイスを求めた外部の安全に関する専門家は、オランダ、SWOV道路安全調査機関のMatthijs Koornstra博士、米国サイエンス・サービス・ソサイエティ会長のLeonard Evans博士、インド技術研究所、輸送調査および負傷防止プログラムのDinesh Mohan教授であった。

<sup>30</sup> 最新の米国のデータ（2003年）によると、車両乗員の約30%がシートベルトを着用していた。しかし、死亡事故の犠牲者の約60%が着用していなかった。（The Wall Street Journal, April 29, 2004）

<sup>31</sup> これらは、表2.3の「グループ8」の国々—英国、スウェーデン、オランダ、ノルウェーである。

<sup>32</sup> 1996年の報告書では、国際オートバイ製造者組合（IMMA）は、欧州ではオートバイの35%、原動機付き自転車の65%に違法な後付け排気管を搭載しているか、既存の排気システムを違法改造していると推測した。このような車両の大部分は、法定の騒音限界を10~15 dB（A）上回って走行していることが分かった。報告書では、欧州の自動2輪車の騒音は7倍になると推測した。（IMMA 1996）

<sup>33</sup> 容量の増加のどの程度が相殺されるのか、およびそれがどのくらいの期間で起こるのかということに関する文献は多い。Cerverolは、これらの事前研究の結果を検討し、さまざまな分析テクニックを用いて新たな研究を実施した。Cerverolは、相当の誘発需要の証拠を見つけたが、その誘発需要の量はこれまでに行われた多くの研究よりも少ないものであった。これまでの研究では、数年のうちに誘発需要がすべての追加容量を「使い切って」しまうと結論付けられていることが多かった。（Cervero, 2001）

<sup>34</sup> ロンドン市民はこの課金を支持しているように思われるが、ビジネスに対する影響に関する不安は残されている。課金ゾーン内およびごく周辺の小売およびレジャー産業は一般に2003年上期において2%の売上減を報告しており、食料、菓子、タバコ、新聞販売店業では6%減となっている。小売業者にこのような減少につながったのは何の影響によるものかたずねたところ、経済および観光上の要素が最も多く報告されているが、渋滞課金は報告された影響の5分の1を占めている。対照的に、サービス部門では約15人に1人のみが渋滞課金の影響だと述べている。調査の対象となった業種全体では、12%となっている。（Transport for London 2004, pp.21-22）

<sup>35</sup> 3番目の状況の具体例としては、交通量がそれほど大きく変化しなくても、ある橋が走行する車両の重量に対して安全に対応できなくなった場合という状況が挙げられる。

<sup>36</sup> これらの2つは合わせて31MMTのディーゼルを使用する。2000年の中国の総ガソリン使用量は38MMTであった。

<sup>37</sup> 著者らは、これらの業界を地元製の車両のボディを外国製のシャシーに搭載しているフィリピンのような国の業界と区別している。ここで名前の挙がった他の国におけるCRV業界およびそれに類似する業界は、地元の構成部品と技術を活用して車両全体を製造している。

<sup>38</sup> パラトランジットに関する以下の議論は、Lave & MathiasおよびShimazaki & Rahmanの研究から採られている。

<sup>39</sup> カーシェアリング・システムの中には、予約不要のものや車両に直接アクセスできるものもある。



## References

- ADASE 2004.** ADASE, "State of the Art & Road Map," <http://www.adase2net/docs/index.asp?id=7977&sp=D&m1=7977&m3=&domid=695>, accessed April 14, 2004.
- Airbus 2002.** Airbus, "Global Market Forecast 2001-2020," September 2002.
- Automotive News 2003.** "Debate Over Diesels Still Sizzles in Europe," *Automotive News*, September 8, 2003, p. 20D.
- Automotive News 2003a.** "Guardian Angel or Big Brother: Debate Over Using Black Boxes Intensifies After High-Profile Vehicle Crashes," *Automotive News*, September 22, 2003, p. 6it.
- Automotive News 2004.** "Isuzu has expensive hybrid truck ready for market," *Automotive News*, January 12, 2004, p. 28L.
- Automotive News Europe 2003.** Luca Ciferri, "Diesel Tops Gas Engines in Italy," October 20, 2003, p. 3.
- Baum and Kurte 2002.** Herbert Baum and Judith Kurte, *Transport and Economic Development: Report of the Hundred and Ninth Round Table on Transport Economics held in Paris on 29-30 March 2001*, European Conference of Ministers of Transport, 2002, pp. 5-49.
- Binswanger, Kandker and Rosenzweig 1993.** Hans P. Binswanger, Shahidur R. Kandker, and Mark R. Rosenzweig, "How infrastructure and financial institutions affect agricultural output and investment in India," *Journal of Development Economics* 41 (1993), 364.
- Boarnet and Crane 2001.** Marlon G. Boarnet and Randall Crane, *Travel by Design: The Influence of Urban Form on Travel*, Oxford University Press, 2001.
- Boeing 2003.** Boeing Commercial Airplanes, Marketing Department, "Current Market Outlook 2003," June 2003.
- Burgard, et. al. 2003.** Daniel A. Burgard, Gary A. Bishop, Mitchell J. Williams, and Donald H. Stedman, "On-Road Remote Sensing of Automobile Emissions in the Denver Area: Year 4, January 2003," July 2003.
- Camano Associates 2003.** Camano Associates, "Materials Projection Analysis: WBCSD Sustainable Mobility Study Support," December 2003, unpublished.
- Car Clubs 2004.** "Car Plus, the Car Club Network," <http://www.carclubs.org.uk/carclubs/carclubs-worldwide.htm>, accessed June 3, 2004.
- City Soundings 2003.** Mayor of London, *City Soundings: The Mayor's Draft London Ambient Noise Strategy*, March 2003, Appendix A2
- Commercial Club of Chicago 2002.** Commercial Club of Chicago, *The Metropolis Plan: Choices for the Chicago Region, Technical Report*, Chicago, 2002.
- Directive 2002/49/EC.** Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise.
- E4tech 2003.** David Hart, Ausilio Bauen Adam Chase, Jo Howes, "Liquid Biofuels and hydrogen from renewable resources in the UK to 2050: a technical analysis," E4tech (UK) Ltd., December 2003.
- Eaton 2003.** Eaton Corporation, "Eaton "green" energy technologies presented at 5th annual international challenge," available at: [http://web.eaton.com/NASApp/cs/ContentServer?pagename=EatonCom%2FPage%2FEC\\_T\\_TwoThirds](http://web.eaton.com/NASApp/cs/ContentServer?pagename=EatonCom%2FPage%2FEC_T_TwoThirds), accessed October 23, 2003.
- ECMT 2002.** European Conference of Ministers of Transport, *Crime in Road Freight Transport*, 2002.
- Economist 2002.** "The Road to Hell is Unpaved," *The Economist*, December 21, 2002, pp. 37-39.
- Economist 2004.** Jeffrey Sachs, "Doing the Sums on Africa," *The Economist*, May 20, 2004, pp. 19-21.
- EEA 2001.** European Environment Agency, Transport Indicators, available at: [http://themes.eea.eu.int/Sectors\\_and\\_activities/transport/indicators/consequences/land\\_take%2C2001/Land\\_take\\_TERM\\_2001.doc.pdf](http://themes.eea.eu.int/Sectors_and_activities/transport/indicators/consequences/land_take%2C2001/Land_take_TERM_2001.doc.pdf), accessed June 2, 2004
- Embarq 2003.** Embarq, "Background Paper: Shanghai Metropolitan Transport White Paper, November 1, 2003. Available at: <http://embarq.wri.org/documents/shanghai.whitepaper.factsheet.pdf>, accessed June 3, 2004.
- EU Energy & Transport in Figures 2002.** European Commission, Directorate-General for Energy and Transport, "European Union Energy & Transport in Figures 2002."
- EUWTW 2003.** CONCAWE, EUCAR, and ECJRC, "Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context -- Well-to-Tank Report, Version 1," December 2003.
- EUWTW 2003a.** CONCAWE, EUCAR, and ECJRC, "Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context -- Tank-to-Wheels Report, Version 1," December 2003.
- EUWTW 2004.** CONCAWE, EUCAR, and ECJRC, "Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context -- Well-to-Wheels Report, Version 1b," January 2004.
- Evans 2004.** Leonard Evans, "How to Make a Car Lighter and Safer," SAE Technical Paper Series, 2004-01-1172, 2004.
- Family Income and Expenditure Survey 2003.** Government of Japan, Ministry of Public Management, Home Affairs, Posts and Telecommunications, Statistics Bureau, "Family Income and Expenditure Survey, Yearly Amounts of Expenditures and Purchases of Commodities per Household (All Households), 2000-2002," 2003.
- Fang 2000.** Fang, et. al., "US Transportation Satellite Accounts for 1996," Survey of Current Business, May 2000, pp. 14-22.
- FKA 2002.** Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (FKA), Body Department, "Final Report: Lightweight Potential of an Aluminum Intensive Vehicle," Project Number 24020, Contractor: European Aluminum Association, December 2002.
- Frost & Sullivan 2002.** Frost & Sullivan, "Fuels for Road Transport: Final Report," prepared for Workstream 3 of the SMP, December 2002, (unpublished).
- Glaeser and Kahn 2003.** Edward L. Glaeser and Matthew E. Kahn, "Sprawl and Urban Growth," NBER Working Paper 9733, National Bureau of Economic Research, Inc., 2003.
- Glaeser and Kohlhase 2003.** Edward L. Glaeser and Janet E. Kohlhase, "Cities, Regions and the Decline of Transport Costs," NBER Working Paper 9886, July 2003.
- Grimes 2004.** Brad Grimes, "Leave the Driving to Zipcar," PC Magazine, 2/17/2004, available at [http://www.freesamples.com/Articles/free\\_stuff\\_by\\_mail\\_free.html](http://www.freesamples.com/Articles/free_stuff_by_mail_free.html), accessed June 3, 2004.
- Harless and Hoffer 2002.** David W. Harless, George E. Hoffer, "The antilock braking system anomaly: a drinking driver problem?" *Accident Analysis and Prevention*, 34 (2002) 333-341.
- Honda 2003.** Honda World News, "Honda Develops World's First Electronically Controlled Fuel Injection for a 4-Stroke 50cc Scooter," October 3, 2003.
- IEA 2002.** International Energy Agency, "Bus Systems for the Future: Achieving Sustainable Transportation Worldwide," Paris, 2002.
- IEA 2002a.** International Energy Agency, *World Energy Outlook 2002*, Paris, 2002.
- IEA 2003.**
- IMMA 1996.** International Motorcycle Manufacturers Association, "Motorcycle Noise: The Curious Silence: A Report by the Motorcycle Industry," Geneva, 1996.
- IMO 2000.** Norwegian Marine Technology Research Institute, Det Norske Veritas, Econ Centre for Economics, and Carnegie Mellon University, "Study of Greenhouse Gas Emissions from Ships: Final Report to the International Maritime Organization," March 2000.
- INRETS 1995.** M. H. Massot, B. Monjaret, and O. Bailly, « La multimodalité, Automobile et transports publics. Complémentarité des pratiques de déplacement au sein grandes agglomérations. » Avril 1995. (in French)
- INRETS 1996.** M.H. Massot and B. Monjaret, « Automobile et transports publics. Complémentarité des pratiques modales dans l'aire d'influence de la RATP. In Vivre la Ville demain Colloque de Cerise-la-Salle », Septembre 1996. (in French)
- IPAI 2000.** "Aluminum Applications and Society: Life Cycle Inventory of the Worldwide Aluminum Industry With Regard to Energy Consumption and Emissions of Greenhouse Gases, Paper 1 – Automotive," May 2000.
- Itoh, Nakagawa, and Matsunaka 2001.** Tadashi Itoh, Dai Nakagawa and Ryoji Matsunaka, "A study on the relationship between accessibility to expressway and socio-economic attributes of all municipalities in Japan," p 14.



- Jacoby 1998.** Hanan G. Jacoby, "Access to Markets and the Benefits of Rural Roads: A Nonparametric Approach," June 1998, p. 2.
- Janse et al., 2003.** Janse, M.M., P.L.C. Eijkelenbergh, K.M. Malone, J.M. Schrijver, A.M. van den Broeke, W. Korver (2003), Cybernetic Transport System for the City of Tomorrow, Schets van een innovatief vervoerconcept met behulp van een Europese internet-enquête; Delft; TNO Inro; maart 2003; nummer TNO Inro 03-7N-045 73061.
- King County Department of Transportation 2003.** "Metro orders more than 200 hybrid buses – This Week in Transportation," King County (Washington) Department of Transportation, October 20, 2003, at [http://www.metrokc.gov/kcdot/news/thisweekarch/tw102003\\_hybridbuses.htm](http://www.metrokc.gov/kcdot/news/thisweekarch/tw102003_hybridbuses.htm), accessed December 4, 2003.
- Koornstra 2003.** Matthijs Koornstra, "The Prospects for Mobility Becoming Sustainable-Safe if Present Trends Continue," Paper prepared for the WBCSD Sustainable Mobility Project, December 15, 2003, unpublished.
- Landwehr and Marie-Lilliu, 2002.** Michael Landwehr and Céline Marie-Lilliu, *Transportation Projections in OECD Regions – Detailed Report*, May 2002.
- Lave & Mathias.** Roy Lave and Rosemary Mathias, "State of the Art of Paratransit," Transportation Research Board, Millennium Papers, A1E10: Committee on Paratransit, 2000.
- Lee, et. al. 2001.** Joosung J. Lee, Stephen P. Lukachko, Ian A. Waitz, and Andreas Schafer, "Historical and Future Trends in Aircraft Performance, Cost, and Emissions," Annual Review of Energy and the Environment, 2001, pp. 167-200.
- MAN/BMW website 2003.** MAN/BMW website, at <http://www.manbw.com/web/engines/TwoStrokeLowSpeedPropEngines.asp?model=K98MC>, accessed August 18, 2003.
- Maugeri 2004.** Leonardo Maugeri, "Oil: Never Cry Wolf – Why the Petroleum Age is Far From Over," Science, May 21, 2004, pp. 1114-1115.
- Meiarashi 2004.** Seishi Meiarashi, "Porous Elastic Road Surface as an Urban Highway Noise Measure," Paper presented at the 2004 Meetings of the Transport Research Board, January 11-15, 2004, Washington, DC.
- Middleham 2003.** Frans Middelham, "State of Practice in Dynamic Traffic Management in the Netherlands," paper presented at IFAC-CTS 2003, August 2003.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport 2001.** Government of Japan, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, The Ministerial Statement on Comprehensive Strategy for "Environmentally Friendly Vehicles," 2001. [http://www.mlit.go.jp/english/ministerial\\_conference/010116/010116\\_3.html](http://www.mlit.go.jp/english/ministerial_conference/010116/010116_3.html), accessed June 3, 2004.
- Mohan and Tiwari 2003.** Dinish Mohan and Geetam Tiwari, "Notes for Solutions Chapter," October 21, 2003 (unpublished).
- Molina and Molina 2002.** Luisa T. Molina and Mario J. Molina, eds., *Air Quality in the Mexico Megacity: An Integrated Assessment*, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- Muta, Yamazaki, and Tokieda, 2004.** Koichiro Muta, Makoto Yamazaki and Junji Tokieda, "Development of New-Generation Hybrid System THS II – Drastic Improvement of Power Performance and Fuel Economy," SAE Technical Paper Series 2004-01-0064, 2004.
- Nakicenovic 2001.** Nebojsa Nakicenovic, "GHG Emissions and Reduction Targets from a Historical Perspective," Presentation to UNFCCC SBSTA Meeting, Bonn, Germany – 28-30 May 2001.
- New York Times 2003.** "China Set to Act on Fuel Economy," nytimes.com, November 18, 2003.
- NHTS 2001.** The Road Information Program, "Designing Roadways to Safely Accommodate the Increasingly Older Driver: A Plan to Allow Older Americans to Maintain Their Independence," July 2003, citing data from the 2001 National Household Travel Survey.
- North 1990.** Douglass C. North, Institutions, Institutional Change, and Economic Performance, New York, Cambridge University Press, 1990.
- NRC 2004.** National Research Council, Board on Energy and Environmental Systems, Division on Engineering and Physical Sciences, Committee on Alternatives and Strategies for Future Hydrogen Production and Use, *The Hydrogen Economy: Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs*, Washington, 2004.
- Panorama of Transport 2002.** European Commission, Eurostat, "Panorama of Transport, Statistical Overview of Transport in the European Union 2002, p. 39.
- Peltzman 1975.** Sam Peltzman, "The Effects of Automobile Safety Regulation," *Journal of Political Economy*, August 1975.
- People's Daily Online 2003.** "Six new bridges, tunnels on Shanghai's drawing board," People's Daily Online, September 21, 2003. [http://english.peopledaily.com.cn/200309/21/eng20030921\\_124614.shtml](http://english.peopledaily.com.cn/200309/21/eng20030921_124614.shtml), accessed June 3, 2004.
- People's Daily Online 2004.** "China put in 350bln yuan in road construction last year," People's Daily Online, January 12, 2004, available at: [http://english.peopledaily.com.cn/200401/12/eng20040112\\_132380.shtml](http://english.peopledaily.com.cn/200401/12/eng20040112_132380.shtml), accessed June 3, 2004.
- Railway Age, October 2003.** "What Kind of Fuel Am I?" *Railway Age*, October 2003, p. 12.
- Railway Age, October 2003a.** "Green Kid Joins the Marines; Green Goat Plus on the Way," *Railway Age*, October 2003, p. 15.
- RAND Europe, RWT, and DLR 2003.** Rand Europe, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, "Sustainable Mobility Project, Technologies 2030, Draft Final Report" (unpublished).
- Renault R&D Review 2002.** "Fully Auto...mated?" *Renault R&D Review*, July 2002, pp. 47-50.
- Reynolds 2003.** Nick Reynolds, GM Powertrain Communications, "Fuel Saved by Hybridizing All Diesel Transit Buses in the US," memo, 12/17/03.
- Ribiero 2003.** Suzana Kahn Ribeiro & Marcio de Almeida D'Agosto, "Operational Advantages of Buses Hybrid Drives and Potential Fuel Savings Through Its Use for Urban Passenger Transport in Brazil," 2002(?)
- Sandberg 2001.** Ulf Sandberg, "Noise Emissions of Road Vehicles, Effect of Regulations, Final Report 01-1," International Institute of Noise Control Engineering, July 2001.
- Shaheen, Schwartz, and Wipewski 2003.** Susan A. Shaheen, Andrew Schwartz and Kamill Wipewski, "U.S. Carsharing & Station Car Policy Considerations: Monitoring Growth, Trends & Overall Impacts," UCD-ITS-RR-03-12, Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, October 2003.
- Shaheen, Sperling, and Wagner 1999.** Susan A. Shaheen, Dan Sperling, and C. Wagner, "A Short History of Carsharing in the '90s," *The Journal of World Transport Policy and Practice*, September 1999.
- Shimazaki & Rahman 1996.** Toshikazu Shimazaki and Md. Mukitir Rahman, "Physical Characteristics of Paratransit in Developing Countries of Asia," *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 30, No. 2, Summer 1996.
- SMP 2001.** World Business Council for Sustainable Development, Sustainable Mobility Project, *Mobility 2001: World Mobility at the End of the Twentieth Century and Its Sustainability*, Geneva, 2001.
- Socolow 2004.** Robert H. Socolow, "Slices and Wedges: Useful Words to Capture the Daunting Task of Managing Global Carbon," PEI Faculty Forum, March 9, 2004.
- Sperling, et. al. 2004.** Daniel Sperling and Zhenhong Lin with Peter Hamilton, "Chinese Rural Vehicles: An Exploratory Analysis of Technology, Economics, Industrial Organization, Energy Use, Emissions, and Policy," UCD-ITS-RR-04-1, Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, January 2004.
- SUNflower 2002.** Matthijs Koornstra, David Lynam, Goran Nilsson, Piet Noordzij, Hans-Eric Pettersson, Fred Wegman, and Peter Wouters, *SUNflower: A Comparative Study of the Development of Road Safety in Sweden, the United Kingdom, and the Netherlands*, SWOV Institute for Road Safety Research, 2002.
- TDM Tokyo Action Plan 1999.** "Situation Pertaining to Traffic and Air Quality," compiled for SMP by Toyota, (unpublished).
- Thakuriah 2001.** Piyushimita (Vonu) Thakuriah, "Introduction to the Special Issue on Methodological Issues in Accessibility Measures with Possible Policy Implications" *Journal of Transportation and Statistics*, Volume 4, September/December 2001, p. v.

**TNO 2004.** Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO), Paper prepared for the SMP Project on how technologies and systems can contribute to the SMP goals, March 29, 2004. (unpublished).

**TRANSLAND 2000.** Integration of Transport and Land Use Planning, Neil Paulley and Annette Pedler, Transport Research Laboratory, February 21, 2000.

**Transport for London 2004.** Transport for London, "Congestion Charging, Impacts Monitoring Second Annual Report," available at: [http://www.transportforlondon.gov.uk/tfl/cc\\_london/cc\\_monitoring-2nd-report.shtml](http://www.transportforlondon.gov.uk/tfl/cc_london/cc_monitoring-2nd-report.shtml), accessed June 3, 2004.

**TRB 2001.** Transportation Research Board, "Economic Implications of Congestion," NCHRP Report 463, 2001, pp. 16-17.

**UK DfT 2003.** UK Department for Transport, *Transport Statistics of Great Britain 2003, 29th edition*, Table 1.15, Household Expenditures on Transport, 2003.

**UK DfT 2004.** UK Department for Transport, *Transport Statistics Bulletin – National Travel Survey: 2000*, April 2004.

**UK DTLR (date unknown).** U.K. Department for Transport, Local Government, and the Regions, "Social Exclusion and the Provision of Public Transport," (date unknown), p. 18.

**UK DTLR 2001.** UK Department for Transport, Local Government, and the Regions, *Focus on Personal Travel*, December 2001.

**UN 2003.** "Global Road Safety Crisis: Report of the Secretary-General," United Nations General Assembly, August 7, 2003.

**UPS 2003.** UPS Suite of New Technologies Promises Better Customer Service, Operating Efficiency," available at: <http://www.pressroom.ups.com/pressreleases/printer/0,1052,4337,00.html>, accessed 10/7/2003.

**UPS 2003a.** UPS Corporation, "UPS to Test Fuel Cell Vehicles in U.S. Delivery Fleet," available at: <http://www.pressroom.ups.com/pressreleases/current/0,1088,4299,00.html>, accessed December 4, 2003.

**US BLS 1992.** US Department of Labor, Bureau of Labor Statistics, "Consumer Expenditures in 1990," Washington DC, 1992.

**US BLS 2002.** US Department of Labor, Bureau of Labor Statistics, "Consumer Expenditures in 2000," Washington DC, April 2002.

**US BLS 2003.** US Department of Labor, Bureau of Labor Statistics, "Consumer Expenditures in 2001," Washington DC, April 2003.

**US DOE 2000.** US Department of Energy, "Technology Roadmap for the 21st Century Truck Program: A Government-Industry Research Partnership, 21CT-001," December 2000.

**US DOT 1999.** US Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, *G-7 Countries: Transportation Highlights*, BTS99-01, Washington DC, November 1999, p. 26.

**US DOT 2000.** US Department of Transportation, Federal Highway Administration, "Highway Traffic Noise in the United States: Problem and Response", Washington DC, April 2000, at: <http://www.fhwa.dot.gov/environment/prosbresp.html>, accessed May 22, 2002.

**US DOT 2002.** U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, *National Transportation Statistics 2002*, BTS02-08, Washington DC, December 2002, p. 218.

**US DOT 2003.** US Department of Transportation, Bureau of Transport Statistics, "Commuting Expenses: Disparity for the Working Poor," BTS Issue Brief, Washington DC, March 2003.

**US DOT 2003a.** US Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Advanced Vehicle Testing Activity, "Heavy-duty Fuel Cell Vehicle Table," Washington DC, available at: <http://www.avt.nrel.gov/overview.html>, accessed December 4, 2003.

**US DOT 2004.** USDOT, NHTSA, National Center for Statistics and Analysis, "Safety Belt Use in 2003 – Demographic Characteristics, DOT HS 809 729," Washington DC, May 2004.

**US DOT 2004a.** USDOT, NHTSA, National Center for Statistics and Analysis, 2003 Early Assessment: Motor Vehicle Traffic Crash Fatality and Injury Estimates for 2003, Washington DC, April 2004.

**US EPA 2004.** US Environmental Protection Agency, "Light-Duty Automotive Technology and Fuel Economy Trends: 1975 Through 2003," 2004.

**VDA 2003.** Verband der Automobilindustrie, Kerthesen zur Bundesverkehrswegeplanung 2003, at [http://www.vda.de/de/vda/intern/organisation/abteilungen/files/Kernthesen\\_Inhalt.pdf](http://www.vda.de/de/vda/intern/organisation/abteilungen/files/Kernthesen_Inhalt.pdf), accessed June 2, 2004. (in German)

**VTPI 2003.** Victoria Transport Policy Institute, "On-Line TDM Encyclopedia: Transportation Elasticities," Updated December 17, 2003, available at: <http://www.vtpi.org/tdm/>, accessed June 3, 2004.

**WHO 2004.** World Health Organization, *World Report on Road Traffic Injury Prevention*, Geneva, 2004.

**Willoughby 2000.** Christopher Willoughby, "Singapore's Experience in Managing Motorization and its Relevance to Other Countries," The World Bank, Transport Division, Discussion Paper TWU-43, April 2000.

**Wilson and Delaney 2003.** Rosalyn Wilson and Robert V. Delaney, 14th Annual "State of Logistics Report," June 2003.

**World Bank 2003.** Soniya Carvalho, "2002 Annual Review of Development Effectiveness, Achieving Development Outcomes: The Millennium Challenge," Washington, The World Bank, 2003.

**WHO 2004.** World Health Organization, "World Report on Road Traffic Injury Prevention: Summary, Geneva 2004.

**Yergin 2004.** Daniel Yergin, "Imagining a \$7-a-Gallon Future," *The New York Times*, April 4, 2004, Week in Review, p. 1.



Appendix

# 発展途上国の都市における 移動需要の促進要因

筆者：Ralph Gakenheimer and Christopher Zegras<sup>1</sup>



## 事例についての概論

発展途上国の都市の事例では、それらの都市が直面するさまざまな都市輸送に関する課題の断片を、比較的詳細に見ることができる。当初、こうした事例を採用した背景には、これらの事例をより一般的な状況を表す個々の例として、「原型」と定めて利用しようという考えがあった。

我々は、発展途上国の事例を選択するにあたり、データの入手しやすさ、仲介者の有無、および我々自身の現地における知識と経験を基準とした。また、世界主要大陸の各地域に関する事例を提供し、多様な文化、経済、統治形態を反映することを試みた<sup>2</sup>。その現象や問題の大きさがすでに世界の注目を集めている大都市もあれば、「無名の」都市も含まれている。選択した事例を総合すると、発展途上国の都市は、北側世界の都市と比較して、それぞれに違いが大きいことがわかる。

これらの事例について、モビリティの量、質、形態を表す輸送の詳細についてのデータと、移動需要の促進要因となる現象を表す背景的可変要素は、すべて都市部レベルで収集された。これは、今後の作業の土台を形成する大胆な取組みであり、情報収集の可能性を広げるインターネットやデータ共有技術などによって実現した。（ただし、不正確な情報を流布する可能性には十分に注意を払った。）我々が現在の形の情報やデータを収集した情報源の中には、体系的な関連付けがなく、データ収集が重大な義務であるという認識を持たないものも多い。そのため、現在の形の事例には、解決すべき数多くの問題や不明個所のほか、内部矛盾もある。しかし我々としては、そうした欠点を考慮しても、これらの事例によって、このように急速かつ大きく変化しつつある移動需要の現状を的確にとらえられると考えている。

<sup>1</sup> この概要のもととなった事例を担当した共同筆者は、Mark Emmert（ペロホリゾンテおよびダカール）、Anjali Mahendra（ムンバイおよびチェンナイ）、Apiwat Ratanawaraha（クアラルンプール）、Jinhau Zhao（上海および武漢）であり、すべてマサチューセッツ工科大学の都市研究・計画学部のメンバーである。また、武漢市当局、マレーシア科学技術大学の輸送および物流プログラムからも支援を受けた。この作業に資金提供したのは、持続可能な発展のための世界経済人会議の持続可能なモビリティ・プロジェクトである。

<sup>2</sup> 事例には、主に中欧および東欧の「移行経済国」が含まれていない（ただし、中国も移行経済国とみなされることが多い）。これらの諸国は、「先進地域」と「発展途上地域」という単純な区別では分けられない場合が多いため。

各事例は、表A.1に示した特性の数値が示すように幅広い多様性を例示している。例えば、比較する都市によって、1人あたりのGDPや人口について10倍の開きがある場合（クアラルンプールとチェンナイ、メキシコシティとダカール）や、人口増加率について8倍の開きがある場合（上海とダカール）、公共交通機関の占める割合について3.5倍の開きがある場合（上海とベロホリゾンテ）がある。また、15歳未満の住民が占める割合が非常に高い都市（ダカールの43%）もあれば、先進諸国と同様の年齢分布を持つ都市（上海）もある。自家用車の保有率について最も大きな開きがあるのは、アジアの2都市、つまり武漢（住民1,000人あたり5台）とクアラルンプール（同300台）であろう。

このように、発展途上国の都市間にも大きな違いがあり、これらの都市と先進国の都市の間にはさらに大きな違いがあるが、我々は、輸送手段の利用しやすさとモビリティの問題はすべての都市

で類似していると決め付け、異なるのは問題の規模だけであるという仮定からスタートする傾向が強い。しかし、同じ可変要素に差がある場合でも、その差の規模が非常に大きい場合は、問題の性質が変わってしまうため、このような仮定で議論を進めることには十分に慎重になる必要がある。全移動の70%を公共交通機関が占めている都市（中南米で一般的な数値）と、公共交通機関による移動が10%未満の都市を比較する場合は、多くの側面を考慮して解釈する必要がある。公共交通機関が発展途上地域において果たす役割は、北側都市の場合よりも重要であることは明らかである。しかし、これは、分析のほんのさわりの部分に過ぎない。発展途上国における公共交通をめぐり政治的状況には大きなばらつきがある。まず、有益な技術が利用できるかどうかについてのレベルが異なる。土地利用の分散化の重要性が異なる。料金レベルを取り巻く問題が異なる。他の移動形態（自動車と動力なしの車両を含む）との関係が異なる。この他にも、さまざまな要素が異なっている。

表A.1 発展途上国の8都市部における人の移動についての特性

都市部	ベロ ホリゾンテ	チェンナイ	ダカール	クアラ ルンプール	メキシコ シティ	ムンバイ	上海	武漢
地域	中南米	南アジア	アフリカ	東南アジア	中南米	南アジア	アジア	アジア
1人あたりGDP（米ドル）	6,000	800	1,500	8,000	7,500	1,200	4,200 (2000年)	2,000
人口（100万人）	4.2	7	2.5	4	18-23	18	13-17	4-8.5
年間平均人口増加率	1.5%	2.4%	3.2%	2%	2%	3%	0.42%	1%
人口密度（人/ha）	4~63	59~288	35	10~58	50~120	120~460	14~460	10~160
年齢分布	15歳未満:26% 66歳以上:4%	15歳未満:26% 60歳以上:8%	15歳未満:43% 55歳以上:5%	15歳未満:27% 66歳以上:4%	15歳未満:30% 66歳以上:5%	15歳未満:26% 66歳以上:6%	15歳未満:12% 66歳以上:12%	15歳未満:16% 66歳以上:12%
移動率（移動回数/日）	1.43 (1995年)	1.24 (1993年)	2.3 (1998年)	2.4 (1997年)	1.2~1.4 (1994年)	1.26	1.95 (1996年)	2.25 (1998年)
1,000人あたりの自家用車台数	4輪車:225 2輪車:22	4輪車:40 2輪車:171	42	4輪車:300 2輪車:170	110 2輪車:8	4輪車:27 2輪車:25	4輪車:4~20 2輪車:35	4輪車:14 2輪車:31
鉄道輸送	地下鉄1路線	地下鉄1路線 郊外鉄道3路線	郊外鉄道1路線	LRT3路線 郊外鉄道2路線	地下鉄11路線	郊外鉄道2 サービス3路線	地下鉄3路線	なし
(料金、米ドル)	(\$0.30)	(\$0.10)		(\$0.20~0.60)	(\$0.20)		(\$0.12~\$0.50)	
原動機によらない移動	5~7% (1995年)	44%	44%	データなし	データなし (予測:15%)	データなし (1981年時点で26%)	72% (1995年)	61%
公共交通機関	69% (1995年)	47%	45%	20% (動力つき 車両による移動 に占める割合)	70% (動力つき 車両による移動 に占める割合)	88% (動力つき 車両による移動 に占める割合)	17% (1995年)	22%

- 注：
- ベロホリゾンテ:人口および人口密度以外は、ベロホリゾンテ市のみ数値が示されている。人口密度の範囲について、4は都市圏全体の平均値、63はベロホリゾンテ市のものである。
  - チェンナイ:人口、移動率、各輸送形態の割合は都市部のものである。タミルナドゥ州の2000年における1人あたりGDPは480米ドルであり、チェンナイの数値は同州の数値をもとにした推定値である。人口密度の範囲について、59は都市圏全体の平均値、288はチェンナイ市のものである。年齢分布はタミルナドゥ州のものであり、公共交通機関の割合には自動力車(5%)も含まれる。
  - ダカール:1人あたりGDPはセネガルのものであり、ダカールについてのデータは得られなかった。
  - クアラルンプール:1人あたりGDPおよび年齢分布は、クアラルンプール市のものである。人口密度の範囲について、10は都市圏全体の平均値、58はクアラルンプール市のものである。モータリゼーション率は都市圏全体のものであり、移動における動力なし車両の割合に関するデータは得られなかった。
  - メキシコシティ:人口密度の範囲について、50は新興周辺開発地域のもの、120は都市圏全体の平均値である。1994年の移動率には、徒歩による移動は含まれていない。同市における全移動の15%が徒歩による移動と仮定すると、予測値は多いほうの1.41になる。1,000人あたりの2輪車保有率は連邦区のみに関する数値であり、メキシコ州に関する信頼できるデータは得られなかった。
  - ムンバイ:1人あたりGDPは、インドGDPの5%はムンバイで生産されているという世界銀行の推定に基づいた数値である。人口密度の範囲について、120は都市圏全体の平均値、460はアイランドシティ(同市中心部)のものである。モータリゼーション率(1,000人あたりの車両台数)はムンバイ市のものであり、より人口密度の低い周辺地域を含めるとこの数値が上昇する可能性があるが、そのデータは得られなかった。
  - 上海:人口の範囲について、1,300万人は「公式」の推定値、1,700万人は「浮動」人口も含めた数値である。人口密度の範囲について、14は新興開発地域の平均値、460は市中心部の平均値である。地下鉄の料金は距離に依存している。
  - 武漢:人口の数値は、武漢市のみでは400万人であるが、都市圏全体では850万人以上と大きく変化する(ただし都市部のほとんどはまだ未開発)。人口密度の範囲の広さは、この人口の差異によるものである。

最も単純に考えれば、発展途上国の都市は、北側が抱えている問題（渋滞、不適切なインフラ、不十分な車両容量、および移動費用の高さ）と同じような利用しやすさとモビリティの問題に直面している、と言える。しかし、発展途上国の都市には、解決策を探っていく中で、最終的に重要になる要素に違いがある。決定的な違いは、所得レベル、急速な変化率、および都市部の人口密度である。

## 貧困

発展途上国はその定義上、先進国よりも経済的に貧しく、人口の大部分が適切な輸送手段を利用する経済的余裕がない。この現実には所得レベルの分散によりさらに複雑さを増し、都市の住民が大きく2つのグループに分けられることになる。その2つとは、高品質の輸送手段を容易に利用・購入できる人々（このグループが所有する自動車が増える原因となる）と、非常に低い予算で輸送費用を捻出せざるを得ない人々である。通常は、後者のグループが大きな割合を占める。この現実には、モビリティ市場をほぼ1つの市場とみなすことができる北側の都市部とは対照的である。発展途上国の大部分においては、目的地への到達しやすさの向上は、徒歩による移動から公共交通機関による移動への変化という形で現れる。

## 急速な変化

発展途上国のほとんどの都市は、急速な変化の只中にある。例えば中国では、都市部の土地に金銭的価値が与えられ、その結果、土地開発パターンと企業や世帯の所在地の選択に革新的な変化が起こったのはほんの最近である。メキシコでは、政治的状況が変化しつつあり、また権限の分散化が進行しているため、煩雑な管理上の問題と政治的競争が発生している。このことは、例えばバス路線が州境界を越えることが禁止されるといった現象として現れている。ダカールでは、中近東の都市などからの移民により人口増加率が3%を超えている。このペースが持続すれば同市の人口は今後20年間で倍増することになり、輸送システムに多大な圧力がかかると考えられるが、原則的には、将来的に都市の成長を輸送ニーズに合わせて調整できる可能性もある。これに、(歓迎すべき所得の増加に伴う)急速なモータリゼーションが加わると、これまで発展途上国の都市で試みられた最も厳しい手法を用いても、関係する都市システムがこの変化についていけないと考えられるため、特殊な環境が助長されるのは言うまでもない。多くの場合、こうした変化により将来的需要の予想が極端に困難になる。例えば、中国ではほとんどの女性が働いているが、インドではほとんどの女性が働いていない。こうした国の都市では、今から10年後、1人あたりの労働に関係する移動は、どのようになっているだろうか？

## 人口密度

ほとんどの事例では、居住人口あるいはそれ以外の数値を基準にすると、発展途上国の都市の人口密度は北側都市よりも高い。人口密度の正確な予測が困難なことは周知の通りであるが、発展途上国の都市の人口密度の平均値と最大値は、北側都市よりも桁違いに高い。例えば、メキシコシティでは、大都市圏全体（約1,500平方Kmの範囲）の人口密度が、米国の都市部で最も人口密度の高い地域であるマンハッタン（ニューヨーク）を上回る。また上海中心部の人口密度は、マンハッタンの5倍である。このような人口密度の高さは、2つの重要な事実を暗示している。1つ目は、人口密度が高くなれば、大容量の公共交通機関の実現性が高まる一方で、個人の移動がより困難になるということである。2つ目は、上海のように、これまでのような人口密度の高さ、所得の増加、モータリゼーションの進行といった状況が重なれば、最終的に、ほぼ制御不可能な強制力で、爆発的に分散化が進行するというということである。

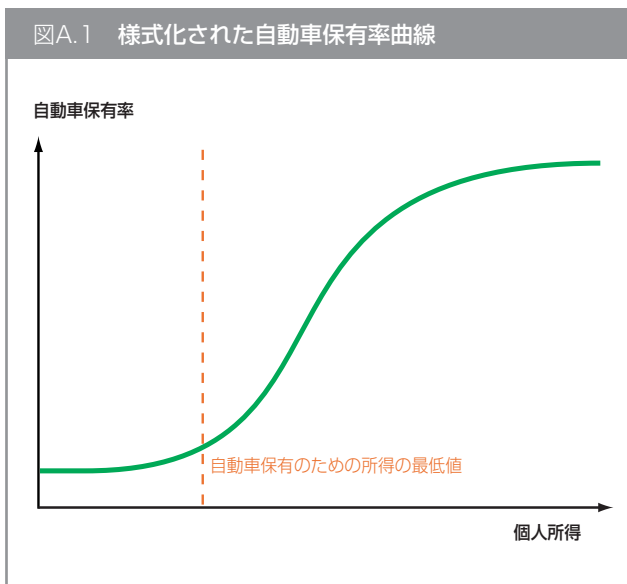
発展途上国の都市の移動需要を促進する一般的かつ互いに関連のある要素としては、人口と所得の増加、自動車と2輪車の利用可能性、社会的変化、都市の分散化が挙げられる。また、移動需要を満たす際に都市が直面する一般的な障害には、貧困、渋滞、公共交通の品質の低さ、および制度全般の実施状況の悪さなどがある。こうした状況とすでに述べた先進国と発展途上国の都市の主な違いを踏まえ、発展途上国の都市のモビリティにとって重要な課題として、次の5つを特定した。それは次の通りである。

1. モータリゼーション。個人所得が増加しつつある都市において、予想可能なモータリゼーションの「上限」は存在するのか？
2. 自動2輪車。モータリゼーションの過程において自動2輪車が果たす役割とは？
3. 公共交通機関。発展途上国のほとんどの都市に存在する質の悪い公共交通機関に関連する問題とその解決策は？
4. 土地開発と分散化。移動需要の増加と都市における土地開発が相互に与える影響とは？
5. 制度。制度は、こうした極めて流動的な状況に、効果的に対処できるのか？

# 1. モータリゼーション

発展途上国の都市に、モータリゼーション（人口あたり車両台数）の予想可能な上限は存在するのだろうか？資源的な制約、または外部効果の累積によって、モータリゼーションの勢いが衰えることはあるのだろうか？今回調査した事例でも、また他のデータでも、現時点でモータリゼーション率の低い都市について、総合的なレベルが今後低下していく徴候はほとんど見られない。これには、いくつかの要因がある。

国際的な調査結果を比較すると、所得とモータリゼーションの間に、強力な、直接的ともいえる関係がある。こうした関係は特定の国や都市のレベルで存在することが明らかであるが、地域特有の要素が重要な役割を果たしている。まず忘れてはならないのは、自家用車保有率と個人所得の関係は、様式化された図A.1のようなはっきりとしたS字曲線（ロジスティック曲線）を描くということである。この図から、車両保有率に対する所得の最低値があることは明らかである。つまり車両保有率は、その値に近づくまでは非常に緩やかに増加しているが、それ以降は急速に増加している。所得がさらに増加すると、自動車保有率の増加の勢いは衰えるが、これはほとんどの先進国が現在直面している状況である。（ただし、どの時点で保有率が横ばいになるのかを予想するには時期尚早であることは周知の通り。）



多くの発展途上国では、人口の多くがいまだにS字曲線の上昇部分よりも大幅に低い所得レベルにある。1人あたりGDPの高い地域（直接的な平均値を基準にした場合）でも、モータリゼーションのレベルが予測よりもかなり低い場合がある

が、これは所得分布に大きな歪みがあるためである。（Gakenheimer, 1999）したがって、所得分布の格差の継続もしくは悪化、また経済全般の停滞という状況がなくならなければ、すべての発展途上国の都市は、S字曲線が示すような論理的なモータリゼーションの飽和点には遠く及ばない。

我々が調査したほとんどの都市の事例では、モータリゼーション率に影響する地域レベルの現象がさらに詳細に見て取れる。例えば、ほぼすべての事例で、現地の産業・貿易政策が重要な役割を果たしている。ブラジルとマレーシアでは、自動車業界に対する推進政策によって自動車両所有がさらに刺激され、その影響は、特にクアラルンプールの高い車両保有率に現れている。ダカルでは、セネガルの貿易自由化と中古自動車輸入に対する解放政策により、車両保有率が向上している。これはペルーなどの中南米諸国や、中欧、東欧でも見られる現象である。一方、上海のモータリゼーション率は、同市の所得が比較的高いことを考慮すると、予想よりも低いレベルにとどまっている。その原因の1つは、依然として車両所有にかかる費用が高いことにある。中国政府が自動車業界を重視する産業政策をとれば、この状況は直ちに变化する可能性がある。

車両保有率に影響を与えることが本来の目的ではない他の地域政策も、一定の役割を果たしている。例えば、メキシコシティの有名な「Hoy No Circula」（高汚染日にはナンバープレートの番号に基づき特定の車両の運転を制限する政策）により、多くの家庭に中古車の購入を促すという逆の影響が生まれ、その結果モータリゼーション率が上昇した。同国政府は、最近、より汚染の少ない車両を購入するためのインセンティブとなるようこの規制を変更したが、この方法は同様の規制政策を実施するサンティアゴ（チリ）でも採用されている。メキシコシティやサンティアゴのように、汚染問題が深刻で、政府が比較的強制力の強い対策をとった事例を見ると、車両数の増加による外部効果があっても、モータリゼーションの進行が衰える徴候はほとんどないことがわかる。

現に、モータリゼーションの進行とそれに伴う影響は、さらなるモータリゼーションを誘発するともいえる。例えば、モータリゼーションが人口の分散化を促進するのは確かだが、この分散化がモータリゼーションのさらなる要因となる。また、モータリゼーションは渋滞を悪化させ、それが自動車の保有・利用率の上昇を促すという逆の現象を生む場合がある。これは、渋滞の悪化によって主要幹線道路がふさがり、バスなどの地上交通機関が遅れるので、自動車を利用するメリットが増すからである。自動車を利用すれば、迂回路を利用して渋滞を避けたり、行き先を変更してより渋滞の少ない方向を選んだりすることが可能である。

したがって、GHGの排出、土地の都市利用への転換、外国の石油への依存、都市構造の優先傾向、モータリゼーションの進行によって増加するインフラのコストなどに関する懸念がある場合は、外部から規制を行う必要がある。しかし、そのような規制を行うことによって、S字曲線を逆方向に進めたり横ばいにしたりすることに積極的に取り組む国や都市が、発展途上国にあるだろうか？「人為的な上限」を率先して採用することによって、第2のシンガポールになろうとする発展途上国の都市があるだろうか？

## 2. モータリゼーションにおける2輪車の役割

モータリゼーションに関する分析はこれまで、自動車、もう少し広い意味で言うと、自動車両を中心に行われてきた。しかし、発展途上国のモータリゼーションのパターンにおいて、自動2輪車（バイクおよびスクーター）の役割を無視することはできない。アジアの2輪車は、世界の全2輪車の75%を占めており、そのうち中国が約50%、インドが20%を占めている。我々のケーススタディで調査対象となった発展途上国の都市のうち、モータリゼーション率全体に占める2輪車の割合が高いのは、チェンナイ、上海、武漢の80%、ムンバイの50%、クアラルンプールの40%である。これに対し、中南米の都市では2輪車の普及率ははるかに低く、ベロホリゾンテとメキシコシティの両方で、モータリゼーション率の10%未満である。（図A.2参照）多くの「2輪車」都市の事例では、2輪車と4輪車の両方をモータリゼーションの対象にすると、所得のはるかに高い都市と同レベルのモータリゼーション率に到達する。実際、我々のデータによれば、1人あたりGDPがチェンナイの

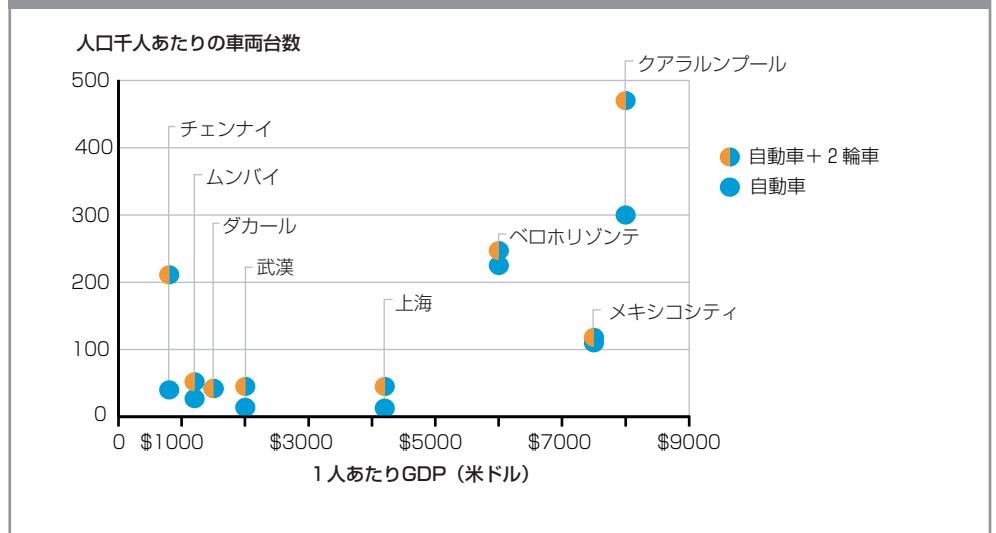
10倍であるメキシコシティでは、2輪車と自動車の両方を対象としたモータリゼーション率がチェンナイよりも低い。（図A.2参照）つまり、自動2輪車はモビリティを均一化させる役割を果たすものといえる。

2輪車を考慮に入れると、モータリゼーションの現象に対する認識は確実に変わる。様式化されたモータリゼーションのS字曲線に2輪車を反映させると、驚くべきことではないかもしれないが、2つのS字曲線が存在することがわかる。1つは2輪車の曲線、1つは自動車の曲線である。チェンナイの事例（図A.3参照）がその典型である。インドでは、安価な2輪車ならば200米ドル程度で購入できる。所得が増加すると、2輪車の曲線が交差する所得レベルを、人口のより多くの割合が占めるようになるため、それによりモータリゼーションのプロセスが加速されていると考えることができる。

もちろん細かく見れば、すべての地域の曲線がきれいに分かれているわけではない。チェンナイのグラフでも重複している部分がある。高価な2輪車は、安価な自動車よりも価格が高い。もちろん、詳細に見れば、すべての地域の曲線がきれいに分かれているわけではない。高価な2輪車は、安価な自動車よりも価格が高く、どちらを選択するかは、社会的役割や年齢、性別といった、価格以外の要素によって左右される可能性がある。

しかし、世界のある地域ではほとんど意味を成さない程度の存在である自動2輪車が、所得がほぼ同じレベルの別の地域ではこれほどまでに普及している理由は何かという疑問が残る。この疑問に完全に答えるには、より詳細な分析が必要なことは明らかであるが、一見したところでは、以前は自転車が多

図A.2 1人あたりGDPと比較した自動2輪を含む場合と含まない場合のモータリゼーション率





かった地域で2輪車が普及しているという事実から、答えが見つかりそうである。つまり、自転車が極めて直接的に2輪車に取って代わった、ということである。以前、つまりモータリゼーションの初期において自転車が多数使用されていた地域では、自転車は交通量の多い道路で自身の地位を確立していた。これがそのまま2輪車に受け継がれたのである。

自動2輪車を使用すると、自転車をこぐときの身体的負担が減り、移動時間が短縮され、高速な自動車の往来の中でより効率的に操縦する（少なくともついていく）機会を得ることができる。こうして自転車は、より高速で重量のある同類の自動車両、つまり自動2輪車に取って代われ、絶滅の危機にさらされるのである。この力関係は台北の都市部で非常に顕著に現れている。皮肉なことに台北市では、全世界に輸出するための自転車が何百万台も作られているにもかかわらず、市内の路上で自転車が使われることはめったにない。優先通行権は、自動2輪車向けに用意された側道も含め、高速で移動する自動車両に独占されている。

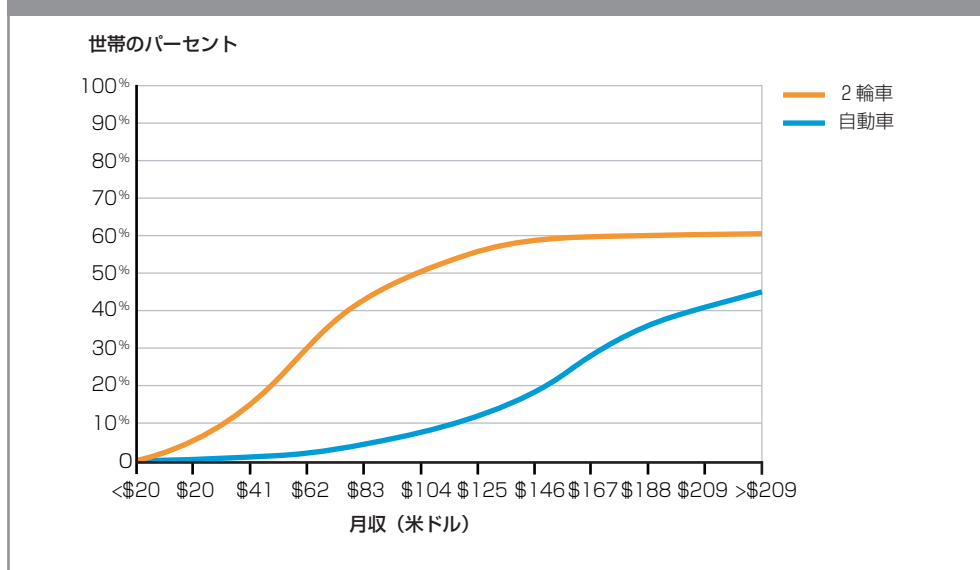
この結果、自転車の利用者は、交通の中で自転車に乗り続けることができなくなり、自動2輪車の購入能力があれば、「モビリティの階段」を上って2輪車を利用せざるを得なくなる。このような移行は、特に自転車の普及率が他の車両を大きく上回っている中国では、非常に重要となる。（上海では、所得レベルに関係なく1世帯に約1.8台の自転車がある。）現に、アジアの一部の都市では、自転車や非自動3輪車の使用を抑制するため、明示的または暗黙的な試みが行われてきた。その理由は、こうした車両が交通を混乱させ、道路の空間を必要以上に占有し、公共交通機関の市場を希薄化させるからである。（この主

張は西側の読者にとって奇妙に映るかもしれないが、1800年代後半の米国都市部では、自転車は、新型の路面電車の有効乗客数に対する主な脅威と見られていたことに注意されたい。）

非常に興味深いことに、自動2輪車は、普及するにしたがって問題視されるようになる。自動2輪車はその小ささを利用して交通の流れをくぐり抜けるように走行するため、その挙動は自動車の運転、バスのサービス、さらには法律の施行を妨げている。優先通行権が自動車と自転車に分けられている場合でも、自動2輪車はどちらにも適合せず、こうした区別の混乱の原因となる。このため、一部の政府は、公共交通機関の1形態（自動人力車など）としての、または自家用車両としての自動2輪車（または3輪車）を抑制するための対策をとることになる。例えば、北京政府は、近年、2輪車を抑制するために（登録の規制、未登録管轄区への侵入制限、駐車制限など）、さまざまな対策をとっている。こうした対策は、自動車の購入能力がある2輪車の利用者が、自動車へと移行するための刺激策となる。

これまでに述べたことをすべて総合すると、「モビリティ向上の階段」とも呼ぶべき現象が起こっていることがわかる。つまり、非自動2輪車から自動2輪車への移行に必要な跳躍は小さい。また同様に、自動2輪車から自動4輪車への跳躍も、小さくてすむ。こうしたモビリティの階段を前提に考えると、自動2輪車は、自動車の所有に到達するまでの1段階だと考えられる。特にアジアの都市における分散化と人口密度低下の同時進行により、さらなる都市空間が自動車の操縦のために開放され、移動距離が伸びるため、このような移行は促進される一方である。

図A.3 チェンナイにおける所得と自動車保有率との関係（1993年）



確実な結論ではないが、ケーススタディによって明らかになった2輪車に関する状況は、次に記すような重要な疑問とそれに対する答えを示している。

- 2輪車は、使用されている地域におけるモビリティを拡大するのか？ 答え：大きく拡大する。
- 2輪車は、モータリゼーション全般の進行を促進するのか？ 答え：確実に促進する。
- 2輪車は、自動車の保有に向けた1段階となるのか？ 答え：我々としては、交通の圧力が部分的な要因となりもたらされる、輸送手段の向上の過程の1地点という意味では、そうであると考える。

もちろん、こうした期待とは逆の次のような議論もある。具体例は次の通り。

- 自転車の利用には恒久的な利点がある。こうした利点は、特に所得面から自転車が最も現実的なモビリティ形態である人々にとっては、今後も継続するであろう。自転車は、多くの2輪車地域において、現時点で最も普及している車両モビリティ形態である。
- 低価格で操作性も優れているということから、自動2輪車の利用にも恒久的な利点がある。そのため、自動2輪車は、輸送形態が混合するシステムにおいても一定の役割を果たすはずである。
- 2輪車地域がある国は、まだ自動車を渋滞の原因として扱っていない。これは、自動車の数が少なく、利用者の多くが特権階級に属しているということが原因と考えられる。この段階が過ぎれば、自動車の利用を制限するための対策が講じられ、こうした状況は変化する可能性がある。

### 3. 公共交通機関の性能

発展途上国の都市でモビリティが発展するためにおそらく最大の制約となっている共通の状況は、公共交通機関の性能の不十分さである。

人の移動は、その大部分を公共交通機関に依存しているながら、ほとんどの都市において、経営難、不適切な乗客定員、未熟なネットワーク統合、低速での運行、劣悪な物理的条件などの問題を抱えている。その結果として移動に占める公共交通の割合は減少し、渋滞面では車両の混雑、他にも人身事故の高い割合

などの原因になっている。我々のケーススタディは、公共交通機関におけるあらゆる問題を網羅しているが、そこにはかすかな希望の光がある。

障害にはどのようなものがあるだろうか？ もちろん、最も根本的な問題は貧困である。人々には、良質なサービスを維持する運賃を支払う余裕がない。例えば、80年代後半に行われたThe Halcrow-Fox/TRRL (now TRL, Allport et al. 1990) による地下鉄の研究では、発展途上にある都市の地下鉄の中で財政的に採算が取れているものは1つもないが、それらの地下鉄の大部分で約1米ドルの運賃を課すことができれば、約15年後にはその運賃が発展途上国で現在運行されているほとんどの鉄道交通システムの2倍以上になる可能性があるという結論が出された。(表A.1参照) 発展途上にある都市の道路上の公共交通システムは、そのほとんどが民間企業によって運営されているが、運賃が低すぎて妥当なサービスレベルを維持できない。また、経営者は基本的に整備の未熟さによって自らの資本を食いつぶしている。システムを改善しようとする、運賃引き上げを通じて最低の所得層から改善資金の拠出を強いるという公平性の問題が生じる。

1日の中で行われる移動に占める公共交通機関の割合は、ケーススタディによって大きなばらつきがある。ペロホリゾンテ、メキシコシティ、ムンバイは、全都市中で最も公共交通機関の割合が高く、65%~70%である。一方、上海、武漢、クアラルンプールでの割合は低い。上海と武漢は動力なしの輸送手段への依存度が高く、またクアラルンプールでは個人所有の動力付きの手段と競合しているためである。ダカールとチェンナイでは、公共交通機関と動力なしの交通手段との割合がほぼ半々である。

ほとんどの都市では、公共交通機関の大部分が民間企業により提供されている。それには、少々意外だが中国の都市も含まれる。インドの都市は、事実上すべての公共交通機関が依然として政府の管理下にあるため、公有車両は発展途上国の中で最も多いということは間違いない。

ケーススタディの中には、発展途上国の公共交通システムが直面する課題の実例を提示しているものもある。

- 80年代からの人口急増にもかかわらず、ダカールのバスの利用者数は20%減少している。その主な原因は何だろうか？ 理由として、「カー・ラピーデ car rapide」や「ヌディアガ・ヌディアイエス Ndiaga Ndiayes」などのパラトランジット・サービスの台頭が挙げられる。
- チェンナイにおいては、移動に占める公共交通機関の割合

は、1995年までの25年間で20%減少したが、それは主に自動2輪車の急増によるものである。

- クアラルンプールにおける移動に占める公共交通機関の割合は、「ナショナルカー」を通じた自動車業界の宣伝活動と時期を同じくして、1985年の35%から1997年には20%に減少した。
- メキシコシティでは、80年代に公営バスシステムが破綻し、大規模な地下鉄システムの利用者数も伸び悩んだ。これは主に、民間が運営するミニバン、小型バスのパラトランジット「コレクティブ（乗り合いバス）」の急成長によるものである。

これらの課題によって、発展途上国の各都市における公共交通機関の危機の裏にある制度上、経営上の複数の問題が浮き彫りになった。具体例は次の通り。

- 公共交通は公共サービスであるものの、民間産業であるため管理が難しい。公共サービスではない輸送形態の利用が実質上存在しないため、値引き交渉のための指名競争が機能しない。
- 交通システムの経営者は強い政治的影響力を持っている。（メキシコシティの例のように、社会に混乱をもたらすストライキなどの選択肢も含まれる。）その結果、役人が契約上の取り決め（またはその欠落）の現状を変えることは困難である。
- 運賃は物価を顕著に表す要素である。したがって、政治家は依然として運賃引き上げの認可に極めて慎重であり、認可すると深刻な打撃を被る場合（例：ムンバイ）もある。
- 革新技術、新サービスは既存システムから意図的に切り離されることが多い。既存のシステムの変革に対するこれまでの抵抗と、積み重なった、とるに足らない政治的しがらみを回避するためである。その結果、システムは統合されていないものになる。（例：クアラルンプールのLRTシステム）
- 運営の調整、管理を担当する政府当局は発言力が弱く、またインフラ建設を担当する運輸関連の省庁の主要勢力とは切り離されていることが多い。多くの場合、この分離は、交通システム運営の混乱がインフラ投資への資本の流れの安定性に影響を及ぼさないようにしたいという政府の努力によるものである。

- 非公営の交通サービスを支援する上での矛盾が問題をさらに複雑にしている。非公営の交通システムへの支援は、サービスレベルを大幅に向上させ（ドア・ツー・ドアなど）、雇用創出の役割も果たすが、政府が資金援助している交通サービス市場、システム管理などの機能を損なうという側面もある。（例：メキシコシティ）
- 都市内部の複数の管轄区域にまたがる問題は、極めて有害な方法でシステムの統合を遅らせることもある。（例：メキシコシティ。交通車両の耐用年数が周辺の都市部であるメヒコ州と異なっており、境界線をまたぐ地下鉄の路線拡張について合意に至るのが難しい状況にある。）
- 新たなサービス、交通形態の選択は、政治的に複雑である場合が多く、社会に誤った期待を抱かせるという結果に陥りやすい。多くの都市は、完全には実現できそうにない地下鉄システムを待ち望み、相対的に見て実証されていない技術を当てにしながら、単純な解決策すら持たずにいる。（例：上海）

これらの事例では上記の問題にもかかわらず、公共交通機関を活用して、移動における割合を高めるために注目すべき潜在能力があることが示されている。（例：ペロホルizonteでは、モータリゼーションの割合が人口1,000人あたり225台であるにもかかわらず、移動に占める公共交通の割合は70%である。）ムンバイの公営BEST（バス会社）は、1990年代に1日あたりの便数を（乗客数で）約20%増加させ、同期間の収益も2.5倍以上増加させた。また、公共交通機関に大きな予算を割いている都市もいくつかある。（例：上海ではインフラ予算の28%を鉄道システムに割り当て、メキシコシティでは地下鉄の拡張に対して以前から重点が置かれてきた。）しかし、上海がメキシコシティで熱望されているような地下鉄の拡大をお手本とする場合には、都市の拡張を抑え、地下鉄の駅周辺の開発を促進し、道路利用の交通形態との競争を防止する努力をしなければ、そうした鉄道があらゆる移動形態の中で高い割合を維持することはできないであろう。

クアラルンプールは、他の都市と比較し、所得、モータリゼーションが辛うじてではあるが「発展途上国の」都市として分類されるレベルにあり、ある意味で最も厄介な事例の代表例となっている。この事例では、公共輸送に関する公的な管理がおざなりなため、サービスを提供する企業はほぼ破綻している。90年代に、民間企業が鉄道型の3つの交通システム（うち2つは軽量鉄道システム（LRT）で1つがモノレール）の開発に乗り出した。現在運行しているLRTシステムでは、この交通形態を採算の取れる民間の試みとする上での難しさが示され

てきた。この2つのシステムは最近1人のオーナーの下に併合されたが、財政状況の詳細は公表されていない。モノレールシステムは、1990年代後半の金融恐慌によって建設が遅れており、まだ開業されていない。現在のところ、これらのシステムは移動における交通システムのシェアをほとんど取り込んでいない。あるいは、市内の道路渋滞の悪化を抑えるには至っていない。これらの鉄道システムの開業以来の公式なデータは存在しないが、移動における公共交通機関の割合として20%を超えるまでに増加しているとは思われない。

これと対極にある例がペロホリゾンテである。皮肉なことにペロホリゾンテは、都市部の人口と人口密度がクアラルンプールとほぼ同じである。しかし、ペロホリゾンテでは移動の69%を公共交通機関が占めており、クアラルンプールの3.5倍の公共交通機関が利用されていることになる。ペロホリゾンテには、「特別な技術の」交通システムはなく、運行しているバスのスピードも概して遅い。このシステムがなんとか高い割合を維持しているということは、ある程度は効果的な規制構造があり、おそらく市民が自動車を所有できるようになっても、市民のためにバスを利用し続けようという根強い意志があるということの表れである。(ただし、こうしたデータの不正確さも、解釈の一部として無視することはできない。)

発展途上国の公共交通機関の将来にかすかな光をもたらす技術開発もある。まず、20年以上前の有名なクリティバの事例が火付け役となった、高速バス交通(BRT)システムの「革命」が、今や中南米全土(ボゴタ、サンティアゴ、リマ、メキシコシティなど)やその他の地域(最近ではダカールなど)に広まろうとしている。2つ目として、地球環境ファシリティー(GEF)が、公共交通機関の性能改善を目指した多くのプログラムを開始している。(そのほとんどが、BRTプロジェクトおよび世界銀行の融資に直接関連するものである。)最後に、企業家が発展途上国の公共交通機関の実現にもたらした価値を無視するわけにはいかない。発展途上国の都市の道路に「非公営の」交通形態があふれている状況は、一般的に厄介なもののみなされているが、その判断は理にかなっていない。これらのシステムの管理は確かに問題を提起しているが、それは明らかに何かを解明されたという事実があるため存在するのであり、発展途上国であれ北側の都市であれ、そこで明らかになった教訓を無駄にしないようにするべきである。

## 4. 土地開発

移動に対する需要の高まりとモータリゼーションの成長の最も顕著な影響はおそらく、都市部の成長の分散化に見られる。一部の都市の信じられない程の過密状態を考慮すると、ある程度

の分散化は望ましいが、ほとんどの都市にとって分散化の過程は制御しにくいものである。我々の事例には、ナビ・ムンバイ(ムンバイ)および上海の浦東という興味深い例が含まれている。

発展途上国の都市は極めて人口密度の高い状態でこの時代を迎えている。我々の事例を見ると、1haあたりの平均人口密度は武漢が166人、ムンバイが225人、ペロホリゾンテが63人である。上海の人口をニューヨークの大都市圏と同じ人口密度になるように分散させると、現在の約16倍の土地が必要になる。もちろん、上海の人口をこのように再分配するというような極端な例は非現実的だが、発展途上国の都市はほぼ一般的に、爆発的な分散化と構造変革の渦中にあるという事実を否定することはできない。この過程を数値で表すのはかなり困難だが、その傾向は極めて明白であるため、生活様式、また輸送需要の構造や全体量の変化に現れている。

都市の分散化とそれに伴う人口密度の低下をめぐる議論について、このページで答えを出すことはできない。それでもやはり、限られた資源を効率的に開発することが重要である発展途上国の都市での問題の原因がここにあるのはほぼ間違いない。分散化により公共交通機関が機能しにくい居住パターンが生じるため、自動車への依存が強いられることになる。そうした自動車への依存により、今度はさらなる分散化に向かう傾向となっている。これによって、局地的、世界的な汚染や外国の石油への依存度の上昇など、それ自体に付随する問題が生じる可能性がある。さらに、発展途上国の多くの都市が豊かな農業地域に位置しているため、都市の分散化によって食物の安全性という問題の悪化が懸念される。

これらの潜在的問題を考慮し、分散化の動きを縮小する、あるいは少なくとも前向きに導くことができるだろうか? またそうすべきなのだろうか? 発展的な土地開発の場合には、妥当な期間内に問題を改善することができるだろうか? 基本的には、都市部の急成長によって将来性もたらされる。例えばダカールの事例のように、都市が年に3%を超えるペースで成長すると20年後には規模が2倍になる。この成長が一般的な人口密度で起こるならば、20年もかからずに既存の都市と同じ規模の、全く新たな都市化が生じる。実際は、新開発の地域では人口密度は既存の都市よりも低くなり、倍加する都市部よりも面積が広い。基本的にはより効率的な成長の形を模索することができると思われる。しかし、それをどうやって行うかという疑問が残る。

モータリゼーションは分散化を加速させる要因の1つでしかなく、多くの場合は大きな要因にはならない。類似の条件や措置によっても、都市の郊外化が推進される。発展途上国の多くの

都市（例：ムンバイ、上海）では、超過密状態を緩和するために分散化が模索されることが多い。（例えば、上海ではこの10年間で1人あたりの生活空間が大幅に増加している。）しかし、往々にして、期待を超える分散化が促進されるという影響が生じる傾向がある。開発者が周辺の安価な土地を求めることによって、問題が悪化している。経済のグローバル化が進む中で、新たに進出してくる国際企業は、事業を開始するための大きな大学のキャンパスのような環境を、必然的に大都市周辺に求めなければならないことが多い。中国の都市では、経済の過渡的な側面も分散化の一因となっている。例えば、1平方メートルあたりの土地価格の変動によって、中心部の土地は周辺の土地よりも価値があるということが初めて認識されるようになる。これにより、借地人は中心から離れた土地に退避し、市街地の土地をその立地条件から高い利潤を得ることができるような利用者に譲渡するようになる。自治体が隣接する業社から都市開発できる土地を購入する際は、その土地から得られる収益のすべてを最初の賃貸契約時に回収する。その後自治体はその土地からさらなる収益を得ることはない。したがって、継続して収益を得るためには、都市は絶えず新しい土地を購入し続けなければならない。このように、収益を求める動きが分散化を加速することになる。

また、WTO加盟により中国に関心を示すようになった新たな多国籍企業を獲得しようとする動きに特に刺激され、上海は1990年代の間に面積を優に2倍にまで広げた。南京の郊外では、その中心部の人口密度は極めて低いため、アメリカ南西部の郊外の下手法模倣のようになっていた。地方のプランナーは現在、この人口密度は低すぎることを、さらに中国の現在の社会的・経済的側面が流動的なものであることを考えると、この種の問題について恒久的な決定をするのは極めて困難であると結論付けている。

ナビ・ムンバイの事例もよい例である。1970年代にナビ・ムンバイの計画を開始したマハラシュトラ州の企業は、街の主要部が集中している半島の過密さとアクセスの不便さの緩和を目指し、そこから湾を渡った場所に中心街が連なるような都市を設計した。これらの中心街は、部門や規模別の職場、特定のインフラ要件、住宅地域など、極めて細かく分けられている。それらは、移動の需要が最小になるよう、さまざまな構成要素のバランスをとって次々に開発されることになっていた。目的は、ムンバイの大都市圏の中にありながら、中心街への移動の必要性を最小限に抑えることであった。だが実際のところ、開発が進むと上記の開発計画は支持されず、この地域全体が不規則に広がるムンバイの郊外住宅地となってしまった。大半の通勤者は市の中心街まで湾を渡るか迂回するような形で通勤しなければならなくなった。こうしたことが、市の中心街のさらなる過

密、湾を渡る橋や高速道路への極めて大きな支出、およびムンバイの非常に完成度の高い通勤鉄道網のひどい混雑の原因となった。

土地計画と輸送システムとを効果的に統合することは、ほとんどすべての発展途上国（および先進国）において、難しい問題である。開発を分散化しつつ、分散化しすぎないということが求められる。この状況をコントロールするには、過密状態を緩和するように開発を分散化させるための計画を立てるのが理想だが、同時に、輸送や交通サービスの供給が実行可能と思われる人口密度も考慮すべきである。しかし、ナビ・ムンバイの事例のように、計画者に「正しいアイデア」があるとしても、我々はその導入に頭を悩ませ続けることになる。正反対の例としては、上海の中心部から川を越えたところにある浦東が挙げられる。政府が多大な権限を持って土地開発の計画を策定したこの地域は、適切に制御されたモータリゼーション、および雇用と住宅地域のバランスという2つの要素と共生できる人口密度になるような意図を持って整備された。浦東を上海の中心部と公共交通機関とトンネルで接続しようという試みが実行に移された。1995年頃に建設が始まったが、現在は100万人を優に超える住人を抱え、工業、役所および商業に関する雇用が発生している。もちろん、全員について住宅と職との釣り合いが実現したわけではないため、雇用主はバスをチャーターして従業員を他の場所から大都市圏へ移動させている。これは基本的に成功しており、開発プロジェクトを包括的に管理する政府当局の能力を実証している。もちろん、世界の中で浦東のような事業を始めることができる権限を持つ政府はほとんどない。

概してこうした問題は難しいが、そこから得られるものは大きい。土地開発管理はおそらく、成長著しい移動需要の問題に対する真に安定した唯一の回答なのかもしれない。これまでのことから、発展途上国において、ある種の均衡（まだ不十分なものだが）は最終的には達成されるということが分かっている。しかし、適応には痛みが伴う。

## 5. 制度

プロジェクトの準備、規制、運営管理、整備、計画など、輸送のあらゆる側面に浸透している根本的な課題は、依然として制度に関するものである。発展途上国の各都市が直面する制度上の課題の議論をする際には、まず、それらの都市が高まる需要に圧倒され、限られた資源によって行き詰っているということを考慮しなければならない。中央集権性の強い中国は、今でもこうした課題に直面している。また、メキシコシティも同様で、連邦政府と少なくとも2つの州政府、50余りの市政府のそれぞれが支配権や政治的資源の断片を奪い合うような状況にあ

る。民主主義の成長と政府の分散化は、一般には発展と同調して生じ、それによってもたらされるより大きな利益に対して反論できる人はほとんどない。しかし、都市が成長し、管轄区域が広がるにつれて、システム管理に関する制度上の課題が急激に増加するように見えることもある。

発展途上国では、財政の実態や、それに伴い生じる官僚や公務員の問題により、こうした状況は悪化している。多くの場合は給料が極めて低く、概してまだキャリアのスタート時にある若い専門家達を惹きつけることとなる。そのような専門家は、（並行してコンサルティング業務を行うなど）政府に雇用されながら個人的に利益を得ることも可能である。また、社会に対する義務感からだけで主要な地位に就いてしまう者もいるが、そうした人物の中に、重要な対策を担っている英雄的な人物も少なくないことを我々の誰もが知っている。

関連機関においては行政責任の不透明さによって生じる問題もある。下の階層にある機関は財政難に陥っている場合が多いため、国家政府からの救済を当てにして、行動をなかなか起こさない可能性が高い。例えば、多くの政府の慣習では、インフラ構築は国の責任だがその維持は地方の責任となっている。したがって、ゴミの回収の資金繰りにも苦勞しているような地方政府は、全面的な再構築が必要となる程度まで道路が劣化すれば、国が介入してくれるだろうという希望を持ちながら、こうした劣化を放置している。

政府が新政権になると主要な役人全員とともに輸送機関のトップも交代するため、プログラムが中断してしまう。（同じ政党が再選されても、トップの顔ぶれが交代してしまえば、こうした現象は往々にして起こる。）これによって、輸送の問題点を分析するための有用なデータや、問題解決法の継続的な発展を妨げる深刻な障害が発生し、該当機関が適切な輸送計画を策定できなくなる場合が多い。多くの場合、輸送計画はコンサルティング会社の共同体が作成する。こうした計画は遂行するよう勧告されるが保証はされないのが通例であり、また計画自体も、ある特定の団体に決定能力を限定するために、ほとんど広まることはない。その結果、一連のコンサルタントからの互いに関連性のない報告書に基づいて対策がとられるため、一貫性のある方針を打ち出すことができない。仮にデータを収集できたとしても、体系的な収集が行われることはめったになく、嚴重に保護される。情報は権力なのである。

最終的に、単一の社会規範がまだ存在していないため、規制措置と施行は極めて困難であることが多い。中近東やアフリカでは、2つ以上の全く異なる法制度が同時に施行されていることすらある。規制問題に関して合意がなければ、その施行は難しい。発展途上国の多くの都市では、公共交通機関は営業許可なしで運行されているほか、車両登録は不完全であり、個人の運転免許証でさえもその大部分は偽造されたものである。こうした問題が解決されれば、発展途上国の都市における輸送状況は改善するだろう。

#### 参考資料

Allport et al, 1990. Study of Mass Rapid Transit in Developing Countries. Contractor Report CR188, Halcrow Fox, TRRL.

Gakenheimer, R. 1999. Urban mobility in the developing world. Transportation Research Part A, No. 33, pp. 671-689.

Rail India Technical and Economic Services (RITES). 1995. Comprehensive Traffic and Transportation Study for Madras Metropolitan Area, Final Report, September.

World Bank. 1994. TWUTD Highways Sector Database.



# 事例選択の背景

## 1. モータリゼーション

我々は、発展途上国における広範な都市交通の状況とその影響要因を効果的に表すことができるさまざまな都市を選択することを本来の狙いとして、発展途上国の事例に着手した。言い換えると、この事例は、基本的な都市構造を想定した都市交通の「原型」としての機能を果たし、その原型が構造の中のバリエーションを表すような試みとなっている。したがってこの原型は、ステークホルダーらに基準点を提供する働きをし、「原型の都市」と見なされるともに、ある都市の状況の概略を理解するのに役立つと思われる。「原型の都市」の背景にある考え方は、個々の都市について解説するのではなく、その原型から体系的なパターンを推定する分類システムを開発するというものである。

しかし、このような作業における課題には、幅と深さのバランスをとること、あるいは原型の枠組み内のあらゆる都市を大まかに「位置づける」ために十分な解像度を提供しつつ、同時に処理しやすい数の有意義な記述的特徴を提供することにある。結局のところ、このような作業は一筋縄では行かない。ある特定の都市のグループによって、世界の都市部におけるさまざまな相違点を効果的に把握することができるだろうか？あるいは、文化的なバリエーション、民族的、歴史的な相違、期待や

好み、および政治的な手法に幅がありすぎて、原型についてどのように一般論を述べても意味がないのではないか？また、モビリティの観点から見れば、都市による状況の違いは、収束するグローバルな経路上のさまざまな段階を反映しているに過ぎないのかもしれない。このプロジェクトの狙いには、発展途上国全体の都市交通のパターンの集中と分散の可能性を把握するということも含まれている。

厳密なモビリティの観点から、あるいはより幅広い観点から、都市部を分類する先例がいくつかある。例えば、SESAMEプロジェクト (SESAME, 1999) では、特に欧州の都市における「土地利用と行動パターンおよび移動需要の3者間の相互関係に関する知識の状態を改善すること」に重点が置かれた。欧州全体から40都市をサンプルとして使用するSESAMEプロジェクトでは、比較的良質なデータが入手可能な場所ですら、データの収集と調和の課題が強調されている。問題として、偏ったデータ収集地域と異なるデータ源、都市部の定義によってもたらされる偏見（通常は場所によって異なる）、および土地利用と輸送データの全体的な利用可能性などが挙げられる。SESAMEプロジェクトでは、我々が上記で指摘したのと同様に、適切さ（有益なデータを備えていること）と、運用しやすさ（実際に必要なデータにアクセスできること）との間のバラ

表A.2 欧州都市交通の都市の分類例

都市のタイプ	都市群
自動車の都市	ボルドー、ナント、トゥールーズ(フランス)、ザールブリュッケン(ドイツ)
自動車および徒歩の都市	アーヘン、エッセン、ゲルゼンキルヘン、カッセル、ヴィスバーデン(ドイツ)、グルノーブル、リヨン、ナンシー、サンテティエヌ、ストラスブール(フランス)、ブリストル、レスター、マンチェスター(英国)
公共交通機関の都市	バルセロナ(スペイン)
公共交通機関および徒歩の都市	ボーフム、ボン、ケムニッツ、ドレスデン、デュッセルドルフ、ハレ、ハノーバー、カールスルーエ、ミュンヘン、ニュルンベルク、ロストック(ドイツ)、ベルン、チューリッヒ(スイス)
オートバイの都市	アムステルダム、ブレダ、アイントホーフェン(オランダ)

出所：SESAME, 1999

ンスをとる必要性が指摘されている。この努力の一環として、SESAMEプロジェクトは、クラスター分析という数学的手法を用いて、ある変数に関して似た特徴を示す都市のグループを識別した。このプロジェクトでは、指標の範囲をまったく都市を類型化することは困難であると判断し、最終的には、基本的な人口統計学的指標（人口や人口密度）を越えて、最も有効な類型論は輸送形態に関連するものであると結論付けた。（表A.2参照）

Hall & Pfeiffer (2001) はさらにこれより一般的かつ定性的に、人口統計学および社会経済の発展を土台として3つの基本的な都市の種類を区分した。この類型学によると、発展途上国の都市は「変則的な過成長」の事例または「勢いある成長」の事例のいずれかとして特徴付けることが可能であり、また先進国ではほとんどが「成熟都市」のカテゴリーに適合している。（表A.3）興味深いものではあるが、このような分類は広範すぎるため、都市の交通分析のための有意義な原型となる枠組みを提供することはできない。

世界気候変動に関するピューセンターが発行した発展途上国における輸送と気候変動に関する最近の一連の報告書も、Sperling and Salon (2002) によって提案されたように、それによって影響の一般的な要因をあぶり出すことができる多くの特徴を明らかにすることに役立つ。このような要因には、政治権力、政策環境、土地利用のパターンおよび社会規範が含まれる。（図A.4参照）

## A2. 原型の枠組みへの試み

これらの先例から、我々は原型の都市がより詳細な研究にも利用できるような枠組みを引き出そうと試みた。原型をそのような枠組み内に位置づけるという考え方によって、より多くの都市に対する原型事例の「一般化」を促進することができると思われる。このような枠組みを開発するために、我々は因子分析の統計的手法を用いた。この手法は基本的に、一定のデータの中の変数が、どのようにして互いに比較的独立している論理的な下位郡を形成するのかということを見出すのに役立つ試みである。因子分析は、変数同士の関係の検討あるいは基底構造に関する仮説の確認にも利用できる。この手法は、特に「さまざまな状況の中の一貫した構造」(Berry, 1971) を定義するのに適しており、「その場限りの印象よりも、実験を通じて安定した基盤に基づく」(Jones and Jones, 1970) 類型論(原型)を構築するのに役立つと思われる。都市部を理解する手助けとしての因子分析の利用は、少なくとも1960年代にさかのぼることができる。

データ削減手法である因子分析は、変数を少数の因子へとグループ化することにより多くの相互関連する変数中の相関性を調査するものである。世界中の都市交通を対象としてこの分析を実施するために、我々はマードック大学の持続可能性および技術政策研究所の研究者によって開発されたミレニアム輸送データベースを活用した。このデータベースにおいては、データの出所、およびそのデータが実データなのか仮説から導き出されたデータなのかという点が完全に明らかにされていないわけではないということも指摘しておかなければならない。このデータを活用するために、我々は100都市に関して229の変数を持つ元々のデータベースを削減し、多くの都市に（特に発展途上国の都市）に関する不完全なデータを突き止めなければならなかった。また、我々は反復する変数を除外し、一部の变数（鉄道輸送の形式に関するもの）を統合し、表される都市の数と存在する変数の数のバランスをとる試みも行った。因子分析に使われた最終的なデータセットは、83都市についての54の変数からなるものであった。この過程で、発展途上国の事例の多くが脱落した。（表A.4参照）

主な構成要素の因子分析手法（およびバリマックス回転）を使用し、我々は83都市全体の輸送変数におけるばらつきを分析した。この狙いは、純粋に輸送システムの特徴（1人あたりの車両数、移動に占める交通手段の割合、エネルギー消費など）だけに基づいて、都市がどのように変化するのかということ把握することであり、我々はそれによって根底にある基本的な構造を明らかにすることを試みた。最終的に、我々はデータ内に累積する変動の70%を占める9つの因子を選び出した。この因子の意味は、変数の相対的な呼び出しによって提示されるものである。（我々は0.6を超える呼び出しのある変数を選択した。）図A.5はこれらの因子と主要な関与変数を示している。

因子分析の結果は、原則的に「洞察」を確認するものであり、都市の基本構造におけるばらつきを効果的に把握するためには、多くの局面を表す原型が必要であるということを示している。また、この分析は輸送変数を考察したものにとらず、輸送以外の変数をわずかも追加すれば、次元性はさらに複雑なものとなる。代表的な原型事例を効果的に選抜するために、我々はアフリカ、アジアなどの地域や人口統計、および社会経済など、「原型」における都市の表現にとって重要な「質的要因」も把握しなければならない。さらに、これによって多次元性の課題が発生し、より多くの局面を検討すればするほど、最終的な結論は主観的なものになる。最終的には、この総合報告書の導入部で論じたように、我々はその他の因子の中から洞察、データの利用可能性、および地理的な範囲のバランスをとる事例の選択に向けた手法を選んだ。



表A.3 グローバルシステムにおける都市の種類

都市のタイプ	見られる場所	特徴
変則な過成長	サハラ以南のアフリカ、インド、中近東のイスラム諸国、貧しい中南米諸国	人口の急成長（人口移動および自然的なもの）、変則的な部門依存の経済、広範囲におよぶ貧困、広範囲にわたる変則的な居住、基本的環境および公衆衛生の問題、統治の問題
大きな成長	急激な発展段階にある中所得の発展途上国（東アジア、中南米および中近東）	人口増加の速度低下、高齢者の増加、急速な経済成長が進行中、環境問題
高齢化により弱体化する成熟都市	OECD	一定または減少する人口、高齢化および核家族化、緩やかな経済成長および適応、社会的分極化、大都市の極の影響を受ける地域にある小都市の発展に拍車をかける拡散と再集中化

出所：Hall and Pfeiffer, 2001

表A.4 発展途上国における輸送に影響を及ぼす主な要因

要因	特徴
権力	中央集権化の度合い
政策環境	執行能力、促進因子（大気汚染）
土地利用のパターン	密度、拡張、制限
社会規範	「集団の方向性」
共通利害者団体の強み	産業界、NGOなど
インフラの先例	営業許可、投資環境

出所：Sperling and Salon, 2002より

表A.5 83都市の輸送システムの多様性の原因となる要因

因子名	被説明変数		主な関与変数
	変数%	累積%	
自動車輸送	19.74	19.74	道路の過密さ、1人あたりの自動車台数、平均道路速度、1人あたりの移動量、CO排出量、自動車エネルギー消費
オートバイ	9.14	28.88	1人あたりのオートバイの台数、オートバイ利用の頻度
利用者の費用	8.49	37.36	自動車による移動単位あたりの平均コスト、公共交通機関による移動単位あたりの平均コスト、民間の交通手段運営コストのGDPのパーセンテージ
バス交通	6.80	44.17	1人あたりのバスの台数、1人あたりのバス車両Km、1Kmあたりの燃料価格、公共交通機関の燃料利用
汚染物質の排出	5.75	49.91	1人あたりのCO排出量、1人あたりのSO <sub>2</sub> 排出量、1人あたりのNO <sub>x</sub> 排出量、1人あたりのVOC排出量
公共交通機関の拡張	5.11	55.02	公共交通機関の路線の距離、公共交通機関による移動の平均距離
移動距離および時間	4.93	59.95	平均移動距離、自動車による移動距離、自動車による移動時間
バスの優先度	4.21	64.17	1人あたりおよび1haあたりのバス路線の優先度
インフラ投資	3.89	68.06	公共交通機関に対する投資のGDPの割合、道路投資に対するGDPの割合

## 参考資料

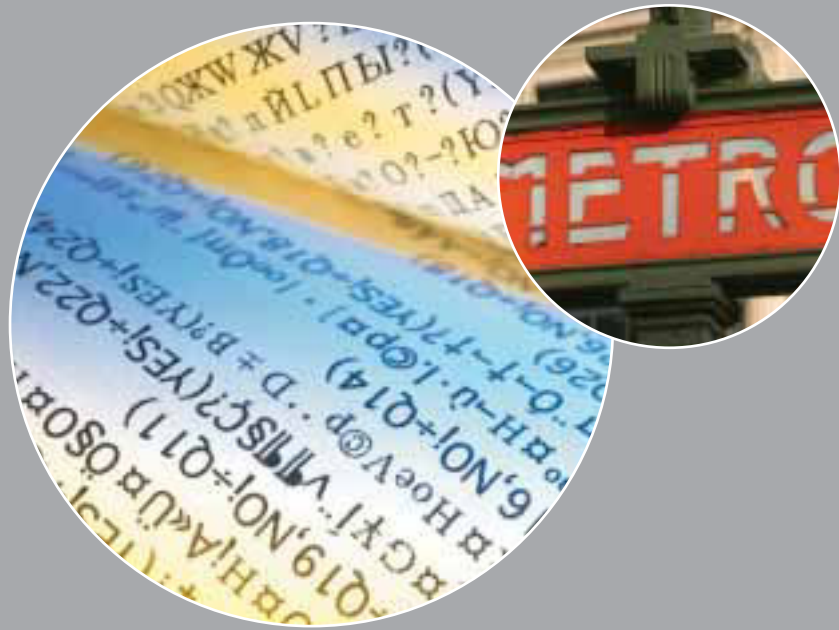
Berry, B.J.L. 1971. Introduction: The Logic and Limitations of Comparative Factorial Ecology. *Economic Geography*, Vol. 47, Issue Supplement: Comparative Factorial Ecology, June, pp. 209-219.

Hall, P. and U. Pfeiffer. 2000. *Urban Future 21: A Global Agenda for Twenty-First Century Cities*, E&FN Spon, London, for the Federal Ministry of Transport, Building and Housing of the Republic of Germany.

Jones, K.J. and W. C. Jones. 1970. Toward a Typology of American Cities. *Journal of Regional Science*, Vol. 10, No. 2, pp. 217-224.

SESAME Consortium. 1999. FINAL REPORT SESAME (194). For the Transport Directorate-General (DGVII) of the European Commission as part of the 4th Research and Development Framework Programme. February.

Sperling, D. and D. Salon. 2002. *Transportation in Developing Countries: An Overview of Greenhouse Gas Reduction Strategies*, Prepared for the Pew Center on Global Climate Change, May.



Abbreviations

Glossary of terms

# Abbreviations

**AC** – Alternating current

**ADAS** – Advanced Driver Assistance Systems

**AEO** – Annual Energy Outlook (published by the US Energy Information Agency)

**ASK** – Available seat kilometre

**BAC** – Blood alcohol content

**BTL** – Biomass To Liquids

**CAFE** – Corporate Average Fuel Economy

**CAI** – Controlled Auto Ignition

**CIDI** – Compression Ignition Direct Injection

**CIF** – Cost, insurance and freight

**CNG** – Compressed natural gas

**CO** – Carbon monoxide

**CO<sub>2</sub>** – Carbon dioxide

**COE** – Certificate Of Entitlement (Required to purchase vehicle in Singapore)

**CONCAWE** – Conservation Of Clean Air And Water In Europe

**CRA** – Charles River Associates

**CTS** – Cybernetic Transport Systems

**CVT** – Continuously Variable Transmission

**DALY** – Disability-Adjusted Life Years

**DC** – Direct current

**DfT** – Department for Transport (UK)

**DI** – Direct Injection

**DME** – Di-Methyl Ether

**DPF** – Diesel Particulate Filter

**DRL** – Daytime Running Lights

**DTLR** – Department Of Transport, Local Government And The Regions (UK)

**DWI** – Driving while intoxicated (Drinking And Driving)

**ECMT** – European Conference Of Ministers Of Transport

**EEA** – European Environment Agency

**EIA** – US Energy Information Administration

**EMD** – Electro-Motive Division (Division of General Motors)

**EU** – European Union

**EU-15** – Group Of The Following Countries: Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Portugal, Spain, Sweden, United Kingdom

**EU-25** – Eu-15 + Acceding Countries (Cyprus, Czech Republic, Estonia, Hungary, Latvia, Lithuania, Malta, Poland, Slovak Republic, And Slovenia)

**EUCAR** – The European Council For Automotive Research & Development

**EV** – Electric Vehicle

**FAME** – Fatty Acid Methyl Esters (see “biodiesel” in glossary)

**FCV** – Fuel Cell Vehicles

**FKA** – Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (German Research Institute)

**FSU** – Former Soviet Union (Armenia, Azerbaijan, Belarus, Georgia, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Moldova, Russia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, Uzbekistan, And The Baltics (Estonia, Latvia, And Lithuania))

**F-T** – Fischer-Tropsch

**G-7** – Group Of Countries Made Up Of the US, Canada, France, Germany, Italy, UK, and Japan.

**GDP** – Gross Domestic Product

**GHG** – Greenhouse gas (see glossary)

**GNI** – Gross National Income

**GTL** – Gas to liquids (see glossary)

**HOT** – High Occupant Toll (see glossary)

**HOV** – High Occupant Vehicle (see glossary)

**ICE** – Internal combustion engine

**IEA** – International Energy Agency

**IMF** – International Monetary Fund

**IMTS** – Intelligent Multimode Transit System

**INRIA** – French National Institute For Research In Computer Science And Control

**IPAI** – International Primary Aluminium Institute

**ITS** – Intelligent Transport Systems (see glossary)

**JRC** – Joint Research Centre Of The European Commission

**kg** – Kilogram

**LDV** – Light Duty Vehicle (see glossary)

**LNG** – Liquefied Natural Gas

**LPG** – Liquefied Petroleum Gas

**LRT** – Light Rail Transit

**MCMA** – Mexico City Metropolitan Area

**MG** – Milligram

**MIT** – Massachusetts Institute Of Technology

**MJ** – Megajoules

**ML** – Milliliter

**MRT** – Mass Rapid Transit

**MV** – Motor Vehicle

**NBER** – National Bureau Of Economic Research

**NEDC** – National Economic Development Council (UK)

**NO<sub>x</sub>** – Various Oxides of Nitrogen

**OECD** – Organisation For Economic Co-Operation and Development

**OEM** – Original Equipment Manufacturer

**OPEC** – Organization For Petroleum Exporting Countries

**Pb** – Lead

**PEM** – Proton Exchange Membrane

**PERS** – Porous Elastic Road Surface

**PGMS** – Platinum Group Metals

**PISI** – Port Injection Spark Ignition

**PKM** – Passenger-Kilometers

**PM-10** – Particulates Having A Diameter Of 10 Microns Or Greater

**PPM** – Parts Per Million

**PPP** – Purchasing Power Parity

**PRT** – Personal Rapid Transit

**RME** – Rapeseed Methyl Ester

**RPK** – Revenue Passenger Kilometer

**SMP** – Sustainable Mobility Project

**SO<sub>x</sub>** – Sulfur Dioxide

**SUV** – Sport Utility Vehicles

**TCRP** – Transit Cooperative Research Program (US)

**TDM** – Traffic Demand Management

**TKM** – Tonne-Kilometers

**TONNE** – Metric Ton

**TRB** – Transport Research Board (US)

**TRC** – Tire-Road Contact

**TTW** – Tank-To-Wheels

**V/C** – Ratio Of The Average Projected Traffic Volume Over An Element Of Infrastructure To The Infrastructure's Rated Capacity

**VAL** – Light Automatic Vehicle - Is A Fully Automated, Unattended Metro System

**VMS** – Variable Message Signs

**VOC** – Volatile Organic Compound

**WBCSD** – World Business Council For Sustainable Development

**WEO** – World Energy Outlook (published by the International Energy Agency)

**WHO** – World Health Organization

**WTT** – Well-To-Tank

**WTW** – Well-To-Wheels

# Glossary of terms

**Alcohol fuels** – See “ethanol” and “methanol.”

**Anthropogenic** – Resulting from or produced by human beings.

**Biodiesel** – Biodiesel, also known as Fatty Acid Methyl Esters (FAME), is produced from vegetable oils, usually via the base-catalysed transesterification of the oil with methanol and sodium hydroxide. This removes the glycerine from the oil, which is necessary to conform to fuels standards. The first biodiesel to be produced commercially was manufactured from rapeseed (or canola) in 1988.

**Bio-fuels** – Fuels produced from biomass crops and wastes. The main biofuels are synthetic diesels, which can be burned in compression ignition (diesel) engines, and bioethanol, which can be burned in spark ignition (gasoline, or petrol) engines.

**Biomass** –the term “biomass” covers a wide range of energy crops such as corn, soybeans, sugar, poplar, willow and switchgrass, as well as agricultural waste and forestry residues. It also includes landfill gas and municipal solid waste. Biomass can be used for conversion into liquid fuels, such as ethanol, methanol, biodiesel and F-T diesel, and also electricity and hydrogen.

**Biomass gasification** – the production of synthesis gas from biomass.

**Carbon neutral** – Emitting no net carbon into the atmosphere.

**Choke points** – points in an infrastructure network where congestion is especially likely to occur due to the convergence of traffic or the reduction in the capacity of the infrastructure.

**Carbon sequestration** – the addition of carbon containing substances to a reservoir.

**Compressed natural gas (CNG)** – Natural gas (see below) in gaseous form stored at high pressure.

**Conventional pollutants** – Substances emitted by the combustion or evaporation of fuels that, either individually or in combination, produce health effects in humans at certain concentrations. The term “conventional pollutants” is generally used to refer to emissions of carbon monoxide (CO), oxides of nitrogen (NOx), particulate matter (PM), sulfur oxides (SOx), and unburned hydrocarbons (HC). The latter are sometimes referred to as volatile organic compounds (VOCs) or non-methyl organic gases (NMOG).

**Cryogenic tanks** – tanks designed to hold extremely cold liquids (e.g., liquid hydrogen).

**Dieselization** – the use of diesel engines to power transport vehicles.

**Di-methyl ether (DME)** – Currently used as a chemical solvent and as a propellant in aerosols, but not as a

transport fuel. A combination of methanol and DME has been suggested as an alternative fuel for diesel engines, as has “neat” (i.e., 100%) DME, which is sulfur-free, low aromatic fuel, and offers potentially better local emissions characteristics than diesel. DME has also been suggested as a potential replacement for LPG and LNG.

**Economies of scale** – reduction in unit costs resulting from a greater rate of output per unit of time. Differs from “experience curve” in that the latter refers to reduction in unit costs resulting from cumulative production of a product.

**Electrochemical** – The production of electricity by chemical changes.

**Enzymes** – Any of various proteins originating from living cells and capable of producing certain chemical changes in organic substances by catalytic action.

**Ethanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)** – Otherwise known as ethyl alcohol, alcohol, or grain-spirit. A clear, colorless, flammable oxygenated hydrocarbon. In transportation, ethanol is used as a vehicle fuel by itself (E100 – 100% ethanol by volume), blended with gasoline (E85 – 85% ethanol by volume), or as a gasoline octane enhancer and oxygenate (10% by volume.)

**Fatty Acid Methyl Esters (FAME)** – See “biodiesel”.

**Feedstock logistics** – the process of gathering raw materials for the production of fuel.

**Fossil CO<sub>2</sub> emissions** – emissions of CO<sub>2</sub> resulting from the combustion of fuels from carbon deposits such as oil, gas and coal.

**FT gasoline** – A fuel manufactured from natural gas using the Fischer-Tropsch process for use in spark-ignition engines.

**Fuel cell** – An electrochemical device that continuously changes the chemical energy of a fuel (hydrogen) and oxidant (oxygen) directly to electrical energy and heat, without combustion. The electrical process causes hydrogen atoms to give up their electrons. It is similar to a battery in that it has electrodes, an electrolyte, and positive negative terminals. It does not, however, store energy as a battery does. Because there is no combustion, fuel cells give off few emissions; because there are no moving parts, fuel cells are quiet. Fuel cells can be used in stationary applications like generating electricity or heating buildings, and for powering vehicles, buses and trains.

**Fuel cell stacks** – A collection of fuel cells. To produce power in large amounts, many fuel cells are combined into a fuel cell stack.

**Fuel infrastructure** – Systems that distribute fuel from its point of production to the point at which it is put into a transport vehicle.

**Gas to Liquids** – The process of producing liquid fuels (either gasoline or diesel) from natural gas. The first step is the production of natural gas to hydrogen and carbon monoxide by partial oxidation, steam reforming, or a combination of the two processes. The product, known as synthesis gas (or syngas) is then converted to a liquid hydrocarbon by a chain growth reaction of carbon

monoxide and hydrogen on the surface of a heterogeneous catalyst. The catalyst is either iron- or cobalt-based and the reaction is highly exothermic (i.e., heat-generating). The temperature, pressure, and catalyst determine whether a light or heavy synthetic crude is produced. At 330 C mostly gasoline and olefins are produced, whereas at 180 to 250 C, mostly diesel and waxes are produced.

**Greenhouse gas** – Those gaseous constituents of the atmosphere, both natural and anthropogenic (i.e., resulting from or produced by human beings), that absorb and emit radiation at specific wavelengths within the spectrum of infrared radiation emitted by the Earth's surfaces, the atmosphere and clouds. Water vapor (H<sub>2</sub>O), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), methane (CH<sub>4</sub>) and ozone (O<sub>3</sub>) and the primary greenhouse gases in the Earth's atmosphere. There are several entirely human-made greenhouse gases. Regulatory attention has focused on sulphur hexafluoride (SF<sub>6</sub>), hydrofluorocarbons (HFCs) and perfluorocarbons (PFCs)

**Harsh road environments** – Operating conditions in which roads are unpaved, poorly maintained, and/or little more than trails.

**Heavy road vehicles** – Generally refers to freight trucks larger than small delivery vans, intercity buses, and public transport buses.

**High emitter** – A vehicle that emits considerably more “conventional” pollutants than permissible under the emissions standard to which the vehicle was certified. There is no single definition that is universally accepted. The US EPA defines “high emitter” as a vehicle emitting a level of emissions at least twice (for some pollutants, three times) the standards to which they were certified. In the work of Professor Stedman and his colleagues, “high emitters” are defined as the “dirtiest 10%” of vehicles.

**High expansion cycle engine** – an engine in which the expansion ratio is higher than the compression ratio.

**Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI)** – A relatively new combustion technology that is a hybrid of the traditional spark ignition (SI) and the compression ignition process (such as a Diesel engine). Unlike a traditional SI or Diesel engine, HCCI combustion takes place spontaneously and homogeneously without flame propagation. This eliminates heterogeneous air/fuel mixture regions. In addition, HCCI is a lean combustion process. These conditions translate to a lower local flame temperature, which lower the amount of Nitric Oxide (NOx) produced in the process.

**HOV Lane** – A traffic lane limited to carrying high occupancy vehicles and certain other qualified vehicles. A high occupancy vehicle (HOV) is a vehicle carrying more than a minimum specified number of passengers. HOVs include carpools, vanpools, and buses. HOV requirements are often indicated as 3+ (three or more passengers required) or 4+ (four or more passengers required).

**HOT Lane** – HOV facilities that allow lower occupancy vehicles, such as solo drivers, to use the facility if they pay a toll. This offers users three options: drive alone on an unpriced but congested general purpose lane, drive alone and pay to use a less congested lane, or rideshare

(carpool, vanpool or ride transit) to use a less congested lane without any additional fee.

**Hybridization** – The process of using multiple propulsion devices (e.g., a spark ignition engine and one or more electric motors) to propel a vehicle.

**Intelligent transport systems (ITS)** – Intelligent transportation systems encompass a broad range of wireless and wireline communications-based information, control and electronics technologies. When integrated into the transportation system infrastructure, and in vehicles themselves, these technologies help monitor and manage traffic flow, reduce congestion, provide alternate routes to travellers, enhance productivity, and save lives, time and money.

**Internal combustion engine** – An engine that transforms fuel into mechanical energy by means of combustion inside a cylinder.

**Light duty vehicle** – Passenger cars and other light personal-use vehicles. In the UK, includes 4-wheeled and 3-wheeled cars, Land Rovers, Jeeps, minibuses, motorcaravans, dormobilities and light vans. In the US, includes passenger cars, pickups, SUVs, and minivans under 10,000 pounds (4546 kg) gross vehicle weight. Does not generally include powered two and three-wheelers.

**Lean burn engine** – A lean burn engine is designed to operate with a very lean air-fuel ratio during light load conditions. Most modern gasoline engines are controlled to run at a chemically correct (stoichiometric) air fuel ratio (about 14.7:1) to make the three-way catalyst operate at high efficiency, reducing tail-pipe emissions. Lean burn engines mix more air with the fuel when full power is not needed, resulting in better fuel economy. Air/fuel ratio in lean burn engines can be as high as 22:1. When full power is needed, such as during acceleration or hill climbing, a lean burn engine reverts to a stoichiometric (14.7:1) ratio or richer.

**Lignocellulosic material** – Any of various compounds of lignin and cellulose comprising the essential part of woody cell walls of plants.

**Liquefied petroleum gas (LPG)** – A mixture of hydrocarbons, primarily propane and butane, with some propylene and butylenes. The gas is a by-product of oil and gas extraction, and of oil refining. LPG is gaseous at standard temperature and pressure, but can be liquefied at pressures of up to 6-8 bar, and is normally stored and transported in liquid form.

**Methanol (CH<sub>3</sub>OH)** – A colorless highly toxic liquid essentially no odor and very little taste. In transportation, methanol is used as a vehicle fuel by itself (M100 – 100% methanol) or blended with gasoline (M85 – 85% methanol).

**Naptha** – A colorless, volatile petroleum distillate, usually an intermediate product between gasoline and benzene, used as a solvent, fuel, etc.

**Natural gas** – A mixture of hydrocarbon compounds, primarily methane (CH<sub>4</sub>), and small quantities of various non-hydrocarbons existing in the gaseous phase or in solution with crude oil in natural underground reservoirs at reservoir conditions.

**Noise barriers** – Structures constructed adjacent to a road, railway line, or airport to reduce noise from transport vehicles using the facility.

**Paratransit** – Literally, “alongside transit.” It includes all public and private mass transportation in the spectrum between the private automobile and conventional public transport.

**Powered 2 and 3 wheeler** – A two or three-wheeled vehicle powered by some form of motor or engine. Includes, among other vehicles, motorcycles and scooters.

**Powertrain** – All the components between a road vehicle’s engine and wheels.

**Proton electric membrane (PEM) fuel cell.** – Considered the most promising fuel-cell technology for use in vehicles. PEM fuel cells use a proton (a hydrogen ion) conducting solid membrane -- much like kitchen plastic wrap -- as the electrolyte. The solid membrane allows the PEM fuel cell to be smaller and operate cooler than liquid electrolytes used in alkaline and phosphoric acid fuel cells.

**Rolling resistance** – A measure of the amount of resistance that is generated as a tire rolls on the road surface.

**Spark ignition engines** – Engines that ignite their fuel using a spark plug.

**Steam reforming of natural gas** – A process by which steam at a temperature of 700-1,100 °C is mixed with methane gas in a reactor with a catalyser at 3-25 bar pressure. Steam reforming of natural gas is currently the least expensive method of producing hydrogen, and used for about half of the world's production of hydrogen. In steam reforming of natural gas, 7.05 kg CO<sub>2</sub> are produced per kilogram hydrogen.

**Telematics** – A general term referring to emerging technologies in automotive communications, combining wireless voice and data capability for management information and safety applications. Applications include vehicle-based electronic systems, mobile telephony, vehicle tracking and positioning, on-line navigation and information services and emergency assistance.

**Water electrolysis** – The production of hydrogen from water using electricity.

## 諮問委員会声明

諮問委員会は、モビリティ・プロジェクトの内容、過程の両方の質および整合性に関してWBCSD事務局に助言を与えるために設立された。委員は、Rt Hon Simon Upton (議長)、Mr. David Ashley、Professor John Heywood、Professor Peter Jones、Professor Suzana Kahn RibieroおよびProfessor Martin Wachsの各氏が務めた。諮問委員会は、森嶋昭夫教授からの助言も受けた。

### 声明文

諮問委員会は、モビリティ・プロジェクトの過程、適用範囲、結論について助言を行い、WBCSD事務局による本プロジェクトに対するモニタリングを支援してきた。

本プロジェクトはDr George Eadsの多大な力添えを受けてきた。同博士の職務は、参加企業と緊密に働きつつ、膨大かつ急速に膨れ上がる報告書を執筆するというものであった。

主役を何人も抱えるプロジェクトは、統一見解にたどり着こうとすれば、絶えず何らかの課題が起きることは最初から明らかであった。このように大規模かつ複雑なプロジェクトでは避けられない制約を考慮すれば、モビリティ部門（特に道路輸送部門）が人間社会や環境に加えている重圧をいかに理解すべきであるか、またどこに解決の可能性を見いだせるか、という問いに関する議論の進展に各企業が有効な貢献を行ったと我々は考えている。

諮問委員会は、選択した手法の限界や欠点を参加企業に気づかせるという目的を持ち、研究期間全体を通じてプロジェクト・チームとの間で自由かつ率直に意見交換を行ってきた。しかし、本プロジェクトの最終報告書もしくはその結論を承認するのは諮問委員会の役割ではない。報告書はメンバー企業の見解を表明するものである。

各企業の専門知識を考慮するなら、本報告書で、より持続可能性の高いモビリティ・システムに向けて車両・燃料技術がなし得る貢献に重点を置いて論じているということは当然とも言える。これに比べ、特に需要管理に関する議論など、他の問題についての検討は十分になされたとは言えない。本報告書では、発展途上国の成長が将来のモビリティのあり方に対して大きな影響力を持つことを認識しているが、データ不足によってそれについての十分な検討ができないでいる。

とはいえ、モビリティの将来に関与する社会には対峙しなくてはならない主要問題が数多くあり、本報告書はそれらの問題を明らかにしていると我々は考える。本報告書で述べられた極めて重要な投資を役立つものにするには、参加企業、関連するセクター、政府および多くの一般市民が、事態が切迫しているという自覚を持って、ここで提示された課題に着手する必要があるだろう。

# Acknowledgements

Many people have contributed to the Sustainable Mobility Project during the past four years. They have generously given of their time, contributed new perspectives, and helped to pull together this report. Listed below are the individuals that represented their companies in the Working Group and Workstreams, as well as supporting consultants and analysts, members of the Assurance Group, and the WBCSD project secretariat staff. In addition the sponsor companies have called upon the expertise of many people working within their respective firms. These individuals are not named here but have provided information, feedback and other support. Many stakeholders have also given valuable advice and comments at workshops, dialogues and other forums. To all contributors – named as well as unnamed – we express our sincere thanks.

## Working Group

Chair  
Mr. Charles Nicholson  
*Group Senior Advisor, BP*

## Working Group company representatives as of June 2004, main and alternates

### BP

Ms. Carol Battershell  
*Director, Alternative Fuels*

Dr. Nick Wilkinson  
*Vice President,  
Advanced Fuels Integration*

### DaimlerChrysler AG

Dr. Ulrich Müller  
*Director, Corporate Strategy Transport,  
Environment and Economic Strategy*

Mr. Hanns Glatz  
*External Affairs & Public Policy European Affairs*

### Ford Motor Company

Ms Deborah Zemke  
*Director,  
Corporate Governance*

### General Motors

Mr. Lewis Dale  
*Director,  
Public Policy*

### Honda Motor Co., Ltd.

Mr Takanori Shiina  
*Chief Engineer*

Mr. Filip Sergeys  
*Government Relations & Regulations,  
Mobility Policy,  
Honda Motor Europe*

### Hydro

Dr. Erik Sandvold  
*Vice President,  
Head of Hydro Aluminium R&D*

Mr. Dag Christensen  
*Head of Strategy and Policy, New Energy*

### Michelin

Ms Patricia Le Gall  
*Corporate Manager for Environment Group*

## Nissan Motor Co. Ltd.

Ms. Hiromi Asahi  
*Manager,  
Technology Planning Department*

Mr. Atsushi Hatano  
*Technology Planning Department*

## Renault

Ms Catherine Winia van Oordorp  
*External & Government Relations*

Mr. Jean-Marc Lepeu  
*Vice-President for Government Relations*

## Shell

Mr. Mark Gainsborough  
*Vice President, Fuels*

Dr. Harald Schnieder  
*Manager, Future Fuels Development*

## Toyota

Mr. Masayuki Sasanouchi  
*Project General Manager,  
Environmental Affairs Division*

Ms Masayo Hasegawa  
*Project General Manager,  
Environmental Affairs Division*

Mr. Willy Tomboy  
*General Manager,  
Environmental Affairs Office,  
Toyota Motor Europe*

## Volkswagen

Dr. Horst Minte  
*General Manager,  
Environmental Strategy*

Dr. Stephan Herbst  
*Environmental Strategy and Business Processes*

Over the four year duration of the SMP, several individuals who have contributed to the Project as Working Group members have moved on to other assignments both inside and outside their companies. These include:

Peter Histon, *BP*;  
Lee Crugman, *GM*;  
Kristin Zimmerman, *GM*;  
Katsunori Kambe, *Honda*;  
Per Sandberg, *Hydro*;  
Soichuro Uno, *Nissan*;  
Masanobu Wada, *Nissan*;  
Tim Ford, *Shell*;  
Armando Patag, *Shell*; and  
Hermann Meyer, *VW*.



A good deal of the work of the SMP was carried out by ten “workstreams.” The participants in these workstreams and the supporting consultants for each workstream were as follows:

#### **WS1 Indicators:**

**Chair:** Per Sandberg, *Hydro*

Dave Moorcroft, *BP*  
Marijo Cicak, *DC*  
Rob Frederick, *Ford*  
Andy Taylor, *Ford*  
Tony Spalding, *GM*  
Filip Sergeys, *Honda*  
Johanna Öster, *Hydro*  
Jacques Toraille, *Michelin*  
Hiromi Asahi, *Nissan*  
Leoni Barth, *Nissan*  
Catherine Winia van Opdorp, *Renault*  
Julien Pagnac, *Renault*  
Armando Patag, *Shell*  
Karen Westley, *Shell*  
Manuela Ojan, *Toyota*  
Michael Mesterharm, *VW*

#### **WS2 Vehicles:**

**Chairs:** Herman Meyer, *VW* & Willy Tomboy, *Toyota*

Andrew Armstrong, *BP*  
Frank Overmeyer, *DC*  
Ingmar Ackermann, *Ford*  
Karl Fiegenschuh, *Ford*  
Pim van der Jagt, *Ford*  
Lewis Dale, *GM*  
Thomas Brachmann, *Honda*  
Hans Ole Riddervold, *Hydro*  
Patrice Person, *Michelin*  
Leoni Barth, *Nissan*  
Yasuo Matsumoto, *Nissan*  
Philippe Bernet, *Renault*  
Stewart Kempell, *Shell*  
Yutaka Matsumoto, *Toyota*  
Tokyuuki Takahashi, *Toyota*  
Okayama Yutaka, *Toyota*  
Stefan Carli, *VW*  
Axel Koenig, *VW*

#### **Supporting consultants :**

FEV Motorentechnik, *Aachen, Germany*  
IKA – Institute for Automotive Engineering, RWTH, *Aachen, Germany*  
Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung, *German Aerospace Center, Braunschweig, Germany*  
IVF – Institute for Transport Research, German Aerospace Center, *Berlin, Germany*  
RAND Europe; *Berlin, Germany and Leiden, the Netherlands*  
VKA – Institute for Combustion Engines, RWTH, *Aachen, Germany*

#### **WS3 Fuels:**

**Chairs:** Mark Gainsborough, *Shell* & Masayuki Sasanouchi, *Toyota*

Christopher Wilks, *BP*  
Paul C. Killgoar Jr, *Ford*  
Gary P. Smith, *Ford*  
Norman Brinkman, *GM*  
Raj Choudhury, *GM*  
Christine Sloane, *GM*  
Takanori Shiina, *Honda*  
Henrik S. Andersen, *Hydro*  
Knut Solberg, *Hydro*  
Leoni Barth, *Nissan*  
Yasuo Matsumoto, *Nissan*  
Claude Delarue, *Renault*  
Rodica Faucon, *Renault*  
Stewart Kempell, *Shell*  
Hirohiko Hoshi, *Toyota*  
Axel Koenig, *VW*

#### **Supporting consultant:**

Frost & Sullivan; *Oxford, United Kingdom*

#### **WS4 Infrastructure:**

**Chair:** Lewis Dale, *GM*

Reinhard Ball, *DC*  
Jamie Seguino, *Ford*  
Kristin Zimmerman, *GM*  
Gilles Lamarque, *Renault*  
Catherine Winia van Opdorp, *Renault*  
Masayo Hasegawa, *Toyota*  
Naoh Ito, *Toyota*  
Shinichi Yamaguchi, *Toyota*  
Axel Riemann, *VW*  
Martina Priebe, *ATAG*

#### **Supporting consultants:**

Battelle; *Columbus, Ohio, USA*  
RAND Europe; *Leiden, the Netherlands*  
RAND USA ; *Arlington, Virginia, USA*

#### **WS5&6 Personal & Goods Demand:**

**Chairs:** Reinhard Ball, *DC* & Deborah Zemke, *Ford* & Filip Sergeys, *Honda*

Carol Battershell, *BP*  
Nick Wilkinson, *BP*  
Dieter Schoch, *DC*  
Lee Crugman, *GM*  
Katsunori Kambe, *Honda*  
Dominique Aimon, *Michelin*  
Françoise Dalle, *Michelin*  
Hiromi Asahi, *Nissan*  
Masanobu Wada, *Nissan*  
Simone Feitler, *Renault*  
Jean Grebert, *Renault*  
Harald Schnieder, *Shell*  
Masayo Hasegawa, *Toyota*  
Manuela Ojan, *Toyota*  
Willy Tomboy, *Toyota*  
Ruth Holling, *VW*

Dirk Kruse, *VW*  
Horst Minte, *VW*

#### **Supporting Consultants:**

Ms Holly V. Crambeck, *Jamaica Plain, Massachusetts, USA*  
Dr Ralph Gakenheimer, *Jamaica Plain, Massachusetts, USA*  
Mr Peter Histon, *Farnham, United Kingdom*  
Dr Christopher Zegras, *Cambridge, Massachusetts, USA*  
RAND Europe;  
*Berlin, Germany and Leiden, the Netherlands*  
RAND USA ;  
*Arlington, Virginia, USA*

#### **WS7 Policy Measures:**

**Chair:** Jacques Toraille, *Michelin*

Nick Wilkinson, *BP*  
Simon Worthington, *BP*  
Marijo Cicak, *DC*  
Tayce Wakefield, *GM*  
Lee Crugman, *GM*  
Filip Sergeys, *Honda*  
Per Sandberg, *Hydro/WBCSD*  
Luc Bastard, *Renault*  
Elisabeth Alteköster, *VW*

#### **Supporting Consultants:**

RAND Europe; *Leiden, the Netherlands*

#### **WS8&9 Modelling & Synthesis:**

**Chair:** Masanobu Wada, *Nissan*

Mark Finley, *BP*  
Nick Wilkinson, *BP*  
Johannes Ebner, *DC*  
Ken Hass, *Ford*  
Jamie Seguino, *Ford*  
Lee Crugman, *GM*  
Lewis Dale, *GM*  
Per Sandberg, *Hydro/WBCSD*  
Filip Sergeys, *Honda*  
Patricia Le Gall, *Michelin*  
Patrice Person, *Michelin*  
Hiromi Asahi, *Nissan*  
Atsushi Hatano, *Nissan*  
Simone Feitler, *Renault*  
Jean Grebert, *Renault*  
Harald Schnieder, *Shell*  
Masayo Hasegawa, *Toyota*  
Willy Tomboy, *Toyota*  
Axel Riemann, *VW*  
Ruth Holling, *VW*

#### **Supporting Consultants:**

Dr Joel P. Clark, *Cambridge, Massachusetts, USA*  
Dr Mark Delucchi, *Fair Oaks, California, USA*  
Dr Leonard Evans, *Bloomfield Hills, Michigan, USA*  
Dr Frank Field, *Cambridge, Massachusetts, USA*  
Dr Randolph Kirchain, *Cambridge, Massachusetts, USA*  
Dr Matthijs J. Koornstra, *Roelofarendsveen,*

the Netherlands

Mr Peter Lukens, *Washington D.C., USA*

Dr Dinesh Mohan, *Indian Institute of Technology, Delhi, India*

Dr Richard Roth, *Cambridge, Massachusetts, USA*

Dr Lou Thompson, *Chevy Chase, Maryland, USA*

Mr Geetam Tiwari, *Indian Institute of Technology, Delhi, India*

TNO Automotive; *Helmond, the Netherlands*

TNO Inro; *Delft, the Netherlands*

#### **WS10a Workshops**

Chair: Mark Gainsborough, *Shell*

#### **WS10b Scenarios**

Chairs: Deborah Zemke, *Ford* &

Armando Patag, *Shell* & Harald Schnieder, *Shell*

Carol Battershell, *BP*

Nick Wilkinson, *BP*

Reinhard Ball, *DC*

Ichiro Sugioka, *Ford*

Lewis Dale, *GM*

Christine Sloane, *GM*

Yoshihiko Kimura, *Honda*

Dag Christensen, *Hydro*

Per Sandberg, *Hydro/WBCSD*

Patricia Le Gall, *Michelin*

Soichiro Uno, *Nissan*

Catherine Winia van Opdorp, *Renault*

Mark Gainsborough, *Shell*

Shigekazu Kato, *Toyota*

Masayo Hasegawa, *Toyota*

Willy Tomboy, *Toyota*

Hermann Meyer, *VW*

Horst Minte, *VW*

#### **Supporting Consultants:**

GBN – Global Business Network; *Emeryville, California, USA*

#### **Communications members**

Chair: Lewis Dale, *GM*

Nick Wilkinson, *BP*

Wolfgang Scheunemann, *DC*

Deborah Zemke, *Ford*

Christopher Preuss, *GM*

Natsuno Asanuma, *Honda*

Osamu Kuroiwa, *Honda*

Patrice Cochin, *Michelin*

Kohki Sone, *Nissan*

Pierre Zigmant, *Renault*

Masayo Hasegawa, *Toyota*

Shigeru Hayakawa, *Toyota*

Tetsuo Kitagawa, *Toyota*

Thomas Mückeleit, *VW*

#### **Lead Consultant**

Dr George C. Eads, *Charles River Associates, Washington D.C., USA*

#### **Modelling Support**

Dr Lew Fulton, *International Energy Agency, Paris, France*

#### **Report Support**

##### **Editor:**

Robin Knight, *KnightWrite, London, United Kingdom*

##### **Data Graphics:**

Lee Crugman and Miguel Cano, *Design Union, Chicago, Illinois, USA*

##### **Report design:**

Ed Bugg, *Seven, London, UK*

#### **Assurance Group**

Chair: Rt Hon Simon Upton, *OECD Roundtable on Sustainable Development, Paris, France*

Mr. David Ashley, Sinclair, Knight, Merz Pty Ltd, *Armadale, Victoria, Australia*

Professor John Heywood, *Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, USA*

Professor Peter Jones, *University of Westminster, London, United Kingdom*

Professor Suzana Kahn Ribiero, *COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brazil*

Professor Martin Wachs, *University of California, Berkeley, California, USA*

Professor Akio Morishima, *Institute for Global Environmental Strategies, Tokyo, Japan*

#### **WBCSD Project secretariat staff**

Per Sandberg, *Project Director, from February 2004, before that Workstream Support*

Tony Spalding, *Communication Manager, from December 2003*

Claudia Schweizer, *Project Officer*

Mia Bureau, *Project Assistant*

Peter Histon, *Workstream Support, from July 2002*

Michael Koss, *Assistant Project Director, until January 2004*

Kristian Pladsen, *Communication Manager, until August 2003*

Arve Thorvik, *Project Director, until January 2003*

John Rae, *Project Director, until January 2001 (deceased)*

## WBCSD連絡先

Project Director: Per Sandberg,  
Per.Sandberg@hydro.com  
Communication Manager: Tony Spalding,  
spalding@wbcscd.org  
Project Officer: Claudia Schweizer,  
schweizer@wbcscd.org

## リードコンサルタント連絡先

George Eads, Charles River Associates,  
geads@crai.com

## 企業連絡先



Charles Nicholson,  
nicholcc@bp.com

## DAIMLERCHRYSLER

Ulrich Müller,  
ulrich.dr.mueller@daimlerchrysler.com



Deborah Zemke,  
dzemke@ford.com



Lewis Dale,  
lewis.dale@gm.com

## HONDA

椎名 孝則  
takanori\_shiina@n.t.rd.honda.co.jp



Erik Sandvold,  
erik.sandvold@hydro.com



Patricia Le Gall,  
patricia.le-Gall@fr.michelin.com

## NISSAN

朝日 弘美  
h-asahi@mail.nissan.co.jp



Catherine Winia van Opdorp,  
catherine.winia-van-opdorp@renault.com



Mark Gainsborough,  
M.Gainsborough@shell.com

## TOYOTA

長谷川 雅世  
masayo\_hasegawa@mail.toyota.co.jp

## VOLKSWAGEN AG

Horst Minte,  
horst.minte@volkswagen.de

# WBCSDについて

持続可能な発展のための世界経済人会議 (WBCSD) は、経済成長、環境保全、社会的公平という3本の柱による持続可能な発展に対して共有の決意を持つ170の国際的な企業の連合体である。

メンバーは、35以上の国と30の主要な産業分野を代表して参加している。我々はまた、50の国家および地域の経済会議のグローバル・ネットワークと、1,000人のビジネス・リーダーたちがグローバル規模で参加するパートナー組織からも支援を受けている。

## WBCSDの使命

持続可能な発展に向けた変革のきっかけをもたらすべく産業界のリーダーシップをとること。また、環境効率、革新 (イノベーション)、企業の社会的責任の向上に寄与すること。

## WBCSDの目的

我々の目的と戦略の方向性は、上記の使命を基本として以下に述べるものを目指す。

### 産業界におけるリーダーシップ

- > 持続可能な発展に関連した問題に対して産業界の声を主導していくこと。

### 政策策定

- > 産業界が効果的に持続可能な発展に貢献できるような枠組みを創出するため、政策策定に参画すること。

### 最善の事例提示

- > 産業界の環境、資源活用と企業の社会的責任における進歩を示し、WBCSDメンバー間でその時点の模範的事例を共有すること。

### グローバルな展開

- > 発展途上国および変革期の国々の持続可能な未来に貢献すること。

## 持続可能なモビリティ・プロジェクトとは何か？

持続可能なモビリティ・プロジェクトはWBCSD (<http://www.wbcscd.org>) のメンバー主導プロジェクトの1つである。本プロジェクトでは、道路輸送における人、物、サービスの持続可能なモビリティに関するグローバルなビジョンを策定する。このプロジェクトは、持続可能なモビリティの達成に向けて、社会が問題を認識しその解決のための行動を取る態勢が整っていることを前提に、環境・経済面の懸念に対処する上で考えられる経路を示すものである。

## 免責条項

Mobility 2030はWBCSDの持続可能なモビリティ・プロジェクトの12の参加企業の幹部による共同作業がもたらした成果であり、メンバー主導のイニシアチブとしてWBCSDがスポンサーを務め、WBCSD事務局がその活動を支援した。他のWBCSDプロジェクトと同様に、SMPIはその活動に際して世界各地の広範囲にわたる利害関係者 (ステークホルダー) の参加を仰いだ。報告書は Charles River Associates とその他数社のコンサルタントの助力を得て作成され、その主要な見解と今後の展望において幅広い一致を見ることができるよう、すべての参加企業による見直しが行われた。おおむね満足のいくレベルの合意が形成されたが、それは必ずしもすべての参加企業が報告書のあらゆる記述内容に同意しそれを支持していることを示すものではない。

## 刊行物の注文

WBCSD c/o SMI Ltd (物流サービス)

P.O. Box 119, Stevenage SG1 4TP, Hertfordshire, England

電話 : + 44 1438 748 111 Fax : +44 1438 748 844

E-mail : [wbcscd@earthprint.com](mailto:wbcscd@earthprint.com) またはウェブ : <http://www.earthprint.com>

刊行物はWBCSDのウェブサイトでも参照可能。

<http://www.wbcscd.org/web/mobilitypubs.htm>

著作権 ©World Business Council for Sustainable Development 2004年7月

