

都市交通システムの  
地球環境負荷に関する  
ライフサイクル評価手法

名古屋大学図書	
和	1250639

1997年3月

加藤 博和

# **Life Cycle Assessment of Influences of Urban Transport System on Global Environment**

By Hirokazu KATO

## **ABSTRACT**

In recent years, because a sense of crisis over global environmental issues internationally is rapidly becoming higher, it is more necessary to take environmental influences into consideration in the restructuring of whole human activities.

Especially, it is recognized that 'global warming' is one of the most serious of global environmental issues. The main cause is greenhouse gas emissions, half of which is CO<sub>2</sub> by fossil fuel consumption. Most of the transport sector depends on consumption of fossil fuel, and efforts to reduce this dependency have not succeeded so far. CO<sub>2</sub> generation from transport tends to increase in both developed and developing countries, and in future, further increase is forecast.

Improvement of transport facilities is executed for higher mobility corresponding with changes in demand for transport. It brings benefits to its users and neighbors, but whether global environmental load increase or not is different in each case. In the construction period, much environmental load is generated. After beginning to use the new facilities, the environmental load from transport activities changes. These changes are a) 'congestion relief effect' and b) 'demand inducement effect'. The size of each effect decides whether total environmental load increases or decreases. Furthermore, life time of a transport facility is relatively long, and its effects and influences continue for a long time once it is completed. Therefore, long-term control of environmental load generation by appropriate establishment of a policy of transport facilities improvement becomes possible. Considering such characteristics, the 'Life Cycle Assessment (LCA)' concept as an evaluation method of global environmental load has been proposed in existing researches.

On the other hand, with measuring environmental impacts of transport facilities improvement, partial objectives, for example, estimation of environmental load from infrastructure construction and forecasting of local environmental change by transport network reformation were studied. However, measurement methods for total influences generated by transport facilities improvement have not been developed. Consequently, in present conditions, it is impossible to judge whether a transport improvement policy results in decrease of global environmental load with transport.

In this research, the aim is to develop a quantitative evaluation method of influences on global environmental load change when urban transport facilities are improved. Incidentally, in this research, only CO<sub>2</sub> is used in calculating global environmental loads. This thesis consists of an earlier part with conceptual presentation and a later part with empirical analysis.

First, as a basic concept for an evaluation indicator of global environmental load, 'life cycle environmental load' is defined. This includes

- 1) 'Global environmental load from transport facilities' which consists of a) that from transport facilities

supply (infrastructure construction, management, maintenance, and demolition), and b) that from transport activities (infrastructure use).

2) Evaluation of cumulative environmental load during the whole life cycle of the transport facility. In this, the life cycle of a transport facility means the whole period from its construction to its demolition.

3) Evaluation of 'embodied environmental load' implying the environmental load from production and conveyance of materials and machines appropriated for construction.

This concept is an application of the existing LCA method to the evaluation of total influences due to improvement of transport facilities, and it is a similar system to cost benefit analysis.

Furthermore, 'Life cycle environmental load' concept is extended from a single transport facility to the whole urban transport system. Then, in the measuring method, the important factors deciding urban transport states are found to be urban growth, consequent increase of transport demand, and motorization. In this research, this phenomenon is called 'urban dynamism'. As a model expressing this mechanism and measuring long-term environmental influences on urban transport investment, a basic system of "Environmental Life-cycle Assessment for Sustainable Transport Improvement of a City (ELASTIC) model" is conceptualized. A main obstacle against this formulation is data constraint. Therefore, in this research, adoption of macro-modeling approach which omits locational relationship in a city makes it simpler to estimate required parameter under data constraint. The basic framework of this model is a 'dynamic macro-economic model', in which demand functions of transport activities and evaluation functions of environmental load are added. In this "ELASTIC model", a city is thought of as a human so that urban transport improvement policy is compared to eating habits, and increase of global environmental load is compared to geriatric diseases.

Next, in the empirical analysis part, the 'life cycle environmental load' concept is applied to evaluate concrete examples of alternative types of single transport facility and alternative policies of investment in the whole urban transport system.

Concerning single transport facilities, environmental load from facility supply is measured using a 'combined-method' of summing-up method and input-output table analysis for evaluation of embodied environmental load in reference to the results of existing LCA researches. In addition, the environmental load from transport activities is estimated based on the design elements of the facilities and forecasted changes of activity level with time. Using this method, comparison of life cycle environmental load for several alternative road types, namely, construction of a tunnel, grade separation in an urban area, and road provision and improvement in a rural area, is analysed. Results of this analysis show that transport facilities improvement in an urban area tends to reduce environmental load because a congestion relief effect is generated. Conversely, that in a rural area tends to rise because of a demand inducement effect and relatively bigger environmental load from transport facilities supply.

In empirical analysis of the global environmental load from urban transport systems, clarifying the mechanism of urban dynamism and the resulting change of transport activities beforehand is emphasized. The most important part of this is the progress of motorization, because the main part of the increase in environmental load generation from transport activities comes from vehicle transport. The detailed analysis

of motorization and the influences on it of transport facilities improvement is covered by time series data from big Japanese cities which have experienced rapid urban dynamism in the past.

From the above analysis, it is made clear that the progress of motorization is composed of a) increment of car ownership level, b) increment of car use rate, c) infiltration of a car-dependent life style, d) fitting of urban spatial structure to car use. Basically, these are due to increasing affordability of cars because of increase in income level. However, while vehicle speed is slow in the dense cities where public transport is dominant, in other cities the 'motorization acceleration' phenomenon happens because more car use and urban spatial structure change progress interactively. It is indicated that public transport improvement and land use regulation policies in a city restrains dependence on car use and reduces environmental load generation from transport activities.

On the basis of the results of the above empirical analysis, the "ELASTIC model" for policy analysis of a real city (Nagoya City, Japan) is formulated. In this model, exogenous variables are economic growth level, population increase rate, and transport investment level as a policy variable. The model composition is as follows;

1) Model for transport facilities supply and consequent environmental load:

This model expresses the increment of transport facilities stock and environmental load from them. Embodied environmental load from facilities construction and quantity of transport facilities stock are estimated by the amount of transport facilities investment in each period. Furthermore, embodied environmental load from facilities maintenance is estimated by quantity of transport facilities stock.

2) Model for car ownership level:

Per capita car ownership as a basic indicator of motorization is expressed by income level, transport facilities level, and urban structure indicator.

3) Model for transport activity level:

Basic components describing transport activities, namely, trip production, choice of transport mode, and trip length are modeled for two classes of traveler, namely, car owners and non-owners. Combination of these models are then used for estimating total vehicle (or train) kilometer for each transport mode.

4) Model for environmental load from transport activity:

Relief of congestion caused by road improvement reduces fuel consumption and environmental load generation. As a modeling of this effect, environmental load generation factor is expressed as a function of average vehicle travel speed which indicates congestion level.

Using this empirical "ELASTIC model", sensitivity analyses with various policies of road and railway investment and various pattern with economic level or population growth scenarios in a city are carried out. It is concluded that the developed "ELASTIC model" can satisfactory quantify the long-term effect of transport facilities on environmental load. It is also concluded that maintaining stable transport investment level in the motorization progress period can help reduce the environmental load since a bigger congestion relief effect is generated.



In this study, the concepts and methods for life cycle assessment of global environmental load change by transport facilities improvement are developed consistently. Using the developed methodology, as well as ex post facto analysis of big cities in developed countries, suggestions for urban transport investment policies in developing countries where motorization it is expected to rapidly progress in the future are given. Further, in combination with evaluation of other influences, for example, financial analysis, cost benefit analysis, local environmental influence assessment, etc., global environmental impact can be taken into consideration within the transport facilities planning and design process.

# 目次

## 1章 序論

1.1	地球環境問題と交通とのかかわり	1
1.2	交通にかかわる地球環境負荷の範囲の定義	4
1.3	研究の目的	5
1.4	論文の構成	6

## 2章 交通に起因する地球環境負荷に関する既往関連研究の到達点と課題

2.1	概説	10
2.2	環境問題への視点	10
2.3	交通に起因した地球環境問題の整理	14
2.4	交通施設供給による環境負荷発生量分析に関する既往研究成果	15
2.4.1	ライフ・サイクル・アセスメント（LCA）の枠組	15
2.4.2	活動の属性による分類	16
2.4.3	推計手法による分類	17
2.4.4	研究成果	17
2.4.5	まとめと課題	20
2.5	交通活動による環境負荷発生量分析に関する既往研究成果	20
2.5.1	活動の属性による分類	21
2.5.2	対象範囲の都市レベルへの限定	23
2.5.3	推計手法による分類	23
2.5.4	研究成果	23
2.5.5	まとめと課題	27
2.6	交通施設供給・交通活動をともに考慮した分析に関する既往研究成果	27
2.6.1	分類	27
2.6.2	研究成果	28
2.6.3	まとめと課題	29
2.7	まとめ ー残された課題ー	29

## 3章 ライフ・サイクル環境負荷の概念と評価モデルの枠組

3.1	概説	35
3.2	評価対象規模と評価する政策との関係	36
3.3	交通施設整備の地球環境負荷評価の基本概念	36
3.3.1	スコーピング（システム境界の設定）	37
3.3.2	社会資本のプロジェクト・ライフとライフ・サイクル	37
3.3.3	「ライフ・サイクル環境負荷」の定義	40

3.3.4	ライフ・サイクル環境負荷の評価指標の応用概念	44
	ー費用便益分析との対比を念頭においてー	44
3.4	ライフ・サイクル環境負荷概念の都市交通システム評価への拡張	
	ーアーバン・ダイナミズムを考慮した評価手法ー	48
3.4.1	都市交通システムにおける「ライフ・サイクル」の再定義	49
3.4.2	アーバン・ダイナミズムと都市交通システム	50
3.4.3	都市の「擬人」化	52
3.4.4	都市交通システムへの投資政策の既往の評価手法	52
3.4.5	ELASTICモデルの定式化	
	ー動学的マクロ経済モデルの地球環境負荷評価への拡張ー	55
3.5	交通施設整備に伴う地球環境負荷評価と既存の評価手法との関係	58
3.5.1	地球環境負荷評価指標の単位	58
3.5.2	地球環境負荷の貨幣価値評価の問題点	60
3.5.3	地球環境影響を含めた統一評価の方向性	60
3.6	まとめ	62

#### 4章 単一交通施設の単一区間での地球環境負荷の評価

4.1	概説	65
4.2	単一交通施設の地球環境負荷の推計手法	65
4.2.1	交通施設供給に起因した地球環境負荷 ー建設CO <sub>2</sub> ー	66
4.2.2	交通活動に起因した地球環境負荷 ー利用CO <sub>2</sub> ー	69
4.2.3	評価の空間的範囲 ー「単一区間」の定義ー	69
4.3	ケース・スタディ：道路構造の違いによる地球環境負荷の評価	69
4.3.1	トンネルの比較ルートによる建設CO <sub>2</sub> の推計	70
4.3.2	都市部の道路交差点改良によるCO <sub>2</sub> の推計	71
4.3.3	山間部の道路改良によるCO <sub>2</sub> の推計	74
4.4	地球環境負荷の貨幣価値評価	78
4.5	まとめ	79

#### 5章 経済成長と都市化による都市交通システムの変容と地球環境負荷

5.1	概説	82
5.2	都市旅客交通の範囲設定と使用可能なデータ	82
5.3	交通施設供給の定量的評価手法	84
5.3.1	社会資本に関するストック・フローの基本式	84
5.3.2	社会資本整備のストック的取り扱い	85
5.3.3	交通施設整備水準と投資額との関係の定式化	89
5.4	都市成長と交通システム、環境負荷の関係の類型	92
5.4.1	モータリゼーション進展と都市空間構造との関係	92

5. 4. 2	交通活動に伴う環境負荷発生量の定式化	98
5. 4. 3	名古屋市における交通活動の地球環境負荷の時間的变化	100
5. 4. 4	道路交通状況と環境負荷発生原単位との関係	104
5. 4. 5	都市交通地球環境負荷量変化のメカニズム	106
5. 4. 6	発展途上国の都市における今後の環境負荷発生 動向分析	107
5. 5	経済成長と都市広域化に伴う自動車保有水準上昇の分析	108
5. 5. 1	自動車保有モデルに関する既往研究の整理	109
5. 5. 2	既存研究のまとめと問題点	110
5. 5. 3	所得水準の上昇による自動車保有状況変化の段階区分	111
5. 5. 4	都市の地球環境負荷レベルを決定づけるタイムスケール	113
5. 6	モータリゼーションに伴うトリップ特性と交通手段選択の動向分析	114
5. 6. 1	トリップ特性分析の方針	115
5. 6. 2	総トリップ数とトリップ生成原単位	116
5. 6. 3	トリップの距離帯別分布	118
5. 6. 4	利用交通手段の変化	120
5. 6. 5	総トリップ長と平均トリップ長	128
5. 7	まとめ	131

## 6章 都市交通システムの地球環境負荷のマクロ的評価

6. 1	概説	136
6. 2	実証的E L A S T I Cモデルの全体構成	137
6. 2. 1	モデル構築における仮定	137
6. 2. 2	地球環境負荷推計モデル	140
6. 2. 3	サブモデルの構成	141
6. 3	交通施設供給に伴う環境負荷発生量の詳細モデル化	143
6. 3. 1	都市交通施設ストックと地球環境負荷との関係の定式化	143
6. 3. 2	交通施設供給による環境負荷の推計	145
6. 4	交通活動に伴う環境負荷発生量のモデル化の方針	147
6. 5	自動車保有水準のモデル化	149
6. 5. 1	所得分布と自動車保有増加	150
6. 5. 2	乗用車保有率モデルの定式化	151
6. 5. 3	乗用車保有率モデルのパラメータ推定と感度分析	153
6. 5. 4	モータリゼーションと都市化との相互関係のモデル化	159
6. 5. 5	自動車保有モデルに関するまとめ	162
6. 6	交通活動のモデル化	163
6. 6. 1	モデルの構成	163
6. 6. 2	生成原単位サブモデル	163

6. 6. 3	距離帯別トリップ頻度サブモデル	164
6. 6. 4	交通手段分担率サブモデル	164
6. 6. 5	総トリップ長サブモデル	167
6. 7	環境負荷発生原単位のモデル化	168
6. 7. 1	道路交通による環境負荷発生	169
6. 7. 2	鉄道走行による環境負荷発生	170
6. 7. 3	モデルによる環境負荷発生量の現況推計	171
6. 7. 4	モデルの感度分析	173
6. 8	交通施設供給モデルと交通活動モデルの結合	173
6. 8. 1	定式化のまとめ	175
6. 8. 2	交通施設投資政策の感度分析	177
6. 8. 3	高度経済成長以前の交通施設蓄積の感度分析	181
6. 8. 4	経済成長速度の違いについての感度分析	183
6. 8. 5	人口増加速度の違いについての感度分析	184
6. 9	まとめ	185

## 7章 結論

7. 1	本研究で得られた知見	189
7. 2	今後の課題	191

謝辞	193
発表論文	195

# 図表一覧

図 1 . 1	本論文の構成	8
図 2 . 1	環境負荷評価の階層構造	18
図 2 . 2	面積でみる交通活動CO <sub>2</sub> 発生量の内訳 (1991、日本)	22
図 3 . 1	単一交通施設における L C A 手法 (組み合わせ法)	42
図 3 . 2	製品の投入－産出関係と環境負荷の流れ	43
図 3 . 3	累積環境負荷チャート	45
図 3 . 4	交通施設整備代替案の比較のための累積環境負荷チャート	46
図 3 . 5	単一交通施設と都市交通システムのライフ・サイクルの関係	50
図 3 . 6	アーバン・ダイナミズムと交通活動、環境負荷との関係	51
図 3 . 7	拡大 L C A の枠組	61
図 4 . 1	単一交通施設における地球環境負荷推計の手順	66
図 4 . 2	矢筈トンネルの比較ルート	70
図 4 . 3	各計画ルートでのトンネル建設によるCO <sub>2</sub> 発生量	71
図 4 . 4	立体交差道路の構造代替案	72
図 4 . 5	交差点改良による建設時のCO <sub>2</sub> 発生量	72
図 4 . 6	建設－利用の累積CO <sub>2</sub> 発生量 (交差点改良)	74
図 4 . 7	山間部の道路の改良工事における代替案	75
図 4 . 8	山間部の道路の改良による建設時のCO <sub>2</sub> 発生量	76
図 4 . 9	建設－利用の累積CO <sub>2</sub> 発生量 (山間部の道路改良)	78
図 5 . 1	名古屋市における道路純資産と市民総生産との関係	87
図 5 . 2	名古屋市における道路原単位の推移	87
図 5 . 3	名古屋市における道路実延長の推移	87
図 5 . 4	名古屋市における道路面積の推移	88
図 5 . 5	名古屋市における道路率の推移	88
図 5 . 6	名古屋市における舗装率および改良率の推移	88
図 5 . 7	名古屋市における建設原単位の推移	90
図 5 . 8	名古屋市における道路事業費の対市民総生産比の推移	90
図 5 . 9	名古屋市の道路事業における建設／維持の比率	91
図 5 . 10	名古屋市の総道路事業費に占める用地費の割合	91
図 5 . 11	モータリゼーション前後の都市広域化のメカニズムの違い	95
図 5 . 12	自動車保有水準と都市広域化との連関関係	97
図 5 . 13	日本の主要都市における乗用車保有率と可住地人口密度との関係	98
図 5 . 14	名古屋市における自動車燃料消費量と市民総生産との関係	100
図 5 . 15	名古屋市における自動車 1 台あたり燃料消費量の推移	101
図 5 . 16	日本の主要都市における乗用車保有率の推移	101

図5. 17	世界の主要都市における乗用車保有率と自動車分担率との関係(1980)	102
図5. 18	名古屋市における自動車平均走行距離の推移	102
図5. 19	名古屋市発トリップにおける代表交通手段構成比の推移	103
図5. 20	世界の主要都市における自動車分担率と交通エネルギー消費との関係	103
図5. 21	平均走行速度と燃費との関係	105
図5. 22	アジア主要都市における自動車保有率の推移	108
図5. 23	車価格およびGNPデフレータの推移	112
図5. 24	名古屋市発総トリップ数の推移	117
図5. 25	名古屋市発総トリップ数の生成原単位および外出者率の推移	117
図5. 26	名古屋市発トリップの距離帯別頻度分布	119
図5. 27	名古屋市発トリップの距離帯別トリップ長	120
図5. 28	名古屋市発トリップの保有／非保有別・距離帯別頻度分布	121
図5. 29	名古屋市発トリップの保有／非保有別・距離帯別トリップ長	121
図5. 30	名古屋市発トリップの代表手段構成比	123
図5. 31	名古屋市発トリップの距離帯別構成比	124
図5. 32	名古屋市発トリップの保有／非保有別・距離帯別構成比	125
図5. 33	名古屋市発トリップの総トリップ長の推移	129
図5. 34	名古屋市発トリップの保有／非保有別総トリップ長の推移	129
図5. 35	名古屋市発トリップの平均トリップ長の推移	130
図5. 36	名古屋市発トリップの保有／非保有別平均トリップ長の推移	130
図6. 1	動学的マクロ経済モデルとELASTICモデルとの比較	139
図6. 2	ELASTICモデルの構成	142
図6. 3	交通施設供給モデル	143
図6. 4	所得水準と単位道路面積あたり建設費との関係(名古屋市)	146
図6. 5	所得水準と単位地下鉄駅あたり建設費との関係(名古屋市)	146
図6. 6	所得水準と単位道路面積あたり維持費との関係(名古屋市)	146
図6. 7	交通活動に伴う地球環境負荷発生量推計のためのフローチャート	148
図6. 8	経済成長による所得分布と自動車保有可能層の変化	150
図6. 9	乗用車保有率モデルの現況再現性	154
図6. 10	乗用車保有率の実際値およびモデル推定値	154
図6. 11	名古屋市における潜在的乗用車市場規模と市場飽和度の推移	156
図6. 12	1人あたり道路面積を固定した場合の 潜在的乗用車市場規模の推移(名古屋市)	157
図6. 13	DID人口密度を固定した場合の 潜在的乗用車市場規模の推移(名古屋市)	157
図6. 14	潜在的乗用車市場規模の等量線と各都市の推移	158
図6. 15	乗用車1台あたり道路面積の等量線と各都市の推移	158
図6. 16	車価格基準化所得と市場飽和度との関係	159

図 6. 1 7	D I D人口密度と自動車分担率との関係	1 6 1
図 6. 1 8	自動車燃料消費量の実際値と推定値	1 7 0
図 6. 1 9	鉄道の走行エネルギー原単位の推移（名古屋市）	1 7 1
図 6. 2 0	名古屋市発トリップの地球環境負荷発生量の推移	1 7 2
図 6. 2 1	乗用車保有率の違いによる地球環境負荷発生量の感度分析結果 （名古屋市発トリップ）	1 7 2
図 6. 2 2	駅密度の違いによる地球環境負荷発生量の感度分析結果 （名古屋市発トリップ）	1 7 2
図 6. 2 3	E L A S T I Cモデルの詳細構成	1 7 4
図 6. 2 4	交通施設投資額の違いによる累積環境負荷変化の E L A S T I Cモデルによる推計結果	1 7 9
図 6. 2 5	1960～79年度の道路・鉄道投資のGDP比と 最終年度（2009年度）の環境負荷発生量＜等量線＞との関係	1 8 1
表 3. 1	道路整備に伴う効果	3 9
表 4. 1	推計に用いた資材のL C I原単位	6 7
表 4. 2	推計に用いた機械のL C I原単位	6 8
表 4. 3	立体交差化による走行状況の変化	7 3
表 4. 4	新道の各構造物の諸元	7 5
表 4. 5	新道建設による走行状況の変化	7 7
表 5. 1	名古屋市発トリップの保有／非保有別・距離帯別 総代表手段構成比の相関分析（第3回＜1991＞）	1 2 7
表 6. 1	分担率モデルの推定結果：距離帯 2 km以上 （名古屋市、P T調査データ）	1 6 6
表 6. 2	分担率モデルの推定結果：距離帯 0 ～ 2 km	1 6 6
表 6. 3	各道路投資代替案に関するモデル推計結果	1 7 8
表 6. 4	各交通施設蓄積ケースに関するモデル推計結果	1 8 2
表 6. 5	各経済成長パターンに関するモデル推計結果	1 8 3
表 6. 6	各人口増加パターンにおける人口の推移	1 8 4
表 6. 7	各人口増加パターンに関するモデル推計結果	1 8 4



# 1 章 序論

## 1. 1 地球環境問題と交通とのかかわり

「環境」とは、「(1)めぐり囲む区域。(2)四囲の外界。周囲の事物。特に、人間または生物をとりまき、それと相互作用を及ぼし合うものとして見た外界。」のことである<sup>1)</sup>。環境から自分に及ぼされる影響のうち、自分にとって都合の悪いものが環境問題である。人類は、その誕生以来さまざまな環境問題に直面し、そのたびに自分たちに都合のいいように環境を改善していくことによって、現在の繁栄を築いてきた。そういう意味において、人類の歴史の一面は「環境問題との闘い」であったとも言える。しかし、近代以前の環境問題が主に自然との闘いであったのに対し、近代の産業革命以降の環境問題は、むしろ人間自身によって引き起こされるものがかなりの部分を占めるようになってきたことに注意するべきである。

工業化の進展は、土地生産性・労働生産性を飛躍的に向上させ、巨大都市を成立させる原動力となった。都市は、人間にとって住みやすい環境を人工的に造り上げた結果そのものであり、その意味では、自然との闘いの所産である。ところが、その都市の内部では、活動密度の増大と、活動に伴うエネルギー消費の増大が生じ、典型7公害やヒートアイランド現象のような都市環境問題が発生するようになったのである<sup>2)</sup>。この解決のために主にとられた策は、汚染源となる生産施設と居住施設との間を物理的・空間的に遮蔽し、汚染が居住者に及ばないようにしたり、汚染を処理する施設を取り付けたりするものであった。しかし、処理しきれない分については自然に投棄され、また処理のために新たなエネルギー消費や環境汚染が発生したりと、都市環境汚染の対策は「外部へのツケ回し」の形で行われた。

経済発展がさらに進むと、環境汚染が自然の浄化能力を越えるようになり、汚染物質が地球上に蓄積される状況が発生した。世界の年間化石燃料消費量は、過去1世紀の間に30倍近くに増加するとともに、現在の世界における工業生産の年間増加量は1930年代末のヨーロッパの総生産額に匹敵する。すなわち、産業革命開始時から第2次世界大戦までにヨーロッパで生じた工業成長と環境破壊が、現在はわずか1年で達成されている計算になる<sup>3)・4)</sup>。このような人間活動の急速な活発化が地球環境問題を発生させることとなる。

都市環境問題が主に、都市住民が原因者であり被害者であるという性質を持っているのに対し、地球環境問題は都市住民から地球全体へのツケ回しという側面を持っている。すなわち、「都市地域（先進地域）から農村地域（発展途上地域）へのツケ回し」、「現世代から後世代へのツケ回し」、そして「人間から生態系へのツケ回し」である。この蓄積されたツケが、将来の人類の存続を脅かす問題として懸念されるようになったのである<sup>5)・6)</sup>。地球温暖化を例にとると、先進国における大量のエネルギー消費によって大気中の温室効果物質が増加し、気温が上昇し気候が変動するとともに、海水面の上昇が生じる。この被害は、発展途上国の沿岸域や穀倉地帯のようなゼイ弱な地域に特に影響を与えるとともに、何十年もの期間を経て顕在化し、また温度変化や海面上昇によって動植物にも多大な影響をもたらすことが予想されている<sup>7)・8)</sup>。

地球環境問題を乗り越えるためには、従来の環境改善策のようにより外側の世界にツケを回すのか、それとも、環境問題を生じさせる活動そのものの改善をはかるかしかない。前者については、例えばCO<sub>2</sub>を深海中で固定化するなどといった手法が考案されてはいるが、現状では実現可能性に乏しい。となれば、環境問題の原因となる人間活動の各局面の見直しが必至である。しかし、地球環境問題においては問題の原因者が非常に多数であるため、各人の加害者意識が低くなる傾向にある。さらにその被害が顕在化するまでに時間がかかることや、被害に至るまでの過程が複雑である。そのため、自律的な地球環境対策を期待することがほぼ不可能であり、かつ地球環境問題が深刻化した段階では手遅れであるという懸念をより高めることとなっている。

このような地球環境問題に対する危機意識が叫ばれ始めたのは、1960年代の終わり頃である。特に、1972年に発表されたローマ・クラブのレポート<sup>9)</sup>は、地球環境問題が経済成長の制約要因となり、人類に対して将来重大な脅威を与えることを早くから警告したものとして最も有名なものである。同じ年に国連人間環境会議がストックホルムで開かれ、人間環境宣言がまとめられるとともに、国連環境計画（UNEP）も設立されることとなった。ただ当時は、環境と経済発展とが互いに相いれない問題としてとらえられていたことや、他の政治・経済問題がより注目されていたことにより、それ以上の盛り上がりを生むことはなかった。それによって、ローマ・クラブのメンバーは20年後の1992年に再び警告を行うことになるのである<sup>10)</sup>。

地球環境問題に対する危機意識は、1980年代後半から再び世界各国の潮流となった。これは、人間活動と地球温暖化との因果関係が明らかになり始めると同時に、オゾン層破壊が観測されたり、世界中で異常気象が相ついで発生したりと、地球環境の変調ととれる事態が生じてきたことによる<sup>11)</sup>。地球温暖化の影響の科学的解明をはかる国際的なセンターの役割を担っている「気候変動に関する政府間パネル（IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change）」は、1990年に公表した第1次報告書<sup>12)</sup>では、地球温暖化対策が行われない場合、その影響は「重大で、潜在的には破滅的ともいえる」としている。その危機意識が、1992年の地球サミットや、その場で締結された「気候変動枠組条約」など、以前では考えられなかったような国際協調の動きを起こすまでになってきている<sup>13)</sup>。環境問題のとらえかたについても、従来のような環境と経済発展との対置を乗り越えたキーワードとして、環境と開発に関する世界委員会が提案した概念が「持続可能な発展（Sustainable Development）」、すなわち、将来世代の発展を阻害することのないように現世代は活動するべきだ、とする考え方が提案され、一般化している<sup>14)</sup>。

このキーワードにも象徴されるように、現在は人間活動全般のあり方に対し「地球環境問題を考慮した視点からの根本的な見直し」が求められる時代になっている。経済大国でありエネルギー消費大国でもある日本においても、さまざまな施策が検討・実施されている<sup>15)</sup>。しかしそれらの成否は厳しいと予測されている。実際、「気候変動枠組条約」や日本の「地球温暖化防止行動計画」<sup>16)</sup>で目標とされている、2000年のCO<sub>2</sub>排出量の1990年レベルへの抑制は、日本を含め多くの国で達成困難な状況であると予測されている<sup>17)</sup>。この状況は、地球環境問題に対する危機意識がありながらその対策を具体的に実現する制度が未整備であることが原因であると考えられ、日本でもよりいっそうの取り組みが必要とされてきている<sup>18)</sup>。

以上に述べてきた人間活動と環境問題との関係は、本研究で著者が取り上げようとしている

都市交通の分野においても例外ではない。交通は、移動主体・交通路・交通具・運転者の4つによって成り立つものである<sup>19)</sup>。このうち、交通路を構成する交通施設は都市の主要な物理的構成要素の1つであり、その建設、維持管理によって多くの資源、エネルギーが消費され、環境影響を生じさせる。一方、交通施設の上で展開される交通活動は、都市活動の主要な1局面であるとともに、交通具の走行によってエネルギーが消費され環境影響が発生する。交通活動の態様は、経済活動の拡大やそれに伴うモータリゼーションの進展によって長期的にダイナミックに変動する。その過程で、各国で交通部門のエネルギー消費が増加し続ける傾向にあり、それによる環境への影響を増大させてきている。例えば、既に自動車の普及が著しい欧米や日本では、交通部門のエネルギー消費量は全体の3割程度を占めるようになり、地球環境への影響を軽減する対策が求められている<sup>20)</sup>。

さらに、交通施設と交通活動は合わせて交通システムを構成しており、互いに独立な存在ではありえない。交通施設は交通活動需要を満足させるために整備されるものであり、また交通施設の整備状況が交通活動のありようを決定する要因となるなど、この両者の間に深い関係があることは明白である。経済成長で先進国の後を追うNIES諸国の大都市では、近年の自動車保有率の上昇に対して交通施設整備が追いついていないため、道路交通渋滞が深刻な状況になっている。もしこのまま放置されると、渋滞による時間損失や大気汚染・騒音等の局地的環境問題はもとより、交通エネルギー消費の増大による地球環境への影響も大きくなっていくものと予想される。

また、交通施設は非常に長期にわたって供用されるものであるため、いったん造られるとその後長期間の交通活動を規定していくことになる。それとともに、交通活動もその特性はライフ・スタイルの一部であり、交通施設整備とのかかわりの中で長期間を経て形作られていくものである。したがって、交通施設整備政策のいかんによって、その都市のその後長期間の環境影響が規定されていくと考えられる。

ところが現状の研究レベルでは、都市交通システムが経済発展と都市拡大に伴って量的・質的にどのような変化を遂げ、その結果が地球に対してどの程度の環境影響をもたらすのかというメカニズムについては、いまだに断片的に明らかにされているにすぎない。それ以前に、このような問題意識自体がまだ希薄である。従来より交通活動や施策に関する分析評価に取り組んできた土木計画学や交通工学の分野でも、アメニティや景観、公害問題に関する研究は蓄積されてきているものの、地球環境問題への取り組みはまだ緒についたばかりである。そのため、都市交通システムの地球環境への影響が交通政策によってどのように変化するかについて知ることは困難であり、有効な地球環境対策を見いだせないのが現状である。

以上のことから、本研究では、都市交通システムが地球環境、特に地球温暖化に対して及ぼす影響とその時間的変化を定量的に把握し、もって各種交通政策による効果影響を評価する枠組を開発することを目指すものである。これによって、モータリゼーションの成熟期に入った先進国はもとより、今後経済発展により交通活動形態の革命的变化が予測される発展途上国の大都市においても、今後の交通施設整備政策に対する地球環境への配慮についていくばくかの示唆を与えることができると考える。

## 1. 2 交通にかかわる地球環境負荷の範囲の定義

### — 交通施設供給／交通活動

ここまで述べてきたように、さまざまな地球環境問題の中で、地球温暖化は現状において最も注目されている問題の1つである。それとともに、交通の寄与が大きい問題である。そこで本研究では、特に断らない限り、地球環境問題として地球温暖化を取り扱うこととする。

また、本論文では「環境負荷 (environmental load)」という用語を多用する。この用語の定義は一般には必ずしも特定されておらず、既往の文献においても意味するところがそれぞれ異なっているが、日本の環境基本法では第2条1項において、「……『環境への負荷』とは、人の活動により環境に加えられる影響であって、環境の保全上の支障の原因となるおそれのあるものをいう。」という定義がなされている。本論文においてもこの定義によるものとする。

環境負荷は、大気汚染・水質汚濁のように物質の形態をとるものや、騒音・振動のようにそれ自体は物質でないものなどさまざまである。本研究で問題とする地球温暖化において、その原因となる環境負荷（温室効果物質）は、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）、メタン（CH<sub>4</sub>）、亜酸化窒素（N<sub>2</sub>O）、フロン（CFC's: Chlorofluorocarbons）などである。人間活動による温室効果物質の量は、体積単位ではCO<sub>2</sub>が圧倒的な量を占めているが、各物質ごとに単位量あたりの温室効果への寄与度が異なるため、その寄与度で比較すると、現状ではCO<sub>2</sub>が約半分を占めている<sup>7)</sup>。本論文においては交通に着目し、この部門からの温室効果物質の大部分はCO<sub>2</sub>であるため、「（地球）環境負荷」は原則としてCO<sub>2</sub>発生を指すものとする。

ところで、現代の人間活動をエネルギー消費や環境影響の面からとらえる場合、産業・民生・運輸の3つの部門に分け、各部門の特徴をとらえることが多い。環境負荷の指標としてエネルギー消費量を取り上げると、日本における1973年度から1994年度への部門別エネルギー消費量シェアは、産業部門が66%から50%へと低下しているのに対し、民生部門では18%から26%へ、そして運輸部門では16%から24%へと増大している。また、1994年度に日本全国において交通（運輸）部門が消費するエネルギーのうち化石燃料が占める割合は98%（1994年）と、産業部門（53%）や民生部門（41%）に比べ、その高さは際立っている<sup>21)</sup>。このように、2度の石油危機以後、コスト意識の高い産業部門では省エネルギー化が積極的に行われている。しかし運輸部門は、エネルギー消費削減や化石燃料からの脱却が進まず、いまだにその動力のほとんどを化石燃料によるエネルギーに頼っている。

また、産業部門に分類されるものの中には、交通を支える社会資本を供給する部門が含まれる。交通施設は、その建設時と言うまでもなく、運営・維持時、廃棄時においても多量の環境負荷を発生させる。日本の建設業における直接的なエネルギー消費量は、産業部門全体の3.3%、国全体の1.6%を占めるが、原材料生産や資材運搬などに要したエネルギーも加えると、国全体の30%程度にも上るという推計もある<sup>22)</sup>。このうちの一部は交通施設供給のために費やされたエネルギーであり、これも交通に起因するエネルギー消費の一部であると言える。もちろんそのエネルギーの多くは化石燃料であり、エネルギー消費によって環境負荷を発生する。

このように、交通にかかわる地球環境負荷には、a)「交通施設供給」（交通施設の建設、維持管理、廃棄）によって交通施設自体から発生するものと、b)交通施設を利用する「交通活動」

（鉄道や自動車の走行）によるものがあり、この両者の環境負荷の合計は人間活動に起因するもののうちかなりのシェアを占めている。本研究では、この両者を合わせて「交通にかかわる環境負荷」として扱うものとする。

なお、ここで1つ付け加えておく必要がある。先進諸国では交通活動の多くの部分は自動車によって担われている。この自動車を製造し、維持管理し、廃棄処分することによっても、多大な資源・エネルギー消費と環境負荷発生が生じる。この環境負荷を交通にかかわるものとするか否かについては議論が分かれるところである。本研究では、自動車自体の環境負荷は自動車産業に帰属するものであり、「交通にかかわる環境負荷」には含めないとして論を進めることとする。

### 1.3 研究の目的

地球温暖化問題に対する危機意識の高まりを背景として、人間活動の各部分において原因物質の発生を抑制することが求められている。その中でも交通にかかわる部門は、モータリゼーションの進展に伴って世界的にそのシェアが増え続けているとともに、化石燃料への依存度も高いために、地球環境への負荷が大きな部門であり、対策が必要となっている。

その中でも、交通活動の大部分が行われている都市部においては、交通施設の不足による道路交通渋滞が輸送効率を低下させ、結果として輸送あたりの環境負荷発生が非常に大きくなっている。とりわけ、発展途上国の大都市ではモータリゼーション進展の初期段階からこうした問題が多く顕在化しており、さらに今後急速に人口流入や経済成長が進むことによって、問題がますます深刻になる可能性が懸念される状況にある。

このような現状から、交通に対する政策の評価についても、従来の経済効果を主としたものから、地球環境影響の考慮を加えたものに転換していく必要がある。以上のことから、経済成長の結果都市においてどのようにモータリゼーションが進展し、また都市交通施設整備水準との関係を踏まえて都市交通の利用形態がどう変化していくのかを把握し、さらにそれによって都市交通の環境負荷がどう変化するのかを知る必要がある。ところが現状では、そのような分析が行われているどころか、そのための基本データ整備や推計手法の蓄積も不十分なままであり、評価の視点さえ定まっていない。加えて、都市レベルを対象とした調査研究は、主にデータ制約や都市範囲設定の問題が大きく、困難を極めている状況である。

そこで本研究では、都市旅客交通にかかわる地球環境負荷発生量を評価する枠組を構築し、都市発展に伴う環境負荷発生の時間的变化やその要因を明らかにするとともに、各種政策によるその制御可能性について明らかにし、地球環境面からみた都市交通政策のあり方を示すことを目的とする。さらに対象範囲の大きさによって、単一交通施設と都市全体の交通システムとに分け、それぞれについて地球環境負荷の評価手法を構築する。

単一の交通施設については、その供給、すなわち建設・維持管理・廃棄に伴って生じる環境負荷の分析手法として近年研究が進んでいるLCA（ライフ・サイクル・アセスメント）<sup>23)</sup>を援用し、さらに対象施設の上を走行する車両から生じる環境負荷をこれに加えることによって

評価する手法が有効であることを、計算例とともに示す。

一方、都市全体の交通システムについては、都市をあたかも1個の生物ととらえ、その成長過程で交通施設供給と交通活動が互いに関連しあい、またさまざまな外的影響を受けながら、いかに変化し、かつ交通に伴う地球環境負荷を各時期でどの程度発生するかを分析する。特に都市交通の環境負荷レベルを規定する主な要因であるモータリゼーションの進行を、自動車保有と交通機関分担とに分けて把握し、その都市間や時系列的な変化の因果関係を明らかにする。さらに長期的な交通施設整備政策の地球環境面からみたあり方を論じるための評価モデルとして、「持続可能な都市交通整備のためのライフ・サイクル・アセスメント (E L A S T I C : Environmental Life-cycle Assessment for Sustainable Transport Improvement of a City) モデル」を構築する。

#### 1. 4 論文の構成

本論文は7つの章より構成される。

第2章では、人間活動に起因する環境問題を把握するための一般的な枠組を示し、本研究で対象とする地球環境問題の特徴やその評価指標を述べた後、都市交通に伴う地球環境負荷への適用をはかる。その中で、本研究で扱う問題である「交通にかかわる地球環境負荷」の範囲として、交通施設供給によるものと交通活動によるものがあることを示す。さらにその分野に関連する既往研究を概観し、その課題を整理する。そして、交通にかかわる地球環境負荷を規定する要因として交通施設整備のあり方が重要であることを結論づける。

第3章では、地球環境負荷の推計や評価法に関する考え方を整理し提案する。その考え方の基本とするのが、近年、人間活動が地球環境に及ぼすインパクトに関する研究が急速に進む中で脚光を浴びている、「ライフ・サイクル・アセスメント (L C A)」の概念である。簡潔に言えば、対象とする活動をライフ・サイクルにわたって評価するべきであるというものであるが、具体的に適用するにあたってはさまざまな問題点が発生する。そこで、L C Aの概念について詳しく紹介するとともに、交通にかかわる地球環境負荷への適用にあたってクリアすべき問題点とその解決法を論じる。その成果として、a)単一交通施設の単一区間、b)都市交通システム、とに対象規模を分けて、地球環境負荷を評価するための手法や指標体系を開発する。さらに、地球環境に配慮した交通施設整備評価を行うための第一歩として、本研究で開発する手法と、既往の地球環境以外の面からの評価手法との対比を行う。このとき、地球環境負荷の貨幣価値への換算に関する利点や問題点について論じる。

第4章以降では、第3章で開発した地球環境負荷評価手法の実際例への適用をはかる。まず第4章では、単一交通施設の単一区間に関して、その整備代替案の違いによる地球環境負荷への影響を評価する。その際、従来のL C A研究で行われてきた工法の違いの評価はもとより、代替案間で供用後の性能が異なる場合についても評価を拡張し、地球環境の面から望ましい代替案の選定を試みる。また、推計した地球環境負荷を貨幣価値に換算し、その値を建設費や便益と比較することによりオーダーを把握する。

第5章および第6章は、都市交通にかかわる地球環境負荷が全世界的に他部門に比べて相対的に上昇しているとともに、交通施設整備による削減の余地が大きいことに着目し、都市交通システムとそれから生じる地球環境負荷について論じる部分である。第5章では、評価体系構築のための準備段階として、都市交通システムをマクロ的にとらえ、それが都市発展とともにどのような変化を遂げ、その結果地球環境負荷がどの程度生じるのか、またその量が都市交通政策の違いによってどう変化するのかについて分析を行う。まず交通施設供給に関しては、その定量的評価指標を整理し、その推移について実際のデータで示す。その中で、交通施設整備には長時間を要し、またその効果も長期間の投資の蓄積の結果として生じることを述べる。一方、交通活動の変化については、それが所得水準上昇によって起きる「モータリゼーション」の進展の結果もたらされるものであり、その進展の行方が都市構造や交通施設整備状況といった都市特性に大きく影響を受けることを、パーソン・トリップ調査などの実際データで明らかにする。その中で、モータリゼーションは①自動車普及、②手段選択のモータリゼーション、③ライフ・スタイルのモータリゼーション、④都市構造のモータリゼーションの4つの側面に分けることができ、互いに相乗作用をもって進展していくようすを説明する。またモータリゼーションの流れの中で交通施設整備が果たす役割を述べる。

第6章は、第5章での分析をもとにして、都市旅客交通にかかわる地球環境負荷と、それに対する交通施設投資政策の影響を長期にわたって推計評価する計量モデル「持続可能な都市交通整備のためのライフ・サイクル・アセスメント（E L A S T I C : Environmental Life-cycle Assessment for Sustainable Transport Improvement of a City）モデル」を構築する。まず交通施設供給の環境負荷については、各年の各交通機関に対する投資による交通施設存在量の変化を定式化するとともに、各交通機関の投資額・存在量から環境負荷発生量を推計するモデルを構築する。交通活動については、モータリゼーション進展の各段階について交通施設存在量の影響に関するモデルを特定化し、さらに各サブモデルを統合して環境負荷発生量を推計する。そして最後に、交通施設供給および交通活動に伴う地球環境負荷を加え合わせることで、都市交通システムにかかわる地球環境負荷を評価する。このE L A S T I Cモデルを用いて、都市の各種交通施設投資政策や人口・経済成長パターンの感度分析を行い、地球環境負荷の面から望ましい交通施設投資政策を示す。

最後に、第7章において本論文の結論を述べ、結びとする。

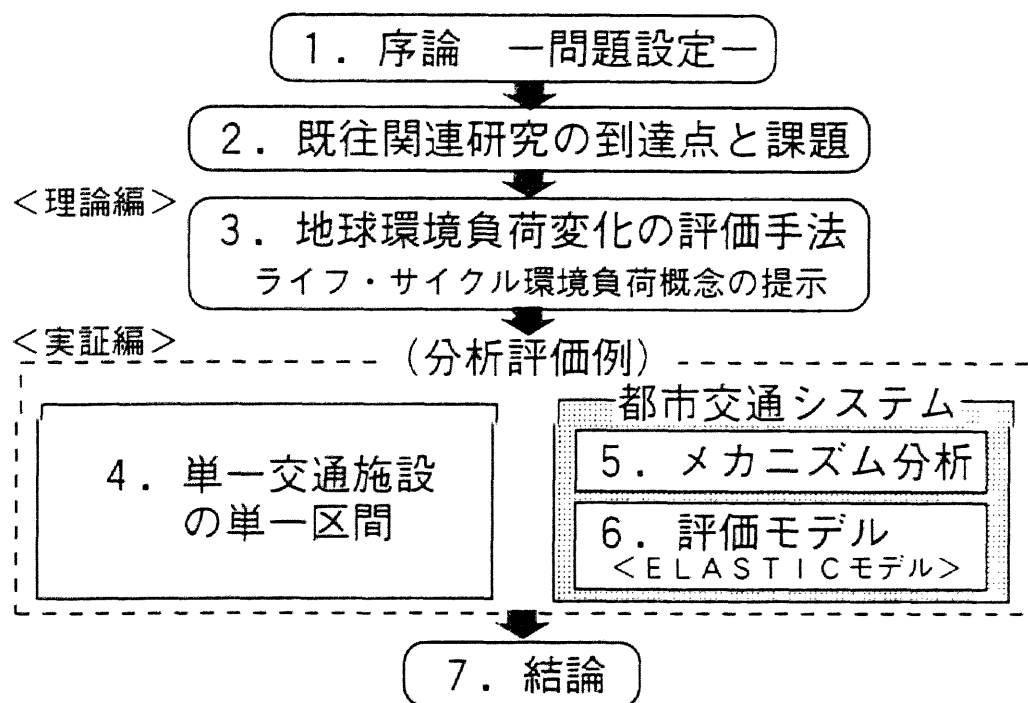


図 1. 1 本論文の構成



## 参考文献

- 1) 新村出 編：広辞苑（第4版）、岩波書店
- 2) 中村英夫 編：都市と環境 -現状と対策-、ぎょうせい、1992.12
- 3) United Nations: World Energy Supplies in Selected Years 1929-1950, 1952
- 4) United Nations: Statistical Yearbook
- 5) 内藤正明：地球環境問題が求める社会変革、システム／制御／情報 Vol.40 No.3、pp.85-92、1996.
- 6) 内藤正明：「地球時代のエコ技術・都市・ライフスタイル」、土木学会第4回地球環境シンポジウム講演集、pp.35-42、1996.7.
- 7) 環境庁地球環境部 監修：地球環境の行方 -地球温暖化の我が国への影響-、中央法規出版、1994.11.
- 8) 気象庁 編：地球温暖化監視レポート（各年度版）.
- 9) ドネラ・メドウズほか（大来佐武郎 監訳）：成長の限界 ローマ・クラブ「人類の危機」レポート、ダイヤモンド社、1972.5.
- 10) ドネラ・メドウズほか（松橋隆治、村井昌子 訳）：限界を超えて 生きるための選択、ダイヤモンド社、1992.12.
- 11) 宇沢弘文：地球温暖化を考える、岩波新書、1995.
- 12) IPCC: Climate Change -The IPCC Impacts Assessment, 1990.
- 13) 日本経済新聞社 編：ベーシック地球環境入門、日経文庫、1992.
- 14) 環境と開発に関する世界委員会（大来佐武郎 監修）：地球の未来を守るために（Our Common Future）、福武書店、1987.
- 15) 環境庁 編：環境白書（平成8年度版）
- 16) 日本政府：地球温暖化防止行動計画、1990.
- 17) 環境庁地球温暖化経済システム検討会：地球温暖化経済システム検討会報告書、1996.7.
- 18) 西岡秀三：IPCC95年報告と日本の対応、土木学会第4回地球環境シンポジウム講演集、pp.1-6、1996.7.
- 19) 河上省吾、松井寛：交通工学、森北出版、1987.
- 20) Y.Hayashi, R.Suparat, et al.: Urbanization, Motorization and the Environment Nexus - An International Comparative Study of London, Tokyo and Bangkok-, Memoirs of the School of Engineering, Nagoya University, Vol.46, No.1, pp.55-98, 1994.
- 21) 運輸省運輸政策局情報管理部編：運輸関係エネルギー要覧、1993-1996.
- 22) 森口祐一、近藤美則、清水浩：わが国における部門別・起源別CO<sub>2</sub>排出量の推計、エネルギー・資源 第14巻、1993.
- 23) 戦略LCA研究フォーラム 訳：LCA 製品の環境ライフサイクルアセスメント、サイエンスフォーラム、1994.2.

## 2 章 交通に起因する地球環境負荷に関する 既往関連研究の到達点と課題

### 2. 1 概説

地球環境問題に配慮した都市交通とは、すなわち地球環境への負荷が小さい都市交通ということである。地球環境負荷が小さいかどうかを知るためには、その指標が必要であり、それを計測する方法が必要である。また、各種政策実施による地球環境への影響を分析するためには、政策と地球環境負荷指標との関連性を明らかにする必要がある。以上のことから、地球環境負荷の計測とその決定メカニズムの解明は重要な課題であるとされ、近年の地球環境問題への関心の高まりとともにその調査研究事例も出てきている。そこで本章では、環境問題を把握するための一般的な枠組を示した後、都市交通に伴う地球環境負荷への適用をはかり、本研究で問題とする範囲を示す。さらにその分野に関連する既往研究を概観し、その課題を整理する。

### 2. 2 環境問題への視点

「環境問題」は非常に漠としてとらえどころのないものであると言われることが多い。本節では、環境問題一般について、その枠組や用語について示すことにより、本研究で問題とする「都市交通に伴う地球環境への影響」の把握のための方向性を明らかにする。

#### 1) 「環境問題」のメカニズム：「環境負荷」と「環境インパクト」

人間活動に起因する環境問題は、

- a) まず人間活動によって「環境負荷」が生じ（発生）、
- b) それが時間的・空間的に移動・拡散し（伝搬）、
- c) 自然や人間といった受容者（体）に対して影響を及ぼす（曝露）、

というメカニズムを持っている。さまざまな種類の環境問題に対してこのメカニズムを明らかにしていく学問分野が「環境科学」であり、膨大な既往研究によって人間活動と環境問題との詳細な因果関係が明らかにされてきている。

ここでは、このような環境問題のメカニズムを概説することによって、環境負荷評価にあたってどのようなことに注意すべきかについての基礎的な知識を得ることを試みる。

まず「発生」の段階では、人間活動と発生量との関係、とりわけ環境負荷の発生原単位（単位活動量あたり発生量）の解明が必要である。このためには、発生原因となる人間活動の特性や環境負荷との因果関係、排出技術などが関係してくる。また、発生源の位置や密度、受容者（体）との位置関係といった立地の問題も、重要なファクターになる場合が多い。

発生した環境負荷は、発生源の周囲に「伝搬」していく。大気や水といった、環境負荷の伝

搬を媒介するものを「環境要素」という。伝搬する範囲は、地下水汚染のように狭く長時間を要するものから、酸性化のように国境を越えて短時間に到達するものまでである。伝搬メカニズムについても、大気汚染のように原因物質が直接影響を与える場合もあれば、地球温暖化のように原因物質が気温や水温を上昇させ海面を上昇させるというように、幾つかの段階を経て影響を及ぼす場合もありさまざまである。伝搬メカニズムの研究は、ある場所で環境負荷を発生させた場合の被害の分布予測や、逆に被害が明らかな場合の発生源特定のために役立つ。

環境問題は、受容者(体)である生態系や人間が環境負荷に「曝露」することによって初めて顕在化する。本研究ではその影響を「環境インパクト」と呼ぶこととする。環境インパクトを生じさせる原因となるものが環境負荷である。環境インパクトの中には、人間や生物の生命を脅かすものもあれば、心理的嫌悪感を与えるものもある。よって、どのようなものが環境インパクトを発生させる負荷となりうるか、あるいは環境負荷が受容者にどれほどの被害をもたらすかの調査が重要である。

環境問題を解決するためには、原因となる環境負荷を「発生」「伝搬」のいずれかの段階でカットすればよい。まず「発生」段階では、環境負荷発生量を抑えるために、発生原単位を減らすことや、発生原単位の小さい活動や技術にシフトしていくことが必要となる。

もし環境負荷が発生しても、発生源と受容者(体)とを遠隔化させたり、物理的に遮蔽することによって伝搬段階でカットすることができれば、環境問題を防ぐことができる。

OECDは、環境問題を指標化するにあたって、上のメカニズムを踏まえ、指標を以下の3種類に分類している<sup>1)</sup>。

- ① P (Pressure) : 環境への圧力 (上のa)に対応する)
- ② S (Stage) : 環境の状態 (上のc)に対応する)
- ③ R (Response) : 環境問題への対応

これは「P S Rフレームワーク」と呼ばれるもので、環境問題の定量的把握にあたっては一般的な枠組となっている。

## 2) 局地環境問題と地球環境問題

環境負荷は、影響の及ぶ地理的範囲によって、局地環境負荷と地球(広域)環境負荷の2つに分けられる。自動車交通の場合、代表的な局地環境負荷は騒音・振動や大気汚染物質であり、地球環境負荷は二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)である。窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)のように、局地問題である大気汚染と広域問題である酸性化の両方に寄与する環境負荷も存在する。

局地環境問題ではその解決策として、発生源と受容者の遠隔化が有効である。しかし、地球環境問題ではその影響が広域的であるため、この対策はほとんど意味がなく、むしろ環境負荷発生量の絶対値が重要になる。

## 3) 環境問題の基本式

環境問題のメカニズムは、(もし各量が定量的に評価することができれば)以下の式で表される。

$$E = e \cdot A \cdot P \quad \text{〈環境負荷の「構成式」〉} \quad (2.1a)$$

$$Q = f(E, \dots) \quad (2.1b)$$

ここで、E：環境負荷発生量、 Q：環境インパクト

e：単位活動量あたり環境負荷発生量

A：1人あたり活動量、 P：人口

人口 P は環境負荷発生量を決定する根源要因である。アフリカなどでは急速な人口増加が直接的に環境破壊につながっており、「地球環境問題は人口問題である」と言われるゆえんである。活動量 A は、人間活動全体を表す場合には、1人あたり生産額が用いられるのが一般的である。経済成長も環境負荷発生増加の大きな要因である。したがって、A の増加が避けられない場合には、発生原単位 e を抑制する政策が必要である。発生原単位は、ライフ・スタイルや技術水準、使用エネルギー構成によって規定されるものである。

E と Q を結ぶ写像 f は、環境問題の「伝搬」「曝露」の部分を表す。環境負荷 E が発生側の環境問題への寄与を表す指標であるのに対し、環境インパクト Q は受容側の環境影響であるので、本来的には受容側の影響・被害を用いて表されるべきものである。しかし地球環境問題については、以下の理由から、発生側の評価指標である環境負荷発生量をそのまま環境インパクトとして用いることが多い。

7) 地球環境問題ではまだ問題が顕在化していないため、環境インパクト（気温上昇や海面上昇とそれによる各種影響）を予測評価するために、まず環境負荷発生量（CO<sub>2</sub>などの温室効果物質発生量）を推計してから、伝搬・曝露のモデル化を行い、それを用いて受容側の影響に変換する手法がとられる。その代表的な研究が松岡・森田<sup>2)</sup>のものである。しかしその変換の手法には、精度や客観性の面から常に問題が生じる。特に現在の研究レベルでは、地球温暖化がいかなる程度進行し、その結果いかなる被害が起こるのかについて確定的な見解が存在しない。

1) 地球環境問題では、環境負荷の着地分布は問題ではなく、その絶対量が重要である。したがって、発生量で評価しても差しつかえない。

本研究においても、地球環境への影響の評価指標として環境負荷発生量（CO<sub>2</sub>排出量）を原則としてそのまま用いる。

一般に、環境負荷発生総量が多くなればなるほど、その活動が環境に与えるインパクトは増加する（すなわち  $\partial Q / \partial E > 0$ ）ものと考えられる。したがって総量は、活動の環境インパクトを表す指標として常用される。しかし、環境負荷と環境インパクトとの間には完全な比例関係（ $\partial Q / \partial E$ が一定）は成り立たないことが普通であり、この指標の扱いには注意を要する。このことは特に、局地環境問題の場合にあてはまる。

#### 4) 環境負荷発生とエネルギー消費

環境負荷は、多くの場合エネルギー消費、特に化石燃料の消費に付随して発生する。そのた

め、環境負荷発生量を表す指標としてエネルギー消費量をそのまま用いることがある。この利点と欠点を以下に挙げる。

- ＜利点＞
- ・一般に環境負荷発生量自体の正確な把握はほとんど不可能であるが、エネルギー消費量は販売ベースでかなり正確に把握できる。
  - ・CO<sub>2</sub>のように石油消費量とほぼ比例するものを始め、環境負荷発生量とエネルギー消費量との間に比例に近い関係が成立することが多い。したがって、さまざまな環境負荷の代表値として用いることができる。
- ＜欠点＞
- ・局地環境負荷や微量の汚染物質は、エネルギー消費量に必ずしも比例しない。
  - ・「クリーン」なエネルギーとそうでないエネルギーとの区別をする必要がある。
  - ・エネルギー消費起源でない環境負荷発生を把握することができない。

本研究では、エネルギー消費量を評価指標として用いず、最終的にCO<sub>2</sub>発生量に変換する。これは、交通施設供給の段階で発生するCO<sub>2</sub>のうちエネルギー起源でないものが存在するためである。

### 5) 環境政策とその評価基準

環境政策は、環境問題の「発生」「伝搬」「曝露」のメカニズムに対し何らかのはたらきかけを行うことによって、環境問題を緩和しようとする政策である。環境政策は、法・制度的／経済的／技術的手段に分けることができる。それぞれ、環境負荷規定要因  $e$ 、 $A$ （時には  $P$ ）およびインパクト波及メカニズム  $f$  を直接または間接的に変化させることにより、 $E$  や  $Q$  の低減をはかる。

OECDは、環境政策の評価基準として次の5項目を挙げている<sup>3)</sup>。

- |       |           |                                 |
|-------|-----------|---------------------------------|
| 〔基準A〕 | 環境効果      | ：環境目標を効果的に達成できるかどうか             |
| 〔基準B〕 | 経済的効率     | ：効率的に（最小費用〈資源〉で）目標を達成できるかどうか    |
| 〔基準C〕 | 公平性       | ：負担と利益の分配について公平か                |
| 〔基準D〕 | 実行可能性とコスト | ：行政組織・体制の面で実行可能か、実施コストが過大にならないか |
| 〔基準E〕 | 受容性       | ：関係者の納得、合意、協力が得られるか             |

〔基準A〕は当然必要な基準であるが、同じ効果が得られる政策であれば、経済的負担が少ない方が効率的であり、結果としての社会全体の便益もより大きくなる。そのための基準が〔基準B〕である。また〔基準C〕は、政策実施によって社会内部に損得が生まれることも望ましくないことを述べ、〔基準D〕および〔基準E〕は、与えられた社会的・経済的制約条件の中で政策実施が可能かどうかを示す基準である。

〔基準A〕環境効果を表す指標としては、環境インパクト  $Q$  の変化が適当である。また〔基準B〕経済的効率を表す指標としては、政策実施コストを  $c$  としたときそれによる限界的なインパクト変化量  $\partial Q / \partial c$  を用いることができる。ただし地球温暖化の場合には、 $Q$  の代わりに環境負荷  $E$  を便宜的に用いることが一般的である。

いずれの基準を確かめる場合でも、環境インパクト（または環境負荷発生量）が把握される

必要があり、その決定要因の分析が重要な課題となる。

#### 6) 環境負荷の発生原単位

環境負荷発生原単位とは、ある地域や活動による環境負荷発生量をその地域や活動に関する量で除した値である。

発生原単位は、その使用法によって以下の2種類に大別される。

##### a) 評価指標としての原単位：

環境負荷発生量は何らかの調査や推計によって測定されている場合、計算された環境負荷発生原単位を、単位活動あたりの環境インパクトを表す定量的尺度として用いることができる。その代表例として、西岡<sup>4)</sup>は、環境負荷発生原単位を環境インパクトの定量的評価指標として利用するために、「効率」（1人あたり資源消費量）、「環境負荷」（面積あたり資源消費量）、「自立度」（資源の自給率）の3指標を提案している。本研究ではこれを参考として、以下の指標体系を提案する。

##### ①「地球環境負荷指標」：1人あたり環境負荷発生量

「生産あたり環境負荷効率」：生産額あたり環境負荷発生量

地球環境へのインパクトに1人や単位生産額がどれだけ寄与しているかを表す指標である。

##### ②「活動あたり環境負荷効率」：活動量あたり環境負荷発生量

交通のように、同じ活動をするのに幾つかの手段があるとき、どの手段が環境負荷が少ないかを表す指標

##### ③「局地環境負荷指標」：面積あたり環境負荷発生量

局地環境問題を定量的に評価するためには、一般に着地点濃度といったインパクト指標を用いるべきであるが、前節で述べた問題により発生量で評価を行う場合には、環境負荷の空間的集中度を表す、面積あたり環境負荷発生量を用いるとよいと考えられる。

##### b) 発生量推計のための原単位：

実際には、ある地域や活動による環境負荷発生量を直接測定できないことが多い。特に交通の場合、発生源数が非常に多いため、工場などの固定発生源に比べて発生量把握が困難であり、その推計自体が研究対象となっている。この場合には、実験や実測によって発生原単位を先に求めておき、それに活動量を乗じて発生量を推計することになる。その際、発生原単位の精度がそのまま環境負荷発生量の精度に影響するので、測定は実際の活動になるべく忠実な状況を設定して実施する必要がある。

## 2.3 交通に起因した地球環境問題の整理

前節で、人間活動に伴って生じる環境問題の枠組を提示した。本研究では、環境問題のうち地球環境問題（地球温暖化）を、人間活動のうち交通を取り上げるものであり、その場合の問

題把握のための整理を行う。

まず、地球環境問題に関しては、その評価指標として環境負荷発生量（すなわちCO<sub>2</sub>排出量）やその原単位を用いればよい。

一方、環境負荷発生の要因となる「交通」の範囲については、1章でも定義したように、a)交通施設供給、b)交通活動、の両面を扱うものとする。交通施設はストックであり、その供給が主に公共部門によって行われるのに対し、交通活動はフローであって、主に民間部門で行われるというように、この2つは対照的な活動である。

a)交通施設供給の環境負荷は、その量、質、種類、形式、性能、資材、工法、メンテナンスへの配慮などによって変化する。

b)交通活動の環境負荷は、交通量、トリップ長、交通機関、運行効率、エネルギー消費原単位（燃費）などによって変化するし、交通施設供給の程度によって影響を受ける。

次節以降では、これら交通にかかわる地球環境負荷とその要因に関する既往研究を整理する。

## 2.4 交通施設供給による環境負荷発生量分析に関する既往研究成果

交通施設は、その資材の製造から建設、供用、維持、廃棄に至るまでの長期間にわたるライフ・サイクルを有している。そこで、交通施設供給による環境負荷を、そのライフ・サイクルを通じて発生する総量をもって評価するという考え方に基づいた評価手法が「ライフ・サイクル・アセスメント（LCA）」と呼ばれるものである。その研究事例は、環境科学や土木環境システムの分野に多い。

### 2.4.1 ライフ・サイクル・アセスメント（LCA）の枠組

#### 1) 社会資本に関するLCA研究<sup>5) - 7)</sup>

LCA研究は元来、工業製品を対象としたPLCA（Product Life Cycle Assessment）がその始まりである。また、発電プラント等に関するエネルギー収支分析がその源流であるとの見方もある。PLCAは「原材料採取→生産→流通→使用→リサイクル→廃棄」という製品のライフ・サイクルを通じたコストやエネルギーを定量化し、代替案比較をすることによって、工程・資材についての評価・改善を行う手法として使用されてきた。その後環境問題がクローズアップされると、評価項目に環境インパクトも加えられた。更に近年では、建設分野における地球環境問題への認識の高まりを背景に、LCAを消費財のみならず資本財にも適用する試みが始まり、各種の社会資本や建築物等の建設・供用・廃棄のライフ・サイクルでの環境負荷を定量化する手法の研究がなされるようになってきている。

#### 2) LCAの段階<sup>8)</sup>

LCAは、

0) "Scoping": 考慮すべき環境問題や空間・時間的範囲を設定する

1) "Inventory": 環境負荷を定量化する

2) "Impact assessment": 負荷が環境にもたらすインパクトを示す

2a) "Classification": 環境負荷とインパクトを関連づける

2b) "Characterization": 各インパクト間の重みづけをする

2c) "Valuation": 各インパクトを総合的に評価する

3) "Improvement assessment": 改善手法を提案しその効果を示す

の各段階に分かれる。

インフラを対象としたLCAに関する現在の日本の研究状況は、ほとんどが地球温暖化を問題として設定しているとともに、LCAのうちでも1)"Inventory"の手法を確立することに力点が置かれてきている。これらは、インフラ整備に伴う環境負荷発生量の推計を目的としているもので、「LCI (Life Cycle Inventory) 研究」と呼ばれることがある。日本でLCA研究と呼ばれているものは、実はほとんどがLCI研究である。したがって、本節の既往研究もほとんどがLCIに関するものである。

一方、2)"Impact assessment"における評価指標は、既往研究の大多数でエネルギー消費量やCO<sub>2</sub>発生量がそのまま用いられている。したがって、3)"Improvement assessment"の段階も、CO<sub>2</sub>発生量や原単位が大きい小さいかで判断することになる。本研究のように、地球環境問題（地球温暖化）に絞って分析を行う場合にはこれでよいが、局地環境問題や他の効果と併せて評価を行うためには、"Impact Assessment"の方法を確立する必要がある。

#### 2. 4. 2 活動の属性による分類

交通施設供給による環境負荷は、工業製品と同様に「資材製造→施工（建設）→維持管理→廃棄」というライフ・サイクルの各段階で環境負荷を生じる。したがって、その各段階での把握が必要である。中でも既往研究では、資材製造時の環境負荷の把握に重点が置かれてきた。

社会資本は膨大な資材や機械を投入して建設されるために、各資材・機械から発生する環境負荷の割合は非常に大きい。例えば林・京谷・加藤・中島<sup>9)</sup>は、自動車専用道路の建設に伴うCO<sub>2</sub>発生量を推計し、その約85%が資材製造時に生じ、更にその大部分が鉄とコンクリートで占められていることを明らかにしている。したがって、社会資本整備におけるCO<sub>2</sub>発生量は資材の種類と使用量に大きく依存することが分かる。

このように、資材製造の段階で生じる環境負荷は、交通施設供給に伴う環境負荷のうちの大きな割合を占めている。また、交通施設供給によって直接的に生じるものではないが、交通施設を供給するために用いられているのであり、交通施設供給による環境負荷発生の一部を構成すると考えられる。そこで、交通施設のライフ・サイクルで直接的に発生する環境負荷と、資材製造などによって間接的に発生する環境負荷の総和を「内包環境負荷 (Embodied environmental load)」と呼び、この値をもって交通施設供給に伴う環境負荷とするのが一般的である。

また、交通施設による地球環境負荷 (CO<sub>2</sub>) は、その発生の化学的メカニズムによって、

a) エネルギー源としての化石燃料の燃焼に伴う発生

b) 原料生産時の化学反応による発生

の2種類に分けられる。b)のほとんどは、セメント生産時に原料 (CaCO<sub>3</sub>) からCaOを生成するときに発生するCO<sub>2</sub>である。



交通施設は、その種類によって、a)道路、b)鉄軌道、c)港湾、d)空港、に分けることができる。中嶋・岩渕・松本・井村<sup>10)</sup>の推計結果によれば、日本の第2次世界大戦後の交通インフラ整備によるCO<sub>2</sub>排出量のうち60～70%が道路起因であり、その比率は近年増加傾向であることが示されている。これは、戦後の交通施設整備の主眼が道路に置かれていたことの反映である。また、最もCO<sub>2</sub>排出が多かったのが1970年代前半で、その後はその約2分の1のレベルで安定していることが示されている。これは、2度の石油危機によってインフラ建設が抑制されるとともに、省エネルギー機運の高まりがインフラ建設部門にも及んだことの現れであると考えられる。

#### 2.4.3 推計手法による分類

交通施設供給による環境負荷発生量の推計手法は、大きく以下のように分類することができる。

##### <推計手法>

- a) 産業連関分析の応用
- b) 積み上げ法
- c) 組み合わせ法

##### <推計の対象範囲>

- a) マクロレベル：ある空間範囲でのインフラを1つのシステムと捉えて分析するもの
- b) セミマクロレベル：インフラ単体を対象としたもの
- c) ミクロレベル：インフラの資材や使用機械を対象としたもの

推計対象範囲による分類は、井村・森下・池田・銭谷・楠田<sup>11)</sup>によるもので、それぞれのレベルの関係は図2.1のようにまとめられる。

既往の研究においては、マクロやセミマクロレベル（インフラ建設・維持）での環境負荷の推計に、直接の負荷に加え、ミクロレベル（投入された資材の生産）で発生した間接の負荷も考慮した「内包環境負荷」を用いることの必要性が強く認識されてきた。そのため既往研究も、内包環境負荷の評価法によって、上の3つに区分することができる。ここでは、その推計法にしたがって既往研究を概括する。

#### 2.4.4 研究成果

##### a) 産業連関分析の応用

都市・地域単位での、ある生産活動の内包環境負荷を推計するために、産業連関分析を応用した手法がある。この手法は本研究でも用いるので、詳しい手法は3.4.3項で説明する。産業連関表は各産業部門間の技術的依存関係を表現しているので、これを用いてある部門の消費拡大が他の部門にどのように波及していくかを再現するために利用することができる。これを応用すると、ある生産活動のために他の生産活動で誘発されている環境負荷発生量を推計す

ることができる。

この手法を用いた内包環境負荷評価は各産業部門で行われているが、中でも建設部門の内包環境負荷発生原単位を推計した研究のさきがけとなったのが、外岡<sup>12)</sup>、酒井・漆崎<sup>13)</sup>、岡本・酒井・漆崎<sup>14)</sup>の各研究である。これらの研究では、日本全国の1985年度産業連関表を用いて、建設部門の内包環境負荷と単位金額あたり原単位を求めている。また池田・井村<sup>15)</sup>、銭谷・井村<sup>16)</sup>は、建設部門分析用産業連関表を併用して、日本の建設産業が排出する各種の環境負荷を社会資本の類型別に求め、これを元にして環境負荷発生原単位を算出するとともに、他産業へ

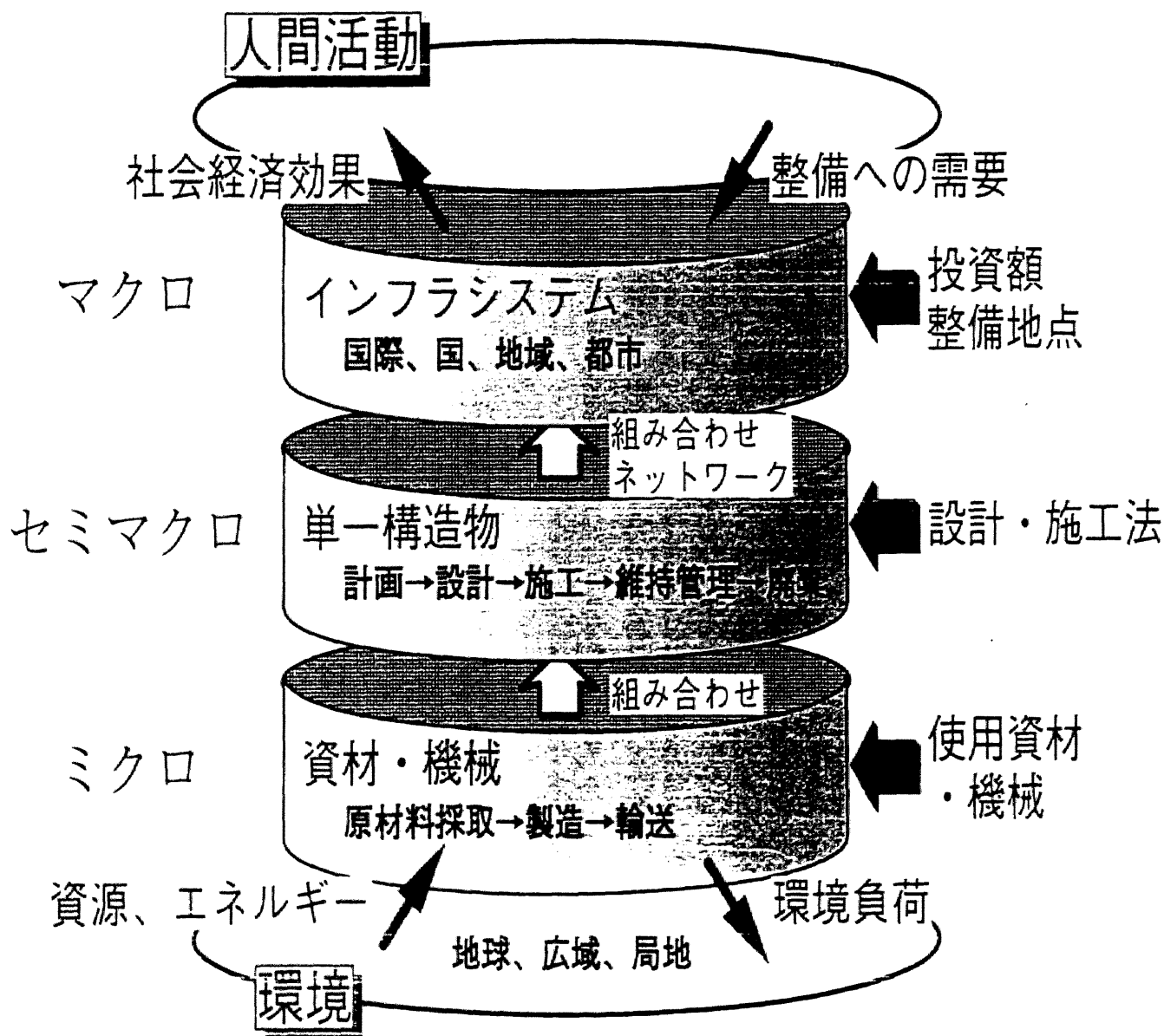


図2. 1 環境負荷評価の階層構造

の誘発量の推計も行っている。

さらに中嶋・岩淵・松本・井村<sup>10)</sup>は、従来の研究で1時点の環境負荷発生量推計にとどまっていたものを、産業間の依存関係が不変であるという仮定をおくことにより長期間の環境負荷を推計し、全国の交通インフラに蓄積されている内包環境負荷を試算している。

産業連関分析の応用は、地域全体の平均的な環境負荷発生構造を分析するのに優れており、無限段階までの誘発効果を推計することができるため、内包環境負荷推計のためには妥当な手法である。しかし、a)産業連関表に依存するため、部門の分類法の自由度が低く、部門内の細かな分析ができないこと、b)原単位が単位金額あたりにならざるを得ないこと、c)あるプロジェクトに着目しその環境負荷を推計したり削減効果を分析したりする場合にこの方法をそのまま用いることはできないこと、などの欠点があるため、現在ではこの方法がそのまま用いられる分野は、f)後述する組み合わせ法で用いる資材の環境負荷原単位推計、i)ある地域の環境負荷発生構造の事後的分析、に限られている。

#### b) 積み上げ法

あるプロジェクトや製品の環境負荷を調べる場合には、その直接の負荷発生量や、必要な原材料の量、原材料生産による負荷発生量を調査し、これらを積み上げる方法がとられる。これは詳細な工程や使用機械、資材、そして機械や資材の環境負荷発生原単位が分かっているのはじめて適用可能な方法であるため、実際に施工を行う建設会社がこの方法を利用して環境負荷を推計することが多い。建設工事での積み上げ法適用例として、光本・安藤・小谷<sup>17)</sup>によるダム仮設工事の炭素発生量推定がある。

この手法では、産業連関表では分類されないような細かな業種の分析が可能であり、工法や使用資材の変更、リサイクル資材の導入といった環境負荷削減策の定量的評価に適しているが、a)データ制約が大きいこと、b)波及効果を無限段階までさかのぼることができないため、内包環境負荷の正確な把握ができないため、過少推計に陥りやすいこと、c)環境負荷発生原単位の設定に恣意性が生じやすいこと、といった欠点があり、積み上げ法をそのまま利用することはほとんどなくなっている。

#### c) 組み合わせ法

建設プロジェクトによって発生する環境負荷の推計法としては、以上に挙げたa)、b)いずれの手法にも一長一短があるため、これらを組み合わせることによって両手法の欠点を補う手法が開発、利用されるようになってきている。すなわち、基本的にはb)積み上げ法を用いるが、基本的な資材の環境負荷原単位にはa)産業連関分析などによって算出された値を用いるという方法である。この場合、環境負荷原単位の設定が問題となるが、酒井<sup>18)</sup>は、既往のLCA研究を参考にして、土木工事に用いられる各資材の二酸化炭素排出量原単位を設定し、この値が土木学会の推奨値となっている。

インフラから生じる環境負荷推計手法として組み合わせ法を用いている研究事例はここ2、3年で多く発表されている。交通インフラ関連では、例えば伊藤・花木・谷口・有浦<sup>19)</sup>、伊藤・花木・本多<sup>20)</sup>は、ニュータウン建設による二酸化炭素排出量の推計を行い、その中で街路建

設についても扱っている。さらにこの研究では、太陽熱・光の利用や地域冷暖房システムの導入による改善を評価し、その経済的な導入可能性にも言及している。道路そのものに着目した研究としては、岩淵・中嶋・松本・井村<sup>21)</sup>による、道路舗装の評価事例があるのみである。

組み合わせ法による環境負荷推計手法は工事費用積算法と全く同様であり、藤田・前・東嶋・児玉<sup>22)</sup>の研究では、環境負荷推計のためのコンピュータ・プログラムの構築がなされるまでになっている。

インフラの建設段階におけるCO<sub>2</sub>発生量の推計手法としてはこの組み合わせ法が一般的となっており、今後の課題としては、a)維持管理、運用、廃棄段階の評価法の確立、b)CO<sub>2</sub>以外の環境負荷の評価、が挙げられる。

## 2. 4. 5 まとめと課題

以上の既往研究の流れをまとめると、

- a)交通施設による環境負荷は、資材製造、建設、供用、維持、廃棄というライフ・サイクルを通じて発生する量の総和で評価する必要があること、特に資材製造時の環境負荷を評価することが重視され、内包環境負荷の評価が定着している。
- b)その方法としては、地域のインフラ・システム全体の評価にあたっては「産業連関分析の応用」が、各インフラ単体については「組み合わせ法」が有効である。
- c)資材製造および建設段階の推計は多くの事例があるが、運用段階については研究が不十分である。
- d)環境負荷のうちCO<sub>2</sub>やエネルギーの評価は比較的進み、他の環境負荷については遅れている。となる。このように、交通施設の供給に伴う地球環境負荷(CO<sub>2</sub>)を定量化する手法は、ここ2、3年で飛躍的に発展を遂げた。しかし、推計されたCO<sub>2</sub>排出量をどのようにインフラの設計や施工に生かしていくかという点については、各種代替案比較の事例が2、3あるだけで、まだほとんど分かっていないと言っても過言ではない状況である。

## 2. 5 交通活動による環境負荷発生量分析に関する既往研究成果

交通施設上で行われる交通活動には、自動車や公共交通といった交通具が用いられる。その動力を得るためにエネルギーを必要とし、エネルギー源として化石燃料を用いる場合、その燃焼に伴って地球環境負荷(CO<sub>2</sub>)が発生する。

近年、日本においては、産業部門のエネルギー消費量はほとんど一定であるのに対し、交通部門のそれは増加傾向にある。この現象は諸外国にも共通に見られるものである。また、産業部門・民生部門で石油依存度を着実に下げてきたのに対し、運輸部門のエネルギー源は主にガソリン・軽油といった化石燃料であり、依存度は依然として高い。これらのことから、交通部門の地球環境負荷発生に占めるシェアは年々増大してきており、その把握は交通部門における環境政策の立案を行う第1歩として重要である。

交通活動による環境負荷発生量の推計・予測を行うためには、交通活動自体の量や質を把握

することが必要であり、そのため研究事例も、従来から交通活動に関する膨大な研究を蓄積してきている土木計画学や交通工学の分野に多くみられる。

## 2. 5. 1 活動の属性による分類

交通活動は、以下のように分類することが可能である。

### a) 交通手段（輸送機関）による分類

交通手段の違いは、交通主体のモビリティを規定するとともに、環境負荷発生原単位にも大きな違いがある。日本における主な交通機関は、徒歩／自転車／動力付き二輪車／自動車（自家用・営業用）／鉄軌道／船舶／航空などである。

### b) トリップの長さによる分類

トリップの長さによって、交通の発生メカニズムや使用される交通手段、分析手法が異なる。研究対象としては、一般に国際／国内（地域・都市圏間）／都市圏内に分けられることが多い。

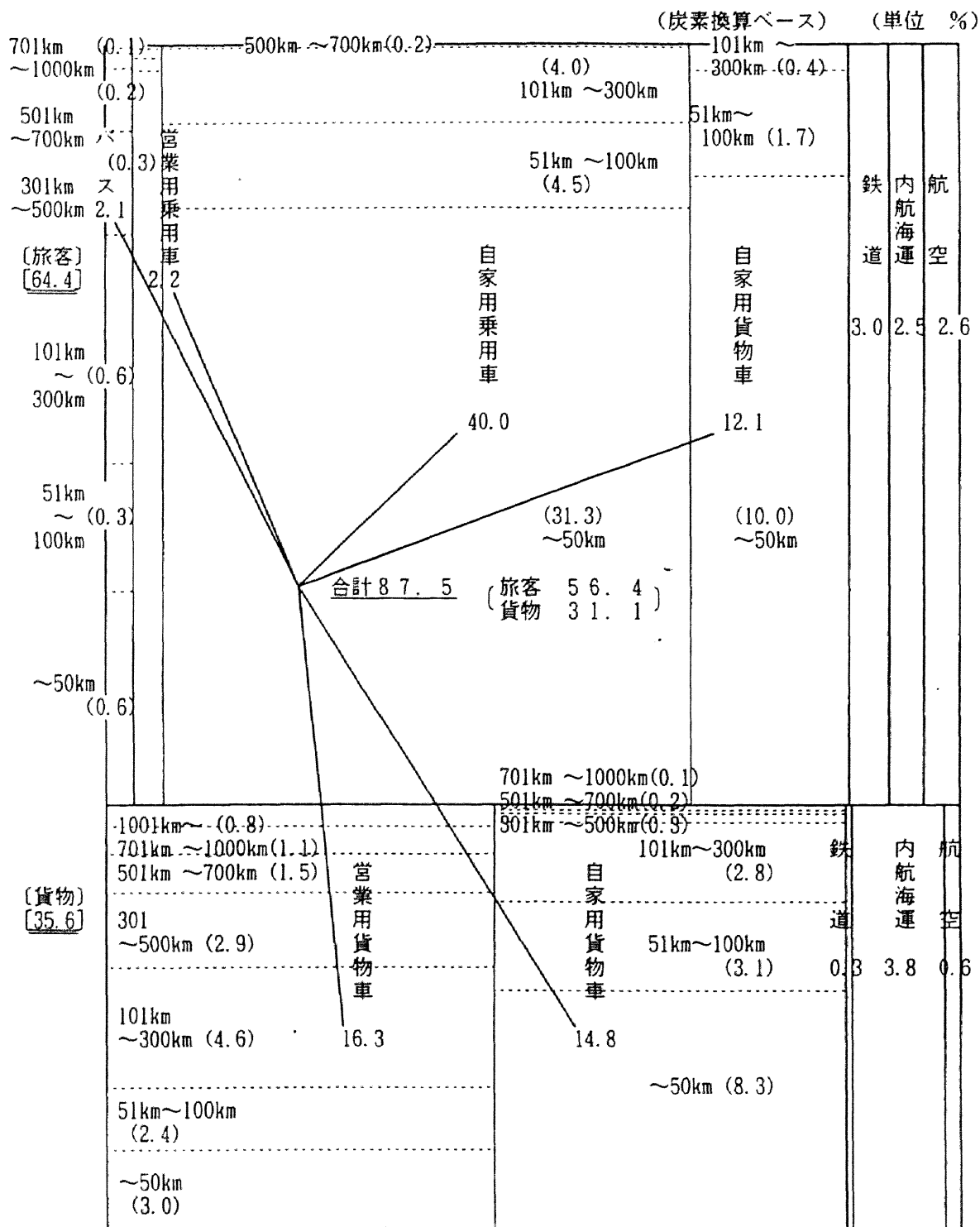
### c) 交通の目的による分類

交通は大きく旅客と貨物に分けられる。旅客交通はパーソン・トリップ（P T）調査によって分析され、その中ではさらに細かい交通目的として、通勤／通学／業務／自由（日常的・非日常的）／帰宅に分けられるのが一般的である。また貨物交通については、物資流動調査によって分析され、運搬される物資で分類されることが多い。

交通部門の地球環境影響について論じる場合には、以上の分類のうちa)交通手段に着目されることが多い。その代表例として、運輸関係エネルギー要覧<sup>23)</sup>では、環境影響の評価指標として（総エネルギー消費量）／（総走行台<トン>キロ）で定義される「輸送機関別エネルギー消費原単位」を各交通機関別に推計し、旅客輸送では鉄道100に対して自家用乗用車が587、鉄道100に対し営業用トラックが603、自家用トラックが1943だけエネルギーを消費することが示され、エネルギー効率面での鉄道の有利性が主張されている。

さらに、上のa), b), c)それぞれについて現状分析を行った事例として、運輸経済研究センター<sup>24)</sup>では、1991年における日本全国の交通活動によるCO<sub>2</sub>排出量の輸送機関別・トリップ長別・貨客別シェアを、図2. 2のように推計している。それによると、まず輸送機関別では、自動車が87.5%と圧倒的なシェアを占めている。このうち約半分が自家用乗用車による旅客輸送、4割弱が営業用・自家用自動車による貨物輸送であり、鉄道やバスのシェアはわずかである。またトリップ長別には、50km以下の近距離の交通が圧倒的に高く、全体の約6割を占めている。特に旅客交通では近距離のものが多く、50km以下は自動車による旅客交通のうち約4分の3、全体のCO<sub>2</sub>排出量の約4割を占める。貨客別では旅客と貨物との比がほぼ2：1になっている。

また同じく運輸経済研究センターでは、輸送機関別・都市圏間／圏内別のCO<sub>2</sub>排出原単位を推計している。これによると、鉄道や内航海運の原単位が自動車に比べて低いことが示されるとともに、自動車輸送の中でも、都市圏間輸送に比べ圏内輸送では、自家用乗用車でも約2



- 注1) CO<sub>2</sub> 排出量シェアは、上図の実線又は点線で囲まれた矩形の面積で示される。  
 注2) ( ) 内数値は、距離帯別の自動車のCO<sub>2</sub> 排出量の全体に対するシェアを示す。  
 注3) バスは、自家用バス、営業用乗合バス及び営業用貸切バスである。  
 注4) 自家用乗用車等の自動車には軽自動車を含む。  
 注5) 〔旅客〕の海運は、フェリーと旅客船である。

図2.2 面積でみる交通活動CO<sub>2</sub>発生量の内訳(1991、日本)<sup>24)</sup>

倍、トラックでは4～20倍も値が高いことが明らかにされている。すなわち、都市圏内の自動車交通は、単位輸送あたり地球環境負荷が都市圏間に比べて極めて高いことが分かる。この原因として、a)都市間では自動車が安定した速度で走行できるのに対し、都市内では渋滞や信号等によるストップ・アンド・ゴーのために燃費が悪くなること、b)貨物輸送では都市間に比べ都市内で積載率が低いこと、が考えられる。

以上の推計結果から、a)日本の交通活動に伴うCO<sub>2</sub>排出の約9割が自動車によるものであり、b)その約6割を旅客交通が占め、c)さらにその約4分の3が近距離の交通によって排出され、d)環境負荷発生原単位が他の部分より高い、ことが分かる。

## 2.5.2 対象範囲の都市レベルへの限定

本研究では、このように交通活動全体のCO<sub>2</sub>排出の約4割を占め、交通活動の中でも環境負荷発生原単位が大きい近距離旅客交通に着目し、その中でも都市内交通に絞った分析を行う。都市内交通に限定する理由としては、a)近距離旅客交通の大部分が都市内で行われていること、b)農村部ではモビリティ確保の観点から自動車は必須手段である上に、渋滞が少なくCO<sub>2</sub>排出原単位も小さいと考えられ、改善の余地が小さいこと、c)一方、都市内では道路交通渋滞が激しく、道路整備による渋滞対策や鉄軌道整備によるモーダル・シフト促進が有効であると考えられること、d)地球環境対策が同時に都市環境問題への対策ともなること、が挙げられる。

## 2.5.3 推計手法による分類

交通活動による環境負荷発生量の推計手法は、大きく以下のように分類することができる。

### <推計手法>

- a) マクロ分析
- b) ネットワーク分析
- c) 交通主体分析

### <推計の対象範囲>

- a) 国内
- b) 都市間（都道府県間）
- c) 都市(圏)内

本研究では都市交通を対象としているので、ここでは主に都市(圏)内を扱った研究事例を取り上げることとし、必要に応じて他の事例も取り上げることとする。

## 2.5.4 研究成果

### a) マクロ分析

対象とする範囲全体やそれを分割した各区域を単位とし、その区域の環境負荷発生量や発生原単位について分析する方法である。各区域の集計データを用いることができ、時系列でのト

レンド予測に適している。国際機関、政府機関等の各種予測もマクロモデルで行われるのが一般的である。

### ＜現状把握＞

日本全国における交通活動に伴うエネルギー消費量やCO<sub>2</sub>発生量に関しては、石油の販売量から把握することができるため、運輸関係エネルギー要覧<sup>23)</sup>によって毎年度報告が行われている。また都道府県単位でも月単位・年単位でエネルギー消費量が調査されており<sup>25)</sup>、容易にその値を利用することができる。ところが、都市圏単位での量については、公式の統計が存在しておらず、その値を推計することが1つの研究となりうる。これが国際的な比較分析となると、都市圏の範囲の定義といった問題も生じ、客観的に値を得ることがさらに困難になる。Newman and Kenworthy<sup>26)</sup>は、世界の大都市の交通と環境負荷に関するデータを、できる限り比較可能な形でまとめており、都市間の環境負荷比較分析を行うための基礎データとして広く利用されている。

日本国内の都市に関しては、交通を含めた各部門のエネルギー消費量を推計し大都市比較を行った平松・花木・松尾の研究<sup>27)</sup>や、都市内での各交通手段のエネルギー消費量を推計した川端・明神・天野の研究<sup>28)</sup>がある。これらはいずれも、国・都道府県レベルの調査結果を都市レベルに補正する方法をとっている。また伊藤・井村<sup>29)</sup>は、地域間物流に伴うエネルギー消費・CO<sub>2</sub>排出量を、国レベルのデータから物流センサスを用いて推計している。

都市の環境負荷発生量に関してはまだ研究が少なく、地球環境負荷削減のための基礎データさえ事欠く状況である。今後一層の進展が期待される分野である。

### ＜統計的分析＞

現状把握から一步進めて、交通に伴う環境負荷発生量を、人口密度や交通機関分担率といった集計データを説明変数として表現することにより、さまざまな政策分析を行おうとするもので、計量経済モデルの応用の一種である。

まず、前述のNewman and Kenworthy<sup>26)</sup>の都市データを用いた分析事例として、松岡・森田・有村<sup>30)</sup>は、各国の交通CO<sub>2</sub>発生量を都市の空間配置の分散度によって説明し、都市がある程度の規模をもって分散することが環境負荷削減に効果的であることを主張している。林・加藤・木本・菅原<sup>31)</sup>は、都市旅客交通に伴うCO<sub>2</sub>排出量を自動車保有率やガソリン価格などで説明する簡便なマクロモデルを構築し、モーダルシフト政策として自動車燃料税増徴と鉄道整備が有効であることを示している。清水・志賀・鹿島<sup>32)</sup>は、都市交通エネルギー消費量が道路・鉄道網形態や郊外部の人口に影響される可能性を指摘している。

一方、日本国内のデータを用いた分析事例として、まず海老原・石田・伊藤<sup>33)</sup>は、都道府県別乗用車ガソリン消費量の決定要因分析を試みているが、都道府県間の明確な差を見いだすことはできていない。森本・小美野・品川・森田<sup>34)</sup>は、東京都市圏PTデータを用いて各都市の輸送エネルギーを推計するとともに、都市の密度・住宅配置・業務配置と輸送エネルギーとの関係を分析し、エネルギー削減政策として核都市育成、都心居住促進、郊外部での公共交通活用を提案している。



以上のような統計的分析は、簡易な予測で良い精度が得られるメリットがある。その一方、要因間の因果関係が経験的なものに基づいているため、政策効果の感度に対する理論的妥当性に関して疑問が残る。

#### <応用一般均衡モデルの利用>

森杉・上田・武藤・近藤<sup>35)</sup>、武藤・上田・森杉・近藤<sup>36)</sup>は、環境負荷削減のための交通政策が経済活動に与える影響を分析するために、応用一般均衡モデルのフレームワークで自動車保有や交通機関分担を明示的に表現したモデルを構築している。このモデルはミクロ経済理論を厳密に適用したものであり、政策の影響を便益のタームで把握することができるとともに、交通サービスの需要量の決定が内生化されていることにより、誘発交通を推計することが可能になっている。したがって、交通政策の効果波及を分析するモデルとしては非常に有用な研究である。ただしこのモデルでは、交通混雑を内生化しているものの混雑に伴う環境負荷（外部不経済）の原単位は一定であり、混雑緩和効果は考慮されていない。またこのモデルは静学モデルであり、都市化やモータリゼーションの進行による交通需要構造の動学的変化の評価を行うものではないこと、すべての変数が貨幣価値で表示されるため、生成原単位、トリップ長、燃費といった交通や環境負荷にかかわる具体的な指標が明示されておらず、影響メカニズムがブラックボックスになってしまっていること、貨幣価値への変換法を外国の研究成果に頼っており、その妥当性に疑問があること、などといった、この型のモデルを用いるが故の欠点が生じている。

#### <運輸部門の波及効果>

金川・井村<sup>37)</sup>は、交通施設供給部門（インフラ建設部門）の内包環境負荷推計に用いられる産業連関分析を応用する手法を、派生需要としての運輸部門に援用している。具体的には、運輸部門CO<sub>2</sub>排出が各産業部門にどの程度内包されるについて分析を行い、運輸部門CO<sub>2</sub>に対する各部門の排出責任の明確化を試みている。運輸部門への環境税導入による影響が各部門にどのように波及するかを分析するために有効な手法である。

#### <発展途上国の将来予測>

ここまでの事例は主に先進国都市の分析である。先進国ではモータリゼーションが著しく進行しているため、自動車依存型の都市交通体系の中でいかに環境負荷が削減できるかという問題意識に基づいていた。しかし、発展途上国、特に東アジアの諸国では、人口が多く今後の発展ポテンシャルが高いことから、今後のモータリゼーション進展によって環境負荷がどのように増加していくかについての関心が高く、分析例が発表され始めている。白井・花木・秋元<sup>38)</sup>、中山・金子・藤倉・井村<sup>39)</sup>は、東アジア諸国での自動車による環境負荷発生量を予測した研究であるが、分析単位は国レベルであり、都市を対象とした分析例はまだ存在しない。

#### b) ネットワーク分析

交通需要予測によって各路線・地点の交通量や走行条件を推計し、走行台キロに環境負荷発

生原単位（単位走行台キロあたり発生量）を乗じて環境負荷発生量を求め、対象地域内の総和をとる方法である。

この方法では、道路網整備や属地的料金政策（有料道路、ロード・プライシングなど）といった都市空間配置に関連した政策の分析が可能ではある。しかしこのような政策は地球環境負荷削減政策として行われるものではないため、地球環境負荷推計に用いられた事例はごくわずかである。むしろこの方法は、環境負荷の発生者と受容者との位置関係が重要となる局地環境負荷の分析で多用される。また、道路混雑による環境負荷発生原単位の低下を容易に組み込むことができることも大きな利点である。大気汚染に関する予測事例は多く、例えば森口・西岡・清水<sup>40)</sup>は、各種交通政策代替案の実施によるNO<sub>x</sub>発生とその影響を予測するモデルを構築している。また林・加藤・望月<sup>41)</sup>は、都市環状道路整備によるNO<sub>x</sub>濃度の空間的分布の変化を予測している。これらの研究は、環境負荷をNO<sub>x</sub>からCO<sub>2</sub>に置き換えることによって、地球環境負荷の評価分析も可能となるものである。

実際に地球環境負荷に着目した事例は海外に多い。Wegener<sup>42)</sup>は、ドイツのドルトムント大都市圏を対象に土地利用－交通－環境連関モデルを構築し、交通費用や走行速度の変化による交通活動のCO<sub>2</sub>削減可能性を評価している。その結果、自動車走行費用増加と公共交通の質の向上によって、経済や公共支出への悪影響を伴うことなく削減が可能であることを示している。Roy and Marquez<sup>43)</sup>は、オーストラリアの都市を対象に、別の土地利用－交通モデルを利用して交通活動のCO<sub>2</sub>発生量を分析し、削減のためには経済的犠牲が免れないという、Wegenerとは逆の結果を示している。

一方、日本における研究事例として、奥田・林<sup>44)</sup>は、地域間産業連関モデルと交通ネットワーク均衡モデルを統合したモデルを構築し、ネットワーク改善策や環境税賦課によるCO<sub>2</sub>発生量変化と立地への影響を分析している。このモデルは、地域間産業連関表が整備されている地域、例えば日本国内の各地域に関して分析を行うには有用であるが、そのまま都市内に適用することは困難である。富田・小原<sup>45)</sup>、伊東・石田・小島・岩倉<sup>46)</sup>は、それぞれ都道府県間の貨物流動、旅客流動について、交通需要のネットワーク分析によりエネルギー消費・CO<sub>2</sub>排出量を推計した事例であるが、都市圏内への応用は行われていない。

ネットワーク分析はモデル構造や計算が非常に複雑でかつ必要なデータも膨大であるが、都市構造を数理モデル上に再現する手法であり、都市交通を規定する重要な要素である立地関係を明確に組み込んでいるため、マクロ分析に比べ解析結果の信頼性は高い。属地的分析の可能性が示され、実際の道路網計画への応用も期待される。また、受容側の環境評価指標を用いることもできる。

ただし、一般に自動車走行による発生原単位の精度は低いにもかかわらず、予測結果がその精度に左右される欠点がある。石田・小島・岩倉・七元<sup>47)</sup>は、既往研究で公表されている発生原単位を比較し、その取扱いにデリケートな注意が必要であることを促している。

### c) 交通主体分析

交通活動は、活動の主体たる個人や企業が、交通の必要性や交通施設整備状況、自動車保有状況などを考慮した上で決定しているものであり、その決定メカニズムを明らかにすることに

より、各種政策による交通活動の環境負荷発生削減量を分析するアプローチである。これは従来より、自動車交通削減を目的とした政策分析に利用されてきたが、近年では自動車走行による環境負荷削減が新たな目的として加わりつつある。

環境負荷削減を意識した研究事例として、盛岡・藤田・玉村<sup>48)</sup>は、アンケート結果を用いて交通手段選択要因を分析し、公共交通整備や駐車場抑制、意識啓発、道路幅員の調整といった施策を組み合わせることの有効性を示している。関・石田<sup>49)</sup>は、東京都市圏PT調査のデータから、交通エネルギー消費原単位と個人・地域特性との関連を分析し、個人特性の寄与が大きいため交通エネルギー消費構造の要因が複雑であることを示唆している。

## 2.5.5 まとめと課題

以上の既往研究の流れをまとめると、

- a) 交通活動による環境負荷は、その総量の把握が1つの研究課題であるとともに、決定要因も複雑であり、その解明の多くは土木計画学や交通工学の知見に依存している。
  - b) その方法としては、マクロ分析、ネットワーク分析、交通主体分析の3種類に大きく分けられる。また、分析目的として、現状の環境負荷発生量の推計やその決定要因を分析するものと、削減政策の効果を予測しようとするものに分けられる。
  - c) 分析の空間的範囲は、データの得られやすい国、都道府県、PT調査範囲が多い。
  - d) 地球環境負荷のみの分析にとどまらず、交通活動に伴う他種の効果影響と併せて把握しようとする研究が多い。
  - e) 自動車から公共交通へのモーダル・シフトに着目した研究が多い。
- となる。

これらの分析は基本的に、現在の日本のようなモータリゼーションの進展した社会で、いかに地球環境負荷を削減できるかという問題意識を共有している。したがって分析の手法も静学的なものであり、各種政策の短期的感度分析を行うものである。

しかし、特に発展途上国大都市のように今後急速なモータリゼーションの進展が予想される地域の分析にはこのような見方は有用ではない。先進国の現在の交通活動は過去長期間のモータリゼーション進展と交通施設整備、都市構造の変化の結果の所産である。それゆえに、都市による環境負荷発生量の差異とその要因を把握するためには、各種政策が長期的にどのような影響を及ぼすかを明らかにする必要がある。その場合、将来をトレンドで予測するような手法では全く不十分である。具体的には、自動車の保有構造や交通手段選択構造の時系列的変化を明らかにすることにより、交通活動とそれに伴う地球環境負荷の動学的変化に関して、今後の研究が必要とされる。

## 2.6 交通施設供給・交通活動をともに考慮した分析に関する既往研究成果

### 2.6.1 分類

ここまで見てきたように、ともに交通を構成する存在である交通施設供給および交通活動に

伴う地球環境負荷の分析に関する研究は、過去ほとんど独立に行われてきた。また興味深い傾向として、交通施設供給に関する研究ではインフラ建設を基本的に「環境を悪化させるもの」ととらえ、それをいかに軽減するかを主眼としているのに対し、交通活動に関する研究では、「インフラ整備が環境を良くする一手段である」ととらえていることである。これは、それぞれの範ちゅうでは適切なとらえかたであるかもしれないが、この両分野が合わさって交通が構成されている以上、その地球環境影響を評価する場合も、両分野を併せて考える必要がある、とする主張は多くなされている。

このような主張は、その立場の違いにより2つに分けられる。1つは、交通施設供給は交通活動のために必要となったものであり、その意味で交通施設供給による環境負荷を交通活動に帰属させるべきであるという考え方である。宇沢<sup>50)</sup>の「自動車の社会的費用」の算定はその典型的な例である。

もう1つは、交通施設供給と交通活動との間に相互関係があることに着目したものである。すなわち、新たな交通施設整備が交通活動の状況を変化させ、交通活動の環境負荷を変化させる場合である。本研究の問題意識はまさにこの点にあるが、盛岡<sup>7)</sup>も指摘しているように、この問題意識の重要性は認識されているものの実際の研究を行うには困難が多く、研究事例はほとんど存在しない。

## 2.6.2 研究成果

### <現状分析>

森口・近藤・清水・石谷<sup>51)</sup>は、LCAの手法を取り入れて、自動車によるCO<sub>2</sub>排出量の評価を行っている。それにあたり、走行に伴う燃料消費や、道路インフラの建設・運営・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出も、自動車のCO<sub>2</sub>排出量に含めて評価している。

また日高<sup>52)</sup>は、貨物輸送におけるモーダル・シフト政策の評価として、トラックと鉄道のエネルギー効率をLCA的に推計している。この研究は、先に示した運輸関係エネルギー要覧<sup>23)</sup>のエネルギー消費原単位が、端末交通機関や交通施設整備、車両製造などを考慮していないものであり、この指標を用いてモーダル・シフトの環境改善効果を主張するのは早計であるという考えに立ち、これらも考慮に入れたエネルギー消費原単位を算定している。その結果、鉄道100に対し自動車は125~140という値を出しており、前述のものと比べてエネルギー面での鉄道の有利性はそれほど大きくないことを示している。これと同様の評価は、運輸経済研究センター<sup>24)</sup>でも試みられており、東京ー大阪間旅客では新幹線100に対し夜行高速バス81、乗用車287となり、貨物では鉄道100に対し10トントラック227となっている。

### <交通施設整備の効果分析>

交通施設整備が自動車走行による環境負荷の削減に与える効果を分析した事例としては、加藤・林<sup>53)</sup>による道路整備の検討があるのみである。これは名古屋市を対象に、都市全体の道路についてその建設および自動車走行エネルギー消費量の累積が道路建設投資額によりどう変化するかを分析し、1.5倍の道路投資を行った場合にはエネルギー消費の総量が30年間の累積で実績投資の場合の86%にとどまり、自動車走行によるエネルギーの減少が建設エネルギーの増加

を上回るという結果を得ている。ただし、道路整備による機関分担の変化や交通需要誘発が考慮されておらず、推計結果の信頼性に問題が残っている。

#### <環境影響評価（環境アセスメント）>

一方、交通施設整備の評価体系の一部を構成し、周辺住民のコンセンサスを得るために実施される「環境影響評価」は、交通施設整備によって周辺の環境がどのように変化するかを予測評価する手法である。この手法では、施設建設時に生じる各種局地環境影響と、施設供用後にそれを利用する交通活動から生じる各種局地環境影響の両方について評価を行うものである。環境影響評価は世界のかなりの国々で実用に供されている<sup>54)</sup>。ただ環境影響評価は、あくまでもその主目的が周辺住民のコンセンサスを得るために行われるものであるため、評価対象となる環境影響は沿道公害や景観、周辺の自然といった局地的なものに限定され、各種環境負荷発生量を定量的に予測する体系とはなっていない。むしろ、交通施設整備に伴うCO<sub>2</sub>等の地球環境負荷の定量的評価に関しては、制度化もされていないし、方法論も確立されていない。

ただし、環境管理・監査の国際規格であるISO14000シリーズが整備されてきており、地球環境問題への具体的対応が今後は工事現場のレベルでも求められる時代になっていくことが予想される<sup>55)</sup>。

#### 2.6.3 まとめと課題

交通施設供給と交通活動をともに考慮する分析は、a)モダル・シフトの効果を正しく把握するという観点と、b)交通施設整備による環境影響を長期的に把握するという観点から進められてきている。

課題として、a)に関しては、各交通機関の環境負荷発生原単位（活動あたり効率）を推計しているが、交通機関の整備状況や利便性に対してどのように環境負荷発生量に変化していくかを明らかにしたものではない。一方、b)は環境影響評価として実用に供されているが、局地環境の評価であり、地球環境負荷を定量的に評価しようとするものではないこと、プロジェクト単位での評価法であり、都市インフラ・システムを評価する方法ではない。

#### 2.7 まとめ ー残された課題ー

本章では、まず環境問題の一般的枠組を示し、その中で地球環境問題（地球温暖化）とその原因の1つである都市交通との関係を明らかにし、地球環境問題の面から都市交通をとらえるにあたって、CO<sub>2</sub>排出量（地球環境負荷発生量）が指標として用いられることの根拠を示した。さらに、交通施設供給、交通活動およびその両面を取り扱った研究事例について分類と紹介を行い、その総括と課題を提示した。その結果、既往研究においては、交通施設供給と交通活動の環境負荷分析がほぼ独立に進められてきたこと、交通施設供給についてはLCAの考え方が導入されるとともに、内包環境負荷の評価に力点が置かれてきたこと、交通活動に関してはそのメカニズム把握の重要性が言われながら、いまだ十分な研究の蓄積が進んでいないこと、な

どが明らかになった。

また、交通にかかわる地球環境負荷を規定する根本的な要因の1つとして、交通社会資本整備政策のあり方に着目することの必要性が重要視され、環境負荷削減のための代替案も多数提案されている。その一方で、そのあり方を論じるための分析手法が十分に整備されておらず、比較評価例も数少ないことが分かった。

そこで、交通にかかわる地球環境負荷の推計評価にあたって残されている総合的な課題について、以下にまとめる。

a) 交通施設供給・交通活動をともに考慮した評価：

環境負荷評価にあたっては、従来、交通施設供給に関する研究と交通活動に関する研究は、ほとんど独立に行われてきたが、交通施設整備の影響を分析するためには、これらを統合して評価することが必要である。そのための方法論としては、交通施設供給の環境負荷定量化手法であるLCAに交通活動の評価を取り込むことが考えられる。

LCAは本来、その対象製品自体から生じる環境負荷を推計評価するものである。しかし、インフラはその整備によって大きな外部効果を生じるものであり、そのLCAにあたっては、整備によって環境負荷が外部にどの程度誘発されるかという範囲を見極め、その範囲内での分析を行う必要がある。さもなくば、そのインフラの環境面からの評価を十分に行ったことにはならない。

そもそも交通施設の環境負荷をそれ自体から発生する分だけでとらえれば、環境に悪影響をもたらすものであることは明白である。更に、道路整備によって自動車交通が誘発され、自動車走行による環境負荷が長期的に増大することも予想される。一方、交通施設整備によって交通改善が生じ、燃費が改善され、通過車両の燃料消費量が削減されれば、ライフ・サイクルを通しての環境負荷を削減する可能性もありうる。したがって、交通施設にかかわる環境負荷は、①施設自体（施設の建設→維持管理→廃棄）によるものに加え、②施設を利用する車両の走行によるもの、を考える必要がある。上述のように、①と②の間にトレード・オフの関係が生じることは多く、その場合には両方を同時に評価する必要がある。

b) 「ライフ・サイクル」の評価：

LCAの要件は、その名のとおりに「ライフ・サイクル」にわたる評価を行うことである。にもかかわらず、既往のインフラLCA研究では、内包環境負荷の評価を行うことが強調され、「ライフ・サイクル」については後回しにされてきた。その結果、既往研究は建設段階のみを対象とした分析が大部分であり、それに比較して維持管理や廃棄までを通じた研究は少ないというのが現状である。この理由としては、インフラのライフ・サイクルは非常に長く、またたえず補修や更新が行われるため、その定義が困難であるということが挙げられる。さらに都市のインフラをシステムとしてとらえる場合、そのライフ・サイクルの長さを定義することは不可能である。

c) 複数代替案の評価検討：

交通活動の分析では、モーダル・シフト政策が代表例として挙げられるように、複数の政策を比較したり各種政策の感度を分析したりする研究事例が多いのに対し、交通施設供給の分析では環境負荷の定量的評価という点に重きが置かれ、検討対象も1つのプロジェクトや部門を対象とするにとどまっているものが多く、複数の代替案にまで広げたものはまだ数少ない。

このような違いが生じる原因としては、両分野の研究進展の経緯によるところが大きいと考えられるが、もう1つの理由として、LCAにおける政策評価が原則として同一性能のものどうしに限られていることも挙げられる。

確かに、代替案によって利用量や状況が変化しないものを挙げた場合でも、ライフ・サイクルのうちで環境負荷を多量に発生する部分や、環境負荷削減が可能な部分を検討することにより“Improvement assessment”を行うことは可能である。しかしこの段階では、供用後走行速度や交通容量といった性能が異なることによって自動車交通が誘発されたり走行燃費が変化するような道路構造代替案の比較や、そもそも道路を造ることが環境面から許されるのかといった問いに答えることはできない。交通施設整備代替案を環境面から検討する時には、まさにそこが問われるのである。

したがって、同一の利用量・利用状況というところから一步踏み出してLCAを適用する必要がある。この場合、性能や利用状況と環境負荷の違いをどのように組み合わせて評価するかという問題が生じる。その方法として、活動あたり環境負荷効率などの環境負荷発生原単位を用いることも考えられる。また、環境重視のために性能が犠牲になる場合には、意思決定にあたって性能と環境のいずれをより重視するかという、項目間での重みのつけ方が問題になる。

しかし少なくとも、交通施設整備に伴う環境負荷の変化を把握する際には、交通活動状況の変化と、それによる各種効果影響を調べる必要がある。

#### d)政策の長期的影響の分析：

交通にかかわる環境負荷は、長期的には経済成長と都市化に伴うモータリゼーションの進展のあり方によって大きな影響を受ける。また、モータリゼーションのあり方に影響を与える要因である交通社会資本整備は、社会資本が長期のライフ・サイクルを持つがゆえに、長期にわたって影響を及ぼし続けるものと考えられる。このような都市発展のダイナミズムとその各段階での各種政策の効果を把握するためには、モータリゼーションのあり方、すなわち自動車保有構造や交通手段選択構造の時系列的変化や、それと都市構造との関係を明らかにする必要がある。

## 参考文献

- 1) 西岡秀三、原沢英夫、森口祐一：地球環境政策のための情報の集約と環境評価の方法論、土木学会論文集 No.498/VI-24、pp.1-14、1994.9.
- 2) 松岡譲、森田恒幸：最近の温室効果ガス排出見通しとそれによる気候変動について、環境システム研究 Vol.22、pp.359-368、1994.8.
- 3) 井村秀文：経済的手法によるCO<sub>2</sub>排出削減、季刊環境研究 No.86、pp.98-112、1992.6.
- 4) 西岡秀三：都市環境と地球環境、都市と環境 -現状と対策- (中村英夫編) 第7章第2節、ぎょうせい、pp.444-450、1992.12.
- 5) 森下研：LCA研究の現状と今後の課題、1993年環境科学シンポジウム講演要旨集、pp.176-177、1993.11.
- 6) 和田安彦、三浦浩之、中野加都子：日本のLCA研究の現状と課題、環境科学会誌 第8巻 第1号、pp.47-58、1995.8.
- 7) 盛岡通：土木建設システムにおけるLCAの考え方と事例、第4回地球環境シンポジウム講演集、pp.29-34、1996.7.
- 8) Y.Moriguchi: Linkages between Comprehensive Set of Environmental Indicators, Environmental Accounting and Life Cycle Assessment, SCOPE Workshop on Sustainable Development Indicators, 1995.11.
- 9) 林良嗣、京谷孝史、加藤博和、中島義人：地球環境インパクトと周辺アメニティを考慮した道路構造代替案の評価手法に関する研究、環境システム研究 Vol.23、pp.314-320、1995.8.
- 10) 中嶋芳紀、岩渕省、松本亨、井村秀文：LCAを考慮した社会資本整備による総合的環境評価に関する研究、環境システム研究 Vol.24、pp.192-199、1996.10.
- 11) 井村秀文、森下兼年、池田秀昭、銭谷賢治、楠田哲也：下水道システムのライフサイクルアセスメントに関する研究: LCEを指標としたケーススタディ、環境システム研究 Vol.23、pp.142-149、1995.8.
- 12) 外岡豊：((財)計量計画研究所)調査、未発表.
- 13) 酒井寛二、漆崎昇：建設業の資源消費量解析と環境負荷の推定、環境情報科学 21-2、pp.130-135、1992.
- 14) 岡本英靖、酒井寛二、漆崎昇：土木工事における炭素排出量の推定、土木学会第1回地球環境シンポジウム講演集、pp.93-98、1993.7.
- 15) 池田秀昭、井村秀文：社会資本整備に伴う環境インパクトの定量化に関する研究、環境システム研究 Vol.21、pp.192-199、1993.8.
- 16) 銭谷賢治、井村秀文：建設に伴う環境負荷の定量化に関する研究、環境システム研究 Vol.22、pp.147-153、1994.8.
- 17) 光本純、安藤裕介、小谷克己：ダム仮設工事における炭素発生量の推定、土木学会第3回地球環境シンポジウム講演集、pp.293-297、1995.7.
- 18) 酒井寛二：土木建設物の二酸化炭素排出量原単位の推定、土木学会第4回地球環境シンポジウム講演集、pp.43-48、1996.7.



- 19)伊藤武美、花木啓祐、谷口孚幸、有浦幸隆：ニュータウン建設にともなう二酸化炭素排出量に関する研究、環境システム研究 Vol.23、pp.190-197、1995.8.
- 20)伊藤武美、花木啓祐、本多博：二酸化炭素排出抑制技術・システムのニュータウン建設への適用、環境システム研究 Vol.24、pp.250-259、1996.10.
- 21)岩渕省、中嶋芳紀、松本亨、井村秀文：道路整備のライフサイクルアセスメントに関する研究、土木学会第51回年次学術講演会講演概要集第Ⅶ部、pp.494-495、1996.9.
- 22)藤田親、前孝一、東嶋武、児玉浩一：土木工事における地球環境負荷評価について、土木学会第4回地球環境シンポジウム講演集、pp.69-73、1996.7.
- 23)運輸省運輸政策局情報管理部編：運輸関係エネルギー要覧、1993-1996.
- 24)運輸経済研究センター：環境と運輸・交通 環境にやさしい交通体系をめざして、pp.90-133、1994.8.
- 25)通商産業省大臣官房調査統計部：石油統計年報（各年度版）.
- 26)P.Newman and J.Kenworthy: Cities and Automobile Dependence, 1989.
- 27)平松直人、花木啓祐、松尾友矩：エネルギー消費の大都市間比較、環境システム研究 Vol.19、1991.
- 28)川端彰、明神証、天野雅人：都市交通によるエネルギー消費の推計、土木計画学研究・講演集 No.16(1)、pp.1041-1047、1993.12.
- 29)伊藤知美、井村秀文：地域間物流に伴うエネルギー消費量及びCO<sub>2</sub>排出量の評価に関する研究、環境システム研究 Vol.22、pp.352-358、1994.8.
- 30)松岡譲、森田恒幸、有村俊秀：都市構造及び都市配置と地球温暖化 =都市計画論再考=、季刊環境研究 No.86、pp.51-65、1992.6.
- 31)林良嗣、加藤博和、木本仁、菅原敏文：都市交通のモーダル・シフト政策に伴うCO<sub>2</sub>排出量削減効果の推計、土木計画学研究・講演集 No.17、pp.659-662、1995.1.
- 32)清水宏高、志賀弘史、鹿島茂：都市形態と交通エネルギー消費量の関連性の分析、土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第Ⅳ部、pp.712-713、1995.9.
- 33)海老原毅、石田東生、伊藤雅：都道府県別乗用車ガソリン消費量の推定と分析、土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第Ⅳ部、pp.716-717、1995.9.
- 34)森本章倫、小美野智紀、品川純一、森田哲夫：東京都市圏におけるPTデータを用いた輸送エネルギー推計と都市構造に関する実証的研究、土木計画学研究・論文集 No.13、pp.361-368、1996.8.
- 35)森杉壽芳、上田孝行、武藤慎一、近藤有一郎：運輸産業を取り入れた応用一般均衡モデルの開発、土木計画学研究・論文集 No.13、pp.349-360、1996.8.
- 36)武藤慎一、上田孝行、森杉壽芳、近藤有一郎：環境政策の国民経済的評価のための集計型交通需要モデル、土木計画学研究・講演集 No.19(1)、pp.455-458、1996.11.
- 37)金川琢、井村秀文：産業連関モデルによる都市のエネルギー消費勘定に関する研究、環境システム研究 Vol.21、pp.186-191、1993.8.
- 38)白井朗、花木啓祐、秋元肇：東アジアを対象とした自動車排出ガスによる大気汚染の将来予測、土木学会第4回地球環境シンポジウム講演集、pp.129-134、1996.7.

- 39) 中山裕文、金子慎治、藤倉良、井村秀文：アジア諸国の経済発展にともなう交通需要と環境負荷に関する研究、環境システム研究 Vol.24、pp.529-535、1996.10.
- 40) 森口祐一、西岡秀三、清水浩：広域的な道路交通公害対策による環境改善効果の予測システムの開発、土木計画学研究・論文集 No.11、pp.279-286、1993.12.
- 41) 林良嗣、加藤博和、望月昇：都市の道路網整備が大気環境に及ぼす効果の分析システム -都市環状道路のケーススタディとともに-、環境システム研究 Vol.21、pp.289-299、1993.8.
- 42) M.Wegener: Reduction of CO<sub>2</sub> Emissions of Transport by Reorganization of Urban Activities, WCTR SIG 1 Seminar on "Environmental Challenge in Land-use Transport Coordination", 1993.
- 43) J.Roy and L.Marquez: SUSTAIN -A Model Investigating Sustainable Urban Structure And Interaction Networks, WCTR SIG 1 Seminar on "Environmental Challenge in Land-use Transport Coordination", 1993.
- 44) 奥田隆明、林良嗣：運輸部門を通じた環境税の影響分析手法 -地域間産業連関モデルと交通ネットワーク均衡モデルの統合モデル-、土木計画学研究・論文集 No.11、pp.271-278、1993.12.
- 45) 富田安夫、小原和浩：地域間貨物輸送に伴う交通エネルギー消費量の推計、土木計画学研究・講演集 No.17、pp.483-486、1995.1.
- 46) 伊東誠、石田東生、小島宗隆、岩倉成志：国土幹線交通における大気汚染排出量の予測精度について、土木計画学研究・講演集 No.19(2)、pp.109-110、1996.11.
- 47) 石田東生、小島宗隆、岩倉成志、七元広宣：旅客交通の大気汚染排出原単位に関する比較考察、土木計画学研究・講演集 No.19(2)、pp.105-108、1996.11.
- 48) 盛岡通、藤田壮、玉村学：自動車交通の環境負荷低減にむけての地域政策に関する調査研究、土木学会第4回地球環境シンポジウム講演集、pp.209-212、1996.7.
- 49) 関恵子、石田東生：東京都市圏における交通部門のエネルギー消費量と個人特性・地域特性との関連性、土木計画学研究・講演集 No.19(1)、pp.537-540、1996.11.
- 50) 宇沢弘文：自動車の社会的費用、岩波新書、1974.
- 51) 森口祐一、近藤美則、清水浩、石谷久：自動車によるCO<sub>2</sub>排出のライフサイクル分析、エネルギー・資源学会 第9回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集、pp.411-416、1993.
- 52) 日高聡史：モーダルシフトとエネルギー効率、エネルギー経済 第19巻 第6号、pp.17-34、1993.6.
- 53) 加藤博和、林良嗣：環境制御からみた都市交通インフラ供給に関する評価分析、土木学会第49回年次学術講演会、pp.446-447、1994.9.
- 54) 土木学会編：新体系土木工学別巻 環境アセスメント、技報堂出版、1988.
- 55) 光家康夫、小林勲、佐野拓：土木建設業における環境管理・監査の在り方、土木学会第4回地球環境シンポジウム講演集、pp.19-28、1996.7.
- 56) 土木学会地球環境委員会：地球環境研究の現状、1992.10、1994.6、1996.7.

# 3 章 ライフ・サイクル環境負荷の概念と 評価モデルの枠組

## 3. 1 概説

前章における既往研究の整理では、交通にかかわる地球環境負荷として交通施設供給によるものと交通活動によるものがあり、このそれぞれについて互いにほぼ独立に研究が進められていることが明らかになった。そのため、この両者を規定する要因である交通施設整備について、その評価手法として十分なものがいまだ開発されておらず、残された重要課題となっている<sup>1)</sup>。

そこで本章では、交通にかかわる地球環境負荷の推計に関する基本的枠組を構築する。そのためにまず、単一交通施設を対象として、その整備に伴う地球環境負荷の変化を、その波及効果を含めて時間的・空間的にどこまでとらえる必要があるかについて明らかにする。そして、その基本的評価概念として、①交通施設供給および交通活動を一体的にとらえた評価、②長期間の負荷の累積評価、③内包環境負荷の評価、の3点をみたとす「ライフ・サイクル環境負荷」を定義する。

次に、「ライフ・サイクル環境負荷」の概念を都市交通システムに拡張するときの考え方を整理するとともに、その推計手法である「持続可能な都市交通整備のためのライフ・サイクル・アセスメント (ELASTIC: Environmental Life-cycle Assessment for Sustainable Transport Improvement of a City) モデル」を構築する。

さらに、「ライフ・サイクル環境負荷」の評価指標の単位についても検討を行い、特に貨幣価値による評価についてその利点と問題点を整理する。

交通施設整備の評価にあたって、ここでその前提条件や価値観を仮定し明示しておく。日本における現在の交通施設整備は、今後も自動車交通主体で推移するという前提に基本的には立脚して行われていると考えられる。しかし、極端な例として、石油枯渇で自動車が利用不能になってしまったり、環境意識の浸透で自動車利用が大幅に制限されたり、あるいは全く新しい交通手段がとってかわったりするかもしれない。そうなれば現在の道路整備が無用の長物になるわけである。あるいは、技術革新によって自動車の動力が化石燃料依存でなくなることによって、交通部門の地球環境への影響という問題意識自体が無意味になってしまうことも否定できない。要するに、将来に対する予測や価値観の違いによって、対処も全く異なってしまうことに注意を払う必要がある。

そこで、交通施設整備を評価する上での前提条件として、過去に日本を含めた先進諸国がたどってきた道、すなわち、経済成長と都市への人口集中が進行し、それに伴って交通活動の活発化とモータリゼーションが進展するという状況が普遍的に生じることを仮定する。実際に現在、アジアの発展途上国も同様の軌跡をたどっていることは、中山・金子・藤倉・井村<sup>2)</sup>も明らかにしている。このような前提に立つ場合、公共部門は対応して交通施設整備を行っていく必要があり、交通にかかわる地球環境負荷を評価することの意味も生じる。

また本研究では、地球環境負荷発生量の推計評価手法を開発することを目的としており、それを実際の交通施設整備にあたってどのように適用するかについてを示そうとするものではない。しかし、交通施設整備にあたっては従来より、地球環境以外の観点からさまざまな評価手法が開発され、それらに基づいて具体的な交通施設整備の方向性が決定されてきている。したがって、それらを全く無視して地球環境負荷のみからの評価手法をつくることはできない。そこで、本章の最後において、地球環境負荷評価手法と、地球環境以外の面からの既往の交通施設整備評価手法との対比を行うことにより、交通施設整備評価に地球環境への配慮をどう組み込むかについて論じる。

### 3. 2 評価対象規模と評価する政策との関係

交通施設整備を地球環境面から評価するにあたって、まず、評価対象となる施設の規模と、評価する政策について整理する。

2. 4. 3 項でも挙げたように、井村・森下・池田・銭谷・楠田<sup>3)</sup>は、対象規模を、

- a) マクロレベル：地域のインフラ全体のシステム
- b) セミマクロレベル：インフラ単体
- c) ミクロレベル：資材、使用機械

の3つのレベルに分けている。本研究ではこれを踏まえ、評価対象規模を、

7) 単一交通施設 (b)に対応する)

1) 都市交通システム (a)に対応する)

とに分け、それぞれその対象規模を考慮した手法を用いることにする。

次に、評価対象として考えられる政策は、各対象規模によって次のように分類される。

#### 7) 単一交通施設

- ① 計画段階：その施設をその場所に造ることの妥当性
- ② 設計段階：造る場合、その性能・仕様や耐用年数
- ③ 施工段階：造る方法（施工法）や使用する資材・機械

#### 1) 都市交通システム

- ① 整備量とその時期：都市発展のどの段階で、どれだけの量を整備（投資）するか
- ② 整備する施設の種類の種類：道路や鉄道といった各交通手段に、どれだけの割合で投資するか
- ③ 整備する場所：都市のどの位置に整備するか

### 3. 3 交通施設整備の地球環境負荷評価の基本概念

——「ライフ・サイクル環境負荷」

土木構造物が地球環境に及ぼす負荷を定量的に示し、その低減を図る方法として有力なアプローチと考えられているのが、2.4.1項でも紹介した「ライフ・サイクル・アセスメント (Life Cycle Assessment <LCA>)」、すなわち、構造物から発生する環境負荷および環境インパクトをそのライフ・サイクルで定量的にとらえようという試みである。

本節は、このLCAの考え方を基本として、それを交通施設の地球環境負荷評価に適用するにあたっての基本概念を明らかにするものである。なお本節では、特に断りのない限り、単一交通施設を対象とした評価手法について考えるものとする。

### 3.3.1 スコーピング (システム境界の設定)

本研究で評価を行う対象は、「交通にかかわる地球環境負荷」が、交通施設の整備状況によってどのような影響を受けるかである。したがって、交通施設整備の違いによる地球環境負荷の変化が生じると考えられる範囲を、評価において考慮すべき「システム境界」として設定しておく必要がある。

この点について、従来の社会資本に関するLCA研究では、評価範囲を「交通施設供給」のみに限定してきた。これは盛岡<sup>1)</sup>も述べているように、データ制約や推計技術の問題が原因である。また、LCA研究が主に環境科学の分野で進展してきたことも影響している。しかし、交通施設整備のようにその効果影響がその施設のみならず空間的・時間的に広範囲に及ぶ場合に、評価範囲をこのように恣意的に限定することは、評価結果を誤ったものにする可能性がある。

LCAではこのような対象事象の時間的・空間的範囲、分析目的の決定を、最初の段階である“Scoping”で明確にする。本研究では、交通施設整備の地球環境負荷への影響を、従来の「交通施設供給」自体にとどまるのではなく、その時間的・空間的な波及効果まで含めて把握することを目指す。

### 3.3.2 社会資本のプロジェクト・ライフとライフ・サイクル

ここでは、社会資本の地球環境負荷の時間的評価範囲を定義する。そのためには、社会資本の長い耐用期間とその効果影響発生の高さを考える必要がある。

#### 1) 社会資本のプロジェクト・ライフ<sup>4), 5)</sup>

社会資本整備プロジェクトの開始時点からそのプロジェクトの効果が持続する最終時点までの期間のことを、「プロジェクト・ライフ (Project Life)」という。

プロジェクト・ライフは一般に、以下の2つの期間に大きく分けることができる。

Phase I : 計画期間 <計画・設計・施工の段階>

社会資本を増加させる (整備する) 段階

Phase II : 供用期間 <運営・維持管理の段階>

蓄積された (完成した) 社会資本を利用する段階

特にPhase IIの期間は、その社会資本の耐用年数 (working life, durable time, life time)

に対応する。これは、

①物理的耐用年数：施設の物理的寿命

②機能的耐用年数：社会状況の変化や技術革新などによって施設に対する需要がなくなり、不必要になるまでの期間

③経済的耐用年数：施設の経済的な存在意義が、新規施設の完成などでなくなるまでの期間の3つのうちで最小の年数と定義される。また財務にあたって、減価償却を行うための耐用年数を知る必要があるため、税法に法定耐用年数が定められている。例えばアスファルト舗装道路は10年、RC造高架道路は30年といった値になっている。

耐用年数は、計画・設計時に設定することができるとともに、維持・補修の方法によっても変化し、土木構造物の経済性を決定する重要な要素となるものである。最も経済的（総費用最小）となる耐用期間の決定を“Life Cycle Costing”と呼び、土木構造物に関しても研究は行われている<sup>5)</sup>。さらに、これに地球環境負荷評価手法を組み込むことができれば、地球環境を考慮に入れた耐用年数決定ができることになる。

しかし本研究では、耐用年数の決定は既に行われているものとする。すなわち、ある耐用年数をもった単一交通施設が、地球環境負荷をどの程度発生するかを推計することを考える。

## 2) 社会資本整備の効果影響の時間的分類

社会資本整備の効果影響は、プロジェクト・ライフの各Phaseによって違いがある。

### a) Phase I：事業効果（短期効果、フローの効果）

公共投資によって社会資本の建設や修繕・改築が行われると、建設や資材に対する需要が発生し、更に需要は関連業種に波及していく（需要効果）。またそれに伴い、労働力の需要も発生する（雇用効果）。そのため、公共投資は不況時の景気浮揚策としてしばしば利用される。ただしこの効果は、事業が行われている期間とその直後だけ発生するものである。

地球環境負荷については、施設の建設によるものや、その資材や機械の製造・運搬によって発生するもの（これらを合わせると内包環境負荷になる）がこれにあたる。

### b) Phase II：施設効果（長期効果、ストック効果）

事業効果は、社会資本整備に限らず政府支出を増加することで発生する。社会資本整備の特色は、事業終了後に社会資本が残り、以後長期間供用されることによって、様々な形の効果をもたらすことである。この種の効果には、利用者や事業者に対して発生する効果（直接効果）と、社会資本利用による生産規模の拡大など（間接効果）がある。

地球環境負荷については、施設の維持・管理によるものや、その施設を利用する車両の環境負荷発生量の変化がこれにあたる。

表3. 1に、道路整備を例として、プロジェクト実施によって発生する各種効果（便益）を、地球環境負荷変化とそれ以外の効果影響とに分けて整理する。

表3. 1 道路整備に伴う効果 (参考文献4)を参考に作成)

	地球環境以外の効果影響	地球環境への影響
短期効果	事業効果<フローの効果>ー建設部門の需要増(所得移転)が他部門の需要を誘発 ----- 1. 需要効果・・・他部門での需要(有効需要)発生 2. 雇用効果・・・雇用創出、失業救済	○交通施設建設(工事および資材製造・輸送)による環境負荷発生
長期効果	施設効果<ストックの効果>ー社会資本の供用による効果 ----- 1. 直接効果 ①利用者への効果: 輸送費削減、走行時間短縮、交通事故減少、運転の疲労度軽減 ②供給者への効果: 利潤増大 ③周辺住民への効果: 局地環境影響、景観変化、土地改変 2. 間接効果 ①生産者(企業)への効果: 輸送システム改変、新規立地、取引先拡大などによる経費削減、生産性向上 ②消費者(家計)への効果: 消費財購入価格の低下、財の選択肢の拡大 ③土地所有者への効果: 土地の利用可能性・資産価値の変化 ④自治体・国への効果: 税収・人口変化、土地利用変化	○交通施設維持・管理・廃棄による環境負荷発生  ○交通施設供用による交通活動の環境負荷発生量の変化

### 3) ライフ・サイクルの定義

一方、「プロジェクト・ライフ」と似たニュアンスを持つ言葉に、LCAにも含まれている「ライフ・サイクル(Life Cycle)」という言葉がある。この用語を用いるにあたっては、一般に次の2通りの異なった意味を持つことに注意する必要がある。

#### a) マーケティング理論におけるライフ・サイクル<sup>6)</sup>

ある「事象」が発生してから消滅するまでの期間を、生成、成長、成熟、衰退(、再生)のプロセスに区分してとらえる。

#### b) エネルギー・資源分析におけるライフ・サイクル<sup>7)、8)</sup>

ある「もの」が生成されてから消滅するまでの期間を、原料採取、材料製造、製品製造、流通、使用、廃棄、リサイクル、処理処分、およびその間の輸送というプロセスに区分してとらえる。

工業製品のライフ・サイクルを考える場合、a)の定義では同一種類の製品全体を1つとしてとらえるのに対し、b)の定義では製品1個1個に着目するものである。交通施設においても全く同様のとらえかたができる。

LCAのように、対象とする「もの」（工業製品や建築物、インフラなど）のエネルギー・資源・環境負荷のインプット／アウトプットを分析する場合には、ライフ・サイクルはb)の定義になる。したがって本研究においても、「ライフ・サイクル」をb)の意味で用いる。

また、前項で説明した「プロジェクト・ライフ」と「ライフ・サイクル」とを比較すると、b)の定義では、前者は期間自体を表す用語であるのに対し、後者はその期間の中での段階の進行に着目する用語であると位置づけることができる。一方、a)の定義の「ライフ・サイクル」とは対応しない。

### 3.3.3 「ライフ・サイクル環境負荷」の定義

#### 1) 地球環境の評価指標の要件

本研究で開発することを目指している、波及効果を含めた交通施設整備（投資）の地球環境面からの評価指標は、以下の3点の要件をみたす必要がある。

- a) 交通施設供給および交通活動の両面からの環境負荷評価の必要性
- b) ライフ・サイクル全体での環境負荷の累積評価の必要性
- c) 内包環境負荷の評価の必要性

以下、各要件について詳しく述べる。

#### a) 交通施設供給および交通活動の両面からの環境負荷評価の必要性：

交通施設は、その建設や維持管理自体が環境負荷の大きな発生源であるとともに、供用後それを利用する自動車や公共交通機関も環境負荷を発生し続ける。交通施設整備に伴って交通利便性が向上し、新たな交通が誘発されることで、沿線の環境が長期的に悪化することも多い。したがって、一般に交通施設整備は環境に悪影響を与えるという固定観念が存在している。しかし、道路が渋滞緩和や狭あい区間改善の目的で整備される場合、供用後は走行状況が改善され、燃費が向上することによって、結果としてモビリティを確保しつつ自動車から発生する環境負荷を削減できる可能性もある。このように、交通施設整備をその建設から利用までにわたるライフ・サイクルでみた場合、一概に環境に悪影響をもたらすものとは断定できない。

このように、交通施設整備による地球環境負荷の変化は、交通施設供給の環境負荷に対しては直接的にはたらくとともに、交通活動の環境負荷に対してもさまざまなメカニズムを経て影響を及ぼす。

したがって、「交通にかかわる地球環境負荷」としては、

#### ①「交通施設供給」（交通施設の建設、維持管理、廃棄）によって

交通施設自体から発生するもの と、

#### ②交通施設を利用する「交通活動」（鉄道や自動車の走行）によるもの

の2つをともに考える必要がある。

このうち①は、基本的には交通施設供給量に比例し、またその比例定数（環境負荷発生原単位）は、交通施設の設計・施工の状況、使用資材、完成後の経年などによって決定されるものである。



一方、②の交通活動に関しては、交通施設供給の変化によって影響を受け、その決定メカニズムは①よりずっと複雑になる。交通施設を新規に整備した場合、その地球環境負荷に対する効果影響は主に大きく次の2種類に分けられる。

- a) 需要誘発効果：施設整備によって交通利便性が向上し、交通需要が誘発されることにより環境負荷発生が増加する
- b) 混雑緩和効果：施設整備によって交通が円滑化し、燃費（環境負荷発生原単位）が改善されることにより環境負荷発生が削減される

この2つの効果は、どのような交通施設整備プロジェクトにおいても発生する。このうちa)の方が大きければ全体として環境負荷は増加し、b)の方が大きければ環境負荷は削減される。ゆえに、交通施設整備による地球環境負荷変化の評価にあたっては、整備影響が波及する範囲、すなわち①交通施設供給と②交通活動の環境負荷の総和をとる必要がある。さらにそのためには、各プロジェクトにおいてa), b)の2つの効果がどの程度生じるかを解明することが必要不可欠である。したがって、4章以降で行う具体的な政策評価においても、その大部分は、交通施設整備に伴う交通活動の地球環境負荷発生量変化のメカニズムを解明することにあてられることになるのである。

- b) ライフ・サイクル全体での環境負荷の累積評価の必要性：

交通施設は長期にわたるプロジェクト・ライフを有するため、その効果影響も長期間継続して生じるものであり、このことは地球環境負荷についても例外ではない。

特に重要なのは、①交通施設供給の環境負荷のうち多くは建設時に集中的に発生するが、②交通活動の環境負荷は交通施設の長い耐用期間にわたって比較的均等に発生することである。すなわち、交通施設の計画・設計時に、供用後それを利用する車両の環境負荷を考慮することにより、蓄積性を持つ地球環境負荷を長期的にコントロールすることが可能になるのである。

以上のことから、交通施設整備の環境影響を評価するためには、その影響が及ぶ時間全体にわたって、すなわちライフ・サイクル（プロジェクト・ライフ）全体での環境負荷の累積値で評価する必要がある。

- c) 内包環境負荷の評価の必要性：

既往のLCA研究で、製品やプロジェクトに伴う地球環境負荷を評価する際に、「内包環境負荷」を用いる必要性が強調されてきたことは、2章で既に述べた。内包環境負荷はプロジェクト実施によって資材製造など他の部門において誘発的に生じる環境負荷も含むため、本研究で計測しようとしている、交通施設整備に伴う環境負荷発生量への全体的な影響を把握するためには、内包環境負荷を用いることが必要である。

前述の1)で、交通システムにかかわる地球環境負荷として、交通施設供給と交通活動によるものの総和をとる必要性を示した。このことを内包環境負荷の観点からみると、交通施設供給は交通活動への投入財として見なすことができ、そういう意味では交通施設供給は交通活動の内包環境負荷の一部を構成しているとも言える。このことは自動車製造についてもあてはまるが、1.2節でも定義したように本研究では自動車産業は切り離して考えることにしている。

以上のように定義した交通施設供給に伴う内包環境負荷の評価を、単一交通施設に関して実施するための方法としては、2.4節における既往研究の成果を踏まえると、「組み合わせ法」が妥当である。

組み合わせ法は、図3.1に示すように、施設に投入する資材・機械の量を調査し、その量に各資材・機械の内包環境負荷原単位を乗じて総和をとることにより求めるものである。

この方法をとることにより、単一交通施設の施工法・使用資材・性能の違いによる環境負荷の評価が詳細に可能となる。

資材・機械の内包環境負荷原単位の推計については、資材・機械の生産に伴う波及効果を含めて把握する必要がある。そのためには、既存研究の成果からも示されているように、産業連関表を用いる方法が適している<sup>9)</sup>。

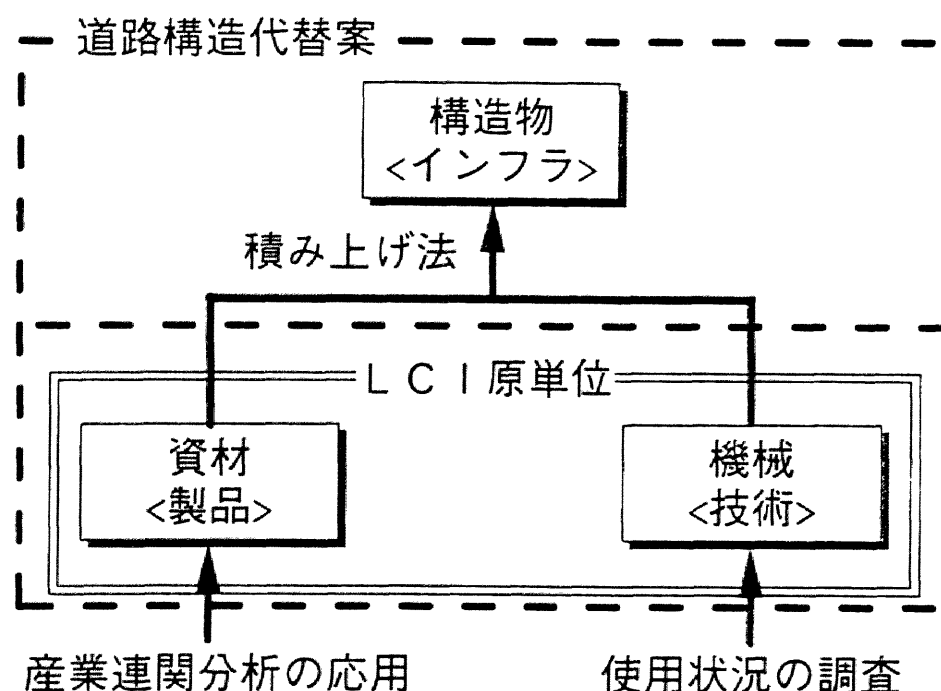


図3.1 単一交通施設におけるLCA手法（組み合わせ法）

産業連関表（Input/Output table）は、財・サービスの投入－産出関係を行列形式にまとめたものであり、その各成分は、

$x_{ij}$ ：産業  $j$  の生産物の生産に用いられた、産業  $i$  の生産物の量である。

これを用いて、産業  $j$  の生産 1 単位あたりの内包環境負荷（産業  $j$  の生産時に直接発生する環境負荷と、原材料の生産時に発生する環境負荷の和） $\varepsilon_j$  を以下のように推計することができる。

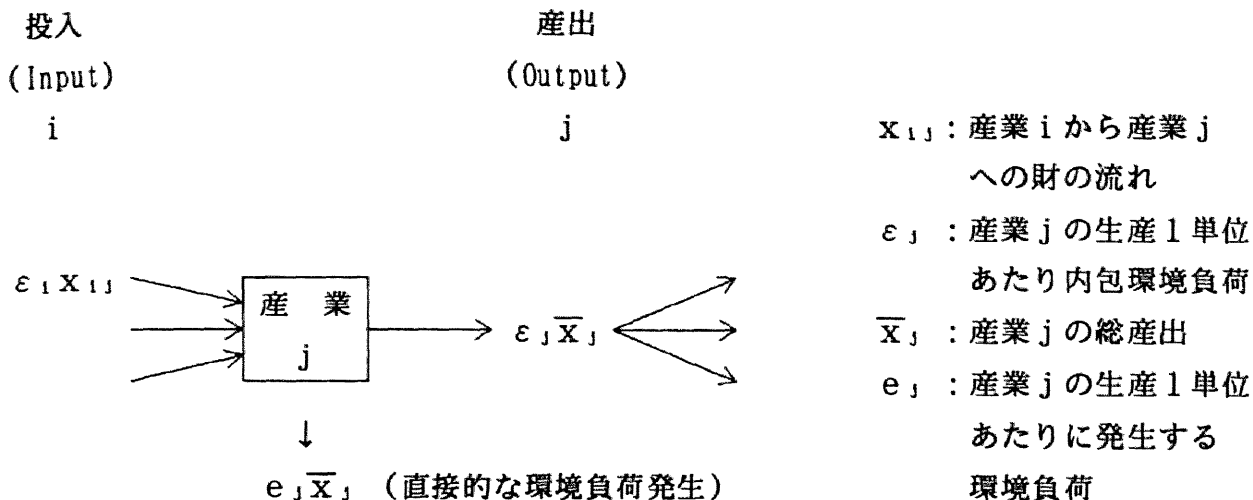


図3. 2 製品の投入－産出関係と環境負荷の流れ

環境負荷のバランス式：

$$\left[ \begin{array}{c} \text{原材料の} \\ \text{内包環境負荷} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{c} \text{生産による} \\ \text{環境負荷発生} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \text{製品の} \\ \text{内包環境負荷} \end{array} \right]$$

$$\sum_i \varepsilon_i x_{ij} + e_j \bar{x}_j = \varepsilon_j \bar{x}_j \quad (3.1)$$

$$\varepsilon = \{\varepsilon_i\}, e = \{e_i\}, \bar{x} = \{\bar{x}_i\}, x = [x_{ij}]$$

行列表示：

$$\varepsilon x + (e \cdot \bar{x}) I = (\varepsilon \cdot \bar{x}) I$$

$$(e \cdot \bar{x}) I = \varepsilon (\bar{x} I - x)$$

$$\varepsilon = (e \cdot \bar{x}) (\bar{x} I - x)^{-1} \quad (3.2)$$

内包環境負荷原単位  $\varepsilon$  は、(3.2) 式によって推計することができる。

このような内包環境負荷原単位の推計法は、CO<sub>2</sub>のみならずどの環境負荷にも適用することができる。ただしそのためには、各産業の生産 1 単位あたりに直接的に発生する環境負荷  $e$  のデータを得ることが必要である。

産業連関表を用いて内包環境負荷原単位を求める場合、1 つ注意すべきことがある。それは、原単位が「単位金額（生産高）あたり」になっていることである。これは、産業連関表から推計が金額単位になっているために生じる。単一交通施設では投入資材・機械の量が物量単位で表されるため、金額単位の原単位をそのまま用いることできない。この問題に対処するための取り組みとして、土木学会地球環境委員会環境負荷評価(LCA)小委員会が、物量単位で取扱いが可能な原単位の標準化を行ってきており、その考え方および推奨される原単位の値を酒井<sup>10)</sup>がまとめているので、本研究でもこの値によることとする。

## 2) 「ライフ・サイクル環境負荷」の評価指標の定義

次に、以上の要件をみたす評価指標を定義する。

まず、各時間断面における「交通にかかわる地球環境負荷」発生量を定義する。

t 期の環境負荷：

$$E(t) = E_s(t) + E_u(t) \quad (3.3)$$

ここで、 $E_s(t)$ ：t 期における交通施設供給によって生じる内包環境負荷

$E_u(t)$ ：t 期における交通活動によって生じる環境負荷

この段階では、要件の1)および3)がみたされている。しかし2)はまだみたされていない。交通施設整備は長期的に影響を及ぼすので、環境負荷も各期の値だけで評価することはできない。そこでさらに、以下の式に示す「累積環境負荷」および「ライフ・サイクル環境負荷」を定義する。

0 期から t 期までの累積環境負荷：

$$\Sigma E(t) = \sum_{t=0}^t E(t') \quad (3.4)$$

ライフ・サイクル環境負荷：

$$E = \sum_{t=0}^T E(t) = \Sigma E(T) \quad (3.5)$$

ここで、T：プロジェクト・ライフ（ライフ・サイクルの期数）

この「ライフ・サイクル環境負荷」の多寡によって、プロジェクトの地球環境への影響の大きさを論じることができる。

### 3.3.4 ライフ・サイクル環境負荷の評価指標の応用概念

－費用便益分析との対比を念頭において－

前節まで説明してきた、交通施設整備（投資）政策による地球環境負荷評価の基本概念は、LCAの考え方を基本とし、さらに交通施設供給と交通活動を一体的にとらえるものである。これは実は、社会経済評価の代表的手法である費用便益分析の枠組とほとんど相似である。

例えば、ライフ・サイクル環境負荷の3要件として挙げた、①交通施設供給および交通活動の両面からの負荷評価、②ライフ・サイクル全体での負荷の累積評価、③内包環境負荷の評価は、「負荷」という語を「費用・便益」と置き換えれば、費用便益分析と全く同様の要件である。つまり、これらの要件は、施設整備の効果をその波及範囲全体を含めてライフ・サイクル的に評価するためには至極必要なものである。

費用便益分析においては、費用として主に施設の建設・運営費を、便益として主に時間短縮効果や周辺地域への経済波及効果を考え、便益が費用を上回ればプロジェクトを採用してもよいとする。LCAにおいては、評価対象が環境負荷であるため、費用便益分析の枠組の中で費

用を計測していることになる。政策実施によって環境負荷が削減されれば、その削減分が相対的な便益に相当する。

ライフ・サイクル環境負荷は、費用便益分析では総費用に相当する。さまざまな交通施設整備（投資）政策についてこの値を推計し比較することにより、政策の地球環境影響を分析することができる。

#### <累積環境負荷チャート (Cumulative Environmental Chart) >

累積環境負荷を用いて、図3.3に示すような「累積環境負荷チャート」を描くことができる。これは、横軸に期を、縦軸に累積環境負荷をとったもので、この曲(直)線の傾きが各期の環境負荷に、最終期(T期)の値がライフ・サイクル環境負荷にあたる。

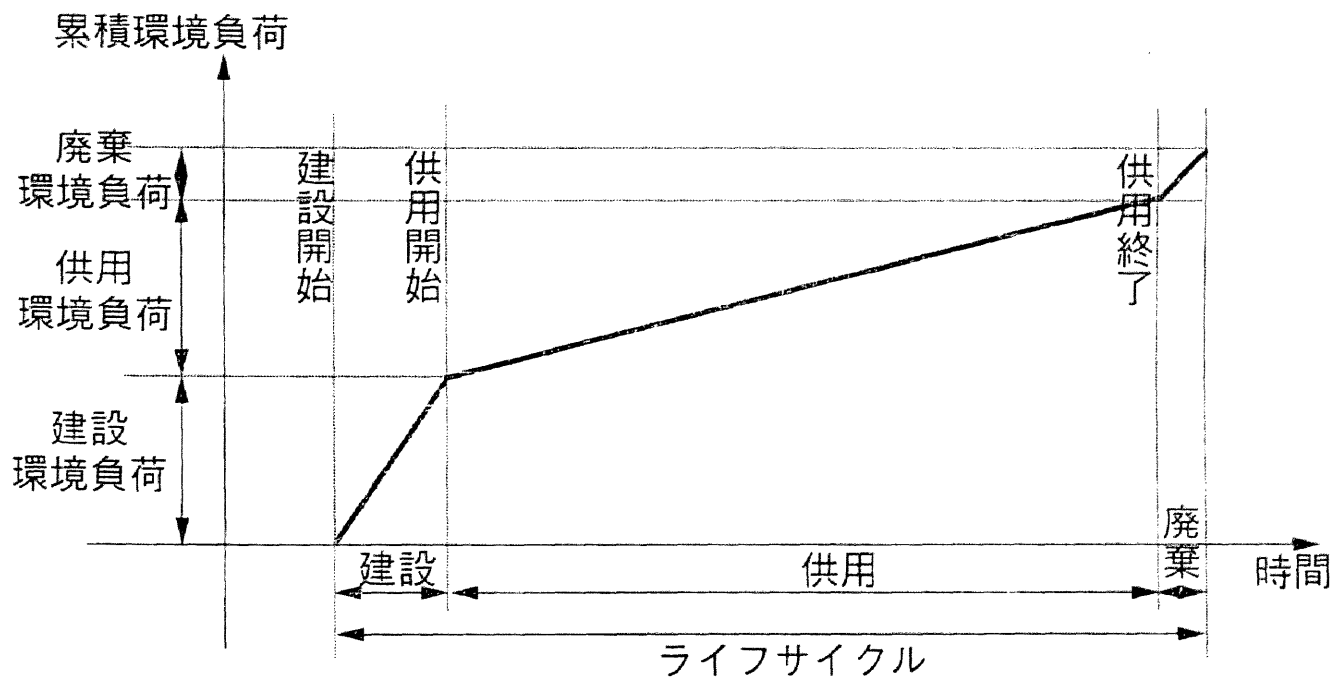


図3.3 累積環境負荷チャート

「ライフ・サイクル環境負荷」および「累積環境負荷チャート」を用いて、ある対象部分において(1)交通施設の追加整備プロジェクトを行った場合 (With) と(2)行わない場合 (Without) との比較を行うこともできる。ここでは、Withの場合には建設時に交通施設供給の環境負荷が増加（費用の発生）し、供用後は車両走行状況の変化によって交通活動の環境負荷が変化す

る（相対的な便益＜または負の便益＞の発生）ものとする。また、単純化のため、供用後の環境負荷変化は毎年同じ量生じるものとする。

このとき、 $t$  期における、Withの場合の環境負荷を  $E^1(t)$ 、Withoutの場合の環境負荷を  $E^2(t)$  とし、また0期から  $t$  期までの累積環境負荷を  $\Sigma E^1(t)$ 、 $\Sigma E^2(t)$  と書くと、図3. 4のような累積環境負荷チャートを描くことができる。また、Withの場合のライフ・サイクル環境負荷を  $E^1$ 、Withoutの場合を  $E^2$  とする。

このとき、費用便益分析のアナロジーから、以下のような評価指標が考えられる。

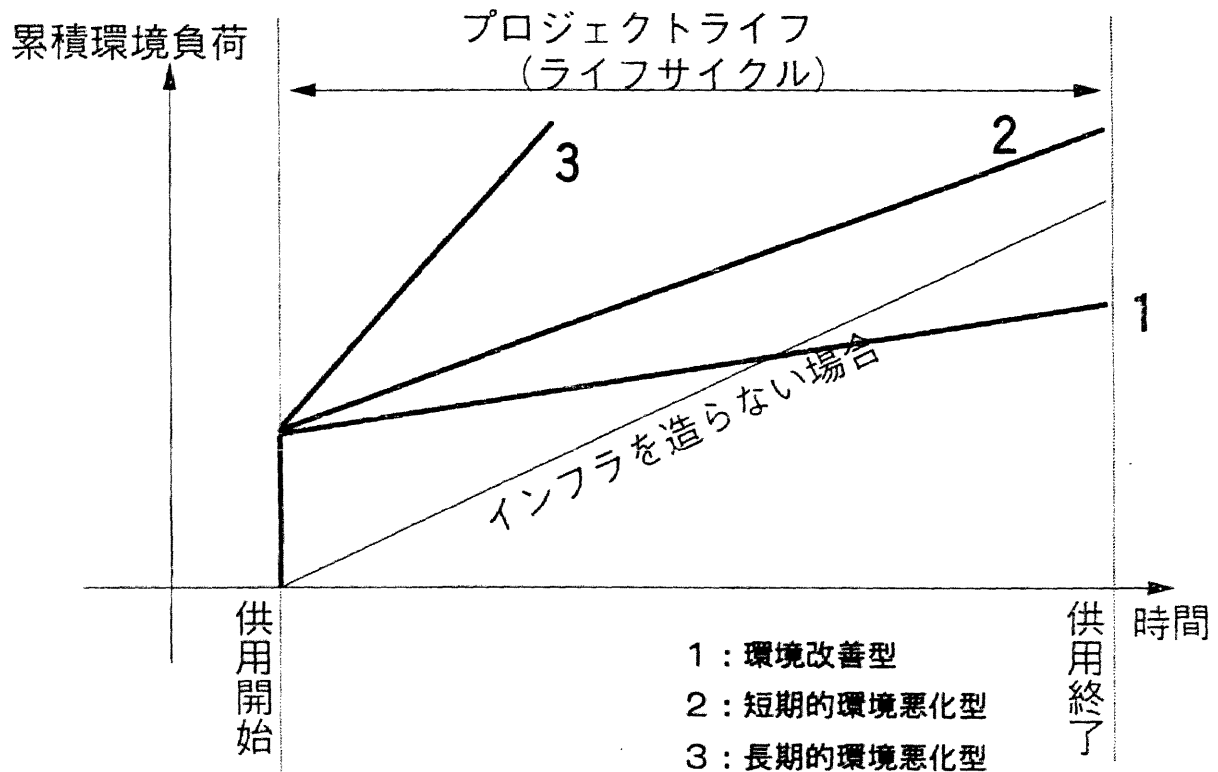


図3. 4 交通施設整備代替案の比較のための累積環境負荷チャート

＜プロジェクトの環境フィージビリティ (Environmental Feasibility of a Project)＞

推計された  $E^1$ 、 $E^2$  の値、および図3. 4 に示す累積環境負荷チャートから、プロジェクトは次の3種類に分類される。

- a)  $E^1 < E^2$  : Environmentally Feasible  
「環境改善型」：プロジェクト・ライフを通して①交通活動の削減効果が②交通施設供給の負荷を上回る場合
- b)  $E^1 > E^2$  : Environmentally Unfeasible  
「短期的環境悪化型」：①の削減効果は存在するが、

②の負荷を補うまでにはいかない場合

(この場合、プロジェクト・ライフが無限年であれば  
「環境改善型」になる。)

「長期的環境悪化型」：②での削減効果がなく、むしろ環境負荷が増加して  
しまう場合

これは、費用便益分析におけるプロジェクトの実行可能性 (Feasibility) に相当する。

この基準の使用法としては、交通施設整備に対する制約条件としての使用が考えられる。地球環境問題が非常にクリティカルであるという考え方に立てば、Environmentally Feasibleなもののみが実施可能となる。しかし、交通施設は地球環境負荷低減を第一義として整備されるものではないと考えると、Environmentally Unfeasibleであるとしても即座にそのプロジェクトの実施が否定されるとは限らない。むしろ、プロジェクト実施によって環境負荷が多少増加しても、それをはるかに上回る割合で便益が発生したり、局地環境の改善がある場合には、そのプロジェクトを実施すべきであるという判断もありうる。これは、他の評価手法による評価との重みづけをどうするかという価値観の問題に帰着するものである。

この対処法として、次の2種類が考えられる。

a) 地球環境負荷をエコ・ポイントや貨幣価値に換算する。

この方法については3.5節で論じる。

b) 環境負荷サービサビリティ (ELS: Environmental Load Serviceability) を用いる。

費用便益分析で推計されたプロジェクト・ライフ全体での純便益 (純現在価値) を、プロジェクト・ライフ全体での環境負荷で除した値は、環境負荷を1単位発生することにより得られる便益に相当する。これが「環境負荷サービサビリティ」である。環境負荷としてCO<sub>2</sub>を取り上げ、CO<sub>2</sub>の量を炭素換算値で表す場合、この値は「カーボン・サービサビリティ (Carbon Serviceability)」と呼ばれる<sup>11)</sup>。

この値は、2.2節6)で定義した「生産あたり環境負荷効率」の逆数であり、生産技術の環境パフォーマンスを計測するのに有用な指標である。ただし、環境負荷総量自体を評価するものではないため、活動量自体が変化することの影響を評価することはできない。

さらに、LCAと費用便益分析との相似性を踏まえると、費用便益分析において評価指標として用いられている「純現在価値」「費用便益比」「内部収益率」といった指標を、本研究で提案する地球環境負荷評価においても以下のようにほぼそのまま適用することができる。

<純環境負荷 (NEL: Net Environmental Load) >

費用便益分析における純現在価値 (NPV: Net Present Value) に相当する。

$$NEL = E^1 - E^2 \quad (3.6)$$

NEL < 0 : Environmentally Feasible

NEL > 0 : Environmentally Unfeasible

### <環境負荷比 (ELR: Environmental Load Ratio) >

費用便益分析における費用便益比 (CBR: Cost Benefit Ratio) に相当する。

$$ELR = E^1 / E^2 \quad (3.7)$$

$ELR < 1$  : Environmentally Feasible

$ELR > 1$  : Environmentally Unfeasible

### <環境収益率 (ERR: Environmental Rate of Return) >

費用便益分析における内部収益率 (IRR: Internal Rate of Return) に相当する。この値は、次式をみたすような  $i$  の値である。

$$\sum_{t=0}^T \{ (E^2(t) - E^1(t)) / (1+i)^t \} = 0 \quad (3.8)$$

環境収益率は、プロジェクトの実施によって現在の環境負荷は増加するが将来の環境負荷が削減できる場合 (Environmentally Feasible)、プロジェクトを環境への「先行投資」と見なし、毎期にどれだけの割合で「投資」の見返りである環境負荷削減が行われるかを見ることができる指標である。逆にプロジェクトによってライフ・サイクル環境負荷が増加してしまう場合 (Environmentally Unfeasible)、環境収益率は将来世代への「ツケ」を表すことになる。

### <平均環境負荷発生速度 (Average Environmental Load Generation Speed) >

ライフ・サイクル環境負荷  $E$  をライフ・サイクルの期間  $T$  で除した値である。これを用いると、耐用年数の異なる代替案間の比較が可能になり、耐用年数の決定を地球環境負荷の観点から決定することができる。ただし本研究においては、そのような代替案比較の事例は取り扱っていない。

以上に挙げた諸指標は、本研究で対象とする、交通施設整備に伴う地球環境負荷変化の評価にはもちろんのこと、製造（建設）段階と使用（供用）段階の両方に影響を及ぼすような環境負荷改善策の評価に広く適用可能である。例えば太陽電池は、その製造にあたってエネルギーを投入することにより環境負荷を発生するが、使用時には発電によって環境負荷を削減することができる。自動車や家電製品などで積極的に開発が進められている省エネルギー技術も、すべて本研究と同様の方法で評価することができる。

## 3.4 ライフ・サイクル環境負荷概念の都市交通システム評価への拡張

### ーアーバン・ダイナミズムを考慮した評価手法ー

ここまでは、交通施設整備の対象規模として「単一交通施設」を念頭に置いてきた。本節ではさらに、「都市（地域）全体の交通システム」に対象を広げ、その地球環境負荷を評価する



手法として構築する「持続可能な都市交通整備のためのライフ・サイクル・アセスメント（E L A S T I C : Environmental Life-cycle Assessment for Sustainable Transport Improvement of a City）モデル」の基本的考え方とその定式化を示す。ここで「都市交通システム」は、都市内の交通施設およびその上で行われる交通活動全体を指すものである。

### 3. 4. 1 都市交通システムにおける「ライフ・サイクル」の再定義

都市交通システムの地球環境負荷評価を行うにあたっては、前節で単一交通施設に対して実施したスコーピング（システム境界設定）のうち、特に時間的対象範囲の設定、すなわち「ライフ・サイクル」の設定をやり直す必要がある。というのは、一般にこの言葉の使用法が、単一交通施設と都市交通システムとで異なるためである。

そこで、都市交通システムの地球環境負荷を分析するにあたって必要な、「ライフ・サイクル」の定義、およびその中で本研究が分析対象とする時間的範囲やその前提条件の設定を行う。

既に3. 3. 2項で、「ライフ・サイクル」という用語が、a)ある事象の生成、成長、成熟、衰退（、再生）のプロセスを示す場合と、b)「もの」の原料採取、材料製造、製品製造、流通、使用、廃棄、リサイクル、処理処分のプロセスを示す場合の、2通りの異なった意味で用いられることについて述べた。また単一交通施設のLCAにおいてはb)の定義を用いることや、その場合ライフ・サイクルの期間（ライフ・タイム）とプロジェクト・ライフがほぼ同じ意味になることについても説明した。

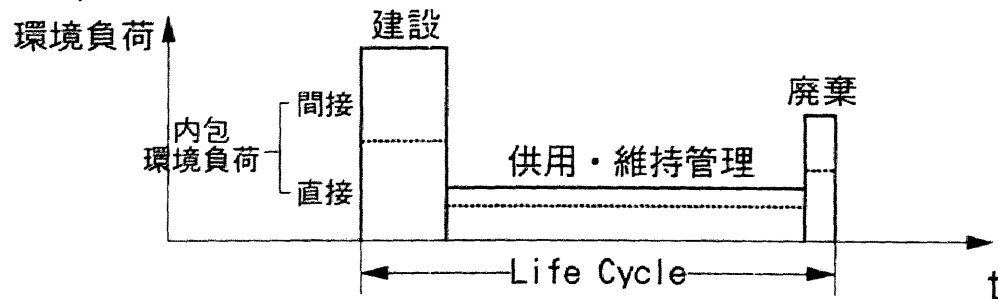
結論から言えば、本研究においては、都市交通システムの「ライフ・サイクル」もb)の定義によるものとする。すなわち、図3. 5に示すように、単一交通施設の建設から廃棄までのライフ・サイクルを、各時間断面で都市内全施設について総和をとることによって構成され则认为する。このような「ライフ・サイクル」のとらえ方は、鶴巻・植松・根津<sup>12)</sup>によっても提案されているものである。

各単一施設のライフ・サイクルの間にはそれぞれズレがあるため、都市交通システムの「ライフ・サイクル」の各段階、すなわち、計画・設計・施工、供用、廃棄のプロセスは、単一施設のように段階的にではなく同時並行的に現れていることになる。

都市分析の分野では本研究と異なり、「ライフ・サイクル」をa)の定義において用いることが一般的である。すなわち、都市が誕生し、成長し、成熟し、そして衰退していくという過程をとらえた言葉として用いるのである。この定義に依拠して、都市のライフ・サイクル過程が生じる原因を分析した例として、山田<sup>6)</sup>は、都市で生産される製品が持つライフ・サイクルが、それを生産する企業や産業のライフ・サイクルを規定し、さらに商業・産業の集積に反映し、都市のライフ・サイクルを規定するという考え方を展開している。それとともに、Klassenの都市発展段階論（都市の発展が、都市化<Urbanization>、郊外化<Suburbanization>、逆都市化<Deurbanization>、再都市化<Reurbanization>の4段階に区分されるという理論）との関係について論じている。

都市交通システムにおいて、a)の「ライフ・サイクル」とb)の「ライフ・サイクル」との関係については、都市の生成・成長期には、それを構成する単一交通施設の多くは計画・設計・施工期にあり、成熟期には単一交通施設は供用期にあり、衰退期には廃棄されるインフラが多

### ◎単一交通施設



### ◎都市内の全交通システム

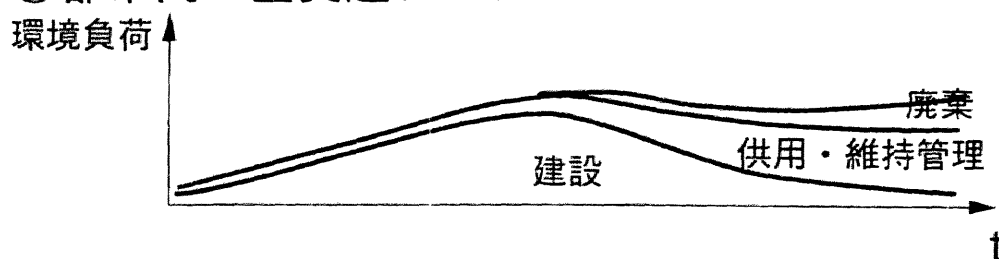


図3.5 単一交通施設と都市交通システムのライフ・サイクルの関係

くなる、という関係が存在すると考えられる。

a)の考え方をとった場合には、ライフ・サイクルの期間（ライフ・タイム）を数十年から半永久的に考えることが必要になってくる。その間には、交通活動やそれを支える技術も大きく変容していくと考えられ、その考慮も重要である。しかし本研究は、そのような超長期的な分析を行うことを意図しているわけではないし、その必要もない。あくまでも、戦後日本の都市で生じたような都市成長やそれに伴う交通活動の変容に対して、交通施設整備をどのように進めていけば地球環境負荷を抑制することができるかについて分析評価する手法を開発することが、本研究の目的とするところだからある。

#### 3.4.2 アーバン・ダイナミズムと都市交通システム

次に、交通施設整備（投資）による地球環境への影響を評価するために本研究で開発しようとしている「ELASTICモデル」において、都市交通システムのライフ・サイクルのうちのどのような時間的範囲に着目するかについて定義する。そこで重要になってくるのが、交通システムに対する需要を規定する要因の時間的変化の把握である。

都市交通を規定する前提条件として、その都市の成長パターン、具体的には、人口や所得水準といった社会経済フレームがどのように変化し、その結果交通需要や交通施設供給可能量が

どのように変化していくかを知る必要がある。これは前項のa)の定義のライフ・サイクルを表す指標でもある。このような都市状況の経年変化やその内部関係のことを、本研究では「アーバン・ダイナミズム<Urban Dynamism>」と呼ぶ。

交通施設整備は、都市の経済活動の一部を充当することによって行われるものである。一方、施設整備を進めることによって、その都市の魅力や利便性は向上し、人口や所得水準の増加が見込まれる。このように、交通施設整備はあるタイム・ラグを経てアーバン・ダイナミズムに影響を与える存在でもある。

このような、アーバン・ダイナミズムと交通施設整備、交通状況、そして交通活動の環境負荷との関係を実証的に解明した研究として、Y. Hayashi, et al.<sup>13)</sup>のものがある。そこでまとめられた関係のメカニズムを参考に、図3. 6のような因果フローチャートにまとめることができる。この図で、アーバン・ダイナミズムの原動力となっているのが都市の経済成長であり、それによって生じる都市広域化とモータリゼーション進展である。経済レベルは、低水準期から離陸して急激に成長し、成熟期に至るという性質を持っており、そのため都市広域化やモータリゼーションも経済の急成長期に進行する。したがって、その時期に交通施設整備も対応して進めなければならない。もし不適切な施設整備が行われる場合には、成長に悪影響を与え、成熟レベルを低水準に抑える可能性があるとともに、交通施設が長い耐用期間を持つがゆえに、成熟期になってもその影響が継続してしまう。さらに、成長期における交通施設整備政策は、その後の都市構造を規定する一要因でもあり、都市構造の形成が不可逆的性質を持っていることを考えると、超長期的に影響が続くとも考えられる。

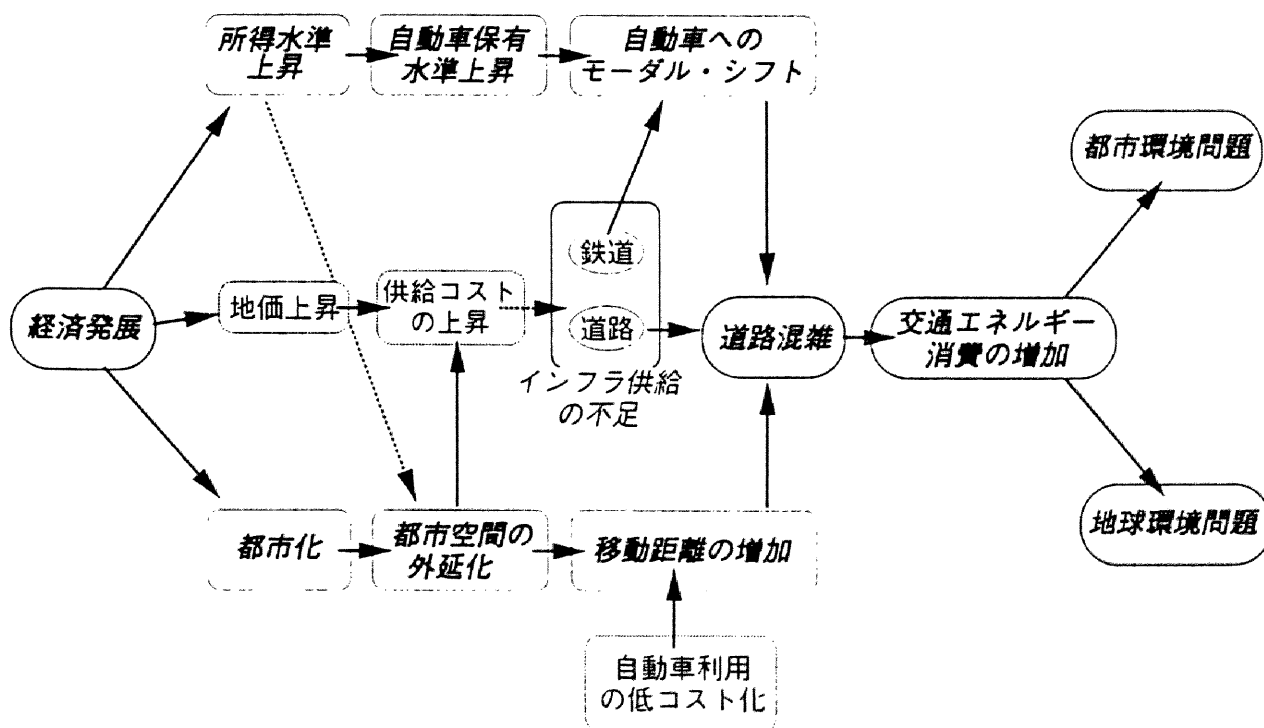


図3. 6 アーバン・ダイナミズムと交通活動、環境負荷との関係

そこで、「E L A S T I Cモデル」の構築にあたっては、都市の成長期に特に着目し、その長さや速度、それによる交通活動の変容を詳しく説明する。実際の都市を対象とした実証的な分析は5章において詳細に行う。それによつてはじめて、具体的に着目する時間的範囲を定義することができる。

### 3. 4. 3 都市の「擬人」化

「E L A S T I Cモデル」とは、都市交通システムを長期間にわたつて評価しようとするものであり、要するに都市を人間と同じようにとらえる方法であるにとらえることができる。

成長（都市発展）が進行していく間に、内部のさまざまな活動が盛んとなり、血流（交通活動）も活発となる。それをサポートするためには、たくさんの食事（インフラ整備）が必要である。ところが偏食（望ましくないインフラ整備）を続けていると、成人後に高血圧（渋滞）が生じ、一方で動脈硬化（交通のボトルネック）が進行する。そしてついには生活習慣病＜成人病＞（環境悪化）に陥ってしまう・  
・・・

この文章の（ ）内が、都市への比喩である。このように考えると、都市の経年的変化と人間の一生とを全く同様にとらえることができる。生活習慣病を予防し、健康な老後を送るためには、食事や生活リズムといった生活習慣が重要であることは常識である。これと同じことが都市にもあてはまるかどうか、もし若いうちに不摂生をしていると将来どのような体になってしまうのかを調べる方法が「E L A S T I Cモデル」なのである。

すなわちこのモデルでは、都市発展の過程でどのような交通施設整備（投資）を実施していくと、将来的に、都市交通の態様がどのように変化し、それによつて交通システムから発生する地球環境負荷がどのように変化していくかを定量的に評価する。それによつて、都市にとって必要な「食事習慣」、すなわちモデルの政策変数（外生変数）としての毎年の各交通機関への投資水準を探ることができる。

都市が人間にあたるとすれば、都市交通システムを構成する単一交通施設は細胞である。社会経済フレームは年齢や身長・体重などにあたり、交通需要や交通施設供給可能量は、血圧や代謝量にあたるものである。

### 3. 4. 4 都市交通システムへの投資政策の既往の評価手法

#### 1) 都市交通システムのとらえ方

「都市交通システム」を定量的に分析するためのとらえ方は、以下の2種類が考えられる。

- a) マクロ分析：対象地域のインフラを1つのシステムとしてとらえる
- b) ミクロ分析：インフラを1つ1つ取り上げ、地域内で合計する

#### a) マクロ分析

都市を1つの「点」としてとらえる方法である。この方法では、都市のさまざまな属性変数

間の関係を定式化することにより、マクロ的なモデル化が可能である。このアプローチは、都市全体での交通施設整備（投資）量を政策変数とする場合には有利である。ただし、交通活動の規定要因として重要である立地関係を捨象することや、都市全体を平均的にとらえることによる問題点は避けられない。

#### b) ミクロ分析 — ネットワーク分析

交通施設整備による効果影響波及の空間的分布を評価するためにとられる方法である。ネットワークを構成する各リンクが単一交通施設に相当し、その挙動を都市全体で合計することによって把握することができる。しかしこの方法には以下の問題点がある。

##### 1) 各リンクのインフラについて異なったライフ・サイクルを分析することの困難さ：

交通施設供給の面においては、本来ならば各インフラの環境負荷を積み上げるのが筋道であるが、例えば道路建設のみを考えても、さまざまな規格のものが混在しており、無数のインフラについてそれぞれ詳細なデータを得たり推計したりすることは不可能である。

##### 1) ネットワーク評価では主要幹線道路のみが対象となり、都市全体を把握できないこと：

そもそも、都市内の交通活動に伴う地球環境負荷を計測するためには、都市内全域でどれだけ車や鉄道が走っているかを知る必要がある。交通量に関する研究はネットワーク分析の分野で発展してきているが、これは主要リンクの交通容量を決定することが主目的であり、そのピーク時交通量や1日交通量を予測することに重点を置いて手法が開発されている。よってこの成果を都市内交通活動の総体にそのまま用いるのは一般に不適切である。

#### 2) マクロ分析の採用

a), b) それぞれの手法には一長一短があるが、本研究では長期間の地球環境負荷変化の把握を優先する一方、立地関係の影響については捨象することとし、a) マクロ分析を用いる。都市レベルを考えた場合には、活動・立地が高密度であり、また領域も狭いため、立地による影響の違いが少なく、マクロ分析の弊害は小さいものと考えられる。

地球環境影響以外に着目した、マクロ分析による交通施設整備（投資）政策の効果計測は、国の社会資本整備に関する中長期計画の立案に際して多数行われている。その場合、交通システムを単一交通施設と同様に見なし、交通施設投資による長期的効果を積み上げ的评价を試みが多い。例えば、道路整備五箇年計画<sup>14)</sup>の効果推計はこれにあたる。

一方、これとは別の学問的流れとして、交通施設を始めとした「資本（Capital）」の蓄積をマクロ経済の枠組でとらえ、短期的波及効果（事業効果）や長期的経済成長（施設効果）のメカニズムを説明しようという理論が構築されている<sup>15)</sup>。ここでは、それらの理論を概括し、その特徴と課題について述べる。

#### 3) フローとストック

ある対象地域内で、交通施設の量を定量的・マクロ的に表すと、次のようになる。

Phase I <建設期間>：社会資本の増加量＝社会資本への投資

「フロー（flow）」：一定期間の活動の結果として得られる量

＜例：貯蓄、消費、投資、産出量など＞

Phase II <供用期間>：社会資本の蓄積量

「ストック（stock）」：一定の時点で測定可能な次元を持つ量

＜例：貯蓄残高、資本財存在量、公債発行残高など＞

単一交通施設ではPhase IとIIが時間的に分割できるのに対し、都市交通システムでは両方が時間的に並行して生じる。

フローとストックの間には一般に、

$$d(\text{総ストック量})/dt = (\text{その時点でストック形成に投入するフロー量})$$

の関係が成立する<sup>16)</sup>。

単一交通施設では一般に、ストックの効果（施設効果）に着目し、フローの効果（事業効果）についてはあまり検討されない。それに対して都市交通システムでは、景気対策効果としての事業効果が注目されることが多い。

#### 4) フローの効果（公共投資が及ぼす効果）<sup>17)</sup>

この効果は、地球環境負荷の観点では、交通施設建設によるものに相当し、経済的には公共投資の景気浮揚効果にあたる。

景気浮揚効果は次のメカニズムで生じる。公共投資が追加的に1単位行われると、そのために必要な財の生産が1単位増加し、その生産者の所得となる。所得は消費（consumption）または投資（investment）に回る。消費が所得に占める割合を限界消費性向（marginal propensity to consume:  $c$ ,  $0 < c < 1$ ）という。新たな消費分を満たすために再び財の生産が増加し、その生産者の所得になる。これが無限に繰り返され、最終的にGNPは  $1/(1-c)$  単位（1より大きい値になる）増加する。この値が乗数（multiplier）と呼ばれるもので、一般に公共投資はその投資額の乗数倍の経済効果をもたらすことになる（ケインズ政策：ただし最近では、波及効果の大きさや存在を疑問視する学説も出てきている）。

また、産業連関分析を用いると、例えば建設業における生産の増加が各業種にそれぞれの程度の波及効果を及ぼすかが分析できる。このことは、交通施設供給において内包の環境負荷を評価することと対応している。

#### 5) ストックの効果（社会資本蓄積によって発生する効果）

— 動学的マクロ経済モデル<sup>16)</sup> —

この効果は、地球環境負荷の観点では、交通施設の維持・管理、および交通活動によるものに相当し、経済的には施設が供用されることによって生じる各種の費用・便益にあたる。

マクロ経済学において、消費は「現在」のために使用されるものであり、投資は「将来」のために使用されるものであると位置づけられる。したがって、消費と投資との配分（すなわち限界消費性向）は、投資の蓄積としての資本の値を規定し、現在のみならず将来にわたっての経済成長の経路を決定する要素である。このような考え方にに基づき、経済成長の時間的経路を内生的に決定するための方法として、ストックとフローとの関係を定式化し、マクロ経済モデルを動学化（時間経過を考慮）する必要がある。それを取り入れたモデルは、民間設備投資

の分析手法として、既に数多く研究が行われている。その代表例は、新古典派経済成長理論と称されるものである。最も単純には、以下の式群で表される。

$$I(t) = h_1[f(t)] \quad (3.9a)$$

$$dS(t)/dt = I(t) \quad (3.9b)$$

$$f(t) = h_2[S(t), p(t)] \quad (3.9c)$$

ここで、 $t$ ：期、 $S$ ：資本ストック量、 $I$ ：ストック投資額、

$f$ ：フロー量（最終需要〈GDP〉）、 $p$ ：人口（労働ストック量）

(3.9a) 式の  $h_1(*)$  は、フロー経済の生産活動からストック形成に振り向ける財の量を規定する関数である。民間資本蓄積を考慮した動学モデル構築においては  $h_1(*)$  を単に正比例の関数と仮定することが多いが、社会資本の場合、より詳細な分析を行うには、実際の財政システムにのっとった定式化が必要である。その際、この部分は更に①フローからの財源調達手法（租税や公債）、②財源の各使途への振り分け（財政支出）の2つに分けられる。

(3.9b) 式はストックとフローの関係式であるが、この定式化には、ストック量をその形成に投入したフローの合計で評価するという仮定がある。実際にはストックの減耗を考慮に入れる必要がある。

また、(3.9c) 式の  $h_2(*)$  は、ストック蓄積がフロー経済に及ぼす効果を表す関数で、マクロ経済学における生産関数の一種である。既往の研究では、「コブ・ダグラス型」の生産関数が仮定されることが多い。生産関数を導入することによって、 $f$  が内生的に決定され、動学モデルとなる。マクロ生産関数の説明変数は一般に、生産の3要素である、労働ストック〈人口〉、資本ストック、および土地である。このうち土地は、一般には説明変数として用いられない。また人口は外生的に与える必要がある（生産関数にコブ・ダグラス型を仮定すると、全変数を1人あたりの量とし、人口を式から取り除くことができる）。

この式体系を用いて、社会資本（公共財）の最適供給問題に適用することができる。一般の動学的マクロ経済分析では、各時期の公共投資（すなわち税率および公共投資割合）を政策変数とし、目的関数である各年のGDP（すなわち  $f$ ）を最大化するように問題設定がなされる。この方法で日本の戦後道路整備政策を実証的に評価した事例として、Y.Hayashi, et al.<sup>18)</sup>の研究がある。

しかしY.Hayashi, et al.<sup>18)</sup>も指摘しているように、このモデルをストック蓄積効果の実証分析に使用することは非常に困難である。それは、(3.9c) 式のマクロ生産関数  $h_2(*)$  の統計的推定における問題に起因している。マクロ生産関数の推定には一般に時系列データを用いるが、説明変数間に重共線性が生じやすく、ストックを表す指標をどのようにとるかという問題がある（このことは5.3節で詳しく論じる）。したがって、統計的に有意でかつ政策分析の自由度が高い（説明変数が有用な）生産関数を得ることは難しい。

### 3.4.5 ELASTICモデルの定式化

—動学的マクロ経済モデルの地球環境負荷評価への拡張—

都市内での交通にかかわる地球環境負荷発生量を求めるには、(3.3) 式でも示したよう

に、交通施設供給における a)施設の建設(c)、b)施設の維持管理(m)、および交通活動における c)施設の利用(u)、の3つの側面からの推計が必要となる。なお、交通施設の廃棄については、都市交通システムの場合には維持管理の一部に含まれるものと見なすことができる。各種交通施設整備政策の実施によって、各側面の間でのトレード・オフが生じることがあるため、これらa)～c)の総計の地球環境負荷で評価すべきである。

このうち、a)建設による負荷は、1)公共投資が及ぼす効果(フロー効果)に対応する。一方、b)維持管理による負荷と、c)交通活動による負荷は、2)交通施設の蓄積によって発生する効果(ストック効果)に対応する。

都市交通システムのライフ・サイクル環境負荷 E は、(3.3)～(3.5)式の定義から以下の式で表される。

$$E = \sum_{t=0}^T E(t) \quad (3.5) \text{ <再掲>}$$

ここで、t : 期、 T : 評価対象期間<5.7節で論じる>

$$E(t) = \sum_m \{ E_c^k(t) + E_m^k(t) + E_u^k(t) \} \quad (3.10)$$

ここで、k : 交通機関の種類

$E_c(t)$  : t 期における交通施設建設によって生じる内包環境負荷

$E_m(t)$  : t 期における交通施設維持管理によって生じる内包環境負荷

$E_u(t)$  : t 期における交通活動によって生じる環境負荷

各期の交通にかかわる地球環境負荷発生量  $E(t)$  は、2.2節で示した環境負荷の構成式

$$E_n(t) = e_n(t) \cdot A_n(t) \cdot p(t) \quad (2.1a)'$$

ここで、n : 活動の種類、 e : 単位活動量あたり環境負荷発生量

A : 1人あたり活動量、 p : 人口

で規定される。さらに、各活動(交通施設供給および交通活動)の量は、前項の動学的マクロ経済モデル(3.9a)～(3.9c)式を基本的枠組として決定することができる。なおここで、交通機関 k をそれぞれに分けて考える。

$$I^k(t) = i^k(t) \cdot f(t) \quad (3.11a)$$

$$dS^k(t)/dt = I^k(t) \quad (3.11b)$$

$$f(t) = f[S^k(t), p(t)] \quad (3.11c)$$

$$D^k(t) = D^k[GDP(t), p(t), S^k(t)] \quad (3.11d)$$

$$E_c^k(t) = \varepsilon_c^k(t) \cdot I^k(t) \quad (3.11e)$$

$$E_m^k(t) = \varepsilon_m^k(t) \cdot S^k(t) \quad (3.11f)$$

$$e_u^k(t) = e_u^k[D^k(t), S^k(t)] \quad (3.11g)$$

$$E_u^k(t) = e_u^k(t) \cdot D^k(t) \quad (3.11h)$$



ここで、 $I$  : 交通施設投資額、 $i$  : 投資比率 (GDP比)、

$S$  : 交通施設供給 (ストック) 量、 $D$  : 交通需要、 $f$  : GDP

$\varepsilon_c$  : 交通施設の建設における内包環境負荷発生原単位 (投資額あたり)

$\varepsilon_m$  : 交通施設の維持管理における内包環境負荷発生原単位  
(ストック量あたり)

$e_u$  : 交通活動の環境負荷発生原単位 (単位需要あたり)

この式の変数のうち、 $I$ 、 $S$ 、および  $D$  が、環境負荷発生の原因となる活動量  $A$  に相当し、(3. 11 e)、(3. 11 f)、(3. 11 h) 式が、環境負荷発生量を規定する式にあたる。

(3. 11 a) 式は、フロー経済  $f$  から交通施設投資への配分政策を表すもので、投資比率  $i$  が政策変数になる。(3. 11 b) 式で各期の交通施設存在量が決定される。(3. 11 c) 式は、ストック蓄積がフロー経済に及ぼす効果を表す生産関数である。(ただし、6章の実証分析では、(3. 11 c) 式については前に述べたようにその推定が困難であるため組み込んでいない。)

(3. 11 d) 式は交通活動の需要関数に相当する。3個の説明変数のうち所得水準  $f$  および人口  $p$  は、都市発展 (アーバン・ダイナミズム) の項である。ここは交通活動量の増加およびモータリゼーションによって変化していくものである。このメカニズムの具体的な説明は5章において行う。また、もう1つの説明変数である交通施設供給量  $S^m$  は、施設投資政策  $i^m$  によって決定される。したがって、この需要関数によって規定される交通活動量  $D$  は、交通施設供給量を与件として、交通サービス水準によって需要が決定される「(交通)利用者均衡」をみたす量である。なおこの関数には、先に述べた需要誘発効果が組み込まれる。すなわち、 $\partial D / \partial S > 0$  となっている必要がある。

(3. 11 e) ~ (3. 11 h) 式では、交通にかかわる地球環境負荷を推計する部分である。(3. 11 e)・(3. 11 f) 式は交通施設供給の環境負荷を表す。いずれも内包の環境負荷発生原単位を用いることによって、波及効果を含めた把握ができることになり、乗数効果の推計と対応するものとなっている。内包環境負荷原単位は、3. 3. 3項で述べたような産業連関表を用いた推計手法を用いればよい。この考え方は、谷口・伊藤・有浦<sup>19)</sup>でも示されており、簡単な環境負荷発生量分析が行われている。この方法によって推計された内包環境負荷原単位は都市内の平均的な値であり、交通施設の詳細な特性を分析することはできないが、都市全体の環境負荷発生量を把握するためには有効な方法であり、内包環境負荷原単位が各交通機関や工種別に与えられれば、交通施設供給の量や内訳の違いを分析することもでき、都市内の環境負荷発生のマクロ的な把握には適している。

(3. 11 h) 式は交通活動によって生じる環境負荷であり、交通需要と環境負荷発生原単位の積である。原単位は (3. 11 g) 式で規定され、この中には混雑緩和効果が含まれる。すなわち、 $\partial e_u / \partial S > 0$  となっている必要がある。

以上の式体系が、環境性能改善政策の評価手法としての「ELASTICモデル」である。外生変数は政策変数としての交通施設投資比率  $i$ 、および人口  $p$ 、環境負荷発生原単位のみ

であり、経済成長レベル  $f$  は内生的に決定される。また評価指標としては、(3.5)式のライフ・サイクル環境負荷のほか、3.3.4項で定義した各種評価指標をそのまま用いることができる。ただし、都市においてライフ・サイクルの期間を定義することは困難であるため、実際的には累積環境負荷チャートを用いるのがよいと考えられる。

なお、以上の定式化における暗黙の仮定として、都市が外部に対して「閉じた」存在であるとしていることに注意する必要がある。実際には、交通施設供給の費用の一部が他の地域からの移転で賄われることがあり（日本の大都市ではそれと逆の傾向になっている）、交通活動も都市の領域を越えて行われており、この仮定が成立しているとは言えない。仮定の妥当性については、5章において検証する。

### 3.5 交通施設整備に伴う地球環境負荷評価と既存の評価手法との関係

ここまででは、交通施設整備に伴う地球環境負荷の変化を評価する手法を、1)単一交通施設、2)都市交通システムに分けて開発してきた。この手法を交通施設整備に適用していくためには、運営者の採算性や社会全体の純便益、周辺住民の環境変化といった、既往の評価指標とどのように組み合わせて用いるのかのについて考える必要がある。本節はこのことを明らかにするものである。

#### 3.5.1 地球環境負荷評価指標の単位

本研究では、環境問題として地球環境問題（地球温暖化）を取り上げており、また交通にかかわる温室効果物質発生の大部分がCO<sub>2</sub>であることから、地球環境負荷発生量の単位にもCO<sub>2</sub>排出量を用いることを暗黙の了解としてきた。しかし、環境負荷の定量的指標には、このような物量単位での把握以外にも方法がある。そこで、地球環境負荷に関する定量的指標の種類と、その中で本研究でCO<sub>2</sub>排出量をそのまま用いることの理由を述べる。

地球環境負荷の定量的指標の単位は、a)物量、b)温室効果当量、c)貨幣価値、の3種類に分けられる。それぞれについて以下に説明する。なお、<>内は、対応するLCAの段階（2.4.1項参照）を表す。

##### a) 物量での評価<Inventory>

環境負荷物質の発生量そのものを指標として用いるものである。「気候変動枠組条約」の目標も物量指標を扱っているといえる。

##### b) 温室効果当量による評価<Classification, Characterization>

温室効果気体にはCO<sub>2</sub>のほかにもCH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、CFC'sなどがあり、各物質は同じ体積でも温室効果に対する寄与の大きさが異なる。したがってこれら各物質をまとめて扱う場合には、単純に体積合計をとるのではなく、温室効果に対する寄与で重みづけをする必要がある。そこで、温室効果物質量をCO<sub>2</sub>を基準にした量に換算して扱う場合があり、このときの重みづけの係数（CO<sub>2</sub>

を1とした値)をGWP(Global Warming Potential)と呼ぶ)。GWP(体積ベース)はCH<sub>4</sub>で11、N<sub>2</sub>Oで270、CFC'sで1200~7100という値をとる<sup>20)</sup>。

ちなみに、LCAでは温室効果以外の環境負荷を合わせて評価することも想定される<sup>21)</sup>。その場合には、各種環境負荷に重みをつけることにより「環境へのやさしさ」点数化する手法が複数提案されており<sup>22)</sup>、それぞれ“Eco-point”、“Environmental Load Point (ELP)”などの名前が付けられている。主にヨーロッパ諸国で使用されており、店頭製品に点数を表示する試みも行われている<sup>23)</sup>。一般に、ある人間活動は複数の環境負荷を発生し、各種の環境負荷は互いに複合して環境にインパクトをもたらす、その間にトレード・オフの関係が生じる場合も多いため、このような「環境へのやさしさ」を1軸で表す指標は分かりやすいが、その重み付けの方法に分析者の価値観が反映されるため、客観的な環境評価指標として利用可能な段階には至っていない。

### c) 貨幣価値での評価<Valuation>

環境負荷・インパクトを貨幣価値に換算して評価を行うものである。この試みは、地球環境問題を経済学の枠組で考え、政策提示を行うことを狙って、さまざまに行われている<sup>24)</sup>。この分野の既往研究については、森杉<sup>25)</sup>、森杉・大野<sup>26)</sup>がレビューを行っている。環境悪化の貨幣価値での評価法にはさまざまなものがあるが(例えば盛岡・藤田<sup>27)</sup>に詳しい)、地球環境負荷に関しては、予測被害金額を積み上げて評価する「直接支出法」が用いられるのが一般的である。主にアメリカ合衆国で研究が進んでおり、代表的な研究例としてNordhaus<sup>28)</sup>、Cline<sup>29)</sup>、Fankhauser<sup>30)</sup>などがある。これらの研究は地球温暖化に関して「経済成長→環境負荷発生→環境インパクト→被害→経済影響」という全プロセスを考慮するもので、“Integrated Assessment (IA)”と呼ばれる。分析の結果として、アメリカ合衆国では地球温暖化による被害はGNPの1~2%程度であると予測している。

「直接支出法」によって地球環境負荷を貨幣価値に換算することは、2.2節で提示した環境問題の基本式に貨幣価値換算式(3.12)を加えた以下の式

$$E = e \cdot A \cdot P \quad (2.1a) \text{ <再掲>}$$

$$Q = f(E, \dots) \quad (2.1b) \text{ <再掲>}$$

$$M = g(Q) \quad (3.12)$$

ここで、E:環境負荷発生量、Q:環境インパクト、M:インパクトの社会的費用  
e:単位活動量あたり環境負荷発生量、A:1人あたり活動量、P:人口

を、地球温暖化問題において特定化するものである。写像  $g$  は、環境インパクト  $Q$  が(人間の)経済活動にいかなる被害をもたらすかを表す部分である。

上の式で、地球環境負荷  $E$  と、地球環境問題の費用  $M$  との関係を特定化することができれば、地球環境負荷の平均費用(単位環境負荷あたり発生費用)  $M/E$  や限界費用  $\partial M / \partial E$  を推計することができ、環境負荷発生量を貨幣価値に換算することが可能となる。

### 3. 5. 2 地球環境負荷の貨幣価値評価の問題点

地球環境負荷を貨幣価値で評価できれば、地球環境への影響を負の便益の1項目にとらえ、費用便益分析に取り込むことによって、「地球環境を考慮に入れた」費用便益分析が可能になる。また、地球環境負荷削減施策を実施する際の削減量あたりコストを負荷の限界費用と比較することにより、削減施策の経済性も評価することができる。

しかしながら、地球環境負荷に対して現状でこのような手法を採用することには危険があることを以下に指摘する。

まず、貨幣価値での評価に関するいずれの研究においても、a)地球温暖化の被害は将来の長期間にわたって生じるものであり、割引率の設定をどうするかによって値が大きく変動するが、その設定が困難である、b)物理的被害は「直接支出法」である程度推計可能であるが、非市場型の被害（心理的影響など）の推計は方法論が確立されていない（写像 g の問題）、c)地球温暖化がどの程度の被害をもたらすかの予測（すなわち写像 f の特定化）自体が確定的でない、といった根本的な問題点を抱えたままの推計であり、そのため推計値もかなりの幅を持っている。

もう1つの問題として、影響波及の空間的範囲がある。本研究で問題としている単一交通施設や都市交通システムについては、その便益はほとんどがその周辺に帰着するものであり、地球全体に及ぶようなものではない。しかし地球環境負荷は、地球全体に影響が及び、特に沿岸域のような地球温暖化に対してゼイ弱な地域に集中すると考えられる。したがって、地球環境負荷を貨幣換算できたとしても、それを費用便益分析の項目の一部に取り込むのは不合理である。（局地環境負荷の場合にはこの考えはあてはまらない。）

さらに、実際的な問題として、先に挙げた既往研究によって推計された地球環境負荷の限界費用の中間値は、ガソリン1リットルによるCO<sub>2</sub>排出につき1～2円程度にしか相当しない。これは、日本でのガソリン価格の数十分の1の値に過ぎず、ガソリン消費に伴って得られる便益に比べると更に割合は小さくなる。このことは、「地球温暖化はもし起きても大したことはない。ゆえに温暖化対策はフィージブルではない。」という論拠ともなり得る結果であるが、それでも現状で温暖化対策の必要性が正当化されているのは、貨幣換算の手法に対する信頼性の問題とともに、温暖化による予期せざる被害に対する恐れや、生態系に与える影響の大きさ（これらのうち一部＜食糧や遺伝資源など＞は経済評価されるが、残りは評価されない）に対する懸念によるところも大きいと考えられる。

以上のことから、本研究において地球環境負荷の貨幣換算は行うものの参考程度にとどめ、基本的には地球環境負荷（CO<sub>2</sub>）発生量そのものを用いるものとする。また、環境負荷発生によるフロー経済へのフィードバックは考慮しないものとする。

### 3. 5. 3 地球環境影響を含めた統一評価の方向性

#### 1) ライフ・サイクル的評価手法とLCA

交通施設整備の評価にあたっては、従来、a)採算性評価（財務分析）、b)社会経済評価（費用便益分析が代表的）、c)環境影響評価（周辺環境）、の3種が併せて用いられてきた<sup>4)</sup>。これらの手法はいずれも、長い耐用期間（プロジェクト・ライフ）にわたる評価を行うものであ

る。したがって、「LCA」を言葉通りライフ・サイクルにわたる評価ととれば、採算性評価・社会経済評価・環境影響評価も実はライフ・サイクル的な評価手法である。しかし、日本においては一般にLCAという用語は環境インパクト（特に地球環境）の計測に限って用いられることが多い。そのため、本論文でもそれに倣っている。

## 2) 地球環境評価を取り込んだ「拡大LCA」の考え方

前項で、LCAによる評価を貨幣価値で行うことが現状では困難であると述べた。その場合、LCAの結果をそのまま費用便益分析に取り込むことができない。したがって、交通社会資本整備（投資）政策の評価にあたって、ライフ・サイクル的な評価手法である、a)採算性評価、b)費用便益評価、c)(局地)環境影響評価、そしてd)(地球環境)LCAの4種を併用することになる。

併用方法としては、a)、c)、d)を制約条件として用い、それによって採算性、局地環境、地球環境の面がクリアされたプロジェクトについて費用便益評価を行うことが現実的には望ましいものと考えられる。このような総合的な評価プロセスを「拡大LCA」と定義する。その枠組を図3.7に示す。

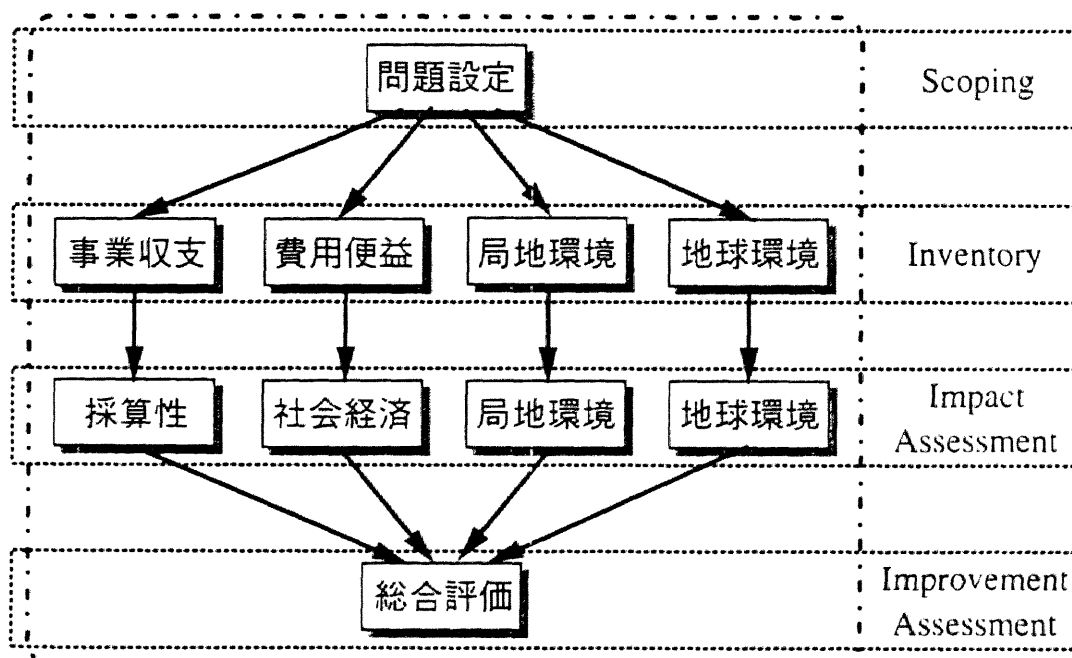


図3.7 拡大LCAの枠組

この際問題になるのは評価基準であるが、LCAに関しては3.3.4項で示した「ライフ・サイクル環境負荷」を基本とした評価基準が適用できる。例えば、第1条件として「環境改善型インフラ」、すなわち整備によってライフ・サイクルでの環境負荷発生量が増加しないこと、第2条件として、第1条件が満たされない場合には、局地環境の改善につながることや整備後の便益が大きい場合に限って認めるものとする、といった適用方法である。この評価にはカーボン・サービサビリティを用いることができる。またa)については最終年度での累積黒字が、c)については例えば環境基準を適用すればよい。

### 3.6 まとめ

本章では、交通社会資本整備（投資）政策の地球環境面からの評価手法を開発した。

まず評価にあたっては、影響が波及する範囲全体に着目する必要があるが、従来の評価手法はその一部を評価するにとどまっていることを指摘した。そしてそれを克服するために、交通施設の地球環境負荷評価手法として既往研究でも盛んに取り上げられているLCAについて、その基本概念および実施に係る問題点を整理し、交通施設整備の影響を適切に把握するための枠組として再編成した。

評価指標が交通施設整備の影響を波及効果を含めて把握できるものになっているために、それが具備すべき要件として、①交通施設供給および交通活動の両面からの負荷評価の必要性、②ライフ・サイクル全体での負荷の累積評価の必要性、③内包環境負荷の評価の必要性、の3つを示し、これらをみたす指標である「ライフ・サイクル環境負荷」を定義した。また、採算性評価のアナロジーから「累積環境負荷チャート」、費用便益分析のアナロジーから「環境収益率」などの評価指標を提示した。

さらに、単一交通施設での評価体系を都市全体の交通システムに適用するための拡張をはかった「ELASTICモデル」を構築した。これは、都市の時間的发展経過であるアーバン・ダイナミズムを表現するために、動学的マクロ経済モデルをベースとし、これに交通活動の需要関数と、交通にかかわる環境負荷の推計式を加えたものである。なお、都市交通システムにおいてはライフ・サイクルの期間が明確に決まらないため、その定義を行う必要がある。それについては5章の実証分析で論じる。また実証データを用いての「ELASTICモデル」の定式化および分析については6章で行う。

他方で、地球環境負荷の評価指標の単位について考察を加えた。特に貨幣価値での評価のメリット・デメリットを整理し、現状でその適用には限界があることを示した。その上で、地球環境面を考慮に入れたライフ・サイクル的な交通施設整備評価手法の新たな枠組を構築し、その中で地球環境負荷発生量を制約条件として使用することを提案した。

地球環境負荷評価に関する以上の視点に基づき、4章では単一交通施設に関して、5章および6章では都市交通システムに関して、具体的な評価分析を試みる。

## 参考文献

- 1) 盛岡通：土木建設システムにおけるLCAの考え方と事例、第4回地球環境シンポジウム講演集、pp.29-34、1996.7.
- 2) 中山裕文、金子慎治、藤倉良、井村秀文：アジア諸国の経済発展にともなう交通需要と環境負荷に関する研究、環境システム研究 Vol.24、pp.529-535、1996.10.
- 3) 井村秀文、森下兼年、池田秀昭、銭谷賢治、楠田哲也：下水道システムのライフサイクルアセスメントに関する研究：LCEを指標としたケーススタディ、環境システム研究 Vol.23、pp.142-149、1995.8.
- 4) 河上省吾 編著：土木計画学 - 土木教程選書、鹿島出版会、pp.178-179、1991.9.
- 5) 土木学会編：土木工学ハンドブック 第54編、プロジェクトの実施、技報堂出版、1989.
- 6) 山田浩之：交通と都市のライフサイクル、国際交通安全学会誌 Vol.13 No.1、pp.6-13、1987.4.
- 7) 森下研：LCA研究の現状と今後の課題、1993年環境科学シンポジウム講演要旨集、pp.176-177、1993.11.
- 8) 和田安彦、三浦浩之、中野加都子：日本のLCA研究の現状と課題、環境科学会誌 第8巻 第1号、pp.47-58、1995.8.
- 9) 金川琢、井村秀文：産業連関モデルによる都市のエネルギー消費勘定に関する研究、環境システム研究 Vol.21、pp.186-191、1993.8.
- 10) 酒井寛二：土木建設物の二酸化炭素排出量原単位の推定、土木学会第4回地球環境シンポジウム講演集、pp.43-48、1996.7.
- 11) 松尾稔、本城勇介、杉山郁夫：エネルギー使用量を考慮した社会基盤施設の新しい設計法、土木学会論文集 No.553/VI-33、pp.1-19、1996.12.
- 12) 鶴巻峰夫、植松幹夫、根津浩一郎：ライフサイクルエネルギー評価の都市開発への適用とその課題、環境システム研究 Vol.22、pp.158-164、1994.8.
- 13) Y.Hayashi, R.Suparat, et al.: Urbanization, Motorization and the Environment Nexus - An International Comparative Study of London, Tokyo and Bangkok-, Memoirs of the School of Engineering, Nagoya University, Vol.46, No.1, pp.55-98, 1994.
- 14) 建設省道路局・都市局：第11次道路整備五箇年計画、1993.
- 15) 熊谷尚夫、篠原三代平ほか：経済学大辞典 I、東洋経済新報社、1979.
- 16) 奥野信宏：公共経済 社会資本の理論と政策、東洋経済新報社、1988.
- 17) 中谷巖：入門マクロ経済学 第2版、日本評論社、1987.
- 18) Y.Hayashi, K.Kim, T.Okuda, H.Kato: A Study on the Balance between Economic Growth and Transportation Infrastructure Investment, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol.1 No.2, pp.759-772, 1995.
- 19) 谷口孚幸、伊藤武美、有浦幸隆：都市スケールにおける二酸化炭素排出量の推定方法、環境システム研究 Vol.22、pp.249-254、1994.8.

- 20) 国立環境研究所 地球環境研究センター: Data Book of Sea Level Rise, 1996.2.
- 21) 乙間末広、中條寛: LCAの概念構成、環境科学会1995年会講演要旨集、pp.146-147、1995.10.
- 22) 例えば; 戦略LCA研究フォーラム 訳: LCA 製品の環境ライフサイクルアセスメント、サイエンスフォーラム、1994.2.
- 23) 永田勝也、藤井美文: 技術のライフサイクルアセスメント手法、文部省科学研究費 重点領域研究「人間地球系」研究報告集 B009-E11 人間活動による環境インパクトの定量化手法、pp.39-58、1996.3.
- 24) J.Dixon and M.Hufschmidt (長谷川弘 訳): 環境の経済評価テクニック、築地書館、1993.
- 25) 森杉壽芳: 地球温暖化対策の経済評価の考え方、土木学会第1回地球環境シンポジウム講演集、pp.118-125、1993.7.
- 26) 森杉壽芳、大野栄治: 地球温暖化対策の経済評価に関する最近の研究、土木学会第3回地球環境シンポジウム講演集、pp.45-50、1995.7.
- 27) 盛岡通、藤田壮: 環境質及び環境サービスの経済価値とその市場への反映、日本不動産学会誌 第9巻 第4号、pp.10-19、1995.2.
- 28) W.Nordhaus: "To Slow or not to Slow: The Economics of the Greenhouse Effect", Economic Journal, Vol.101, No.407, pp.920-937, 1991.
- 29) W.Cline: The Economics of Global Warming, Washington D.C.: Institute for International Economics, 1992.
- 30) S.Fankhauser: The Economic Costs of Global Warming: Some Monetary Estimates, International Workshop on Costs, Impacts and Possible Benefits of CO<sub>2</sub> Mitigation, IIASA, Luxenburg, Australia, 1992.



## 4 章 単一交通施設の単一区間での地球環境負荷の評価

### 4. 1 概説

本章では、単一交通施設の単一区間に関して、その整備の違いによる地球環境負荷への影響を定量的に評価する「LCI (Life Cycle Inventory)」の手法を詳説する。また、この手法の適用例として、一般的な幹線道路を例にとり、その改良に際して各種道路構造代替案を設定した時の地球環境負荷を推計し、地球環境の面から望ましい代替案を選択する。

単一交通施設に関するLCI研究としては、岩渕・松本・井村<sup>1)</sup>が道路舗装を対象とした環境負荷推計を行っている例がある。この研究では、代替案として舗装材料の種類を設定しており、道路自体の機能はほぼ同じものどうしを比較している。本研究ではさらに踏み込んで、3章で提示した「ライフ・サイクル環境負荷」の考え方をを用いて、機能の異なる道路構造代替案の比較を行うものである。

また、推計した地球環境負荷の貨幣価値への換算を試み、その値を建設費や便益と比較することにより、地球環境負荷の社会的費用の大きさについて考察する。

### 4. 2 単一交通施設の地球環境負荷の推計手法

本章の道路構造代替案に関するケース・スタディでは、ライフ・サイクルにわたって発生する地球環境負荷のうち、

a) 交通施設供給：建設時に発生する内包CO<sub>2</sub>

b) 交通活動：供用後に施設を利用する車両から発生するCO<sub>2</sub>

を推計する。これ以外の部分から生じる地球環境負荷として、施設の維持管理・廃棄段階に関しては、データの問題から推計を行うことができなかった。ただし、その影響は上のa), b)に比べ小さいものと考えられる。この根拠として、2章の既往研究でも明らかになったように、建設段階でのCO<sub>2</sub>の大部分が材料製造に起因する一方で維持管理・廃棄段階では材料投入が少ないことや、盛岡<sup>2)</sup>の研究でトンネルに関して施工時の排出割合が大きいと述べられていることが挙げられる。

推計のフローチャートを図4. 1に示す。

推計されたa)交通施設供給（建設CO<sub>2</sub>）とb)交通活動（利用CO<sub>2</sub>）それぞれのCO<sub>2</sub>発生量を、各年度について足し合わせた値が、その区間におけるその年度の交通にかかわる地球環境負荷発生量になる。これを用いて、3章で定義したライフ・サイクル負荷などの評価指標を算出することができる。

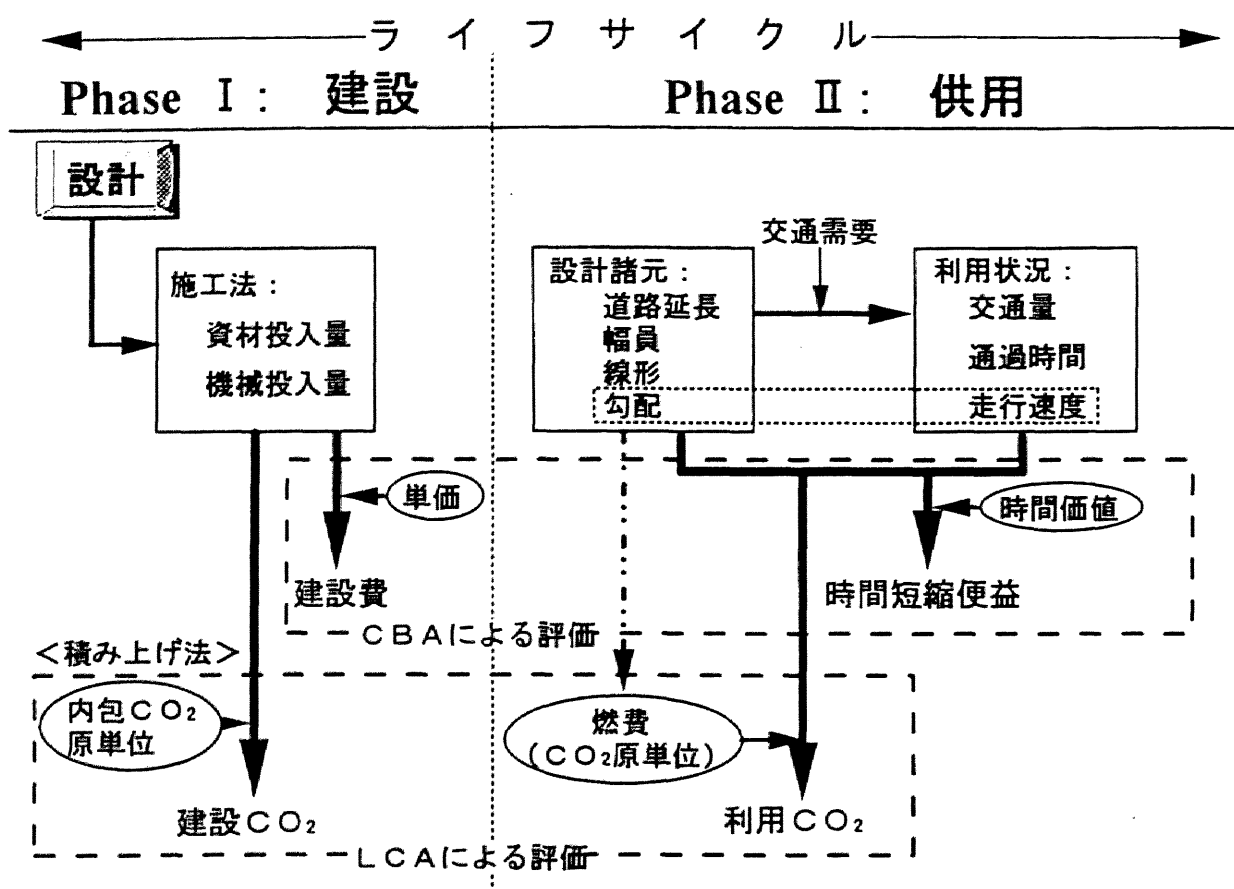


図4. 1 単一交通施設における地球環境負荷推計の手順

#### 4. 2. 1 交通施設供給に起因した地球環境負荷 -建設CO<sub>2</sub>-

土木構造物の建設におけるCO<sub>2</sub>発生量に関しては、利用可能なデータの関係から、構造物本体にかかわる工事を対象とし、工事用道路建設や立ち退きといった付帯的な工事については考慮しないこととした。手法としては、3. 3. 3項に示したように、使用されている各資材・機械についてその使用量を把握した後、産業連関分析を用いて推計された既存の内包LCI原単位を乗じて内包環境負荷を把握し、構造物全体について積み上げるという手法を用いる。これは積算手順とほぼ同様の手法であり、資材・機械の使用量による環境負荷の違いが推計可能であるとともに、資材の内包環境負荷が考慮できるという利点を有している。資材・機械のLCI原単位は既存研究<sup>3)・4)</sup>で算出された標準的な値を用いることとした。用いた値を表4. 1、および4. 2に示す。また、資材の使用量は資料が存在する場合にはそれによることとし、存在しない場合は簡易に設計を行って量を概算している。使用機械の運転時間についてはほとんどデータが存在しないため、道路工事の積算<sup>5)</sup>により算出している。その他、土木構造物のLCAを行った既往研究<sup>6)~17)</sup>、および設計法に関する文献<sup>18)~35)</sup>を参考に設計を行っている。

表4. 1 推計に用いた資材のLCI原単位<sup>3)</sup>

建設資材		エネルギー消費原単位 (kcal/kg)	炭素排出原単位 (kg-C/kg)
砂利、石材	砂利	4	0.00028
	採石	5	0.00032
繊維製品	綿	831 (kcal/m <sup>2</sup> )	0.054
	絹	1.565 (kcal/m <sup>2</sup> )	0.091
	毛織織	2.470 (kcal/m <sup>2</sup> )	0.169
	その他	1.519 (kcal/m <sup>2</sup> )	0.093
木材	製材	68.623 (kcal/m <sup>3</sup> )	0.0078    -0.5 (炭素固定量)
	合板	883.794 (kcal/m <sup>3</sup> )	0.1987   -0.496 (炭素固定量)
紙製品	板紙	2.546	0.184
	洋和紙	2.931	0.217
塗料		2.381	0.179
合成樹脂製品		3.067	0.176
ガラス	板ガラス	5.410	0.389    +0.0252
	繊維	7.970	0.554    +0.0252
	その他	10.594	0.743    +0.0252
セメント		908	0.081    +0.144
陶磁器	建設用	1.681	0.114
	耐火物	2.357	0.168
	その他	387	0.028
鉄（粗鋼）		5.657	0.515
銅		3.742	0.280
アルミニウム		10.528	0.616
その他	鉛	5.920	0.525
	亜鉛	7.588	0.502
	その他	25.645	1.672

表4. 2 推計に用いた機械のLCI原単位<sup>4)</sup>

使用機械名称	仕様・規格	機械製造 kg-C/h	消費燃料 kg-C/h	合計 kg-C/h
アスファルトフィニッシャー	2.4～5.0m	1.4	1.5	2.9
ウインチ	30kw	0.2	0.6	0.7
クローラドリル	油圧150kg級	4.7	27.4	32.1
コンプレッサー	10.5～11m <sup>3</sup> /min	0.3	11.8	12.1
タイヤローラ	8～20t級	1.8	5.3	7.1
タンバ	60～100kg	0.1	0.5	0.6
ダンプトラック	11t	0.9	9.6	10.5
ダンプトラック	15t	1.3	12.1	13.4
トラック	4～4.5t	0.5	5.5	6.0
トラック	11t	0.7	9.6	10.4
トラッククレーン	油圧15～16t	1.9	6.3	8.2
トラッククレーン	油圧20～22t	2.3	6.4	8.6
トラッククレーン	油圧25t	2.7	7.4	10.1
トラッククレーン	油圧40～45t	3.6	9.6	13.2
トラッククレーン	油圧80t	6.1	14.1	20.1
トラッククレーン	油圧200t	14.5	30.3	44.9
トラックミキサー	4.5m <sup>3</sup>	1.3	9.6	10.9
バイブレーター	フレキシブル45mm	0.1	3.0	3.1
バックホウ	0.35m <sup>3</sup> 級	1.6	7.4	9.0
バックホウ	0.6m <sup>3</sup> 級	2.4	12.6	15.0
バックホウ	1.2m <sup>3</sup> 級	4.8	25.2	29.9
ブルドーザー	15t級	2.1	14.1	16.2
ブルドーザー	21t級	3.2	21.5	24.6
ブルドーザー	32t級	4.0	28.9	32.9
ポンプ車	40～45m <sup>3</sup> 配管式	0.9	7.4	8.3
ポンプ車	60m <sup>3</sup> /h以上	1.2	8.1	9.4
モーターグレーダ	3.1m	1.4	6.9	8.2
ロードローラー	マダカム両輪駆動10～21t級	1.3	4.3	5.6
散水車	5500～6000L	0.7	4.0	4.7
種子吹付機	車載式4m <sup>3</sup>	0.6	5.3	5.9

#### 4.2.2 交通活動に起因した地球環境負荷 –利用CO<sub>2</sub>–

代替案によって走行速度や交通容量などの性能が違う場合には、車両走行（交通施設利用）からの環境負荷が変化する場合には、施設供用後の考慮も必要となる。

道路施設整備による変化は、直接には道路延長・交通量・走行状況の変化となって現れる。このうち交通量は、道路整備による利便性向上がもたらす誘発需要によって増加するため、予測値を用いる必要がある。一方、走行状況の変化は、通過時間や燃費に影響を及ぼす重要な要素である。これについては、本来的には走行モードを推定して通過時間変化を推計するとともに、各モードでの燃費を考慮して通過時の燃料消費量を推計する必要がある。しかし実際には各モードのシェアや燃費に関するデータを得ることが困難であるため、本研究では簡便法として、交通状況を表す指標として（停止や加・減速を含めた）平均走行速度を用い、燃費をその関数として表す方法をとる。平均走行速度は実測値や設計値に準じて設定する。平均走行速度と燃費との関係については、日本の道路整備五箇年計画で用いている値<sup>36)</sup>を適用する。また時間短縮便益の推計に用いる時間価値も、同じく日本の道路整備五箇年計画で用いている値を参考に50円/台分とする<sup>37)</sup>。

#### 4.2.3 評価の空間的範囲 –「単一区間」の定義–

交通施設整備の効果影響は、それが及ぶ範囲で評価しなければならない。その場合、「単一区間」の定義が重要である。その例を以下に示す。

##### a) ある区間の道路改良の場合

基本的には、道路改良区間のみに着目すればよい。すなわち、

- ・ 交通施設供給……道路改良工事

- その区間のその後の維持管理

- ・ 交通活動……その区間の道路交通

が対象になる。しかし、道路改良によって関連する他の区間で変化が生じる場合も多い。例えば、改良区間前後でも交通量が増加し、追加的な維持管理工事が必要になったり、渋滞が激しくなると交通活動の環境負荷が増加したりする場合である。この場合には、その関連区間も含めて評価することが必要になる。

##### b) バイパス新設の場合

バイパス区間に加え、バイパスに交通が転換する旧道区間についても併せて評価することが必要である。

#### 4.3 ケース・スタディ：道路構造の違いによる地球環境負荷の評価

以上の議論を踏まえた上で、本章では道路整備に関する3つの事例について代替案を設定し、各案のCO<sub>2</sub>発生量に関するLCIを実施する。ケース・スタディは以下の通りである。

(1) トンネルの経路選定の際の比較ルート

(2) 都市部の道路交差点改良事業：アンダー・パス／オーバー・パス

(3) 山間部の道路改良：旧道改良（拡幅）／新道建設（トンネル&橋梁）

(1) については、各ルートの建設CO<sub>2</sub>を推計する。このケースでは、交通量が少なく、供用時における自動車のCO<sub>2</sub>発生量の変化は建設によるCO<sub>2</sub>に比べて非常に小さいため、ここでは推計を行っていない。

一方(2)は、改良するか否かで性能が異なるが、改良案によって性能の違いはない。(3)は、各代替案で性能が異なる場合である。この2つについては、交通施設の建設CO<sub>2</sub>と利用CO<sub>2</sub>を代替案ごとに推計するとともに、通過時間短縮便益についても算出する。

#### 4. 3. 1 トンネルの比較ルートによる建設CO<sub>2</sub>の推計

長野県にある「矢筈（やはず）トンネル」は、長野県飯田市と静岡県三ヶ日町を結ぶ高規格幹線道路「三遠南信自動車道（一般国道474号線）」のルート上にあり、延長は約4 kmで、1994年に開通した。トンネル完成前の代替路の交通量は約700台/日であり、トンネルの2010年の計画交通量は3,000台/日とされている。このトンネルの計画立案にあたって、1987年に経路選定が行われた。その比較ルートを図4. 2に示す。選定にあたっては、地形要素、施工の容易さ、経済性などが考慮され、結局Aルートが選定された。総建設費は299億4千万円であった<sup>38)</sup>。

ここでは各ルート案のトンネル部について、建設によるCO<sub>2</sub>発生量を推計する。

各代替案の建設CO<sub>2</sub>の推計結果を図4. 3に示す。この図より、CO<sub>2</sub>の圧倒的部分が、資材製造時の燃料消費およびセメント製造時に発生していることが分かる。

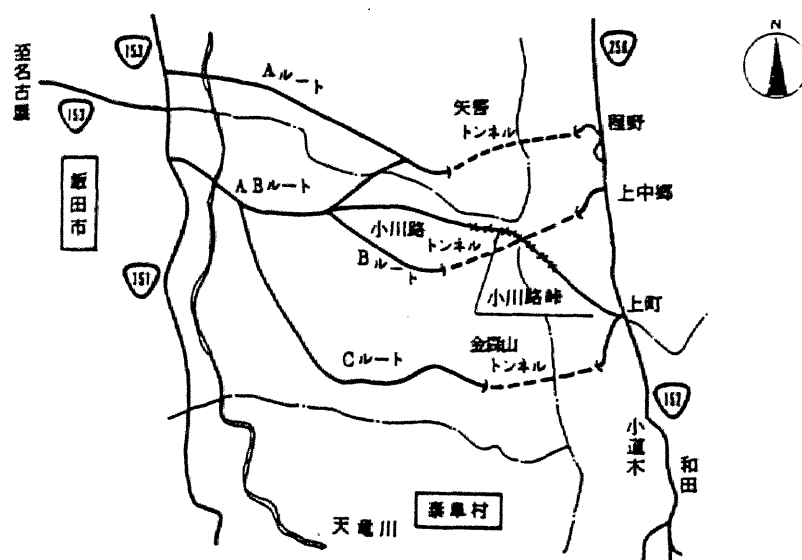


図4. 2 矢筈トンネルの比較ルート<sup>38)</sup>

また、実際に選定されたAルートは、建設CO<sub>2</sub>発生量が比較ルートのうちで最も小さかった。すなわち、建設CO<sub>2</sub>のみを考える場合には、建設費とある程度の相関が成り立っていると考えられる。この理由としては、建設CO<sub>2</sub>の大部分は資材（特に鉄とコンクリート）起源であり、資材の量が建設費と比例関係にあるためと推測される。逆に、建設CO<sub>2</sub>を大きく削減するためには、資材の使用量を削減するか、資材の環境負荷原単位を減らすことが必要であることが示唆される。

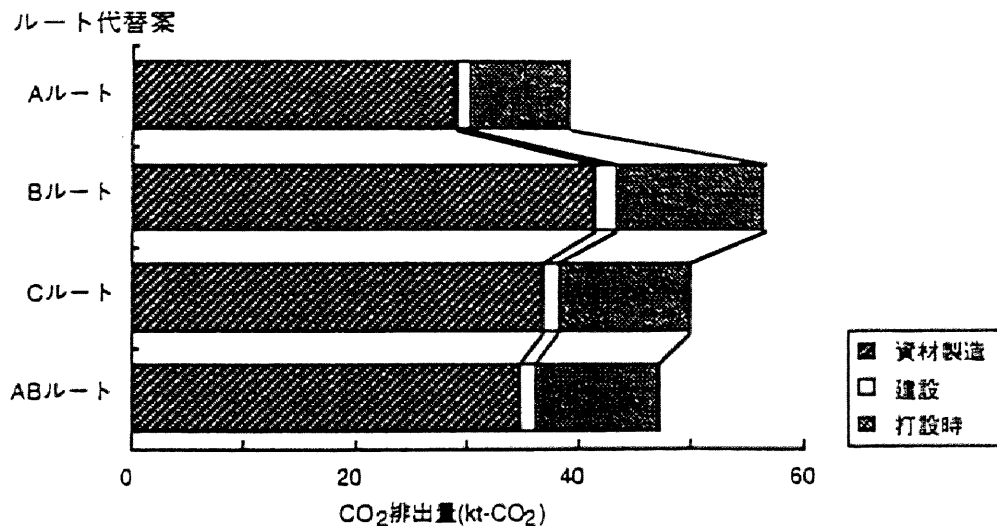


図4.3 各計画ルートのトンネル建設によるCO<sub>2</sub>発生量

4.3.2 都市部の道路交差点改良によるCO<sub>2</sub>の推計：アンダー・パス／オーバー・パス  
都市部の、交通量が多く渋滞が生じている平面交差点道路に対し、一方の交通を高架道路や掘割道路で立体交差化することにより円滑な交通を確保する対策が最近しばしば行われている。そこで、

- a) 一方の交通をアンダー・パス（掘割構造）とした場合
- b) 一方の交通をオーバー・パス（高架構造）とした場合
- c) そのまま何も変化させない場合

の各構造代替案についてCO<sub>2</sub>発生量の推計を行う。

本研究では、名古屋市内のある交差点の事例を参考に、図4.4に示す代替案を設定して比較を行うものとする。参考とした交差点ではオーバー・パスが選択され、現在実用に供されている。

なおCO<sub>2</sub>以外の評価基準については、建設費・維持管理・大気汚染の観点からはオーバー・パスがより優れている一方、景観や騒音の面では、一般的にアンダー・パスがよいとされている<sup>39)</sup>。

#### 1) 建設CO<sub>2</sub>

オーバー・パスとアンダー・パスそれぞれの建設CO<sub>2</sub>発生量の推計結果を図4.5に示す。

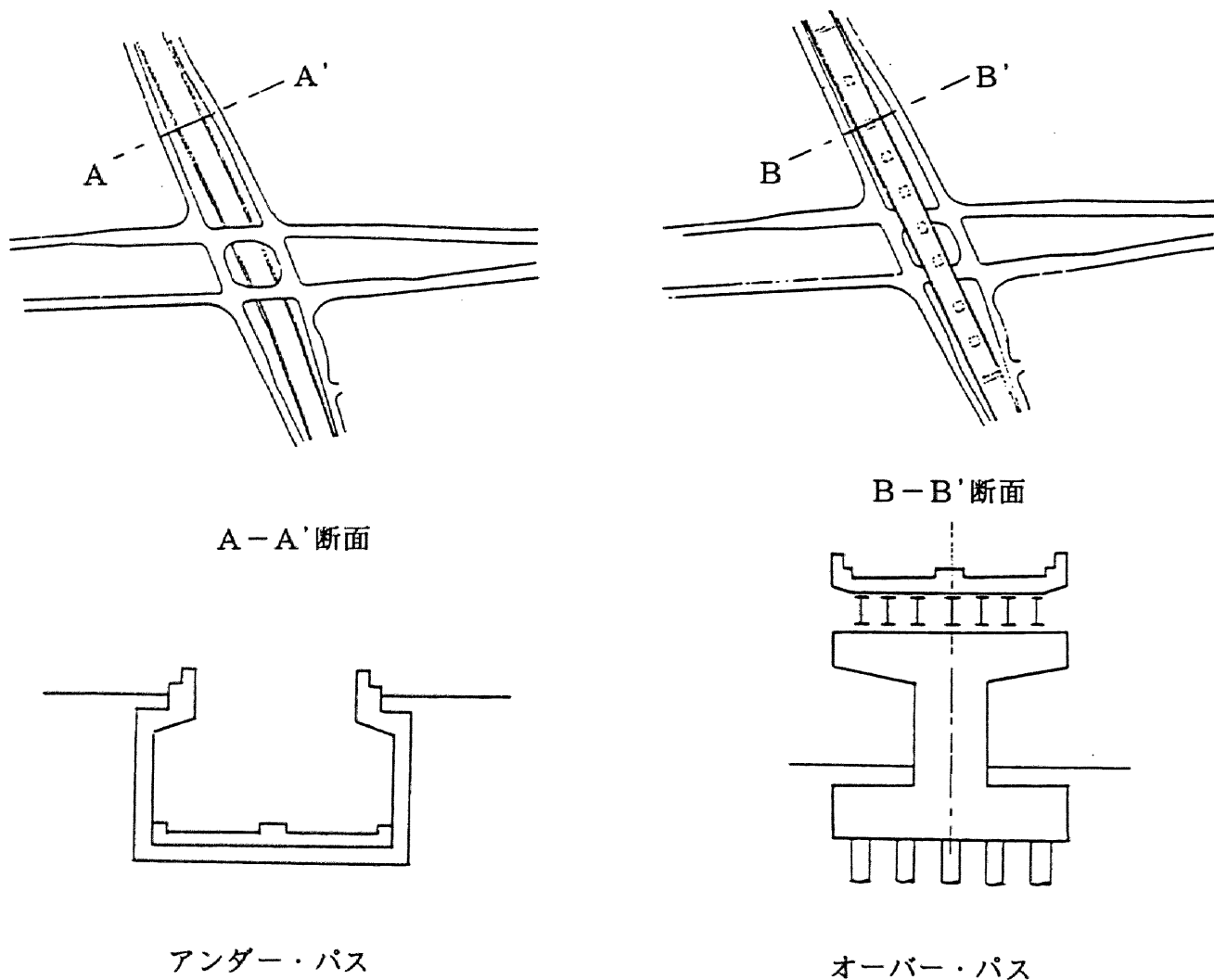


図4.4 立体交差道路の構造代替案

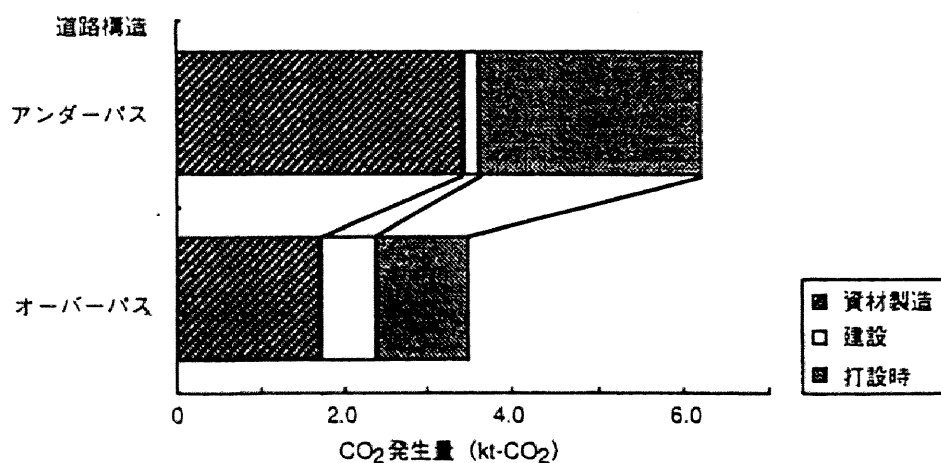


図4.5 交差点改良による建設時のCO<sub>2</sub>発生量



この代替案では、建設時にはアンダー・パスがオーバー・パスよりも約1.7倍のCO<sub>2</sub>を発生することが分かる。実際に選定されたのはオーバー・パスであり、CO<sub>2</sub>発生量の観点からはより望ましい選択であったと言える。

## 2) 利用CO<sub>2</sub>と時間短縮便益

平面交差点を立体交差に改良することにより、立体交差させた方向の交通は信号による停止や渋滞が解消され、円滑な交通が確保されることによって、走行車両の速度が向上し、時間短縮・燃費改善の2つの効果が得られる。この効果を推計するために、立体交差化による性能の変化を調べる必要がある。

対象道路は、実測値を基にして、改良道路延長280m、日交通量30,000台（両方向）、大型車混入率30%と仮定し、改良後もこの値が変化しないものとする（なおこの場所では実際にも交通量に大きな変化は見られていないが、変化が起こる場合にはこの設定を見直す必要があることに注意すべきである）。この道路を立体交差にした場合の走行状況の変化を推計した結果が表4.3である。

なおこの効果は、オーバー・パス/アンダー・パスという構造の違いによっては変化はない。なぜならば、オーバー・パスは上ってから下るのが、アンダー・パスでは下ってから上るので、そのクリアランスが等しければ、全く同等の性能であると言えるからである。

立体交差化により、走行速度は2.5倍に向上し、交差点通過時間が短縮される。通過車の総時間短縮便益を推計すると、1日あたり約76万円、1年では約2.8億円の便益が生じる。

また、走行速度向上によって、燃費は普通車では約1.7倍、大型車では約1.9倍向上する。これによって、通過車の燃料消費量は1日あたり約640ℓ節約でき、1年では約230kℓの削減ができる。これをCO<sub>2</sub>に換算すると約580t-CO<sub>2</sub>/年となる。

表4.3 立体交差化による走行状況の変化

	平面交差	立体交差
平均走行速度	20km/h	50km/h
通過時間	0.84分	0.34分
燃費 普通車	9.4km/ℓ	15.9km/ℓ
大型車	3.2km/ℓ	6.2km/ℓ
燃料消費量	1,410ℓ/日	776ℓ/日

## 3) 建設－利用のCO<sub>2</sub>発生量分析

立体交差道路が建設されることにより、建設時には環境負荷が発生するが、供用後は利用車両の走行改善による燃費向上によって、年ごとに環境負荷が削減される。そこで、建設された

年を0年とし、建設－利用にわたる累積CO<sub>2</sub>発生量を時系列的に示した「累積環境負荷チャート」が図4. 6である。

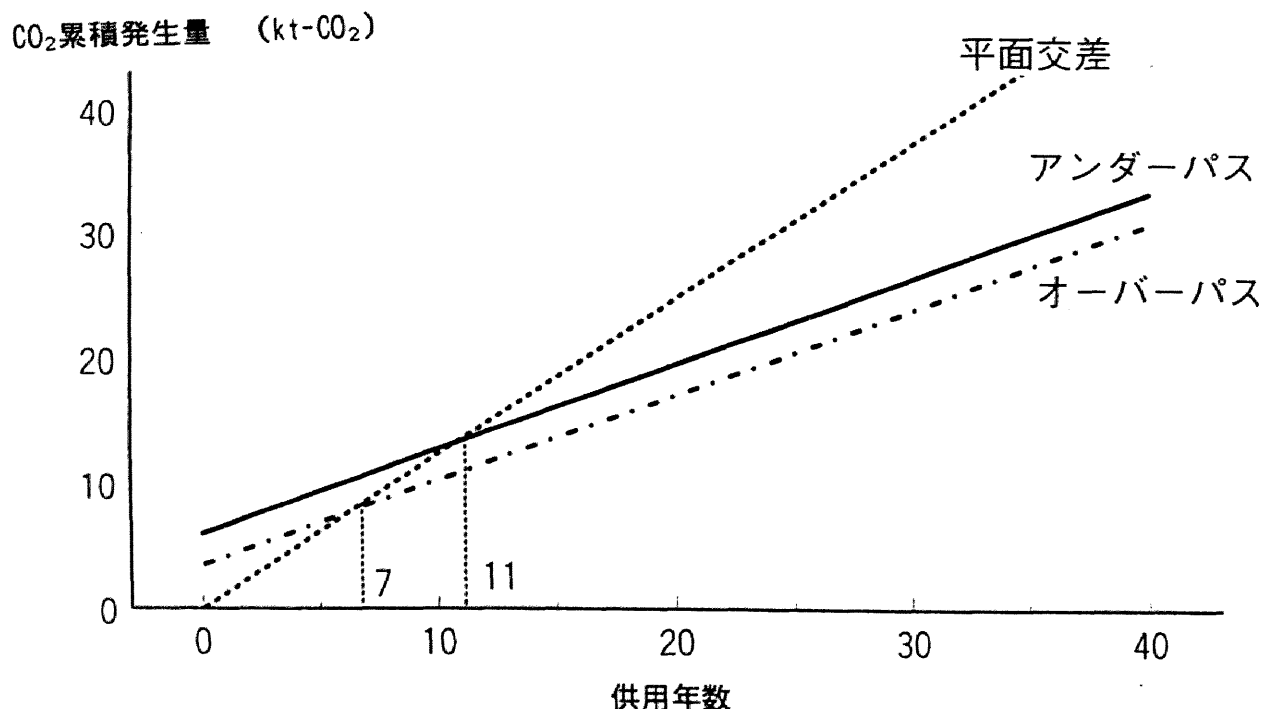


図4. 6 建設－利用の累積CO<sub>2</sub>発生量

この図の縦軸の切片は建設CO<sub>2</sub>を、傾きは利用CO<sub>2</sub>を表す。いずれの線も直線になっているのは、交通状況が経年的に変化しないものと仮定していることによる。

図4. 6より、立体交差化によって、オーバー・パスであれば7年、アンダー・パスであれば11年で平面交差の累積CO<sub>2</sub>発生量を下回ることになる。すなわちこのケースでは、立体交差改良により、建設段階では多量のCO<sub>2</sub>を発生するものの、供用後は誘発交通が生じなかったこともあり、円滑な交通が確保されると同時に、利用車両の燃費が向上し、結果的に耐用期間（30ないし40年間）内での累積CO<sub>2</sub>発生量が削減できることが分かる。すなわち「環境改善型インフラ」であると判断することができる。

また、ライフ・サイクルの年数を40年と仮定し、環境収益率を計算すると、オーバー・パスは約11%、アンダー・パスは約9%となった。

このように、交通量が多くボトルネックになっている部分の改良は、結果としてかなりの地球環境負荷削減につながることを示唆される。

#### 4. 3. 3 山間部の道路改良によるCO<sub>2</sub>の推計

山間部の谷あいにある道路は、線形が悪いため交通容量や走行速度が低く、また走行距離も

長くなり、自動車走行に支障をもたらす。そこで、道路を改良する手段として、a)従来の道路を拡幅する場合と、b)新たにトンネルと橋梁により線形改良した新道を建設する場合、が考えられる。本研究では、図4.7のような中部地方のある一般国道を例にとり、a)旧道改良とb)新道建設の場合との比較評価を行う。旧道では大型車のすれ違いが困難な1車線道路であったものが、改良により2車線道路になるものとする。旧道改良は拡幅による切土と土留め擁壁設置を伴う。また新道建設では、2本のトンネルと2つの橋梁を新設する必要がある。ちなみに、この一般国道では新道が36億7千万円で建設され、現在供用されている。建設された各トンネル、橋梁の概要を表4.4に示す。

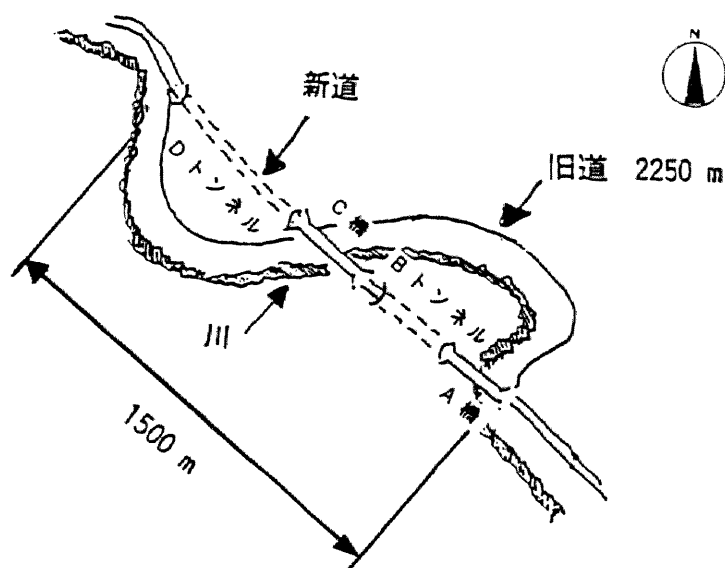


図4.7 山間部の道路の改良工事における代替案

表4.4 新道の各構造物の諸元

名称	A橋	Bトンネル	C橋	Dトンネル
延長	207.10m	285.50m	174.45m	650.00m
全幅	10.5 m	9.75m	10.5 m	9.75m
車道幅員	6.5 m	6.5 m	6.5 m	6.5 m
構造形式	(上部) PC箱桁 3径間有絞 Tラーメン (下部) 直接基礎		(上部) PC箱桁 3径間連続 (下部) ケーソン基礎	
工法	ディビダーク工法	上半掘削先進工法 開削工法	(上部)押出し工法 (下部) ニューマチック ケーソン工法	上半掘削先進工法
総事業費	7.7億円	5.9億円	8.3億円	13.9億円

なお、CO<sub>2</sub>以外の評価基準については、建設費の面では旧道拡張が新道建設より優れている一方で、建設後の波及効果は新道建設の方が大きい（後述）。局地環境面では、旧道拡張では地形改変や森林伐採、景観変化を、新道建設ではトンネル掘削による地下水脈の改変といった変化をもたらす。

### 1) 建設CO<sub>2</sub>

旧道改良工事と新道建設におけるCO<sub>2</sub>発生量の推計結果を図4. 8に示す。これより、新道建設は旧道改良に比べ建設時に約1.4倍のCO<sub>2</sub>を発生することが分かる。

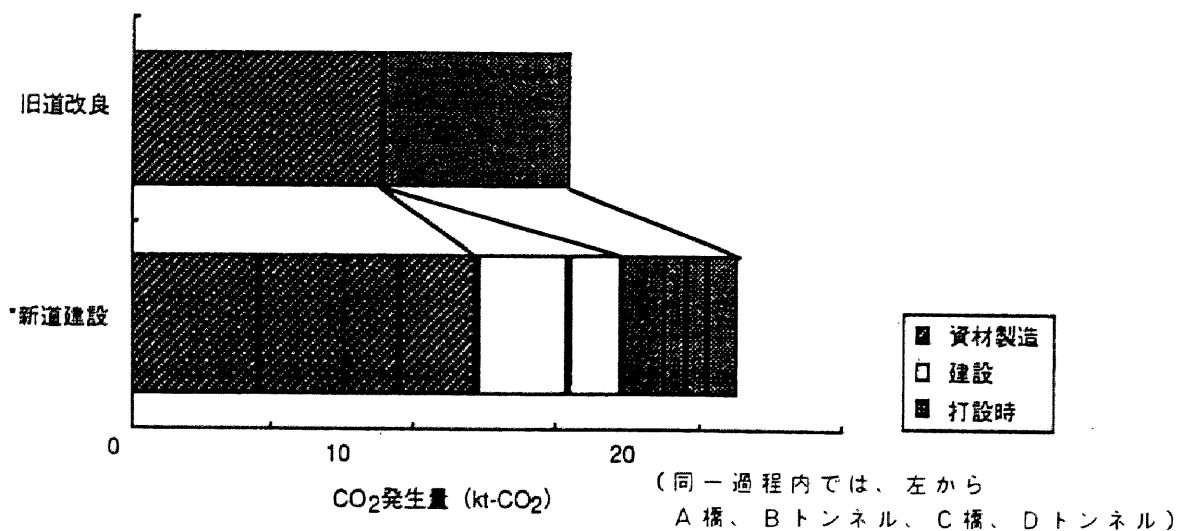


図4. 8 山間部の道路の改良による建設時のCO<sub>2</sub>発生量

### 2) 利用CO<sub>2</sub>と時間短縮便益

山間部の道路改良によっても、走行車両の時間短縮・燃費改善の2つの効果が得られる。その一方で、利便性向上により交通量増加も予想される。そこでこれらの変化を踏まえ、効果を推計する。

未改良の旧道、改良した旧道、および新道の、それぞれの走行状況を推計した結果が表4. 5である。なお交通量の変化に関しては、この道路の実際の交通量を参考に、改良前の日交通量を2,000台と仮定し、a)旧道改良によつては変化しないとし、b)新道建設の場合は変化しない場合と、供用後の利便性向上により誘発交通が生じ交通量が2倍に増加する場合の両方を仮定している。この2倍という値は、この道路の改良前の交通量と改良後の推計交通量との比に基づくものであり、他の事例では異なった値をとると考えられる。なお大型車混入率はいずれの場合も30%としている。

旧道改良によってこの箇所の通過時間は25%短縮される。未改良の場合と比較した通過車の総時間短縮便益を推計すると、1日あたり約11万円、1年では約0.41億円となる。また、燃費の改善により、通過車の燃料消費量は1年では約29kℓの削減ができる。これをCO<sub>2</sub>に換算する

と1年で約75t-CO<sub>2</sub>となる。

一方、新道建設によってこの個所の通過時間は67%短縮される。未改良の場合と比較した通過車の総時間短縮便益を推計すると、1日あたり約30万円、1年では約1.1億円となる。誘発交通が生じない場合には、燃費の改善により、通過車の燃料消費量は1年では約110kℓの削減ができる。これをCO<sub>2</sub>に換算すると1年で約280t-CO<sub>2</sub>となる。ただし、誘発交通によって交通量が2倍になると、1年で約40t-CO<sub>2</sub>と、削減量は大幅に小さくなる。

表4.5 新道建設による走行状況の変化

	旧道	旧道改良	新道建設
距離	2,250m	2,250m	1,500m
交通量	2,000台/日	2,000台/日	2,000台/日 (4,000)
平均走行速度	30km/h	40km/h	60km/h
通過時間	4.5分	3.4分	1.5分
燃費 普通車	12.8km/ℓ	14.4km/ℓ	16.7km/ℓ
大型車	4.2km/ℓ	5.1km/ℓ	6.7km/ℓ
燃料消費量	564ℓ/日	483ℓ/日	261ℓ/日(522)

### 3) 建設－利用のCO<sub>2</sub>発生量分析

道路改良により、建設時には環境負荷が発生するが、供用後は利用車両の走行改善による燃費向上によって、年ごとに環境負荷が削減される。そこで、4.3.2項と同様に、建設された年を0年とした累積環境負荷チャートが図4.9である。

この図からも分かるように、改良道路の耐用期間（30ないし40年間）内では、累積CO<sub>2</sub>発生量は、改良の場合が旧道をそのまま利用する場合に比べいずれも上回っている。これは4.3.2項で扱った都市部の道路に比べて交通量が少なく、道路改良による削減効果が小さいためである。すなわち「短期的環境悪化型インフラ」に分類される。また、旧道改良と新道建設とを比較した場合には、誘発交通がない場合は、建設後27年で新道改良が旧道改良を下回る。しかし交通量が2倍になる場合にはこれが約130年後になり、耐用期間内に利用CO<sub>2</sub>の削減効果が十分現れてこない。すなわち「長期的環境悪化型インフラ」である。

以上をまとめると、まず、交通量が少ない地域での大規模な交通施設改良整備は、新道建設はそれによる誘発効果が生じない場合は「短期的環境悪化型」、生じる場合には「長期的環境悪化型」となる。一方、費用便益分析の観点からは、誘発効果が生じた方が発生する便益も増加する。このように、経済効果と地球環境負荷との間にトレード・オフが存在するときには、その選択には経済と環境とどちらを重視するかに関する価値観が影響してくるが、バランスをとった評価を行う場合には、環境負荷サービサビリティ（ELS）の使用も考えられる。

CO<sub>2</sub>累積発生量 (kt-CO<sub>2</sub>)

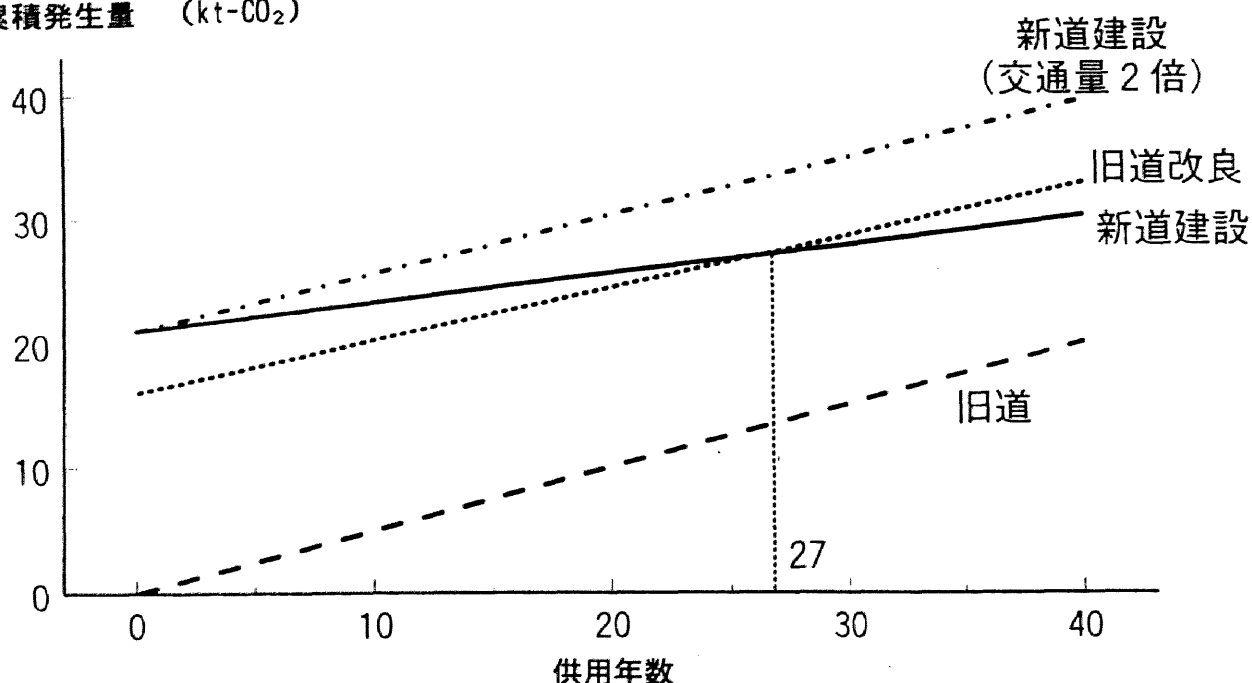


図 4. 9 建設－利用の累積CO<sub>2</sub>発生量

#### 4. 4 地球環境負荷の貨幣価値評価

前節におけるLCIにより、各道路構造代替案に関して建設－利用のライフ・サイクルにわたって発生するCO<sub>2</sub>を推計することができた。さらに本節では、建設CO<sub>2</sub>の貨幣価値への換算を試みる。それによって、CO<sub>2</sub>発生が経済の枠組の中で、どの程度の評価を受けているかを明確にすることができる。

換算にあたっては、3. 5 節で示した既往研究で推計されている単位CO<sub>2</sub>発生あたり社会的費用を原単位として用いる。これらの推計は、温暖化によって生じることが予測される被害の額を基にしており、予測の精度によってオーダーが大きく異なっている。ここでは、推計値の中で中間的な値であるFankhauser<sup>40)</sup>の値を採用する。これによると、1991～2000年におけるCO<sub>2</sub>発生の社会的（限界）費用は6.2～45.2\$/t-C（炭素換算トン）の間をとり、中間値は20.3\$/t-Cである。

まず、道路交差点改良による建設時のCO<sub>2</sub>発生の社会的費用は、オーバー・パスで約60～440万円、アンダー・パスで約110～750万円と算出される。また、山間部の新道整備による建設時のCO<sub>2</sub>発生の社会的費用は約370～2,700万円と算出される。これに対し、実際の値が得られている山間部の新道建設費は36.7億円、時間短縮便益は約1.1億円/年であった。このことから、道路建設に伴うCO<sub>2</sub>発生の社会的費用は、建設費や時間短縮便益に比べ非常に小さい値であることが分かる。

これは、地球環境問題が全世界にわたって広く薄く影響を及ぼす性質を持っていることや、

将来生じる問題であるため、現在に換算する場合には割引率が適用されて過小評価されることが原因であると考えられる。いずれにしても、道路整備の費用便益分析を行うにあたり費用の項目にCO<sub>2</sub>発生の社会的費用を加えても、代替案選択に対してほとんど影響を与えないことが分かる。したがって、3章でも述べたように、地球環境負荷を貨幣価値に換算して費用便益分析に組み込むことが得策ではないことが裏付けられる。これは、a)地球環境問題が（評価者にとって）大した問題ではない、または、b)地球環境問題が過少評価されている、のいずれかの理由から生じるものである。「気候変動枠組条約」のようなCO<sub>2</sub>総量目標の設定は、そのうちb)の考えに基づいて設定されているものであると考えられる。この場合、交通施設整備においてもなるべく「環境改善型」を選択する必要があることになる。いずれにしても、a)かb)かいずれの立場をとることで、交通施設整備代替案の選択が変わってくるのであり、地球環境問題に対する危機意識が生じ始めている現在は、その転換点であるのかもしれない。

#### 4.5 まとめ

本章では、単一交通施設の単一区間に着目し、地球環境負荷（CO<sub>2</sub>）発生量を推計する手法を示すとともに、実際の推計例として、道路施設に関する各種構造代替案を設定し、地球環境負荷の推計と代替案間の比較を行った。さらに、推計した地球環境負荷を貨幣価値に換算し、そのオーダーを建設費や時間短縮便益と比較した。

以上のことによって得られた知見を以下に示す。

- 1)「ライフ・サイクル環境負荷」の考え方をを用いて、代替案間で性能や利用状況が異なる場合についての環境負荷評価の方法を示した。その際、費用便益分析でも行われているように、建設時と供用時の両方を考慮した環境負荷評価が必要であることを示し、実際に推計を行った。
- 2)建設CO<sub>2</sub>発生量は資材の量に依存するため、建設費と相関関係があることが分かった。
- 3)道路改良によるライフ・サイクル環境負荷変化は、その部分の交通量に大きく依存する。すなわち、交通量が多く混雑が激しい区間ほど環境負荷が削減される傾向にある。
- 4)本研究で扱った道路構造代替案に関しては、CO<sub>2</sub>発生の社会的費用が、建設費や時間短縮便益に比べて非常に小さい。したがって、地球環境負荷を費用便益分析に組み込んでも、その評価にほとんど影響を与えないものと考えられる。

本研究では、ライフ・サイクル環境負荷の推計における仮定として、a)供用後の交通状況は時間的に変化しない、b)維持管理の環境負荷は考慮しない、としたため、累積環境負荷チャートが1次関数の形で表されるような単純な分析結果となっている。これは各代替案の設計や予測に関する詳細なデータが得られなかったことが原因である。実際の設計にあたってはこれらの詳細データを得ることが可能であるので、本章と同様の方法によってより現実的な分析結果を得ることができるものとする。

今後の課題としては、

- 1)他の様々な道路整備代替案に関してCO<sub>2</sub>発生量の推計を行うとともに、利用や維持管理・廃棄段階での推計精度を向上させ、地球環境に対して悪影響を及ぼさないような道路施設整備の方向性を探ること
- 2)推計されたCO<sub>2</sub>の値をどのように評価するべきか、例えば大気汚染・騒音・土地改変といった局地環境変化や、景観・アメニティといったもの、建設費や便益に対してどのような位置づけを与えるかについて更なる検討を要することが挙げられる。

なお、本章における研究の遂行にあたっては、建設省中部地方建設局道路部および愛知県道工事事務所、日本道路公団名古屋道路管理事務所、愛知県土木部、岐阜県土木部より快く資料をお貸しいただき、参考にさせていただきました。この場を借りて感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1)岩渕省、松本亨、井村秀文：再生路盤材のライフサイクルアセスメント、環境システム研究 Vol.24、pp.430-434、1996.10.
- 2)盛岡通：土木建設システムにおけるLCAの考え方と事例、第4回地球環境シンポジウム講演集、pp.29-34、1996.7.
- 3)酒井寛二：土木建設物の二酸化炭素排出量原単位の推定、第4回地球環境シンポジウム講演集、pp.43-48、1996.7.
- 4)光本純、安藤裕介、小谷克己：ダム仮設工事における炭素発生量の推定、土木学会第3回地球環境シンポジウム講演集、pp.293-297、1995.7.
- 5)道路工事積算研究会：道路工事の積算 道路工事、(財)経済調査会、1993.
- 6)小泉泰通、高柳則男：ダム建設のライフサイクル評価、第4回地球環境シンポジウム講演集、pp.49-56、1996.7.
- 7)鶴巻峰夫、藤岡荘介、内藤弘：下水道終末処理施設のライフサイクルでの環境負荷の定量化について、第4回地球環境シンポジウム講演集、pp.57-62、1996.7.
- 8)伊藤武美、花木啓祐、本多博：公園建設にともなう二酸化炭素排出量に関する研究、第4回地球環境シンポジウム講演集、pp.63-68、1996.7.
- 9)伊藤武美、花木啓祐、谷口孚幸、有浦幸隆：ニュータウン建設にともなう二酸化炭素排出量に関する研究、環境システム研究 Vol.23、pp.190-197、1995.8.
- 10)伊藤武美、花木啓祐、本多博：二酸化炭素排出抑制技術・システムのニュータウン建設への適用、環境システム研究 Vol.24、pp.250-259、1996.10.
- 11)光本純、安藤裕介、小谷克己：ダム仮設工事における炭素排出量の推定、第3回地球環境シンポジウム講演集、pp.293-297、1995.7.
- 12)松尾陽：地球環境と建築設備、建築設備士、pp.1-4、1993.3.
- 13)岡建雄：建設にかかわる資源消費量の算出法、建築設備士、pp.10-13、1993.3.



- 14)石福昭、伊香賀俊治：ライフサイクルCO<sub>2</sub>による建物の評価、建築設備士、pp.14-23、1993.3.
- 15)北村真一、渡辺直幸、佐藤俊明、松本聡子：道路におけるのり面工の景観評価と建設費、土木計画学研究・講演集 No.18(1)、pp.79-82、1995.12.
- 16)酒井寛二、漆崎昇：建設業の資源消費量解析と環境負荷の推定、環境情報科学 21-2、pp.130-135、1992.
- 17)岡本英靖、酒井寛二、漆崎昇：土木工事における炭素排出量の推定、第1回地球環境シンポジウム講演集、pp.93-98、1993.7.
- 18)土木学会：土木学会規準（昭和61年版）、1986.
- 19)土木学会：昭和61年制定 コンクリート標準示方書 舗装・ダム編、1986.
- 20)多田宏行、田中淳七郎、中島彬博、松野三郎：道路舗装マニュアル（第3版）、オーム社、1981.
- 21)日本道路協会：アスファルト舗装要綱.
- 22)日本道路協会：セメントコンクリート舗装要綱.
- 23)日本道路協会：道路構造令の解説と運用、1983.
- 24)樋口芳郎、村田二郎、小林春夫：わかり易い土木講座10 コンクリート工学(I) 施工、彰国社、1992.
- 25)伊吹山四郎、多田宏行、毛利正光：わかり易い土木講座12 道路、彰国社、1992.
- 26)植下協、加藤晃：朝倉土木工学講座12 改訂新版 道路工学、朝倉書店、1989.
- 27)道路ハンドブック編集委員会：最新 道路ハンドブック、建設産業調査会、1990.
- 28)建設省中部地方建設局 名阪国道工事事務所：名阪国道工事誌、1967.
- 29)土木学会 編：第4版 土木工学ハンドブック、技報堂出版、1989.
- 30)河上省吾 編著：土木計画学 -土木教程選書、鹿島出版会、1991.9.
- 31)土木学会編：新体系土木工学40 橋梁の計画と管理、技報堂出版、1988.
- 32)土木学会編：新体系土木工学70 トンネル(I)-山岳トンネル-、技報堂出版、1988.
- 33)久楽勝行、小木芳國、山田邦光、鈴木剋之、田原賢治、工藤真之助：土木構造物設計計算例シリーズ6 道路構造物の設計計算例、山海堂、1988.
- 34)シールド工事積算研究会 編：シールド工事の施工と積算、(財)経済調査会、1989.
- 35)樋口芳郎、辻幸和、辻正哲：建設材料学（第3版）、技報堂出版、1988.
- 36)建設省道路局・都市局：第11次道路整備五箇年計画、1993.
- 37)建設省道路局監修：道路行政 平成7年度版、全国道路利用者会議、1995.
- 38)建設省飯田工事事務所：矢筈トンネル工事誌 -小川路峠道路-、建設省飯田工事事務所、1995.3.
- 39)土木学会編：新体系土木工学62 道路(II)-計画と幾何設計-、技報堂出版、1980.
- 40)S.Fankhauser: Valuing climate change:An economic assessment of global warming impact, pp.12.1-12.22.

# 5 章 経済成長と都市化による都市交通システムの変容と地球環境負荷

## 5. 1 概説

前章における、単一の道路施設を対象とした分析によって、交通施設整備が地球環境負荷に及ぼす影響を計測することができた。その結果、整備に伴う交通量の誘発効果と、混雑解消による効果の生じ方によって環境負荷の増減が左右され、特に交通量が多くボトルネックとなっている個所での改善効果が大きいことが示された。

このような傾向は、単一交通施設の有機的集合体としての都市にも拡張してあてはめることが可能である。特に自動車交通では、燃費の悪化要因となるストップ・アンド・ゴーを増加させる渋滞や、低い積載効率による走行台数の増加が地球環境負荷に悪影響を与える。このことから、比較的燃費が良く、積載効率も良い都市間交通よりも、都市内交通の方が改善の余地が大きく、またそのために交通施設整備（投資）政策が果たすことのできる役割も大きいものと考えられる。

本章以降では、対象範囲を都市交通全体へと広げ、それを1つのシステムととらえた場合の地球環境負荷の定量的評価を実証的に行う。ここで注意すべきは、3. 4節でも述べたように、都市交通システムの需要や供給の量・質が、都市成長によって生じる「アーバン・ダイナミズム」という大きな流れの中で規定される、ということである。特に都市の成長期は、モータリゼーション進行と都市規模拡大によって、交通活動の態様が大きく変化を遂げる時期である。したがって、その時期にどのような交通施設投資政策をとるかによって、その成長のあり方はもちろんのこと、都市の成熟レベルをも規定し、結果的に交通にかかわる地球環境負荷にも長期的に影響を及ぼす。

そこで本章では、都市交通システムのマクロ的評価体系構築の準備段階として、都市交通システムが都市発展とともにどのような変化を遂げ、その結果地球環境負荷がどの程度生じるのか、またその量が都市交通政策の違いによってどう変化するのかについて、実際の都市の経年データを用いて分析を行う。

## 5. 2 都市旅客交通の範囲設定と使用可能なデータ

### 1) 都市の範囲設定

都市を実証的に分析するにあたって宿命とも言える問題は、都市の範囲の設定である。

都市に関するマクロな統計指標は行政区域で与えられるのが一般的であるが、交通行動は行政区域内にとどまるものではない。すなわち、都市の内々交通のほかに内外交通や通過交通が存在する。したがって、本来は都市の行政区域で区切るのは適当とは言えない。しかし本研究

では、便宜的に行政区域のデータを用いて分析を行うこととする。

まず、本章および6章で分析評価の対象として取り上げる名古屋市について、その交通行動がどの程度行政区域を越えてなされているかを調べる。1995年国勢調査によれば、名古屋市の人口は2,152,258人と、日本で4番目の規模を有する。また面積は326.37km<sup>2</sup>である。昭和60年度の道路交通センサス（自動車起終点調査）<sup>1)</sup>によると、名古屋市における自動車OD内々率は0.68であり、全自動車トリップの3分の2は市内で閉じている。また、中京都市圏パーソントリップ調査<sup>2)~9)</sup>によると、名古屋市の発トリップ（全手段）の内々率は第1回調査（1971年）で0.89、第2回（1981年）で0.87、第3回（1991年）で0.84であり、8割以上が内々交通、すなわち、交通活動の大多数が市の行政区域内で閉じている。また、内々率は減少傾向にあるが、これは都市の広域化の影響が表れているものと考えられる。

## 2) 「都市交通」の範囲設定

対象都市の範囲を決定した後は、対象都市から生じる環境負荷の範囲の決定を行う必要がある。これには、以下の4種類の定義が考えられる。

- a) 都市の空間的範囲内での発生
- b) 都市の在住者による発生
- c) 都市発着トリップによる発生
- d) 都市内で販売された燃料による発生

本来的にはa)の定義が正しい。しかし、実際のデータとしてこれを得ることは困難であるため、b), c), d)のいずれかによる定義を用いることになる。d)は最もa)に近いと考えられるが、データとしては都道府県単位のものしか存在しない<sup>10), 11)</sup>。平松・花木・松尾<sup>12)</sup>は都市交通によるエネルギー消費量推計のために、この都道府県単位のデータを自動車保有台数の比率で対象都市に配分する方法をとっている。これは、都市交通の環境負荷推計のための簡便法として有効であり、本研究で構築しようとしている、交通に関する地球環境負荷推計のためのモデル挙動の確認に用いることができる。

一方、交通活動の環境負荷推計モデル構築にあたってそのメカニズムを分析するためには、b)またはc)のデータを用いることになる。本研究では、都市の交通施設整備状況の違いによる影響を分析するという観点から、その説明要因として都市の特性を用いる必要がある。そこでそれに合わせて、使用するデータも個人ベースのb)ではなく、都市を起終点とするトリップであるc)を選択することになる。

そこで本研究では、都市に関する交通として、その都市（行政区域）で発生するトリップを扱う。これによって内々トリップについてはすべて分析でき、内外トリップについてもその都市に起因する交通として考えることができる。そのため、モデルで推計される交通活動の環境負荷発生量も、行政区域内での活動量そのものでなく、都市内を起点とする交通について計測することになる。そして最終的には、推計された値をa)の燃料販売量データによって補正する。

なお、道路交通センサス（一般交通量調査）<sup>1)</sup>や自動車輸送統計年報<sup>13)</sup>では、各地域ごとに

自動車総走行台キロを計測した結果を公表している。この総走行台キロに環境負荷発生原単位を乗じることにより、a)の値を推計する方法も考えられなくはない。総走行台キロの推計法として、道路交通センサスでは、調査対象区間のある1断面の交通量に区間延長を乗じて総和をとる方法をとっている。このデータは都道府県・政令指定都市単位で存在するが、調査が数年おきにしかないことや、調査区間が一般国道など主要道路の昼間12時間に限られているため、都市内の全自動車交通が把握されているとはいいがたいという難点がある。実際、1990年における名古屋市のガソリン販売量（愛知県の販売量から自動車保有台数比で推計）は2703kl/日であるのに対し、道路交通センサスによる乗用車の総走行台キロは7142千台キロ/日であり、ここから平均燃費を計算するとわずか2.64 l/kmとなってしまう。これは、道路交通センサスの総走行台キロデータはかなり過少推計であることを示唆するものである。一方、自動車輸送統計年報では、ランダム抽出された自動車所有者にアンケートをとる方式である。これは毎月調査されているが、データが各運輸局単位でしかなく、アンケート方式であるため厳密にはb)の定義になること、信頼性が低いことなどの問題点があり、やはりその利用は困難である。このような総走行台キロのデータに関する問題から、伊藤・石田の研究<sup>14)</sup>のように、総走行台キロの代理指標として都道府県別ガソリン消費量を利用し、地域間の自動車利用状況の差を分析する研究事例さえ存在する。

一方、鉄道については、鉄道（旧：民鉄、私鉄）統計年報<sup>15)</sup>に、都道府県別や会社別での輸送人数や車両キロ、電力消費量などのデータが公表されており、利用が可能である。

### 5.3 交通施設供給の定量的評価手法

次に、交通にかかわる環境負荷発生的一端を担う交通施設供給について、その定量的評価手法を整理するとともに、名古屋市を例としてその推移を示す。

#### 5.3.1 社会資本に関するストック・フローの基本式

3.4.4項において、マクロ分析において社会資本（の蓄積）はストックとして、その整備（投資）はフローとしてとらえられることを述べた。また、フローとストックとの関係は一般に、次式の「ストック・フローの基本式」で表されることも示した。

$$ds(t)/dt = i(t) \text{ (-減耗)} \quad (3.9b) \text{ <再掲>}$$

ここで、s：ストック、 i：ストック形成のためのフロー、  
t：期

(3.9b)式は微分形で記述されているが、フローやストックに関する実際のデータは各期（年、半期、四半期、月など）ごとに得られるので、実証分析では(3.9b)式を差分化した以下の式を用いる。

$$s(t+1) = s(t) + \Delta s(t) \quad (5.1)$$

ここで、 $s(t)$  :  $t$ 期首のストック量

$\Delta s(t)$ :  $t$ 期中のストック量増分

### 5.3.2 社会資本整備のストック的取り扱い

#### 1) ストック量の推計法

理論経済学では、フローやストックを表す指標は金額ベースであることが暗黙の了解となっている。しかし実証的な分析にあたっては、データとして測定されているものを用いる必要がある。実際には、社会資本ストックの場合には、一般に金額ベースで評価されることは少ない。ここではストック量の主な推計法を示しながら、この理由を明らかにする。

道路ストック量の推計法には以下のものがある<sup>16)</sup>。

##### a) 金額ベース：

①投資額の総和をとる方法、②市場価格評価、③便益による評価、の3種類の方法がある。

##### ①投資額の総和：道路総資産／道路純資産／道路原単位

道路の場合、この値は「道路総資産」と呼ばれる。この場合、(3.9b)式が金額タームで成り立つため推計は容易であるが、以下の問題点がある。

- 1) 道路資本の減耗を考慮する(道路「純」資産)場合、その客観的評価法として確たるものが存在しない。
- 2) ストックの価値はその利用のされ方によって決まるものであって、投資額の総和とは決定メカニズムが異なる。

ちなみに道路整備五箇年計画を例にとると、第1～4次(1954～66)において、道路整備水準を「道路原単位」(自動車1台あたり道路総資産)で評価していたが、現在はこの指標は用いられていない<sup>17)</sup>。

##### ②市場価格評価

価格は、市場において需要と供給との均衡に伴って決定されるものである。したがって、民間資本ストックの場合には市場価格でその価値を評価することもできる。しかし、公共財には市場は成立しないため、この方法を用いることはできない。

##### ③便益による評価

公共財の価値は、それがもたらす便益の総和で表されるという考え方もできるが、便益をどう評価するか自体が困難な問題である。

##### b) 物量ベース：

現実には、金額ベースでなく物量ベースの指標を用いて道路ストック(道路整備水準)での評価が行われている。データとして入手可能なものを以下に列挙する。

##### (1) 延長

- ・道路延長、道路密度(単位面積あたり道路延長)、自動車1台あたり道路延長
- ・車線キロ(道路延長×車線)

## (2) 面積

- ・道路面積、道路率（単位面積あたり道路面積）、自動車1台あたり道路面積
- ・平均幅員（道路面積／道路延長）

## (3) 質的指標

- ・改良率（改良済道路延長／道路延長）：道路構造令の規格に適合する道路の割合
- ・舗装率（舗装済道路延長／道路延長）
- ・整備率（整備済道路延長／道路延長）：改良済かつ混雑度1.0未満の道路の割合

物量ベースのデータでは、減耗を考慮する必要がなく、道路交通の需要や走行状況の推計（6章参照）における説明変数にも利用可能である。しかしこれらの指標は、現在データは入手が容易であるが、特に面積や質的指標には、時系列データとして整備されていないものが多い。更に任意の市区町村の比較や国間比較では、一般的に道路延長や自動車1台あたり延長でしか評価できないが、延長指標は幅員や道路の質が考慮されないため、道路ストック量の代表指標として用いる際には注意すべきである。

ここまでは道路インフラのストック量の評価手法を考えてきたが、鉄道に関しても同様に、a)金額ベース、b)物量ベースの評価法が考えられる。道路と基本的に考え方は同じであるが、延長については単に路線延長をとる場合と、複線は2倍して考える「線路キロ」（道路の「車線キロ」に相当）をとる場合とがある。また、鉄道は駅が存在があつて初めて利用可能であるので、駅数やその面積・人口あたりの値を、鉄道整備水準として用いることもできる。質的指標については、単に鉄道整備の水準だけでなく、それに実際の運行状況を加味して考える必要がある。例えば、運行頻度（回数）や運行キロ、輸送力（定員×運行キロ）などである。

## 2) 主な道路ストック量推計法の特徴

ここでは、名古屋市の道路ストック量の推移を、幾つかの代表的な推計法で示す。それによって、名古屋市の道路整備の特徴を把握するとともに、それぞれの推計法が持つ特徴を述べる。

### ①道路純資産／道路原単位

道路ストック量を金額ベースで表す手法としては、過去からの道路投資額の総和である「道路総資産」が最も単純な推計法である。しかしこの手法では、減耗について何らかの仮定を置く必要があるという問題がある。幸いなことに「道路統計年報」<sup>18)</sup>には、各年度ごとの、各都道府県・政令指定都市の道路事業費が工種別に掲載されている。したがって、総事業費から維持的経費（減耗の償却にあてられる）や調査費を差し引いた、「純」建設的経費が分かる。これの総和をとったものが「道路純資産」である。その推移を図5.1に示す。

道路純資産は1975年度以降、市民総生産の10%を越え、90年度には約13%に達している。これで見ると、道路ストック量は市民総生産の伸びに追いついていると言える。

また、道路純資産を自動車保有台数で除した値は「道路原単位」と呼ばれる。この推移を図5.2に示す。これについても、1975年度までは自動車の増加に道路ストック供給が追いつけなかったものの、その後持ち直していることが分かる。

道路純資産 兆円

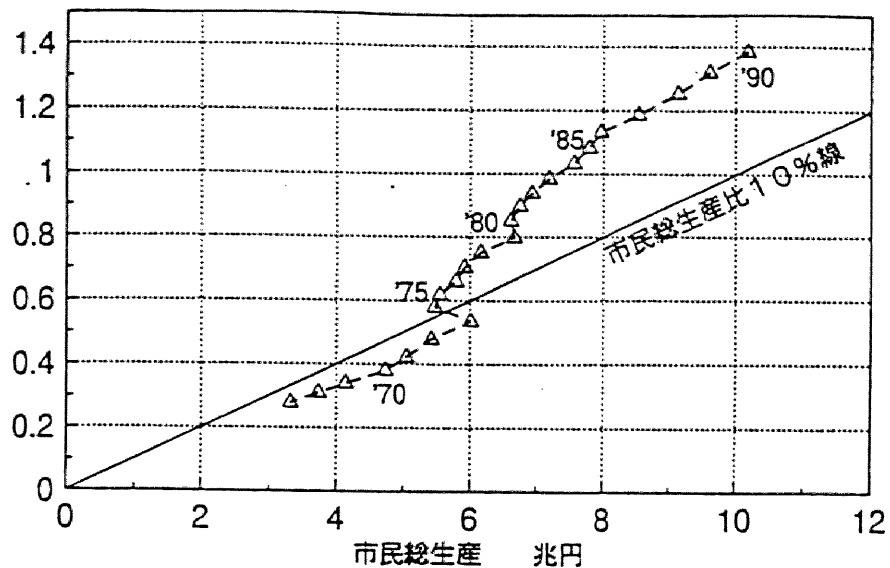


図5.1 名古屋市における道路純資産と市民総生産との関係

道路原単位 万円/台 (1980年価格)

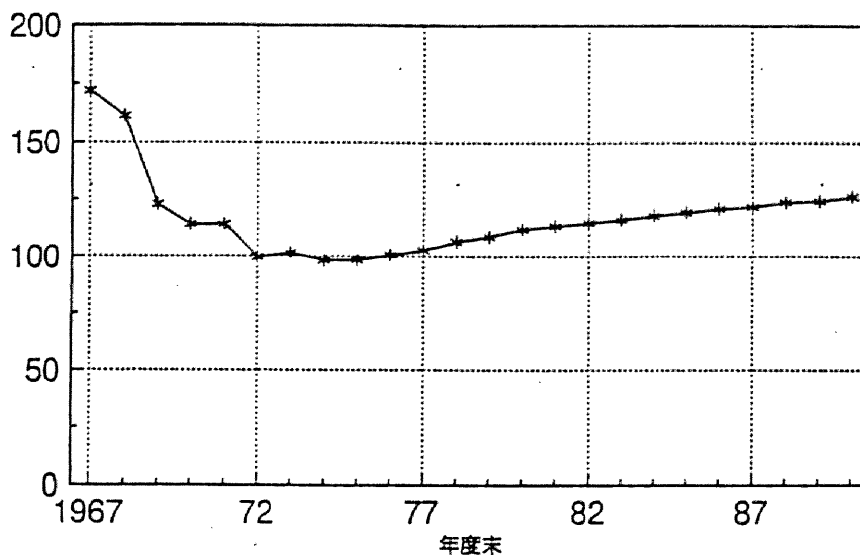


図5.2 名古屋市における道路原単位の推移

道路実延長 km

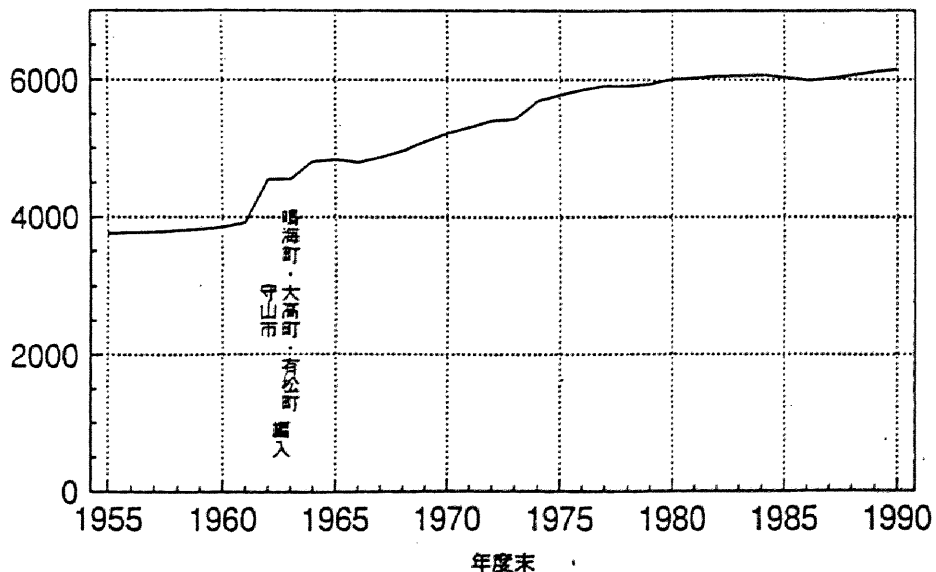


図5.3 名古屋市における道路実延長の推移

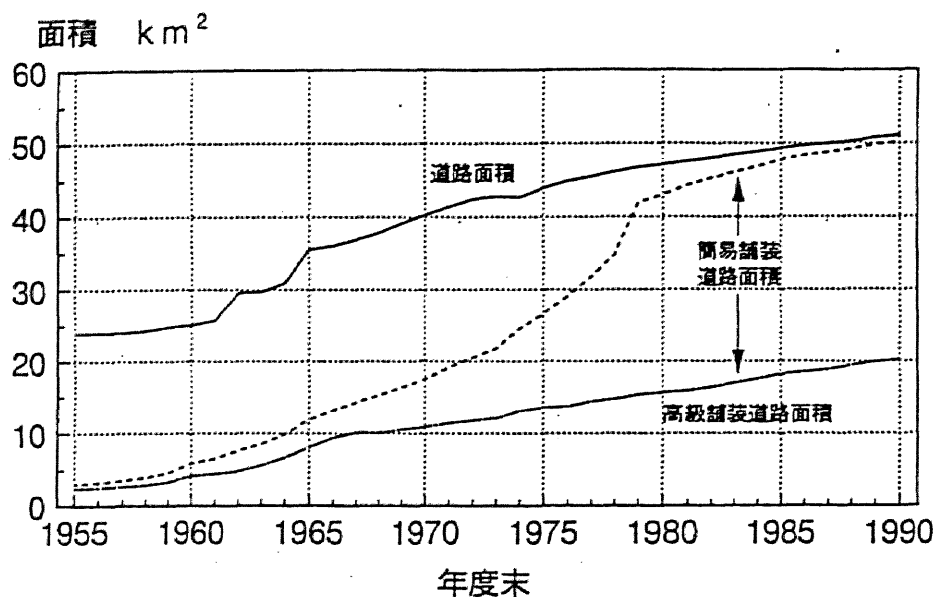


図5.4 名古屋市における道路面積の推移

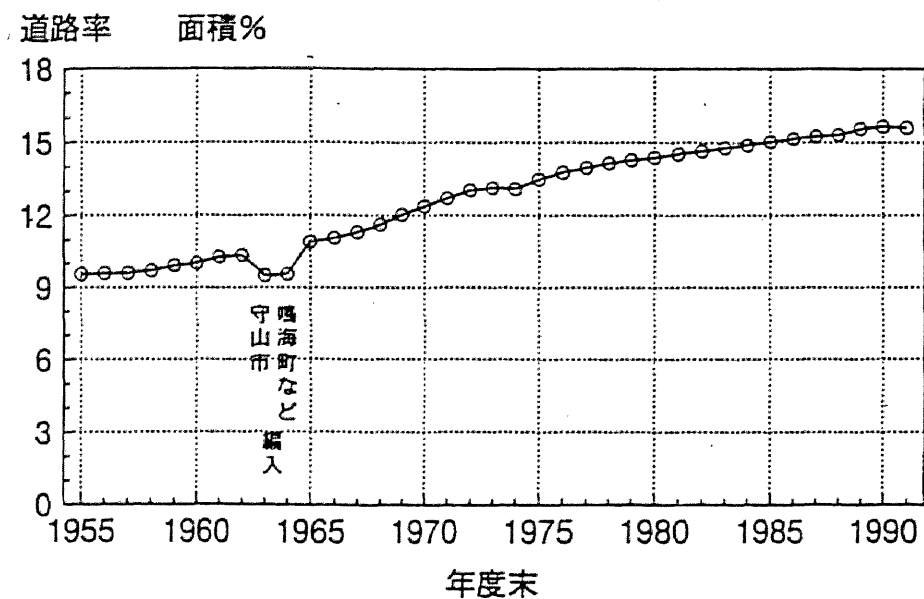


図5.5 名古屋市における道路率の推移

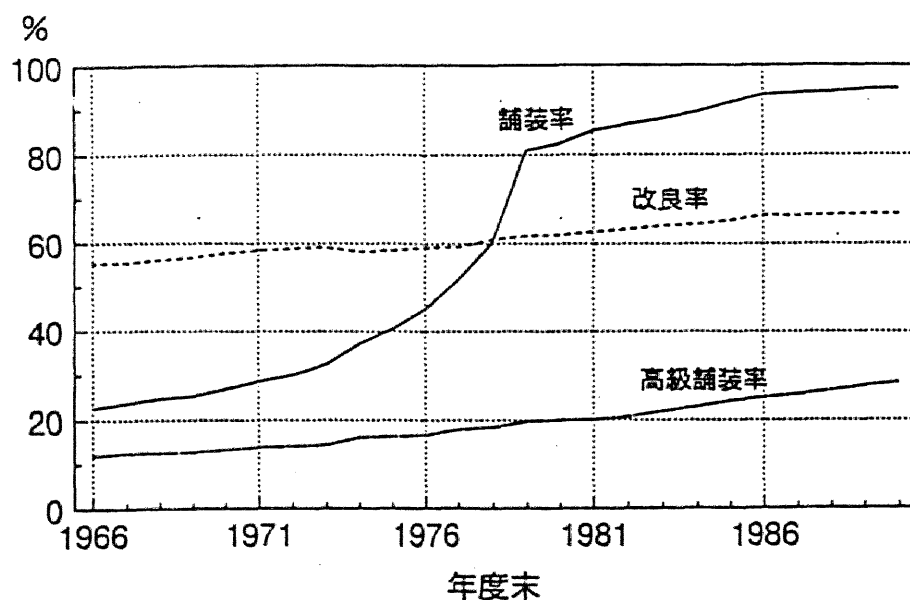


図5.6 名古屋市における舗装率および改良率の推移



## ②道路実延長

道路ストック量の指標として最もよく用いられるのが道路実延長である（実延長は、総延長〈道路台帳に記載されている道路のトータルの延長〉から、未供用延長および重用延長を差し引いた延長である）。ただしこの指標には、道路幅員や質の向上が反映されないという問題がある。特に道路整備がある程度進んだ段階では、この指標を用いることはできなくなる。また、距離を短縮するバイパスを整備すると、道路実延長は減少してしまう。図5.3に道路実延長の推移を示すが、1980年代にはほとんど一定の値になっていることが分かる。言い換えれば、この時代には道路投資は、既存の道路の拡幅や改良に用いられたことが分かる。

## ③道路面積／道路率

道路面積は、道路延長と幅員の両方を含む指標であり、またデータの入手可能性も考慮すると、道路ストック量の指標としてより適切であると考えられる。また、地域の総面積で道路面積を除した道路率も、都市の道路整備水準を表す際にしばしば用いられる。ただし、道路整備がかなり進んでくると、道路実延長と同様の問題が生じる。図5.4に道路面積の推移を、図5.5に道路率の推移を示す。

## ④舗装率／改良率

いずれも道路の質を表す指標で、一般には延長ベースでの値である。改良済延長は道路構造令に適合した道路の延長である。図5.6に推移を示す。これによると、改良率は漸増傾向にある一方、舗装率は1970年代に急増している。ただし、高級舗装率はそれほど増加していない。すなわち、細街路において低コストの簡易舗装が普及したことが舗装率を押し上げた要因である。

### 5.3.3 交通施設整備水準と投資額との関係の定式化

道路建設量（フロー）は金額ベース（事業費）での表示が一般的であるのに対し、道路整備水準（ストック）は金額ベース（道路総〈純〉資産）よりも物量ベース（道路実延長など）で表されることが多く、データも物量ベースで提供されている。また、交通活動に関するモデル化においては、説明変数として物量ベースの交通施設整備水準を用いる必要がある。そこで、この2つの値をつなぐ関係式を求める。

ストック－フローの基本式（差分化した式）

$$s(t+1) = s(t) + \Delta s(t) \quad (5.1) \text{ <再掲>}$$

について、 $s$ 、 $\Delta s$  が物量ベースの値であり、一方、 $\Delta s$  を決定する投資量  $i$  は金額ベースであるとする。このとき、 $i$  の物量ベースへの変換係数として、「建設原単位<sup>19)</sup>」（単位建設量〈物量ベースの出来高〉あたり建設費〈事業費〉） $\lambda$  を導入する。このとき、次の関係が成立する。

$$i = \lambda \cdot \Delta s \quad (5.2)$$

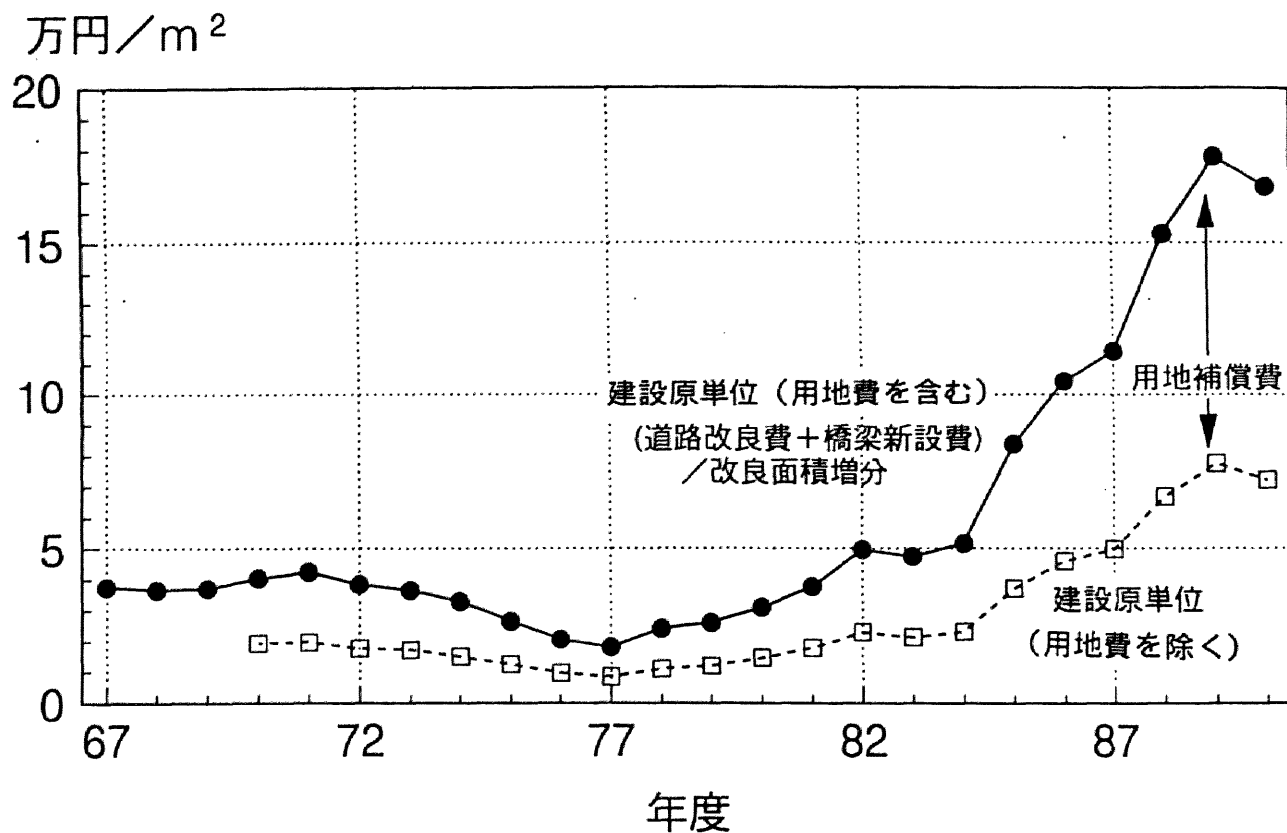


図5.7 名古屋市における建設原単位の推移

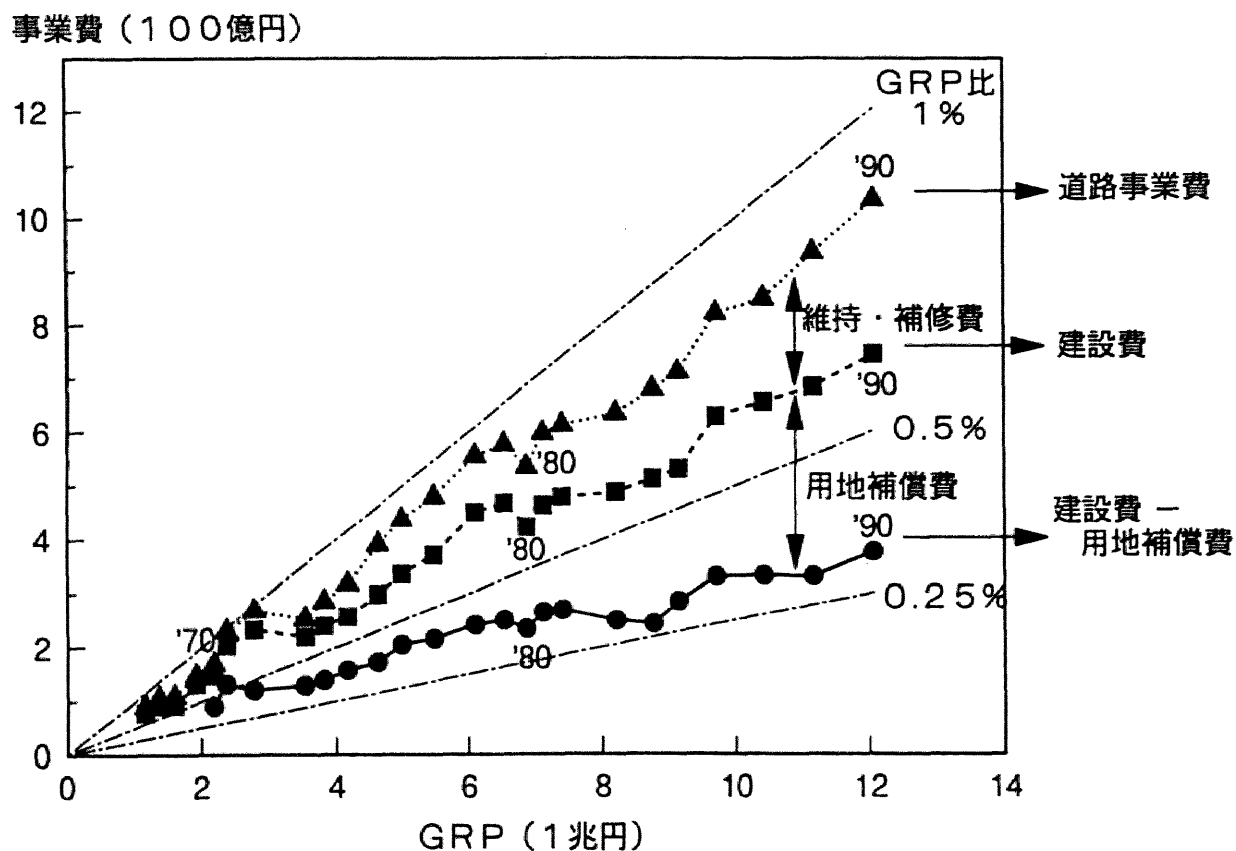


図5.8 名古屋市における道路事業費の対市民総生産比の推移

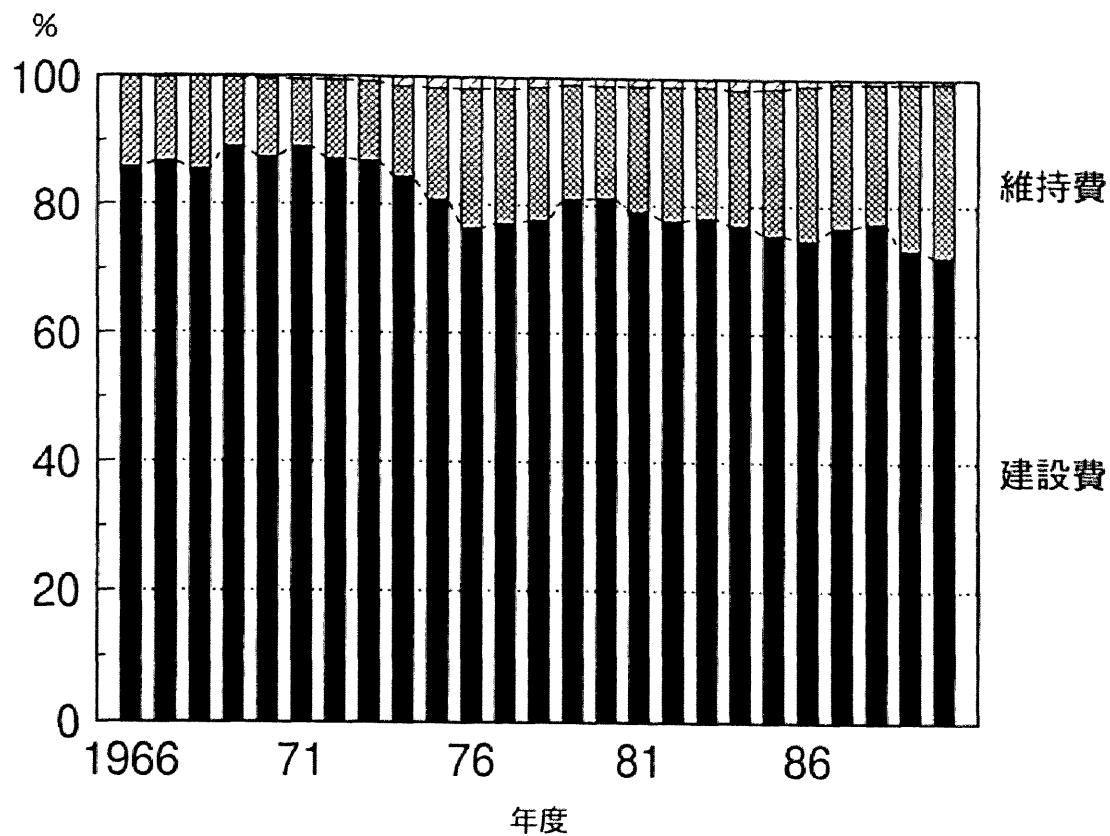


図5.9 名古屋市の道路事業における建設／維持の比率

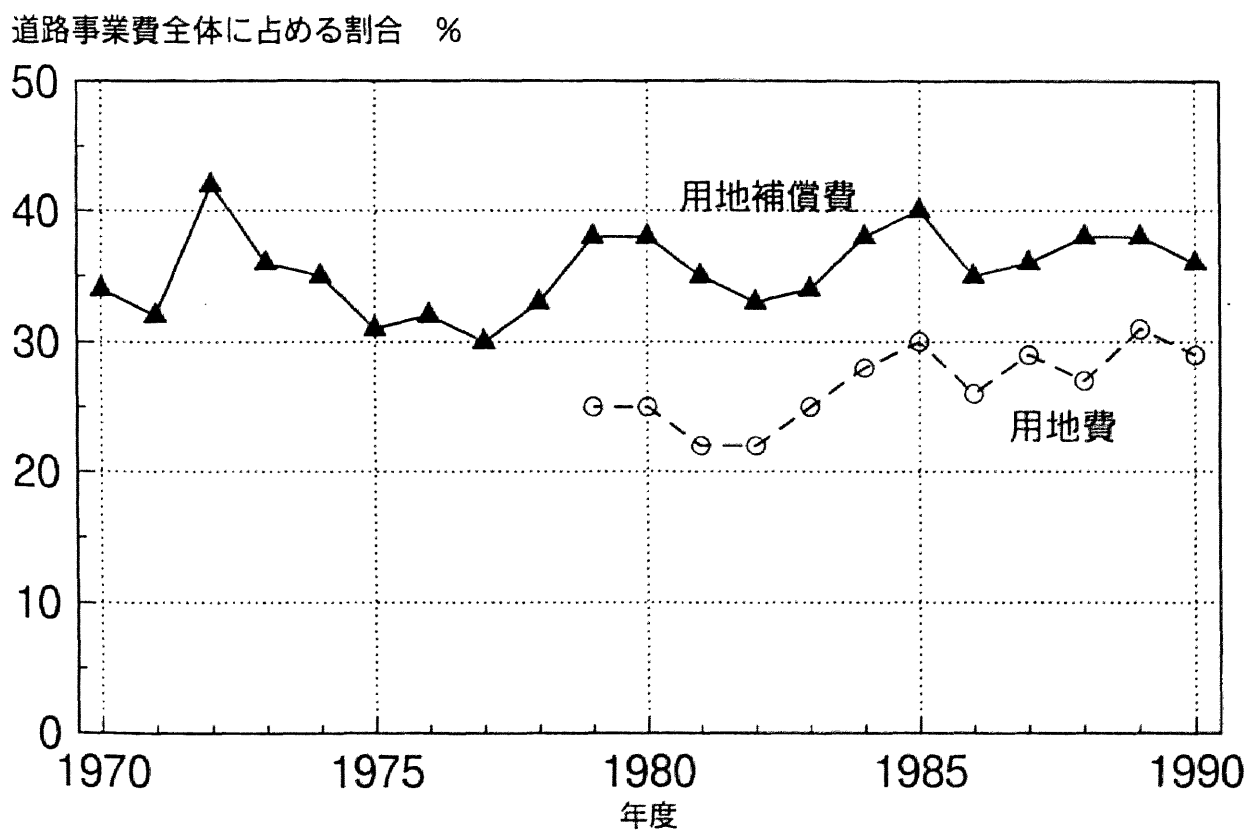


図5.10 名古屋市の総道路事業費に占める用地費の割合

s を純粹のインフラ部分（土地を含まない）とすれば、 $\Delta s$  は次式で表される。

$$\Delta s = i / \lambda = (GI - PC) / \lambda \quad (5.3a)$$

$$PC = \mu \cdot \Delta s \quad (5.3b)$$

ここで、GI：建設的経費（用地費含む）， PC：用地費，  
 $\mu$ ：用地費原単位（単位建設量あたり用地費）

整理すると、

$$\Delta s = GI / (\lambda + \mu) \quad (5.4)$$

以上の定式化で問題になるのは、 $\lambda$  と  $\mu$  の安定性である。名古屋市の「道路改良」＋「舗装新設」における  $\lambda$  の値を、各年度について前後5カ年の移動平均で算出したのが図5.7であるが、用地費を差し引いた場合にも、安定性があるとは言えない。この理由としては、道路改良の範囲に様々なレベルの工事が含まれることや、道路の格付けや位置、状況によって左右されやすいことが挙げられる。

一方、名古屋市における道路事業費の対市民総生産比の推移を図5.8に、また道路事業費のうち建設費と維持費の占める割合の推移を図5.9に、道路事業費に占める用地費の割合を図5.10に示す。（図の中で用地補償費とは、用地費と事務関係費を加えた額である。）これらから、道路事業費の総額は対市民総生産比で0.8%程度を保っているが、そこから維持的経費を差し引いた建設費は0.6%程度に、更に用地補償費を差し引いた純道路インフラ増分は0.3%程度になってしまうこと、また、用地費率はそれほど上昇していないものの、維持費率は過去20年間で10ポイント程度上昇していることが分かる。

## 5.4 都市成長と交通システム、環境負荷の関係の種類

### －モータリゼーション進展を軸にした分析－

都市発展（アーバン・ダイナミズム）の過程では、社会資本を直接または間接的に利用する都市活動が拡大・変容していく。それに並行して社会資本整備の側も対応を図っていく必要がある。

交通活動に関して、この拡大・変容のメカニズムはまさに「モータリゼーション」の1語で説明されるものである。本節から5.6節までは、現代都市においてモータリゼーションがどのように進展してきたかということを解き明かしながら、交通活動のメカニズムを分析していくものである。

### 5.4.1 モータリゼーション進展と都市空間構造との関係

#### 1) モータリゼーションの定義

20世紀においては、都市が経済的・空間的に拡大していくにあたって、その内部で営まれる人間活動が「エネルギー依存型」への傾斜を深めていく傾向にあった。それは、産業部門では

工業化、民生部門では電化（家電製品の普及と利用）、そして交通部門においてはモータリゼーションである。

「モータリゼーション (motorization)」とは、自動車が生活の中に深く入り込むことである<sup>20)</sup>。日本語に訳す場合には、「自動車化」「自動車の大衆化」あるいは「自動車普及」という用語があてられることが多いが、定義から考えると、これらの用語はいずれもモータリゼーションそのものを表すものではない。モータリゼーションは、単に自動車が普及していくことをいうのみならず、それによってモビリティ（移動性）が飛躍的に向上し、さらには社会や個人のありようが大きく変化することまで含む言葉なのである<sup>21)</sup>。

ではここで、モータリゼーション以前と以後で、都市構造のあり方にどのような変化があったのかについて、簡単にまとめることにする。

## 2) モータリゼーション以前の都市空間構造

自動車が大量普及する以前の19世紀には、都市内の主な交通手段は徒歩であった。馬車等の交通手段も存在したが、一般的な利用ではなく、市民は基本的に歩行可能な範囲で生活していた。すなわち都市は「歩行都市」であり、その移動の限界から、都市人口規模の上限は70万人程度であったと推計する文献<sup>22)</sup>もある。したがって、都市の人口や空間拡大はおのずと限られたものにならざるを得なかった。その一方で、都市空間はコンパクトで高密度な構造であった。

この状況を変化させたのが鉄道の実用化である。19世紀後半になると、欧米諸国では産業革命の進展により、工業における雇用機会が飛躍的に増大し、農村から都市への急速な人口移動が起き、都市に今まで以上の人口を抱える必要性が生じてきた。それに並行して、大量輸送手段である鉄道の技術も開発が進み、鉄道を整備することにより都市の空間範囲を拡大させる動きが生じるようになった。世界を代表する大都市であるニューヨーク、ロンドン、パリでは地下鉄や高速鉄道が整備され、その他の都市でも路面電車の整備が進んだ。それによって、都市的利用が可能な地域が鉄道沿線に広がり、工場や住宅が安価で環境良好な郊外部に立地するようになった。しかし郊外部の立地形態は、駅にアクセスが可能な範囲（駅勢圏）に限定された。したがって郊外への都市拡大は鉄道沿線のみで進み、沿線以外の地区では都心に直線距離では近くても、時間距離が大きいと、都市域に取り込まれるようなことはなかった。

以上のような都市発展形態は、図5. 11(a)のように表すことができる。

日本でこのような都市広域化が生じたのは、主に第2次世界大戦以前であった。都市内には路面電車が縦横に張りめぐらされ、市民の足を確保した。また都市近郊の鉄道沿線では、鉄道会社自らがその乗客確保を目指し、良好な居住環境を売りものにした住宅地の分譲を積極的に行うことも多かった。東京の田園調布や大阪の阪急電鉄沿線はその典型的な事例である<sup>23)</sup>。

## 3) モータリゼーションによる都市空間構造の変化<sup>24)</sup>

20世紀に入ると、それまで特殊な乗り物であった自動車が、アメリカ合衆国を皮切りとして先進国で急速に普及するようになった。1908年のT型フォード、1927年のA型フォードの発売により、従来は一品生産であった自動車が大量生産に切り替えられ、価格も低下したからであ

る。

自動車保有によって、それまでアクセシビリティが低かった都市郊外の鉄道沿線以外の地区でも、鉄道沿線に近いレベルの交通利便性が確保できるようになった。その結果、都市広域化の形態は、従来の線的から面的拡大へと移行した。また、都市的利用が可能な区域が増えたために、都市は低密度に、そして急激に拡大していくこととなる。

このような都市発展形態の変化は、図5. 11(b)のようにまとめられる。

#### <アメリカ型都市>

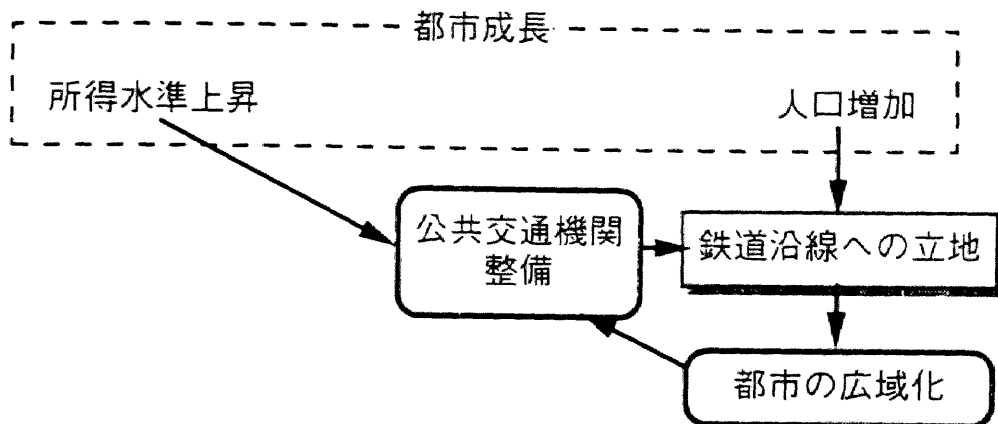
アメリカ合衆国の諸都市では、第2次世界大戦後の1950年代には自動車普及がほぼ1世帯に1台にまで達した。それとともに、都市計画も道路や駐車場などのモータリゼーション進展に歩調を合わせた方向で進められていった。郊外鉄道や路面電車は次々に廃止され、公共交通網は崩壊への道をたどった。路線跡は道路へと転用されていった。このような道路インフラの拡充、公共交通機関のサービス低下により、モータリゼーション進展はますます促進されることとなった。

またモータリゼーション進展によるモビリティ向上は、都市域の低密度な広域化をもたらす。このような都市構造は、大量輸送を得意とする公共交通機関にとっては不利であり、乗客の逸走を招き、ますますモータリゼーションを促進させる、という循環に陥った。

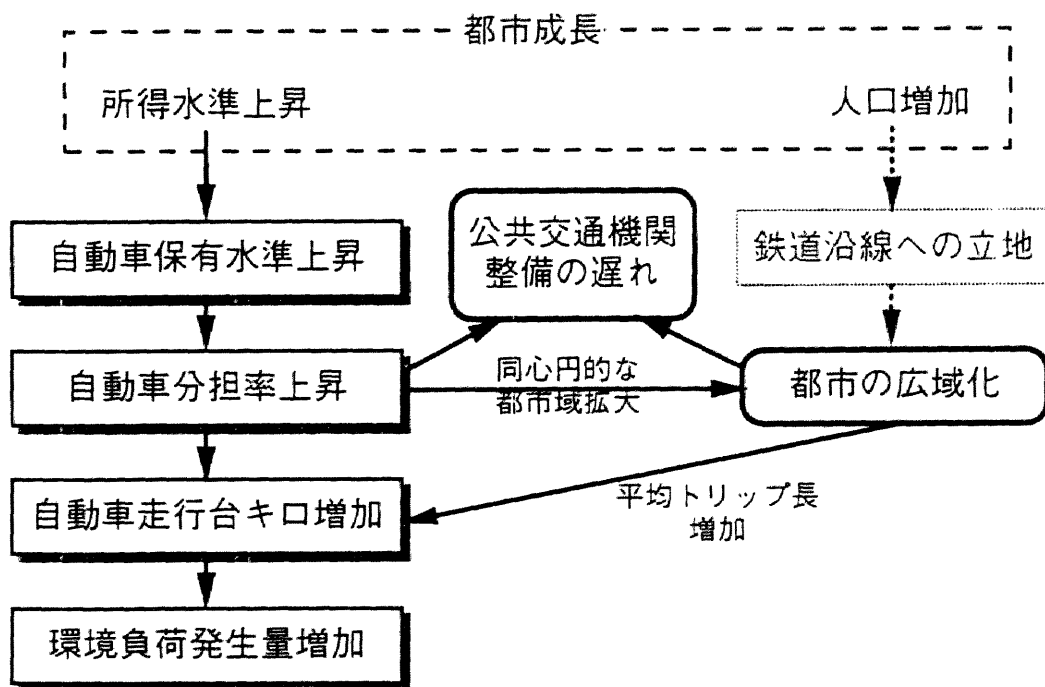
#### <ヨーロッパ型都市>

西ヨーロッパでは、アメリカ合衆国にやや遅れて、1950年代以降に自動車が急速に普及した。しかし、もともとヨーロッパの都市が城郭に囲まれたコンパクトな構造をしており、自動車利用に不利であったことや、公共交通機関をアメリカ合衆国ほどには廃止しなかったこともあって、自動車普及は進んだものの公共交通機関との共存共栄がはかられている。さらに最近では、環境に対する認識の高まりが都市政策にも反映され、環境負荷低減型交通システムとして公共交通の復権や、都市中心部からの自動車の排除が進められている<sup>25)</sup>。

近年の日本の都市は、アメリカ合衆国とヨーロッパの中間に相当する。都心部の旅客交通を担ってきた路面電車は、道路渋滞の解消策として1960～70年代に次々に廃止されていき、その一部は地下鉄に置き換えられたものの、自動車への移行も進んだ。都市近郊では自動車普及により鉄道沿線以外の地区も住宅地として開発されるようになり、都市のスプロールの広域化が生じた。しかし都心部や、都心と近郊を結ぶ放射道路は道路渋滞が激しく、通勤を代表として都心と近郊を結ぶ交通手段の一部を運んでいる。大規模な住宅地開発にあたって鉄道や新交通システムを同時に整備することも一般的に行われている。このように、日本の大都市とその近郊では自動車と鉄軌道との共存が成立している。



(a) モータリゼーション以前の都市広域化



(b) モータリゼーション以降の都市広域化

図5.11 モータリゼーション前後の都市広域化のメカニズムの違い

#### 4) モータリゼーションの段階と定量的指標

モータリゼーションは以下の4つの段階に区分して整理することが可能である。

①「自動車普及」

：自動車保有世帯(者)の割合が増加する

②「交通活動のモータリゼーション」

：交通における自動車利用の割合が増加する

③「ライフ・スタイルのモータリゼーション」

：自動車利用に依存したライフ・スタイルをとるようになる

(例えば、通勤や買い物場所、取引先の選択など)

④「都市構造のモータリゼーション」

：自動車利用を前提とした、あるいは自動車を利用しやすい都市構造になる

(自動車以外に交通手段の選択肢がない)

次に、これらモータリゼーションの各段階を定量的に表現する指標について述べる。まず①は、非集計ベースでは自動車保有の有無、集計ベースでは自動車保有水準(人口や世帯数あたりの自動車保有台数)によって、また②は、非集計ベースでは自動車選択状況、集計ベースでは交通機関(手段)分担率によってそれぞれ定量的に表すことができ、データも比較的整備されている。③については、そのものを表す定量的指標は存在しないが、①および②のデータからある程度推測することができる。また④については、土地利用状況や地価分布(交通利便性の影響を受ける)のような空間分布データや、人口密度、雇用密度などのような密度指標によって把握することができる。

本研究では都市の集計データを用いてマクロ的な分析を行うため、④のデータとしては「D I D人口密度」を用いる。D I DはDensely Inhabited Districts(人口集中地区)の略である。原則として人口密度4,000人/ha以上、人口5,000人以上の連担した地区を指し、日本の国勢調査において「都市的利用」がなされている区域として定義され調査されている地区である<sup>26)</sup>。この定義は外国とは異なるため、国際比較分析には適用できないが、日本国内の都市域を分析するためには有用な定義であると言える。なぜならば、日本の都市はその行政区域内に都市的地域以外の部分を多く含んでいることが多いためである。

都市構造要因としてD I D人口密度を採用する理由としては、モータリゼーションと都市内の密集度との間に、図5・12に示すような連関関係が成立すると考えられるからである。都市への人口流入とモータリゼーションが並行して進む場合、都心部の立地環境悪化と郊外部のモビリティ向上が生じ、郊外部の立地魅力が相対的に上昇する。その結果、都市域が郊外へと低密に広がっていき、D I D人口の増加以上にD I D面積が増加する、すなわちD I D人口密度が低下することになる。逆に、人口密度が低い地域では公共交通の利便性が低くなるため、モビリティ確保のために車保有の必要性が高くなると考えられる。実際、日本の主要都市はいずれもD I D人口密度が低下する傾向にある。



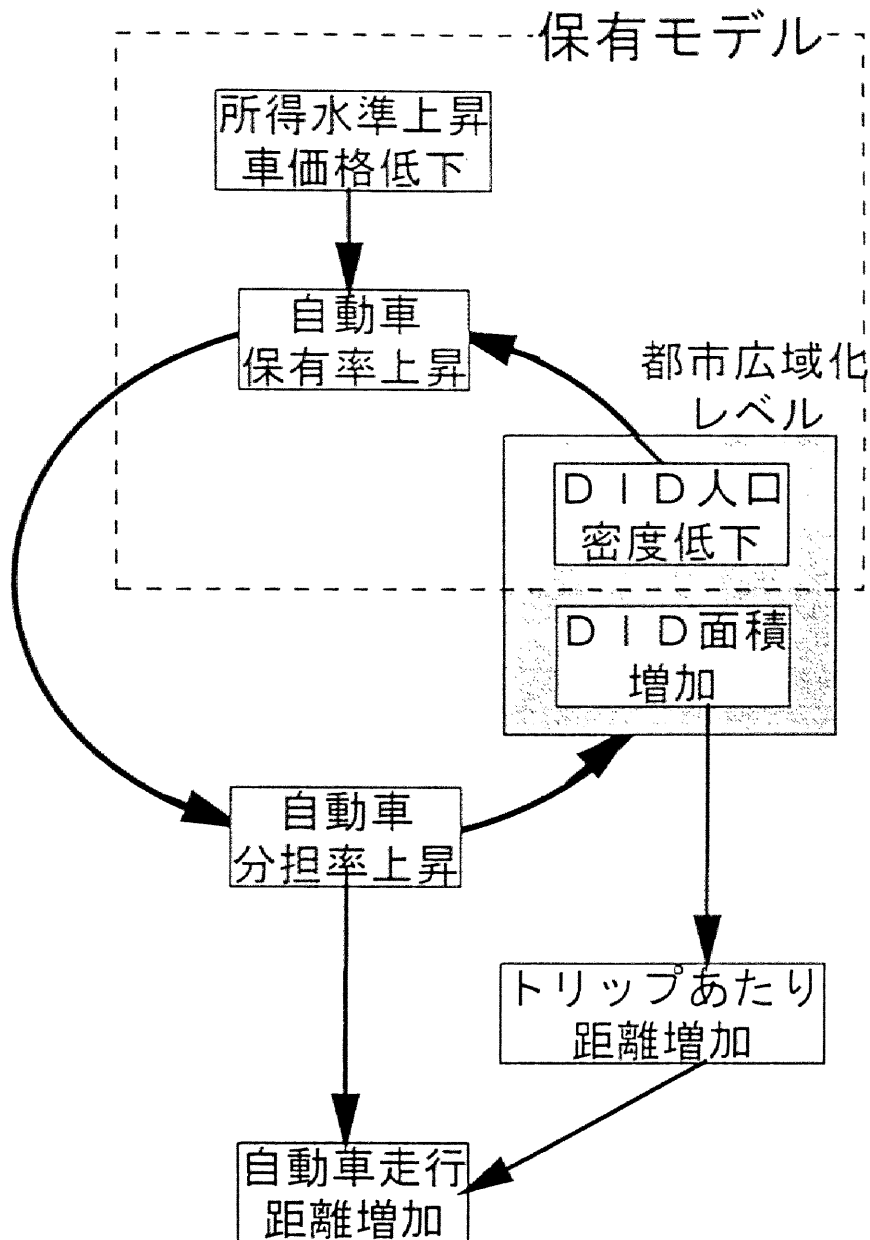


図5. 12 自動車保有水準と都市広域化との連関関係

##### 5) モータリゼーション・アクセラレーション

都市域が郊外に広がっていく際に適正な土地利用誘導がないと、スプロール現象や沿道の線状開発といった、無秩序かつ低密度な広域化が起こる。一方、公共交通機関は人口が沿線に集積していないと採算的に成立しにくいいため、このような地区ではいきおい自動車が交通の主役にならざるを得ない。このようにして、低密度で公共交通の利便性も低い「自動車依存型」都市が形成される。このような状況は、乗用車保有率が全国でも高いレベルにある北関東や東海地方の都市に顕著である。図5. 13は、日本で乗用車保有台数が上位の60都市について、乗用車保有率と人口密度をプロットしたものであるが、人口密度が高いほど保有率は低くなる傾向がある。ただし都市の特性によるバラツキも大きく、特に名古屋市は、道路がよく整備されているためか、人口密度のわりに保有率が高くなっている「特異点」的な都市である。

以上のことから、モータリゼーション進展のメカニズムは次のように整理される。

1000人あたり乗用車保有台数

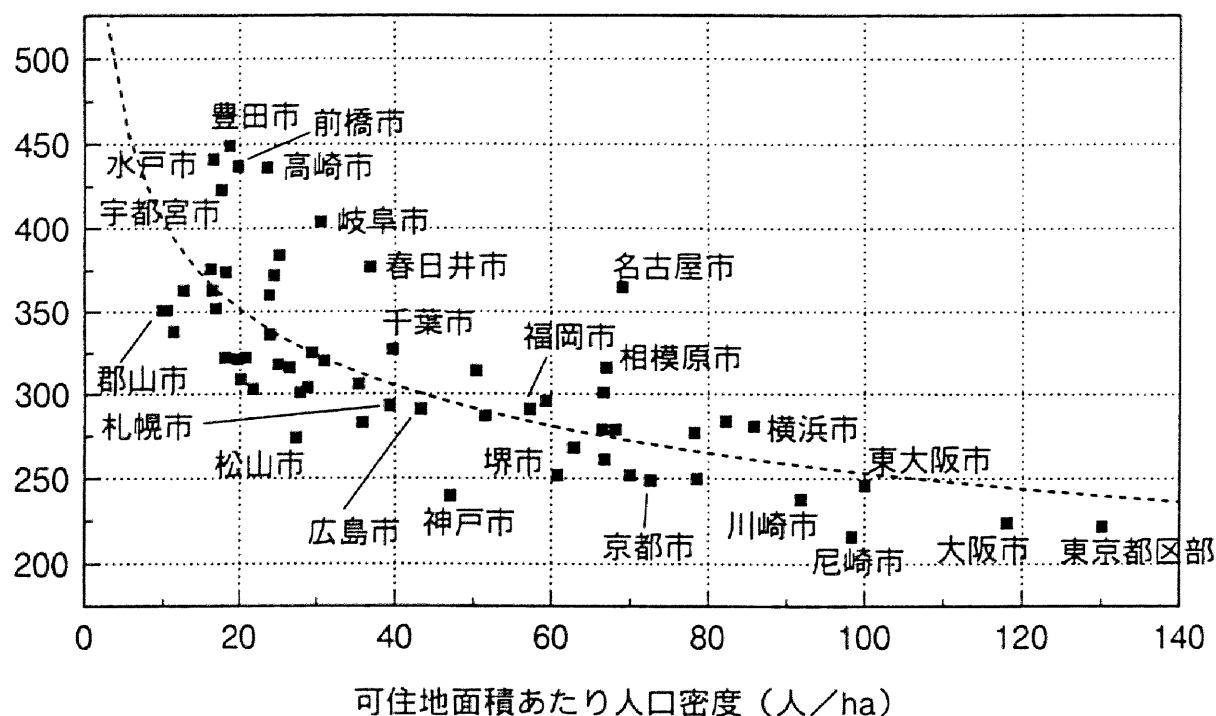


図5. 13 日本の主要都市における乗用車保有率と可住地人口密度との関係（1995）

- (1) 都市の経済発展は所得水準を押し上げ、自動車保有率を上昇させる主要因となった。
- (2) その結果、自動車の利用可能性が高まり、自動車分担率を上昇させた。
- (3) 自動車は道路さえあればどこにも移動可能なため、都市圏の低密度な広域化を誘発した。
- (4) 低密な都市構造では公共交通機関が成立しにくく、徒歩でアクセスできる対象も少ないため、更に自動車の必要性を増大させる結果となった。

このように、自動車普及が都市の経済発展や広域化と相乗効果を生みだし、結果として「自動車依存型」都市形態に行き着く過程を、「モータリゼーション・アクセラレーション<motorization acceleration>」と呼ぶこととする。

#### 5. 4. 2 交通活動に伴う環境負荷発生量の定式化

世界各国の大都市では、交通活動の地球環境負荷発生量が、1人あたりでも例外なく増加している<sup>27)</sup>。その主因はモータリゼーション進展による自動車交通の増加である。モータリゼーション進展は、交通活動に伴う環境負荷を直接的に増加させる原動力となるとともに、交通施設供給の環境負荷をも間接的に増加させるものである。ここでは、交通活動の環境負荷分析を行おうとしているが、そのためには、それに影響を与える要因である交通機関の動力要因、交通体系、交通需要を規定する経済・社会的要因や都市構造要因などが、モータリゼーション進展に伴ってどのような変化を遂げてきたかについてより深く考察を加える必要がある。

そこで、交通活動に伴う地球環境負荷発生量の決定要因を整理するために、以下のように定

式化する。

$$E_u = \sum_k e_u^k \cdot L^k \quad (5.5)$$

$$L^k = (1/n^k) \cdot l^k \cdot P^k \cdot T \quad (5.6)$$

ここで、 $E_u$ ：交通活動の環境負荷発生量 (g-C/日)  
 $k$ ：交通手段 (c：自動車、r：鉄道)  
 $e_u$ ：環境負荷発生原単位 (g-C/台(車両)キロ)  
 $L$ ：総走行台キロ (台(車両)キロ/日)  
 $n$ ：平均乗車人数 (人/台(車両))  
 $l$ ：平均トリップ長 (人km/トリップ)  
 $P$ ：トリップ分担率 (1)  
 $T$ ：総トリップ数 (トリップ/日)

この各辺を総人口  $p$  で除すると、1人あたり環境負荷発生量（地球環境負荷効率）となる。

$$E_u/p = \sum_k e_u^k \cdot (1/n^k) \cdot l^k \cdot P^k \cdot (T/p) \quad (5.7)$$

ここで、 $(T/p)$ はトリップ生成原単位（単位：トリップ/人・日）にあたる。(5.7)式の右辺で示される、交通活動の地球環境負荷発生効率の直接決定要因は、さらに背景となる社会経済的要因や都市構造などによって規定される。以下に、各決定要因について説明する。

#### 1) トリップ生成原単位 ( $T/p$ ):

交通活動の市場規模を示すものである。交通需要のほとんどは、他の人間活動に起因する派生的需要であるため、一般に交通活動の量は他の人間活動と補完的（すなわち正の相関がある）と考えることができる。ただし、通信のような財とは代替的な（負の相関）関係にある。

#### 2) トリップの手段分担率 $P$ :

各手段の利便性によって決定される。利便性は主にその手段へのアクセシビリティや費用によって決まり、アクセシビリティはその機関の整備水準に影響される。自動車については、その保有水準の影響が大きいと考えられる。

#### 3) 平均トリップ長 $l$ :

交通の起終点の立地によって決定されるため、都市規模や密度、都市内の土地利用形態の影響を受ける。また手段によって大きさが異なる。

#### 4) 平均乗車人数 $n$ :

自動車については、ほぼ1.3~1.5人/台の値をとり、時間的にも、また地域的にも安定した値であることが分かっている<sup>28)</sup>。一方、鉄道については、かなりの違いがある。

#### 5) 環境負荷発生原単位 $e_u$ :

時系列的には、動力の技術水準によるところが大きい。技術水準は石油価格や規制によって影響を受ける。また、車両の自重や性能に対する嗜好も影響する。また、自動車に関しては道路混雑の影響が大きく作用し、混雑するほど原単位が大きくなる傾向にある。このメカニズムについては次項で詳説する。

以上5つの決定要因と、先に述べたモータリゼーションの各段階区分とは必ずしも1対1に対応するものではなく、複雑に因果が絡み合っている。この関係を明らかにし、モデル化を行うことが、本章および次章で行う内容である。

#### 5.4.3 名古屋市における交通活動の地球環境負荷の時間的变化

以上の定式化に基づき、モータリゼーションに伴う交通活動の地球環境負荷発生量の増加要因を、実際のデータ（主に名古屋市）を用いて分析する。

##### a) 石油危機による燃費向上 :

図5.14は、名古屋市における自動車の燃料消費量と実質市民総生産との関係の時間的推移を示したものである。ここで燃料消費量は、愛知県のデータ<sup>1)</sup>を自動車保有台数比で配分した値を用いている。この図からも分かるように、交通活動に伴う燃料消費量（すなわちCO<sub>2</sub>排出量）は市民総生産にほぼ比例して増加してきている。ただし、1973年にはその傾きがやや小さ

自動車燃料総消費量 (万kl)

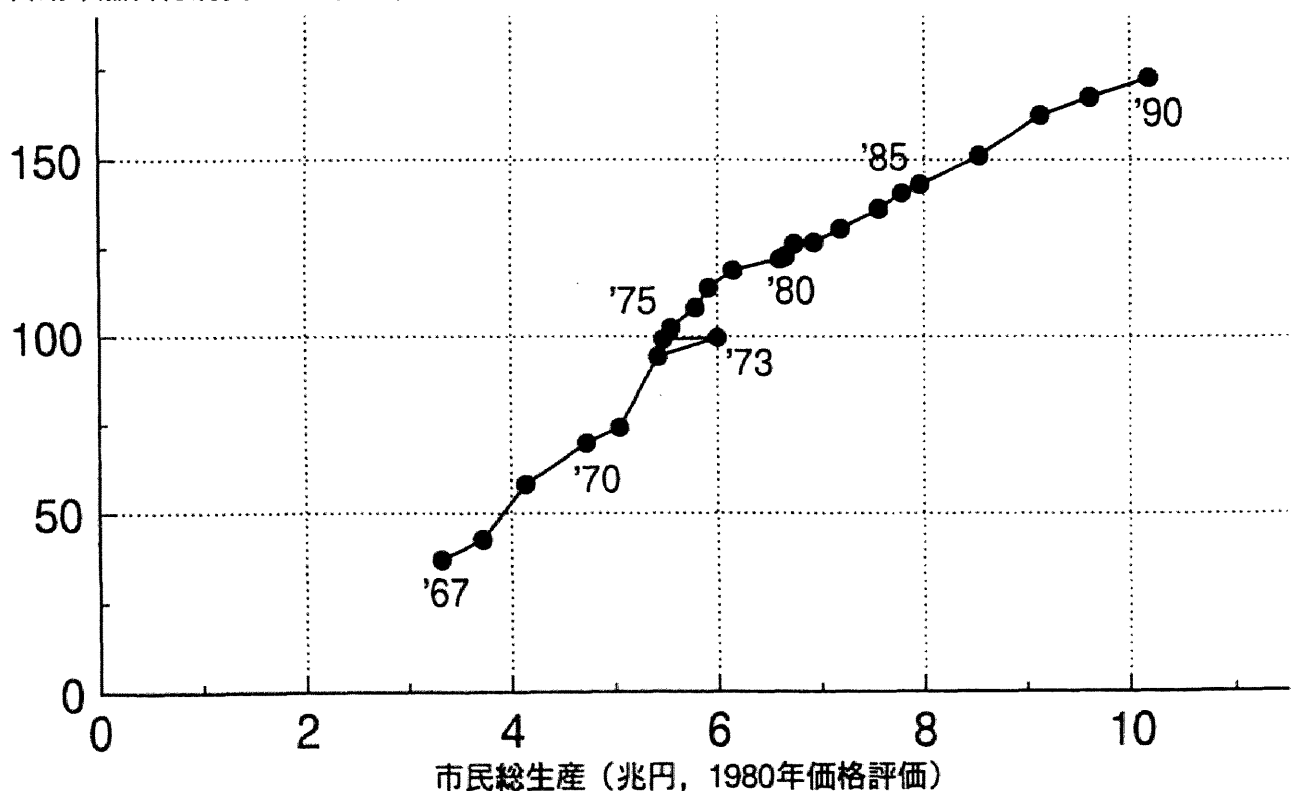


図5.14 名古屋市における自動車燃料消費量と市民総生産との関係

自動車1台あたり燃料消費量  
(l/台・年)

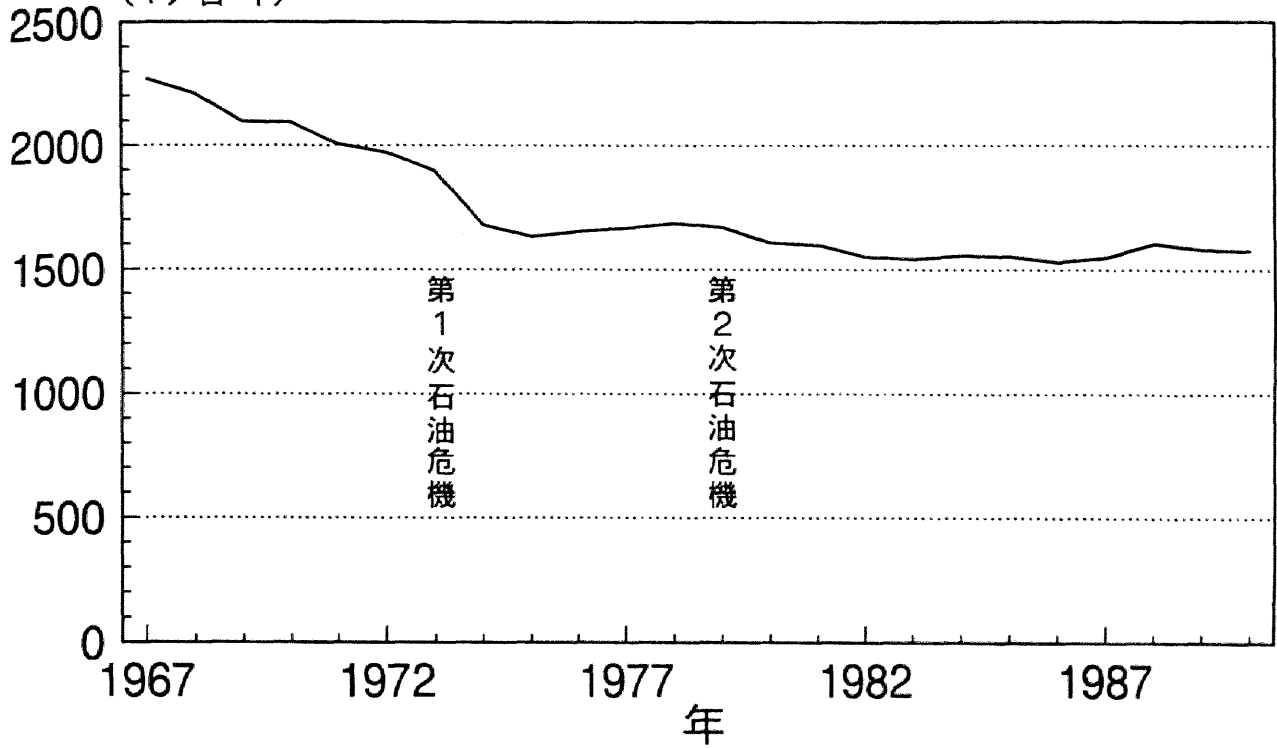


図5. 15 名古屋市における自動車1台あたり燃料消費量の推移

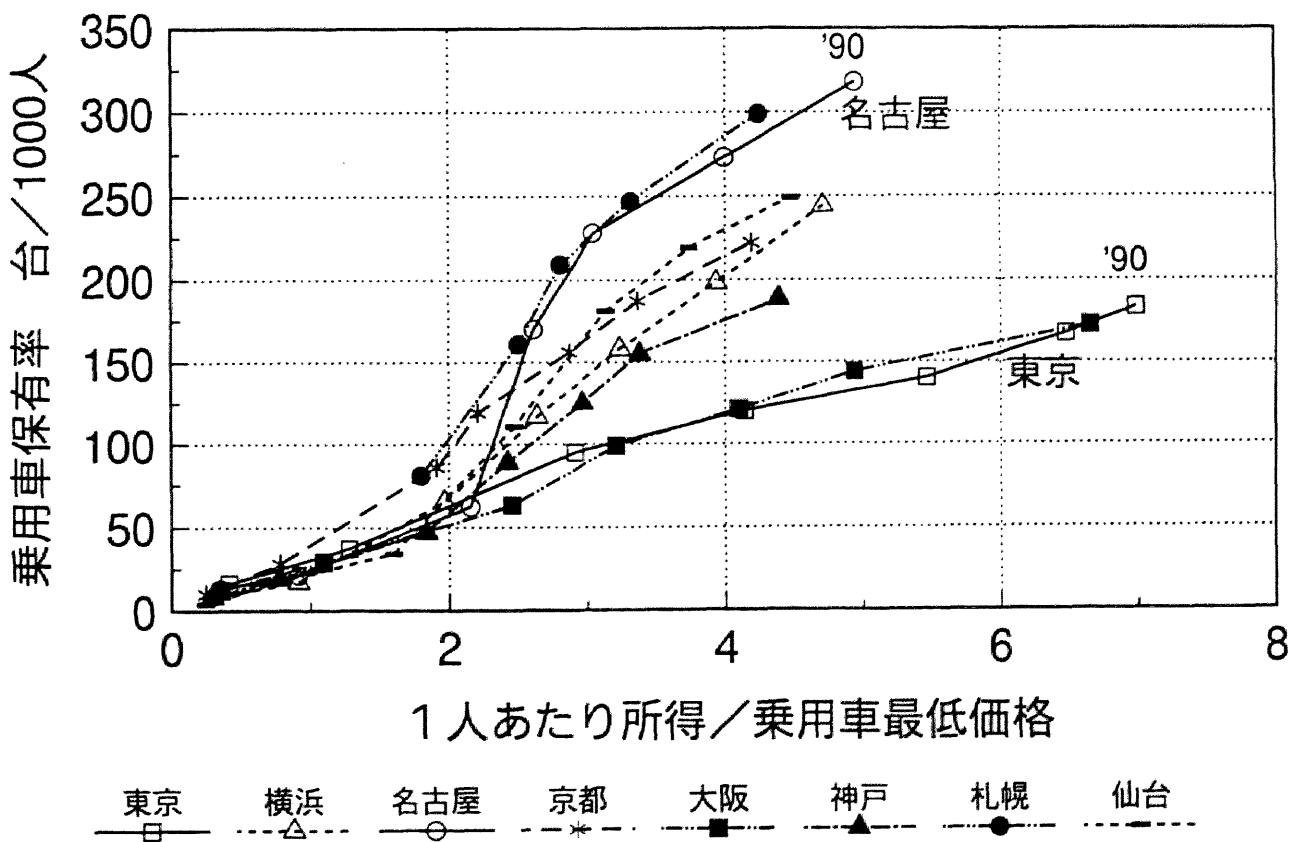


図5. 16 日本の主要都市における乗用車保有率の推移

自動車分担率 (%)

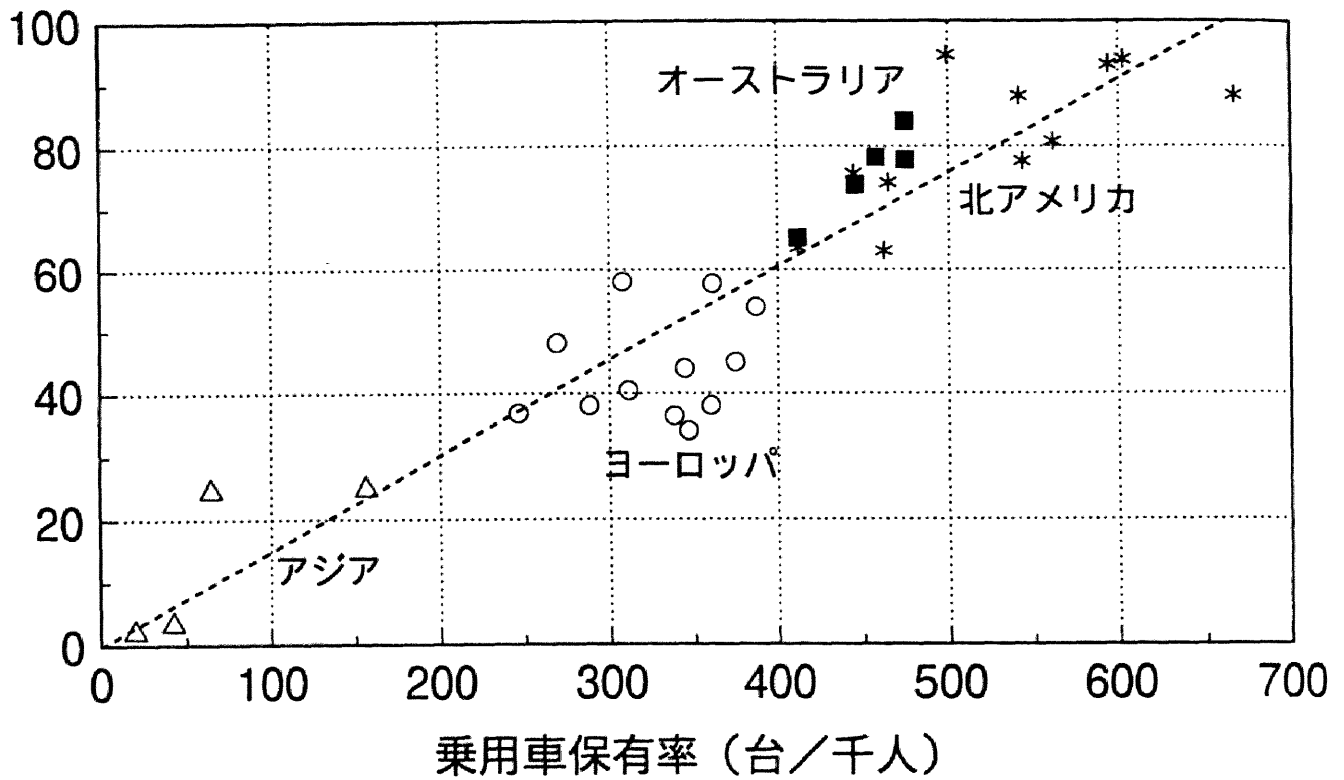


図5. 17 世界の主要都市における乗用車保有率と自動車分担率との関係(1980)

平均走行距離 (km/台)

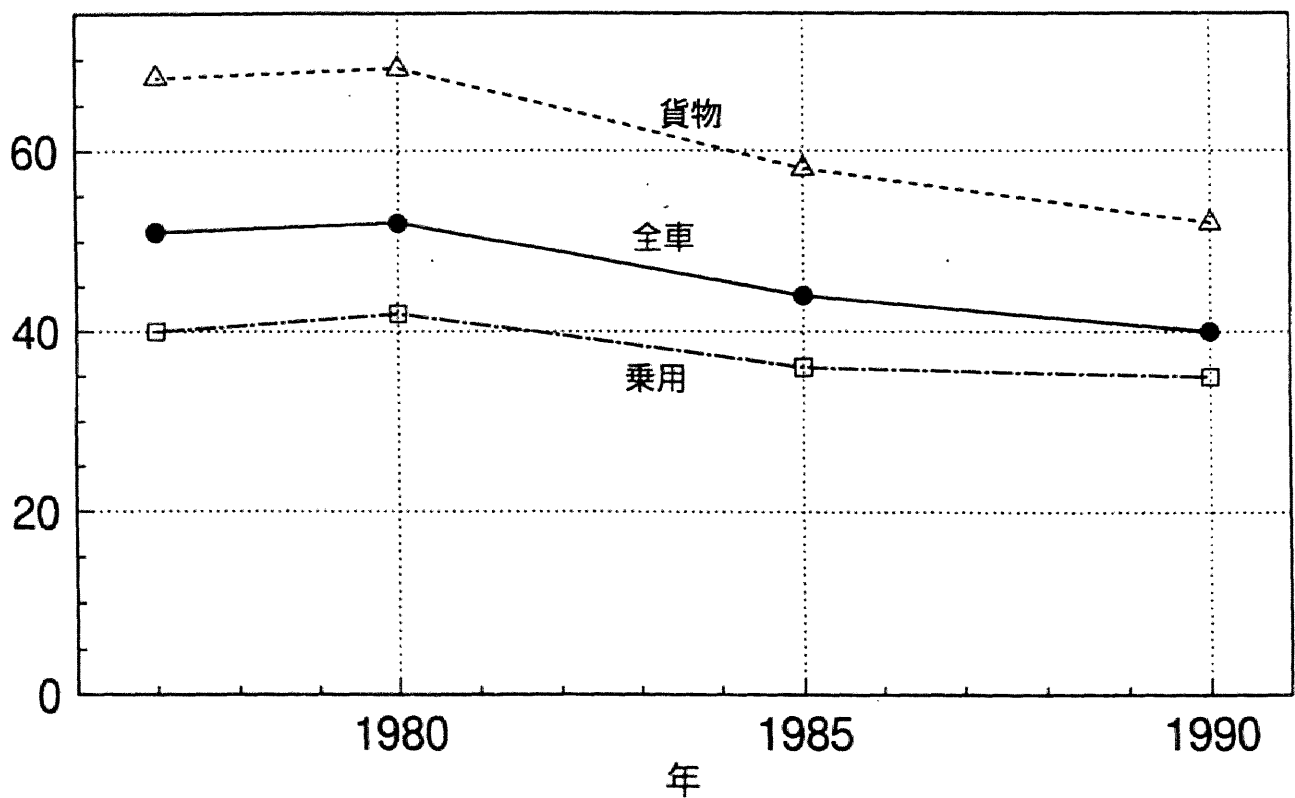


図5. 18 名古屋市における自動車平均走行距離の推移

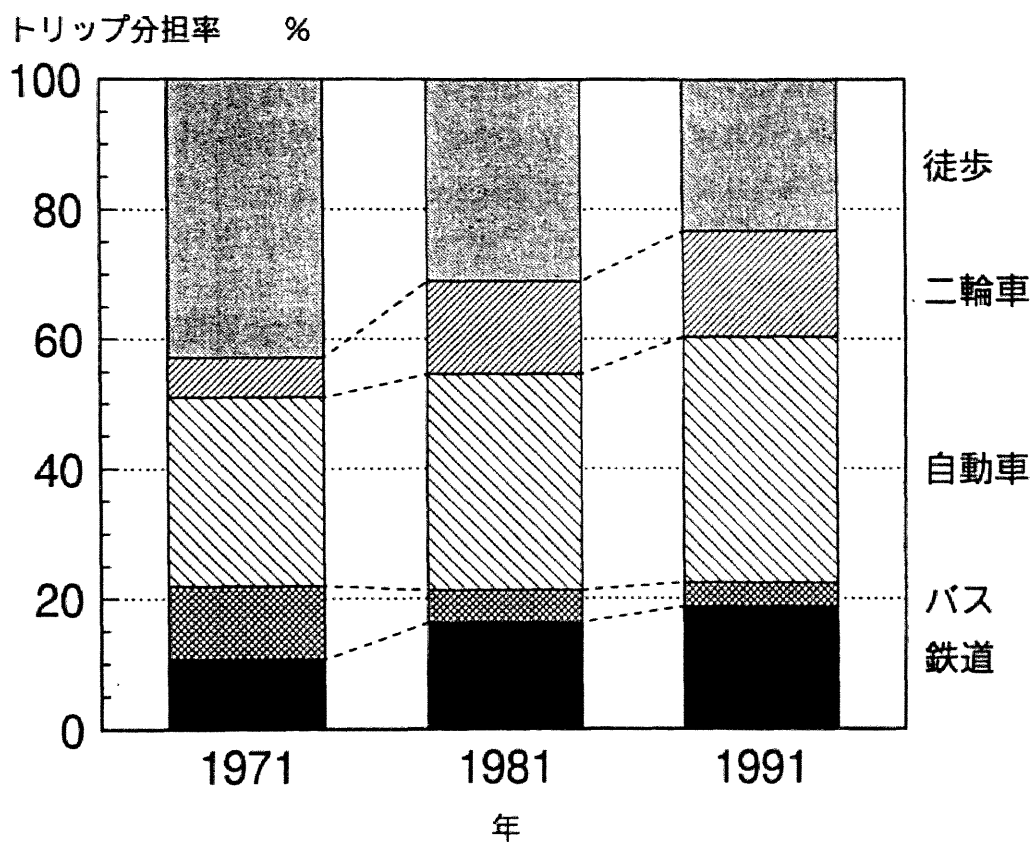


図5. 19 名古屋市発トリップにおける代表交通手段構成比の推移

交通エネルギー消費 (MJ/人・年)

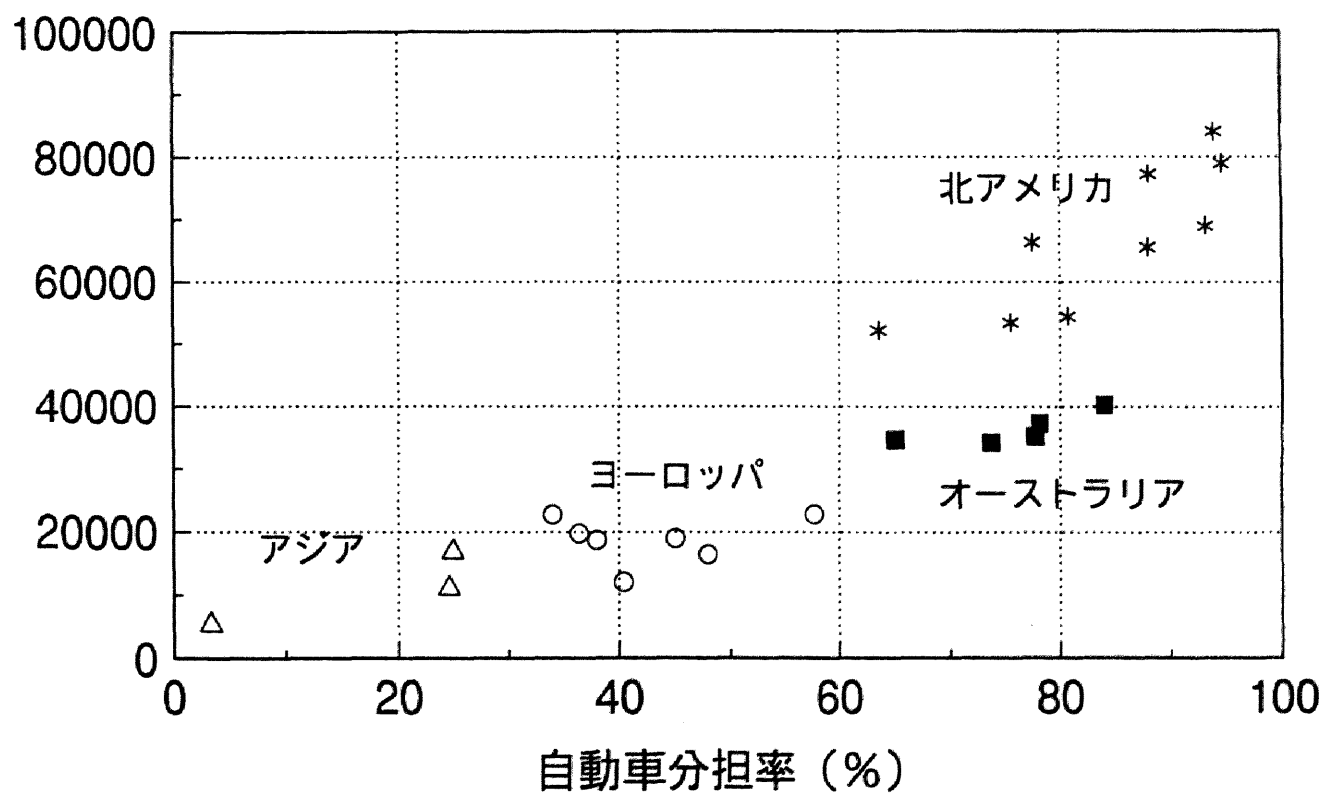


図5. 20 世界の主要都市における自動車分担率と交通エネルギー消費との関係

くなり、その後もやや持ち直したものの以前より増加が鈍ってきている。これは、2度の石油危機によって、燃費改善や低燃費車への移行が進んだ時代である。図5. 15に名古屋市の自動車1台あたり燃料消費量の推移を示す。この図からも、石油危機の時期に燃費改善が大きく進んでいることが分かる。これは  $\alpha$  を小さくする（技術水準の向上）政策であり、発生源や燃料にさまざまな対策が施された結果、非常に大きな効果があった。

b) 自動車普及と都市広域化による総走行台キロの増加：

しかし、環境負荷発生量の増加は、多少その速度を緩めたとはいえ、止まることはなかった。これは、自動車の総走行台キロ  $L^{\circ}$  の増大傾向によるものである。この要因として以下のことが挙げられる。

①自動車保有水準の上昇：

所得水準の上昇によって、相対的な自動車保有コストが低下し、自動車保有水準が上昇する。図5. 16は、日本の主要都市における乗用車保有率（人口1000人あたり乗用車台数）と所得水準（1人あたり実質所得）との関係の時間的推移を示したものであるが、所得水準の上昇による自動車の普及が、都市間の違いこそあれ年々進んできたことが分かる。その結果、自動車利用に対するアクセシビリティが向上し、自動車の機関分担率  $m^{\circ}$  の上昇を通じて、 $L^{\circ}$  の増加に結びつく。

図5. 17は、Newman and Kenworthy<sup>29)</sup> のデータを用いて世界の主要都市について1980年の自動車分担率と乗用車保有率をプロットしたものであるが、正の相関関係が見られる。

名古屋市における実際のデータによると、図5. 18に示すように自動車の平均トリップ長  $l^{\circ}$  がほとんど変化していないのに対し、図5. 19に示すように自動車分担率  $m^{\circ}$  は上昇傾向にある。結果として、第1次石油危機前後を除いては自動車保有率の上昇が環境負荷発生量を高めてきたと言える。

図5. 20は、1980年の世界の主要都市における自動車分担率と1人あたり交通活動エネルギー消費量との関係をプロットしたものである。この2つの間には明確な相関関係が存在することが見て取れる。

#### 5. 4. 4 道路交通状況と環境負荷発生原単位との関係

自動車の走行状態は、加速・定速・減速・停止（アイドリング）の4つのモードに分けられる。道路混雑が生じると、環境負荷が多く発生する加速・停止モードの割合が多くなり、結果的に環境負荷発生原単位  $e_u$  を増加させる。これは、基本的には大気汚染物質もCO<sub>2</sub>も共通である。よって、自動車走行の環境負荷発生原単位は道路混雑状況に影響されるため、それを考慮した原単位を定式化する必要がある。道路状況を表す指標としては、市中を走る自動車の平均的な走行条件を表すものが望ましい。石田・小島・岩倉・七元<sup>30)</sup> は、環境負荷発生原単位に関する既往研究をまとめているが、いずれの研究でも、主に実用性の面から（停止時間を含んだ）平均走行速度  $\bar{v}^{\circ}$  を説明変数として用いている。これについて、大口・谷口・岡本<sup>31)</sup> は、実測燃費による分析結果と自動車エンジン・車両の理論モデルの検討とを比較することにより、燃費が平均走行速度（旅行速度）である程度説明できることを理論的・実証的に示している。



したがって、自動車の環境負荷発生原単位  $e_{\text{汽}}$  は、その決定要因を技術水準と混雑状況とに分けた以下の式によって表すことができる。

$$e_{\text{汽}} = \alpha \cdot g(\bar{v}^c) \quad (5.8)$$

ここで、 $\alpha$  : 発生源の技術水準を表すパラメータ  
 $g(\bar{v}^c)$  : 平均走行速度  $\bar{v}^c$  の関数

本研究では、日産自動車交通研究所の実測によるデータ<sup>32)</sup>を参考に、以下の(5.9)式で表される燃費曲線を用いる。燃費はエネルギー消費原単位(単位走行台キロあたりエネルギー消費量)の逆数である。式形は、既往研究で最もよく用いられている2次関数を採用している。

$$f = 0.0036 \cdot \bar{v}^2 + 0.41 \cdot \bar{v} + 1.25 \quad (5.9)$$

ここで、 $f$  : 自動車の走行燃費 (km/ℓ)

これは、排気量2000ccの乗用車の走行実験による実測値に基づくものである。実際の車はこれよりバラツキがあるが、それを実際のデータで説明することは困難であるので、この値を平均的なものと見なして利用する。

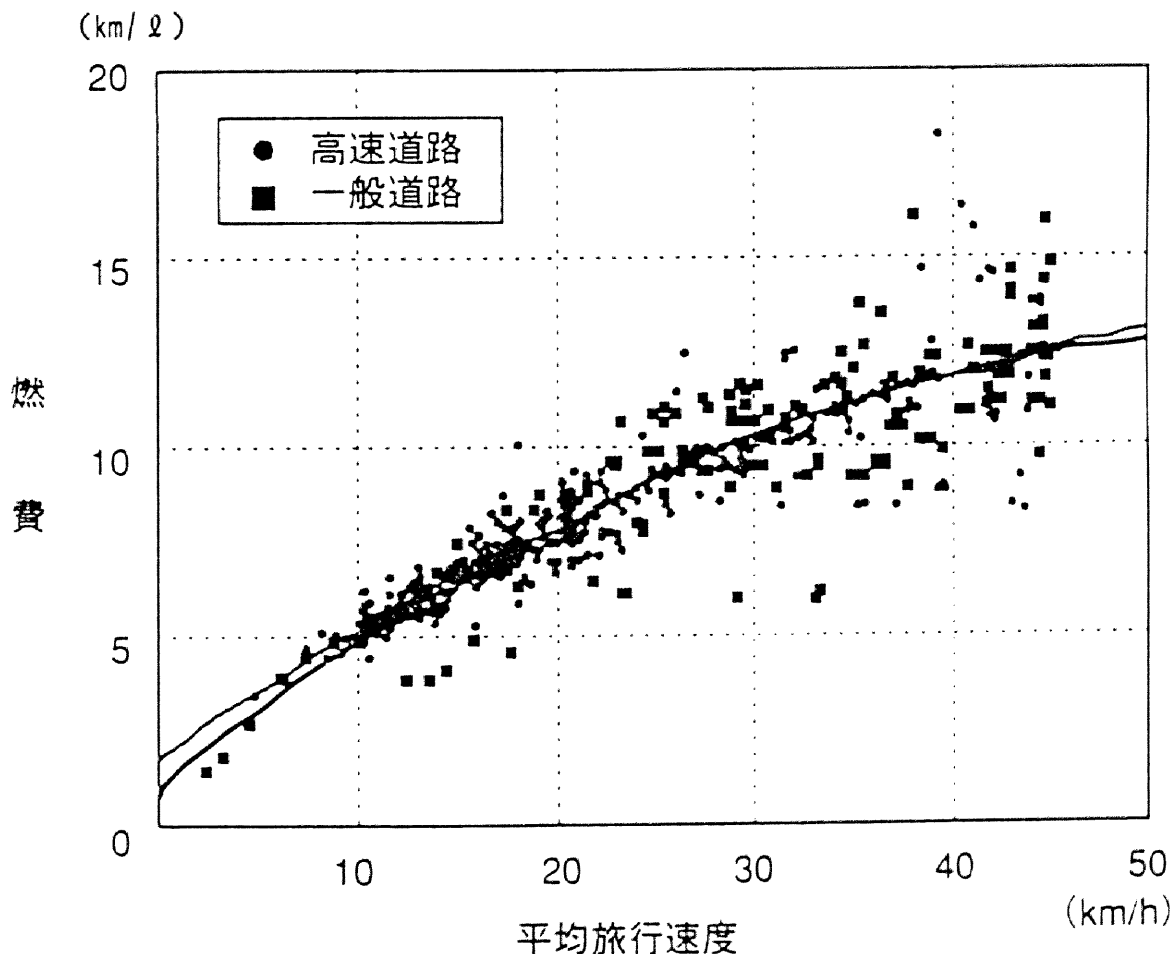


図5.21 平均走行速度と燃費との関係<sup>32)</sup>

式(5.9)をグラフに描いたのが図5.21である。その特徴として、50km/h以下の範囲では平均走行速度が低下するほど燃費は低くなり、特に20km/h以下で低下の割合が大きい。

道路混雑は、交通需要量増大に対して道路インフラの供給が十分でない場合に起こる。都市部の場合には、交差点が交通流の主要な障害である。また、例えば道路を新設した場合でも、当初は交通がスムーズに流れるが、時間の経過に伴って沿道への立地が増し、そこからのアクセス交通が増え、信号設置も増えて、道路上の速度が著しく低下するといった現象も、日本ではしばしば見られる。したがって、上の燃費曲線の例からも、混雑の解消が環境負荷削減に好影響をもたらすことが分かる。

#### 5.4.5 都市交通地球環境負荷量変化のメカニズム

以上の分析結果により、都市交通の地球環境負荷の変化は次のようにまとめられる。

##### 1) 都市成長

都市成長には、a)経済成長、b)人口増加、c)面積増大、の3つの側面がある。a)経済成長によってb)都市への人口流入が生じ、都市の交通に対する需要が増大する。それとともに、都心部の地価上昇や生活環境の悪化が生じ、c)都市範囲の広域化が起こる。

##### 2) 自動車普及

経済成長により所得水準が増大すれば、自動車の購入可能性が高まり、その保有が促進される。

##### 3) 交通活動のモータリゼーション(利用交通手段の変化)

自動車普及により、自動車を利用可能な層が増加し、交通における自動車利用の割合が増加する。

##### 4) ライフ・スタイルのモータリゼーション(トリップ特性の変化)

都市広域化とともに、自動車保有の増大や通信手段の発達、買い置きなど消費行動の変化、宅配など物流の変化といったライフ・スタイルの変化により交通需要が変化する。広域化が起こると比較的長い距離のトリップが増加し、通信手段の発達や買い置きはトリップ数を減少させ、宅配など個別輸送の増加はトリップ数の増加を招くと考えられる。よって交通需要の変化はトリップ長分布やトリップの生成原単位の変化といったトリップの特性の変化として現れる。

##### 5) 不十分な交通施設整備による環境負荷原単位の悪化

経済の発展による交通需要の変化に対応するため、政策として鉄軌道、道路など交通施設が整備されるが、広域化の進展に対して鉄軌道の整備が遅れると自動車の利用を促進することになり、交通需要の増大に対して道路整備が遅れると交通渋滞の悪化を招く。

これらの要因の相互作用の結果、自動車と鉄道それぞれの総トリップ長が変化し、交通の地球環境負荷量も変化する。自動車に関しては、渋滞による平均速度の低下も地球環境負荷の増

加の原因となる。

#### 5. 4. 6 発展途上国の都市における今後の環境負荷発生の動向分析

発展途上国の大都市では、現在急激な人口や都市域の膨張が続いている。国際連合・人口部の予測では、全世界の都市人口比率は、1990年の43%から2025年には61%に上昇すると予測されている。そのうち、日本を除くアジアが29%から54%へ上昇が予想され、もっとも都市への人口流入が著しい地域であるとされている。また中国では、1990年の28%から2010年には50%にまで上昇すると予想されている<sup>33)</sup>。

途上国大都市の中で従来からの市街地は、交通施設もかなりの高レベルで整備されていることが多い。ところが、農村部から急激に流入してきた人口に対しては、それを吸収するに十分な雇用機会や都市スペースがないために、雇用が得られない層が従来市街地より条件の恵まれない場所にスラムを形成する。このことが、発展途上国大都市が所得や生活環境の格差を内包することにつながっている。

このように、先進国大都市では雇用機会の増大によって都市人口が増大した歴史を持っているのに対して、発展途上国では雇用機会が不足しているにもかかわらず都市に人口が集中するという点で大きな違いがある。

また、途上国に顕著な傾向としては、人口の首位都市への一極集中が挙げられる。これは、首位都市と国内他都市との格差をますます助長するとともに、首位都市における都市問題の急激な顕在化を招くことになる。

このように、急激な都市肥大化に対して都市基盤整備の進行が追いつかない状況は、将来の都市発展を抑制することにつながりかねない。そのことが最も懸念されている分野の1つが交通である。交通需要増大に見合うだけの交通施設整備を行わないと、今後交通渋滞の激化による時間損失はもとより、交通活動に伴う各種環境負荷のいたずらな増大を招くことになる。実際、バンコクなど一部の途上国大都市では、都市交通施設整備の遅れによる激しい道路渋滞が既に顕在化している<sup>34)</sup>。

このことに焦点を当てた研究として、臼井・花木・秋元<sup>35)</sup>や、中山・金子・藤倉・井村<sup>36)</sup>の事例がある。図5. 22は、中山・金子・藤倉・井村の研究により、東アジアの主要な大都市における1人あたりGDPと自動車保有水準の時間的推移をまとめたものである。この図より、この両者の間には相関関係があることが示されており、現在は自動車保有率が低い発展途上国の都市でも、今後所得水準が上昇してくれば、急激な保有の増大が予想される。

また、臼井・花木・秋元は、中国の各省における自動車保有水準とNO<sub>x</sub>排出量の将来推計を試みている。その中で、自動車保有水準を以下の1次関数モデルで表し、実際の時系列データ(1990～94年の5点)からパラメータ a, b を推定している。

$$(1000人あたり自動車保有台数) = a \cdot (1人あたりGDP) + b$$

$$\text{北京: } a = 0.00372, b = 7.4326 \quad (R^2 = 0.990)$$

$$\text{天津: } a = 0.00255, b = 5.8502 \quad (R^2 = 0.965)$$

$$\text{上海: } a = 0.00102, b = 5.2517 \quad (R^2 = 0.996)$$

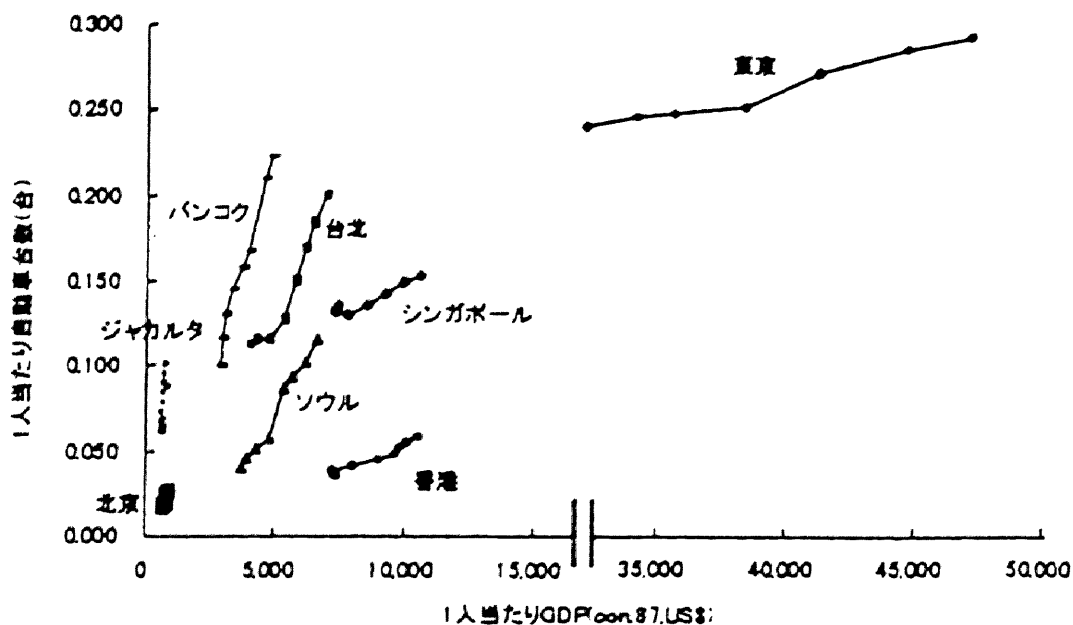


図5.22 アジア主要都市における自動車保有率の推移<sup>36)</sup>

このモデルを用いて、北京の自動車保有水準を予測する。実質経済成長率として、世界銀行の想定値である7.6%を用いる<sup>33)</sup>。すると、1994年の実績値が44台/1000人であったのが、2000年には63台/1000人、2010年には124台/1000人、さらに2020年には250台/1000人へと上昇する。この値は1990年のバンコクより高く、1980年の名古屋とほぼ同水準である。したがって、図5.22の中でも経済発展が遅れている中国の大都市でさえ、今後30年のうちに本格的なモータリゼーション時代に突入することが確実である。

このように、広大な面積と巨大な人口を持つアジア東部の発展途上国で急激な都市化とモータリゼーションが進展した場合、環境への影響は計り知れないものとなろう。特に、日本の北関東・東海地方やアメリカ合衆国の諸都市のような自動車依存型の発展をたどった場合は最悪である。地球規模の環境悪化を防ぐためにも、早期に対策を講じることが必要である。

そのためにも、過去に先進国がたどってきた、そして今後発展途上国がたどるであろうモータリゼーション進展と、それに及ぼす交通施設整備の影響に関する詳細な分析を行う必要がある。そこで、5.5節では①自動車の保有動向について日本の主要都市の時系列データを用いて分析を行う。さらに5.6節では、②交通手段分担および③トリップ特性の動向について、名古屋市における過去3回のパーソン・トリップ調査結果<sup>2)-9)</sup>を用いて具体的に分析する。

## 5.5 経済成長と都市広域化に伴う自動車保有水準上昇の分析

### ー日本の主要都市の乗用車保有率の推移からー

都市におけるモータリゼーションの進展は、個人や企業のモビリティを面的に高め、利用可

能な土地を増加させることによって都市の空間的・経済的発展を促進させる効果を持つ。その一方で、都市の低密・外延化の誘因となって効率的な土地利用を阻害するとともに、道路混雑の発生によって交通施設の量的・質的整備が求められるなどといった問題点もあり、公共部門の対応いかんでは逆に都市発展のボトルネックとなる要素も持ち合わせている。更に近年では、モータリゼーションは環境へのインパクトという面でも注目される存在である。大気汚染や騒音といった局地的影響や、CO<sub>2</sub>排出による地球温暖化への寄与という面で、自動車の影響は年々増大し続けている。

したがって、都市における交通施設整備政策や、環境負荷抑制策を立案するにあたっての基本的な情報として、モータリゼーションに関しての進展予測や各種政策の影響評価を行うことが必要不可欠である。それゆえに従来より、モータリゼーション進展度合を表す指標である、個人もしくは世帯あたり自動車保有水準を説明するための計量モデルを構築する試みが続けられてきた。しかし、従来の計量モデルでは、自動車保有の都市間の差異と経年変化をともに表現し、交通施設整備や都市構造の変化による影響を分析することはできていない。そのため、今後経済成長が進む発展途上国の都市において、自動車保有がどのように増加していくかを説明する計量モデルの構築はいまだ不十分な状況にある。

そこで本節では、自動車保有に関する計量モデルの既往研究をレビューするとともに、自動車保有水準とそれを規定する所得水準や交通施設整備水準などの要因との関係を分析し、6.5節で行う自動車保有水準の計量モデル化のための考え方を整理する。用いるデータは、戦後に高度経済成長を経験していることによって、所得水準について広いレンジのデータを得られることや、入手の容易性から、日本国内の主要都市の時系列データを用いる。具体的には、必要なデータ<sup>37) - 46)</sup>を得ることのできた、東京都区部および川崎、横浜、名古屋、京都、大阪、神戸、札幌、仙台、新潟、金沢、北九州、福岡、熊本の各市である。

なお本研究では、自動車保有水準の指標として、1,000人あたり乗用車保有台数（以下「乗用車保有率」）を用いる。乗用車とはナンバープレートが3・5・7ナンバーの車両である。自動車でなく乗用車を対象とするのは、個人や世帯の車保有に対する意識をより強く反映している指標であるとともに、経済変動に対して安定的であると考えられるからである。軽自動車に関しては統計上の分類が一定でないことや、多くが貨物車として登録されていることから、本研究では乗用車台数に含めないこととした。

#### 5. 5. 1 自動車保有モデルに関する既往研究の整理

既往の研究により提案された自動車保有率モデルは、分析に用いるデータの種類によって、

1)集計型と2)非集計型に大別できる。

##### 1) 集計モデル

地域や国単位のデータを利用するもので、その地域の平均的状态を表現するモデルである。集計データは各地域・時系列のものが得やすく、その推移を追うことができるが、個人レベルの詳細な保有行動の分析には適さない。

集計モデルを用いた研究には、a)各地域の時系列分析と、b)時点ごとの地域横断（クロスセクション）分析がある。前者には世界各国を対象とした中村・肥田野・荒津の研究<sup>47)</sup>や、東南

アジア各国を対象とした鹿島・肥田野の研究<sup>48)</sup>、日本のデータを3期に分けて分析した肥田野・鹿島の研究<sup>49)</sup>などがある。後者には、全都道府県を4時点で分析した鹿島・本多・森の研究<sup>50)</sup>、全国の都市の保有要因を分析した芦沢の一連の研究<sup>51) - 53)</sup>が代表的である。更に、地域・時点差を考慮し都道府県別の保有率モデルを構築した伊藤・石田の研究<sup>54)</sup>では、時系列でのパラメータ変化を分析し、保有率決定要因の経年変化を分析している。

## 2) 非集計モデル

世帯や個人などの意思決定主体に関する個別データを利用し、その主体の保有行動メカニズムをモデル化するものである。集計モデルと比較して政策変数選定の自由度が高く、例えば自動車関連税の賦課や車庫費用の変動、公共交通機関へのアクセシビリティといった変数を説明要因に組み込むことができ、パラメータの信頼性も高いモデルの構築が可能である。この例としては、日本の都市の世帯の保有要因を分析した肥田野・鹿島の研究<sup>49)</sup>、都市圏による保有要因の違いを分析した森地・田村・屋井・金の研究<sup>55)</sup>、世帯の乗用車保有行動を集計・非集計レベルで分析し、非集計での乗用車保有・車種選択モデルを構築した研究<sup>56)</sup>、世帯をライフサイクルステージに分け、各ステージにおける世帯自動車保有台数や増車時期を推定するモデルを構築した青島・磯部・宮崎・安村の研究<sup>57)</sup>などがある。

しかし、政策分析に用いるにあたっては、地域・時間移転性という非集計モデルにつきものの問題があることに注意する必要がある。実際、既往研究においても、1時点での分析にとどまることが多い。また、保有構造（パラメータ値）が都市圏別に異なることが結論づけられるにとどまり、その都市圏間差異の要因を説明するモデルにはなっていない。また、自動車保有を説明する有意な要因は、年齢、性別、免許保有の有無といった操作不能な個人属性が大部分であり、将来予測はともかく政策予測に必ずしも有効であるとは限らない。

## 5. 5. 2 既存研究のまとめと問題点

これらの既存研究により、自動車保有に強く影響する要因をまとめると、a)経済的制約としての「所得水準」、b)利用可能者数による制約としての「運転免許保有者数」、c)自動車の利便性向上要因としての「道路整備水準」、d)代替機関の利便性としての「公共交通機関の整備水準」、e)都市の大きさや密度といった「都市構造要因」の5つが挙げられる。時点間の比較分析によれば、a)は高度経済成長期には支配的要因であるが近年ではあまり利かなくなることが分かっている。b)は安定的に影響があるが政策分析に利用不能な変数である。c), d), e)に関しては、それらを表すマクロデータのとり方が研究によりまちまちであり、またサンプルのとり方の違いもあるため、その効果の把握が困難になっている。e)は、トリップ距離や公共交通のアクセシビリティなどに直接的に影響を与えるほか、地価を変化させることで車保有コストにも影響を与えるものと考えられる。

一方、推定されたパラメータが抱える問題として、時間・地域移転性の欠如が挙げられる。一般に、時系列分析の結果有意となる変数は所得水準であるが、クロスセクションデータの場合は都市構造や交通施設整備水準が有意となり、所得水準は有意な変数とならないことが多い。有意な場合でも、時系列データから推定されたパラメータ値と、クロスセクションデータから推定されたパラメータ値とでは大きく異なってくる。

したがって、既往の自動車保有率モデルでは、時系列分析による各地域の将来トレンド予測や、クロスセクション分析による各種政策の短期的効果の感度分析はある程度可能である。しかし、都市間の自動車保有構造に違いがあることや、その差異が都市の成長の間に徐々に生じていくことは示されていても、いかなる要因によってそれが生じるのかについて表現することができていない。そのため、現在所得水準が低くモータリゼーションが進んでいない発展途上国の都市が、今後経済成長によってどのような自動車保有増加経路をたどっていくかということについて答えを出すことができないのである。

### 5. 5. 3 所得水準の上昇による自動車保有状況変化の段階区分

ここでは、日本の主要都市における自動車保有水準増加の特徴を分析し、6. 5節における自動車保有率モデル構築のための基本的考え方を示す。

まず、乗用車保有率を経年的に規定する要因として、所得水準との関係进行分析する。所得水準の指標としては、実質市民所得を人口で除した値を用いるのが一般的である。実質値は名目値を物価水準で基準化したものであり、ここでは乗用車保有に着目しているため、物価水準には一般に用いられるGNPデフレータの代わりに乗用車価格を利用する。したがって、所得水準として、「車価格基準化所得水準」（1人あたり名目所得を乗用車価格で除した値）を用いる。この値は、個人が1年間の所得をすべて車につぎ込んだ場合に購入可能な車の台数に相当する。乗用車価格のデータは、各年にトヨタ自動車が発売した全車種のうち最も安価な車の価格<sup>58)</sup>を適用し、どの都市でも同じと仮定している。用いた車価格、およびGNPデフレータの推移を図5. 23に示す。平均的な物価水準に比べて車価格の上昇が少なかったことが分かる。

図5. 16<前掲>では、分析対象都市のうち、都市圏の中心的都市と考えられる8都市について、乗用車保有率の経年変化を示した。これを見ると、どの都市でも所得上昇につれて保有率が增大しているが、地方都市において、基準化所得が1.5～2のとき保有率の増加の割合が急激に上昇し、3程度から増加割合が安定していることが分かる。このことから、自動車保有状況は以下の3つの期に分けることが可能である。

#### 第Ⅰ期：車がゼイ沢品の段階（車価格基準化所得水準が1.5未満）

どの都市でも所得の伸びに対しほぼ一定の伸び率で乗用車保有率が上昇している。保有率は50台/1000人以下とかなり低く、高所得者層を中心に車保有が進んでいたものと考えられる。この時期は車はゼイ沢品であり、保有率の所得弾性値が高く、都市間の差異は見られない。

#### 第Ⅱ期：車の大衆化の段階（車価格基準化所得水準が1.5～3程度）

この期になると、保有率上昇が急速に進み、車の大衆化の時期に入る。これは、車保有が可能な所得層が多くなるため、必要性が高く保有の制約の少ない個人は車を保有するようになるためと考えられる。また、保有率上昇割合の都市による差が生じるのもこの時期である。これは、都市による車保有の必要性の違いによるものと推測される。

物価水準（1980年＝100）

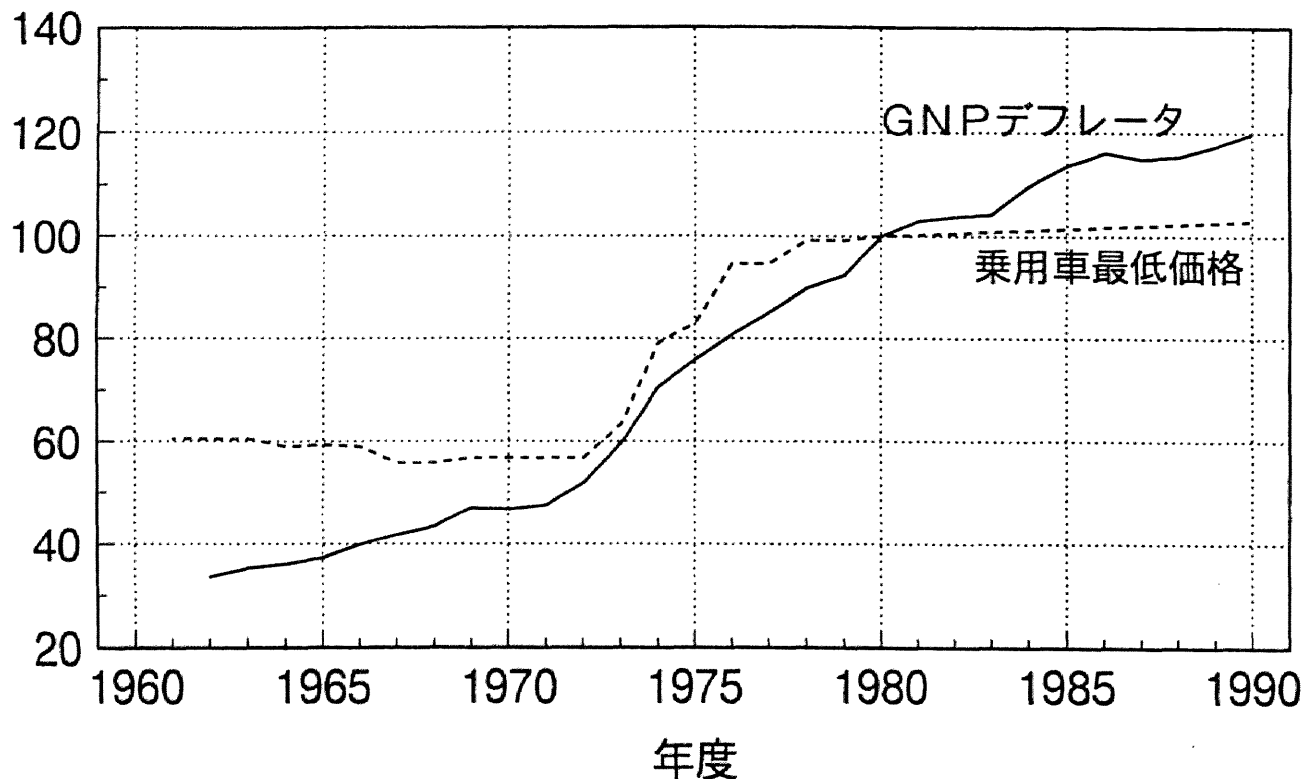


図5.23 乗用車価格およびGNPデフレータの推移

### 第Ⅲ期：車保有の飽和・多様化の段階（車価格基準化所得水準が3以上）

この期まで来ると、所得上昇に対する保有率の上昇は緩やかになる。これは車保有の必要性の高い個人は、所得水準上昇によってほぼ全員車保有が可能となり、実際に保有するようになるためである。また、地価上昇などによる保有コストの増大や、都市によっては鉄道整備水準の上昇なども保有率上昇の抑制要因としてはたらいっているものと考えられる。この期では世帯複数保有や高級車購入も一般化する。

以上のプロセスは既往研究からも裏づけられる。第Ⅰ・Ⅱ期では所得が主要な説明要因であるが、第Ⅲ期では所得弾性値は小さくなり、むしろ都市間の差異が顕著となることが明らかにされている。

このような乗用車保有の普及プロセスは、電化製品のような耐久消費財のそれと類似している<sup>59)</sup>。ただし耐久消費財と違い、都市によってその増加の所得弾性値や飽和水準は著しく異なる。これは、都市による車保有の必要性の違いによって生じると考えられる。それについてのモデル化は、6.5節において試みる。



#### 5. 5. 4 都市の地球環境負荷レベルを決定づけるタイムスケール

都市の交通・立地体系は、長期的な都市発展過程の間に形成されてくるものである。これは、a)交通施設はその建設に時間がかかること、b)交通施設が整備されてからその効果が生じるまでにタイム・ラグがあること、c)交通施設のライフ・タイム（耐用年数）が長いこと、d)ある時点の交通施設供給状況は、それまでの施設整備の時間的蓄積であること、が原因である。したがって、ある時期にある政策をとったとき、その効果は即座に現れるものではないし、また時期によってその効果発生には違いが生じるものと考えられる。

##### <経済発展とモータリゼーションの段階>

まず考える必要があるのは、経済発展の段階である。

既にある程度まで経済成長・都市化・モータリゼーションが進んだ先進国の大都市では、大規模な交通・立地体系の改変は困難であると考えられる。その理由には、以下の2つの「不可逆性」が挙げられる。

##### a) 土地利用の不可逆性：

日本のように土地所有権が強い場合は、いったん土地利用が定まると、それを変更することは難しい。したがって、ある程度発展した都市に新たな交通施設を整備したり立地規制をすることは、ばく大な時間と費用を要する。

##### b) モータリゼーションの不可逆性：

長年にわたる自動車利用と都市広域化との相乗効果（モータリゼーション・アクセラレーション）によってできあがった自動車依存の都市構造（都市構造のモータリゼーション）では、公共交通機関を維持するのが資金的に難しくなり、公共交通へのモーダル・シフトが困難である。また、自動車は私的交通機関として、ドア・トゥ・ドア、快適性、プライベート性、機動性といった公共交通機関にない魅力を持っていることも、モータリゼーションを不可逆ならしめる一因である。

これらの「不可逆性」を勘案すると、先進国大都市では政策実施が困難であるばかりでなく、その限界的効果も小さい可能性が考えられる。

一方、発展途上国大都市においては、現在はモータリゼーションの初期段階にあるため環境負荷発生は少ないが、今後のモータリゼーションの進展次第では将来の環境負荷レベルは大きく変動することが予想される。したがって、なるべく早い時期から長期的視点に立った交通・立地政策を実施することによって、将来にわたる環境負荷の抑制が可能である。

その時期を具体的に特定すると、モータリゼーションが未成熟な第Ⅰ期のうちに開始することが望ましい。それは、自動車保有水準の都市による差異が第Ⅱ期以降で現れるからである。つまり、第Ⅱ期の初期が、都市が「自動車依存型」になるか否かの分岐点であると推測される。したがって、その時点までに何らかの対策をとっておかないと、将来的に都市が自動車依存型となり、交通活動に伴う地球環境負荷が多くなってしまいうとともに、道路混雑による都市機能

への弊害が生じるような方向に進んでしまう危険性をはらんでいると考えられる。

以上のことから、なるべく第Ⅱ期に入る前に、交通施設（特に公共交通機関）整備を進めるとともに、都市構造を低密・広域化させないような土地利用規制・誘導を行うことによりモータリゼーション・アクセラレーションを阻止していくことが、地球環境のみならず都市機能の面からも求められる。

#### ＜経済発展とモータリゼーションの速度＞

もう1つ考慮する必要があるものは、経済成長に伴うモータリゼーション進展の速度である。自動車普及が所得水準上昇とともに進むことは前項でも述べた。この経済成長がどの程度の速度で（すなわち経済成長率がどの程度で）進むかによって、モータリゼーション進展の速度も異なることになる。日本においては、1960年から90年までの30年間で自動車保有率がほぼゼロから1世帯に1台のレベルにまで上昇した。このペースは高度経済成長を反映しており、したがってヨーロッパやアメリカ合衆国に比べてペースは2倍程度速くなっている<sup>27)</sup>。

もし都市AとBは経済成長率がそれぞれ時間的に一定で（すなわち指数関数的成長）、AがBに比べ成長率が $n$ 倍高いとすると、同じ分だけ経済成長するための時間は、AはBの $n$ 分の1になる。ところが、その成長期間における経済レベルの時間積分値も、AはBの $n$ 分の1になる。したがって、AとBがそれぞれ同じ経済レベルで同じインフラ整備水準を保つためには、AがBの $n$ 倍だけ毎期に投資し続けなければならないことになる。

このように、経済発展速度が速ければ速いほど、モータリゼーションに対応した交通施設整備をその分だけ大きな割合で進めていく必要があることが分かる。

### 5.6 モータリゼーションに伴うトリップ特性と交通手段選択の動向分析

—名古屋市におけるパーソン・トリップ調査データを用いて—

自動車普及が進むことは、自動車利用の機会を増加させ、結果として交通活動の環境負荷を増加させることにつながる。しかし、もし自動車を保有していても利用しなければ、環境負荷は生じないのであり、利用するか否かは、都市構造や交通施設整備水準などに左右される。したがって、自動車普及が進んでもその利用を決定する部分で、環境負荷を変化させることが可能である。

そこで本節では、都市旅客交通がモータリゼーションの進展とともにどのように量的・質的に変化していくか、そしてその原因となる現象は何であるかを分析する。そのために、パーソン・トリップ調査のデータを用いて、名古屋市の発トリップを対象に、トリップ特性とその時間的推移について分析を試みる。その際、自動車の保有状況によるトリップ特性の変化を明確にするため、トリップを行った主体を自動車の保有者と非保有者に分け、そのトリップ特性の違いを分析する。

分析するトリップ特性は、a)トリップ数、b)各トリップの距離（トリップ長）、c)利用交通手段、の3つである。ある交通手段の総トリップ長（人キロベース）は、総トリップ数に交通

手段の分担率を乗じ、さらにトリップ長を乗じることで求めることができる。そしてその交通手段の利用から生じる環境負荷発生量は、総トリップ長から求めることができる。したがって、a)～c)を分析することによって、交通活動による環境負荷発生量変化の詳細メカニズムを知ることができるのである。

本節の分析で対象とする都市は名古屋市の行政区域である。名古屋市では、1995年3月末現在の乗用車保有率は365台/1000人と、人口50万人以上の都市（22市）の中で2番目であり（1位は浜松市<372台/1000人>）、東京都区部（222台/1000人）や大阪市（198台/1000人）に比べて圧倒的に高く、大都市の中では自動車への依存が高い都市である。地下鉄の整備も進んでいるが、他の大都市に比べてやや遅れており、1990年におけるD I D面積あたり鉄道延長をとると、東京都区部の1.02km/km<sup>2</sup>、大阪市の1.11km/km<sup>2</sup>に対し、名古屋市は0.66km/km<sup>2</sup>と低くなっている。

### 5.6.1 トリップ特性分析の方針

#### 1) トリップエンドモデル

本研究では都市内での交通活動に伴う環境負荷発生量を推計することが必要である。そのために、対象都市内のトリップを分析しようとしているのであるが、そこで問題となるのは、「都市内のトリップ」をどう定義するかである。その方法としては、a)対象都市内で行われる全トリップ、b)対象都市居住者の全トリップ、c)対象都市発（着）のトリップ、の3つが考えられる。厳密にはa)が正しいが、トリップ特性分析のデータは交通を行う主体ごとに得られるものであり、その主体がどこを通過しているかについて調査されているわけではないため、データを得るのが困難である。

したがって、次善の策としてデータが得られるb)またはc)の適用が考えられるが、b)については対象都市居住者がその都市内でトリップを行っているとは限らないという問題点がある。一方c)は、内外トリップのうち都市外の部分が含まれてしまうとともに、通過トリップは把握できない。しかし、b)と比較すればc)の方が実際の対象都市内でのトリップに近いと考えられるので、ここではトリップ特性分析のデータとして、c)の定義を用いることとする。

また利用交通手段の分析では、手段選択はトリップ発地の属性に依存すると仮定している（トリップエンドモデル）。そこで本研究では、都市内発トリップを対象とした分析を行う。

#### 2) パーソン・トリップ調査の利用

都市旅客交通のトリップ特性を分析するための基礎データを得るために、日本の各都市圏ではパーソン・トリップ（Person Trip<P T>）調査が10年おきに行われている。ある1日のトリップの回数・目的・起終点・利用交通手段・時刻といった詳細な交通行動をアンケート調査によって調査するもので、トリップ特性の把握には最も適しているとされる。また、すべての交通手段を網羅していることもP T調査の特徴である。本研究では、名古屋市を中心とするエリアを対象とした中京都市圏P T調査<sup>2)・9)</sup>を用いて、トリップ特性の決定要因とその時間的変化を分析する。

中京都市圏P T調査は現在までに、1971年、1981年、1991年の3回行われている。10年に1

度ということもあり、トリップ特性の時間的変化を論じるには不十分であるが、ここでは全3回の調査データを比較することにより、可能な限り変化を追うこととする。

### 3) 車保有の有無によるトリップ特性の違いの把握

本研究では対象母集団を車の保有者層と非保有者層に分け、各層ごとにトリップ特性を分析する。これは、車を保有しているか否かによって、トリップの回数や交通手段選択などに大きな違いがあると予想されるためである。モータリゼーションの進行は、非保有層が保有層へと転化していく過程そのものであり、各層のトリップ特性を知っておくことが、モータリゼーション進行に伴う都市全体のトリップ特性の変化を知ることにつながるのである。

このような分析は、PT調査で、調査対象者の世帯での車保有状況が調査されていることによって可能となっているものである。さらにPT調査では、世帯での複数保有についても調査しているが、本研究では複数保有の進展の影響は考慮していない。

ただし、第1回の調査と第2・3回の調査では世帯での車保有の定義が異なることに注意しなければならない。第1回では「自由に使える車の有無」をきいているが、第2・3回の調査では「世帯で保有している車の有無」をきいている。つまり第1回では常に車が使える状態である人が保有層であり、第2・3回では所属する世帯が車を保有していれば、自由に車を使えなくとも保有層に区分される。逆に非保有層では、第1回よりも第2・3回の方が車を使う機会に恵まれない集団であると言える。第2・3回の質問形式の方がより客観性が保たれるが、世帯での保有台数の違いや免許を保有していない世帯構成員の存在などのために、車保有層の中でも車利用機会にはバラツキがあるものと考えられる。

自動車の保有層と非保有層では、交通手段選択やトリップの特性が異なると考えられる。よって自動車の利用については、自動車保有層と非保有層に層分けしてその手段選択特性の違いを分析する。

#### 5. 6. 2 総トリップ数とトリップ生成原単位

図5. 24は名古屋市内発の1日あたり総トリップ数（生成交通量）の推移を保有／非保有層別に示したものである。これを見ると、総トリップ数は第2回で前回比+3.5%、第3回で同+3.0%と増加傾向にある。また、総トリップ数に占める保有層のトリップ数の割合は、第2回で76.3%、第3回で86.4%と年々増加している。自動車保有率上昇の影響が顕著に現れているとともに、第2回、第3回ではトリップの大半が保有層により行われていることが分かる。

次に、保有層と非保有層のトリップの頻度を比較する。そのための指標としては、「生成原単位」（1人1日あたりトリップ数）と「外出者率」（人口に占める外出者＜トリップを1回以上行った人＞の割合）がある。また生成原単位には、グロスの生成原単位（各層の総トリップ数を各層の人口で除した値）とネットの生成原単位（各層の総トリップ数を各層の外出者人口で除した値）があり、 $(\text{ネットの原単位}) \times (\text{外出者率}) = (\text{グロスの原単位})$ の関係が成立する。名古屋市内住者を対象に、それぞれの指標の推移を図5. 25に示す。

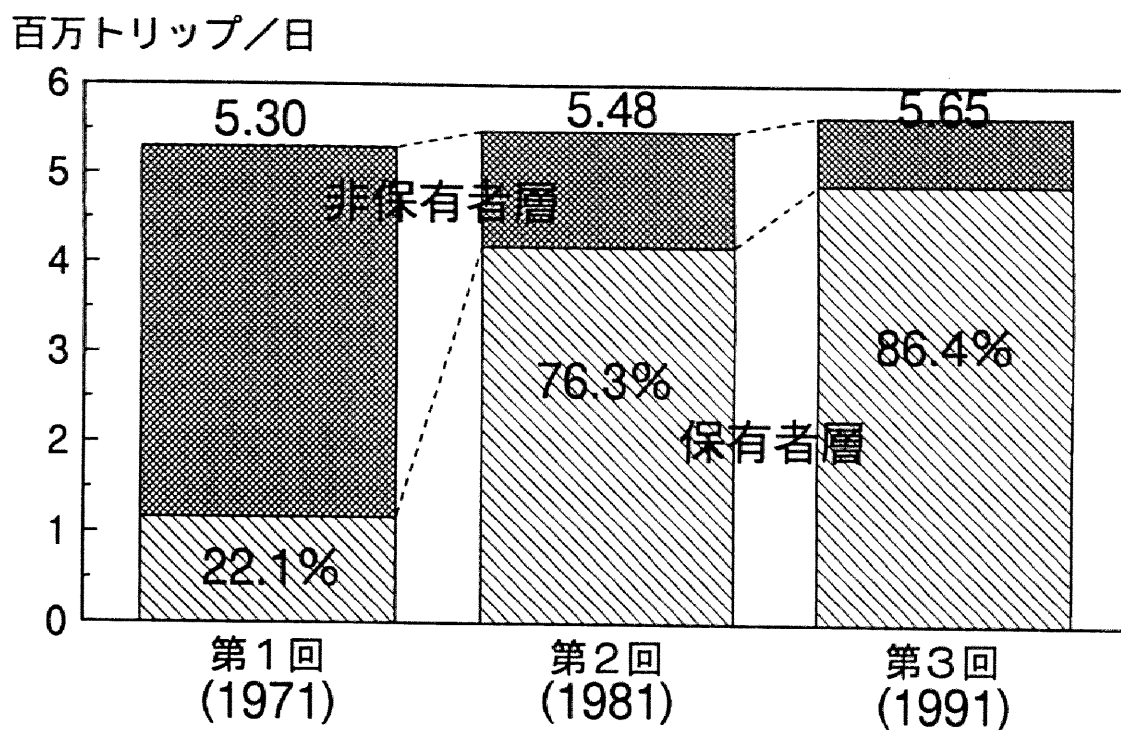


図5. 24 名古屋市発総トリップ数の推移

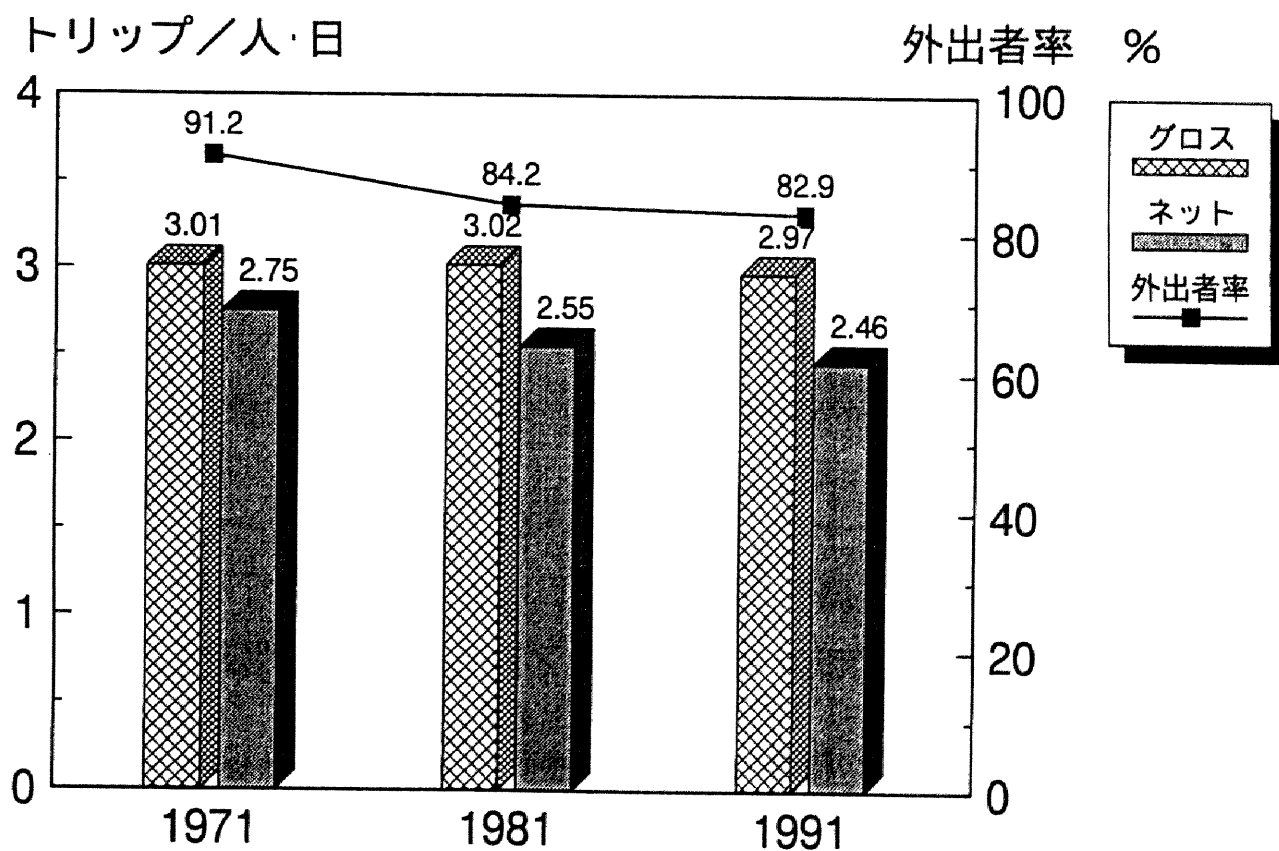


図5. 25 名古屋市発総トリップ数の生成原単位および外出者率の推移

まずグロスの生成原単位については、保有層が非保有層よりも大きく、交通行動が活発であると言える。これは、移動の必要性の高い人ほど車保有の欲求が大きいため、保有層にはトリップ頻度の大きい人が多く、一方非保有者には高齢者など交通行動が活発でない人の割合が大きくなっていると考えられることが原因であると考えられる。

生成原単位の時間的推移を見ると、全カテゴリーで漸減傾向を示している。この原因には、通信手段の普及や、通信販売の増加のようなライフ・スタイルの変化などが考えられる。このように原単位が減少傾向にあるにもかかわらず総トリップ数が増加してきているのは、名古屋市の人口増加のためである。また生成原単位減少の割合は、保有層に比べて非保有層の方が大きい。これは非保有層で外出しない人の割合が増加したことによるところが大きい。外出者率の推移からも明らかなように、非保有層の外出者率がかなりの割合で減少してきている。このように、モータリゼーション進行とともに非保有層にトリップ機会の少ない人の割合が増加していくことが分かる。

グロスの生成原単位の減少は外出者率の減少によっても、トリップ回数そのものの減少によっても生じる。そこで、外出者率を考慮したネットの生成原単位を見ると、第1回から第2回では合計・非保有層で増加し、第2回から第3回では全カテゴリーで減少傾向であり、外出者のトリップ回数も減少していることが分かる。第1回での保有層での原単位は極端に大きいのが、これは前節で述べた保有層の定義の違いによるものと考えられる。合計の原単位ははじめ上昇しているが、これは原単位の大きい保有層の人数の割合が増加したことが原因と推測される。その後全カテゴリーで減少しているのは、先に述べたようなライフ・スタイルの変化によるものと考えられる。

### 5.6.3 トリップの距離帯別分布

前項で分析したトリップ数は、その移動距離に無関係な値である。ここではさらに、どの距離帯にどの程度トリップが分布しているかについて分析を行う。都市域の拡大はトリップ起終点の遠隔化をもたらし、またモータリゼーションの進展はモビリティを高めることにより、いずれもトリップ長を増大させる要因となると考えられる。このことを確かめるためにも、トリップの距離帯別分布を調べる必要がある。

#### 1) トリップ長の決定方法

トリップの距離帯別分布を求めるためには各トリップのトリップ長が必要になるが、PT調査では直接調査されていない。従って、調査されている所要時間と発生・集中ゾーンのデータから各トリップのトリップ長を推計する必要がある。その方法には以下のものが考えられる。

- a) ODペアのゾーン間（セントロイド間）直線距離を用いる。
- b) ネットワークを設定し、最短経路を通るものと仮定してOD間距離を算出する。
- c) 各交通機関の平均速度を仮定し、所要時間から移動距離を算出する。

PT調査報告書では、a)の方法を用いてトリップの距離を算出している。この場合、ゾーン内々のトリップをどう扱うかが問題となる。報告書では内々トリップはすべて0～5kmと仮定している。また同じODのトリップは実際に選択された経路にかかわらず同じになるという問

題がある。b)の方法にも同様な問題が考えられる。

本研究では最終的に環境負荷発生量を計測することを目的としているので、トリップ長はより実走距離に近いことが要求される。そこでその推計にはc)の方法を用いる。ここでは平均速度は、各報告書の各交通機関における平均トリップ長（トリップあたり平均距離）をトリップあたり平均所要時間で除したものをを用いる。この方法では、ゾーン内々、内外にかかわらず各トリップの移動距離を算出できる利点があるが、設定した平均速度の妥当性が問題となる。特にトリップが長距離になるほど平均速度は上昇することが考えられるので、比較的長い距離帯ではデータの信頼性が低下する可能性がある。

## 2)全トリップの距離帯別分布の推移

図5. 26は、名古屋市内発の全交通手段におけるトリップ頻度の距離帯別分布（総トリップ数に対する各距離帯トリップ数の割合の分布）を示したものである。距離帯は0～2km、2～5km、5kmから30kmまで5kmきざみ、30～40km、40～50km、50km以上の10個に区分している。これを見ると、トリップ頻度は短い距離帯ほど大きくなっている。経年的推移としては、最も短い0～2kmの距離帯のトリップのシェアが減少傾向にあり、一方5km以上の距離帯で増加傾向であることが目立っている。このことから、都市の広域化によりトリップが長距離化していることが裏づけられる。

次に図5. 27は、トリップ長の距離帯別分布（総トリップ長に対する各距離帯トリップ長の割合の分布）を表したものである。これを見ると、5～10kmの距離帯が最頻値になっている。経年的変化については、0～10kmの各距離帯で減少傾向であり、15km以上の各距離帯で増加傾向である。第1回から第2回の変化の割合よりも第2回から第3回の変化の割合の方が小さい。このことから、都市の広域化が1971年から81年にかけて大きく進行し、81年から91年では小さ

### トリップ数%

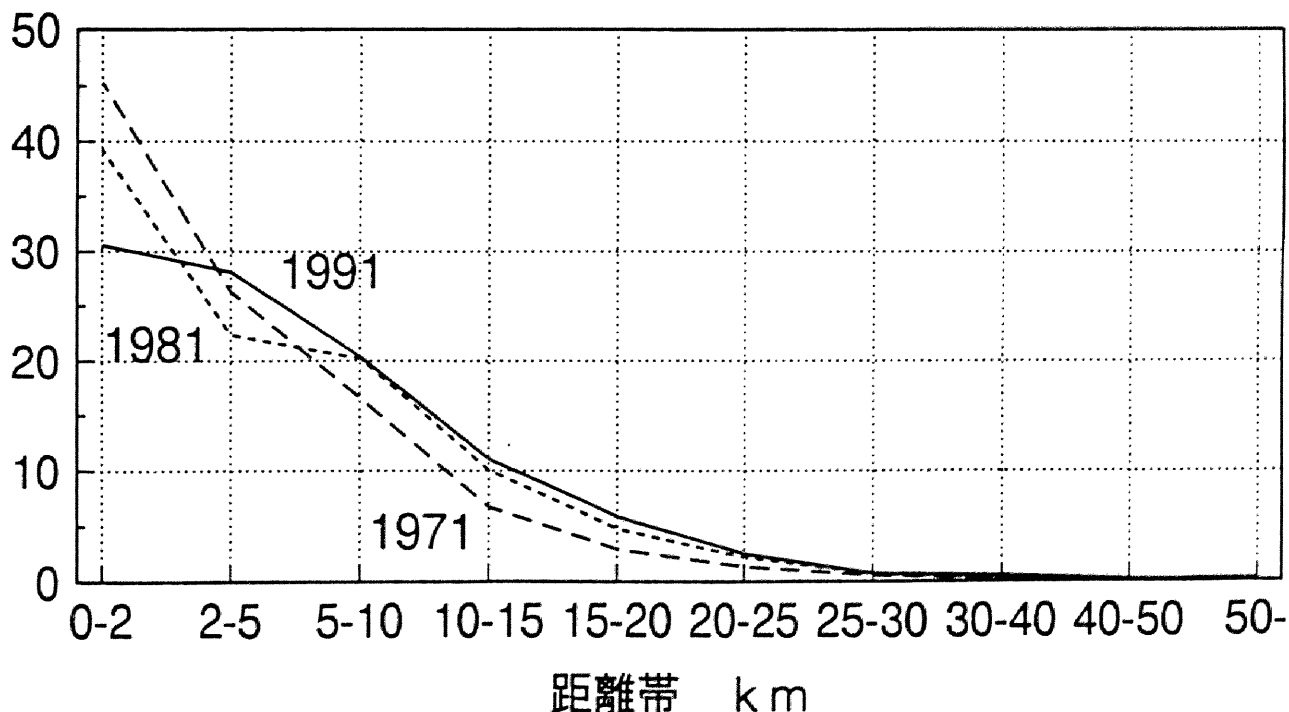


図5. 26 名古屋市内発トリップの距離帯別頻度分布

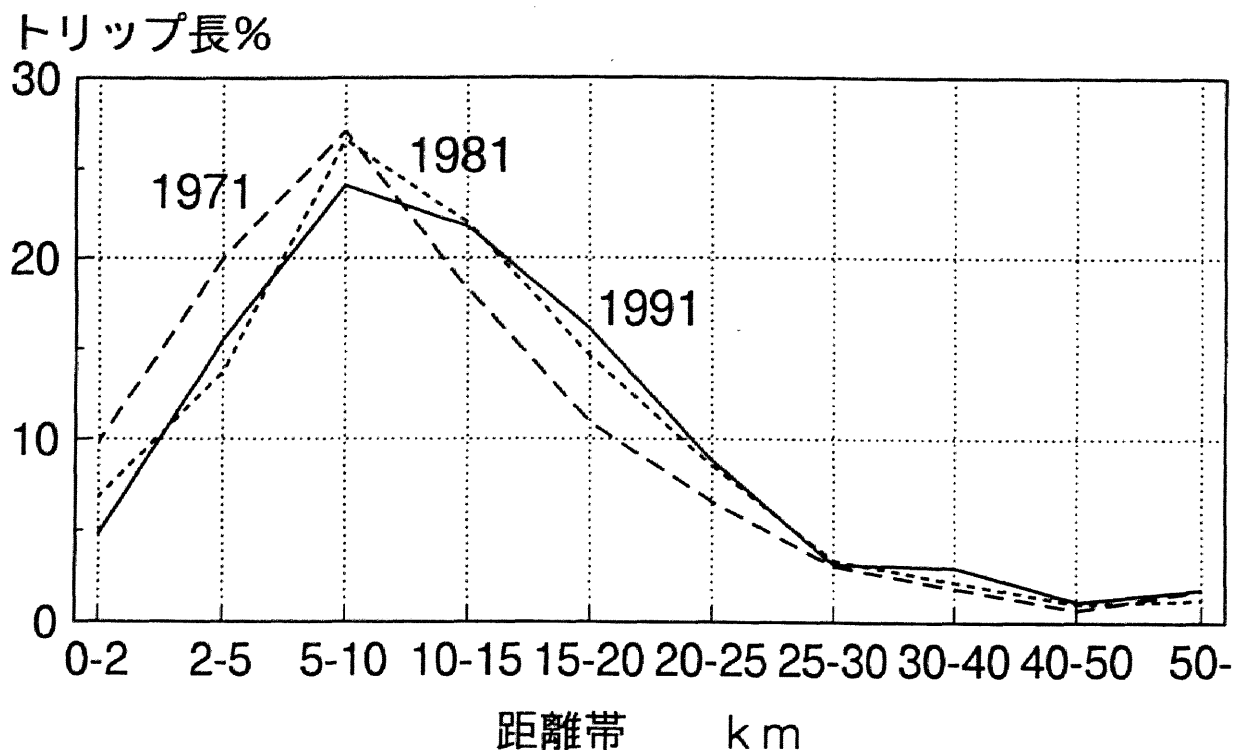


図5. 27 名古屋市発トリップの距離帯別トリップ長

くなったと推測される。

### 3) 保有／非保有層別のトリップの距離帯別分布の推移

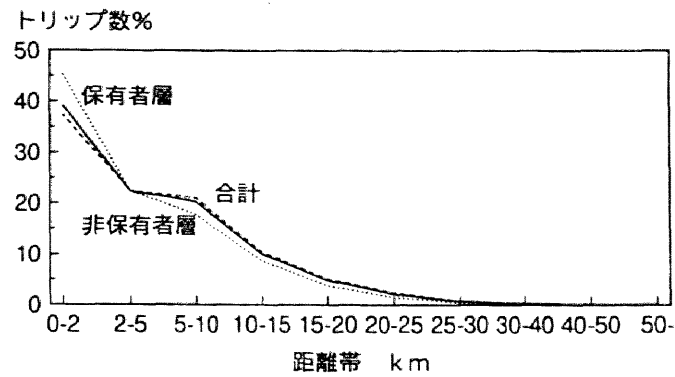
図5. 28は保有／非保有層についてトリップ頻度の距離帯別分布を示したものである。0～2kmでは非保有層の方が割合が高く、2km以上では保有層の方が割合が高くなっている。また図5. 29はトリップ長の距離帯別分布を示したものであるが、0～10kmでは非保有層の方が割合が高く、それ以上の距離帯では保有層の方が高い。いずれの図からも、非保有層に比べ保有層は長い距離帯のトリップが多くなっている。

この結果は、保有層のほうに長い距離帯を移動する人が多い一方、非保有層はモビリティが小さいため、短距離トリップの割合が高くなっていることを裏づけるものである。あるいは逆に、自動車の保有によって遠いところに出かけるようになり、その結果トリップ長が増大することもある。

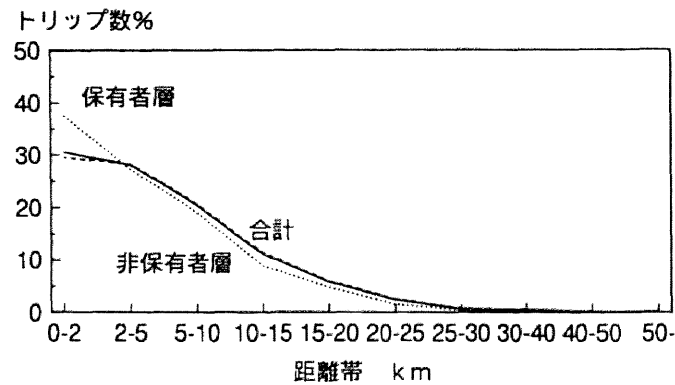
### 5. 6. 4 利用交通手段の変化

本節ではさらに、トリップの利用交通手段分担率について分析を行う。PT調査によって得られる分担率は「代表手段構成比」と呼ばれるものである。代表手段とは、1つのトリップで幾つかの交通手段を乗り継いだ場合の主な交通手段を指し、その優先順位は鉄道、バス、自動車、二輪車、徒歩の順である。したがって、代表手段構成比は厳密には交通機関分担率とは異なる。このことについては6. 7. 3項で考察を加える。また、代表手段構成比はトリップ数ベースであり、トリップ長ベースではないことに留意する必要がある。



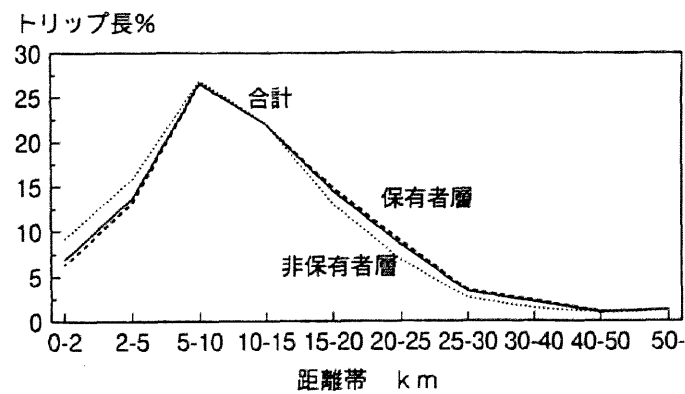


a) 第2回 (1981)

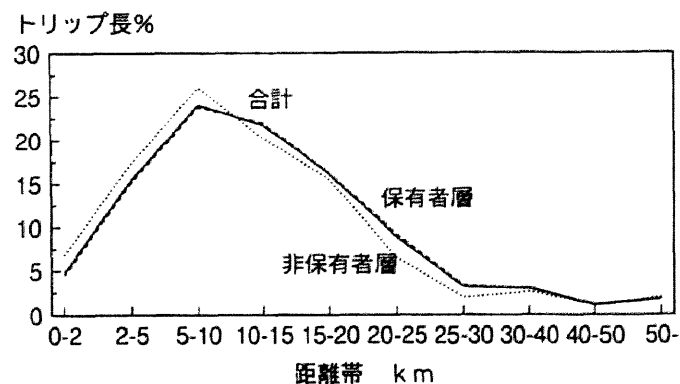


b) 第3回 (1991)

図5. 28 名古屋市発トリップの保有／非保有別・距離帯別頻度分布



a) 第2回 (1981)



b) 第3回 (1991)

図5. 29 名古屋市発トリップの保有／非保有別・距離帯別トリップ長

## 1) 全トリップの代表手段構成比の推移

図5. 19 <前掲>では名古屋発トリップの代表手段構成比を示したものである。これを見ると、鉄道・自動車ともに構成比が上昇していることが分かる。自動車の上昇は自動車保有率の上昇が大きく影響を与えていると考えられ、鉄道の上昇は地下鉄を中心とした鉄道整備水準の上昇が大きく影響していると考えられる。また、二輪車（自動二輪車・原動機付自転車・自転車）の構成比も増加傾向にある。主な増加要因は二輪車の普及であると考えられる。

一方、徒歩とバスの構成比が急激に減少している。自動車・二輪車の保有増大や鉄道整備水準の上昇が、徒歩・バストリップの車・鉄道への転換につながっていると言える。

次に、車保有／非保有層別の代表手段構成比を図5. 30に示す。保有層では自動車の構成比は40%に達する（第1回での車の構成比の高さはサンプルの違いによると考えられる）。徒歩・バスが自動車・二輪車にシフトしていると言える。非保有層では自動車の構成比は10%強であり、徐々に減少している。非保有層での自動車利用は主に相乗りであると考えられる。鉄道の構成比は両層とも増加傾向にあるが非保有層の方が構成比が高い。非保有層では徒歩は二輪車にシフトしている。

以上からも分かるように、自動車保有率の上昇は自動車の構成比の高い保有者層を増加させ、自動車の手段構成比を直接的に変化させる要因である。

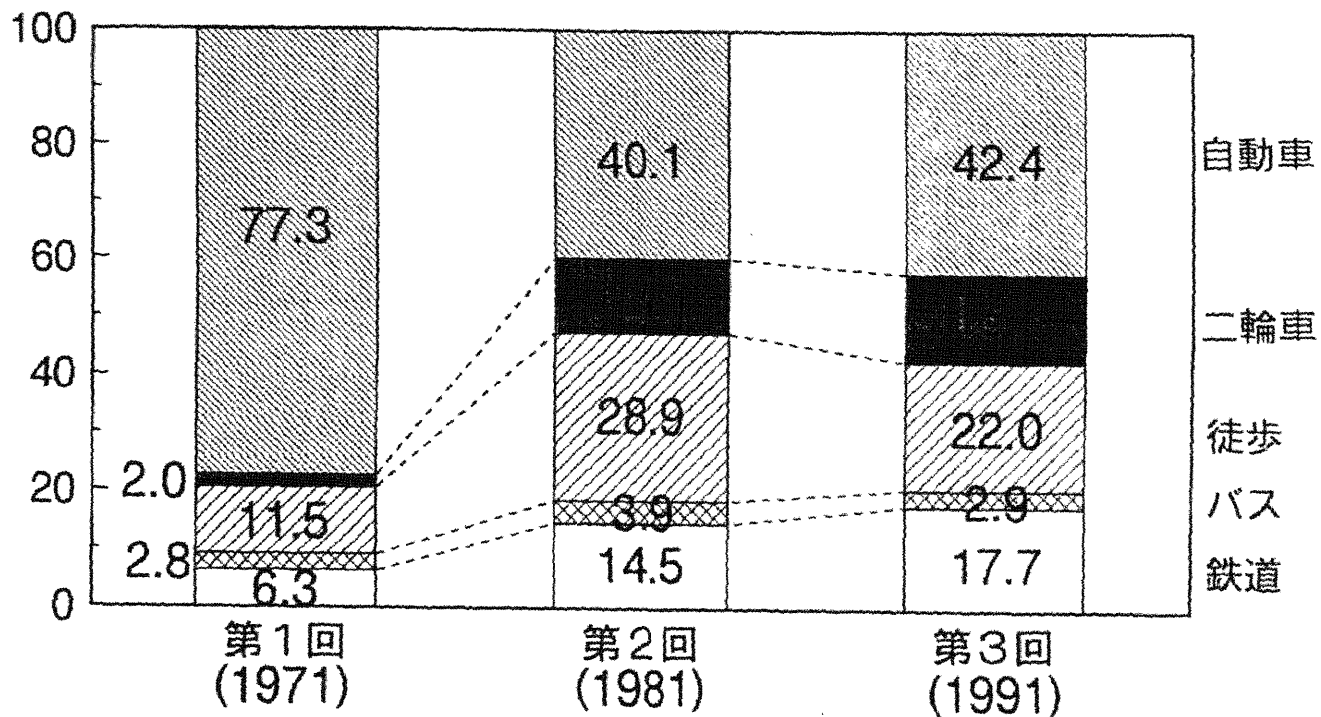
## 2) 各トリップ距離帯における代表手段構成比

前項における代表手段構成比の分析ではトリップ距離を考慮に入れていなかった。しかし、各手段にはそれぞれ、よく利用される距離帯とそうでない距離帯がある。例えば、徒歩トリップが車にシフトしていると述べたが、徒歩トリップは短距離帯にしか存在しないので、このシフトは車の平均トリップ長を低下させる要因となる。このように、各手段の距離帯別トリップ頻度分布や平均トリップ長の変化を知るために、代表手段構成比の時間的変化を各距離帯別に分析する。

図5. 31は、各距離帯別の代表手段構成比の時間的推移を示したものである。この図から、よく利用される手段を距離帯別に整理すると、0～2kmでは徒歩・二輪車・自動車、2～10kmでは全手段、10km以上では自動車・鉄道という3つに分けられる。徒歩は0～2km、二輪車・バスは0～10kmの短距離トリップがほとんどであることが分かる。自動車はどの距離帯でも多く、特に0～2kmの距離帯で増加しており、第1回で2.5%だったものが第3回では12.3%を占め、徒歩から自動車への転換が生じていることが分かる。鉄道は、15～20kmの距離帯で特に増加している。これは時間経過とともに地下鉄整備が進み、その効果が特に現れやすい距離帯であることが原因と考えられる。

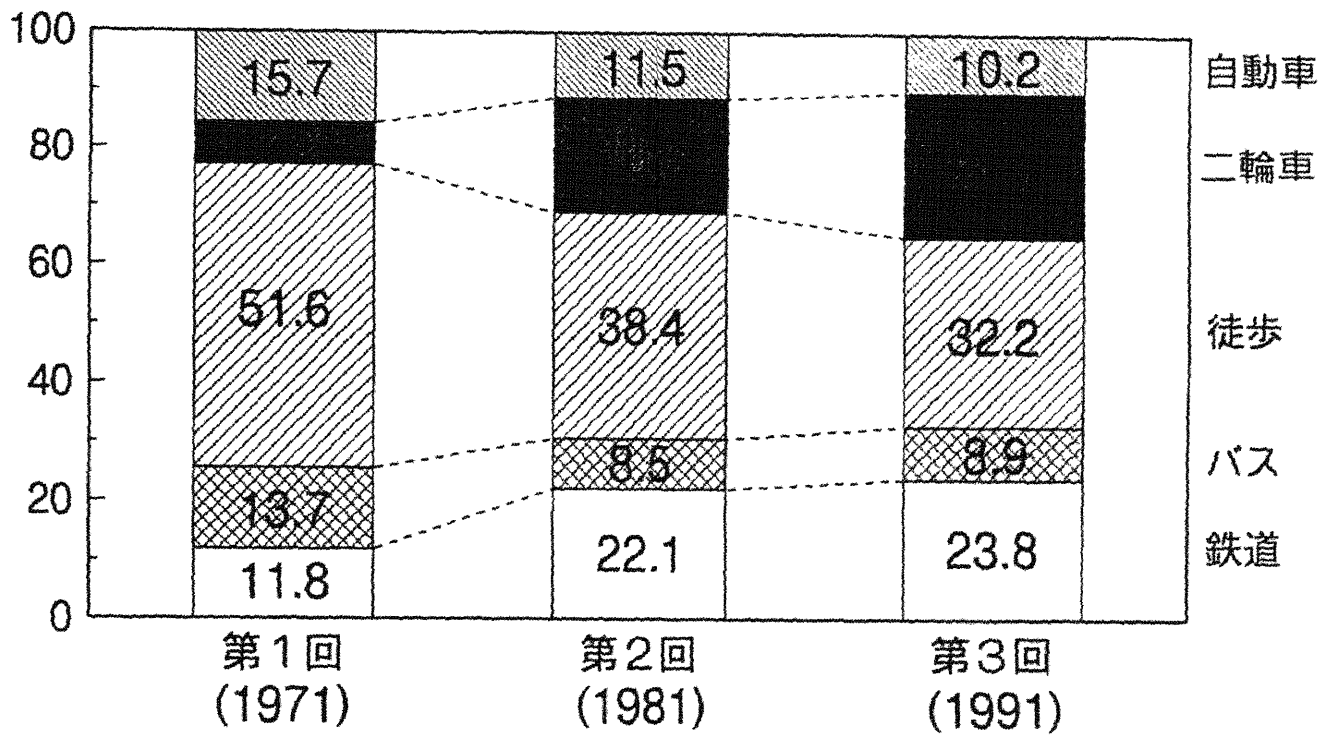
次に図5. 32は、代表手段構成比の距離帯別分布を保有／非保有層別に示したものであるが、保有層で短距離トリップでの自動車利用の増加が読みとれる。鉄道の構成比は保有層でも伸びる傾向があり、自動車保有の進展に伴う自動車構成比の上昇を食い止めている。

構成比 %



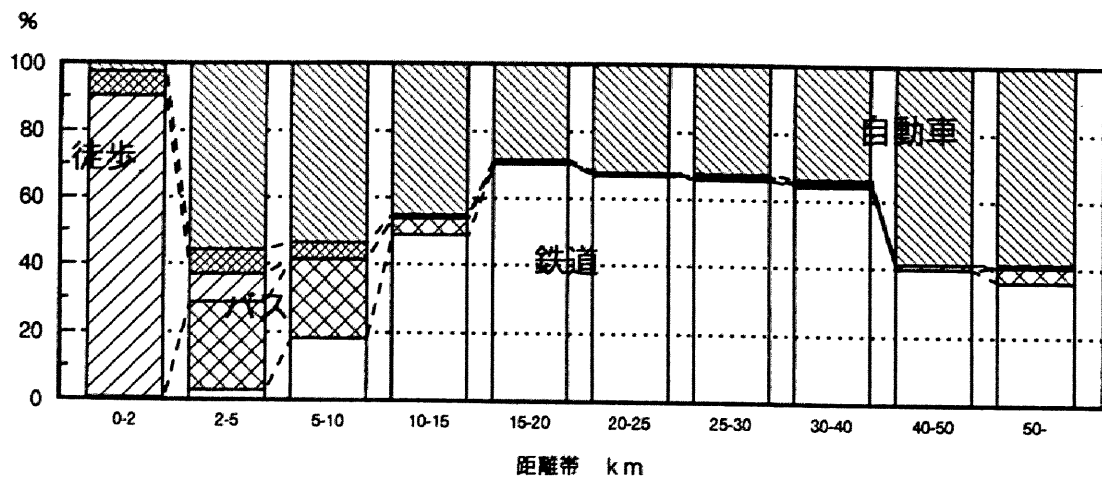
a) 保有層

構成比 %

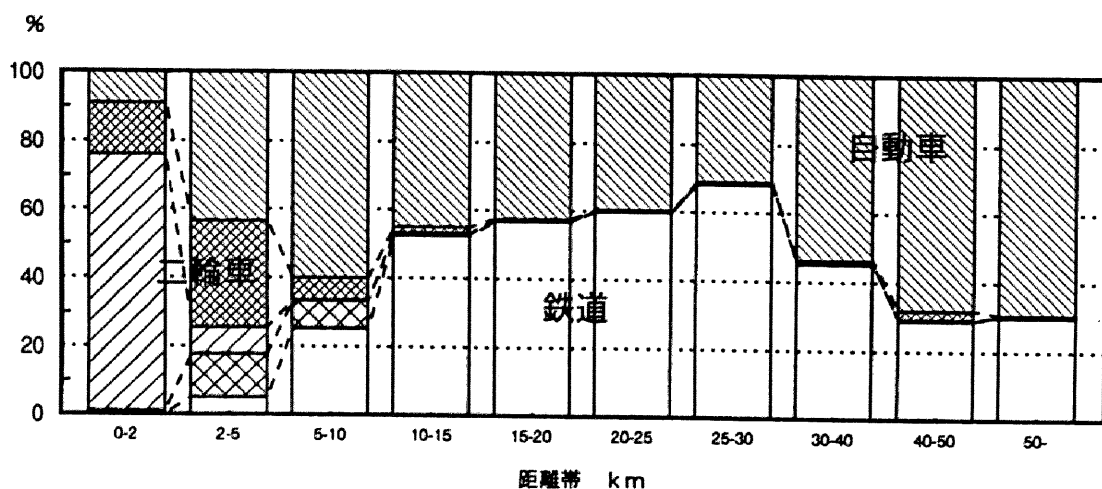


b) 非保有層

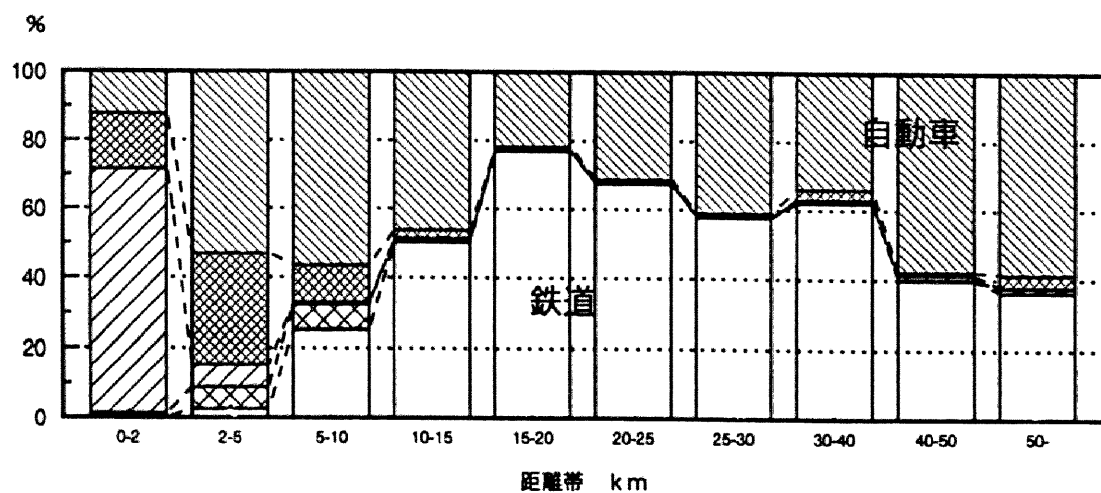
図5.30 名古屋市発トリップの代表手段構成比



a) 第1回 (1971)

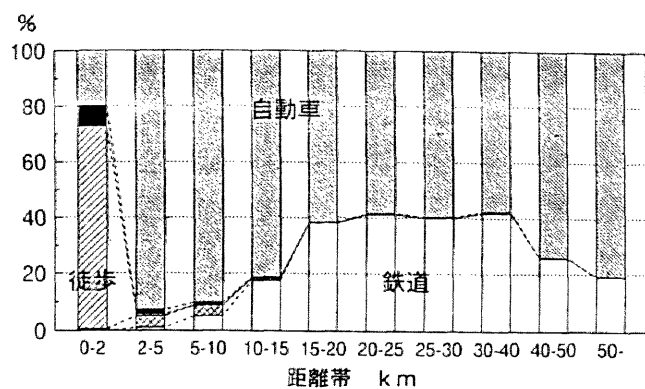


b) 第2回 (1981)

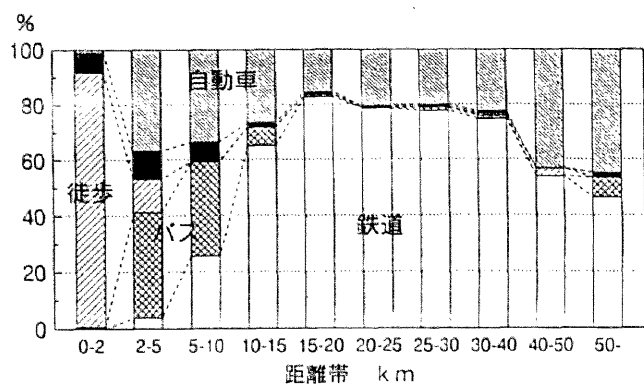


c) 第3回 (1991)

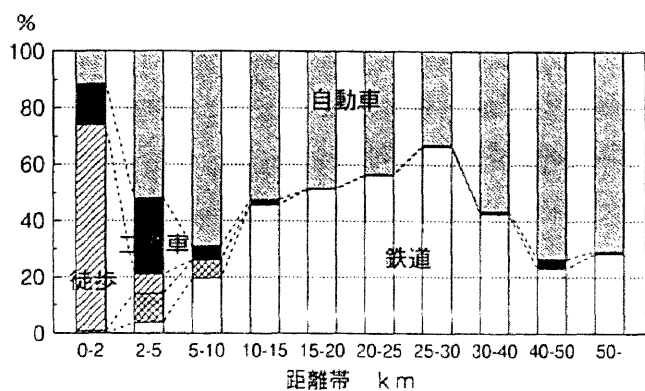
図5.31 名古屋市発トリップの距離帯別構成比



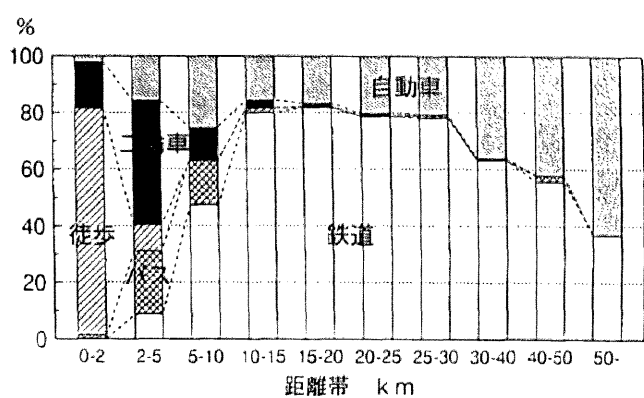
1a) 保有層：第1回（1971）



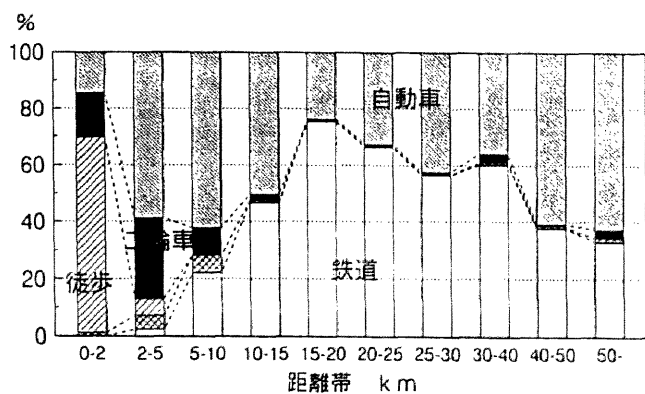
2a) 非保有層：第1回（1971）



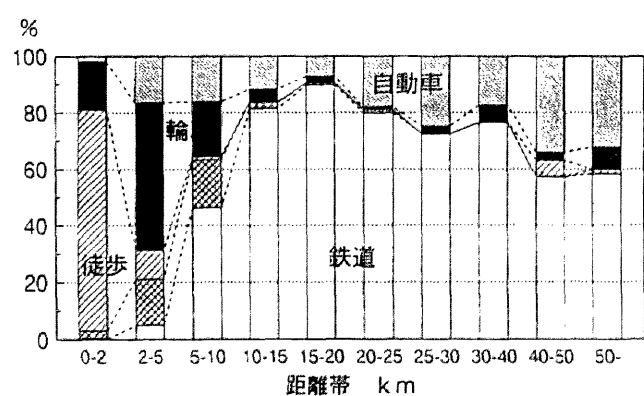
1b) 保有層：第2回（1981）



2b) 非保有層：第2回（1981）



1c) 保有層：第3回（1991）



2c) 非保有層：第3回（1991）

図5.32 名古屋市発トリップの保有／非保有別・距離帯別構成比

### 3) 車保有／非保有層別・距離帯別代表手段構成比の説明要因

さらに、保有／非保有層別・トリップ距離帯別の鉄道・自動車手段構成比がいかなる要因によって説明されうるかを考察するため、相関分析を行った。

分析に用いた指標は以下のとおりである。

- a) 鉄道整備水準：駅密度（面積あたり駅数：駅数/ha）
- b) 道路整備水準：道路面積／車トリップ長（ $\text{m}^2/\text{台m}$ ）、道路面積／人（ $\text{m}^2/\text{人}$ ）、道路延長／人（ $\text{m}/\text{人}$ ）
- c) 都市構造（密度）指標：

夜間人口密度（人/ha）、昼間人口密度（人/ha）、D I D人口密度（人/ha）

ここで、鉄道整備水準に駅密度を採用したのは、その地域の鉄道へのアクセシビリティを平均的に表す指標として適当であると判断したためである。道路の場合はアクセス・コントロール（流入・流出の制限）がされていないかぎり、その量（延長や面積）が多いほど道路交通の魅力が高まる。しかし鉄道の場合は駅がないかぎり利用することができないため、都市内の分析を行う際には鉄道延長を用いるのは不適當である。

分析に用いた指標と各手段構成比のデータは、各トリップの出発地となる中ゾーン（行政区単位）で集計したものをを用いている。鉄道に関しては参考文献60),61)を、道路に関しては参考文献62)を用いる。名古屋市は16区あるので、データサンプルも各セグメントで16個ずつあることになる。ちなみに中ゾーンよりさらに細かい小ゾーン（小学校区単位）での分析も試みたが、説明変数の変域は大きくとれるものの、各小ゾーンのトリップのサンプル数が少ないために、有意な結果が得られなかった。

相関分析の結果を表5. 1に示す。この結果、鉄道整備水準指標である駅密度は比較的高い相関を持つことが分かった。また道路整備水準指標の道路面積／車トリップ長も高い相関が見られた。人口指標では昼間人口密度が、短距離帯で比較的高い相関を得た。

保有／非保有層別では、非保有層の方が相関が低い傾向が見られる。これは、非保有層が自動車を選択する場合は相乗りであり、その対象がいるかどうかという偶然に左右されるためであると考えられる。すなわち、非保有層は交通手段選択においてCaptiveであることの現れであると思われる。

また、全体的に距離帯が長くなるほど相関が低くなる傾向がある。この原因として以下のことが考えられる。

- a) トリップ数そのものが少なくサンプル誤差が大きいこと。
- b) トリップ長を5. 6. 3項で述べた方法で推計したことによって、長距離帯で大きな誤差が生じること。
- c) 到着地の特性に左右されやすくなること。

また、自動車の距離帯2～5kmで相関が低くなっているが、この原因としては、全手段が選択されうる距離帯であり、自動車の選択が天候、駐車場の有無などといった他の要因で決まりやすいためであると考えられる。

表5. 1 名古屋市発トリップの保有／非保有別・距離帯別  
総代表手段構成比の相関分析（第3回＜1991＞）

数値：相関係数（r 値）

	第三回	鉄道指標	道路指標			人口指標		
	距離帯 km	駅密度	道路面積／ 車トリップ長	道路面積／人	道路延長／人	夜間 人口密度	昼間人口密度	D I D 人口密度
保有層 鉄道	0～2	0.602	-0.568	0.414	-0.170	0.062	0.539	-0.074
	2～5	0.820	-0.835	0.331	-0.574	0.416	0.689	0.261
	5～10	0.730	-0.778	0.193	-0.624	0.517	0.578	0.384
	10～15	0.664	-0.658	0.201	-0.494	0.467	0.542	0.385
	15～20	0.763	-0.701	0.274	-0.563	0.549	0.635	0.374
	20～25	0.673	-0.680	0.220	-0.560	0.515	0.563	0.344
	25～30	0.560	-0.635	-0.057	-0.719	0.695	0.371	0.626
	30～40	0.420	-0.560	-0.043	-0.660	0.639	0.296	0.477
	40～50	0.360	-0.335	0.093	-0.275	0.320	0.371	0.342
	50～	0.030	0.063	-0.151	-0.186	0.216	0.019	0.409
	合計	0.799	-0.817	0.347	-0.554	0.449	0.686	0.271
保有層 自動車	0～2	-0.775	0.727	-0.250	0.660	-0.536	-0.634	-0.349
	2～5	-0.205	0.080	0.210	0.265	-0.367	-0.014	-0.311
	5～10	-0.714	0.746	-0.165	0.628	-0.567	-0.560	-0.395
	10～15	-0.646	0.633	-0.173	0.509	-0.506	-0.520	-0.422
	15～20	-0.757	0.702	-0.256	0.571	-0.557	-0.625	-0.384
	20～25	-0.679	0.674	-0.209	0.579	-0.547	-0.558	-0.363
	25～30	-0.539	0.604	0.083	0.703	-0.706	-0.345	-0.648
	30～40	-0.373	0.543	0.026	0.592	-0.557	-0.294	-0.408
	40～50	-0.349	0.354	-0.044	0.336	-0.372	-0.350	-0.376
	50～	-0.073	-0.051	0.266	0.234	-0.323	0.035	-0.493
	合計	-0.717	0.659	-0.113	0.614	-0.615	-0.541	-0.483
非保有層 鉄道	0～2	-	-	-	-	-	-	-
	2～5	0.678	-0.752	0.248	-0.566	0.413	0.551	0.279
	5～10	0.675	-0.795	0.183	-0.604	0.453	0.551	0.330
	10～15	0.463	-0.647	0.172	-0.322	0.142	0.423	0.116
	15～20	0.500	-0.429	0.197	-0.281	0.201	0.288	0.056
	20～25	0.124	-0.137	-0.084	-0.174	0.155	0.031	0.209
	25～30	-	-	-	-	-	-	-
	30～40	-	-	-	-	-	-	-
	40～50	-	-	-	-	-	-	-
	50～	-	-	-	-	-	-	-
	合計	0.668	-0.787	0.353	-0.398	0.215	0.641	0.126
非保有層 自動車	0～2	-	-	-	-	-	-	-
	2～5	0.605	-0.693	0.503	-0.307	0.071	0.658	-0.023
	5～10	-0.323	0.338	0.102	0.299	-0.371	-0.214	-0.375
	10～15	-0.409	0.504	-0.104	0.219	-0.185	-0.345	-0.102
	15～20	-	-	-	-	-	-	-
	20～25	-	-	-	-	-	-	-
	25～30	-	-	-	-	-	-	-
	30～40	-	-	-	-	-	-	-
	40～50	-	-	-	-	-	-	-
	50～	-	-	-	-	-	-	-
	合計	0.284	-0.325	0.531	-0.032	-0.144	0.434	-0.290

（表中の空欄はサンプルとなるトリップ数が極端に少なく、  
構成比が算出できなかったものである。）

### 5.6.5 総トリップ長と平均トリップ長

各手段について、トリップの距離帯別分布と距離帯別手段構成比を考え合わせることで、手段別の1日あたり総トリップ長および平均トリップ長（1トリップあたりトリップ長）を推計することができる。総トリップ長の変化は環境負荷発生量の変化に直接に影響を与えるので、本研究では重要な意味を持つ。そこで、その傾向について分析する。

#### 1) 総トリップ長

総トリップ長の推計手法としては、各距離帯のトリップ数に平均移動距離（距離帯の中央値）を乗じたものの総和をとっている。

図5.33に、全手段合計と鉄道・自動車の総トリップ長の時間的推移を示す。全手段、鉄道、自動車ともに総トリップ長が伸びる傾向にある。この原因として、前項までの分析結果から、a)総トリップ数の増加、b)トリップの長距離化、の2つの要因の結果であると言える。

また、保有／非保有層の総トリップ長の推移を図5.34に示す。保有層では総トリップ長が急激に増加し、非保有層では急激に減少している。これは、5.6.2項で述べた保有層の増加による保有層の総トリップ数の増加（非保有層の総トリップ数の減少）に起因するものである。

#### 2) 平均トリップ長

1)で求めた保有／非保有層別、代表手段別総トリップ長をそれぞれの総トリップ数で除することにより、平均トリップ長を求めることができる。図5.35は、全手段合計と鉄道・自動車の平均トリップ長の推移を示したものである。全手段合計の平均トリップ長は増加する傾向があり、これは都市の広域化の影響と考えられる。鉄道の平均トリップ長は一度減少し、また増加している。自動車はこれと逆の動きをしている。これには第2回で広域化の進展と車保有層が増加があったこと、第3回では鉄道整備水準が上昇したことと、自動車保有率のさらなる上昇で短距離トリップでの車利用が増加したことなどが原因と考えられる。

図5.36は保有／非保有別に平均トリップ長を示したものであるが、全手段合計を見ると非保有層では保有／非保有合計と同じような推移を示しているが、保有層でははじめ減少してその後やや増加している。これは車保有の定義が第1回と第2・3回とで異なるために生じているものと考えられる。



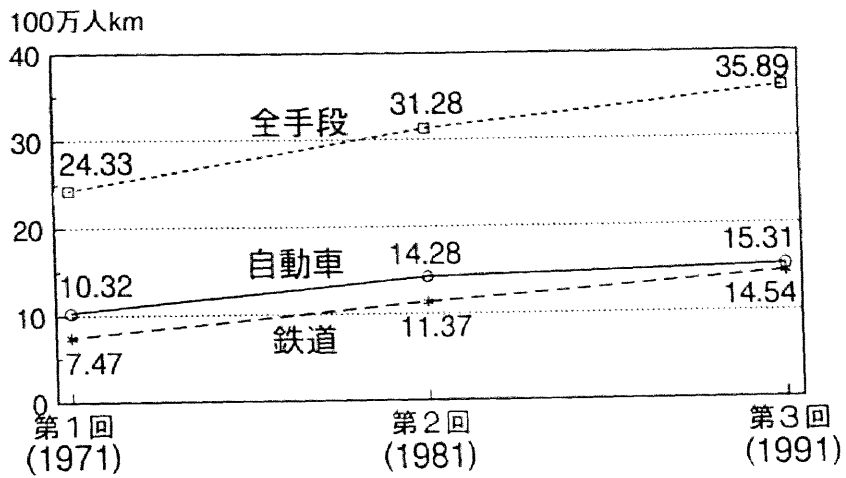
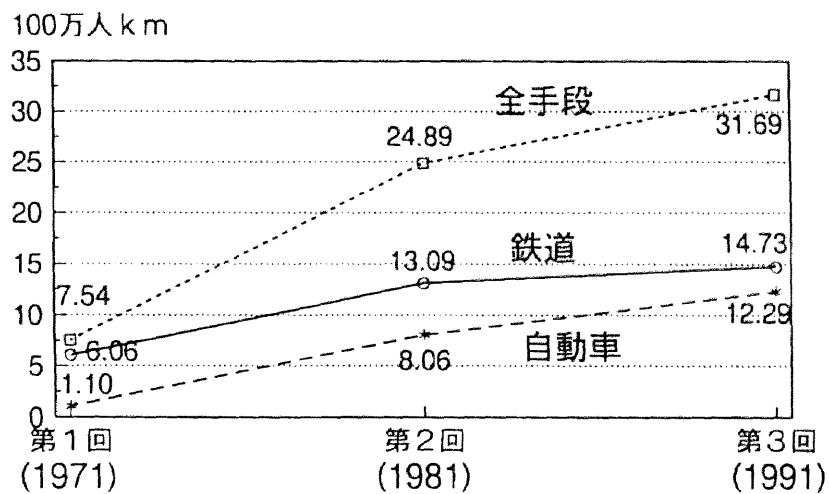
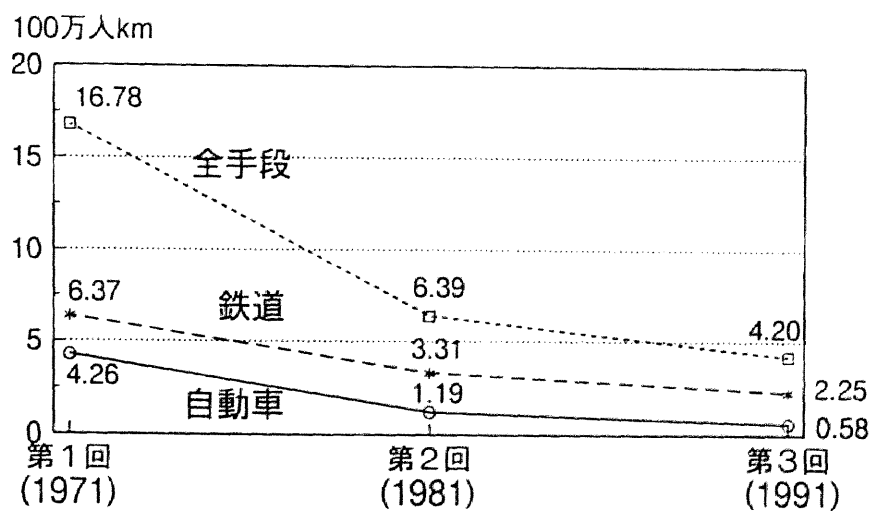


図5. 33 名古屋市発トリップの総トリップ長の推移



(a) 保有層



(b) 非保有層

図5. 34 名古屋市発トリップの保有／非保有別総トリップ長の推移

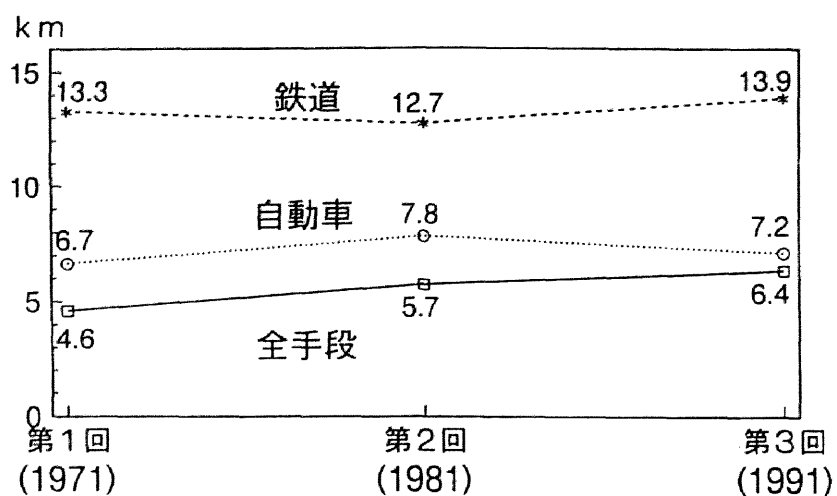
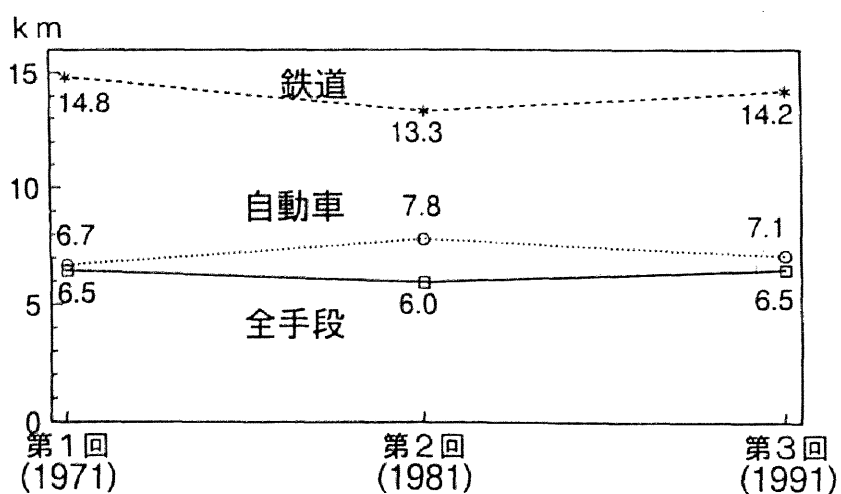
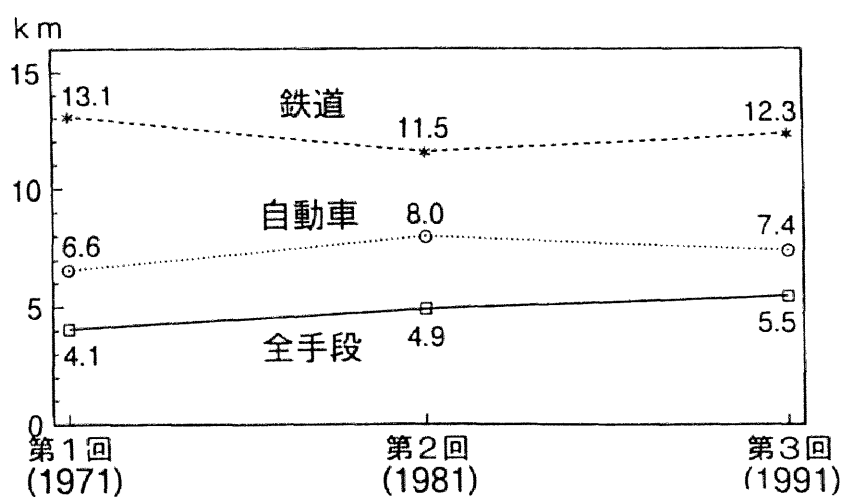


図5.35 名古屋市発トリップの平均トリップ長の推移



(a) 保有層



(b) 非保有層

図5.36 名古屋市発トリップの保有／非保有別平均トリップ長の推移

## 5.7 まとめ

本章では、都市成長による都市交通地球環境負荷量の変化のメカニズムと、それに対する交通施設整備の影響を分析してきた。その結果、交通活動に伴う地球環境負荷発生量は、直接的には

- 1) トリップ生成原単位
- 2) トリップの手段分担率
- 3) 平均トリップ長
- 4) 平均乗車人数
- 5) 環境負荷発生原単位

によって規定され、さらにこれらを経年的に規定する要因である「モータリゼーション」を、

- ① 自動車普及：自動車保有率
- ② 交通活動のモータリゼーション：手段分担率
- ③ ライフ・スタイルのモータリゼーション：トリップ特性
- ④ 都市構造のモータリゼーション：D I D人口密度

の4段階に分けて把握することができた。またこれらの各段階に対して、交通社会資本の整備状況が影響を及ぼすことも分かった。

さらにこの各段階について、モータリゼーション進展と交通施設整備による構造の変化を詳細に分析・考察した。自動車保有に関しては、日本の主要都市における1960～90年の乗用車保有率の推移に関して、都市間・経年的にいかなる変化が生じてきたかについて分析を行った。またトリップ特性と交通手段選択については、自動車保有層と非保有層で交通行動特性が異なることを考慮して、母集団を保有層／非保有層に分割し、この各層について、P T調査のデータを用いて比較検討を行った。

### <自動車保有>

- ① 車保有は車価格基準化所得水準の伸びにつれて増加するが、その増加率は低→高→低という3つの段階に分けることができ、耐久消費財の普及パターンと類似していることが分かった。
- ② 乗用車保有水準が急速に増加する第Ⅱ段階（車価格基準化所得水準が1.5～3程度）において、都市間に増加率の差異が生じることが分かった。
- ③ 自動車普及とともに都市構造の低密度な広域化が進行していることが分かった。都市構造と自動車普及の間には相乗的な関係（モータリゼーション・アクセラレーション）がはたっていることを示すとともに、その進行が不可逆的であり、都市成長の早い段階からの交通・立地政策が必要であることを結論づけた。

### <生成原単位>

保有層の方が非保有層よりも、生成原単位・外出者率ともに高く、保有層の交通行動がより活発であることが分かった。また、保有層・非保有層ともに減少傾向にあることが分かった。

### <トリップ長分布>

保有層の方がやや長いトリップが多い。また、保有層・非保有層とも長距離化の傾向があり、都市広域化の影響がみられる。

### <交通手段選択>

全体的には自動車・鉄道・二輪車が伸び、徒歩・バスが減少している。保有層は、各距離帯ともに自動車が多く、特に0～2kmで圧倒的に多かった徒歩が自動車にシフトしている。一方で、地下鉄整備とともに15～30kmの距離帯で鉄道が増加している。非保有層では二輪車が10km以下で増えている以外には顕著な変化はない。

また、交通施設整備水準や都市構造指標を用いて相関分析を行った結果、鉄道整備水準は比較的高い相関を持つことが分かった。また、特に短距離帯で昼間人口密度が比較的高い相関を得た。

以上のように、モータリゼーション進展は基本的には所得水準上昇によって進展し、各局面で変化を生じさせる。しかし、自動車保有水準に都市間差異が見られたり、地下鉄整備によって自動車保有層でも鉄道利用が増加していることから分かるように、モータリゼーション進展を交通・立地政策の実施によって抑制することは可能であると考えられる。

本章において明らかにした、交通活動の時間的変化とそれに交通施設整備が及ぼす影響のメカニズムを、次章での都市交通システムの地球環境負荷推計のためのモデル構築に利用する。その際の評価対象時期としては、5.5.4項で論じたように、モータリゼーションが始まる以前の第Ⅰ期からモータリゼーション急速に進展し、それに合わせて交通施設を整備する第Ⅱ期を経て、その整備効果が持続する期間をとることが適当であるとする。

## 参考文献

- 1)建設省中部地方建設局：道路交通センサス報告書 中部地方の道路交通情勢の概要（昭和60年度・平成2年度版）、1987、1993.
- 2)中京都市群パーソントリップ調査報告書・交通実態現況編、中京都市群パーソントリップ調査協議会、1973.3.
- 3)中京都市群パーソントリップ調査報告書・現況分析編Ⅰ・Ⅱ、中京都市群パーソントリップ調査協議会、1973.3.
- 4)第2回中京都市圏パーソントリップ調査報告書2・交通実態編、中京都市圏総合都市交通計画協議会、1983.3.
- 5)第2回中京都市圏パーソントリップ調査報告書3・現況分析編、中京都市圏総合都市交通計画協議会、1983.3.
- 6)第2回中京都市圏パーソントリップ調査資料集・市町村別指標、中京都市圏総合都市交通計画協議会、1984.3.
- 7)第3回中京都市圏パーソントリップ調査報告書2・人の動きの現況と推移、中京都市圏総合都市交通計画協議会、1993.3.
- 8)第3回中京都市圏パーソントリップ調査報告書3・現況分析、中京都市圏総合都市交通計画協議会、1993.3.
- 9)第3回中京都市圏・東三河都市圏パーソントリップ調査資料集・市町村別指標、中京都市圏総合都市交通計画協議会、1994.3.
- 10)石油連盟：石油業界の推移（各年度版）.
- 11)通商産業省大臣官房調査統計部：石油統計年報（各年度版）.
- 12)平松直人、花木啓祐、松尾友矩：エネルギー消費の大都市間比較、環境システム研究 Vol. 19、1991.
- 13)運輸省自動車局：自動車輸送統計年報.
- 14)伊藤雅、石田東生：ガソリン消費量モデルによる乗用車利用の地域・時系列特性の把握、土木計画学研究・論文集 No.13、pp.525-533、1996.8.
- 15)運輸省鉄道局監修：鉄道(民鉄、私鉄)統計年報（各年度版）.
- 16)中島富雄：公共投資 その理論と実際、ぎょうせい、1982.
- 17)林良嗣、奥田隆明、加藤博和、戸松保晴：経済発展への対応からみた戦後日本の道路整備に関する歴史的考察、土木史研究 Vol.15、pp.71-86、1995.6.
- 18)全国道路利用者会議（建設省道路局監修）：道路統計年報（各年度版）.
- 19)建設経済研究所：日本経済と公共投資No.21 -公共投資、求められる改革へのみち-、1993.
- 20)自由国民社：現代用語の基礎知識
- 21)A. アルトシュラー、D. ルースほか（中村英夫ほか訳）：自動車の将来 その技術・経済・政治問題の展望、日本放送出版協会、pp.146-161、1984.
- 22)I F H P 交通問題常設委員会報告書 -ヨーロッパ及び北米地域報告-：交通体系と都市形態、第28回住宅・都市計画・地域計画国際連合世界会議、1966.

- 23) 鉄道ジャーナル社：鉄道ジャーナル 1996年12月号。
- 24) 森杉壽芳：モータリゼーションと環境、都市と環境 -現状と対策- (中村英夫編) 第2章第7節、ぎょうせい、pp.81-87、1992.12.
- 25) 林良嗣、加藤博和、木俣順：ヨーロッパ諸国における環境共存型運輸交通政策の展開、土木学会第3回地球環境シンポジウム講演集、pp.121-130、1995.7.
- 26) 総務庁統計局：国勢調査報告。
- 27) Y.Hayashi, R.Suparat, et al.: Urbanization, Motorization and the Environment Nexus - An International Comparative Study of London, Tokyo and Bangkok-, Memoirs of the School of Engineering, Nagoya University, Vol.46, No.1, pp.55-98, 1994.
- 28) 河上省吾、松井寛：交通工学、森北出版、1987.7.
- 29) P.Newman and J.Kenworthy: Cities and Automobile Dependence, 1989.
- 30) 石田東生、小島宗隆、岩倉成志、七元広宣：旅客交通の大気汚染排出原単位に関する比較考察、土木計画学研究・講演集 No.19(2)、pp.105-108、1996.11.
- 31) 大口敬、谷口正明、岡本智：道路交通における自動車の燃費に影響を与える要因について、土木計画学研究・講演集 No.18(2)、pp.569-572、1995.12.
- 32) 日産自動車交通研究所：自動車交通1993、pp.34-35、1993.11.
- 33) レスター・R・ブラウン 編著 (澤村宏 監訳)：地球白書1995-96、ダイヤモンド社、1995.
- 34) 大阪市立大学経済研究所 編：世界の大都市6 バンコク クアラルンプール シンガポール ジャカルタ、東京大学出版会、1989.
- 35) 臼井朗、花木啓祐、秋元肇：東アジアを対象とした自動車排出ガスによる大気汚染の将来予測、土木学会第4回地球環境シンポジウム講演集、pp.129-134、1996.7.
- 36) 中山裕文、金子慎治、藤倉良、井村秀文：アジア諸国の経済発展にともなう交通需要と環境負荷に関する研究、環境システム研究 Vol.24、pp.529-535、1996.10.
- 37) 自動車検査登録協力会：わが国の自動車保有動向 (各年版)。
- 38) 大都市統計協議会：大都市比較統計年表 (各年度版)。
- 39) 東京都：東京都統計年鑑 (1955～1991)。
- 40) 名古屋市：名古屋市統計年鑑。
- 41) 名古屋市：名古屋市百年の年輪、1989.
- 42) 福岡市：福岡市統計書 (1962～1972)。
- 43) 仙台市企画局統計課：仙台市統計書 (1958～1993)。
- 44) 新潟市：新潟市統計書 (1976～1991)。
- 45) 金沢市：金沢市統計書 (1961～1991)。
- 46) 熊本市：熊本市統計書 (1966～1991)。
- 47) 中村英夫、肥田野登、荒津有紀：乗用車保有の現状と将来予測 -その1 世界の現状と将来予測-、高速道路と自動車 第27巻 第11号、pp.22-32、1984.11.
- 48) 鹿島茂、肥田野登：乗用車保有の現状と将来予測 -その2 東南アジア各国の現状と将来予測-、高速道路と自動車 第27巻 第12号、pp.25-36、1984.12.

- 49)肥田野登、鹿島茂：乗用車保有の現状と将来予測－その3 わが国の現状と将来予測－、高速道路と自動車 第28巻 第1号、pp.38-47、1984.11.
- 50)鹿島茂、本多均、森浩：乗用車保有構造の分析、日本都市計画学会学術研究発表会論文集、pp.403-408、1980.
- 51)芦沢哲蔵：自動車保有率と都市構造との関係についての研究、第14回日本都市計画学会学術研究発表会論文集、pp.205-210、1979.
- 52)芦沢哲蔵：自動車保有と居住地との相互関係、第16回日本都市計画学会学術研究発表会論文集、pp.283-288、1981.
- 53)芦沢哲蔵：自動車保有水準と都市構造との動態分析、第17回日本都市計画学会学術研究発表会論文集、pp.319-324、1982.
- 54)伊藤雅、石田東生：都道府県別乗用車保有率のパネル分析、土木計画学研究・論文集 No.11、pp.73-80、1993.
- 55)森地茂、田村亨、屋井鉄雄、金利昭：乗用車の保有及び利用構造分析、第19回日本都市計画学会学術研究発表会論文集、pp.49-54、1984.
- 56)建設省土木研究所：乗用車の保有構造と車種選択に関する研究、土木研究所報告 第177号、1988.3.
- 57)青島縮次郎、磯部友彦、宮崎正樹、安村宏：世帯における自動車複数保有化の要因分析、土木計画学研究・講演集 No.15(1)、pp.755-760、1992.
- 58)トヨタ自動車販売株式会社：世界への歩みートヨタ自販30年史ー資料、1980.
- 59)山室眞二：消費統計モノグラフシリーズ⑦ 家計の中の耐久消費財ーその保有状況の分析ー、(財)日本統計協会、1988.
- 60)名古屋市交通局：市営交通70年のあゆみ、1992.8.
- 61)名古屋市交通局：資料集・名古屋の地下鉄建設、1986.3.
- 62)名古屋市土木局：名古屋市道路統計、1971、1981、1991.

## 6章 都市交通システムの地球環境負荷の マクロ的評価

### 6.1 概説

前章における交通施設供給と交通活動の分析では、交通活動を経年的に規定する要因であり、交通施設整備の新たな必要性を生じさせる原因であるモータリゼーションの詳細な分析を行った。それは、自動車の普及や利用のみならず、個人のライフ・スタイルや企業活動のあり方、そしてさらには都市構造までも変化させる存在であることを示した。一方、モータリゼーションの進行には都市間で大きな差異があり、交通施設整備や土地利用政策によって自動車保有率増加や自動車利用、トリップ長の増大、道路渋滞による燃費低下といった環境負荷発生増大要因を抑制することが可能であることも明らかになった。また、モータリゼーションをコントロールする役割を果たす交通施設整備は、その蓄積には長期間を要するものの、その効果はいったん発生すると長期間にわたって継続することを論じた。したがって、特に今後のモータリゼーション進展が予想される発展途上国の大都市においては、交通施設整備水準によってその進展がある程度コントロールでき、自動車の保有や利用の状況を変化させることができる。特に、本格的なモータリゼーションの前に鉄道やバスといった公共交通機関の整備を進め、スプロールの広域化を防ぐことができれば、急激な環境負荷の増加が抑えられると考えられる。

そこで本章では、以上のメカニズムを分析することが可能な体系として、都市を1つの単位とした「都市交通システム」について、それにかかわる地球環境負荷とその交通施設投資政策への影響を長期にわたって推計・評価する計量モデル「持続可能な都市交通整備のためのライフ・サイクル・アセスメント（E L A S T I C : Environmental Life-cycle Assessment for Sustainable Transport Improvement of a City）モデル」を構築する。それにあたって、「都市の成長期には、経済成長、人口集中、およびモータリゼーションが同時的に生じる」という、先進諸国の大都市が近年経験してきたパターンが生じることを前提条件とする。そのため、前章で分析を行ってきた、都市発展に伴う交通施設供給および交通活動の量的・質的变化に関する知見を全面的に利用する。

まず、交通施設供給の環境負荷については、各年の各交通機関に対する投資による交通施設存在量の変化を定式化するとともに、各交通機関の施設投資額・存在量から環境負荷発生量を推計するモデルを構築する。次に交通活動については、モータリゼーション進展状況を具体的に①自動車保有、②トリップ特性、③交通手段選択、④環境負荷原単位、の各段階に分け、それぞれの構造をモデル化し、さらにモデルを統合して環境負荷発生量を推計できるようにする。最後に、交通施設供給および交通活動に伴う地球環境負荷を加え合わせることで、都市交通システムにかかわる負荷を総合評価し、各種交通施設投資政策の感度分析を行う。

定式化のためのデータとしては、特に断りのない限り名古屋市のデータを用いている。したがって分析結果も、もし名古屋市で政策を変更した場合、という想定になる。



さらに、定式化されたモデルを用いて、a)経済成長期の交通施設投資レベル、b)経済成長期以前の施設水準、c)経済成長速度、d)人口増加速度、の4つについて、それぞれの違いによる交通にかかわる地球環境負荷の変化を分析する。

## 6.2 ELASTICモデルの全体構成

### 6.2.1 モデル構築における仮定

「ELASTICモデル」構築にあたっては、以下の点に留意する。

- 1) 交通施設供給と交通活動（交通施設利用）による環境負荷が同時に推計できること
- 2) 交通施設整備政策を都市単位で評価するために、政策変数としてインフラ増加量（すなわちインフラ投資額）が与えられること
- 3) 交通施設整備に伴う交通活動への長期的効果のメカニズムが組み込まれていること
- 4) 都市成長（アーバン・ダイナミズム）の過程で、交通活動の態様に対して特に大きな影響を持つモータリゼーション進展の状況が明示的に表されること

以上のことに配慮したモデルの基本体系は、3.4.5項で既に示している。これは、ある地域における交通にかかわる地球環境負荷発生量推計モデルを、動学的マクロ経済モデルをベースとして構築したものである。ここにその式体系を再掲する。

$$E = \sum_{t=0}^T E(t) \quad (3.5)$$

$$E(t) = \sum_m \{ E_c^k(t) + E_m^k(t) + E_u^k(t) \} \quad (3.10)$$

$$I^k(t) = i^k(t) \cdot GDP(t) \quad (3.11a)$$

$$dS^k(t)/dt = I^k(t) \quad (3.11b)$$

$$GDP(t) = GDP[S^k(t), p(t)] \quad (3.11c)$$

$$D^k(t) = D^k[GDP(t), p(t), S^k(t)] \quad (3.11d)$$

$$E_c^k(t) = \varepsilon_c^k(t) \cdot I^k(t) \quad (3.11e)$$

$$E_m^k(t) = \varepsilon_m^k(t) \cdot S^k(t) \quad (3.11f)$$

$$e_u^k(t) = e_u^k[D^k(t), S^k(t)] \quad (3.11g)$$

$$E_u^k(t) = e_u^k(t) \cdot D^k(t) \quad (3.11h)$$

ここで、 $t$ ：期、 $T$ ：評価対象期間

$k$ ：交通機関の種類

$E_c(t)$ ： $t$ 期における交通施設建設によって生じる内包環境負荷

$E_m(t)$ ： $t$ 期における交通施設維持管理によって生じる内包環境負荷

$E_u(t)$ ： $t$ 期における交通活動によって生じる環境負荷

$I$  : 交通社会資本投資額、  $i$  : 投資比率 (GDP比)、  
 $S$  : 交通社会資本供給 (ストック) 量、  $D$  : 交通需要、  
 $\varepsilon_c$  : 交通施設の建設における内包環境負荷発生原単位 (投資額あたり)  
 $\varepsilon_m$  : 交通施設の維持管理における内包環境負荷発生原単位  
 (ストック量あたり)  
 $e_u$  : 交通活動の環境負荷発生原単位 (単位需要あたり)

この基本体系を、実際のデータを用いて詳細にモデル化するのが本章の役割である。ただし、動学的マクロモデルが一般的に経済成長経路を内生的に決定することを目的とするのに対し、本研究では、交通に関する環境負荷を実証的に推計することを目的とするため、以下の4つの点でアレンジを試みる。

a) 交通活動に伴う環境負荷発生を推計するために、フロー経済とインフラ供給量から交通活動の態様が決定されるプロセス (3. 11 d)、(3. 11 g) 式の詳細をモデル化する。

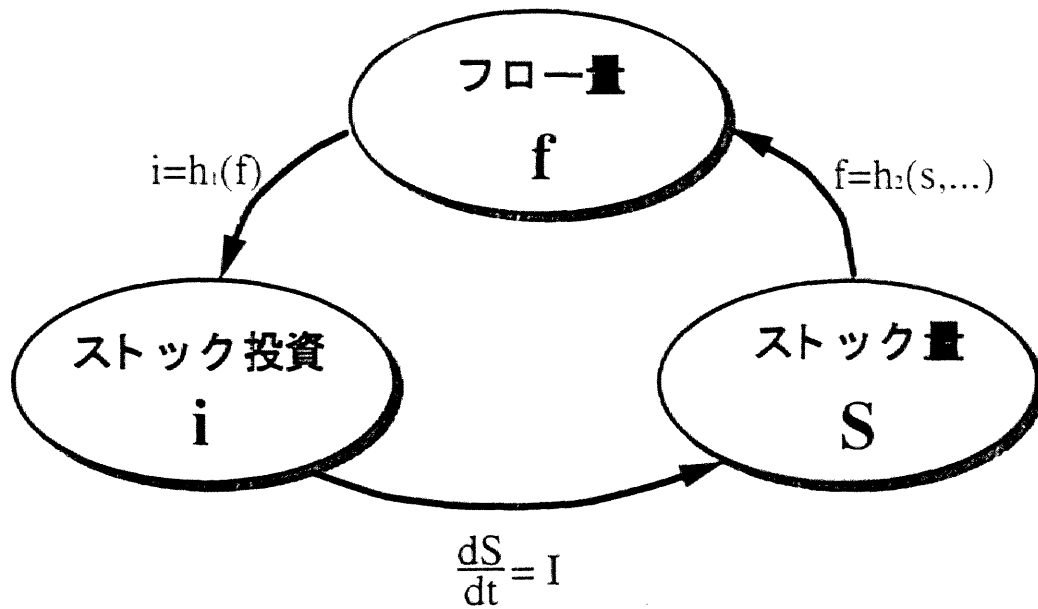
(3. 11 d) 式の交通活動需要関数では、モータリゼーションを再現するとともに、交通施設供給によって生じる需要誘発効果 ( $\partial D / \partial S$ ) が組み込まれる必要がある。交通活動において環境性能を規定する要因は自動車保有率や交通手段分担率、トリップ長などであり、モータリゼーションと交通施設整備状況によるこれらの変化をシミュレートできるモデルを構築する。

(3. 11 g) 式の交通活動に伴う環境負荷発生原単位を決定する部分は、交通施設供給による混雑緩和効果 ( $\partial e_u / \partial S$ ) の表現が不可欠である。

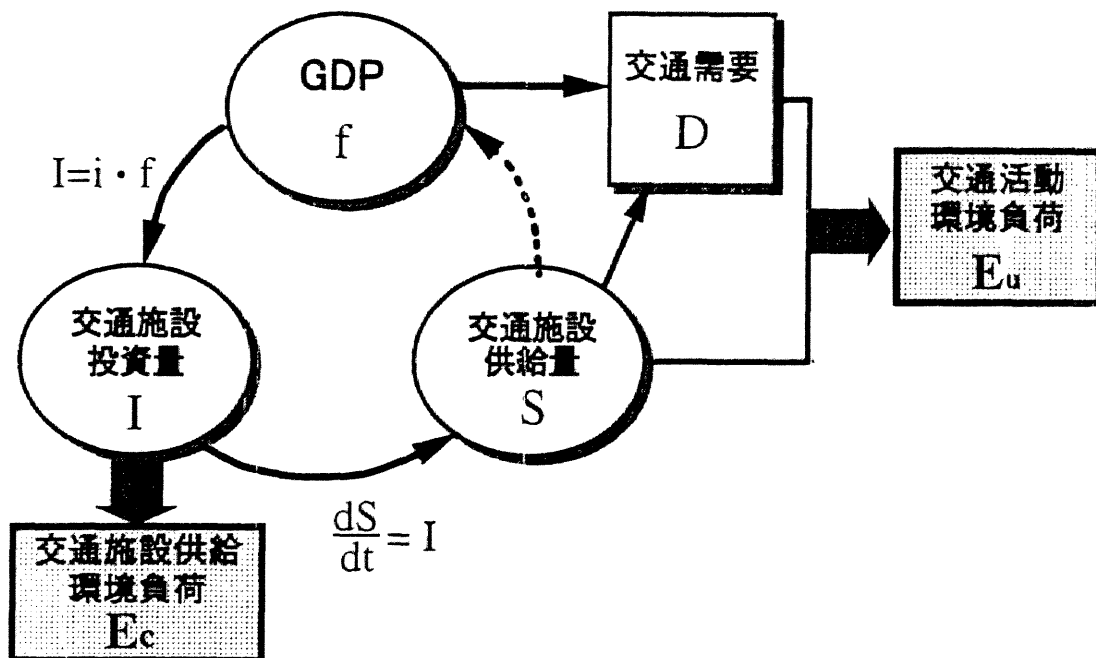
b) 交通社会資本増加によるフロー経済 (経済成長) へのフィードバックは考慮しない。すなわち (3. 11 c) 式は用いず、人口と所得水準を外生的に与える。

都市において交通施設整備を進めることによって、その都市の魅力や利便性は向上し、人口や所得水準の増加が見込まれる。したがって本来であれば、この定式化も組み込まれる必要がある。しかし人口については、自然的要因と社会的要因に分かれる上に、社会的要因については他地域との関係によって決まるものと考えられ、モデルが非常に複雑になってしまう。また所得水準についても、動学的マクロ経済モデルを統計的に推定し予測する試みがあるが、実証的には成果が上がっていない。

したがって、本研究では人口や所得水準については、交通施設整備に影響を受けないものと仮定する。すなわち、実際データを用いたり上昇率を仮定することにより、外生的に与えるものとする。動学的マクロ経済モデルの枠組と本モデルとの対比を図 6. 1 に示す。また 5. 5. 4 項でも論じたように、人口増加や経済成長の速度も、交通施設整備政策の方向を決めるにあたって重要な要素である。したがって、これらの違いによる環境負荷の変化についても分析を行う。



(a) 基本的な動学的マクロ経済モデルの構成



(b) 本研究で開発するELASTICモデルの構成

図6. 1 動学的マクロ経済モデルとELASTICモデルとの比較

## 6. 2. 2 地球環境負荷推計モデル

交通にかかわる地球環境負荷の評価にあたっては、(3. 11 a)・(3. 11 b)・(3. 11 d)～(3. 11 h)式から、(3. 10)式の各期の環境負荷を推計し、さらに(3. 5)式の時間積分によってライフ・サイクル環境負荷を求めればよい。

本研究では、交通機関（上付き添え字のk）として自動車（c）および鉄道（r）を扱う。また鉄道に関しては、データの都合上、交通活動の負荷（u）と維持管理の負荷（m）を分離することができない。そのため、(3. 10)式を次のように書き直す。

$$E = (E_c^c + E_c^r) + E_m^c + (E_u^c + E_u^r) \quad (6. 1)$$

ここで、すべての変数は期 t の値

$E_s^k$  : 交通機関 k の段階 s における地球環境負荷発生量

k : 交通機関（c : 自動車、r : 鉄道）

s : ライフ・サイクルの段階（c : 建設、m : 維持管理、u : 交通活動）

こうして得られた各期（年度）での地球環境負荷発生量から、3章で示した都市交通システムのライフ・サイクル環境負荷が求められる。これによって、累積環境負荷チャートを描くことができるとともに、評価対象期間での総計をとることにより、都市交通システム全体の環境負荷発生量を評価することができる。

### 1) 交通施設の建設に伴う環境負荷

大都市では都市化の進行に伴い、新たな都市交通施設整備のために毎年ばく大な資金が投入されている。そのため、その建設活動による環境負荷発生は大きい。そこで、各年ごとの交通施設建設活動に伴う地球環境負荷を推計する。方法としては、建設投資額に内包環境負荷原単位（投資額ベース） $\varepsilon_c$  を乗じて算出する。

$$E_c^c = \varepsilon_c^c \cdot I^c \quad (6. 2)$$

$$E_c^r = \varepsilon_c^r \cdot I^r \quad (6. 3)$$

ここで、 $\varepsilon_s^k$  : 交通機関 k の建設段階における地球環境負荷発生原単位

### 2) 交通施設の維持管理に伴う地球環境負荷の推計

完成後しだいに老朽化する交通施設の機能を維持するために、維持管理活動を行わなければならない。交通施設維持管理環境負荷  $E_m$  は、施設の蓄積 S に伴って増大するため、都市が成熟するにしたがい、その重要性が増す。そこで前項と同様に、維持管理投資額  $I_m$  に内包環境負荷発生原単位（投資額ベース） $\varepsilon_m$  を乗じて算出する。

$$E_m^c = \varepsilon_m^c \cdot I_m^c \quad (6. 4)$$

### 3) 交通活動（交通施設利用）に伴う地球環境負荷の推計

各交通機関の総トリップ長（台・車両・キロ） $L$  に環境負荷発生原単位  $e_u$  を乗じて、交通施設を利用する車両から発生する環境負荷を推計する。

交通活動においては、混雑率によって環境負荷発生原単位が変化することに注意が必要である。自動車の場合、5.5.4項で示したように、渋滞が少なく平均走行速度が大きくなるほど燃費が向上するため、環境負荷発生原単位を平均走行速度  $\bar{v}$  の関数で表しておく必要がある。また鉄道の場合には、環境負荷発生原単位は混雑率（車両あたり乗車人数） $K$  の関数で表され、自動車とは逆に混雑するほど原単位は小さくなる。

以上の考え方に基づいて、定式化を以下のように行う。

$$E_u^c = e_u^c \cdot L^c \quad (6.5)$$

$$E_u^r = e_u^r \cdot L^r \quad (6.6)$$

$$\text{ここで、} e_u^c = g_1(\bar{v}) \quad (6.7)$$

$$e_u^r = g_2(K) \quad (6.8)$$

#### 6.2.3 サブモデルの構成

都市交通にかかわる地球環境負荷を推計するために、交通施設供給および交通活動の状況を詳細にモデル化する。これは、図6.2のフローチャートで示すように、次の4つのサブモデルから構成される。

- ① 交通施設供給モデル
- ② 自動車保有モデル
- ③ 交通活動モデル
- ④ 交通活動環境負荷原単位モデル

①では、長期的交通施設投資政策にしたがって、各年度ごとに鉄道と道路に配分された建設費から、各交通施設の整備水準上昇を推計するモデルである。また、①によって交通施設供給（建設および維持管理）の環境負荷が変化する仕組みになっている。この①の出力は②、③、④に影響を与える。②では所得水準や、①で決定された交通施設整備水準などから自動車保有率を推計する。③は①および②の結果から各交通機関の総走行台キロを推計する部分である。これと、①により得られた交通施設整備水準とから、④において混雑度と環境負荷発生原単位を推計する。更にこれを用いて交通活動（交通施設利用）による環境負荷を推計する。

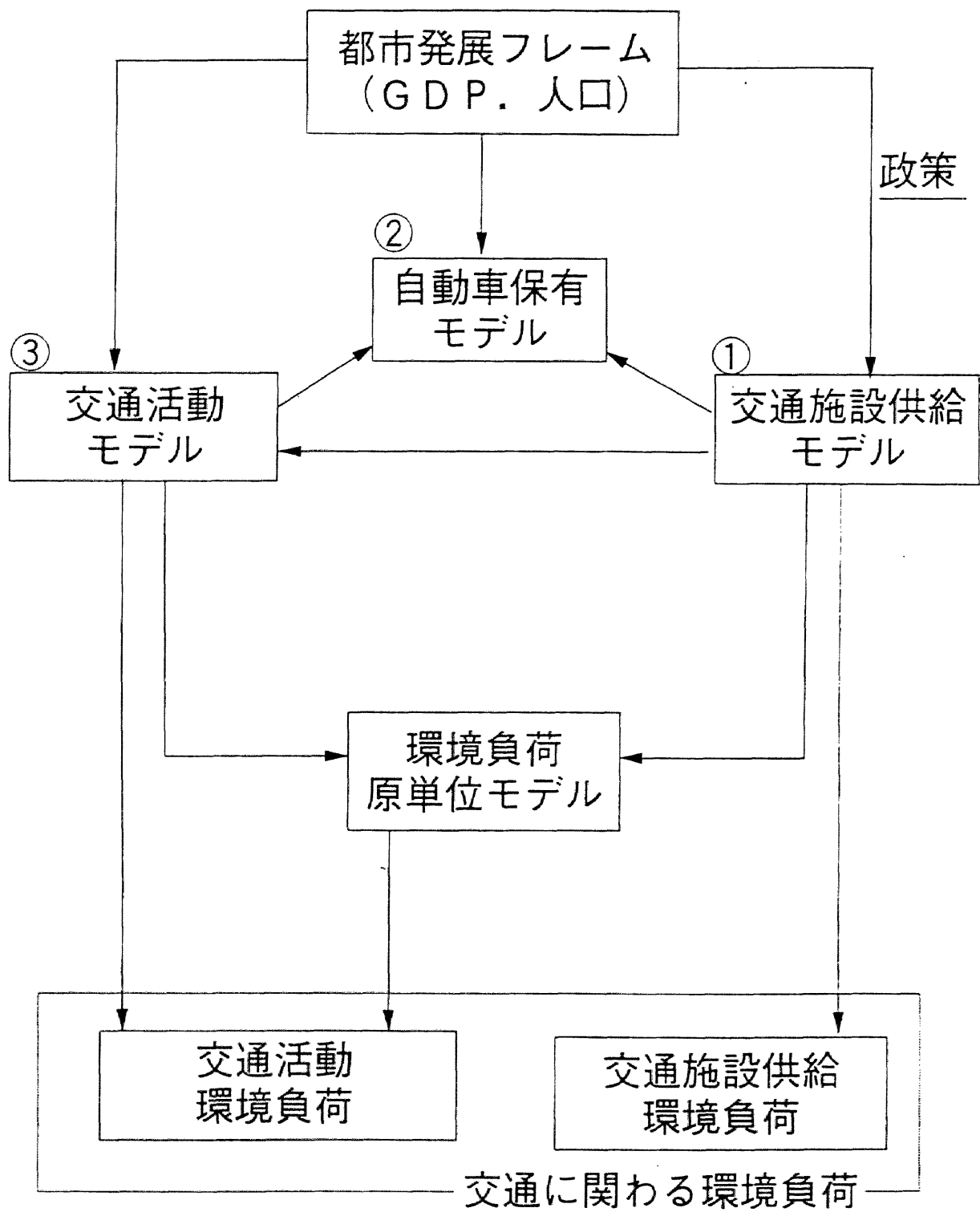


図6.2 ELASTICモデルの構成

## 6.3 交通施設供給に伴う環境負荷発生量の詳細モデル化

### 6.3.1 都市交通施設ストックと地球環境負荷との関係の定式化

#### 1) 全体構成

交通施設供給モデルは、各年の交通施設投資額より各年の交通施設供給量を求め、更に前年の交通施設蓄積量と加え合わせることで、その年の交通施設蓄積量を推計するものである。モデルの構成フローを図6.3に示す。

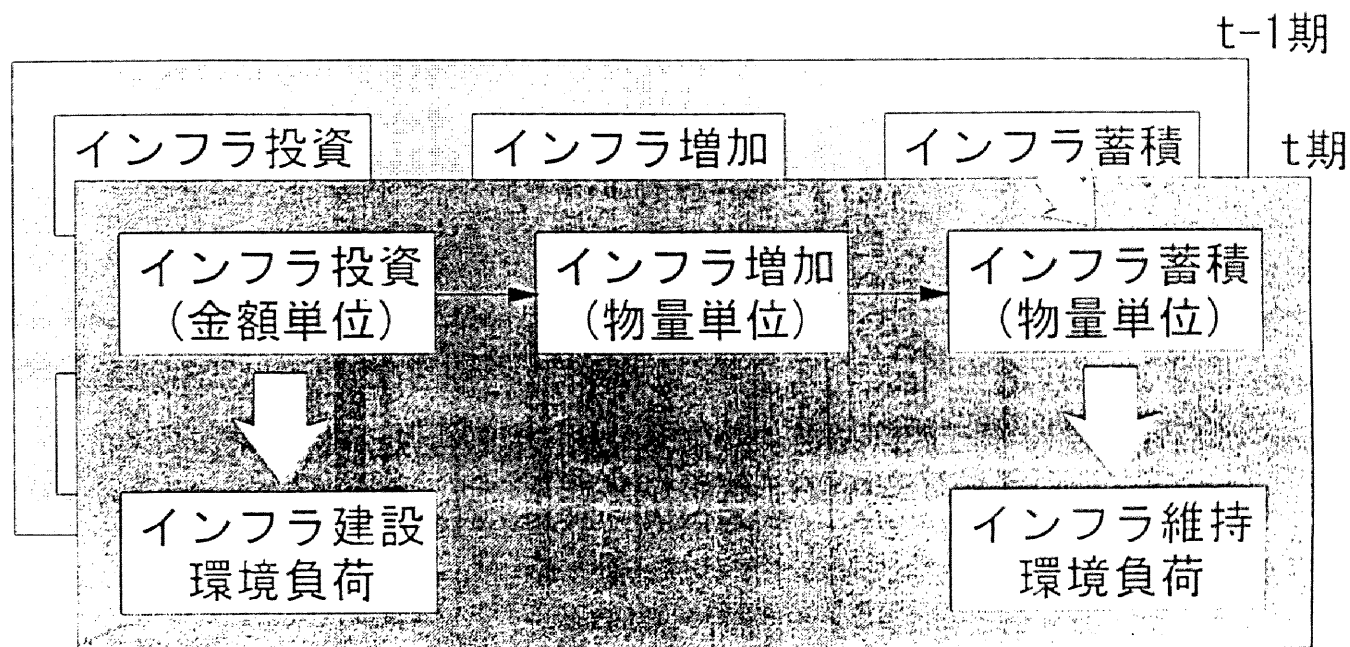


図6.3 交通施設供給モデル

交通施設投資は、直接的に建設および維持管理による環境負荷を規定する。また、自動車保有モデルや交通活動モデルへの入力を提供することにより、交通需要の態様を決定する。さらに、環境負荷発生原単位モデルにおける混雑率の決定にも関与する。これらのプロセスによって、交通活動の環境負荷に対し間接的に影響を与える部分である。

交通施設供給モデルは、以下の3段階に分かれる。

- ① 交通施設投資額（金額単位）から施設増加量（物量単位）に変換する
- ② 交通施設増加量に前年の施設蓄積量を加え、その年の交通施設蓄積量を求める
- ③ 交通施設蓄積量から施設維持費を推計する

①に関しては、各年の単位建設量あたり投資額（建設原単位）を求めておき、その逆数に投資額を乗じて求める方法をとる。

次に②に関しては、ストックフローの基本式（5.1）によるものとする。本来の資本財では減耗を考慮する必要があるが、日本では社会資本、特に交通施設の場合には、絶えず維持

補修活動が行われており、これによって減耗が補われていると考えられる。もし維持補修活動が十分でない場合をシミュレートするためには、減耗のモデル化が更に必要となる。

③では、交通施設維持費は交通施設蓄積量に単純に比例すると考えて定式化を行う。維持費は本来、耐用年数の経過に従って増加する傾向があり、この推計に正確を期するためには、交通施設の使用年数をモデルに組み込み、コーホート分析を行う必要がある。しかし、そのようなマクロデータが存在しないことと、モデルが複雑になることから、本研究では採用しない。

## 2) 交通施設供給量の決定式

(用地分を除いた)ストック量  $S(t)$  は、減耗を考えない場合、以下のように定式化できる。

$$S(t+1) = S(t) + I(t) / \lambda(t) \quad (6.9)$$

ここで、 $t$ ：期(年度)

$I$ ：インフラ投資額(建設的経費)

$\lambda$ ：建設原単位(単位インフラ量あたりの建設投資額)

道路ストック量の指標としては最も用いられるのは道路延長と道路面積があるが、道路面積の方が道路ストック量としてより適切である。また、鉄道ストック量については、地下鉄駅を指標として用いる。したがって、

$$S^c(t+1) = S^c(t) + I^c(t) / \lambda_c^c(t) \quad (6.10)$$

$$S^r(t+1) = S^r(t) + I^r(t) / \lambda_r^r(t) \quad (6.11)$$

$I^c$ ：道路インフラ投資額(万円)

$I^r$ ：鉄道インフラ投資額(億円)

$\lambda_c^c$ ：単位道路面積あたりの建設投資額(万円/㎡)

$\lambda_r^r$ ：単位地下鉄駅あたりの建設投資額(億円/駅)

となる。

なお、ここで用いる投資額のデータは、実際の額(名目値)でなく、建設部門のデフレーター<sup>1)</sup>を用いて実質値に補正を行っている。

## 3) 建設原単位<sup>2)</sup>

建設原単位は経年的に変化するものであり、質の向上に伴って年々上昇していく傾向にあると予想される。したがって、この値を何らかの形でモデル化しておく必要がある。

図6.4は、名古屋市における道路の建設原単位  $\lambda_c^c$  と所得水準(1人あたり所得)  $y$  との関係の時間的推移を示したものであるが、建設原単位は年々増加傾向にあるとともに、所得と比例関係にある。そこで、道路の建設原単位については重回帰分析の結果、以下のように定式化した。



$$\lambda_{\xi} = -1.17 + 6.12 \times 10^{-2} \cdot y \quad (6.12)$$

$$(-0.603) \quad (12.9) \quad R^2 = 0.883$$

ここで、 $y$  : 1人あたり所得 (円/人・年)

一方、鉄道の場合は投資額に比例して供用が増加するわけではなく、完成時に急増するという性質がある。そこで、ある年の建設原単位 (駅数ベース)  $\lambda_{\xi}$  を、対象年の前後2年を含めた5年間の平均的な増加量でとることとした。図6.5はこのようにして得た、名古屋市における地下鉄の建設原単位と所得水準 (1人あたり所得) との関係の時間的推移である。道路と同様に、比例関係が成立している。このデータより、次式を推定した。

$$\lambda_{\xi} = -61.5 + 1.96 \cdot y \quad (6.13)$$

$$(-0.798) \quad (8.84) \quad R^2 = 0.813$$

#### 4) 維持原単位

交通施設の維持管理環境負荷は維持費に比例するため、維持費を推計しておく必要がある。維持費は、交通施設蓄積量 (物量ベース) に単位交通施設ストック量あたりの維持投資額 (維持原単位)  $\lambda_{\xi}$  の逆数を乗じることによって算出することとする。図6.6に名古屋市における維持原単位の推移を示すが、建設原単位と同様に年々上昇傾向にあり、1人あたり所得との相関があることが分かる。そこで、道路の維持原単位を次のように定式化する。

$$\lambda_{\xi} = 6.39 \times 10^{-3} + 1.09 \times 10^{-4} \cdot y \quad (6.14)$$

$$(1.61) \quad (12.2) \quad R^2 = 0.867$$

ここで、 $\lambda_{\xi}$  : 単位道路面積あたりの維持管理投資額 (万円/㎡)

#### 6.3.2 交通施設供給による環境負荷の推計

交通施設供給による環境負荷発生量は、6.2.2項1)に示したように、交通施設建設量 (金額ベース) に環境負荷発生原単位 (金額ベース) を乗ずることにより推計する。

このとき環境負荷原単位には、3.4.5項でも論じたように、産業連関分析によって求められる内包環境負荷原単位を用いる。原単位は工種ごと、また年度ごとに変化することに注意する必要がある。工種については、建設部門分析用産業連関表<sup>3)</sup>を用いることにより、ある程度細かな工種まで分割可能である。しかし年度については、産業連関表が5年おきにしか得られないなどデータ制約が大きい。そこで改善のアプローチとして、1年度の産業連関表から得られた原単位データを他の年度にも適用する。この場合、投入-産出構造 (技術) は経年的に変化しないと仮定することになる。しかし実際には、技術革新によって原単位は年々減少しているものと考えられるため、単一年度の原単位をそのまま用いた場合、過去の環境負荷が過少推計になるおそれがある。そこで、GDPデフレーターを用いて原単位の補正を行うことにより、技術革新の効果を考慮する。このような原単位の補正は、中嶋・岩淵・松本・井村の研究<sup>4)</sup>でも行われている。

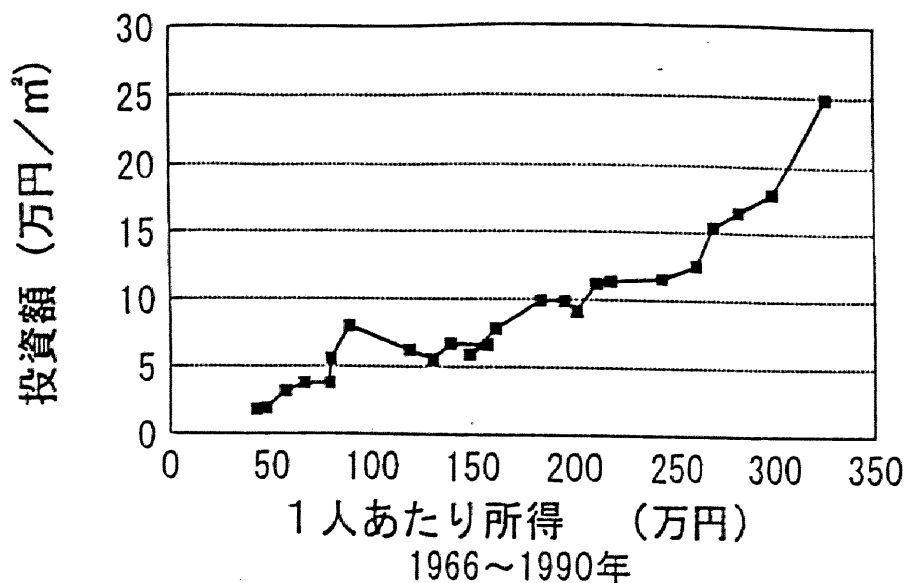


図6. 4 所得水準と単位道路面積あたり建設費との関係（名古屋市）

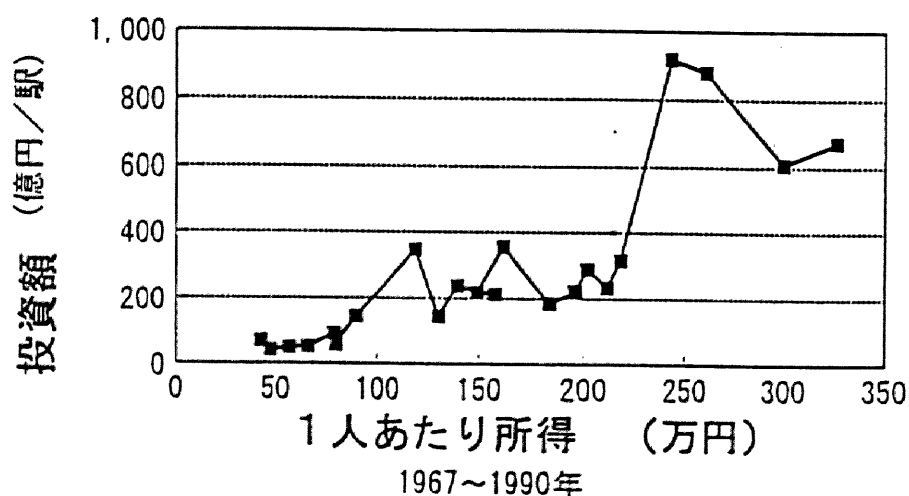


図6. 5 所得水準と単位地下鉄駅あたり建設費との関係（名古屋市）

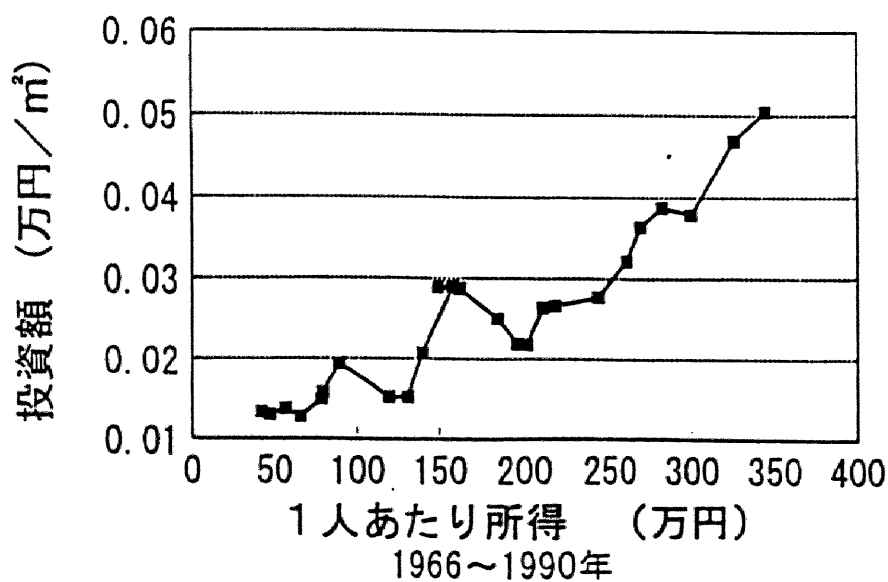


図6. 6 所得水準と単位道路面積あたり維持費との関係（名古屋市）

基本となる内包環境負荷原単位のデータは、池田・井村<sup>5)</sup>が1985年の建設業の産業連関表から推計した次の値を用いる。

内包エネルギー消費原単位（単位事業費あたりエネルギー消費量）：

道路建設 1.5 TOE/百万円

鉄道建設 1.8 TOE/百万円

道路維持管理 1.5 TOE/百万円

CO<sub>2</sub>換算係数：

0.86 t-C/TOE

エネルギー消費原単位にCO<sub>2</sub>換算係数を乗じ、さらにGDPデフレーターによる補正を行って、各年度の内包環境負荷発生原単位  $\varepsilon$  を推計する。

$$E_c = \varepsilon_c \cdot I^c \quad (6.2) \text{ <再掲>}$$

$$E_f = \varepsilon_f \cdot I^f \quad (6.3) \text{ <再掲>}$$

$$E_m = \varepsilon_m \cdot (S^c \cdot \lambda_m) \quad (6.15)$$

#### 6.4 交通活動に伴う環境負荷発生量のモデル化の方針

交通活動に伴う地球環境負荷発生量を規定する式としては、(5.5)・(5.6)式より、以下の式を得る。

$$E_u = \sum_K e_u^K \cdot L^K = \sum_K \{ e_u^K \cdot (1/n^K) \cdot l^K \cdot P^K \cdot T \} \quad (6.16)$$

これは6.2.1項のELASTICモデルのうち(3.11d)式の交通需要関数を実証的に書き直したものである。この式を基本として、交通に起因する地球環境負荷発生量の推計モデルの詳細化を図る。

モデルの全体構成を図6.7に示す。このモデルは以下の4つの部分に大きく分けられる。

##### a) 自動車保有モデル

モータリゼーション進展を表す基礎的指標である乗用車保有率（1人あたり乗用車保有台数）を推計するモデルである。説明要因として、都市の所得水準、都市構造指標（交通施設整備水準も含む）から自動車保有率を求める。

##### b) 交通活動モデル

交通活動に伴う環境負荷発生量を直接的に規定する一方の要素である、各交通手段の総トリップ長を推計するモデルである。これはさらに4つのサブモデルに分けられる。

##### ①生成原単位サブモデル

車保有／非保有層別に、生成原単位を推計するサブモデルである。経年とともに低下する。

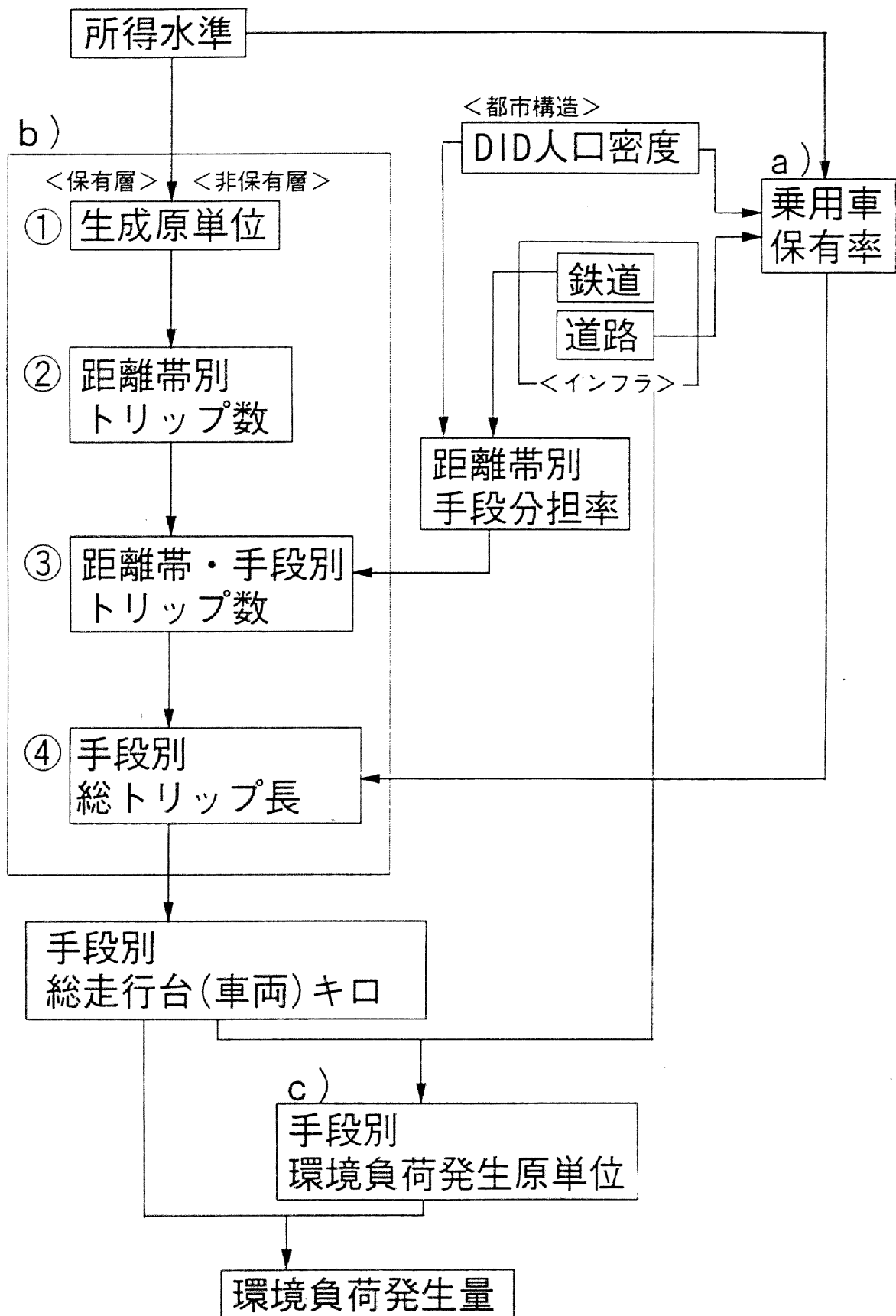


図6. 7 交通活動に伴う地球環境負荷発生量推計のためのフローチャート

## ②距離帯別トリップ頻度サブモデル

車保有／非保有層別に、距離帯別のトリップ頻度を推計するサブモデルである。都市の広域化が進行することによって、低距離帯の頻度が低下し長距離帯が上昇する。

## ③交通手段分担率サブモデル

車保有／非保有層別・トリップ距離帯別の鉄道・自動車分担率を推計するサブモデルである。説明要因として交通施設整備水準や都市構造指標が組み込まれる。

## ④総トリップ長サブモデル

以上①～③の推計結果を統合して、各交通手段の総トリップ長を推計するサブモデルである。

## c) 環境負荷発生原単位モデル

環境負荷発生量を規定するもう一方の要素である、各交通手段の環境負荷発生原単位（単位トリップ長あたり環境負荷発生量）を推計するモデルである。環境負荷発生原単位は混雑状況の関数として表され、自動車では混雑するほど原単位が大きくなる（すなわち悪化する）一方、鉄道では混雑するほど小さくなる（改善する）ようになっている。

## d) 環境負荷発生量モデル

b)で推計された各交通手段の総トリップ長に、c)で推計された各交通手段の環境負荷発生原単位を乗じ、全手段の総和をとることによって、交通活動の環境負荷発生総量を算出するモデルである。

以上の点を考慮することにより、自動車保有水準、交通需要の距離的分布、交通施設整備水準それぞれの変化の都市交通環境負荷発生に対する影響が分析可能になる。特に、車の保有層（Choice層）／非保有層（Captive層）を分けたモデル構成にすることで、各層の交通手段選択特性の違いをモデルに組み入れることができ、モータリゼーションの進展に伴う交通活動の変化を再現することができる。

モデル推定に用いるデータは、5章での分析と同様に、自動車保有水準については日本国内の主要都市のデータ、トリップ特性・交通手段については名古屋市内のデータとする。本研究では単純化のため、都市旅客交通の地球環境負荷発生量について、特に自動車と鉄道に起因するものに着目する。バス・二輪車交通に起因するものはごく少量であるため考慮しない。

次節からは、各モデルについての定式化を行う。

## 6.5 自動車保有水準のモデル化

本節では、5.5節での自動車保有水準の経年変化に関する分析結果を参考にして、日本の主要都市を対象として、都市間の交通施設整備水準や都市構造の違いによる差異を表現することが可能で、かつシンプルな集計型乗用車保有率モデルを開発する。

分析に用いるデータは、戦後に高度経済成長を経験していることによって、所得水準について広いレンジのデータを得られることや、「お国柄」のような統計データで説明困難な要因が

排除できること、さらに入手の容易性から、日本国内の主要都市の時系列データを用いる。

#### 6. 5. 1 所得分布と自動車保有増加

5. 5. 3 項において、自動車普及のプロセスがⅠ・Ⅱ・Ⅲ期に分けられ、第Ⅰ期では漸増、第Ⅱ期では急増、第Ⅲ期でまた漸増、という傾向があることが分かった。また、第Ⅰ・Ⅱ期では所得水準が主要な説明要因であるが、第Ⅲ期では所得弾性値は小さくなり、むしろ都市間の差異が顕著となることが明らかにされた。

このようなプロセスをたどる原因は、所得分布によって説明することができる。一般に所得分布は、対数正規分布に近い形をすることが分かっている<sup>6)</sup>。ここで、ある所得以上の個人は車保有が可能であり、それ以下では不可能であるといういき値が存在すると仮定する。そのとき、車保有可能者層は図6. 8に示す所得分布のうちハッチをかけた部分に相当する。実際にはこのような明確ないき値は存在せず、個人の嗜好によってある程度のバラツキがあると考えられるが、ここでの仮定は単純化のためであり、推論上の問題点はないと考えられる。

所得分布は、所得水準（所得分布の平均値）の上昇によって右にシフトする。第Ⅰ期では所得水準が低いため、所得水準が上昇しても車保有可能者層はあまり増加しない。ところが第Ⅱ期に入ると、いき値が中心所得帯に入ってくるために、所得水準の上昇に対して車保有可能者層は急激に増加する。さらに第Ⅲ段階ではいき値が低所得者層に達して、車保有可能者層の増加が鈍ることになるのである。

このアプローチを更に発展させ、所得分布と自動車保有水準からいき値を推定することにより、所得分布の変化による自動車保有水準への影響を分析するモデルを構築することが1つの

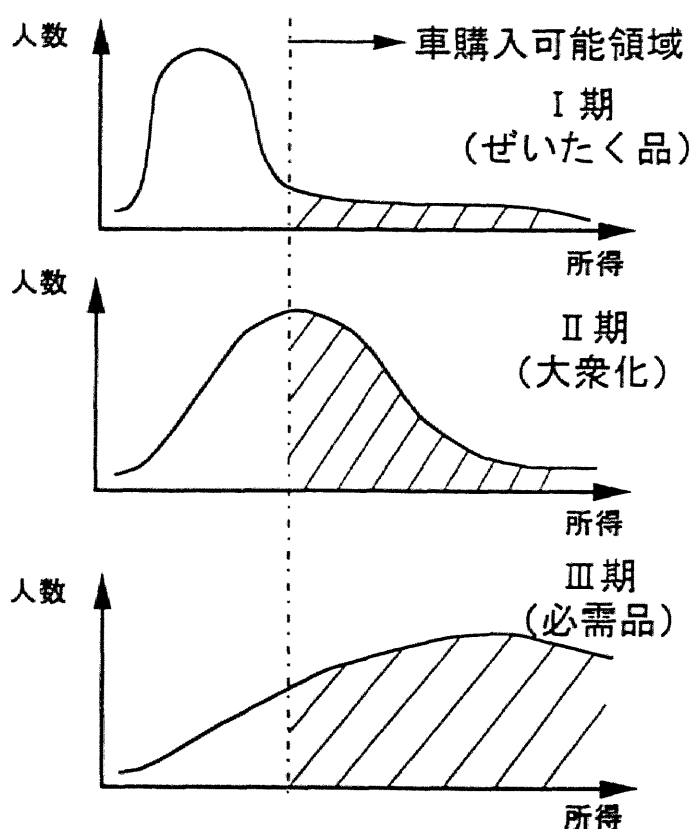


図6. 8 経済成長による所得分布と自動車保有可能層の変化

方法として考えられるが、実際には完全な所得分布のデータを得ることが困難であるという問題点がある。したがってここでは、所得分布の代わりに、国民経済計算などから得られる平均的な所得水準を用いてモデルを構築することとする。

## 6. 5. 2 乗用車保有率モデルの定式化

自動車保有水準の経年変化に対する以上の考察を踏まえ、本章では「ロジスティック曲線」を用いて、複数の都市の経年変化を説明可能な乗用車保有モデルの定式化を試みる。

### 1) ロジスティック曲線モデル

ロジスティック曲線は、耐久消費財の普及率を時系列的に説明するモデルとして従来より広く用いられてきた<sup>7)</sup>。自動車保有水準に関する既往研究でもしばしば適用されてきている。この曲線は、以下の式で表される。

$$y = \frac{K}{1 + \alpha \cdot \exp(-\beta x)} \quad (6.17)$$

ここで、 $y$ ：普及率または実数

$x$ ：説明変数

$K, \alpha, \beta (>0)$ ：パラメータ

ロジスティック曲線は、最初は増加率が大きくなっていき、 $x=0$  の変曲点からは逆に増加率が小さくなり、上限値  $K$  に漸近する曲線である。また(6.17)式は、

$$(dy/dx)/y = \beta (1 - (y/K)) \quad (6.18)$$

の関係を満たす。この左辺は  $y$  の成長率を表しており、この式は  $y$  が増加し上限値  $K$  に近づくほど成長率が低下し 0 に収束することを示している。

このようなロジスティック曲線の特性は、図5.16(前掲)の車価格基準化所得水準と乗用車保有率の推移のグラフに類似している。自動車も耐久消費財の一種ととらえることができ、また前章で述べたように、保有率上昇が漸増、急増、漸増という3段階に分けられることや、何らかの上限値(飽和水準)が存在していると考えられることから、普及率(自動車保有水準)をロジスティック曲線を用いて説明することは妥当であると考えられる。そこで本研究では、乗用車保有率をロジスティック曲線で表すことを試みる。

説明変数  $x$  は一般には年が用いられることが多いが、ここでは車価格基準化所得を用いる。このことにより、図6.8における所得分布には分散一定のロジスティック分布を仮定したことになる。また  $y$  は乗用車保有率を表すものとする。

ロジスティック曲線の採用にあたって問題となるのは上限値パラメータ  $K$  の推定である。(6.17)式はパラメータ  $K, \alpha, \beta$  に関して非線形であるため、このままでは最小2乗法を用いた推定ができない。そこで(6.17)式を対数変形した

$$\ln((K-y)/y) = \ln \alpha - \beta x \quad (6.19)$$

を考え、上限値  $K$  をあらかじめ与えて、線形重回帰分析により  $\ln \alpha$  および  $\beta$  を推定するというのが一般的な方法である。耐久消費財に適用する場合には、 $K$  の値として例えば全世帯（あるいは普及率100%）を与えることができる。また人口のように  $K$  が直接分からない場合でも、 $y$  と  $x$  のグラフから“3点法”と呼ばれるパラメータ推定手法によって  $K$  の推定が可能である<sup>6)</sup>。この方法は、ある特定地域における時系列モデルを推定するためには利用可能な方法である。

ところが、本研究で構築しようとしているのは、複数の都市の経年変化を説明可能なモデルである。この場合、上限値  $K$  の値が都市によってまちまちであると考えられ、上のような方法を使うことができない。むしろ  $K$  を都市間の差異によって説明するモデルが必要である。

## 2) 潜在的乗用車市場規模

上限値  $K$  は、モデル式(6.17)の分子である。この式において、 $x \rightarrow +\infty$  とすると、 $y \rightarrow K$  となる。したがって、 $K$  とは、所得水準が車価格に比べて非常に高く、車保有に対する所得制約が生じていない場合の乗用車保有率に相当する値である。これは、潜在的に車を保有したいと考える人の割合と解釈できるので、 $K$  を「潜在的乗用車市場規模」と呼ぶこととする。

$K$  が都市によって異なるのは、既往研究からも明らかなように、道路整備水準、公共交通整備水準、都市構造要因（都市規模や密度など）によるものである。したがって、 $K$  をこれらの要因による関数として表せばよい。本研究では、さまざまな変数についてパラメータ推定を行った結果、道路整備水準指標として「1人あたり道路面積」を、また都市構造指標として5.4.1項4)で説明した「DID人口密度」をとることとした。

都市規模に関する指標は、本研究での分析都市が比較的大規模の都市でそろっているため組み込んでいない。また公共交通整備水準に関しては、それを表すマクロ指標の選定が困難なこと、実際にさまざまな指標について分析を行ったものの統計的に有意な結果が得られなかったこと、DID人口密度との相関が存在すると考えられることから、本研究では組み込んでいない。

以上のことより、 $K$  を次のコブ・ダグラス型の式で表すこととした。

$$K = \gamma_1 \cdot R^{\gamma_2} \cdot (1/d)^{\gamma_3} \quad (6.20)$$

ここで、 $R$  : 1人あたり道路面積  $\langle \text{m}^2/\text{人} \rangle$

$d$  : DID人口密度  $\langle \text{人}/\text{km}^2 \rangle$

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  : パラメータ

$R$  の増加や  $d$  の低下によって  $K$  は増加すると考えられるため、パラメータ  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  はいずれも正の値をとる必要がある。

## 3) 市場飽和度

一方、(6.17)式の分母の逆数



$$s = 1 / (1 + \alpha \cdot \exp(-\beta x)) \quad (6.21)$$

は、潜在的乗用車市場規模  $K$  のうち、所得制約がクリアされ乗用車保有が顕在化した割合であるのとらえることができる。そこで、この値  $s$  を「市場飽和度」と呼ぶこととする。 $s$  は車価格基準化所得水準  $x$  のみの関数になっており、所得上昇によって車購入可能性が高まり、車保有の顕在化が促進されることが表されている。

#### 4) 乗用車保有率モデルのまとめ

以上の定式化をまとめると次のようになる。

乗用車保有率：

$$y = K(R, d) \cdot s(x) \quad (6.19)$$

潜在的乗用車市場規模：

$$K(R, d) = \gamma_1 \cdot R^{\gamma_2} \cdot (1/d)^{\gamma_3} \quad (6.22)$$

市場飽和度：

$$s(x) = 1 / (1 + \alpha \cdot \exp(-\beta x)) \quad (6.23)$$

ここで、 $y$ ：乗用車保有率 <台/人>

$R$ ：1人あたり道路面積 < $m^2$ /人>

$d$ ：D I D人口密度 <人/ $km^2$ >

$x$ ：車価格基準化所得 <(円/人)/新車最低価格>

$\alpha, \beta, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ ：パラメータ

### 6.5.3 乗用車保有率モデルのパラメータ推定と感度分析

前項で定式化した乗用車保有率モデルについて、日本の主要都市のデータを用いてパラメータの推定を行い、説明変数の感度分析を行う。

#### 1) パラメータ推定と現況再現性の確認

分析対象都市（5.5節参照）について、1960年から90年までの5年ごとのデータ（合計85サンプル<一部データが得られなかった年が存在する>）を用いて、式（6.17）のパラメータ  $\alpha, \beta, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  を推定する。データが5年ごとなのは、D I D人口密度が国勢調査によって得られているためである。式（6.17）はパラメータ  $K, \alpha, \beta$  に関して非線形であるため、初期値を与えて非線形重回帰分析を行った。その結果、パラメータは以下のようになった（()内はt値）。

$$\alpha = 26.8 (10.4), \quad \beta = 1.45 (-9.67),$$

$$\gamma_1 = 0.442, \quad \gamma_2 = 0.218 (2.22), \quad \gamma_3 = 0.453 (6.39)$$

いずれの変数も符号、有意性ともに確認されている。また、推定されたモデルの現況再現性を確かめるために、乗用車保有率の実際値とモデル計算値をプロットしたのが図6.9である。

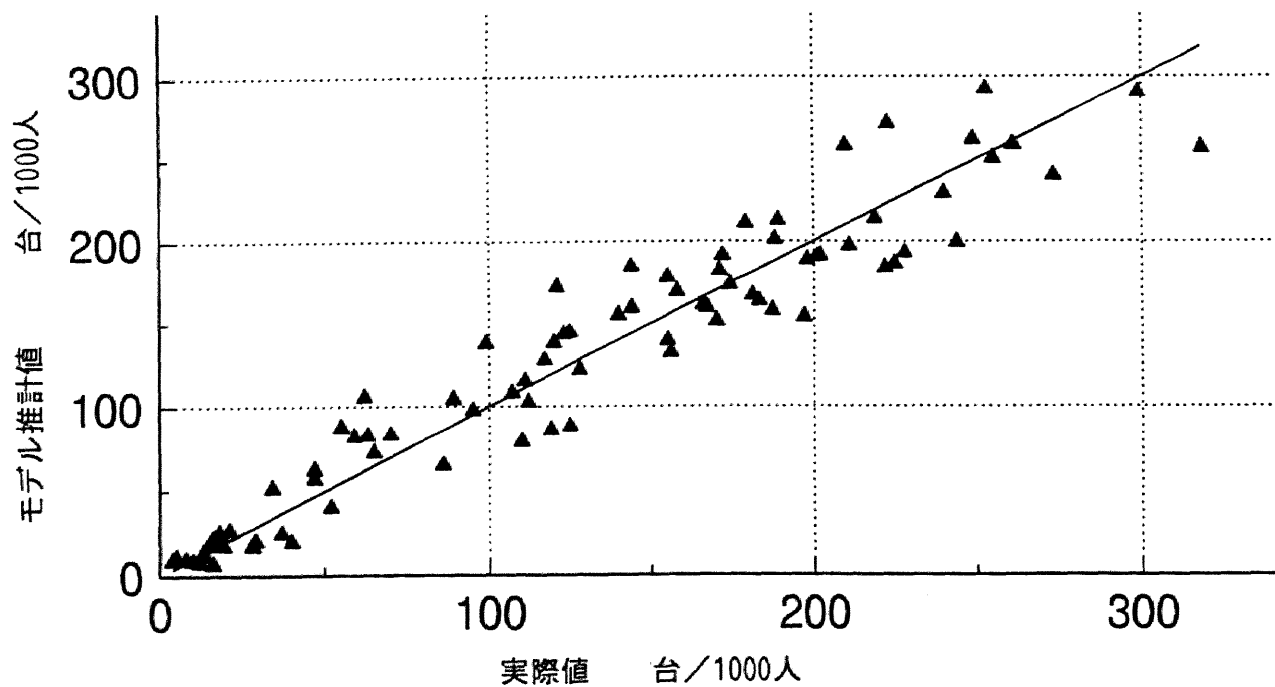
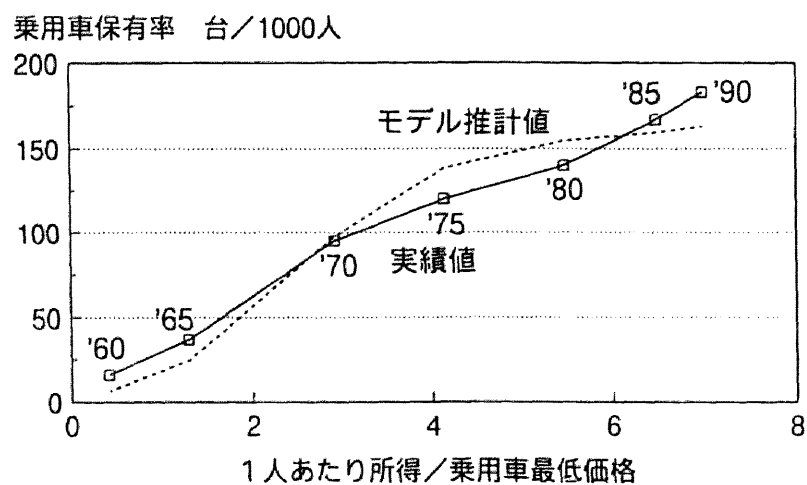
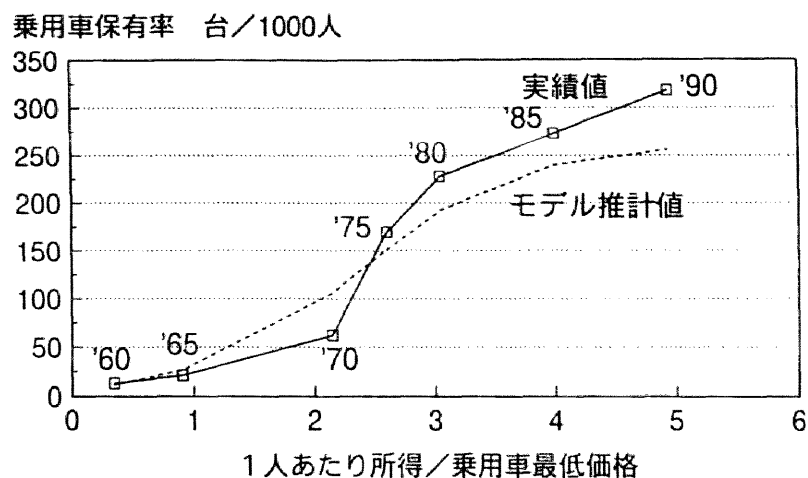


図6.9 乗用車保有率モデルの現況再現性

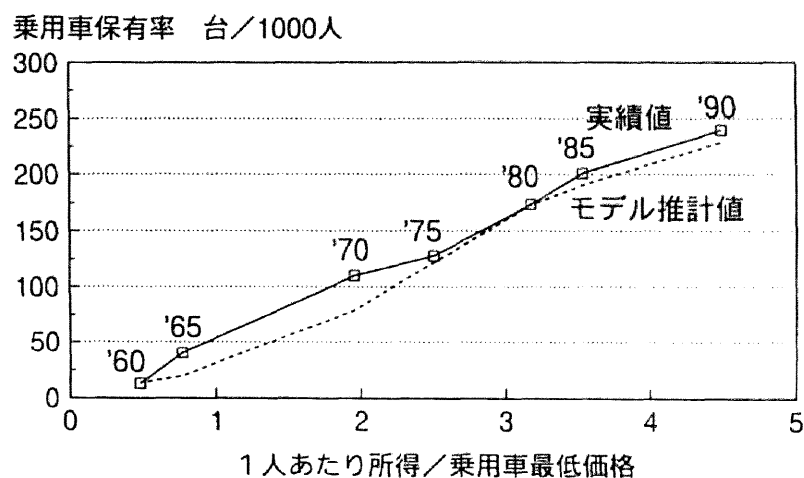


(a)東京都区部

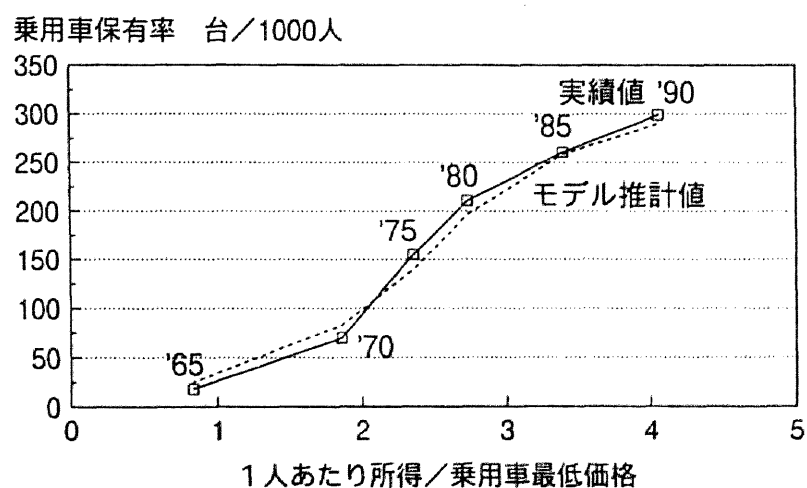
図6.10 乗用車保有率の実際値およびモデル推定値(その1)



(b)名古屋市



(c)福岡市



(d)金沢市

図6. 10 乗用車保有率の実際値およびモデル推定値 (その2)

R<sup>2</sup>乗値は0.932となり、現況再現性も比較的高くなっている。さらに、東京都区部、名古屋市、福岡市、金沢市の各都市を例として、車価格基準化所得水準の変化による実際値とモデル計算値の推移を図6.10(a)～(d)に示す。ロジスティック曲線モデルの採用により、乗用車保有率の時間的推移をよく再現できていることが分かる。しかし、名古屋市など一部には過大または過少となるバイアスが存在する都市があり、このモデルでは都市間の差異が完全には表現されていない。

## 2) 感度分析

### a) 潜在的乗用車市場規模：

図6.11は、名古屋市の乗用車保有率および潜在的乗用車市場規模のモデル推計値の推移である。所得水準の増加によって保有率が潜在的市場規模に漸近しているとともに、潜在的市場規模も増加の一途をたどっていることが分かる。

そこで、名古屋市の1人あたり道路面積およびD I D人口密度をそれぞれ1960年の水準に固定した場合（実際には1990年度には、それぞれ約1.5倍、約0.7倍）の乗用車保有率の推移をそれぞれ図6.12、図6.13に示す。1990年度の潜在的市場規模の1人あたり道路面積に対する弾力性は約-0.38、D I D人口密度に対する弾力性は約0.25となっている。

図6.14は、各都市の1人あたり道路面積とD I D人口密度の推移とともに、その値に対応して決まる潜在的市場規模の値を「等ポテンシャル線」として描いたものである。この図から、各都市は等ポテンシャル線とほぼ直交する方向に進んでいる。すなわち、日本の主要都市では潜在的市場規模が一貫して増加し、「自動車指向型都市」につき進んできたことが分かる。

### 乗用車保有率 台／1000人

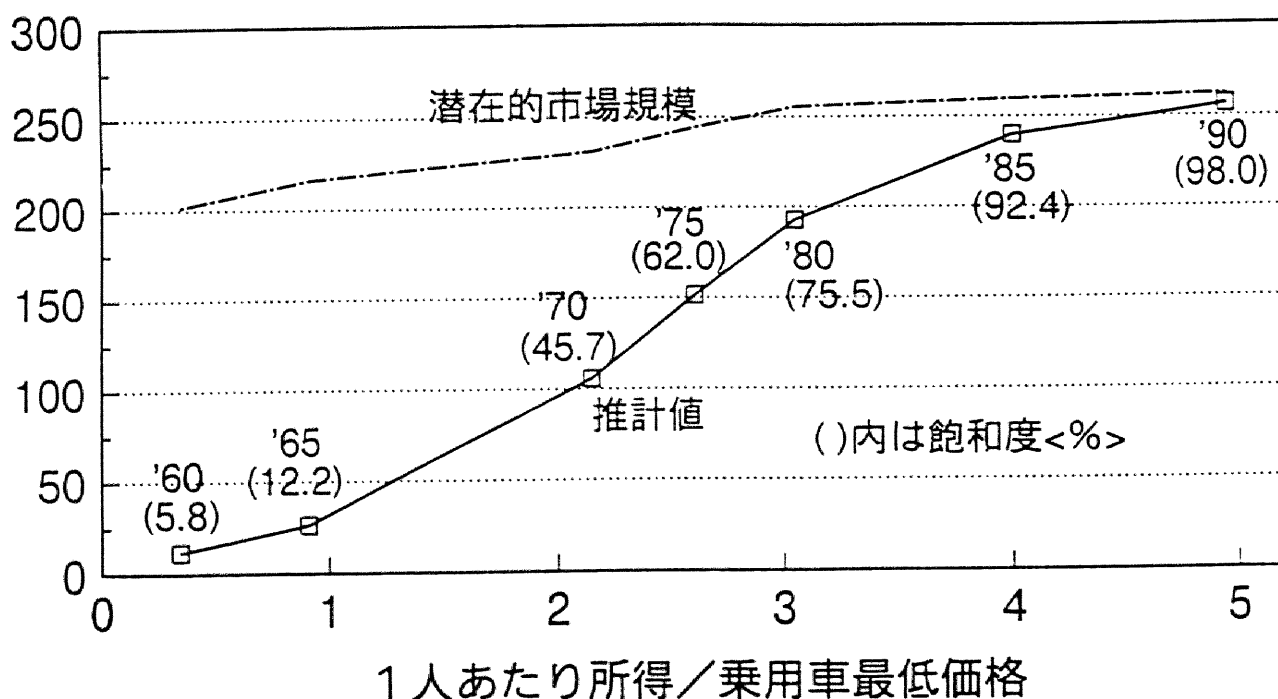


図6.11 名古屋市における潜在的乗用車市場規模と市場飽和度の推移

乗用車保有率 台／1000人

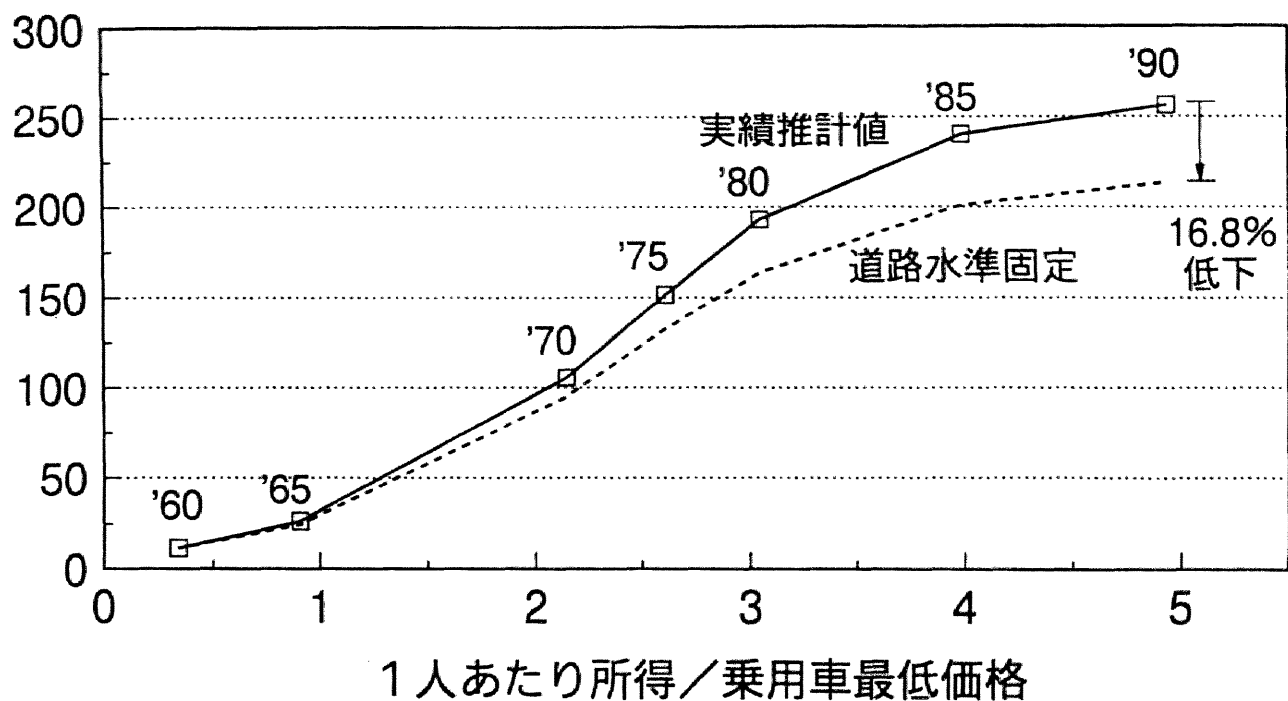


図6.12 1人あたり道路面積を固定した場合の  
潜在的乗用車市場規模の推移（名古屋市）

乗用車保有率 台／1000人

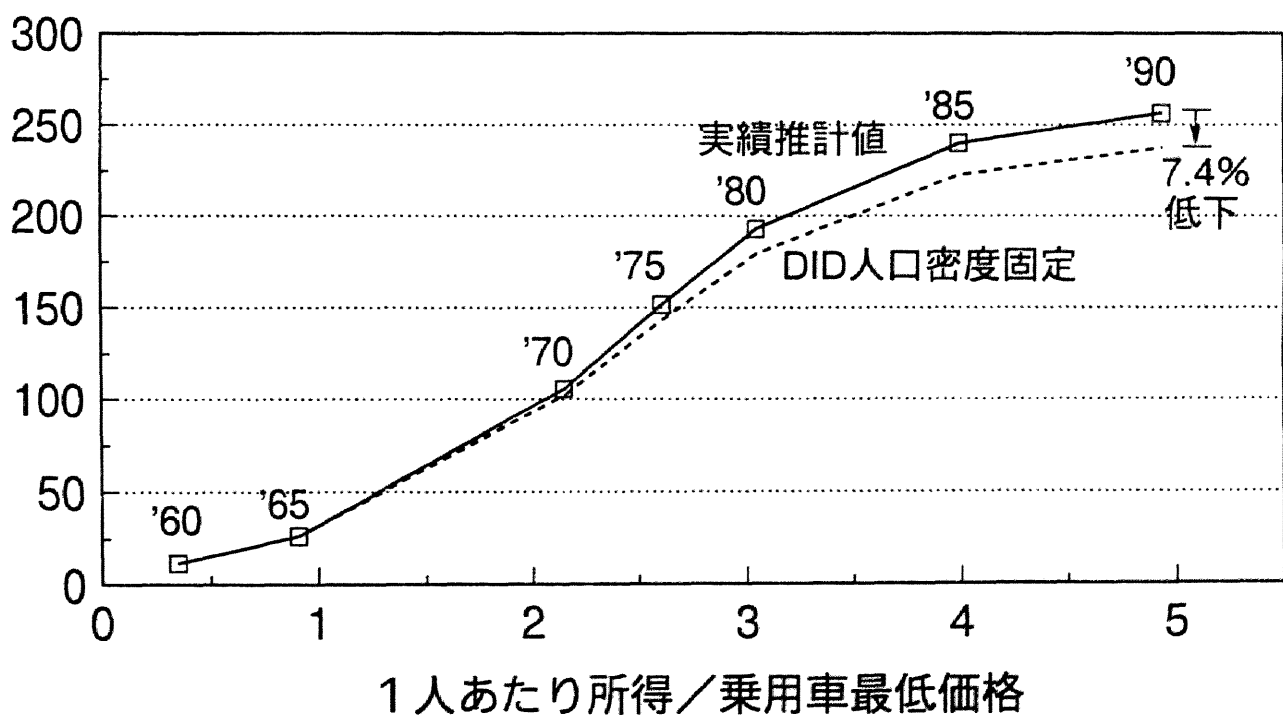


図6.13 DID人口密度を固定した場合の  
潜在的乗用車市場規模の推移（名古屋市）

D I D人口密度 人／km<sup>2</sup>

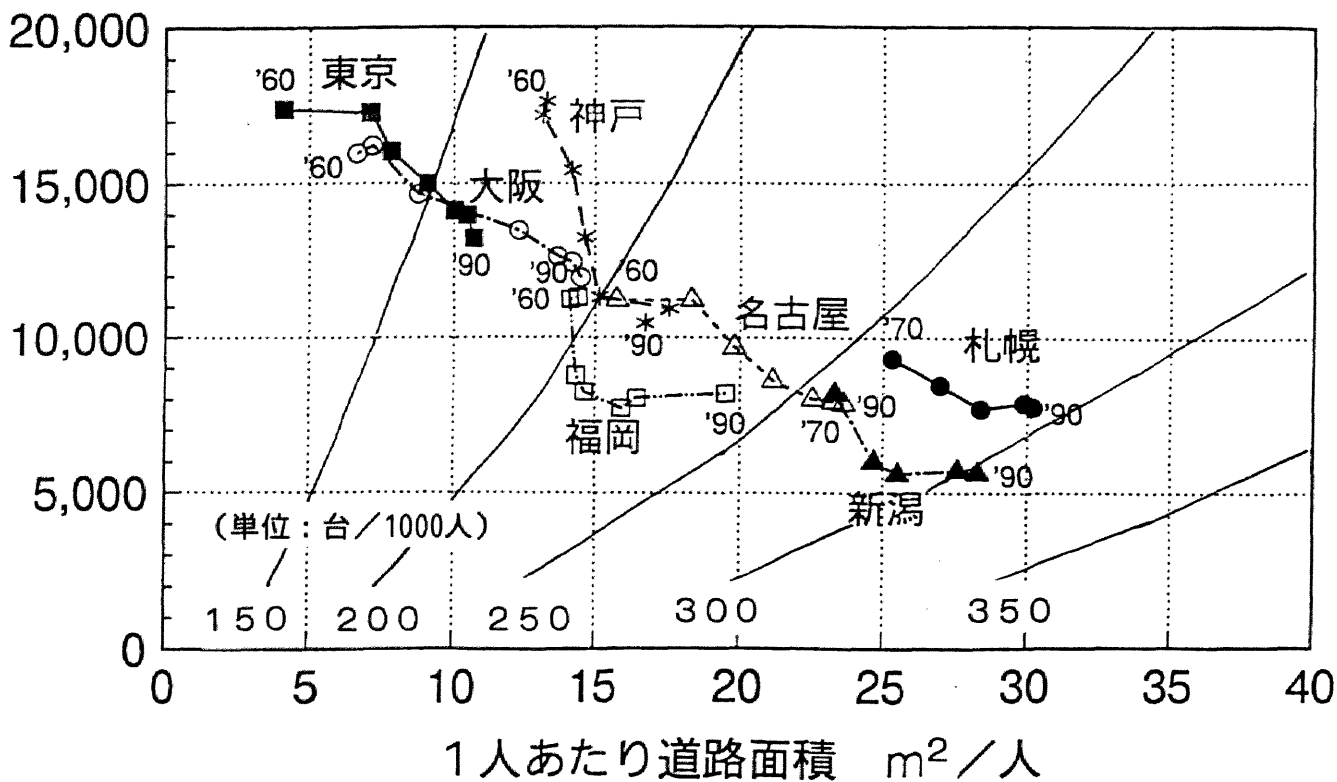


図6. 14 潜在的乗用車市場規模の等量線と各都市の推移

D I D人口密度 人／km<sup>2</sup>

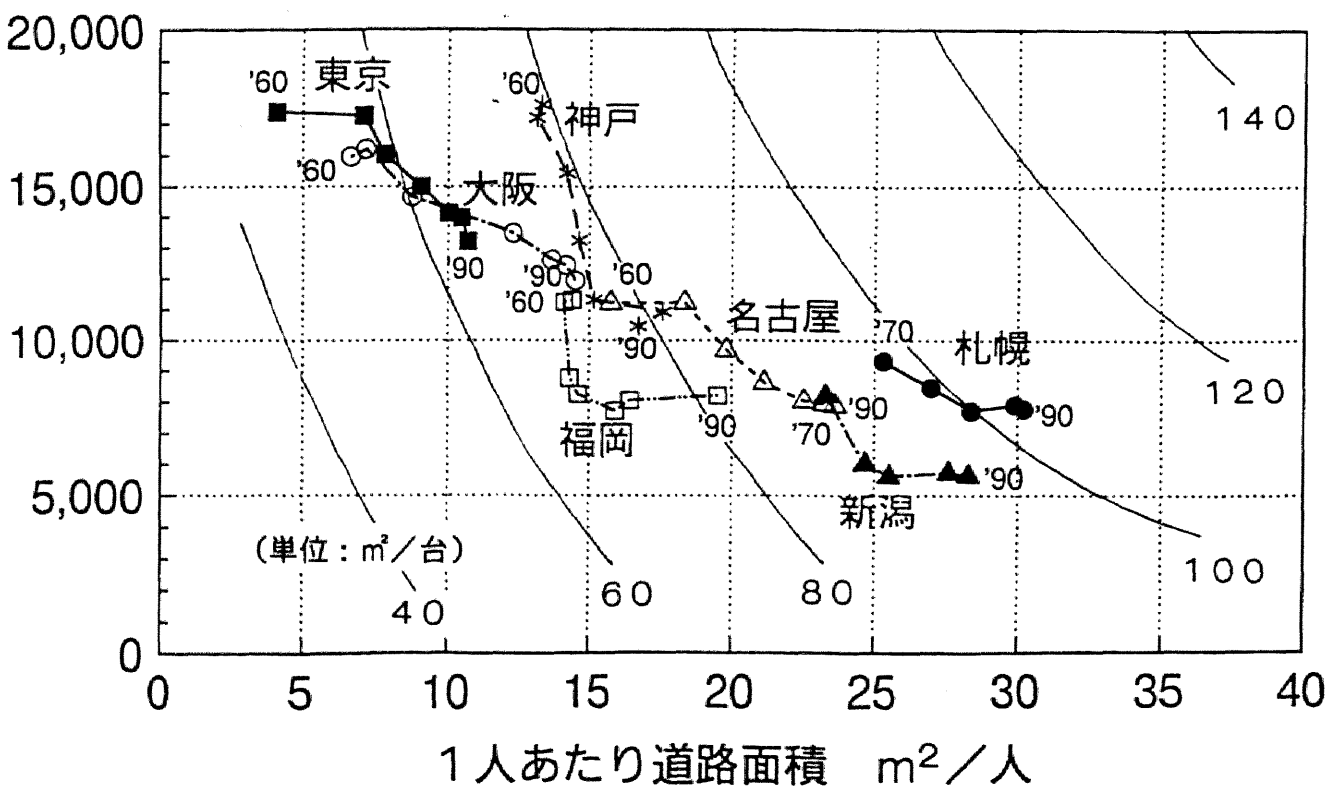


図6. 15 乗用車1台あたり道路面積の等量線と各都市の推移

さらに、道路整備によって自動車保有がどの程度誘発されるかを見るために、潜在的市場規模を1人あたり道路面積で除した「（潜在的に保有されうる）乗用車1台あたり道路面積」の等量線を前と同様の方法で描いたのが図6. 15である。この値は1台あたり道路面積が増加するほど大きくなる傾向があり、道路整備による乗用車保有の誘発効果は、それを下回る割合でしか生じないことが分かる。一方D I D人口密度の低下によって1台あたり道路面積は減少しており、都市の低密な拡大が道路混雑を引き起こしていることが分かる。

#### b) 市場飽和度：

図6. 16は、式（6. 21）を用いて、車価格基準化所得水準と市場飽和度との関係を描いたものである。飽和度は所得水準が約2.3のとき50%に達し、5のときには約98%にまで上昇している。

市場飽和度は、日本の主要都市では1960年には10%以下であったものが1990年にはほぼ100%となり、この30年間で車保有に対する所得制約はほとんどなくなってきた。

### 飽和度 %

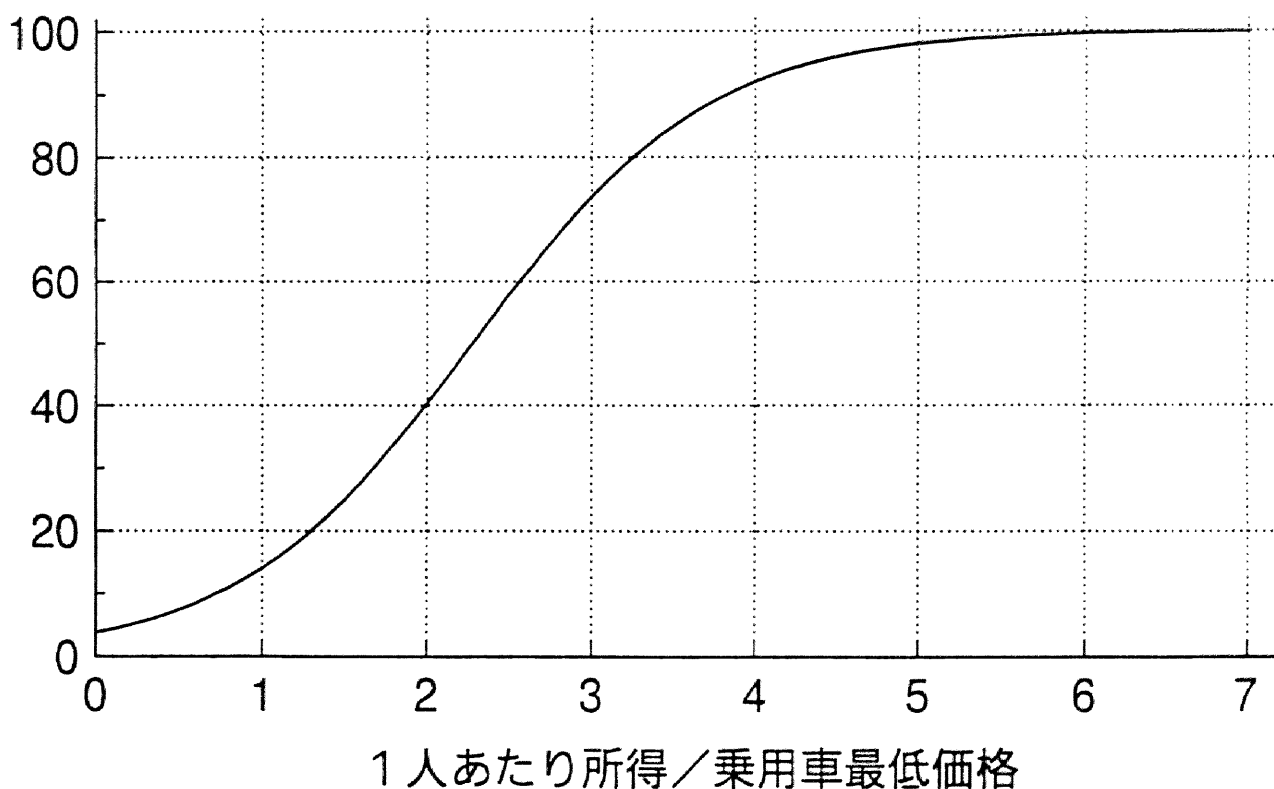


図6. 16 車価格基準化所得と市場飽和度との関係

#### 6. 5. 4 モータリゼーションと都市化との相互関係のモデル化

ここまでの分析によって、所得水準は車保有に対する制約条件としてはたらしき、所得制約のない場合の乗用車保有率（潜在的乗用車市場規模）は、1人あたり道路面積とD I D人口密度で説明されることを示した。このうち1人あたり道路面積は、交通施設整備（投資）政策によ

って操作が可能な変数である。一方、都市の密集度を表す指標であるD I D人口密度は、1960年に統計をとり始めて以降、日本の主要都市でいずれも低下の傾向にあり、このことが乗用車保有の増大に寄与している。D I D人口密度の低下が道路混雑を激しくする傾向があることが分かった今、それを防ぐための対策を考える必要がある。直接的には土地利用規制によって無秩序な広域化を認めないことが、対策として有効であると考えられる。逆に言えば、日本ではそのような都市構造の誘導がうまくいかなかったとも言える。

ところで図6. 17は、日本の主要都市の、a)1970年およびb)1990年における、D I D人口密度と自動車分担率との関係を示したものである。ここで用いている自動車分担率は、国勢調査<sup>9)</sup>のデータに基づく市内通勤者の利用交通手段のうちの自動車構成比であり、パーソン・トリップ調査の結果とはややデータが異なるが、パーソン・トリップ調査と違い、同一年度(日)での比較を行うことができるので、ここで用いたものである。

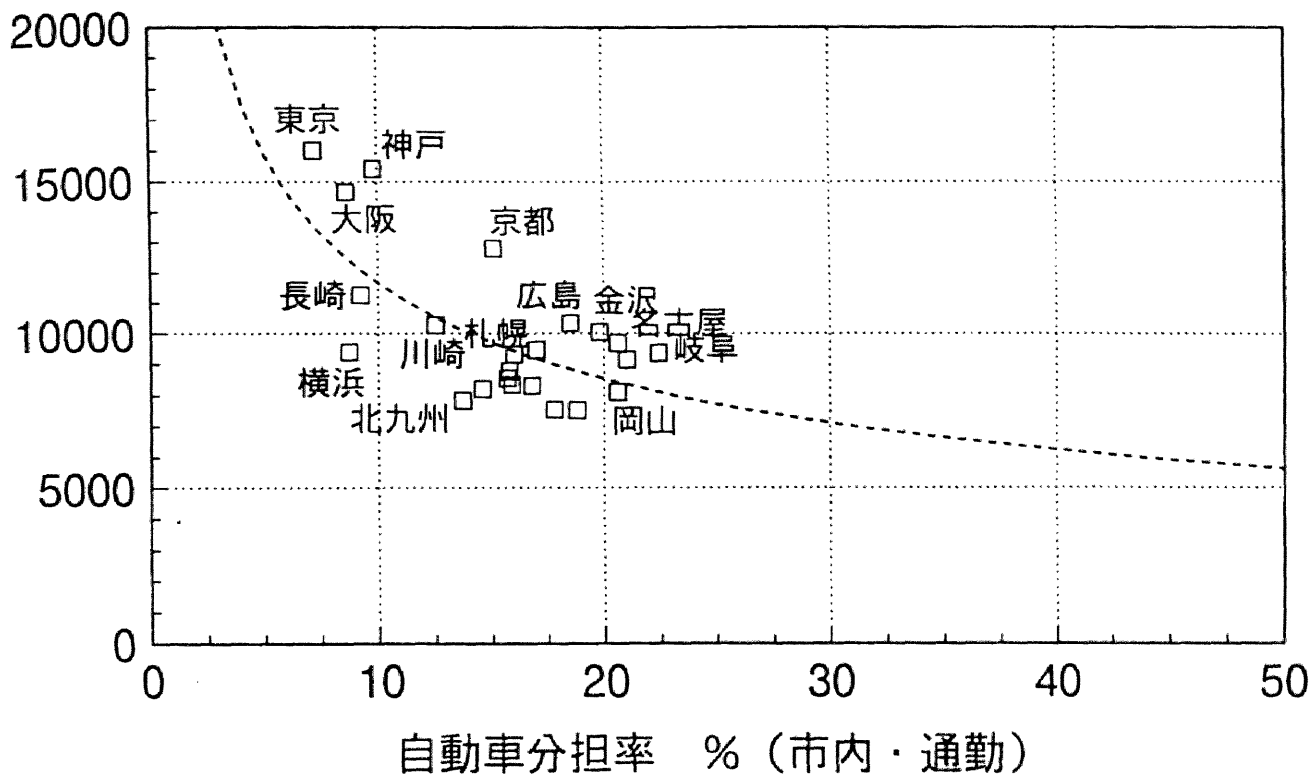
この図を見ると、いずれの年においても明確な相関関係がみられ、しかも2時点それぞれの回帰曲線(ベキ関数型)がほとんど同じであるということが分かる。また、1970年にはいずれの都市も図の左上(自動車分担率が低く、D I D人口密度が高い)に集まっていたのに対し、1990年には回帰曲線を伝って右下に散らばったことが分かる。このように、自動車分担率とD I D人口密度の間には、経年的にも安定した相関関係が成立している。

そこで、この関係が成立する理由を考えると、実は5. 4節で論じた「モータリゼーション・アクセラレーション」のメカニズムそのものであることが分かる。すなわち、自動車分担率が上昇すると、モビリティが高まることにより、都市的利用可能地域が増加し、その結果D I D人口密度が減少する。すると、公共交通のサービス・レベルや徒歩移動の可能性が減少し、自動車への依存がますます深まる、という循環である。この悪循環は、地形、自動車走行速度、道路インフラ供給といったより根本的な制約条件に抵触するまで、均衡することなく進行していくと考えられる。

このようなフィードバックをモデル化することができれば、D I D人口密度を内生的に決定することができるようになるとともに、外生的に与えられる都市人口との関係から、都市の面積や平均半径を求めることができ、トリップ長分布に都市広域化が及ぼす影響さえも組み込むことができる可能性がある。しかしここで扱っている自動車分担率と、パーソン・トリップ調査の代表手段構成比とは定義が異なっており、データの的にはこれをシミュレートすることは非常に困難である。以上のことから、本研究では自動車分担率からD I D人口密度へのフィードバックについては考えないものとする。

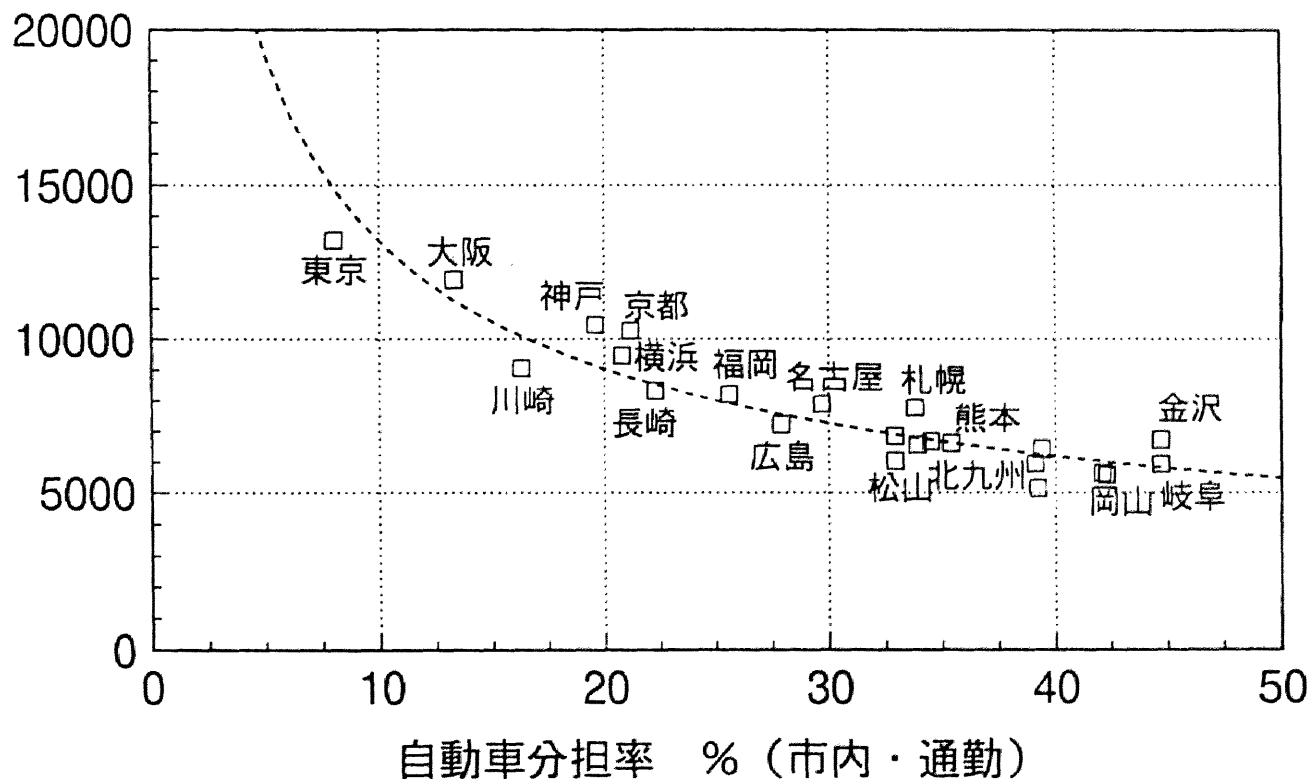


D I D人口密度 人／km<sup>2</sup>



(a) 1970年

D I D人口密度 人／km<sup>2</sup>



(b) 1990年

図6.17 D I D人口密度と自動車分担率との関係

## 6. 5. 5 自動車保有モデルに関するまとめ

### 1) 得られた知見

本節では、乗用車保有率モデルにロジスティック曲線を適用し、経年変化を説明しかつ交通施設整備水準や密集度の違いによる差異を表現することの可能な集計型乗用車保有率モデルを開発した。その結果得られた知見は以下のようにまとめられる。

① 乗用車保有率モデルにロジスティック曲線を仮定した場合、その上限値は、所得制約がない場合の乗用車保有水準を表す「潜在的乗用車市場規模」である。その値は、道路整備水準が上昇したり、D I D人口密度が低下することによって増加することが分かった。また実際のデータから、日本の主要都市で潜在的乗用車市場規模が一貫して増加してきたことが示された。

② ロジスティック関数の分母の逆数は、潜在的乗用車市場規模のうち車保有が顕在化した割合である「市場飽和度」で、車価格基準化所得水準が説明変数である。日本の主要都市では1960年には10%以下であったものが1990年にはほぼ100%となり、車保有に対する所得制約はほとんどなくなってきたことが示された。したがって、今後の日本の自動車保有水準の予測には、所得制約を考慮する必要はなく、むしろ都市間の差異を表現することが必要であると考えられる。

③ 道路整備を行った場合、潜在的市場規模そのものは増加するが、乗用車1台あたり道路面積も増加している。したがって、マクロ的には道路整備によって道路混雑が誘発されることはない。むしろ土地利用規制によってD I D人口密度を低下させないようにすることが必要である。

④ 本研究で構築したモデルは、モータリゼーションの初期から世帯あたり1台保有の段階までをうまく表現しており、今後これと同じ経過をたどっていくと予想される発展途上国の大都市でのモータリゼーション進展予測や政策分析にも有効なモデルであると考えられる。

### 2) 本モデルにおける課題

推定されたモデルには問題点も見い出された。以下にそれらを列挙する。

a) 分析の結果、1990年にはいずれの都市でも飽和度は100%に近づいていることが示されたが、その後も乗用車保有率が上昇し続けている都市が多く、その増加は都市構造や交通施設整備水準の変化のみでは説明できない。この理由としては、7)モデルのパラメータ推定に、日本の大都市の1960～90年の時系列データを用いたため、もっと将来に来るであろう飽和の時期が使用データからうまく表現できなかった可能性と、1)自動車はモビリティを高めるモノからゆとりを得るためのモノに変化しており、世帯複数保有やR V・高級車志向の高まりなど、保有形態やし好も変化している。そのため、乗用車市場規模が都市構造や交通施設整備水準で説明されるという仮説が崩れ、その他の要因によって広がっているという考え方、の2つが考えられる。

b) 本モデルでは、都市ごとに関数形やパラメータを変えたり都市ダミーを用いたりすることなく、複数の都市の自動車保有水準の時系列的変化を1つのモデルで表現することを目指し、

ある程度の水準に達することができた。しかし、都市間のバイアスはまだ説明しきれていない。ただしこれ以上ダミー変数以外の説明変数を増加させることはデータ制約や推定精度の問題から極めて困難であり、集計型モデルの1つの限界であると考えられる。海外都市のデータを用いることは1つの解決手段としてありうるが、データ定義の問題や、国による特性の問題をクリアしなければならない。

## 6. 6 交通活動のモデル化

交通活動をモデル化するにあたっては、5. 6節でも明らかになったように、乗用車の保有世帯と非保有世帯によって、交通機関選択行動やトリップ特性に大きな違いがあることに注意し、層別に分けてその特性を分析する。

この違いは、保有者層は車の選択可能(Choice)層であり、非保有者層は公共交通の固定(Captive)層であるがゆえに生じるものである。従来の集計モデルでは母集団を保有層と非保有層に分けることなく、交通機関分担率モデルの説明変数として保有率を与えることが一般的であったが、この方法では自動車保有層と非保有層との間の、手段選択決定要因の違いが明示的にモデル化されていない。したがって、モータリゼーションの進展の間に劇的に進行する、自動車非保有層から保有層へのシフトを表現するには不十分であると考えられる。一方、本モデルでは事前に自動車保有水準が推計されているため、保有層と非保有層のシェアをある程度推計することが可能である。そこで本モデルでは、保有層と非保有層に分けて分担率やトリップ特性を推計することにより、モデルを推定する。

### 6. 6. 1 モデルの構成

交通活動モデルは、前にも述べたように、

- ①生成原単位サブモデル
- ②距離帯別トリップ頻度サブモデル
- ③交通手段分担率サブモデル
- ④総トリップ長サブモデル

から構成される。

### 6. 6. 2 生成原単位サブモデル

生成原単位については、全体的に減少傾向にあることや、保有層が非保有層より高い値をとることが分かっているが、それを説明するモデルの構築は、データのサンプル数の問題から不可能である。そこで、基本的にPT調査の3回のデータを外延して用いることにする。

保有(1)/非保有(2)層別の総トリップ数(生成交通量)は、生成原単位から次のようにして推計することができる。

$$T_i = \text{OWN} \cdot H_i \cdot a^1 \cdot N_i \quad (6.24)$$

$$T_i^c = (1 - OWN \cdot H) \cdot a^c \cdot N_i \quad (6.23)$$

ここで、 $T_i^c$ ：地域  $i$  での  $c$  層（保有＝1，非保有＝2）の総トリップ数  
 <トリップ／日>

$N_i$ ：地域  $i$  の人口  
 <人>

$a^c$ ： $c$  層の生成原単位（グロス）  
 <トリップ／人・日>

$OWN$ ：乗用車保有率  
 <台／人>

$H$ ：世帯あたり人数  
 <人／世帯>

ここで、保有層のシェアには、世帯あたり乗用車保有台数をそのまま用いている。これは、6.5節のモデルで求めた乗用車保有率（1000人あたり乗用車保有台数）を世帯人数で除することにより求められる。世帯人数は現在パターンとする。

世帯あたり保有台数が1を越えた場合には、保有層の分担率を全体の分担率と見なす。世帯あたり乗用車保有台数を保有層シェアと仮定することは、複数保有世帯が存在しないということと同義である。したがって、モータリゼーションが進行し世帯複数保有が一般化する段階になるにつれ、この仮定は現実にはそぐわなくなってくる。しかし本研究では、モータリゼーションがその初期からどのように進展していくかを分析するものであるため、簡単化のためのこの仮定は妥当であると考えられる。

### 6.6.3 距離帯別トリップ頻度サブモデル

各距離帯のトリップ数は、総トリップ数にトリップ頻度分布を乗じて求められる。

$$T_{il}^c = q_l^c \cdot T_i^c \quad (6.24)$$

ここで、 $T_{il}^c$ ：地域  $i$  での  $c$  層の距離帯  $l$  におけるトリップ数  
 <トリップ／人・日>

$q_l^c$ ：地域  $i$  での  $c$  層の距離帯  $l$  におけるトリップ数比率  
 <(トリップ／人・日)人／トリップ>

トリップ頻度分布に関しても、都市の広域化によって長距離帯へのシフトが生じることは分かったものの、その経年的推移を予測することは非常に困難である。そこで、便宜上第3回（1991年）のデータを用いることにする。

### 6.6.4 交通手段分担率サブモデル

鉄道・自動車分担率モデルは、車保有／非保有層別に分け、トリップの距離帯別に求めるものとする。5.6節で行った代表手段構成比の分析結果を踏まえ、モデル推定のデータとして、名古屋市発トリップについて、中ゾーン（行政区：全16区）単位で集計したものを用いた。また、PT調査は3回行われているため、各回のデータそれぞれについてモデルの推定を行った。

距離帯区分は、5.6節では10分割であったが、その傾向は0～2kmでは徒歩・二輪車・自動車、2～10kmでは全手段、10km以上では自動車・鉄道という3つにまとめられることが分か

った。そこで、ここで推定するモデルでも0～2km、2～10km、10km以上の3区分を用いることにした。距離帯区分を少なくする必要があるのは、a)区分が多いとデータ精度の関係から各区分のモデル適合度が低くなること、b)特に長距離帯はトリップ数が少なく、また着地や経由地の属性に左右されるようになり、適合度が低くなること、c)トリップ長の推計精度が低いいため、モデル推定にあたって距離帯区分を細分化することが有用でないこと、という事情のためである。また、交通主体がトリップするときには、目的地までの距離はよりおおまかにとらえていると考えられるので、距離帯区分を少なくすることによる問題は小さいと考えられる。

分担率モデルの形式にはロジットタイプを採用している。モデルのキャリブレーションにあたっては、5.6節で行った相関分析の結果をもとに変数を選択し、重回帰分析によるパラメータ推定を行っている。推定にあたっては、各距離帯について以下のように仮定している。

- 1) 0～2km：鉄道の分担率はゼロと仮定し、また車非保有層の自動車分担率もゼロと仮定する。したがって、車保有層の自動車分担率のみをモデル化する。説明要因としては、低距離帯での自動車の相対的利便性に関係する密集度や道路整備水準を採用する。
- 2) 2～10km：全手段が利用されるため、鉄道・自動車・その他の3項選択とし、鉄道と自動車の分担率をモデル化する。
- 3) 10km以上：ほとんど自動車と鉄道の2手段の選択になるので、2項選択モデルとする。説明要因には、鉄道と自動車の効用を規定する交通施設整備水準を採用する。

0～2kmの自動車分担率は、人口密度や道路整備水準との相関が高かったため、(6.25)、(6.26)式のように定式化した。推定されたパラメータを表6.1に示す。

第1回(1971)：

$$P_{ii}^{ck} = \frac{100}{1 + \exp(-\xi_0 - \xi_1 \cdot \text{POP}_n - \xi_2 \cdot \text{POP}_d)} \quad (6.25)$$

第2回(1981)、第3回(1991)：

$$P_{ii}^{ck} = \frac{100}{1 + \exp(-\eta_0 - \eta_1 \cdot \text{POP}_d - \eta_2 \cdot \text{DL})} \quad (6.26)$$

ここで、 $P_{ii}^{ck}$ ：車保有／非保有層別、距離帯別、ゾーン別手段分担率

c：保有＝1、非保有＝2

k：鉄道＝1、自動車＝2

i：ゾーン

l：距離帯(0～2km＝1、2～10km＝2、10km以上＝3)

$\text{POP}_n$ ：夜間人口密度 <人/ha>

$\text{POP}_d$ ：昼間人口密度 <人/ha>

DL：1人あたり道路延長 <m/人>

$\xi_0, \xi_1, \xi_2, \eta_0, \eta_1, \eta_2$ ：パラメータ

一方、2km以上では、ともに説明要因である鉄道整備水準指標と道路整備水準指標との間に

表6. 1 分担率モデルの推定結果：距離帯2km以上  
(名古屋市、PT調査データ) <( )内はt値>

a) 第1回(1971)

		定数	駅密度 (駅数/ha)	2～10km ダミー	R <sup>2</sup> 値
保有層	鉄道	-1.80 (3.51)	154 (4.23)	-2.80 (-14.4)	0.900
	車	1.54 (4.63)	-89.1 (-3.81)	1.32 (10.5)	0.834
非保有層	鉄道	0	169 (6.57)	-2.85 (-17.9)	0.916
	車	-1.17 (-6.93)	-1.05 (-0.0883)	0.561 (8.82)	0.757

b) 第2回(1981)

		定数	駅密度 (駅数/ha)	2～10km ダミー	R <sup>2</sup> 値
保有層	鉄道	0	40.8 (1.97)	-2.52 (-15.0)	0.803
	車	0	-9.99 (-0.884)	0.485 (5.31)	0.209
非保有層	鉄道	1.01 (2.29)	73.8 (3.36)	-2.66 (-17.1)	0.913
	車	-1.55 (-6.83)	-3.33 (-0.0294)	0.123 (1.54)	0.0779

c) 第3回(1991)

		定数	駅密度 (駅数/ha)	2～10km ダミー	R <sup>2</sup> 値
保有層	鉄道	0	78.8 (5.17)	-2.85 (-20.3)	0.899
	車	0	-55.0 (-6.13)	0.716 (8.68)	0.712
非保有層	鉄道	1.13 (2.57)	80.4 (4.31)	-3.18 (-20.5)	0.938
	車	-1.99 (-7.35)	-2.41 (-0.209)	0.340 (3.55)	0.304

表6. 2 分担率モデルの推定結果：距離帯0～2km  
(名古屋市、PT調査データ) <( )内はt値>

		定数	夜間人口密度 (人/ha)	昼間人口密度 (人/ha)	R <sup>2</sup> 値
保有層 ・ 車	第1回 (1971)	-1.24 (-7.75)	0.0439 (2.56)	-0.00505 (-5.15)	0.717
		定数	昼間人口密度 (人/ha)	道路延長/人 (m/人)	R <sup>2</sup> 値
	第2回 (1981)	-2.40 (-12.4)	-0.000518 (-0.516)	0.148 (1.61)	0.325
	第3回 (1991)	-2.43 (-11.9)	-0.00305 (-3.91)	0.326 (2.60)	0.768

高い相関があるため、ここでは(6.27)式のように、鉄道水準である駅密度のみで分担率を説明している。推定されたパラメータを表6.2に示す。

$$P_{11}^{ck} = \frac{100}{1 + \exp \{-\theta_0 - \theta_1 \cdot \ln(\text{RAIL})\}} \quad (6.27)$$

ここで、RAIL：駅密度 <駅数/ha>

$\theta_0, \theta_1$ ：パラメータ

パラメータ推定結果を見ると、駅密度は鉄道で正、自動車で負になっている。鉄道水準が高いほど鉄道利用が増加し、低いほど自動車利用が促進されることが推定結果から裏付けられている。

各モデルのt値、R<sup>2</sup>乗値を見ると、非保有層・自動車が第1回から第3回を通していずれも低いことが目立つ。これは非保有層の自動車利用は主に相乗り交通などであり、交通施設整備水準では表現できない偶発的要因を多く含んでいるためであると考えられる。また、第2回の推定結果が他の結果に比べて悪いことも分かる。他の指標を用いてもあまり良い結果が得られなかった。原因は明らかでないが、第2回はモータリゼーションの進展期であるとともに、第1回と第2回の間に2度のオイルショック(1973、1978)があるなど、都市の構造変化の過渡期であったことが原因と推測される。

第1回と第3回の駅密度の係数を比較すると、全体に減少していることが分かる。これは、駅密度の限界効用が逓減していることを表している。

このように、パラメータは第1回から3回まで安定していない。そのため、本来はこのパラメータの変化を説明することが必要であるが、本研究ではそれを表現することのできる方法を明らかにすることができなかった。そのため、推計に用いるモデルとしては、便宜的に第3回のモデルをどの年度にも適用することにする。これによりモータリゼーション進行に伴う機関選択構造の変化を捨象することになる。しかし、保有/非保有層の分類によりこの点は幾分緩和されるものと考えられる。

#### 6.6.5 総トリップ長サブモデル

<総トリップ長(人キロ)への統合>

ここでは各ゾーンにおいて、車保有/非保有層別の手段分担率を各距離帯別に推計し、さらに距離帯別トリップ長を乗じ、保有/非保有層の合計をとることにより、各手段別の総トリップ長を算出する。

$$T_{11}^{ck} = P_{11}^{ck} \cdot T_{11}^c \quad (6.28)$$

$$L^k = \sum_i \sum_c \sum_l (T_{11}^{ck} \cdot T_l) \quad (6.29)$$

ここで、 $T_{11}^{ck}$ ：車保有/非保有層(c)別、距離帯(l)別、ゾーン(i)別、手段(k)別トリップ数

$\bar{L}_1$  : 距離帯 1 の平均距離 <km>

#### < 端末交通手段の考慮 >

次に、総トリップ長を端末交通分に関して補正する。ここで注意を要するのは、本モデルで推計される鉄道／自動車の分担率は「代表手段構成比」に相当するということである。これは、手段分担率サブモデルの定式化にあたって、PT調査の代表手段データを用いているためである。したがって、端末交通手段を含んだ分担率とはなっていない。

代表交通手段が自動車の交通については、その全区間を自動車トリップと見なすことができるため、この扱いで問題はない。一方、鉄道はドア・トゥ・ドアの交通機関ではないため、端末交通手段が必要であるが、代表手段構成比ではこのことが全く考慮されない。

そこで、鉄道についてはトリップ長の中の端末交通分を推計する必要があるが、データからそれを推定するのは困難であるので、本研究では、乗車・降車端末各 1 km を端末交通のトリップと仮定する。中京都市圏パーソントリップ調査報告書<sup>10)、11)</sup>によると、1991 年における圏域での端末交通の自動車分担率は約 7 % であるので、この値を用いて端末交通の自動車トリップ長を算出し、車の総トリップ長に加えることにより、端末交通分の補正を行っている。

#### < 総走行台(車両)キロへの変換 >

ここまでで推計された総トリップ長は人キロベースであった。しかし環境負荷発生量を求めるためには、人キロベースから台(車両)キロベースに変換する必要がある。

自動車については、5. 4. 2 項でも述べたように、平均乗車人員が非常に安定的であるので、ここでも標準的な値である 1.3 人/台を用いる。もし相乗り政策を奨励する場合には、この値を変化させる必要がある。一方、鉄道については、簡易な推計法として、人キロベースの原単位を用いる。このことの妥当性は次節で述べる。

### 6. 7 環境負荷発生原単位のモデル化

前節で求めた鉄道／自動車の総トリップ長に、それぞれの環境負荷発生原単位を乗じることによって鉄道／自動車の環境負荷発生量を求めることができる。そのとき、環境負荷発生原単位を、自動車の走行状況や鉄道の輸送効率の関数として表現する必要がある。これらは、各交通施設の需要(交通量)と供給(施設整備水準)の関係から決定される。

自動車の走行状況を示す指標として、平均走行速度を用いる。これは、道路施設の需要を表す自動車総トリップ長と、供給を表す道路面積の関数として表される。また、鉄道の輸送効率は混雑率(車両 1 両あたり乗車人数)で表す。これは一既に鉄道施設の需要と供給から決定されるものではない。政策として与えることも可能であるが、本研究では従来の混雑率をそのまま維持するものと仮定している。



## 6. 7. 1 道路交通による環境負荷発生

### －エネルギー販売量データからの道路交通状況の推定－

自動車走行による環境負荷発生量（エネルギー消費量）を求めるためには、自動車総走行台キロと平均走行速度の推計が必要である。しかし、5章でも述べたように、実際のデータは、エネルギー消費量が販売量の形でよく把握されている一方で、交通状況データについては信頼性に問題があることに加え、データが数年に1度の割でしか存在しない。そこで、モデル推定に際しては、あらかじめ交通関係のデータをエネルギー販売量から逆に交通データを推定する方法をとり、そのデータを用いて関数を推定することとした。その方法は以下の通りである。

- ①道路センサス<sup>1,2)</sup>におけるピーク時平均走行速度の実施年（6カ年）について、その平均走行速度を用いて走行燃費  $f$  を求める。

$$f = -0.0036 \bar{v}^2 + 0.41 \bar{v} + 1.25 \quad (5.9) <再掲>$$

- ②各年度の燃料販売量を  $f$  で除して、総走行台キロ  $L^c$  の推定値を求める。  
③  $L^c$  と自動車保有台数  $OWN \cdot p$  ( $p$ :人口)とを回帰し、下式の  $g$  の値を推定する。

$$L^c = g \cdot OWN \cdot POP \quad (6.30)$$

結果として、 $g = 34.9$  ( $R^2 = 0.99$ ) が得られた。

$g$  は自動車1台あたりの走行台キロ（平均走行距離<台キロ/台・日>）を表す。名古屋市においてはわずかに減少する傾向にあるが、この推定では一定であると仮定したことになる。また、値は道路センサスのデータにほぼ一致している。

- ④(6.30)式を用いて毎年の  $L^c$  を求める。  
⑤道路交通需要と道路供給量から  $\bar{v}$  を求める式として、各種検討の結果、神崎・山中<sup>1,3)</sup>が提案している式を参考に、下式の形式を採用することとした。

$$\bar{v} = -\rho_1 \cdot (L^c / S^c) + \rho_2 \quad (6.31)$$

ここで、 $\bar{v}$  : 平均走行速度 <km/h>

$S^c$  : 道路面積 <m<sup>2</sup>>

$L^c$  : 自動車の総走行台キロ <台キロ/日>

$\rho_1, \rho_2$  : パラメータ

$L^c / A$  は道路面積あたり走行台キロであり、道路交通需要が過剰になると値が大きくなる。したがってこの式は、都市内で交通量が増加すると速度が低下することを表すものであり、「一般化Q-V式」と呼ばれるものである。この式の組み込みによって「混雑解消効果」を計測することが可能になる。

$\rho_1, \rho_2$  を回帰分析で推定した結果、 $\rho_1 = 0.03$ ,  $\rho_2 = 40$  ( $R^2 = 0.91$ ) が得られた。

- ⑥実際の燃料消費量と、推定式によって算出した値をプロットしたのが図6.18である。

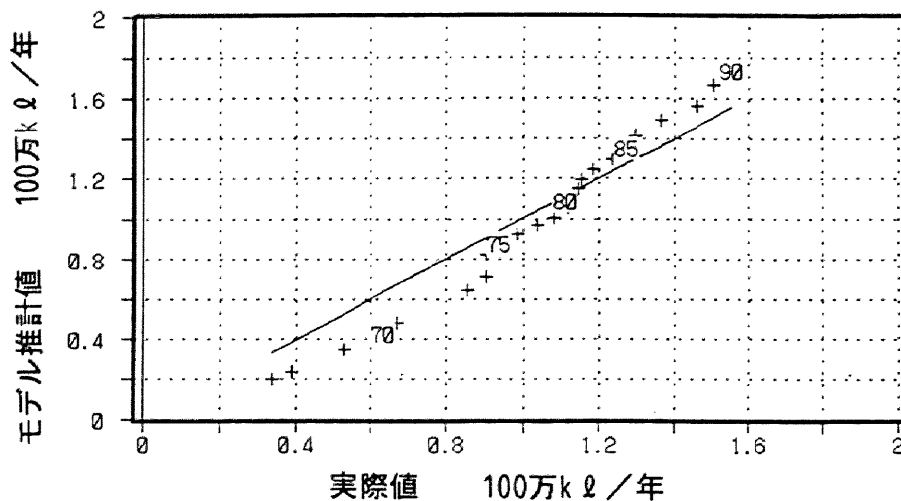


図6.18 自動車燃料消費量の実際値と推定値

これによると、1980年以前は過小、以後は過大の推計結果になっている。この理由としては、a)③で一定と仮定した平均走行距離の減少傾向、b)燃費改善の効果、が考えられる。

実際に用いる際には、計算値を実測値に合うように補正を行っている。

また、環境負荷発生原単位  $e_{\text{汽}}$  については、5章で既に紹介した、平均走行速度で説明される燃費曲線<sup>14)</sup>を用いる。

$$\bar{v} = -0.03 \cdot L^c / S^c + 40 \quad (6.34)$$

$$e_{\text{汽}} = 0.86 \times 0.00078 / (0.0036 \cdot \bar{v}^2 + 0.41 \cdot \bar{v} + 1.25) \quad (6.35)$$

$$E_{\text{汽}} = e_{\text{汽}} \cdot L^c \quad (6.5) \text{ <再掲>}$$

ここで、 $e_{\text{汽}}$ ：自動車走行の環境負荷発生原単位 < t-C / 台キロ >

$E_{\text{汽}}$ ：自動車走行の環境負荷発生量 < t-C / 日 >

$L^c$ ：自動車の総トリップ長 < 台キロ / 日 >

0.86： t-C / TOE、 0.00078： TOE / ℓ

## 6.7.2 鉄道走行による環境負荷発生

これに鉄道の総トリップ長（人キロ）を乗じることにより、鉄道車両の走行による環境負荷発生量を推計することができる。

$$E_{\text{鉄}} = e_{\text{鉄}} \cdot L^r \quad (6.6) \text{ <再掲>}$$

ここで、 $e_{\text{鉄}}$ ：鉄道走行の環境負荷発生原単位 < t-C / 人キロ >

$E_{\text{鉄}}$ ：鉄道走行の環境負荷発生量 < t-C / 日 >

$L^r$ ：鉄道の総トリップ長 < 人キロ / 日 >

交通活動モデルで求められる鉄道走行人キロ（個人ベース）と鉄道走行車両キロ（車両ベース）とは必ずしも比例の関係でなく、混雑率がかかわってくるはずである。このことに関して運輸関係エネルギー要覧<sup>15)</sup>では、総エネルギー消費量を総輸送量で除することによって、鉄道のエネルギー消費原単位を求めている。この値は近年やや上昇したが、ここ10年間大きな変動はないので、本研究では1981～1991年の平均値を鉄道のエネルギー消費原単位とする。鉄道（私鉄、民鉄）統計年報<sup>16)</sup>を参考にして、名古屋市内の鉄道の走行エネルギー原単位を経年的に算定した結果が図6.19である。これより、この値は安定的であることが分かるので、本研究ではその平均値をとって  $191\text{kcal}/\text{人キロ}$  とした。この値は、運輸経済研究センター<sup>17)</sup>が名古屋市交通局にヒアリングして得た値とほぼ一致する。また、電気エネルギーを $\text{CO}_2$ に換算するにあたっては、発電のためのエネルギーの割合が大きく影響してくる。ここでは、日本の標準的な値である  $1.1857\text{kg-C}/10^4\text{kcal}$  を採用する<sup>17)</sup>。

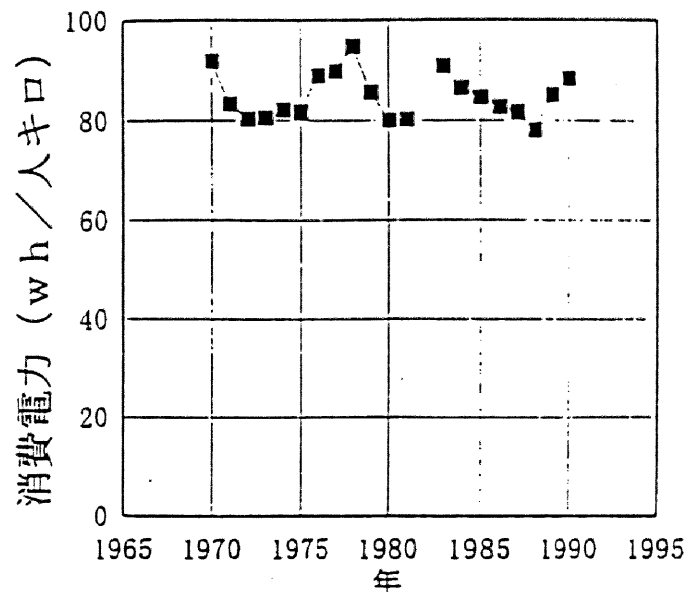


図6.19 鉄道の走行エネルギー原単位の推移（名古屋市）

### 6.7.3 モデルによる環境負荷発生量の現況推計

本節で構築した交通活動のモデルを用い、実際に名古屋市の鉄道／道路の環境負荷発生量を推計する。また、駅密度と自動車保有率についての感度分析を行う。

手段分担率モデルは、第2回のモデルの精度が低かったため、ここでは、第2回と第3回の間には構造的な変化が少なかったものと考え、第2回の推計は第3回のモデルを用いて行った。

#### 1) 鉄道／自動車の環境負荷発生量の比率

モデルで推計した1991年の名古屋市の1日あたり交通活動 $\text{CO}_2$ 発生量の鉄道／自動車の比率は、車 93.5%、鉄道 5.7%、端末車 0.9%となった。したがって、名古屋市の交通活動による環境負荷発生量の圧倒的部分は自動車に起因していることが再確認された。また、鉄道端末交通と

1971年 = 1

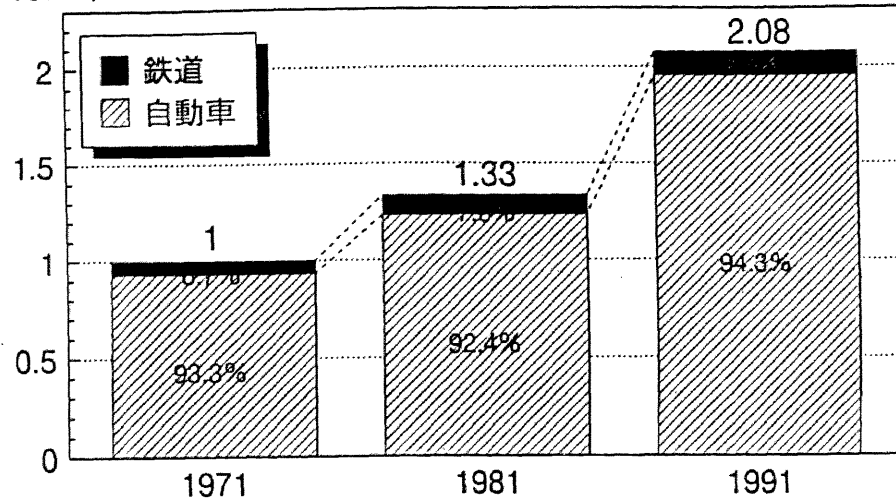


図6. 20 名古屋市発トリップの地球環境負荷発生量の推移

現況 (1991年) = 1

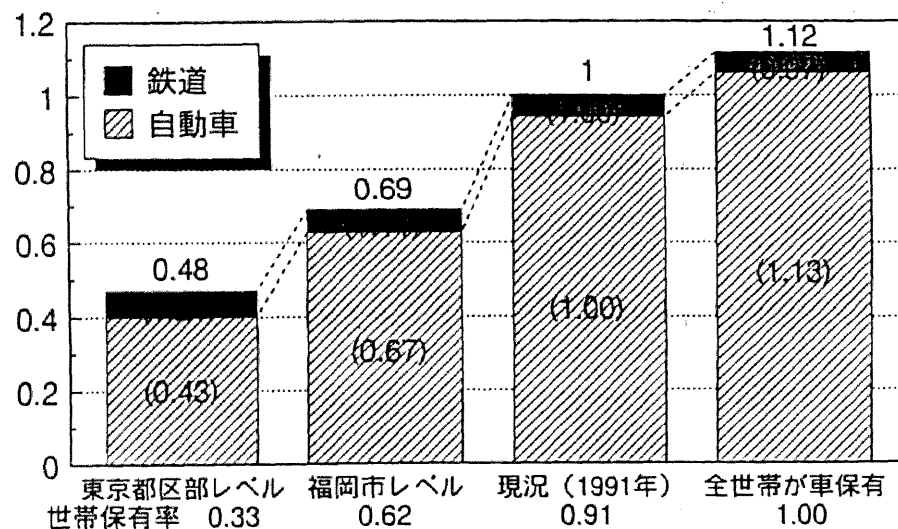


図6. 21 乗用車保有率の違いによる地球環境負荷発生量の感度分析結果  
(名古屋市発トリップ)

現況 (1991年) = 1

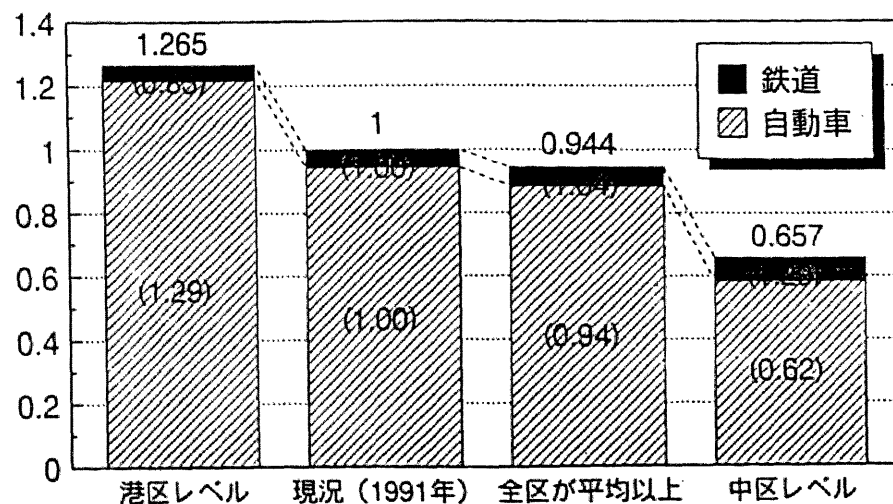


図6. 22 駅密度の違いによる地球環境負荷発生量の感度分析結果  
(名古屋市発トリップ)

しての自動車が環境負荷発生に占める比率は現状では非常に小さいことが分かる。

## 2) 環境負荷発生総量の推移

図6.20は1971年、81年、91年の名古屋市の1日あたり交通活動CO<sub>2</sub>発生量を推計し、1971年時点の発生量を1としてその推移を示したものである。図中の数値は各年での鉄道／自動車の環境負荷発生量の比率を表したものである。これを見ると、71年から91年にかけて、環境負荷発生総量は2倍に伸びていることが分かる。また、鉄道／自動車の比率は大きな変化はないが、71年から91年の間ではやや自動車の比率が大きくなっていることがうかがえる。

### 6.7.4 モデルの感度分析

ここでは、主な説明変数である1)乗用車保有率、2)駅密度の2つの指標についてモデルの感度分析を行う。第3回(1991)のモデルを用いて、名古屋市における各説明変数の違いによる環境負荷発生量の変化を推計する。図中の数値は自動車／鉄道それぞれの変化を、1991年の現況値を1として表現している。

#### 1) 乗用車保有率の感度分析

図6.21は世帯乗用車保有率の感度分析の結果を示している。乗用車保有率は、東京都区部と福岡市の、現在の名古屋市とおよそ同じ所得レベルの時の保有率を適用した。現況の名古屋市の保有率は0.914台／世帯であり、東京都区部レベルは0.33台／世帯、福岡市レベルは0.62台／世帯とした。

この図より、名古屋市において自動車保有率が3分の1になれば、環境負荷発生量は5割強ほど減少するという結果が得られた。

#### 2) 駅密度

駅密度の感度分析の結果を図6.22に示す。駅密度の変化は、鉄道整備が進んだパターンとして、a)各ゾーン(行政区)の駅密度がすべて現在の名古屋市の平均以上(平均以下の区は平均値に、それ以上の区はそのままとした：平均値=0.00499(駅数/ha))としたとき、b)すべての区で現在最も駅密度の大きい中区のレベル(0.0168(駅数/ha))としたときを考える。一方、鉄道整備水準の低いパターンとして、すべての区で現在最も駅密度の低い港区のレベル(0.00109(駅数/ha))である場合を考える。

これを見ると、駅密度が増えると鉄道の環境負荷が増えるが、自動車の環境負荷の減少がかなり卓越しており、鉄道整備によって交通活動の環境負荷をかなり削減できることが分かる。

## 6.8 交通施設供給モデルと交通活動モデルの結合

以上に構築した多くのサブモデルをすべて統合することにより「ELASTICモデル」が1つの評価モデルとして機能する。その全容を図6.23にまとめる。

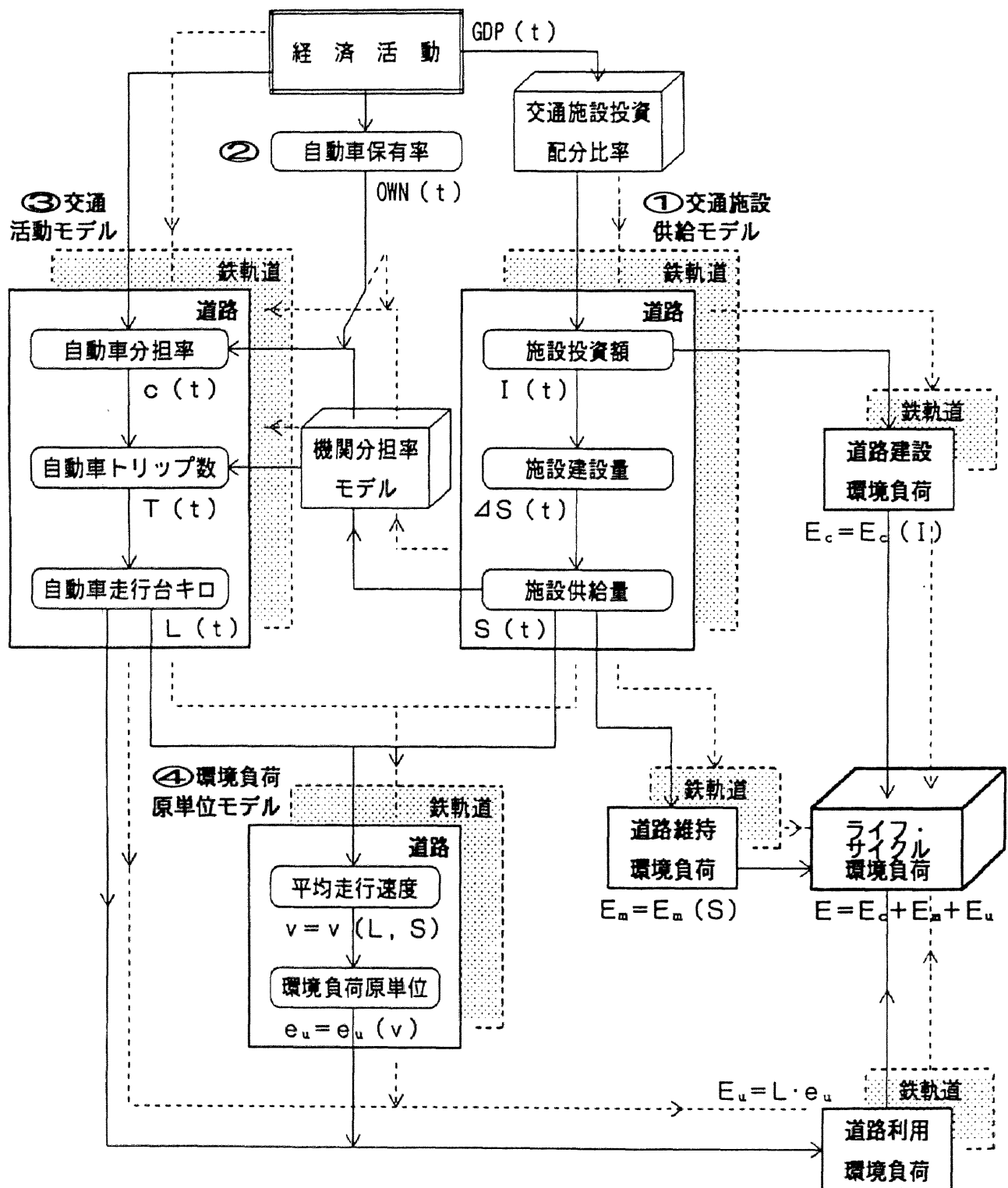


図6.23 ELASTICモデルの詳細構成

ここでは、この全体のモデルに対し交通施設投資に関する代替案を与え、モデルのトータルでの挙動を検討し、感度分析を行う。

### 6.8.1 定式化のまとめ

ここまでで定式化を行ってきた、実証分析のための「ELASTICモデル」は、以下のよう  
にまとめられる。

<ライフ・サイクル環境負荷>

$$E = \sum_{t=0}^T E(t) \quad (3.5)$$

ここで、 $T$ ：評価対象期間

<各期の環境負荷>

$$E(t) = (E_c^c(t) + E_r^c(t)) + E_m^c(t) + (E_u^c(t) + E_r^u(t)) \quad (6.1)$$

ここで、 $E_s^k$ ：交通機関  $k$  の段階  $s$  における地球環境負荷発生量

$k$ ：交通機関 ( $c$ ：自動車、 $r$ ：鉄道)

$s$ ：ライフ・サイクルの段階 ( $c$ ：建設、 $m$ ：維持管理、 $u$ ：交通活動)

<環境負荷推計モデル>

$$E_c^c = \varepsilon_c^c \cdot I^c \quad (6.2)$$

$$E_r^c = \varepsilon_r^c \cdot I^r \quad (6.3)$$

$$E_m^c = \varepsilon_m^c \cdot (S^c \cdot \lambda_m^c) \quad (6.4)$$

$$E_u^c = e_u^c \cdot L^c \quad (6.5)$$

$$E_r^u = e_r^u \cdot L^r \quad (6.6)$$

ここで、 $\varepsilon_c^k$ ：交通機関  $k$  の建設段階における内包環境負荷発生原単位

$\varepsilon_m^k$ ：交通機関  $k$  の維持管理段階における内包環境負荷発生原単位

$e_u^k$ ：交通機関  $k$  の交通活動による環境負荷発生原単位

$\lambda_m^c$ ：単位道路面積あたりの維持投資額  $\lambda_m^c = \lambda_m^c(\text{GDP})$  (6.14)

<① 交通施設供給モデル>

$$I^k(t) = i^k(t) \cdot \text{GDP}(t) \quad (3.11a)$$

$$S^c(t+1) = S^c(t) + I^c(t) / \lambda_c^c(t) \quad (6.10)$$

$$S^r(t+1) = S^r(t) + I^r(t) / \lambda_r^r(t) \quad (6.11)$$

ここで、 $i$ ：交通施設投資額 (GDP比)

$I^c$ ：道路インフラ投資額、 $I^r$ ：鉄道インフラ投資額

$S^c$  : 道路面積、  $S^r$  : 地下鉄駅数

$\lambda_{\varepsilon}$  : 単位道路面積あたりの建設投資額  $\lambda_{\varepsilon} = \lambda_{\varepsilon}(\text{GDP})$

$\lambda_{\varepsilon}$  : 単位地下鉄駅あたりの建設投資額  $\lambda_{\varepsilon} = \lambda_{\varepsilon}(\text{GDP})$

## <② 自動車保有モデル>

$$\text{OWN} = K \cdot s \quad (6.19)$$

$$K = \gamma_1 \cdot R^{\gamma_2} \cdot (1/d)^{\gamma_3} \quad (6.22)$$

$$s = 1 / (1 + \alpha \cdot \exp(-\beta \cdot \text{GDP}/p)) \quad (6.23)$$

ここで、OWN : 乗用車保有率、  $p$  : 人口

$R$  : 1人あたり道路面積  $R = S_c / A$  ( $A$  : 都市面積)

$d$  : DID人口密度

$\alpha, \beta, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  : パラメータ

## <③ 交通活動モデル>

生成交通量 :

$$T_i^1 = \text{OWN} \cdot H \cdot a^1 \cdot N_i \quad (6.24)$$

$$T_i^2 = (1 - \text{OWN} \cdot H) \cdot a^2 \cdot N_i \quad (6.25)$$

ここで、 $T_i^c$  : 地域  $i$  での  $c$  層 (保有 = 1, 非保有 = 2) の総トリップ数

$N_i$  : 地域  $i$  の人口 ( $\sum_i N_i = p$ )

$a^c$  :  $c$  層の生成原単位 (グロス)、  $H$  : 世帯あたり人数

距離帯別トリップ頻度 :

$$T_{il}^c = n_i^c \cdot T_i^c \quad (6.26)$$

ここで、 $T_{il}^c$  : 地域  $i$  での  $c$  層の距離帯  $l$  におけるトリップ数

$n_i^c$  : 地域  $i$  での  $c$  層の距離帯  $l$  におけるトリップ数比率

手段分担率 :

0 ~ 2 kmの距離帯

$$p_{il}^{ck} = \frac{100}{1 + \exp(-\eta_0 - \eta_1 \cdot \text{POP}_d - \eta_2 \cdot \text{DL})} \quad (6.28)$$

2 km以上の距離帯

$$p_{il}^{ck} = \frac{100}{1 + \exp\{-\theta_0 - \theta_1 \cdot \ln(\text{RAIL})\}} \quad (6.29)$$

ここで、 $p_{il}^{ck}$  : 車保有/非保有層別、距離帯別、ゾーン別手段分担率



c : 保有 = 1、非保有 = 2、 i : ゾーン、 l : 距離帯  
 POP<sub>d</sub> : 昼間人口密度、 DL : 1人あたり道路延長  
 RAIL : 駅密度 (面積あたり地下鉄駅数) RAIL = S<sub>r</sub> / A  
 η<sub>0</sub>, η<sub>1</sub>, η<sub>2</sub>, θ<sub>0</sub>, θ<sub>1</sub> : パラメータ

総トリップ長 :

$$T_{il}^{ck} = P_{il}^{ck} \cdot T_{il}^c \quad (6.28)$$

$$L^k = \sum_i \sum_c \sum_l (T_{il}^{ck} \cdot \bar{V}_l) \quad (6.29)$$

ここで、 $T_{il}^{ck}$  : 車保有 / 非保有層別、距離帯別、ゾーン別、手段別トリップ数  
 $\bar{V}_l$  : 距離帯 l の平均距離

#### ④ 交通活動環境負荷原単位モデル

$$\bar{V} = -\rho_1 \cdot (L^c / S^c) + \rho_2 \quad (6.31)$$

$$e_u = 0.86 \times 0.00078 / (0.0036 \cdot \bar{V}^2 + 0.41 \cdot \bar{V} + 1.25) \quad (6.33)$$

ここで、 $\bar{V}$  : 自動車平均走行速度

#### 6.8.2 交通施設投資政策の感度分析

以上のモデルを用いて、まず交通施設投資代替案に関する感度分析を行う。

評価対象期間として、1960年度初～2009年度末までの50年間を考える。評価対象都市である名古屋市においては、この50年間はモータリゼーションの黎明期<第Ⅰ期>から成熟期<第Ⅲ期>までを含む期間であり、特にその前半では、実質GDP成長率が10%を越える高度経済成長期にあたり、モータリゼーションの進展が著しい。そのため、モータリゼーションに対応した交通施設整備が行われているかを調べるためには最も適当な時期であると考えられる。

外生変数である人口や所得水準については、1995年度までは現況値を、その後は1990～95年度のトレンドを延長し、人口は年0.8%、名目GDPは年4%増加するものとする。また、都市の面積やDID面積、1世帯あたり人数についても外生的に設定する必要があるが、これらは今後すべてのケースについて、実際パターンで推移するものとする。

評価開始年度(1960年度)における交通施設整備水準は、実際の水準と同じであったとする。評価開始後20年間(1960～79年度)に、次の6パターンの交通施設投資代替案を設定し、後半30年には全く投資を行わないものとする。これは、前半20年間の投資の効果のみを見るためである。

- a) 1 / 1 ケース : 道路・鉄道にそれぞれGDP比1%ずつ投資する
- b) 2 / 1 ケース : 道路に2%、鉄道に1%ずつ投資する

- c) 1 / 2 ケース：道路に 1 %、鉄道に 2 % ずつ投資する
- d) 0 / 2 ケース：道路に投資せず、鉄道に 2 % 投資する
- e) 2 / 0 ケース：鉄道に投資せず、道路に 2 % 投資する
- f) 0 / 0 ケース：投資を全く行わない

この中で実際の名古屋市の投資パターンに最も近いのはa)のケース（1 / 1）である。このケースでは、1980年度初の道路面積は1960年度初に比べ約32%、鉄道駅数は約35%増加する。2%投資ではそれぞれこの2倍増加することになる。

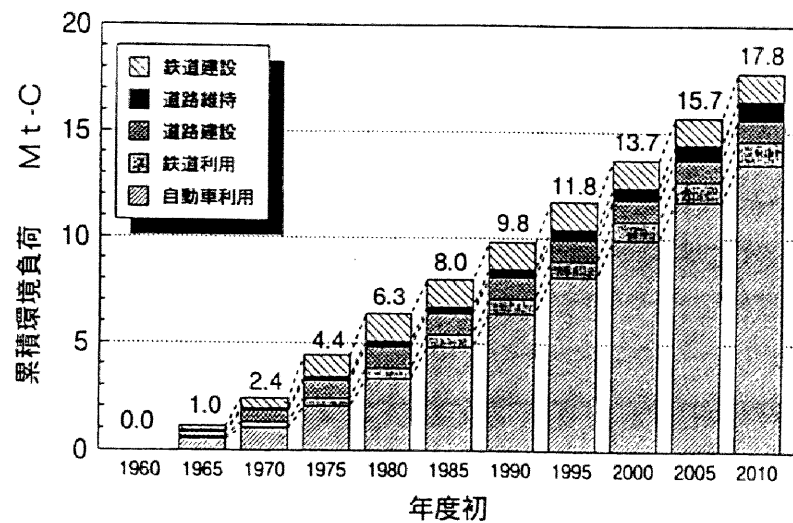
この6ケースについて、最終年度（2009年度）における乗用車保有率、自動車・鉄道分担率、自動車平均走行速度、累積環境負荷、および最終年度の環境負荷の推計結果を表6. 3に示す。また、50年間の累積環境負荷の推移（累積環境負荷チャート）を図6. 24に示す。

表6. 3 各道路投資代替案に関するモデル推計結果

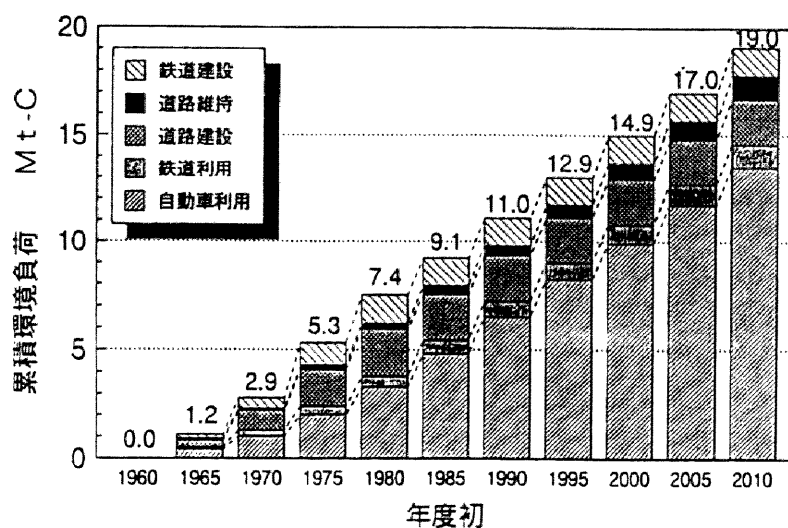
年度 ・ 投資代替案		乗用車 保有率 台／千人	自動車 分担率 %	鉄道 分担率 %	平均走行 速度 km／h	累積環境負荷 Mt - C 50年計   後半30年		2009年度 環境負荷 kt - C
開始年度 (1960年度)		1 2	1 2 . 3	2 2 . 9	3 1 . 7	--	--	(1960年) 1 0 6
最 終 年 度	1／1	2 5 5	3 4 . 5	1 7 . 4	2 0 . 0	1 7 . 8	1 1 . 4	4 1 2
	2／1	2 8 5	3 7 . 4	1 6 . 6	2 1 . 0	1 9 . 0	1 1 . 6	3 8 4
	1／2	2 5 5	3 3 . 3	1 8 . 7	2 3 . 0	1 8 . 2	1 0 . 7	4 1 7
	0／2	2 2 0	3 0 . 2	1 9 . 6	1 6 . 4	1 7 . 5	1 1 . 0	3 9 9
	2／0	2 8 5	3 9 . 0	1 4 . 9	2 1 . 8	1 9 . 0	1 2 . 6	4 5 3
	0／0	2 2 0	3 2 . 6	1 6 . 6	1 3 . 5	1 7 . 9	1 3 . 6	4 9 6

以上の推計結果から、次のことが分かる。

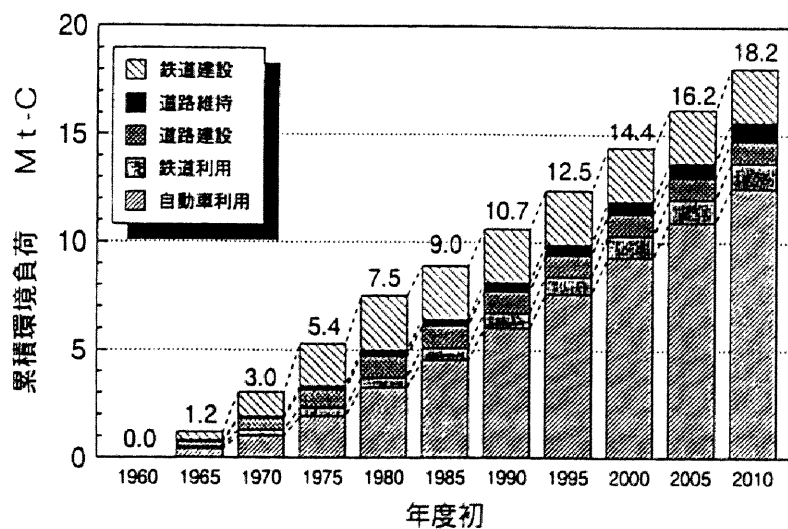
- 1) 乗用車保有率モデルについては、かなり鋭い感度が出ている。道路を全く造らない場合に比べて、毎年GDP比1%を20年投資すると、50年後では約1.16に、2%投資だと約1.30倍乗用車が増加する。
- 2) 手段分担率は、特に自動車について、投資の違いによる変動が大きく出ている。つまり、自動車保有の違いによる影響が大きい。
- 3) 自動車平均走行速度は、道路投資を行っている代替案ほど大きくなっている。これは自動車保有率モデルの、道路整備をしてもそれを上回るまでの保有率増加は生じない、という特性から出てくる。また、同じ道路投資額では、鉄道に多く投資した方が、鉄道への代替が生じるために自動車速度が大きくなっている。
- 4) 50年間の累積環境負荷は、代替案ごとであまり変化がない。これは、交通施設投資による環



a) 道路・鉄道投資をそれぞれGDP比1%ずつ (1/1)

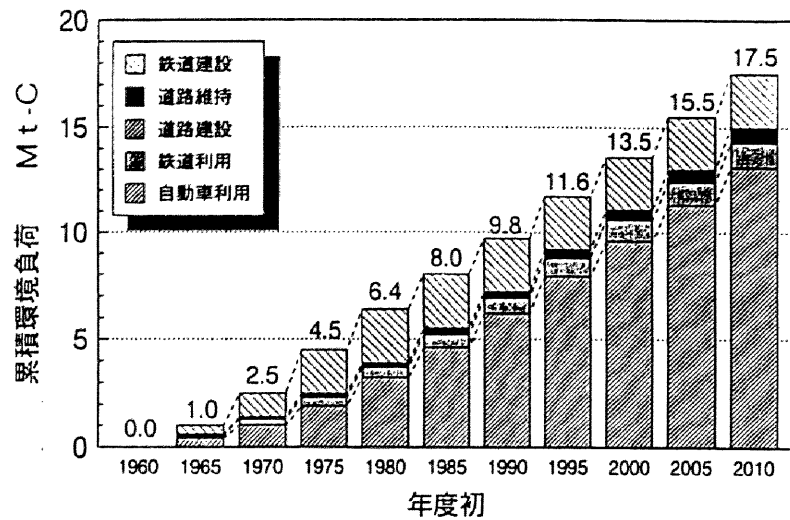


b) 道路を2%、鉄道を1%ずつ (2/1)

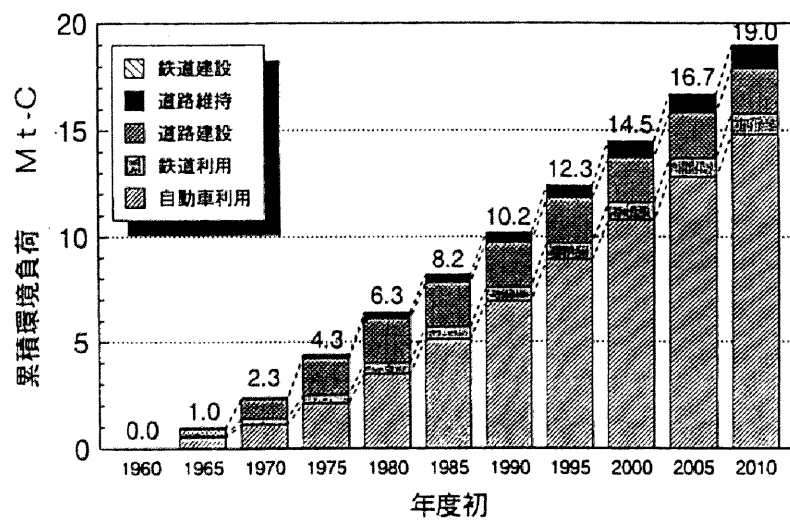


c) 道路を1%、鉄道を2%ずつ (1/2)

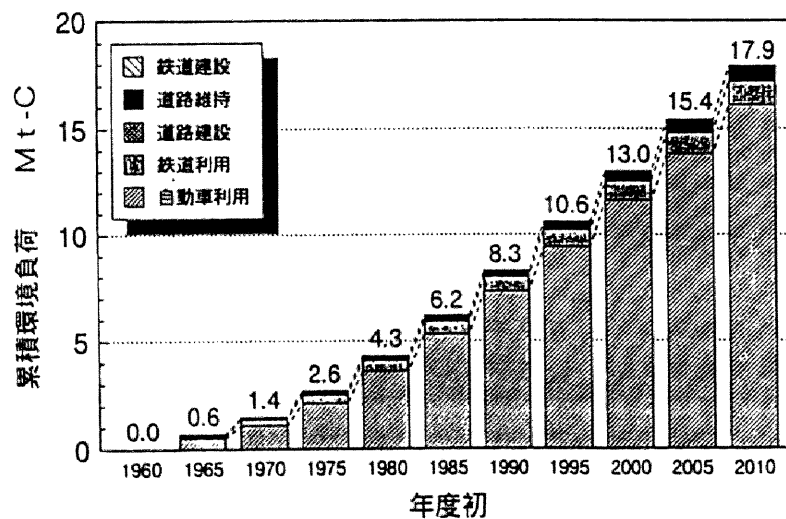
図6.24 交通施設投資額の違いによる累積環境負荷変化のELASTICモデルによる推計結果 (その1)



d) 道路に投資せず、鉄道に2% (0/2)



e) 鉄道に投資せず、道路に2% (2/0)



f) 一切投資を行わない (0/0)

図6.24 交通施設投資額の違いによる累積環境負荷変化のELASTICモデルによる推計結果 (その2)

境負荷発生（投資が行われている前半20年間で生じる）と、混雑緩和効果による環境負荷削減（50年間にわたって生じる）が、50年間でほぼ相殺されていることを示している。

- 5) 後半30年間（1980～2009年度）の累積環境負荷は、最も小さいケース（1／2）に比べて大きいケース（0／0）では約27％高くなっている。最終年度の環境負荷発生量もほぼ同様の傾向になっているが、その差は約29％に拡大している。

図6. 25は、評価期間前半の20年間（1960～79年度）の道路・鉄道への投資配分比率の違いによる、最終年度（2009年度）の環境負荷発生量の違いを「等ポテンシャル線」として描いたものである。この図から分かるように、鉄道投資については、投資した方が環境負荷が小さい。これは鉄道へのモーダル・シフトによるものである。一方、道路投資を増加させた場合、GDP比1％までは環境負荷が減少するが、それ以上はわずかに増加に転ずる。これは、道路整備による混雑緩和効果に比べ需要誘発効果が上回っているためである。

- 6) 累積環境負荷の推移をみると、最終年においては自動車利用のものが圧倒的であるが、交通施設投資を行っている初期においては、交通施設供給の負荷が占める割合が大きい。

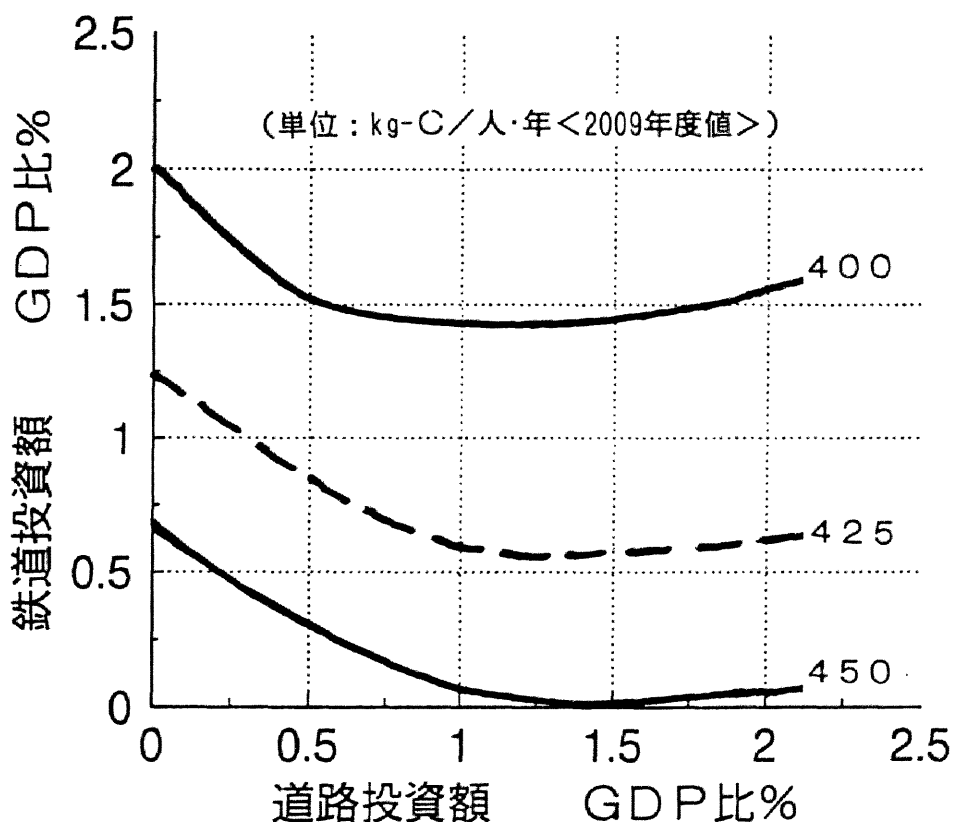


図6. 25 1960～79年度の道路・鉄道投資のGDP比と  
最終年度（2009年度）の環境負荷発生量＜等量線＞との関係

### 6. 8. 3 高度経済成長以前の交通施設蓄積の感度分析

本研究でモデル構築の対象都市とした名古屋市は、日本の都市のうちでも道路整備水準が高い都市である。これは、戦災復興土地区画整理事業が進められ、道路整備が経済成長の比較的早い時期から進められたことによるものである。また、名古屋市を含めた日本の都市は、都市

内や都心－郊外間の鉄道が高密度で整備されてきており、路面電車を含めれば1960年代までには現在の鉄道整備水準に達していた。したがって名古屋市は、高度経済成長が始まる以前に交通施設整備が高いレベルに達していた都市である。ところが、今後高度経済成長期に突入していく発展途上国の大都市では、このような条件がみだされていないところが多い。現在深刻な交通渋滞に見舞われているバンコクを例にとると、1988年における1人あたり道路延長は、ちょうど同じ経済レベルにあった名古屋の1972年の水準の約3分の1である。また都市内交通のための鉄道はほとんどゼロである<sup>18)</sup>。このように、高度経済成長への離陸期における交通施設整備水準の違いは、その後の環境負荷を大きく変化させると予想される。

そこでモデルを用いて、経済が急激に成長する以前の交通施設蓄積がその後の地球環境負荷に及ぼす影響を推計する。ケーススタディとして次の4つを設定する。

- a) 実際ケース : 1960年度初の道路・鉄道整備水準が実際と同じ
- b) 道路半分ケース : 1960年度初の道路整備水準が実際の半分
- c) 鉄道半分ケース : 1960年度初の鉄道整備水準が実際の半分
- d) 道路・鉄道半分ケース : 1960年度初の道路・鉄道整備水準が実際の半分

1960～79年度の交通施設投資はいずれのケースでも、道路・鉄道ともGDP比1%（1/1ケース）とする。また人口・経済成長については、前項と全く同じパターンを設定する。

この4ケースについて、開始年度と最終年度における乗用車保有率、自動車・鉄道分担率、自動車平均走行速度、累積環境負荷、および最終年度の環境負荷の推計結果を表6.4に示す。

表6.4 各交通施設蓄積ケースに関するモデル推計結果

ケース	乗用車 保有率 台/千人	自動車 分担率 %	鉄道 分担率 %	平均走行 速度 km/h	累積環境負荷 Mt-C		最終年 環境負荷 kt-C
					50年計	後半30年	
a) 実際	12 255	12.3 34.5	22.9 17.4	31.7 20.0	17.8	11.4	412
b) 道路 半分	9 208	11.8 30.1	23.0 18.6	24.1 12.9	19.2	12.7	463
c) 鉄道 半分	12 255	12.7 36.4	20.2 15.2	31.3 18.2	19.5	12.9	467
d) 道路・ 鉄道半分	9 208	12.1 31.8	20.4 16.5	23.5 10.6	22.1	15.2	561

（各項目内で、上は1960年初の値、下は2009年末の値）

以上の推計結果から、次のことが分かる。

- 1) 実際のケースに比べて、他のケースは累積環境負荷や最終年の環境負荷が大きくなっている。

特徴的なのは、評価期間の前半20年間ににおける累積環境負荷にほとんど差がないにもかかわらず、後半30年間の累積環境負荷に大きな違いが現れていることである。a)に対してb)は約11%、c)は約13%、d)は約33%大きくなっている。これは、高度経済成長期以前の交通施設整備の違いが、その後20年以上たってから環境負荷発生量の違いとなって現れることを意味している。言い換えれば、経済成長の早い時期での交通施設整備が、長期的な環境負荷発生量を決定する大きな要因となることが分かる。

- 2) ケースd)の累積環境負荷増加量は、b),c)の増加量の和よりも大きくなっており、複合的な影響が生じていることが分かる。これは、b),c)では、整備が遅れている交通手段から進んでいる交通手段にシフトすることによって、各交通手段が有効に活用されているのに対し、ケースd)では増加する交通需要の受け皿が不十分なためである。

#### 6. 8. 4 経済成長速度の違いについての感度分析

日本の高度経済成長は、およそ20年間にわたって実質成長率が10%を越えるものであり、このような急速な経済発展に合わせて交通施設整備も進めていく必要があった。このような経済成長速度の違いによって、地球環境負荷の変化がどのように生じるかを分析するために、モデルを用いて推計を行う。

ケーススタディとして、a)実際の経済成長パターン（前半に高度成長、後半に低成長）、b)一定成長パターン（毎年7.9%成長）、の2つを設定する。どちらケースも、開始年度（1960年度）と最終年度（2009年度）のGDPは同じ値になり、その途中の成長経路が異なっている。

人口増加については、前項と全く同じ実際パターンを設定する。交通施設投資については、a)では1960～79年度の20年間に、道路・鉄道ともGDP比1%（1/1ケース）投資する。一方、b)では、1960～92年度の33年間にわたって投資を行う。これは、a)のケースでの1979年度のGDPとb)のケースでの1992年度のGDPが同じ値であることによるものである。

この各ケースについて、最終年度における自動車平均走行速度、累積環境負荷、および最終年度の環境負荷の推計結果を表6. 5に示す。

表6. 5 各経済成長パターンに関するモデル推計結果

ケース	平均走行 速度 km/h	累積環境負荷 Mt - C		最終年 環境負荷 kt - C
		50年計	後半30年	
a)	19.6	17.8	11.5	415
b)	22.8	13.0	9.2	392

以上の推計結果では、ケースb)の方が累積GDPが小さいため、累積環境負荷も小さくなっているが、最終年は同じ経済レベルになっているにもかかわらず、環境負荷発生量が約6%小さくなっている。これは、5. 5. 4項でも述べたように、経済成長速度が遅いほど交通施設

整備に対して時間的に余裕ができ、結果的により多くの整備を行うことができるためである。このことは、経済成長速度が速いほど交通施設整備を緊急に進めることの必要性を地球環境負荷の面から示した結果である。

#### 6.8.5 人口増加速度の違いについての感度分析

経済成長とともに、都市への人口集中の違いも、地球環境負荷に影響を及ぼす可能性がある。

そこでモデルを用いて、人口増加速度の違いによる影響を推計する。ケーススタディとして次の3つを設定する。

- a) 実際ケース：人口増加率 年0.8%
- b) 2倍ケース：人口増加率 年1.6%
- c) 3倍ケース：人口増加率 年2.4%

各ケースでの人口の推移を表6.6に示す。

表6.6 各人口増加パターンにおける人口の推移

ケース	1960年度 人口 千人	1990年度 人口 千人	2010年度 人口 千人	2010年度 人口密度 人/km <sup>2</sup>
a) 実際	1 7 9 0	2 2 7 4	2 6 6 7	7 6 6 0
b) 2倍		2 7 3 2	3 7 5 3	1 1 3 7 3
c) 3倍		3 4 5 7	5 5 5 5	1 6 8 3 4

1960～79年度の交通施設投資は、いずれのケースでも、道路・鉄道ともGDP比1%（1/1ケース）とする。また経済成長については実際パターンを設定する。

この3ケースについて、開始年度と最終年度における乗用車保有率、自動車・鉄道分担率、自動車平均走行速度、累積環境負荷、および最終年度の環境負荷の推計結果を表6.7に示す。

表6.7 各人口増加パターンに関するモデル推計結果

ケース	乗用車 保有率 台/千人	自動車 分担率 %	鉄道 分担率 %	平均走行 速度 km/h	累積環境負荷 Mt-C		最終年 環境負荷 kg-C/年
					50年計	後半30年	
a) 実際	2 5 2	3 4 . 3	1 7 . 3	1 9 . 6	1 7 . 8	1 1 . 5	1 6 4
b) 2倍	2 0 0	2 9 . 3	1 8 . 8	1 5 . 0	2 0 . 3	1 4 . 1	1 6 1
c) 3倍	1 4 3	2 3 . 9	2 0 . 5	1 0 . 9	2 2 . 8	1 6 . 6	1 5 9



以上の推計結果から分かるように、人口増加速度の違いによって環境負荷発生量にはほとんど変化が生じない。それは、ここでの推計において、都市の面積が一定であることに起因している。都市への人口集中によって人口密度が上昇し、結果的に自動車保有水準が抑制されるために、自動車へのモーダル・シフトが緩慢になっていることが、地球環境負荷を抑制する要因になっている。

このような結果は、ホンコンやシンガポールのような用地制約のある都市には適用できる。しかし一般には、都市への人口集中は都市面積の増加につながると考えられるため、本モデルのように面積増加が表現されていない場合には、人口集中の効果を推計するのは不適當であると考えられる。

## 6.9 まとめ

本章では、都市交通システムにかかわる地球環境負荷発生量を長期間で推計するとともに、交通施設整備に伴う効果影響を把握できる体系としての「E L A S T I Cモデル」の構築を行ってきた。

そのために、モデル全体を、①交通施設供給モデル、②自動車保有モデル、③交通活動モデル、④交通活動環境負荷原単位モデル、の4つの部分に分け、それぞれのモデル構築に用いるデータ、変数間の因果関係、他のモデルとの関係を整理し、主に名古屋市のデータを用いて定式化、パラメータ推計および各モデルの感度分析を行った。モデルの内容を簡単に整理する。

### ①交通施設供給モデル：

金額ベースの交通施設投資額から、物量ベースの交通施設供給量を推計するために、建設原単位の考え方を導入してモデル化を行った。

### ②自動車保有モデル：

自動車保有水準をロジスティック曲線を用いて定式化するとともに、モデル式を、自動車利用の便利さを規定する都市構造や道路整備水準によって説明される「潜在的乗用車市場規模」と、所得制約によって決まる「市場飽和度」とに分け、それぞれの変化を説明した。その結果、都市化と高度経済成長の過程で所得制約が急速に解消されていく一方、都市構造も低密・広域化の方向に進んできたことが明確に示された。またその過程の都市間での違いもかなりの部分説明することができた。

### ③交通活動モデル：

車保有／非保有層の交通行動の違いを考慮した、都市交通活動に伴う環境負荷発生量を推計可能な集計マクロモデル群を構築した。これによって、自動車保有率、交通施設整備水準、トリップの距離帯別頻度分布の変化による、鉄道と自動車の環境負荷発生量変化を推計すること

が可能になった。また、交通手段分担モデルのパラメータ推定の結果、0～2 km帯で人口密度が、他の距離帯で鉄道整備水準が上昇することによって有意に環境負荷発生量が減少することを示した。

#### ④交通活動環境負荷原単位モデル：

自動車の環境負荷発生原単位は道路の混雑状況によって変化し、これが都市交通活動の環境負荷レベルを決定する要因となるため、環境負荷発生原単位を平均走行速度の関数として定式化した。

さらにこれらのモデルを統合し、道路および鉄道の施設供給（建設と維持）および交通活動（走行車両）の両方を考慮した環境負荷推計モデルである「E L A S T I Cモデル」にまとめた。それを用いて、交通施設投資代替案に関する感度分析を実施した。モータリゼーションが黎明期から成熟期に至るまでの50年間を対象として、前半の20年間の交通施設投資政策トレンドが、都市交通システム自体やそれにかかわる環境負荷発生量をいかに変化させていったかについて、そのメカニズムを再現することができた。その結果、自動車利用による発生量が非常に大きいとともに、交通施設の建設に伴う発生量も無視できないことが分かった。加えて、交通施設投資に伴って発生する環境負荷が、その後の交通活動による環境負荷発生量の削減によって長期的には相殺され、その効果は後の時代になるほど大きくなっていく様子が表現できた。さらに、経済成長の離陸期（すなわちモータリゼーションが始まる時期）より以前の交通施設整備の影響が大きいことや、経済成長が速いほど環境負荷が大きくなることも明らかとなった。この結果から、十分なインフラ整備が行われないまま急速な経済成長の段階に移行しつつある東アジア発展途上国の大都市にとって、その将来の環境負荷発生量の増加がさらに憂慮される。

各モデルの挙動については、サブモデルとしての自動車保有モデルは妥当な感度を示す一方で、PT調査から推計された手段分担率モデルの感度やトリップ距離帯に問題があることがうかがわれた。結果として交通活動の環境負荷がやや過少に推計されている傾向にある。その原因として、a)これらのモデルの推定に名古屋市のみデータを用いたこと、b)1991年のデータから推定したモデルをすべての期間にわたって使用したこと、が挙げられる。しかし、PTデータは時期が都市ごとで異なるため、クロスセクションで分析することが困難であり、今後の課題として残る点である。また、より長期にわたる評価分析を行うことも不可能ではないが、同様の理由から、パラメータや外生変数の安定性の問題が大きく、実際の評価を行うことができなかった。

なお本章では、自動車分担率とD I D人口密度との間に明確な関係があることを示すことにより、自動車普及・利用と都市構造変化との間に「モータリゼーション・アクセラレーション」と呼ぶべき連関関係があることを実証できたが、それをモデルの中に組み込むことはできなかった。しかし、乗用車保有を抑制する策として、土地利用規制の実施以外に、自動車分担率を低下させる鉄道整備の実施が効果的であることが分かった。鉄道整備を直接的に自動車保有水準のモデルに組み込むのは難しいが、それが都市構造変化を経由して自動車保有率に影響を与えていることがうかがわれる。

本モデルの今後の改良点としては、交通活動モデルの推定のためのデータの拡充があげられる。本研究では保有／非保有層の交通行動を把握するために中京都市圏パーソン・トリップ調査のデータを用いているが、データの幅が狭く、地域属性も強く出ている可能性がある。保有／非保有層の交通行動についてより一般的な法則性を見出すために、より広範囲な地域でデータを収集する必要がある。

また、本研究では分担率モデルに道路状況が反映されていない。実際には鉄道水準と道路サービス水準から分担率が決まると考えられる。これによって車の利用が変わるため道路サービス水準が決まり、また分担率が決まるといった相互作用が生じ、一種の均衡が満たされているものと考えられる。よって、道路サービス水準が分担率に及ぼす影響を定式化することが必要である。

## 参考文献

- 1)建設省計画局編（1984年より建設省建設経済局監修）：建設統計要覧（各年度版）、(財)建設物価調査会。
- 2)建設経済研究所：日本経済と公共投資No.21 -公共投資、求められる改革へのみち-、1993.
- 3)建設省建設経済局：昭和60年建設部門分析用産業連関表、建設物価調査会、1989.
- 4)中嶋芳紀、岩淵省、松本亨、井村秀文：LCAを考慮した社会資本整備による総合的環境評価に関する研究、環境システム研究 Vol.24、pp.192-199、1996.10.
- 5)池田英昭、井村秀文：社会資本整備にともなう環境インパクトの定量化に関する研究、環境システム研究 Vol.21 No.29、1993、pp.192-199.
- 6)(財)日本統計協会 編集（総務庁統計研修所 監修）：統計小辞典、p.90、1992.
- 7)岩田暁一、木下宗七 編：テキストブック統計学、有斐閣、1979.
- 8)加藤晃、竹内伝史：土木計画学のためのデータ解析法、共立出版、1981.
- 9)総務庁統計局：国勢調査報告。
- 10)第3回中京都市圏パーソントリップ調査報告書2・人の動きの現況と推移、中京都市圏総合都市交通計画協議会、1993.3.
- 11)第3回中京都市圏パーソントリップ調査報告書3・現況分析、中京都市圏総合都市交通計画協議会、1993.3.
- 12)建設省中部地方建設局：道路交通センサス報告書 中部地方の道路交通情勢の概要（昭和60年度・平成2年度版）、1987、1993.
- 13)神崎紘郎、山中義之：都市規模に応じた道路整備必要量の推計モデル、土木計画学研究・講演集 No.12、pp.575-582、1989.12.
- 14)日産自動車交通研究所：自動車交通1993、pp.34-35、1993.11.
- 15)運輸省運輸政策局情報管理部編：運輸関係エネルギー要覧、1993-1996.
- 16)運輸省鉄道局監修：鉄道（民鉄、私鉄）統計年報（各年度版）。
- 17)運輸経済研究センター：環境と運輸・交通 環境にやさしい交通体系をめざして、1994.8.

- 18) Y. Hayashi, R. Suparat, et al.: Urbanization, Motorization and the Environment Nexus - An International Comparative Study of London, Tokyo and Bangkok-, Memoirs of the School of Engineering, Nagoya University, Vol.46, No.1, pp.55-98, 1994.

その他、モデル構築にあたって以下の文献およびデータを参考とした。

- 19) 科学技術庁科学技術政策研究所編：アジアのエネルギー利用と地球環境、1992。  
20) 藤沼茂、内田剛嘉、長谷川晃一：石油の実際知識（第3版）、東洋経済新報社、1979。  
21) (財)運輸経済研究センター：都市交通年報（各年度版）。  
22) 建設省道路局・都市局：第11次道路整備五箇年計画、1993。  
23) 橋口賢治、山田晴利、中村英樹、谷口栄一、安田泰二：自動車走行台キロの将来推計、土木計画学研究・講演集 No.15(1)、pp.739-745、1992.11。  
24) 名古屋市公害対策局：自動車公害ハンドブック、1990.3。  
25) 東洋経済新報社：地域経済総覧（各年度版）。  
26) 日産自動車編集：自動車産業ハンドブック 1992/1993、紀伊國屋書店、1992.10。  
27) 名古屋市交通局：市営交通70年のあゆみ、1992.8。  
28) 名古屋市交通局：資料集・名古屋の地下鉄建設、1986.3。  
29) 名古屋市土木局：名古屋市道路統計、1971, 1981, 1991。  
30) 鶴巻峰夫、植松幹夫、根津浩一郎：ライフサイクルエネルギー評価の都市開発への適用とその課題、環境システム研究 Vol.22、pp.158-164、1994.8。  
31) 川村雅彦：東京圏の物流構造と環境負荷に関する一考察（工場立地の郊外化に伴う物流の郊外化について）、環境システム研究 Vol.22、pp.255-260、1994.8。

## 7 章 結論

### 7. 1 本研究で得られた知見

本研究は、都市旅客交通にかかわる地球環境負荷（CO<sub>2</sub>）発生量を評価するための基本概念を構築し、都市発展に伴う環境負荷発生の時間的変化やその要因を明らかにするとともに、各種政策によるその制御可能性について明らかにし、地球環境面からみた都市交通政策のあり方を示すことを目的とした。この研究によって得られた知見を、以下に要約する。

まず1章では、本研究における基本的な問題意識として、交通が地球環境に及ぼす影響が年々大きくなっており、今後さらなる拡大が懸念されていることを述べた。次に、本研究で扱う「交通にかかわる地球環境負荷」の範囲の定義として、従来は別々に扱われることの多かった、交通施設供給に起因するものと、交通活動に起因するものの両方について対象とすることとした。

2章では、交通にかかわる地球環境負荷に焦点を当てた既往研究について概観し、その到達点と課題を整理した。それにさきがけて、都市交通と地球環境問題（地球温暖化）との関係を明らかにした。さらに、交通施設供給、交通活動およびその両面を取り扱った研究事例についてレビューを行った結果、a)従来は交通施設供給と交通活動の環境負荷分析がほぼ独立に進められてきたこと、b)交通施設供給についてはLCAの考え方が導入されるとともに、内包環境負荷の評価に力点が置かれてきたこと、c)交通活動に関してはそのメカニズム把握の重要性が言われながら、いまだ十分な研究の蓄積が進んでいないこと、などを明らかにした。

また、交通にかかわる地球環境負荷削減のために、交通施設整備政策が大きな役割を果たせる可能性があることが言われながら、その分析ツールや評価の枠組については十分に整備されてこなかったことが把握できた。

そこで3章では、交通にかかわる地球環境負荷の推計評価にあたって残されている総合的な課題であり、それゆえに本研究が取り組むべきものとして、a)交通施設供給・交通活動をともに考慮した評価、b)「ライフ・サイクル」での評価、c)複数代替案の評価検討、d)政策の長期的影響の分析、の4点を整理し、これらをみたとすような地球環境負荷（「ライフ・サイクル環境負荷」）の推計評価の体系構築に取り組んだ。ここで「ライフ・サイクル」とは、単一交通施設の建設から供用、維持管理を経て廃棄に至る時間的プロセスのことを意味する。さらに「ライフ・サイクル環境負荷」の応用概念として、累積環境負荷チャートや環境収益率といった評価指標を提示した。

また、費用便益分析などの他の観点からの交通施設整備評価手法も、実は交通施設のライフ・サイクル全体で評価することや、その効果影響が波及する範囲全体で評価することを基本としており、その意味はLCAと相似な手法が用いられていることを示した。そこで、交通施設整備評価にあたって地球環境負荷を考慮に入れたライフ・サイクル的手法の新たな枠組を示し、その中で地球環境負荷発生量を制約条件として使用することを提案した。

さらに、単一交通施設での評価体系を都市全体の交通システムに適用するための拡張をはか

った「持続可能な都市交通整備のためのライフ・サイクル・アセスメント（E L A S T I C : Environmental Life-cycle Assessment for Sustainable Transport Improvement of a City）モデル」の基本的枠組を構築した。これは、都市の時間的发展経過であるアーバン・ダイナミズムを表現するために、動学的マクロ経済モデルをベースとし、これに交通活動の需要関数と、交通にかかわる環境負荷の推計式を加えたものである。このモデルは、都市交通システムをいわば「人間」のように評価しようという試みである。人間の一生のように、都市にもライフ・サイクルがあると考えれば、モータリゼーションはいわば成長期にあたる。この時期にどのような交通施設整備政策を行うかによって、その後の都市の性格がある程度定まってしまう。そこで、地球環境負荷発生が少ない都市に誘導するために、どのような交通施設投資政策をとっていくかを分析するためのモデルが「E L A S T I Cモデル」である。

他方で、地球環境負荷の評価指標の単位について考察を加えた。特に貨幣価値評価のメリット・デメリットを整理し、現状でその適用には限界があることを示した。その上で、地球環境面を考慮に入れたライフ・サイクル的な交通施設整備評価手法の新たな枠組を構築し、その中で地球環境負荷発生量を制約条件として使用することを提案した。

4～6章は、3章で示した交通の地球環境負荷評価手法の実際への適用手法と例を示した。4章では、単一交通施設の単一区間に着目した場合の推計手法を提示した。これは、施設供給（建設・維持管理・廃棄）に関しては、投入する資材や機械の量に産業連関分析によって求めた資材や機械の内包環境負荷原単位を乗じ、総計をとるとともに、供用後の交通活動に関しては、施設の設計諸元や需要予測をもとに環境負荷の計測を行い、それらをまとめた「ライフ・サイクル環境負荷」で評価するものである。

この手法によって、既往研究での資材や施工法に関する比較検討から、代替案間で性能や利用状況が異なる代替案比較にも適用が可能となった。実際の推計例として、道路インフラに関する各種構造代替案を設定し、代替案比較を行った。この手法は従来より広く行われている費用便益分析や、建設費の積算とほぼ同様のプロセスで実施することができ、実際の交通施設を計画・設計・施工するにあたっての地球環境負荷の実用的な計測手法として利用可能であると考えられる。

さらに、推計した地球環境負荷の社会的費用への換算を試みた。その結果、その額が建設費や時間短縮便益に比べて非常に小さいことを示し、交通施設整備評価において地球環境負荷を費用便益分析に組み込むことは得策ではなく、むしろ施設整備の制約条件として考えるべきであると結論づけた。

5章および6章は、評価対象を都市交通システムに広げ、その地球環境負荷発生量を決定するメカニズムを分析し、モデル化を行った部分である。

5章では、交通部門の中でも最も環境負荷を多量に発生させる存在であるとともに、その量が都市構造や交通施設整備状況に大きく依存していると考えられる都市旅客交通に着目し、それに伴う地球環境負荷発生量の決定メカニズムを整理した。都市交通の態様は、長期的には都市の経済的・空間的成長に伴う「モータリゼーション」進展のあり方によって大きな影響を受ける。そこで、モータリゼーションを、①自動車普及（自動車保有率）、②交通活動のモータリゼーション（交通手段分担率）、③ライフ・スタイルのモータリゼーション（トリップ特性）、

④都市構造のモータリゼーション（D I D人口密度など）、の4段階に分けて把握し、またこれらの各段階に対して、交通施設の整備状況が大きな影響を及ぼすことも分かった。このような都市発展のダイナミズムとその各段階での各種政策の効果を把握するために、モータリゼーションのあり方、すなわち自動車保有、交通手段選択、トリップ特性の経年的変化や、それと都市構造との関係を明らかにした。

以上の分析を参考にして、6章では、都市交通システムにかかわる地球環境負荷発生量を長期間で推計するとともに、交通施設整備に伴う効果影響を把握できるモデルを、実証データを用いて定式化した。更にこのモデルを用いて、都市への交通施設投資政策の分析を行った。

モデル体系として、3章で既に基本的枠組を示した「E L A S T I Cモデル」を用いた。その実証分析への適用にあたっては、モデルのうち交通需要を決定する部分と環境負荷発生原単位モデルを、都市発展に伴うモータリゼーションと交通活動の活発化を表現するように詳細化することに重点を置いた。モデルの構成は、①交通施設供給モデル、②自動車保有モデル、③交通活動モデル、④交通活動環境負荷原単位モデル、の4つからなる。それぞれのモデル構築に用いるデータ、変数間の因果関係、他のモデルとの関係を整理し、定式化、パラメータ推定および感度分析を行った。さらにそれらのモデルを統合し、道路および鉄道の施設供給（建設と維持）および交通活動（走行車両）の両方を考慮した環境負荷推計モデルにまとめ、交通施設投資代替案に関する感度分析をそのモデルを用いて実施した。具体的には、20年間の投資政策トレンドが、その期間を含め50年間で、都市交通システム自体やそれにかかわる環境負荷発生量をいかに変化させていったかについて、感度分析を行った。その結果、自動車利用による発生量が非常に大きいことと、交通施設の建設に伴う発生量も無視できないことが分かった。また、交通施設投資を行わない方が、結果的に累積環境負荷を増大させることにつながることを示した。

このことにより、交通施設整備を都市成長の早い時期に行うことが、都市政策はもとより地球環境政策の面からも有効であり、それゆえに今後発展する発展途上国の大都市にとって、長期的な交通・立地対策が必要であると言える。

以上のように、本研究では、交通部門やそれをサポートする交通施設供給部門が、地球環境負荷をどの程度発生するかを定量的に推計する手法を開発するとともに、交通施設整備政策によってそれがどの程度コントロールできうるのかを明らかにしたものである。

地球環境問題という難局に直面している現在、人間活動の各部門が、地球環境負荷発生を削減するための具体的行動を求められている。そのための第一歩が、その活動がどれだけ環境負荷を発生させているのかを知ることであり、各種の対策がどのような効果をもたらすかを知ることである。本研究は都市交通の分野に関してそれを行った研究であると位置づけることができる。

## 7. 2 今後の課題

本研究では、複雑多岐にわたる環境問題のうち、地球温暖化問題に着目し、交通にかかわる

地球環境負荷の推計評価手法の開発を行ってきた。しかし、交通が環境に及ぼす影響はむしろ地球温暖化問題のみではない。資源・エネルギーの問題に関連するとともに、酸性雨や局地環境問題の原因でもある。本来のLCAは、地球環境問題にとどまらず、他のさまざまな環境問題も含めた総合評価を目指すものであり、これは1つの大きな課題であると言える。

また、ここまでで何度も指摘したように、交通政策は地球環境負荷のみで評価できるものでは断じてない。そういう意味では、地球環境負荷の定量評価が完了し、「何が環境によいか」が分かった後は、それをどのように実際の政策や設計にフィードバックさせていくかが問題となる。他の評価指標、例えば大気汚染・騒音・土地改変といった局地環境変化や、景観・アメニティといったもの、建設費や便益といった経済指標とどうバランスをとるのか、具体的にどのような地球環境負荷削減政策が実行可能であるかについて、議論を発展させていく必要がある。

一方、本研究では推計を行うにあたって、簡略化のためのさまざまな仮定をおいた。この中には現実的でないものも多い。例えば、5章および6章で都市交通システムを扱うにあたって、マクロ分析の手法をとり、都市内の立地関係については捨象した。これは経年変化をモデル化するために行った単純化であったが、都市が空間内で広がりをもつ存在であることを考えれば、立地関係を考慮した分析に拡張する必要がある。あるいは、主に名古屋市のデータを用いてモデル推定を行っているため、他の都市にこのモデルを無条件で適用することができないという問題がある。これらの課題に対処することによって、本研究で提示した地球環境評価の基本概念がさらに有用なものとなると考える。



## 謝辞

この論文をまとめるにあたって、まず何をおいても、指導教官である名古屋大学大学院工学研究科地圏環境工学専攻の林良嗣教授に深く感謝を申し上げなければなりません。著者が学部4年生の時に研究室に配属されて以来、6年間一貫して熱心にご指導をいただいてまいりました。先生は、非常にご多忙な中、とかく狭い見方に陥ったり、やすきに流れたりしがちな著者を適切な方向にご指導していただきました。研究が袋小路に入ってしまった時、先生の一言でパッと目の前の霧が晴れた思いをしたことは一度や二度ではありません。また、学生の立場ではなかなか参加することができない研究会に出席させていただいたり、学会等での発表の機会を与えていただいたりと、さまざまな恵まれた経験をさせていただきました。そもそも「交通と環境」という難テーマを提案されたのも林教授であります。博士課程後期課程に進学するかどうか迷った著者が、今この論文を仕上げることができたのは、間違いなく林教授の下で研究をしていたからであります。

本論文の審査委員となっていたいただいた5人の先生方からも、数々の修正意見や助言を賜り、感謝の念に堪えません。地圏環境工学専攻の松尾稔教授には、研究の位置づけや概念の明確化について厳しい指導をいただくとともに、論文をまとめる上の指針を示していただきました。先生のコメント1つ1つから、著者の浅学を繰り返し思い知らされました。土木工学専攻の河上省吾教授には、学部時代から講義や輪講において交通工学を基本から教えていただきました。審査の段階ではモデルに関する問題点を指摘され、より包括的なモデルにするにあたってそのご意見が大いに参考になりました。地圏環境工学専攻の松岡譲教授からは、地球環境問題をどのように評価したらよいかという方法論をご教授いただきました。名古屋大学理工科学総合研究センターの伊藤義人教授には、専門的な観点からのアドバイスのみならず、学位論文を書く際の注意点に至るまできめ細かくご指導いただきました。地圏環境工学専攻の中村英樹助教授には、普段の研究室のゼミやディスカッションの機会も含めて、交通や環境の各方面に関するご指導とともに、論文の全体構成から各詳細部分の問題点まで幅広いご指摘をいただきました。また、土木工学専攻・地圏環境工学専攻の他の先生方からも、各種のご指摘やご意見をいただきました。併せて感謝申し上げます。

山形県小国町で毎年開催される「小国ゼミ」は、他大学の先生方や学生のみなさんと議論を深めることができるとともに、新しい研究の切り口を見い出すきっかけとなるまたとない機会でした。中でも、運輸政策研究所所長（東京大学名誉教授）の中村英夫先生から「なかなか興味深い研究だ」というコメントをいただいたことは、先生が厳しい方であるとうかがっていたこともあって、非常な感激を覚えるとともに、研究を進める上での励みとなりました。また、東北大学教授の稲村肇先生からは、研究の的が絞られていないという手厳しいご指摘を、東北大学教授の宮本和明教授からは、発展途上国を対象とする研究であれば途上国の現状をよく調べるべきだというご意見をいただき、研究の方向性を再設定することができました。

学会や研究会の場では、本当に多くの先生方から有意義なご意見、ご質問をいただき、著者自身の理解を深めるのにも非常に役に立ちました。その中でも特に、文部省科学研究費・重点

領域研究「人間地球系」E11班「人間活動による環境インパクトの定量化手法」の場合は、非常に勉強となりました。九州大学環境システム研究センターの井村秀文教授、国立環境研究所の中杉修身先生、森口祐一先生には、環境負荷評価に関する最新研究動向を教えていただくとともに、本研究の対象範囲に関してアドバイスをいただきました。ここに深謝いたします。

目を研究室内に転じれば、著者が所属してきた地圏環境計画学講座は、さまざまな分野に興味を持つ教官や学生が入れ替わり立ち替わりする研究室であり、いやがうえにも知的好奇心をそそられる環境であります。

このような環境の中で、ことあるごとに研究の方向性についてアドバイスをいただいた土井健司助手（現：東京工業大学助教授）、専門分野こそ違いましたが、研究の着眼点や進め方について鋭いご意見をいただき、ある時は研究の先行きに不安を感じる著者を勇気づけていただいた京谷孝史助教授（現：東北大学助教授）と佐々木葉助手（現：日本福祉大学助教授）、また、研究室の頼れる先輩であり、相談相手としてゼミや日常においてさまざまにご指導をいただいた奥田隆明助手とオマール・オスマン助手にも併せて感謝を申し上げます。特に、奥田先生にはモデリング、オマール先生にはコンピュータについてご指導いただきました。

研究室配属直後、環境というテーマにどう取り組んでいったらよいのか見当がつかなかった時、同じテーマで博士学位論文の研究を進めていた先輩のスプラット・リチカさん（現：Mass Rapid Transit Authority, Thailand）には、研究室配属以来3年間、データ収集方法をはじめとしていろいろと教えていただき、本当にお世話になりました。

同じ研究室で同時に博士学位論文を提出した金相洙さん、クリット・アヌラカモンクルさん、キン・サンダさん、楊忠振さんとは、ともに励ましあい、助け合って頑張ってきました。また、研究室の後輩の方々とは、この5年間毎年の修士論文・卒業論文を通して、交通と環境との関係に関する研究に共同して取り組んできました。木本仁君（現：運輸省）、菅原敏文君（現：住宅・都市整備公団）、望月昇君（現：静岡県）、菅沼孝幸君（現：愛知県）、小島健君、登秀樹君（現：(株)森本組）、楓彰君、木俣順君、中井啓介君、中島義人君、秋山康之君、といった方々です。本論文にも、彼らとの共同研究の成果が多く盛り込まれています。「環境」というとらえどころのないテーマで、著者のような若輩者と共同研究を行うのは本当に大変だったと思います。この場を借りてお礼を申し上げます。他にも、本論文をまとめるにあたって、様々なお手伝いや励ましをいただいた地圏環境計画学講座の皆様にお礼を申し上げます。

研究を進めるにあたっては、経済面のバックアップとして、日本育英会から奨学金をお借りするとともに、(財)名古屋産業科学研究所から奨励研究員として奨学金をいただきました。この経済的支援なくして著者の博士後期課程への進学はあり得ませんでした。また、経済面とともにプライベートでは、何と言ってもプロジェクト・リーズ(株)にお世話になりました。講師・生徒の皆さんが、とにかく情緒不安定になりがちな著者を気分転換させてくれました。

最後に、マイペースで研究を続ける著者を、きつとかなり心配しながら、それでいて温かく見守ってくれた家族、とりわけ妻・真弓に、感謝の気持ちを伝えたいと思います。

1997年3月  
加藤 博和

I. 学会誌等

- 1) 林良嗣、加藤博和、望月昇：都市の道路網整備が大気環境に及ぼす効果の分析システム－都市環状道路のケーススタディとともに－、環境システム研究論文集 Vol.21、pp.289-299、1993.8.
- 2) 林良嗣、奥田隆明、加藤博和、戸松保晴：経済発展への対応からみた戦後日本の道路整備に関する歴史的考察、土木史研究 Vol.15、pp.71-86、1995.6.
- 3) 加藤博和、林良嗣、木本仁：都市交通のモーダル・シフト政策実施のための財源調達手法の環境面からみた検討、環境システム研究論文集 Vol.23、pp.105-113、1995.8.
- 4) 林良嗣、加藤博和、木本仁、菅原敏文：都市旅客交通のモーダル・シフト政策に伴うCO<sub>2</sub>排出量削減効果の推計、土木計画学研究・論文集 Vol.12、pp.277-282、1995.10.
- 5) 林良嗣、京谷孝史、加藤博和、中島義人：環境負荷および周辺空間への影響を考慮した交通社会資本整備における地下空間利用価値の定量的評価、地下空間シンポジウム論文・報告集 第1巻、pp.45-54、1995.12.
- 6) 加藤博和、林良嗣、登秀樹：道路構造代替案の地球環境負荷に関するライフサイクル的評価手法、環境システム研究論文集 Vol.24、pp.282-293、1996.11.
- 7) 加藤博和：経済成長レベルと都市構造要因を考慮した乗用車保有水準の分析とモデル化、交通工学（投稿中）.

II. 国際会議

- 1) Y.Hayashi, H.Kato: Life Cycle Analysis of Urban Transport Infrastructure and Land Use Development, Presented at 7th World Conference on Transport Research, Sydney, 1995.8.
- 2) Y.Hayashi, K.Kim, T.Okuda, H.Kato: A Study on the Balance between Economic Growth and Transportation Infrastructure Investment, The 1st Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 1995.9.
- 3) Y.Hayashi, H.Kato, A.Krit: Urbanization Motorization and the Environment, Toward Global Planning of Sustainable Use of the Earth, The 8th TOYOTA Conference, pp. 393-396, 1995.11.

III. その他

- 1) Y.Hayashi, R.Suparat, R.Mackett, H.Kato, et al.: Urbanization, Motorization and the Environment Nexus - An International Comparative Study of London, Tokyo and Bangkok-, Memoirs of the School of Engineering, Nagoya University, Vol.46, No.1, pp.55-98, 1994.
- 2) 土井健司、林良嗣、加藤博和：環境負荷削減のための土地利用／交通政策に関するモデル分析の試み、環境科学会1992年会講演要旨集、p.187、1992.11.

- 3) 林良嗣、富田安夫、土井健司、スプラットリカ、加藤博和：都市交通によるエネルギー消費およびその環境負荷への影響に関する比較、土木計画学研究・講演集 No.15、pp.939-944、1992.11.
- 4) 林良嗣、中澤菜穂子、加藤博和：空間構造とエネルギー・環境との相互作用に関する最近の研究の概観、第2回土木学会地球環境シンポジウム講演集、pp.225-233、1994.7.
- 5) 加藤博和、林良嗣：環境制御からみた都市交通インフラ供給に関する評価分析、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第4部、pp.446-447、1994.9.
- 6) 林良嗣、加藤博和、菅原敏文：エネルギー消費からみた都市交通インフラ整備評価の一方法、環境科学会1994年会講演要旨集、p.96、1994.11.
- 7) 林良嗣、加藤博和、木本仁、菅原敏文：都市交通のモーダル・シフト政策に伴うCO<sub>2</sub>排出量削減効果の推計、土木計画学研究・講演集 No.17、pp.659-662、1995.1.
- 8) 林良嗣、加藤博和、木俣順：ヨーロッパ諸国における環境共存型運輸交通政策の展開、第3回土木学会地球環境シンポジウム講演集、pp.121-130、1995.7.
- 9) 林良嗣、京谷孝史、加藤博和、中島義人：地球環境インパクトと周辺アメニティを考慮した道路構造代替案の評価手法に関する研究、環境システム研究論文集 Vol.23、pp.314-320、1995.8.
- 10) 林良嗣、加藤博和、登秀樹：ライフサイクル分析による道路構造代替案の環境インパクト評価、環境科学会誌 Vol.9 No.1、pp.142-144、1996.2.
- 11) 林良嗣、加藤博和、望月昇、小島健、中井啓介：ユーザーフレンドリーな土地利用ー交通ー環境分析システムの開発、土木計画学研究・講演集 No.19(1)、pp.321-324、1996.11.
- 12) 林良嗣、土井健司、富田安夫、スプラットリカ、加藤博和：都市の広域化とモータリゼーションに伴う環境影響とその制御方法に関する国際比較、文部省科学研究費重点領域研究「人間環境系」N36B-02班編 都市の広域化と環境変化の国際比較分析（個別論文集）、pp.14-40、1993.3.
- 13) 林良嗣、加藤博和：都市化による地球環境インパクトの定量化手法 ～都市交通システムのLCA体系化の試み～、文部省科学研究費重点領域研究「人間地球系」研究報告集 B009-E11 人間活動による環境インパクトの定量化手法、pp.115-132、1996.3.