

# 運輸分野における温暖化ガス排出抑制政策の 包括的評価モデルの構築

(課題番号 1155137)

平成 11 年度～平成 13 年度  
科学研究費補助金（基盤研究(B) (1)）  
研究成果報告書

平成 14 年 3 月



研究代表者 森 杉 壽 芳

(東北大学大学院情報科学研究科教授)

## 文部科学省科学研究費補助金（基盤研究（B）（1））研究成果報告書

〔研究課題〕 「運輸分野における温暖化ガス排出抑制政策の包括的評価モデルの構築」

〔課題番号〕 11555137

〔研究組織〕

研究代表者	森杉 壽芳	東北大学・大学院情報科学研究科・教授
研究分担者	稲村 肇	東北大学・大学院情報科学研究科・教授
研究分担者	徳永 幸之	東北大学・大学院情報科学研究科・助教授
研究分担者	石黒 一彦	東北大学・大学院情報科学研究科・助手
研究分担者	林山 泰久	東北大学・大学院経済学研究科・助教授
研究分担者	上田 孝行	東京工業大学・工学部・助教授
研究分担者	武藤 慎一	岐阜大学・工学部・助手

### 〔研究経費〕

平成 11 年度	4, 0 0 0 千円
平成 12 年度	2, 6 0 0 千円
平成 13 年度	2, 8 0 0 千円
計	9, 4 0 0 千円

### 〔研究成果〕

#### 〔1〕 論文集・学会誌等（論文発表）

（1）Shinichi Muto, Taka Ueda and Hisa Morisugi: "The National Economic Evaluation of Policies to Regulate External Diseconomies Caused by Automobiles"

Selected Proceedings of the 8th World Conference on Transport Research,  
pp. 583-596(1999)

（2）上田孝行, 長谷川専, 森杉壽芳, 吉田哲生: 「地域修正係数を導入した費用便益分析」  
土木計画学研究・論文集, pp. 139-145(1999)

（3）森杉壽芳, 林山泰之, 丹野智之, 高木朗義: 「不確実性下における便益定義の計量比較」  
土木計画学研究・論文集, pp. 403-409(1999)

（4）林山泰之, 森杉壽芳, 小坂和裕: 「顕示選好データによる非利用価値の経済的評価とその精度」  
環境システム研究, pp. 33-44(1999)

- (5) 上田孝行, 高木朗義, 森杉壽芳, 小池淳司:「便益帰着構成表アプローチの現状と発展方向について」運輸政策研究, pp. 2-12(1999)
- (6) 青木俊明, 稲村肇, 増田聡, 高橋伸輔:「地区レベルでみた都市の居住特性の変化」土木学会論文集, pp. 79-88(1999)
- (7) 青木俊明, 稲村肇, 中川隆:「都市人口の増加と産業構造の関連分析」土木計画学研究・論文集, pp. 231-238(1999)
- (8) 津田栄治, 稲村肇:「行政機関の移転が都市機能立地に与える影響—山形市を例にして—」土木計画学研究・論文集, pp. 265-272(1999)
- (9) Mongkut Piantanakulchai, Hajime Inamura and Yasushi Takeyama: “A Life Cycle Inventory Analysis of Carbon Dioxide for a Hight-Way Construction Project Using Input-output Scheme a Case Study of the Tohoku Expressway Construction Works” 土木計画学研究・論文集, pp. 411-418(1999)
- (10) Menor Aziz Osman, Kazuhiko Ishiguro and Hajime Inamura: “Container Port Location Strategy Based on Domestic Port Choice Modeling and Optimal Liner Routing Approach” 土木計画学研究・論文集, pp. 627-636(1999)
- (11) Mongkut Piantanakulchai and Hajime Inamura: “The Decomposition for the Sources of Changes in Carbon Emission Intensities:A Case Study of Carbon Emission from Road Construction Work in Japan during 1975-1990.” Journal of the Eastern Asia Society for Transportation, pp. 9-18(1999)
- (12) 花岡伸也, 稲村肇:「等式制約を緩和した施設配置モデルの大規模問題への適用—宅地開発における公園配置—」土木計画学研究・論文集, pp. 247-254(1999)
- (13) 木村俊宏, 徳永幸之:「地下鉄沿線における女性の平日買物行動の変化分析」都市計画論文集, pp. 739-744(1999)
- (14) 森塚圭一, 徳永幸之, 星啓, 須田熙:「利用者特性から見た貸し農園整備の方向性」土木計画学研究・論文集, pp. 539-544(1999)
- (15) 林山泰之:「非市場財の存在価値」土木計画学研究・論文集, pp. 35-48(1999)
- (16) 林山泰久:「除排雪事業が冬期都市環境に及ぼす Option Price の計測」環境システム研究, pp. 45-56(1999)
- (17) 林山泰之:「除排雪事業がもたらす便益の簡便な算定方法に関する研究」寒地技術論文・報告集, pp. 113-120(1999)
- (18) 上田孝行, 堤盛人:「わが国における近年の土地利用モデルに関する統合フレームについて」土木学会論文集, pp. 65-78(1999)
- (19) 高木朗義, 上田孝行, 武藤慎一, 稲垣貴政, 橋本直也:「閉鎖性水域における水質改善政策の経済分析」環境システム研究, pp. 9-16(1999)
- (20) 武藤慎一, 上田孝行, 稲垣貴政:「地域特性と地域相互作用を考慮した地域政策の経済分析」土木計画学研究・論文集, pp. 279-287(1999)

- (21) 小池淳司, 上田孝行, 富田貴弘:「高齢者対策としての社会資本整備の国土構造に与える影響分析」土木計画学研究・論文集, pp. 201-206(1999)
- (22) 小池淳司, 上田孝行, 三浦光俊:「人的資本形成から見た都市群システム分析」土木計画学研究・論文集, pp. 65-78(1999)
- (23) Shinichi Muto, Taka Ueda and Hisa Morisugi: “The National Economics Evaluation of Policies to Regulate External Diseconomies Caused by Automobiles” 8th WCTR Proceedings, pp. 583-596(1999)
- (24) Akiyoshi Takagi, Shinichi Muto and Taka Ueda: “The Benefit Evaluation of Urban Transportation Improvements with Computable Urban Economic Model” 上海国際城市交通学術検討会議文選, pp. 87-99(1999)
- (25) 武藤慎一, 高木朗義, 上田孝行:「低公害車普及政策評価のための動学的応用一般均衡モデルの開発」第19回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 145-148(1999)
- (26) 上田孝行:「東海北陸自動車道の整備効果」地域学研究, pp. 187-193(1999)
- (27) 河野達仁, 森杉壽芳:「時間価値に関する理論的考察—私的交通のケース—」土木学会論文集, pp. 53-64(2000)
- (28) 森杉壽芳, 林良嗣:「Editorial」Transport Policy, pp. 1-2(2000)
- (29) Hisa Morisugi: “Evaluation Methodologies of Transportation Projects in Japan” Transport Policy, pp. 35-40(2000)
- (30) Yoshitsugu Hayashi and Hisa Morisugi: “International Comparison of Background Concept and Methodology of Transportation Project Appraisal” Transport Policy, pp. 73-88(2000)
- (31) 上田孝行, 高木朗義, 森杉壽芳:「社会資本整備の費用便益分析における事業効果と税収変化に関する一考察」土木学会論文集, pp. 77-84(2000)
- (32) 上田孝行, 小森俊文, 森杉壽芳:「古典的消費者行動のモデルによる便益計測手法の比較研究」土木計画学研究・論文集, pp. 187-194(2000)
- (33) 青木俊明, 稲村肇, 増田聡:「小地区単位における詳細属性別世帯数の予測」土木学会論文集, pp. 27-36(2000)
- (34) 花岡伸也, 稲村肇, 田澤光治:「利用者数に影響を与える公園特性の統計分析」行動計量学, pp. 1-11(2000)
- (35) 加河茂美, 稲村肇:「ハイブリッド型SNA産業連関表に基づくライフサイクルエネルギーの実証分析」土木計画学研究・論文集, pp. 461-470(2000)
- (36) 石黒一彦, 桜田崇治, 稲村肇:「規模の経済を考慮した輸送費用最小化に基づく広域物流拠点配置モデルの開発」土木計画学研究・論文集, pp. 693-700(2000)
- (37) 花岡伸也, 石黒一彦, 菊地竜也, 稲村肇:「業種別の貨物流動からみた国際コンテナ貨物取扱荷主の港湾選択行動分析」土木計画学研究・論文集, pp. 835-840(2000)

- (38) 渡辺研也, 徳永幸之:「外部性を考慮した都市内物流施設配置問題」  
土木計画学研究・論文集, pp. 687-692(2000)
- (39) 猪股信弘, 徳永幸之:「物流関連施設が都市内交通環境に与える影響」  
平成12年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要, pp. 436-437(2000)
- (40) 林山泰久, 岩倉成志, 石田東生, 根橋輝, 堀健一:「複数のCVサーベイに基づく地球温暖化の社会的費用原単位の試算—運輸部門における費用便益分析への適用を念頭に—」  
運輸政策研究, pp. 2-11(2000)
- (41) Yasuhisa Hayashiyama, Shintaro Tanabe and Fumihito Hara: “Economic Evaluation of Snow-Removal Level by Applying the Contingent Valuation Method”  
5th Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology(2000)
- (42) 林山泰久, 田邊慎太郎, 原文宏:「ヘドニック・アプローチによる歩道ロードヒーティング整備の便益評価」  
寒地技術論文・報告集(2000)
- (43) 長谷川専, 上田孝行:「PFI事業における公的支援について」  
地域学研究, pp. 15-30(2000)
- (44) 小池淳司, 上田孝行, 宮下光宏:「旅客トリップを明示したSCGEモデルの構築とその応用」  
土木計画学研究・論文集, pp. 237-245(2000)
- (45) 武藤慎一, 上田孝行, 高木朗義, 富田貴弘:「応用都市経済モデルによる立地変化を考慮した便益評価に関する研究」  
土木計画学研究・論文集, pp. 257-266(2000)
- (46) 水谷伊孝, 武藤慎一, 高木朗義:「地球温暖化ガス削減政策評価のための応用都市経済モデルの構築」  
平成11年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 489-490(2000)
- (47) 武藤慎一, 高木朗義, 上田孝行:「都市構造変化を考慮した地球温暖化ガス排出抑制政策の評価」  
日本地域学会第37回年次大会学術発表論文集, pp. 118-125(2000)
- (48) 酒井祐輝, 武藤慎一, 高木朗義:「遺伝的アルゴリズムを用いたCO<sub>2</sub>削減のための最適政策過程の導出」  
第8回地球環境シンポジウム講演概要集, pp. 211-216(2000)
- (49) 森杉壽芳, 齋藤雅樹, 林山泰久:「表明選好法を用いた除雪の便益評価」  
土木計画学研究・論文集, pp. 305-310(2001)
- (50) 加河茂美, 稲村肇:「ハイブリッド型SNA産業連関モデルに基づくエネルギー利用構造の分解分析」  
土木学会論文集, pp. 17-33(2001)
- (51) 菊地竜也, 石黒一彦, 稲村肇, 石倉智樹:「SCMによる建設プロジェクト在庫削減効果の検討」  
土木計画学研究・論文集, pp. 395-402(2001)
- (52) 石倉智樹, 佐藤裕治, 稲村肇:「地方空港における国際航空貨物路線の便数決定に伴うリスクに関する一考察」  
土木計画学研究・論文集, pp. 713-720(2001)
- (53) Kazuhiko Ishiguro, Shigemi Kagawa, Tomoki Ishikura and Hajime Inamura: “Development of International Trade Model Taking Account of Ocean Carrier's Behavior”

- Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, pp. 329-338(2001)
- (54) Gloria P.Gerilla, Shigemi Kagawa and Hajime Inamura : “Projection of the Change in Technology and Its Implication on Environmental Emissions in Japan”  
Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, pp.135-150(2001)
- (55) Shigemi Kagawa, Tomoki Ishikura, Grolia P.Gerilla, Kazuhiko Ishiguro and Hajime Inamura : “Identification of Relationship Between Embodied By-Product Requirements and Domestic Production Technology in Japan:1985-1995”  
Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, pp. 151-166(2001)
- (56) Shigemi Kagawa and Hajime Inamura : “A Structural Decomposition of Energy Consumption Based on a Hybrid Rectangular Input-output Framework:Japan's Case”  
Economic Systems Research, pp. 339-363(2001)
- (57) 林山泰久, 森杉壽芳, 小坂和裕 : 「顕示選好データによる環境質の便益評価 : 利用価値と非利用価値の分離可能性」 土木学会論文集(2001)
- (58) 林山泰久, 森杉壽芳, 小坂和裕 : 「環境質の直接的利用価値と間接的利用価値 : 環境質の価値分類に対する理論的根拠」 土木学会論文集(2001)
- (59) Taka Ueda : “A Welfare Analysis of Hub Development  
—Analytical Approach—” The Second Berkeley-Tottori Joint Seminar on Formation Processes of Transportation Systems:A US-Japan Comparison(2001)
- (60) 武藤慎一, 高木朗義, 上田孝行 : 「地球温暖化ガス排出抑制のための土地利用規制策の経済評価」 環境システム研究論文集, pp. 225-236(2001)

〔図書〕

- (1) 森杉壽芳 他 : 「港湾投資の評価に関するガイドライン」  
財団法人 港湾空間高度化センター(1999)
- (2) 森杉壽芳 (分担執筆) : 「社会資本の未来」 日本経済新聞社(1999)
- (3) 林山泰久, 鷲田豊明, 栗山浩一, 竹内憲司 編 : 「環境評価ワークショップ—評価手法の現状—」 (1999)
- (4) 林山泰久 他 : 「鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル 99」 財団法人 運輸政策研究機構(1999)
- (5) 森杉壽芳, 上田孝行, 林山泰久 他 : 「道路投資の評価に関する指針 (案), 第2編 総合評価」 日本総合研究所(2000)
- (6) Hisa Morisugi, Taka Ueda and Yasuhisa Hayashiyama : “Gaidelines for the Evaluation of Road Investment Projecs” Japan Research Institute(2000)
- (7) 林山泰久 他 : 「環境経済評価の実務」 勁草書房(2000)
- (8) 森杉壽芳, 稲村肇 他 : 「みなとの役割と社会経済評価」 東洋経済新報社(2001)

The following text is extremely faint and illegible. It appears to be a list or index of items, possibly related to a collection or archive. The text is arranged in several columns and rows, but the individual words and phrases cannot be discerned.

# 目 次

1. はじめに	
1. 1 本研究の背景と目的	1
1. 2 本研究の成果	1
2. 複数のCVサーベイに基づく地球温暖化の社会的費用原単位の試算 —運輸部門における費用便益分析への適用を念頭に—	3
2. 1 はじめに	3
2. 2 既往研究にみる温暖化の社会的費用	3
2. 3 調査票の設計	4
2. 4 ベンチマーク温暖化に対する社会的費用の推定	7
2. 5 運輸部門における社会的費用原単位の試算	9
2. 6 まとめ	11
3. 動学的応用一般均衡モデルによる二酸化炭素排出削減政策の国民経済的評価	
3. 1 はじめに	14
3. 2 既往研究の整理と本研究で想定する炭素税政策	14
3. 3 動学的応用一般均衡モデルの構造	15
3. 4 二酸化炭素排出量の導出と市場経済的不便益の定義	21
3. 5 炭素税導入の経済評価(数値計算)	22
3. 6 おわりに	24
図表	26
4. 地球温暖化ガス排出抑制のための土地利用規制政策の経済評価	
4. 1 背景と目的	37
4. 2 応用都市経済(CUE)モデルの概要	37
4. 3 土地利用規制策の影響と帰着構成表	42
4. 4 岐阜都市圏での土地利用規制策評価	43
4. 5 結論	46
表	48

5. 大規模船社の運賃決定行動を考慮した空間一般均衡モデル	
5. 1 はじめに	49
5. 2 従来の地域間物流モデル	49
5. 3 多地域一般均衡モデルの定式化	50
5. 4 データセットとキャリブレーション	52
5. 5 適用例	52
5. 6 おわりに	54
6. 人口内生モデルによる地球温暖化の経済的影響分析	
6. 1 はじめに	57
6. 2 本研究におけるシミュレーション・モデル	57
6. 3 シミュレーション概要	58
6. 4 シミュレーション結果とその考察	59
6. 5 まとめ	60

# 1. はじめに

## 1.1 本研究の背景と目的

環境と開発に関する世界委員会(1987)の報告書以来、地球環境に関する政策議論が盛り上がりを見せており、世界中の様々なコミュニティにおいて自然科学的アプローチの研究や議論の蓄積がなされている。本研究は、運輸分野がもたらす外部性に対する技術開発に重点を置いた自然科学的アプローチでは無く、理論経済学に基づいた社会科学的方法である。この分野に関する自然科学的アプローチは、本研究のキーワードでもある「温暖化ガス排出抑制」という世界的な共通かつ緊急課題に対して、種々の環境政策論および技術革新等による社会的貢献が期待されている。これら技術革新を含む政策代替案の中で何れを選択し、何れを推進すべきかという政策判断に関しては、地域波及および地域格差という空間、また、消費パターンの変化、技術革新および世代間の公平性という時間軸上において効率的かつ公平的に評価するシステムが必要不可欠である。

そこで、本研究では、温暖化ガス排出抑制に関する社会的厚生を最大とするような政策立案に資するために、既存の交通需要予測モデルの問題点を踏まえて、運輸部門における旅客および貨物の理論的交通需要予測モデルの開発をはじめとして、空間および時間軸を明示的に考慮した費用便益分析のパイロット・モデルを構築することを目的とする。さらに、この成果をとりまとめ、社会的普及を意図したマニュアルを作成する。

本研究の成果は、これまで実用的には試みられることが少なかった経済理論的に整合性のとれた交通需要予測モデルおよび時空間を明示的に考慮した費用便益分析という情報システムを提供し得ることである。すなわち、このシステムは、税・料金規制に代表される環境政策および自然科学分野における技術革新を社会的な意味で効率かつ公平な観点から評価し得る情報を提供し得る。したがって、このパイロット・モデルを運用および拡張することにより、具体的な地域および時点における環境政策代替案を選択するか否かの政策判断材料を提供し得る可能性を有していることになる。そのため、本研究では理論的研究のみならず、本研究独自の旅客のみならず貨物の

運賃および費用に関する実態調査を踏まえた理論モデルを構築し、この理論モデルの有用性を検討するために、数値解析的な感度分析を行い、本研究において主張するモデルの頑強性を示すものとする。すなわち、本研究は、学術レベルで指摘されていた運輸分野における交通需要予測モデルの問題点を解消し、まず、運輸分野における料金および費用の詳細な実態分析に基づいて、これまで静学的分析に終始していた費用便益分析を時空間を明示的に考慮した理論モデルの提案およびその数値解析的頑強性を示すことを目的とする。

## 1.2 本研究の成果

本研究の成果を第2章—第6章に示す。各章の概要は以下のとおりである。

第2章は、2酸化炭素ガス削減便益原単位の現状分析とCVMによる原単位の推定を行っている。本研究の課題である様々な温暖化対策の費用便益分析を行うに当たっては、二酸化炭素ガス削減便益原単位が必要であり、しかも、その値が政策の効果に大きな影響を与える。このため、原単位の確定が重要な研究基盤となる。しかし、現在のところ、世界的にみてもその原単位の値については合意が得られていない。そこで、本研究では、原単位として使用されている値をサーベイし、日本におけるCVMによる原単位の推計を行い、約7千円/トンという数字を得た。

第3章は、本研究の最重点課題である動学的応用一般均衡モデルによる2酸化炭素ガス削減政策の国民経済的評価を行ったものである。具体的には2008—2014年における運輸部門から排出される温室効果ガスの1990年に対する増加率を17%にとどめるという目標を設定する(放置した場合には40%増加する)。この目標を達成するために炭素税と低公害型自動車普及政策を導入するものとする。このとき必要となる経済的厚生損失の時系列を計算した。このために作成したモデルが自動車利用と自動車産業に焦点を当てた動的一般均衡モデルである。上記のモデルを用いてシミュレーションを実施し、以下のような結果を得た。現在政府が目標としている2010年にお

る運輸部門の排出抑制目標 1990 年比 17% 増を達成するための炭素税税率としては 8.5 万円/tCO<sub>2</sub> に設定すればよいことが判明した。現行の税率は炭素税に換算すると 6.2 万円/tCO<sub>2</sub> であるから増税額は 2.3 万円/tCO<sub>2</sub> である。また、年あたりの増税による厚生水準の損失は約 5 千億円/年である。さらに 2010 年度 1990 年比 6% 削減目標に対しては、11.3 万円/tCO<sub>2</sub> の炭素税率を必要とし、年あたりの増税による厚生水準の損失は約 1.7 兆円/年である。なお、上記の値は燃料価格の弾力性 (0.3 を採用している) に決定的に依存する。

第 4 章は、都市構造変化を考慮した地球温暖化ガス抑制策を評価するための都市経済モデルの提案している。具体的には都市における土地利用規制策やロードプライシングは交通需要を変化させることに注目した静的応用都市経済モデルを開発した。ここでは、多地域であるから企業、住宅および人口の移動を表現する必要がある。そして、岐阜都市圏におけるシミュレーションを実施し、以下のような結果を得た。温暖化ガス削減便益が 5.2 億円/年 (2.6 千円/tCO<sub>2</sub>) であり、規制に伴う厚生水準の損失が 8.2 億円/年であり、土地利用規制策は効率的な温暖化ガス抑制策とは言えないことが判明した。一方、ロードプライシングについてはモデルに関する仮定によって異なるため具体的な結論を得ることができなかった。

第 5 章は、国際物流に焦点を当てた国際経済に関する空間応用一般均衡分析モデルの提案である。本モデルについては、まだ、温暖化ガスの排出量や政策に関するシミュレーションは行っていないが、その基盤となる空間応用一般均衡分析モデルに成功したのでここで成果として報告する次第である。特に、船会社の行動モデルを組み込むことに成功した点は注目に値すると考える。

第 6 章は、人口内生モデルによって地球温暖化の経済影響分析を行ったものである。具体的には Nordhaus による気候変動に関する統合評価モデルである DICE (Dynamic Integrated Model of Climate and the Economy) を改良した。改良点の 1 は、人口の内生である。ここでは、利他的効用関数を想定する王朝モデルを採用している。第 2 の改良点は世界からみたときの評価軸として、効率性、同一世代内公平性、異世代間公平性の 3 点からの評価指標を提案した。次にこの改良したモデルを用いて最適課税、1990 年レベル抑制および気温上昇 2.5 度規制の 3 政策を比較した。その結果、最も効率的な最適課税策が、同時に、同

一世代内公平性および異世代間公平性の観点からも望ましい政策であることが判明した。

## 2. 複数のCVサーベイに基づく地球温暖化の社会的費用原単位 —運輸部門における費用便益分析への適用を念頭に—

### 2.1 はじめに

運輸部門を対象としたわが国の費用対効果分析マニュアルの多くは、大気環境への影響を評価することを推奨している。(注1)しかし、大気汚染の社会的費用に関する国内の計測例が極めて少ないことや、信頼性の高い計測手法が開発されていないこと等の課題があり、大気汚染被害を貨幣価値に換算して費用便益分析へ組み込むには未だ議論が残るところであろう。環境の社会的費用を組み込まずにプロジェクトを評価する問題と、その実証分析の少なから設定値が過大か過小かの半別がつかずに評価を行う問題との挟間で、評価者は一定の確信を持って大気環境項目を費用便益分析に組み込めない状況にある。

大気環境被害は、局所的な影響とグローバルな影響に分類されることが多い。後者は二酸化炭素などの温室効果ガスがもたらす気候変動の被害が当てはまるが、この種の社会的費用に関する計測は、欧米において先行的に研究されてきた。IPCC(気候変動に関する政府間パネル)第3作業部会報告では、気候変動の経済社会的側面に関する研究が広範になされ、特に温暖化の社会的費用の測定値が包括的に整理されている。一方、わが国の研究例は少なく、特に運輸部門での利用を念頭にした社会的費用は公表されていない。

従来の社会的費用の計測方法は、被害額を積み上げる損害費用法、もしくは一般均衡モデル等に基づく緩和費用法があるが、本研究ではContingent Valuation Method(仮想市場評価法;以下、CMV)を用いて地球温暖化防止に対する国民の支払意思額を計測する方法を採用した。この理由は、温暖化対策のために日本国民が最大限支出可能な額を直接的に知ることができる点にある。また温暖化対策に対する国民の合意形成の観点からもこの種の調査を行う必要性は高いと考えた。CVMは意識調査ゆえに多くのバイアス発生が懸念されるが、この種の問題を極力抑えるために、NOAAのガイドライン(注2)に準拠するように努めた。また5種類の異なる設問形式で支払意思額を尋ねることによって、設問形式の違いが計測値に与える影響を検討できるようにしている。

本研究は次の2点を意識して実施した。まず、わが国における地球温暖化の社会的費用の計測CMVを用いて試み、計測の可能性を議論するための諸課題を整理する。次に運輸部門の費用便益分析での利用を念頭に、交通モード別の社会的費用原単位の作成を試み、原単位作成上の課題を整理することである。よって、本論文で示す原単位はあくまでも試算値であり、その精度向上を今後進めるための議論の第一歩であることを念頭に置かれたい。

以下、2.では既存の社会的費用の計測値を概括し、3.ではCVサーベイを行う上での本研究の社会的費用の考え方、調査票の設計手順および設問内容について示す。4.では温暖化防止に対する国民の支払意思額を推定して得られた知見をまとめる。5.では、4で推定した支払意思額をもとに社会的費用原単位の作成を試みる。ここでいう原単位とは、二酸化炭素排出量(tC)当り、もしくは輸送人キロ当りの社会的費用を指す。原単位を作成することで、交通需要予測分析の出力結果との連携を図りやすくなる。6.では5.までで得られた特に重要な知見を再掲する。

### 2.2 既往研究にみる温暖化の社会的費用

既往の研究から地球温暖化の社会的費用の計測値は、かなりの推定幅があることが判っている。これはそもそも温暖化がもたらす被害の範囲とその程度が明らかになっていないこと、有力な計測手法が存在せず、異なる前提条件のもとで複数の計測手法が適用されていることに因る。先述したように、温暖化の社会的費用の計測は、大別して損害費用法と緩和費用法に分けられる。前者は、温暖化被害が発生した際の各産業部門の収支変化や海面上昇がもたらす土地損失の被害額もしくはそれを防御するための投資額等を集計して算出する方法である。後者は、一般均衡モデルや計量経済モデルを用いて二酸化炭素(以下CO<sub>2</sub>)濃度を特定のレベルに安定化させるために必要な炭素税等を用いて限界費用を推定する方法である。炭素税は気候変動の損害の減少のみならず、その政策が他部門にも波及的な便益をもたらすことから、温暖

化抑制を主眼とするものの、この緩和費用法から計測されているのは、炭素税政策そのものの便益である。

温暖化の社会的、経済的影響に関する研究は、欧米を中心に進められてきたが、炭素税を用いた緩和費用については、わが国でも研究成果がいくつか存在する。温暖化の社会的費用の計測例は、IPCC [1995]、天野 [1994]、ECMT [1994] で包括的にレビューされ、計測値の相互比較がなされている。本章では、筆者らの独自の計測結果と既存の計測値との比較を5.2で行うため、これらの3つの文献を中心に既存の計測値を概説する。これらの計測値は、前提条件や計測方法の違いなどから単純に数値の比較はできないため、参考程度にとどめておくべきである。後述する筆者らの計測結果との比較も同様に参考に留まらざるを得ない。

損害費用法による計測例はIPCC [1994] に詳しく紹介されている。対象分野は主に農業、森林喪失、希少種消滅、海面上昇、電力消費、人命、水供給減少などがあり、この他、アメニティの低下、レジャー活動の停滞、大気汚染なども評価されている。ほとんどの研究が全ての温暖化ガスをCO<sub>2</sub>に換算し、その濃度が産業革命時の2倍になる状態を想定したベンチマーク温暖化 (2×CO<sub>2</sub>)、すなわち全球平均地上気温が1990年から2℃上昇 (産業革命時から2.5℃上昇) した状態の被害を検討対象している。既往の研究ではOECD加盟国の年間損害額はGPDの1%強になるとの結果が得られている。

表-1は緩和費用法によるわが国の研究群を天野 [1994] が横断的に比較したものに、日引 [1996] らの最近の成果を加えたものである。表中の最終年は各モデルによるシミュレーションの最終年を指す。GNP減少率比率とは、炭素排出量に対するGNPの弾性値であり、炭素排出量を1%削減する際に生じるGNPの減少率を表している。したがって、温暖化防止のために年間のCO<sub>2</sub>排出量を30%低下させる場合のGNPの減少は、後藤モデルで0.6%、森モデルで6.6%、山崎モデルでは12.3%となる。また炭素税比率は炭素排出量を1%削減するのに必要とされる炭素税 (トン当りドル) の大きさを表しており、上記と同一の炭素排出量の削減を仮定すれば、後藤モデルがトン当り59ドル、森モデルが374ドル、山崎422ドルとなる。黒田・新保モデルでは、基準ケースに対するCO<sub>2</sub>削減率は2000年で28.8%、2030年で47%となり、炭素税額は2000年以降68,800円~166,000円/tC (1985年価格) となる。日引モデルでは、安定化のためのCO<sub>2</sub>削減率は16~25.4%で炭素税額は24,600~73,000円/tCとなっている。

モデルによって緩和費用が大きく異なることがわかる。天野 [1994] によれば、GNP減少率が低いモデルは、動

学的一般均衡モデルを用いており、税收の還流が評価されていること、減少率が高いモデルは、ケインズ型の計量経済モデルの適用が多いことやエネルギー需要の価格弾力性が相対的に小さいこと等のモデル特性の相違が指摘されている。

表-2にKageson [1993] による交通機関別の温暖化の社会的費用原単位を示す(注3)。CO<sub>2</sub>を0~25%削減するのに必要な燃料税を算出する維持費用法 (avoidance cost approach) によって得た結果である。

■表-1 緩和費用法を用いた既往の国内研究成果

モデル	計測手法	最終年	GNP 減少率比較	炭素税比率
後藤(1990,1992)	G	2030	0.02	2.7
伴(1991)	E	2000	0.05	5.6
黒田・新保(1993)	G	2100	0.24~0.37	
日引(1996)	G	2030	0.03~0.06	
森(1991)	E	2020	0.22	17.0
伊藤(1992)	E	2010	0.29	16.5
山崎(1991)	E	2010	0.41	19.2
日経(1992)	E	2010	0.16	51.8
穴戸(1991)	E	2000	1.16	55.0

G : 応用一般均衡モデル E : 計量経済モデル

■表-2 交通モード別の社会的費用原単位

人キロ当たり	鉄道	自動車	航空
Kageson(1993):ECU	0.0022	0.0045	0.0092

## 2.3 調査票の設計

### (1) 本研究における社会的費用の考え方

社会的費用の計測値は、植田 [1991] が指摘するように、社会的費用を如何に定義するか、あるべき環境水準をどこに置くかによって大きく変わる。

本研究の環境水準の設定には2つの異なる考え方を行った。第1の考え方は、損害費用法を用いた既往の研究例にならばベンチマーク温暖化がもたらす被害状況と被害を回避した状況との差を評価するものであり、次節表-4の設問形式A~Cが対応する。第2の考え方は、あるべき環境水準を明示せず、温暖化防止措置をとらない状態と特定の行為によって温暖化を緩和もしくは温暖化速度を低下させた状態との差を評価するものであり、設問DとEが対応する。

第1の考え方にもとづく社会的費用の定義は以下のように記すことができる。『ベンチマーク温暖化によって生

じるわが国の自然、社会への様々な影響（地域的に異なる良い影響と悪い影響を含む）を回避するための政策的措置に対する国民（あるいは原因者）の追加的支払意志額』この考え方において想定される問題は、①提示した政策手段に対する支払意志額の推定であるが、提示した政策の実施費用や代替的政策手段についての被験者の知識が異なる。②温暖化は、グローバルに影響をもたらすにもかかわらず、日本国内への被害のみを対象としており、地球規模で考えれば、CO2排出量が世界4位であるわが国（原因者）の他国（被害者）への社会的費用を見積もっていない。③IPCC

WGII 12の中位シナリオ（IS92a）によれば、CO2濃度倍増は約100年後と想定されており、実際には将来世代が当事者（被害者）であるにも関わらず、原因者である現世代の評価値となる。④気候変動の不可逆性や時間的変化については考慮していない。以上は何れも、温暖化の社会的費用を過少に見積もる可能性がある。

第2の考え方は『温暖化防止策を講じないために生じるわが国の自然、社会への様々な影響（地域的に異なる良い影響と悪い影響を含む）を緩和する、もしくは温暖化の速度を低下させるための措置に対する国民（あるいは原因者）の追加的支払意志額』と定義できるが、上記の問題のうちの②～④に加えて、⑤達成すべき環境水準が明確でないという問題を有する。

## (2) 調査票の設計

調査票の設計にあたっては、まずプレ調査を170名弱に実施した。このプレ調査の対象者は、交通計画および鉄道工学の専門家とその家族が中心である。プレ調査の主な目的は、難解な設問箇所などを抽出し、それらへの対応を行うこと、支払意志額の設問方法をNOAAガイドラインに準拠して、クローズドエンド方式を採用するため、提示額を設定するための参考値を得ることにある。プレ調査から得られた主要な意見とその対応は次のようになる。①被害想定や悪影響の内容がわかりにくいという意見があり、環境庁資料（13）を参考に日本における被害想定を記述するように修正した。さらに現在のCO2排出量や部門別、交通横間別排出割合のグラフを追加した。②プレ調査では支払い方法を1回限りとしたが、非現実的ではないかという意見があり、毎年支払い形態に変更した。③税での徴収方式は、マイナスイメージが強いという意見があり、基金や燃料価格増等の使用目的を特定した支払い方法に修正した。

このプレ調査の結果を反映した本調査票を概略説明す

る。アンケート票はA4版11頁という比較的多量な設問となっている。設問内容は3つの部分で構成した。

第1部は地球温暖化問題に対する意識を設問した。例えば地球温暖化問題に対する関心度、心配の程度、将来世代への影響の知識、重点化すべき温暖化対策の種類、COP3の議論内容などである。

第2部は、温暖化防止に対する支払意志額の設問である。表-3に示すダブリングシナリオに基づくわが国への社会、自然等への影響と現在の国別、国内部門別、交通機関別の年間CO2排出量とを示した後、各被験者に表-4に示す種類の設問形式から、被験者の回答疲労を考慮し2種類の設問形式についての支払意志額を尋ねた。2種類の設問形式の組み合わせはA-C、B-Dとし、Eは単独で取り扱った<sup>(注4)</sup>。なお、形式A～Dの設問はレファレンダム方式<sup>(注5)</sup>を採用し、図1のように、提示額に対する支払いの賛意を尋ね、反対の場合はその理由を回答する形式をとった。ダブルバウンドの提示額については、設問方式ごとに表5に示す3種の提示額の組み合わせを設定した。何れの設問形式とも支払い期間は限定していない<sup>(注6)</sup>。

■表-3 被験者に提示した地球温暖化がもたらす被害状況

(地球温暖化による気候変化の想定)
「地球温暖化」とは、人間活動の拡大により二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素などの温室効果ガスの大気中の濃度が増加し、地球表面の温度が上昇することをいいます。IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の報告によれば、温室効果ガスの濃度が現在の増加率で推移した場合、21世紀末までに地球全体の平均気温が2℃上昇することがありえるとしています。
(わが国における被害の想定)
こうした急激な気温の上昇による影響は、 ・海面水位上昇によって東京23区東部が満潮時の水位より低くなり、氾濫の危険性が高まつたり、日本列島の砂浜が消失の危機にさらされる。 ・豪雨や干ばつなどの異常気象の増加により尾瀬や霧が峰をはじする湿原の消失の可能性が高まる。 ・夏季の猛暑と冬の暖冬等の温暖化により涼しい地方に生えるブナなどの森林の生育環境が侵される。 ・海面上昇によって灌漑水路に海水が浸入したり害虫の繁殖が加速されるなどで、農業作物の収穫高が落ちる。 ・気温の上昇によって現在は、石垣島や宮古島に生育するハマダラカマリアを媒介する蚊の繁殖による熱帯性の感染症発生数が増加する、などを引き起こし、地球環境と私たちの生活に甚大な被害が及ぶもの考えられます。
このように地球温暖化の問題は、 (1)非常に広範囲で地球規模の問題である。 (2)長期間にわたり、私たちの子や孫の次世代にも影響する長期的な問題である。 とともに、以下のことが言われています。 (3)地球温暖化の影響による被害は、地域により大きく異なる。 (4)地球温暖化による悪影響は、いったん起きてしまえば、地球環境を復元できなくなる。 (5)温室効果ガス濃度の上昇と気温、気候の変動の関係については、未だ不確実なところが残されている。

第3部は、被験者の個人属性として、性別、年齢、住所、世帯人員そして年間所得を尋ねている。本調査票はNOAAガイドラインにほとんど準拠しているが、本調査が満たしていない事項としては、①郵送方式で調査を行ったこと、②被害を受けない環境資源を示していないこと、③多時点で推定結果を比較していないこと、④環境状態の変動範囲と安定的状態に関する情報を被験者に与えていないことがあげられる。①は、政策操縦バイアスを回避するという意味で、郵送方式の方が望ましいと判断した。②及び④は、日本国内における地域別に網羅した被害想定やその変動幅についての詳細な被害状態に関する資料がないことから、被験者には被害は地域によって異なること、気候変動の予測については不確実な部分が残されていることを示すに留まっている。③については、NOAAが実際に発生した環境破壊の損害評価のためのガイドラインであり、被害が起きた後の調査タイミングの違いが支払意志額に影響しないよう指示されている。これに対し、未知の環境破壊に対する評価という点で本調査はガイドラインの範囲を超えている。ただし、支払意志額の定期的なモニタリングを行い、その評価値の安定性を検討する必要性については、筆者らが強く訴えるところである。

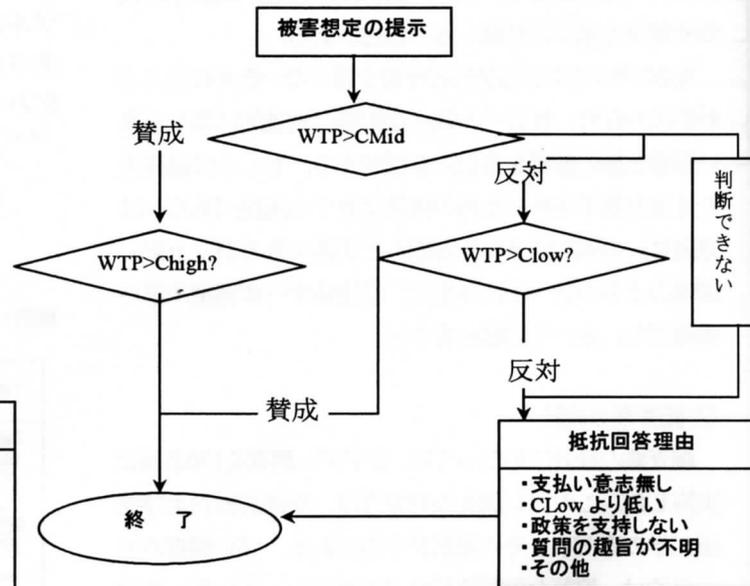
■表-4 5種類の支払意志額の設問概要

形式	設問内容 【】内はキーワード
A	【全部門/対策提示/基金への支払額/2×CO2】 温暖化対策として、新技術開発、森林保全・整備、公共交通整備などを列挙し、これらの事業の実施によって全ての部門からCO2排出が削減され、温暖化の進行が止められる(ダブルシナリオの回避)と仮定する。この事業実施のための費用は、国民からの基金への寄付が充てられるとした時、毎年の寄付金が□□円の場合、賛成か反対か？
B	【全部門/非提示/基金への支払額/2×CO2】 設問Aにおける温暖化防止対策を示さず(情報を与えない)に、対策事業費用を毎年の基金でまかなう場合の寄付金が□□円の場合、賛成か反対か？
C	【運輸部門/対策提示/燃料価格/2×CO2】 自動車保有者のみに質問、温暖化対策として公共交通機関整備、低公害車開発などの運輸部門における対策費を全ての交通機関から徴収し、燃料価格の増加が□□円の場合、賛成か反対か？
D	【運輸部門/エコビークル購入額/CO2削減寄与】 温暖化の緩和に資する低公害自動車(ハイブリッドカーレベルを想定)の販売額が□□円の場合、購入するかしないか？この際燃料費はガソリン車の半額となることを考慮して回答する。
E	【運輸部門/公共交通への転換/CO2削減寄与】 地球温暖化速度の低下のために、現在の自動車利用者が強制的に鉄道に転換することによる移動1回ごとの補償額はいくら必要か？

### (3) 調査の実施状況

温暖化は広範囲に被害を及ぼすと想定されるため、調査費の許す範囲で、設問形式 A~D は全国を対象に三大都市圏と地方都市(仙台市、岡山市、熊本市)で実施した。なお、都市圏に人口の74%<sup>(注7)</sup>が居住しているが、温暖化影響が生活に直結しやすい山間部、沿岸部等の居住者のサンプリングを行っていないことは本調査が抱える問題の一つである。本来ならば、全国からランダムにサンプリングを行い、かつ統計的に必要十分なサンプルサイズを確保し、支払意志額を推定する必要がある。

調査期間は、平成10年の2月と同年6月の2度行っている。第1回目では、東京区部、大阪市、熊本市において高齢者のサンプル比率が高かったため、同地域で第2回調査を実施し、若年層を中心にサンプリングをした。表6に、調査票の配布地域と回収率、配布および回収方法を記した。



■図-1 設問のフローチャート

■表-5 各設問方式のダブルバウンド提示額設定

形式・単位	2回目提示額	1回目提示額	2回目提示額
	(1回目賛成)	←賛成 反対→	(1回目反対)
A/B 円/年	10000	5000	2000
	15000	10000	5000
	20000	15000	10000
C 円/リットル	20	10	5
	30	20	10
	40	30	20
D 万円/台	100	80	50
	150	100	80
	200	150	100

サンプル属性の概略は、男性63%、女性35%、無回答が2%となっている。また年齢階層では、10代が5%、20代19%、30代13%、40代15%、50代18%、60代16%、70代以上が12%となっており、概ねバランスはとれていると言える。所得は、年収330万円未満が35%、330～600万円が30%、600～900万円が17%、900万円以上が12%、無回答が6%である。

本調査から得られる支払意志額の信頼性を次の7点について検討した。①評価対象に対する関心の低さ：本調査実施時期がCOP3直後の平成10年1月に実施したため、地球環境問題への関心度は全国的に高い時期であった。実際アンケート回答者の90%が地球温暖化問題に関心がある・心配であると答えている。②政策操縦バイアス：実際の政策に適用するわけではないことを明記したこと、また郵送方式のため面談方式よりはこの種のバイアスは低めであると考えられる。③不完全な設問形式：気候変動影響をA4版1頁を割いて説明するような配慮をしたが、気候変動影響は、複雑かつ多岐に渡るため、回答者によって認識が一致していない危険性が極めて高い。また仮想的な温暖化防止対策が簡単な記述に留まっているため伝達ミスが起きている可能性がある。支払意志額の回答は、クローズドエンドを採用したため、初期提示額が与えるスターティングポイントバイアスが想定される。④現実の制約条件の無視：提示した政策の実施によって、可処分所得が低下することは明記したが、分析結果から所得による回答金額の差異が現れていないことからこの制約条件を回答者が考慮していない可能性がある。⑤回答疲労：一人の被験者に対して、3種類の異なる設問形式で回答金額を尋ねていることや温暖化への関心等多数の質問を行っていることから回答疲労が起きている可能性がある。⑥サンプリングの偏り：地域的な偏りが少なくなるように、日本全国で実施している。ただし、基本的には都市部調査であり、温暖化の影響を受けやすいと想定される農漁村地域の居住者データは極めて少ない。⑦調査時期の影響：COP3の直後であり、評価結果への影響が出ている可能性は高いが、特に温暖化問題は認識が難しいため、一定の関心を集めた時期に実施する必要があると考える。

■表一6 調査票の配布地域と回収状況

配布地域	回収票数	回収率	配布/回収
東京区部(1)	521 票	26%	郵送/郵送
東京区部(2)	227 票	100%	留置/訪問
名古屋市	96 票	48%	留置/郵送
大阪市(1)	229 票	25%	郵送/郵送
大阪市(2)	139 票	100%	留置/訪問
仙台市	115 票	28%	留置/郵送
千葉県内	170 票	34%	留置/郵送
岡山市	131 票	66%	留置/郵送
熊本市(1)	288 票	36%	郵送/郵送
熊本市(2)	73 票	100%	留置/訪問
合計	2059 票	37%	
第1回目	1620 票	32%	
第2回目	329 票	100%	

## 2.4 ベンチマーク温暖化に対する社会的費用の推定

### (1) 支払意志額の推定方法

設問形式A～Dにおける提示額に対する賛意(yes)は次式で与えられる。

$$Prob[yes] = Prob(U(E^1, y - C) > U(E^0, y)) \quad (1)$$

ここで、 $E$  は気候変動による被害状況設定で、スクリプトが0の場合が被害が発生した状態、1が被害が回避された状態である。 $y$  は回答者の可処分所得、 $C$  が提示額となる。この支払意志額の推定にはロジットモデルを適用した。上記変数に加えて、性別、年齢階層の変数を取り入れ、属性別に支払意志額を推定した。ただし、所得による支払意志額の差が見られなかったため、最終的には所得を変数に取り込まずにパラメータ推定をおこなった。式(1)をシングルバンド方式の場合で具体的に示せば次式のようなになる。ダブルバンド方式も基本的な考え方は同様だが、詳細な推定方法については栗山[1997]を参照されたい。

$$Prob[yes] = \frac{\exp V_1}{\exp V_1 + \exp V_0} = \frac{1}{1 + \exp(-\Delta V)} \quad (2)$$

$$\Delta V = \alpha(E^1 - E^0) - \beta \ln C + \sum_j \gamma_j SE_j \quad (3)$$

ここで、 $V$  は確定効用でスクリプトは式(1)に対応している。1は提示額を支払って温暖化を回

避した状態の効用、0は温暖化被害が発生した状態の効用を表す。 $SE_j$ は個人ごとの属性  $j$  を示す。

$\alpha, \beta, \gamma$  はパラメータである。各変数のデータ化は、

$E^1 - E^0$  を定数項扱いとし、 $SE$  は属性ごとのダミー変数とする。提示額については非線形を仮定して対数をとった。式(2)の選択確率が50%となる  $C$  の値をもって支払意志額の中央値が、また、式(2)を積分することで支払意志額の平均値が求められる。なお、設問形式Dから得られる支払意志額は、エコビークルとガソリン車との差額購入費であるので、この支払意志額からエコビークルの燃費節約分50万円/台を減じた。

設問形式Eは、次式の考え方に従って支払意志額(WTP)を推定した。

$$WTP = C_R - (C_C + WTA_{C \rightarrow R}) \quad (4)$$

ここで、 $C_R$  は鉄道、 $C_C$  は自動車の一般化費用

(所要時間と移動費用)、 $WTA_{C \rightarrow R}$  は、自動車から鉄道への転換による不便さ相当分の補償額であり、温暖化防止のための対策であることを前提に、この補償額を被験者へ直接尋ねている。つまり、 $C_R$  と

$C_C + WTA_{C \rightarrow R}$  が等価であればWTPは0円となり、温暖化防止への協力意識が無いこととなる。協力意識が高い分だけWTAが低下すると考えた。なお、式(4)はWTPの算出にWTAを用いていることや一般化費用の設定方法などの問題が存在する。設問が難解だった影響もあり、有効回答は35票と留まっている。

上記モデルによる性年齢階層別の支払意志額の推定値をもとに、設問形式AとBは国勢調査を、形式Cは運転免許保有者数を用いて性年齢階層別に全国拡大した後に、全国平均を算出する。ただし、先述したように特定の都市でサンプリングされたデータを拡大する問題を有していることに留意が必要である。形式DとEについては拡大処理を行わずに算出する。

本研究では、抵抗回答の扱いとして以下の2つの方法で行った。①「金額が高い」と答えたサンプルは提示額を0円と設定してデータ化した。また「支払いたくない」、「提示した政策で温暖化が防止できると思えない」と答えたサンプルはパラメータ推定

時に除外して支払意志額を推定し、全国拡大する際にその分の標本比率を減じて算定した。②抵抗回答の提示額を全て0円としてデータ化した。

## (2) パラメータ推定結果

表7に設問形式A~Dのパラメータの推定結果を、表8に拡大後の支払意志額の中央値および平均値(注8)を示す。両結果は抵抗回答の提示額を全て0円とした結果である(注9)。

採用する政策内容を示した設問Aと示さないBを個別に推定した結果、有意な差が認められなかった(注10)ため、両データをプーリングして推計した。各モデルとも概ね精度の高いモデルが得られている。特に支払意志額の算出において主要な変数である提示額、定数項のパラメータの標準誤差が小さく推計された。個人属性については、性別の影響が多少見られるものの、年齢階層による差は設問形式C以外では小さく、t値も低くなっている。ただし、どの設問でも40才代の可処分所得の低下に対して感度が高くなっている。

■表-7 設問形式ごとのパラメータ推定結果

変数	A/B	C	D
提示額(円)	1.17	1.20	2.47
	(25.6)	(14.3)	(9.0)
定数項(E1-E0)	10.4	4.26	33.7
	(22.9)	(9.8)	(9.3)
性別 dummy (男=1/女=0)	0.154	-0.412	0.0966
	(1.4)	(-2.2)	(0.3)
10-29才 dummy	-0.210	-0.742	-0.710
	(-1.0)	(-2.1)	(-1.3)
30-39才 dummy	-0.0723	-0.506	-0.688
	(-0.3)	(-1.4)	(-1.2)
40-49才 dummy	-0.245	-0.882	-0.911
	(-1.2)	(-2.3)	(-1.6)
50-59才 dummy	0.0838	-0.704	-0.0872
	(0.4)	(-2.0)	(-0.16)
60-69才 dummy	0.203	-0.0299	0.207
	(1.0)	(-0.1)	(0.37)
70才(fix)	0	0	0
最終尤度	-1713.8	-589.5	-676.4
的中率	69.3	70.1	76.2
サンプル数	1275	457	587

CVM の利用に際して特に問題が指摘されるスターティングポイントバイアスについて考察する。設問形式 A/B では初期提示額が 5000 円のサンプルの支払意志額が 5612 円、提示額 10000 円では 6967 円、提示額 15000 円では 11838 円となる。形式 C では初期提示額 10 円の支払意志額が 13 円、提示額 20 円では 20 円、提示額 30 円では 22 円となった。バイアスが発生している感は否めないが、両設問形式とも支払意志額が初期提示額の下限、上限内に入っていることから、本推定結果は一定の信頼性を有していると考えられる。

## 2.5 運輸部門における社会的費用原単位の試算

本章で作成する社会的費用原単位とは、CO<sub>2</sub>排出量 (tC) 当たり、もしくは輸送人キロ当たりの社会的費用を指す。この原単位と交通需要予測分析の出力結果とを連動させれば、温暖化影響を運輸部門の費用便益分析へ取り入れることが容易になる。算出にあたっては、まずCO<sub>2</sub>排出量当たりの原単位を算出し、それに輸送人キロ当たりの排出原単位を乗じて、輸送人キロ当たりの社会的費用原単位を算出する手順をとった。

### (1) 原単位算出の方法

CO<sub>2</sub> 排出量当たりの原単位は、4. 2 で得られた一人あたりの支払意志額を全国拡大し、その値をダブルリングシナリオの状態にしないために必要なCO<sub>2</sub> 排出削減量で除すことによって得られる。よって、支払意志額推定値の誤差、全国世帯への拡大誤差、CO<sub>2</sub> の必要削減量の推定誤差など様々な誤差が生じていることに注意が必要である。

■表-8 一人あたりの支払意志額の推定結果

設問形式	単位	支払意志額(1997)	
		中央値	平均値
A/B(基金)	円/年	7,394	9,527
C(燃料価格増)	円/ℓ	17.2	20.3
D(エコカー購入)	円/台	112,812	269,146
E(公共交通転換)	円/回	1,839	←

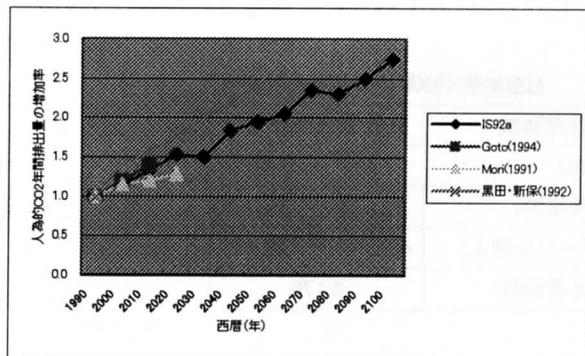
必要削減量の算定にはIPCCのIS92aシナリオを利用した。このIS92は温暖化効果ガス排出を減少させるための気候関連政策をまったく仮定しない『非介

入』のシナリオであり、1990年から2100年までの期間での人口、経済成長、土地利用、技術的变化、エネルギーの入手可能性と燃料構成に関する仮定に基づく6つの排出シナリオ (IS92a~f) について将来のCO<sub>2</sub>濃度、年間排出量予測されている。IS92aの仮定について簡単に触れる。IS92aは6つのシナリオ中の中位推計であり、将来人口は世銀の1991年の推計値にもとづき、2100年において世界で113億人と設定されている。経済成長率は1990年から2025までの年間平均が2.9%、2100年までが2.3%と設定されている。このシナリオでは、2060年には、

気温2℃上昇に達さないための安定化濃度の閾値である550ppmv<sup>註1)</sup>を超え、1990年における世界の年間排出量約7GtCが、2060年には14GtC、2100年には20GtCに達すると予測されている。排出量を1991年から2100年までの累積すると1500GtCとなる。

2100年時点で濃度を550ppmvに安定化させる1991年~2100年の累積排出量は990GtCとされている。よって2℃の温度上昇を回避するためには、累積排出量を34%減少 (=990÷1500) させる必要がある。

なお、IS92aシナリオは全世界を対象とした分析であるが、本研究で得られる支払意志額は、わが国の温暖化被害の回避を前提とした回答値であるため、削減必要量も国内値を用いることが必要である。しかし、無政策シナリオによる排出量の予測値は既往研究間で相当幅があり安定していないことや予測期間が比較的短いことなどの問題がある。図2はCO<sub>2</sub> 排出量の時系列予測値をIS92aといくつかの国内モデルとを比較したものである。IS92aが後藤モデルと類似し、黒田・新保モデルと森モデルの中間に位置していることがわかる。この結果からIS92aを排出削減必要量の算定に用いる妥当性は失われないと判断した。



■図-2 CO<sub>2</sub> の年間排出量のモデル間比較

上記で得られた CO<sub>2</sub> 排出量の削減必要比率 34% を用いて設問形式ごとに社会的費用原単位の作成方法を概略説明する。

設問形式 A/B の原単位は、4. で得られた 7394 円/年（中央値、以下省略）を国内 15 歳以上人口で拡大して得られた支払意志額の集計値 7795 億円/年を、わが国の CO<sub>2</sub> 排出量 0.31GtC/年に先述の 34% を乗じて算出した国内必要削減量 0.10GtC/年で除算して求める。

設問形式 C の原単位は、支払意志額 17.2 円/ℓを全国の自家用乗用車の年間燃料消費量で拡大して得られる 8098 億円を、国内総排出量のうちの旅客運輸部門の CO<sub>2</sub> 排出割合 10.6% に国内必要削減量に乗じた 0.011GtC/年で除すことで求める。

設問形式 D の原単位は、支払意志額 11.3 万円/台に自家用乗用車の全国保有台数を乗じて得られる 6 兆 861 億円を、エコビークル導入による燃料消費分に自動車の平均耐用年数と CO<sub>2</sub> 排出係数を乗じて得られた CO<sub>2</sub> 削減量 0.144GtC で除して求める。

設問形式 E の原単位は、各サンプルの支払意志額を自動車から鉄道へ転換によって得られる CO<sub>2</sub> 削減量で除し、これを全サンプルで平均して得る。ちなみに全サンプルの支払意志額の平均値は 1839 円/回、全サンプルの CO<sub>2</sub> 削減量の平均値は、0.47tC である。

輸送人キロ当りの社会的費用原単位は、上で得られた CO<sub>2</sub> 排出量当りの社会的費用に CO<sub>2</sub> 排出原単位 (gC/人キロ) を乗じて算定する。

## (2) 原単位の試算結果

### (2) -1 CO<sub>2</sub> 排出量当りの社会的費用原単位

原単位の試算結果を表 9 に示す。表中の下限値は、表 8 に示した支払意志額の中央値を、上限値は平均値を用いたものである。なお、支払意志額の誤差に加えて、原単位作成時に使用される IS92 シナリオの推計幅、国内 CO<sub>2</sub> 排出量の測定誤差など信頼性に幅をもつデータを組み合わせるため、表 9 の試算値の幅はさらに拡大することに留意されたい。

■表-9 社会的費用原単位の試算結果(円/tC)

設問形式	支払意志額(1997)
A/B(基金)	7,468 ~ 9,622
C(燃料価格増)	72,990 ~ 86,145
D(エコビークル購入)	42,281 ~ 100,873
E(公共交通転換)	4,170

設問形式によって原単位が大きく異なっているが、このような差が生じる主な要因として以下の 5

点があげられる。第 1 に支払い単位の違いが回答値に与える影響があげられる。設問形式 A/B では基金へ年間一括で支払う方法に対し、形式 C はガソリン税と同様に給油ごとに細かく分割して支払う方法となっている。細かく分割して支払うために、年間集計額は被験者が考える以上に高くなる可能性がある。第 2 に自動車利用の状態依存が反映されている可能性がある。形式 C では温暖化防止策に対する支払意志額と自動車利用を維持するための支払意志額が分離できていないために過大推計となっている可能性がある。緩和費用法においても家計や企業の状態依存性を考慮しなければ同様に生じる問題である。第 3 に形式 C は主に汚染者側の支払意志額の集計値から算出されているが、形式 A/B は汚染者と被害者の双方立場の支払意志額から得られた値となっている。第 4 に支払意志額の設定内容と CO<sub>2</sub> の削減必要量の設定との整合性があげられる。例えば、設問 C は旅客運輸部門の削減必要量を用いているが、被験者が支払意志額を答える際に旅客運輸部門のみの排出量を適正化すると認識をしているかどうかである。この認識がされていないとすると、国内全部門の必要削減量 0.10GtC/年で除すことになるが、その結果は 7742~9138 円/tC となり、設問 A/B の原単位と極めて近い値をとる。

第 5 に、形式 E は式 (4) を用いて算出されるが、一般化費用の設定方法の課題や回答額が受認補償額 (WTA) を用いており補償額を高め回答したために支払意志額が比較的低くなっていると考えられる。

既存の研究例とは計測方法が全く異なるため、あくまで参考に留まるが、設問形式 A/B が後藤モデルとほぼ等しく、形式 C が森モデル、山崎モデルなどに比して若干高い傾向となっている。

■表-10 都市交通の社会的費用原単位の試算結果(円/人<sup>キロ</sup>)

形式	自家用乗用車	鉄道(地下鉄)	路線バス
A/B	0.47-0.61	0.03-0.04	0.17-0.22
C	4.63-5.46	0.26-0.31	1.70-2.01
D	2.68-6.39	0.15-0.36	0.99-2.36
E	0.26	0.02	0.10

■表-11 幹線交通の社会的費用原単位の試算結果(円/人<sup>キロ</sup>)

形式	自家用乗用車	鉄道(新幹線)	高速バス	航空機
A/B	0.22-0.28	0.04-0.05	0.07-0.09-	0.24-0.31
C	2.18-2.57	0.36-0.43	0.69-0.81	2.31-2.73
D	1.26-3.01	0.21-0.50	0.40-0.95	1.34-3.20
E	0.12	0.02	0.04	0.13

■表一12 交通機関別のCO<sub>2</sub>排出原単位の例

形式	都市交通	幹線交通
A/B	63.4	29.9
C	(地下鉄)3.6	(新幹線)4.9
D	(路線バス)23.3	(高速バス)9.4
E		31.7

いずれの計測値も種々の問題を有するものの、上記で述べた問題点の少なさからみて設問形式A/Bから得られた社会的費用原単位の信頼性が比較的高いと考える。

## (2)-2 輸送人キロ当りの社会的費用

表10に都市交通の社会的費用原単位の算出結果を、表11に幹線交通の算出結果を示す。これらの値は、前項で得られたCO<sub>2</sub>排出量当りの社会的費用原単位に表12の輸送人キロ当りのCO<sub>2</sub>排出原単位を乗じて得られたものである。

よって、輸送人キロ当りの原単位は(1)で得られた排出量当りの原単位の問題を保存しており、かつCO<sub>2</sub>排出原単位の精度の問題がそのまま反映されることになる。

一般にCO<sub>2</sub>排出原単位は、各交通機関の実績エネルギー種別消費量にエネルギー別CO<sub>2</sub>排出原単位を乗じた交通機関別年間CO<sub>2</sub>排出量を、実績の交通輸送量(人キロ)で除すことによって得られる。複数の統計データを組み合わせて算出するために、精度の高い原単位が得られにくいのが現状と言える。実際、各種資料間で2倍程度の開きがあることが判っている<sup>(注12)</sup>。よって、下表の原単位も参考に留まらざるを得ないと考えられる。また本来、エネルギー消費量は供給側の条件、すなわち輸送力によって決まることから、全国平均の輸送人キロ当りの原単位を輸送密度の異なる地域で一律に用いることの問題もある。

既往の研究成果と比べると、設問形式A/Bの自家用車鉄道についてはKågeson[1993]が算出した原単位と極めて近い値となっている。

## 2.6 まとめ

以上のCVサーベイに基づく分析から得られた主要な知見は次の6点である。

①未知で複雑な環境破壊を引き起こす地球温暖化の被害想定を正確に被験者へ伝達することが必要であるが、極めて難しい。伝達ミスが起きにくい

説明技術の向上もさることながら、設問内容が正確に伝達されたかどうか、被害に対する認知レベルなどをチェックする質問項目を設け、パラメータ推定の際にそれを反映させることが重要である。

②と関連して、関心度が高い被験者は支払意志額が高くなるのが本分析をとおして明らかになっている<sup>(注13)</sup>。被害の実感が強くなるにつれ支払意志額が増加すると考えられ、現世代と将来世代ではその評価が大きく異なる可能性がある。現世代の将来世代に対する遺贈価値に関する分析も併せて、世代間の評価の変化に関する研究を進める必要がある。このような分析は、プロジェクト評価を行う際の割引率の設定にも有益な示唆を与えると考える。

③温暖化被害やその防止政策など被験者が未だ経験のない事柄に対する支払意志額を回答することは大変難しい。本分析でもスターティングポイントバイアスの影響がみられており、これを改良する分析技術の開発が必要である。

④設問形式C(燃料価格増)で強く見られるように、現状の生活パターンに対する状態依存が支払意志額の推定に与える影響を検討することが必要である。一般にこの種の計量分析の理論的背景には人間の合理的判断、瞬時の均衡状態が仮定されており、この種の強い仮定を緩和させる必要がある。

⑤社会的費用の原単位の作成にあたっては、複数の異種データを組み合わせて作成する必要がある。精度の低い統計データが混在せざるを得ない場合には、それが原単位の精度を悪化させることになる。国勢調査など極力精度の高い統計データで原単位の作成が可能なアンケートを設計すべきである。なお、公表されているほとんどの政府統計は、統計値の分散等データ精度が明確に記述されていないことから、データの開示も重要な課題としてあげられる。

⑥本研究は、国内各地で調査を実施したものの、都市部居住者のデータが中心であり、土地利用状況の異なる居住者や各種産業分野の従事者など網羅的なデータではない。本論文で示した支払意志額や社会的費用原単位は試算値であり、安易に使用すべきではない。既往の文献からも地域や産業分野によって温暖化が引き起こす被害レベルの違いが指摘されており、広範かつ十分なデータを収集する必要がある。また定期的にモニタリングを行い、評価値の安定性、時間的変化についても検討する必要がある。環境問題に関する国民への教育、啓蒙施策と併せて、広範かつ連続的に国民意識を把握することが、今後政策を決定する上で大変重要である。

## 注

注1) 道路を対象とした費用対効果分析マニュアルでは、温暖化の社会的費用を 2300 円/tC としている。鉄道分野は道路マニュアルに準拠している。港湾分野では貨幣換算せずに排出量の変化で評価を行っている。ただし、いずれも自動車のみを対象としている。例えば、東京－大阪間 560km の高速道路を利用する乗用車の排出原単位は文献14) より 30gC/人 km であることから、1 台に 2 名が乗車していれば、1 台が 1tC 排出するのに 15 往復、上記社会的費用原単位を用いれば、片道 77 円の社会的費用が発生することとなる。

注2) NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) のガイドラインについては、栗山浩一 [1997]、建設省建設政策研究センター [1997] が詳しい。

注3) Kageson [1993] 以外に、Peirson et al. [1995] は、イギリスにおける社会的費用として、鉄道が 0.01pence/人 km、自動車とバスが 0.03pence/人 km と算定している。また ECMT のタスクフォースでは、ECMT 加盟諸国及び運輸に係わる諸機関で計測された評価値をもとに、自動車が 0.007ECU/人 km (1991 年値)、鉄道が 0.0025ECU/人 km との見解を示しているようである。

注4) 設問形式 A と B は温暖化対策の提示・非提示による支払意思額の差をみるために分離した。また E は 4.1 に示すように詳細な都市交通ネットワークを用意する必要性があったため、地域を限定し千葉県の上野東京沿線のみを対象に実施した。なお、設問 A・B と C・D の組み合わせの制約は本来無いが、調査労力の軽減のために便宜的に A-C、B-D の組み合わせとした。

注5) レファレンダム方式とは、住民投票形式で環境改善政策の実施に対しての賛否を問う方式である。NOAA ガイドラインでは、環境の貨幣価値を被験者に直接答えさせるオープンエンドよりも調査者が提示した価値額の賛否を問うクローズドエンドの 2 分法を推奨している。

注6) 支払期間を限定した方が良いという考えがある。若年層と高齢層では支払期間が異なるため、支払意思額へ影響を及ぼすためである。しかし期間を限定することで、理論的には被験者の時間選好率に対応した年間支払意思額の増加がおきるはずだが、可処分所得が大きく低下することを被験者が想起し、本来の支払意思額よりも過小に回答する可能性も考えられよう。

注7) 山岡、徳岡による標準大都市雇用圏 (SMEA) の定義では、全人口の 1/4 が SMEA 以外の地域に住んでいるに過ぎない。詳しくは金本 [1997] などを参照。

注8) 平均値を算出する際の数値積分の裾切りは最大提示額とした。

注9) Protest No を除外してパラメータ推定を行い、全国

拡大時に Protest No のサンプル比率分だけ除外する方法によって得られた支払意思額は、設問形式 A/B が 12,185 円/年、設問形式 C が 25.1 円/年となる。抵抗回答を全て 0 とした方が支払意思額は小さく推計される。よって安全サイドの評価値になると考え、本文には抵抗回答を全て 0 とした値を提示した。なお、「金額が高い」という回答者の WTP は、提示額より低いもの 0 円とは限らないため、推定上の工夫が必要との意見がある。

注10) 政策内容を示した設問 A と示さない B とが有意な差がなかったことは、温暖化防止施策の適切な説明がなされていないため、被験者がその政策を認知できていない可能性がある。設問 A は「地球温暖化防止のために、今後、国や地方自治体、または民間の団体などが、新技術の開発、エネルギー政策、廃棄物処理施設の整備、森林の保全や整備、公共交通機関の整備など様々な事業や活動を行っていくとします」、設問 B は「地球温暖化防止のために、様々な事業や活動を行っていくとします。」とした。今後は、政策の伝達ミスや被験者の政策認知レベルをチェックできるような設問を調査票に導入すべきであろう。

注11) 二酸化炭素は、比較的長期 (数世紀かそれ以上) の滞留時間を持ち、人為的な排出 (人為排出量－人為吸収量) が現在の年間排出量約 7GtC で留めたとしても、二酸化炭素濃度は少なくとも 2 世紀にわたって増加し、2100 年には約 500ppmv (1990 年レベルの 50% 増) に達するとされている。二酸化炭素濃度と 1990 年からの温度上昇との関係は、450ppmv で約 1°C (0.5~1.5°C)、650ppmv で約 2°C (1.5~4°C)、1000ppmv で約 3.5°C (2~7°C) とされている。

注12) 大気汚染の排出原単位に関する各種調査結果の相互比較は、環境と交通研究会 [1997] が詳しい。

注13) 表 7 のモデルに温暖化に対する関心度などをダミー変数として導入した結果、設問形式 A/B では温暖化問題に「関心がある」や「温暖化が心配である」と答えた被験者の支払意思額はそれぞれ約 1400 円/年高く、「地球温暖化が次世代へ影響することを認知している」と答えた被験者は約 800 円/年高く推計された。また「日ごろ温暖化防止を意識して行動している」と答えた被験者や「京都会議の開催を知っていた」と答えた被験者はそれぞれ 400 円/年程度支払意思額は高く推計された。詳しくは、文献 17) を参照されたい。

## 参考文献

- 1) 道路投資の評価に関する指針検討委員会編 [1998] 道路投資の評価に関する指針(案)、(財)日本総合研究所
- 2) 栗山浩一[1997]公共事業と環境の価値—CVMガイドブック、築地書館
- 3) 建設省建設政策研究センター [1997] 社会資本整備の便益評価等に関する研究、PRC Note 第14号
- 4) IPCC[1995]Climate Change1995 Economic and Social Dimensions of Climate Change(天野明弘ほか監訳 [1997]地球温暖化の経済・政策学—IPCC 第3作業部会報告—, 中央法規出版)
- 5) 天野明弘[1994]世界経済研究—発展と相互依存—、有斐閣
- 6) ECMT/OECD [1994] Internalizing the social costs of transport, OECD publication
- 7) Fankhauser, S. and David W. Pearce [1993] The Social Costs of Greenhouse Gas Emissions, OECD/IEA International Conference on the Economics of Climate Change
- 8) 日引聡 [1996] 炭素税導入が日本経済へ及ぼす影響についてのシミュレーション分析、計画行政 19(4)
- 9) Kågesson P. [1993] Getting the Prices Right: A European Scheme for Making Transport Pay its True Costs, European Federation for Transport and Environment (T&E)
- 10) Peirson J, R.Vickrman[1995]Environmental Sensitive Taxation of Transportation Investment Policy, Some result of U.K., 7<sup>th</sup> WCTR Sydney Discussion Paper
- 11) 植田和弘[1991]第5章 社会的費用論アプローチ、植田和弘ほか編著、環境経済学、有斐閣ブックス
- 12) IPCC 編 [1996] IPCC 地球温暖化第二次レポート、中央法規
- 13) 環境庁地球環境部編 [1997] 地球温暖化日本はどうなる?、読売新聞社
- 14) (財)運輸経済研究センター[1994]環境と運輸・交通
- 15) 環境と交通研究会 [1997] 高速交通時代の環境を考える、(財)運輸経済研究センター
- 16) Johansson P.O. [1987] The Economic Theory and Measurement of Environmental Benefits, Cambridge Univ. Press(嘉田良平監訳[1994]環境評価の経済学、多賀出版)
- 17) 日本鉄道建設公団関東支社、(財)運輸経済研究センター[1998]平成9年度環境からみた高速交通機関の整備効果に関する調査報告書
- 18) 金本良嗣[1997]都市経済学、東洋経済新報社

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

### 3. 動学的応用一般均衡モデルによる二酸化炭素排出削減政策の 国民経済的評価

#### 3.1 はじめに

自動車交通に起因する環境問題がますます深刻化しており、早急な対策が必要である。特に、地球温暖化を引き起こすとされる温室効果ガスについては、1997年月に京都で気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3)が開催され、先進各国が各々の数値目標を設定し、その目標に沿って取組を行っていくことが決定された。その中で、日本には、国全体の温室効果ガス排出量を、2008年～12年の間に1990年の水準より6%削減するとの目標が課された。これを受け、運輸部門では、同期間に、政策を行わなかった場合40%増加すると予想されている温室効果ガスを17%の増加に抑制するとの目標を設定した(運輸省(1998))。運輸部門の中でも、特に問題とされるのが自動車交通であり、そこから排出される温室効果ガスを如何に削減していくのが重要な課題となっている。

これに対し、環境税等の経済的手段を利用した政策の導入が検討されている。しかし、その実施による効果あるいは影響については、未だ十分に明らかとされてはいない。特に、これらの政策の実施は、国民経済的な観点から見ると何らかの負担を発生させることになるため、それがどの程度の負担となるのかを示した上で、効率的な政策を提示することが重要と考えられる。

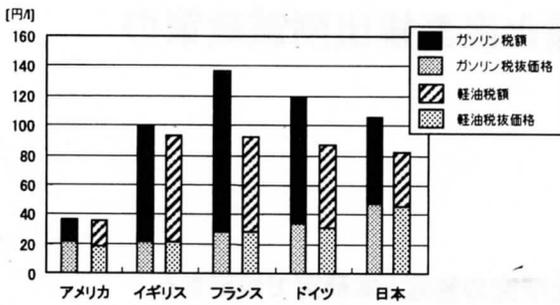
本章では、自動車交通を対象とした炭素税導入による効果とその市場経済への影響の評価を行う。ここでは、その効果と影響を同時に評価するため、動学的応用一般均衡(Dynamic Computable General Equilibrium : DCGE)モデルを適用する。応用一般均衡モデルは、家計や産業の行う経済活動および市場機構の働きを数理モデルによって表現したものである。応用一般均衡モデルの利用により、政策の効果だけでなく、その市場経済への影響も同時に明らかにすることができる。さらに、これに時間的な要素を組み込んだものが動学的応用一般均衡モデルである。なお、本章で示すモデルは、これらに加え自動車交通を中心とした交通部門の定式化を詳細に行っており、本章で対象とする政策を、より正確に評価できるものと考えられる。

#### 3.2 既往研究の整理と本研究で想定する 炭素税政策

最近、わが国では、炭素税に関わらず、広く自動車交通に起因する環境負荷削減政策の評価に関する研究が進められている。谷下・鹿島(1998)は、自動車の保有・利用行動に焦点を当てた部分均衡モデルの開発を行っている。また、蓮池(2001)は、中古自動車市場まで考慮した動的な部分均衡モデルによる分析を行っている。そこでは、政策の実施による影響を厚生損失という点から明らかとしている。林・加藤・上野(1998)では、自動車の保有構造をコーホートモデルで捉え、税制が車両構成へ与える影響の分析を行っている。

本研究では、自動車に特定はするが、炭素税の導入効果とその市場経済への影響を明らかとする。炭素税は、財の種類に関わらず、そこから排出される二酸化炭素の量に対し、賦課されるものである。現在、自動車交通の燃料は、大きくガソリンと軽油に分けられるが、炭素税の導入においては、ガソリン、軽油の区別なく、公平に税を負担させることができる。

図-1には、現在の各国の揮発油と軽油のリットルあたりの価格とそれに含まれる税額を示した。日本を含め、現行の税体系では、ガソリン税より軽油税の賦課が小さく、ディーゼル車が優遇されている。これは、圧倒的にディーゼル車の多いトラックを保護することで、産業発展を促進しようとした政策的な意図があるとされている。これに対し、本章で想定する炭素税政策は、二酸化炭素の削減という目的に対し、ガソリンにも軽油にも同様の負担を求めるものである。そのため、ディーゼル車への賦課が増大することによる産業活動への影響が懸念される。本研究は、この産業活動への影響という部分を、動学的応用一般均衡モデルによって明らかにすることで、最終的な政策導入の可否を判断できるような枠組みを提供するものである。



■図-1 ガソリン価格と軽油価格の各国比較  
(出典:(財)日本自動車工業会, 道路ポケットブック)

### 3.3 動学的応用一般均衡モデルの構造

#### (1) 既往の応用一般均衡モデル

応用一般均衡モデルは、税政策や貿易政策の評価の分野で発展してきたモデルである。これが、1980年代後半より、Bergman(1991)や Jorgenson and Wilcoxon(1993)によって、環境政策評価の分野へも適用されるようになった。さらに、最近、本研究と同様の視点である交通環境評価へ適用した研究も見られる。本研究のモデルも、既存モデルを参考としているが、ここでは特に、自動車関連産業、運輸産業、家計の交通行動モデルを詳細に定式化している点が特徴となっている。

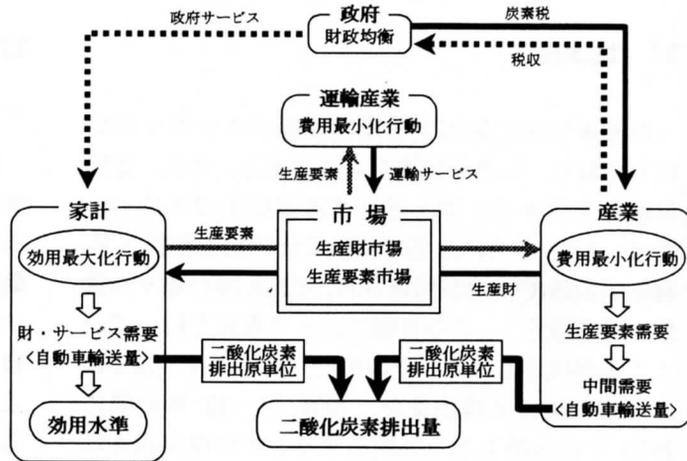
#### (2) モデルの前提条件と概要

本研究で構築する DCGE モデルの前提条件と全体構造は以下のようになっている。

- ① 社会には、家計と産業(運輸8部門, その他5部門の計13部門からなる), 政府が存在する。
- ② 産業は、労働と資本および中間投入財を投入して生産活動を行う。
- ③ 家計は、労働、資本からなる生産要素を産業に提供し所得を得る。その所得をもとに、産業で生産された財・サービスを消費する。
- ④ 家計は貯蓄も行う。この貯蓄がそのまま投資に回り、次期の資本ストックの蓄積を生む。ただし、貯蓄の決定は、簡単化のため、次期のみ収益を考慮した近視眼的(myopic)な期待の下で行われるものとした。
- ⑤ 運輸サービスは、旅客、貨物とも基本的には、運輸産業が提供するものとする。ただし、家計が自家用自動車で行う交通トリップについては、家計が自ら生産して消費するという形で行われる。
- ⑥ 市場は、各生産財の財市場と、労働、資本からなる生産要素市場が存在し、それらは完全

競争的である。

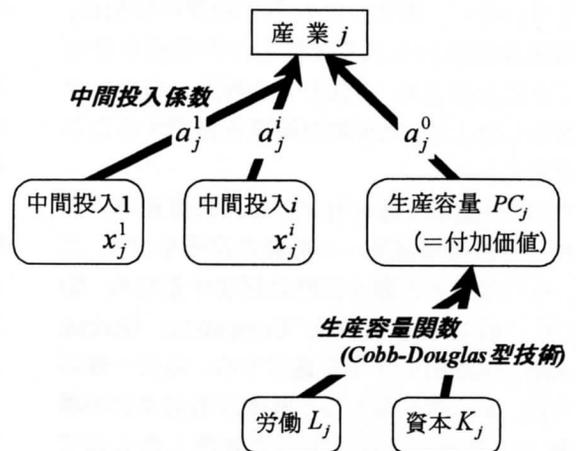
- ⑦ 政府は、各自動車燃料の消費によって排出される二酸化炭素量に応じて炭素税を賦課する。その税収は、一部を低公害車への補助に回し、残りは一般財源化して、一般的な政府サービスの提供に用いるとする。



■図-2 動学的応用一般均衡モデルにおける経済主体の関係 (t期に着目)

#### (3) 産業の行動モデル

産業は、生産要素および中間投入財を投入して、財・サービスの生産を行う。ここではそれを、二段階に分けて定式化する。第一段階では、労働と資本をひとまとまりと見た合成生産要素と中間投入財の投入量を決定し、第二段階で労働と資本の投入量を決定する(図-3)。



■図-3 産業の行動モデル

第一段階の財生産行動では、生産技術に Leontief 型を仮定し、その技術制約下で生産費用を最小化するように行動するものとした。その行動モデルは、以下のように表される。

$$C_j = \min_{PC_j, x_j^i} c_j \cdot PC_j + \sum_i p_i x_j^i$$

$$\text{s.t. } y_j = \min \left[ \frac{PC_j}{a_j^0}, \dots, \frac{x_j^i}{a_j^i}, \dots \right]$$

ただし、 $j$ は産業部門を表す添字、 $c_j$ は合成生産要素の価格を表す。この $c_j$ は次の生産要素投入モデルにて導出される。 $PC_j$ は合成生産要素投入量であり、財の生産量を実質的に決定するという意味で生産容量と呼ぶ。 $p_j$ は財価格、 $x_j^i$ は産業 $i$ から $j$ への中間財投入量、 $y_j$ は生産量、 $a_j^0$ は生産容量比率、 $a_j^i$ は中間投入係数である。そして、 $C_j$ は産業の最適化行動下での生産費用を表している。

式(1)の最適化問題を解くと、生産容量と中間投入財の最適投入量が得られる。

$$PC_j = a_j^0 y_j$$

$$x_j^i = a_j^i y_j$$

これらを式(1)の目的関数に代入すると、生産費用関数が得られる。

$$C_j = \left[ a_j^0 c_j + \sum_i a_j^i p_i \right] y_j$$

続く第二段階では、労働と資本の投入量を決定する。ここでは、生産容量関数に Cobb-Douglas 型技術を仮定し、その技術制約下で生産要素費用が最小となるよう行動するものとした。その行動モデルは以下のとおりである。

$$c_j = \min_{L_j, K_j} p_L L_j + p_K K_j$$

$$\text{s.t. } PC_j = \eta_j L_j^{\alpha_j^L} K_j^{\alpha_j^K} = 1$$

ただし、 $L_j$ は労働投入量、 $K_j$ は資本投入量、 $p_L$ は賃金率、 $p_K$ は利子率を表す。また、 $\eta$ は効率パラメータ、 $\alpha_j^L, \alpha_j^K$ は分配パラメータである。なお、 $\alpha_j^L + \alpha_j^K = 1$ として、生産容量関数には規模に関して収穫一定の技術を仮定している。

式(4)の最適化問題を解くと、単位生産量あたりの生産要素投入量 $D_{L_j}, D_{K_j}$ が得られる。

$$\text{労働投入: } D_{L_j} = \frac{1}{\eta_j} \left[ \frac{\alpha_j^L p_K}{\alpha_j^K p_L} \right]^{\alpha_j^K}$$

$$\text{資本投入: } D_{K_j} = \frac{1}{\eta_j} \left[ \frac{\alpha_j^K p_L}{\alpha_j^L p_K} \right]^{\alpha_j^L}$$

これらを式(4.a)の目的関数に代入すると、合成生産

要素の価格(単位費用) $c_j$ が得られる。

$$c_j = \frac{1}{\eta_j} \left[ \left( \frac{\alpha_j^L}{\alpha_j^K} \right)^{\alpha_j^K} + \left( \frac{\alpha_j^K}{\alpha_j^L} \right)^{\alpha_j^L} \right] p_L^{\alpha_j^L} p_K^{\alpha_j^K}$$

#### (4) 生産財価格の導出

財 $j$ の生産財価格は、産業 $j$ の利潤最大化の条件より導出される。

まず、式(3)に式(6)を代入すると、産業 $j$ の生産費用が以下のように表される。

$$C_j = \left[ \frac{a_j^0}{\eta_j} \left\{ \left( \frac{\alpha_j^L}{\alpha_j^K} \right)^{\alpha_j^K} + \left( \frac{\alpha_j^K}{\alpha_j^L} \right)^{\alpha_j^L} \right\} p_L^{\alpha_j^L} p_K^{\alpha_j^K} + \sum_i a_j^i p_i \right] y_j \quad (2.a)$$

ここで、炭素税および低公害車への補助をモデルへ導入する。生産要素費用をタクスペースとする(2.b)、税を含む生産費用は以下ようになる。

$$C_j = \left[ \frac{a_j^0}{\eta_j} \left\{ \left( \frac{\alpha_j^L}{\alpha_j^K} \right)^{\alpha_j^K} + \left( \frac{\alpha_j^K}{\alpha_j^L} \right)^{\alpha_j^L} \right\} p_L^{\alpha_j^L} p_K^{\alpha_j^K} (1 + \tau_j) + \sum_i a_j^i p_i \right] y_j \quad (3)$$

(8)

ただし、 $\tau_j$ は税率を表す。

本研究では、自動車燃料に対し炭素税を賦課する政策を想定する。そこで、自動車燃料製造産業の生産する財に対しては炭素税 $\tau_j$ が賦課され、その他の産業は $\tau_j = 0$ とする。また、低公害車への補助については、低公害車製造産業が提供する財に対し、負の税 $\tau_j$ が課せられると考えればよい。

産業 $j$ の利潤最大化行動は、産業の生産費用が式(8)で表されることを考慮すると以下ようになる。

$$\pi_j = \max_{y_j} p_j y_j - \left[ \frac{a_j^0}{\eta_j} \left\{ \left( \frac{\alpha_j^L}{\alpha_j^K} \right)^{\alpha_j^K} + \left( \frac{\alpha_j^K}{\alpha_j^L} \right)^{\alpha_j^L} \right\} p_L^{\alpha_j^L} p_K^{\alpha_j^K} (1 + \tau_j) + \sum_i a_j^i p_i \right] y_j \quad (5.a)$$

(9)

この最適化問題の一階条件より、生産財価格が求められる。

(5.b)

$$p_j = \frac{a_j^0}{\eta_j} \left\{ \left( \frac{\alpha_j^L}{\alpha_j^K} \right)^{\alpha_j^L} + \left( \frac{\alpha_j^K}{\alpha_j^L} \right)^{\alpha_j^K} \right\} p_L^{\alpha_j^L} p_K^{\alpha_j^K} (1 + \tau_j) + \sum_i a_j^i p_i \quad (10)$$

式(10)を整理して行列表記すると、以下のように財価格ベクトルが得られる。

$$p' = c' \cdot [I - A]^{-1}$$

ただし、 $p$  は財価格ベクトル、 $c$  は合成生産要素の単位費用と生産容量比率との積のベクトル、 $I$  は単位行列、 $A$  は中間投入係数行列を表す。また、 $'$  はベクトルの転置を表す。

### (5) 低公害車製造産業の行動モデル

本研究では、現実に普及が進み始めた低公害車を考慮する。現時点での低公害車価格は、同程度の性能を持つ従来車よりも、かなり割高である。しかし、低公害車の普及が進むにつれ、価格も低減していくことが期待される。いわゆる習熟効果であり、この価格メカニズムを DCGE モデルの中で扱うこととした。具体的には、生産要素費用に、前期までの低公害車の累積生産量  $\sum_{s=1}^{t-1} y_s^j$  に依存して決定される追加的費用  $FC$  を組み込んだ。この追加費用が、低公害車の普及とともに低減していくとする。このとき、低公害車製造産業の生産行動モデルは以下となる。

$$C_C = \min_{x_C, PC_C} c_C \cdot PC_C + \sum_i p_i x_C^i + FC(Y_C^{t-1}) \cdot y_C$$

$$\text{s.t. } y_C = \min \left[ \frac{PC_C}{a_C^0}, \dots, \frac{x_C^i}{a_C^i}, \dots \right]$$

ただし、添字  $C$  は低公害車製造産業を表す。 $Y_C^{t-1}$  は  $t-1$  期までの低公害車累積生産量  $\sum_{s=1}^{t-1} y_s^j$  である。また、追加費用  $FC$  は、単位生産あたりの費用となっている。

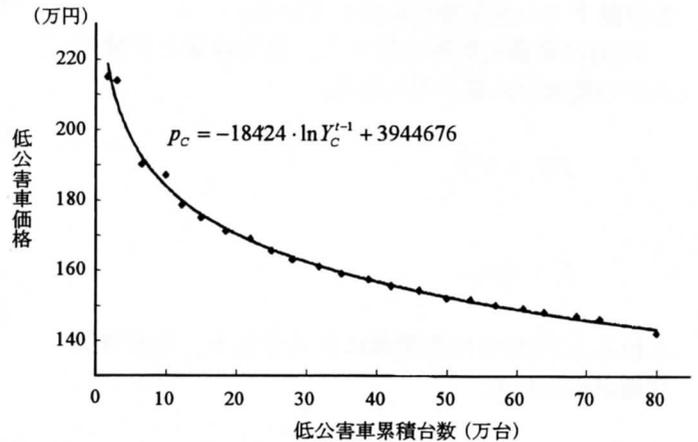
式(12)の最適化問題の解は、他の産業と全く同様となる。しかし、生産費用は追加的費用分だけ増大する。

$$C_C = \left[ \frac{a_C^0}{\eta_C} \left\{ \left( \frac{\alpha_C^L}{\alpha_C^K} \right)^{\alpha_C^L} + \left( \frac{\alpha_C^K}{\alpha_C^L} \right)^{\alpha_C^K} \right\} p_L^{\alpha_C^L} p_K^{\alpha_C^K} (1 + \tau_C) + \sum_i a_C^i p_i + FC(Y_C^{t-1}) \right] \quad (13)$$

これに伴い、低公害車価格が以下ようになる。

$$p_C = \frac{a_C^0}{\eta_C} \left\{ \left( \frac{\alpha_C^L}{\alpha_C^K} \right)^{\alpha_C^L} + \left( \frac{\alpha_C^K}{\alpha_C^L} \right)^{\alpha_C^K} \right\} p_L^{\alpha_C^L} p_K^{\alpha_C^K} (1 + \tau_C) + \sum_i a_C^i p_i + FC(Y_C^{t-1}) \quad (14)$$

以上の結果、低公害車製造産業が既存の自動車製造産業と同じ技術を持っていたとしても、初期時点では追加的費用  $FC$  の分だけ低公害車の価格が高くなる。しかし、低公害車の累積生産台数が増加するとともに、習熟効果が生まれて  $FC$  が減少していき、高公害車と低公害車の価格差



■図-4 低公害車製造産業の価格曲線

が縮まっていくことになる。

このような習熟効果は、既存の自動車にも存在するものである。たとえば、1960年から88年の間の自動車価格と累積生産量の関係を見たところ相関が認められた。この関係を利用して、式(14)で表される低公害車の価格曲線を推計したものが図-4である。この費用関数は、そのまま DCGE モデルに組み込むことが可能である(図5)。

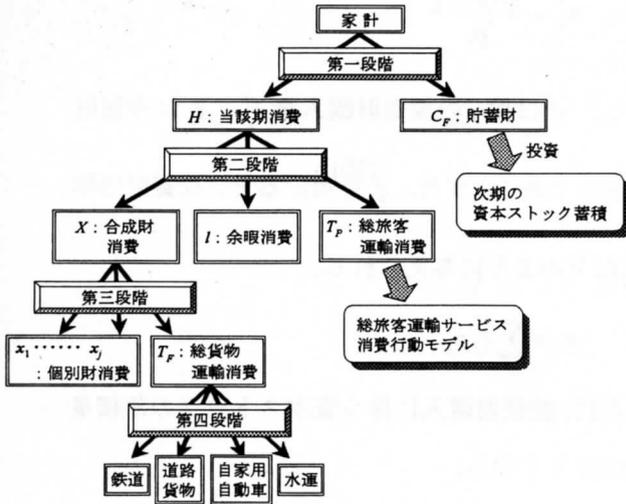
### (6) 家計の行動モデル

#### (6)-1 家計行動モデルの概要

家計は、労働と資本からなる生産要素を産業に提供し所得を得る。その所得制約下で、効用を最大化するように産業の生産する財・サービスの消費量を決定する。なお、労働については、総利用可能時間から余暇時間、交通消費時間を差し引いて求めており、内生的に決定される構造となっている。

ただし、ここでは多数の財を取り扱っているため、それらの消費行動を同時に表すことが困難であった。そこで、階層的にモデル化を行うこととした(図-5)。なお、このモデル化は、Shoven and Whalley(1992)、市岡(1991)によるものを参考としている。まず、第一段階では、当該期の消費量  $H$  と

貯蓄  $C_p$  とを決定し、第二段階では、当該期の消費について、合成財消費  $X$ 、余暇消費  $I$ 、総旅客運輸サービス消費  $T_p$  を決定する。第三段階では、合成財消費について、産業別財消費  $x_j$  と総貨物運輸サービス消費  $T_p$  とを決定し、第四段階にて貨物運輸サービス消費の交通機関選択  $x_j$  (ただし  $j'$  は、個別貨物運輸産業を示す) を決定する。一方、旅客運輸サービスについては、自家用自動車で行う交通トリップも考慮するものとして詳細にモデル化した。特に、土木計画の分野で研究が進められてきたロジットモデルを用いた交通行動分析手法の適用を図った。この点は、節を改めて説明する。



■図-5 家計の財消費行動モデルの概要

(6)-2 財消費行動

第一段階から第四段階までの家計の財消費行動モデルは、いずれも通常の効用最大化問題と同様に定式化される。すなわち、

$$V^l = \max_{x_j'} U^l(x_j')$$

$$\text{s.t. } \sum_j p_j^l x_j^l = M^l$$

のような形となる。

ただし、添字  $l$  は消費の各段階を、また、添字  $j$  は財を表す。この  $j$  は、家計消費の段階によっては、必ずしも産業と対応した形となっていない部分も

あるが、便宜的に  $j$  で表した。  $U^l$  は直接効用関数、

$x_j^l$  は財消費、  $p_j^l$  は財価格、  $M^l$  は所得、  $V^l$  は効用水準を表す。この基本的な効用最大化問題に対し、図-5で示した家計の各段階の財消費行動を対応づけ、具体的な式を示したものが表-1である。ここでは、第一段階、第二段階および第四段階の効用関数をCES型にて、第三段階の効用関数をCobb-Douglas型にて特定化した。さらに、式(15)を解いて得られる最適消費量についてその具体形を示した。

以上の定式化では、所得は時間所得を含む総所得(Full Income)によって定義した。すなわち、家計は総利用可能時間と当該期の資本ストックに基づき決定される総所得を受け取り、それを各財の消費とともに、労働や余暇、交通といった時間に充てるとした。総利用可能時間は、以下のとおりである。

$$\Omega = L_s + S + \sum_m t_m x_m^p$$

ただし、  $L_s$  は労働供給時間、  $S$  は余暇時間、  $t_m$  は

交通機関  $m$  の所要時間、  $x_m^p$  はその旅客運輸サービス消費量を表す。以上より、時間消費も効用最大化問題の枠組みで決定される。

続いて、表-1(pp.26)で得られた最適財消費を各段階の目的関数に代入すると、各段階での効用水準が得られる。

$$V^l = V^l(p_j^l, M^l)$$

なお、これとその上位段階の所得制約式を用いると、上位段階の財価格が当該段階の財価格の関数として導出される。

$$p_j^{l-1} = p_j^l(p_j^l)$$

例えば、第二段階の当該期消費水準  $V^H$  (式(17)に対応)から、その上位の当該期消費価格  $p_H$  を導出する問題を考える。第一段階の予算制約式より以下のように  $p_H$  が与えられる。(15.b)

$$p_H = \frac{M^2}{H}$$

今、第二段階の最適化問題を解いて得られる効用水準  $V^H$  とは、当該期消費から得られる効用水準である。よって、最適化の結果においては、  $V^H$  と  $H$  は同水準と考えても問題はない。よって、効用最大化問題を解いて得られる  $V^H$  を式(19)の  $H$  に代入する

と  $p_H$  が求められる。

以上の第一段階の当該消費価格  $p_H$  を含め、第二段階の合成財価格  $p_X$ 、第三段階の貨物運輸価格  $p_{TF}$  も同様に求められ、その結果を表-2 に示す。

(pp.27)

以上が家計の財消費行動の概要である。なお、家計は貯蓄も行ふ。この家計貯蓄はそのまま投資に回され、次期の資本ストックの蓄積を生む。この貯蓄の決定方法については、近視眼的な仮定を置いているが、後に得られる収益のことを念頭に置いて決定される構造となっている。すなわち、家計が投資し資本ストックを蓄積することによって得る収益と、貯蓄により当該期であきらめなければならない財消費による損失とがバランスするように貯蓄を決定するものとした。これは、以下のバランス式となる。

$$p_K I = p_X C_F$$

ただし、 $I$  は投資量。

式(20)の左辺は、次期以降の利子率も  $p_K$  と期待する家計にとって、投資  $I$  がもたらす収益を表している。また、右辺は貯蓄に伴い当該期にあきらめなければならない消費  $C_F$  について、その価格が合成財価格と等しいとして損失額を示したものである。式(20)を変形すると、

$$p_I I = \left( \frac{p_I p_X}{p_K} \right) C_F$$

となる。ただし、 $p_I$  は投資財価格である。式(21)

では、 $C_F$  の帰属価値が  $\left( \frac{p_I p_X}{p_K} \right)$  によって表される。

よって、これを  $C_F$  の価格  $p_F$  とする。

$$p_F = \frac{p_I p_X}{p_K}$$

式(22)では、利子率が低下すると  $p_F$  が上昇し、投

資(貯蓄)が減少する。これは、利子率によって表される収益率が低下するため、家計が投資を抑制しようとしたものと解釈できる。また、式(22)の分子には、投資財価格および合成財価格がきており、これらが上昇した場合も投資(貯蓄)が減少することとなる。これらは、普通に想像されることである。

こうして、第一段階における貯蓄財価格  $p_F$  が導出され、その効用最大化問題が解ける。そして、ここで求められる貯蓄額 ( $p_F C_F$ ) が、そのまま投資額

( $p_I I$ ) として決定される。この投資は、まず投資財の購入に充てられ、その結果として資本ストックが蓄積されるものとする。投資財の購入は、財  $j$  への支出割合を固定として以下のように表す。

$$x_j^I = \frac{\xi_j \{p_I I\}}{p_j}$$

ただし、 $x_j^I$  は財  $j$  の投資財購入量  $x_j^I$ 、 $\xi_j$  は投資財

支出割合である。また、 $\xi_j$  を用いると、投資財価格

$p_I$  は以下のように与えられる。

$$p_I = \sum_j \xi_j p_j$$

さらに、投資財購入に伴う資本ストックの蓄積量  $\Delta K_s$  は以下となる。

$$\Delta K_s = p_I I$$

### (6) - 3 旅客運輸サービス消費行動

家計の旅客運輸消費は、自動車交通が大きな位置を占める。そこで、本モデルでは、自動車の保有や購入行動のモデル化も行った上で、交通機関ごとの旅客運輸サービス消費を決定する構造とした。この旅客運輸サービス消費行動モデルも、前節と同様、階層的に定式化する。その概要を図-6に示す。(pp.27)

ここでは、まず前期までに自家用自動車を保有しているか否かによって家計を分ける。自動車保有家計は、そのまま自家用自動車を含めた交通機関から機関選択を行い、機関別旅客運輸サービス消費を決定する。一方、自動車(22)を保有していない家計は、まず新規に自動車を購入するかどうかを決定する。そして、新規に自動車を購入するとした家計は、車種選択を行う。ここでの車種は、従来の自動車に加え、本モデルで導入を図った低公害車の

二種類を考える。こうして、自家用自動車を購入した家計は、自動車を含めた交通機関から、また購入しなかった家計は、自動車を除いた交通機関から機関選択を行い、機関別旅客運輸サービス消費を決定する。なお、それらはNested Logitモデルにより定式化する。

以上のモデルの中で、自家用自動車での旅客運輸サービス消費については、家計自らが生産して自らが消費するものとした。そのサービスの生産には、自動車本体と自動車燃料、そして、時間資源が必要であるとする。自動車を中心とした交通モデルでは、自動車の乗り換え行動や中古車市場の考慮についても重要といえる。しかし、ここではモデルが煩雑になることを避け、それらを固定的に扱われる減耗により考慮することとどめている。この点での精緻化は、今後の課題としたい。

続いて、以上述べた家計行動について、その定式化を具体的に示す。ここでも、家計は効用最大化行動をとるものとする。ただし、通常の効用最大化ではなく、期待効用にエントロピー項を加えたものの最大化とする。なお、実際の定式化では、効用関数に相当する部分を価格変数によって置き換え、以下のような期待費用の最小化問題として記述した。

$$q_h = \min_{P_m^l} \left[ \sum_m P_m^l q_m - \frac{1}{\theta^l} \sum_m P_m^l \ln P_m^l \right]$$

$$\text{s.t. } \sum_m P_m^l = 1$$

ただし、 $P_m^l$ は $l$ 段階で対象とする選択確率、 $q_m$ は交通一般化価格、 $\theta^l$ はロジットパラメータである。また、添字 $m$ は、たとえば交通機関を表すものと考えれば良い。

式(26)を解くと、選択確率がロジットモデルにより求められる。

$$P_m^l = \frac{\exp(\theta^l q_m)}{\sum_m \exp(\theta^l q_m)}$$

また、式(27)を式(26.a)の目的関数に代入すると、ログサム変数として最小期待交通一般化価格が得られる。

$$q_h = \frac{1}{\theta^l} \ln \sum_m \exp(\theta^l q_m)$$

以上の基本的なエントロピー項を含む期待効用最大化問題に対し、図-6で示した各段階の旅客運輸消費行動を対応づけ、具体的な式の形を示したものが表-3(pp.28)である。

### (7) 政府の行動モデル

政府は、自動車燃料の消費によって排出される二酸化

炭素に対し、炭素税を賦課する。その税収の一部を低公害車の補助に回し、残りは一般財源化し、政府消費に用いるとする。その政府消費によって政府サービスが提供される。この政府消費の財への支出割合を一定とすると、政府の財 $j$ の消費量 $x_j^g$ は以下ようになる。

$$x_j^g = \frac{\zeta_j (\Psi^T + \Psi^S)}{p_j}$$

ただし、 $\zeta_j$ は政府の消費支出割合、 $\Psi^T$ は炭素税収、 $\Psi^S$  ( $\Psi^S < 0$ )は低公害車補助金支給額である。 $\Psi^T$ 、 $\Psi^S$ は式(10)、(14)から以下のように導ける。

$$\Psi^T = \sum_{j'} \left[ \frac{a_{j'}^0}{\eta_{j'}} \left\{ \left( \frac{\alpha_{j'}^L}{\alpha_{j'}^K} \right)^{\alpha_{j'}^L} + \left( \frac{\alpha_{j'}^K}{\alpha_{j'}^L} \right)^{\alpha_{j'}^K} \right\} p_L^{\alpha_{j'}^L} p_K^{\alpha_{j'}^K} \cdot \tau_{j'} \cdot y_{j'} \right]$$

(30.a)

$$\Psi^S = \frac{a_C^0}{\eta_C} \left\{ \left( \frac{\alpha_C^L}{\alpha_C^K} \right)^{\alpha_C^L} + \left( \frac{\alpha_C^K}{\alpha_C^L} \right)^{\alpha_C^K} \right\} p_L^{\alpha_C^L} p_K^{\alpha_C^K} \cdot \tau_C \cdot y_C$$

式(30.a)の添字 $j'$ は、炭素税対象産業を表す。ここでは、ガソリン製造産業と軽油製造産業を考えている。 $\tau_{j'}$ は炭素税率である。式(30.b)の添字 $C$ は、

低公害車製造産業を表す。 $\tau_C$ は補助率を表すが、

補助率は負の税として扱う。これより、 $\Psi^S$ が負値となる。

なお、政府サービスの提供による人々の効用の増分は、簡単化のためサービスの提供に費やされた金額に相当するものとした。

### (8) 市場均衡条件 (27)

本モデルで考慮される市場は、財市場と生産要素市場である。財市場には、中間投入財も含まれ、これを整理すると式(31.a)のような行列で表すことが可能となる。

$$\text{財市場: } \mathbf{y} = [\mathbf{I} \quad \mathbf{2A}]^{-1} \mathbf{x}$$

$$\text{労働市場: } \sum_j L_j = L_s$$

$$\text{資本市場: } \sum_j K_j = K_s$$

ただし、 $\mathbf{y}$ は生産量ベクトル、 $\mathbf{x}$ は最終需要ベクトルである。

最終需要は、家計消費、投資財消費、政府消費からなる。なお、家計消費は表1,3、投資財消費は式(23)、政府

消費は式(29)より求められる。また、 $L_j, K_j$ は労働、資本需要、 $L_s, K_s$ は労働、資本供給を表す。このうち、労働、資本需要は、以下のように表される。

$$L_j = a_j^0 y_j D_{L_j}$$

$$K_j = a_j^0 y_j D_{K_j}$$

なお、 $D_{L_j}, D_{K_j}$ は式(5)、 $y_j$ は式(31.a)より求められる。

また、労働供給は、総利用可能時間から、表-1より求められる余暇消費および旅客運輸に関する交通消費時間を差し引くことにより求められる。

$$L_s = \Omega - l^* - \sum_m l_m^* x_m^*$$

一方、資本供給は、資本減耗を考えた上で、式(25)から得られる前期からの資本ストック蓄積分を加えて求められる。

$$K_s^t = \Delta K_s^{t-1} + (1 - \delta_k) K_s^{t-1}$$

ただし、 $\delta_k$ は資本減耗率。

式(31)の市場均衡条件式の中で、財市場については、式(11)にてすでに均衡価格が導出されている。よって、市場均衡条件として意味を持つものは、生産要素市場のみとなる。なお、これら労働市場、資本市場の条件式を解くには、どちらか一方の市場をニューメレールとする必要があり、ここでは、賃金率をニューメレールとした。

本モデルにおける均衡体系の計算アルゴリズムを図-7(pp.29)に示す。この中の最終的な条件式は、資本市場の非線形方程式である。その均衡解を、Newton法により求めた。Newton法では、利子率が以下の改定ルールにより更新される。

$$r^{(n+1)} = r^{(n)} - \frac{G_K}{\frac{\partial G_K}{\partial r}}$$

ただし、 $n$ は改定の回数、 $r^{(n+1)}$ は改定後の利子率、 $G_K$ は資本の超過需要(=  $\sum_j K_j - K_s$ )。

なお、 $G_K$ の一階微分は以下のとおりである。

$$\frac{\partial G_K}{\partial r} = \sum_j \frac{\alpha_j^K}{r} D_{K_j}$$

一般均衡体系の解法では、スカーフアルゴリズム等の手法も開発されている。しかし、本研究で実際に数値計算を行った場合も、解の収束等について特に支障は生じなかった。

以上より、市場均衡条件を満たす均衡価格が導出され

る。しかし、このままでは、ニューメレールとした賃金率が動学体系の中で一定となってしまう。これは、運輸サービス消費において、賃金率を時間価値として用いているので問題が生じる。そこで、全ての期で合成財価格が基準年価格と一致するように賃金率を再決定した。これにより、合成財価格すなわち物価水準が一定の下で、賃金率、利子率を変化させて決定することができる。

### 3.4 二酸化炭素排出量の導出と

#### 市場経済的不便益の定義

(33)

続いて、炭素税政策を実行した場合の効果と市場経済に与える影響を、本研究で構築したモデルを用いて明らかとする。

本研究では、自動車燃料の消費量に、二酸化炭素排出原単位を乗じることにより二酸化炭素排出量を求め、政策によるその削減量を持つ効果とする。具体的には、ガソリン、軽油の各消費量をリットル単位に変換した上で、ガソリン643[gCO<sub>2</sub>/l]、軽油721[gCO<sub>2</sub>/l]とした排出原単位(近藤・森口(1997))を乗じることにより、二酸化炭素排出量を求める。

一方、市場経済に与える影響については、家計効用の変化分を等価的偏差(Equivalent Variation: EV)の概念を用いて計量化することとした。モデルが動学の場合は、EVも資産として扱う必要がある。しかし、ここでは、炭素税収を用いた政府サービスの提供による家計効用の増大分について、各期ごとに家計の便益として計算せざるを得なかった都合上、EVについても各期ごとの家計効用に対し定義することとした。このとき、貯蓄分は、将来時点において消費として顕在化するものであり、二重計算となるため貯蓄分を除いた当該期の消費から得られる家計効用によりEVの定義を行った。なお、当該期消費から得られる家計効用は、表2の第二段階にて既に導出されている。これを用いたEVの定義は、以下のとおりである。

$$V^{H^i}(p_X^B, p_L^B, p_{TP}^B, M^{2B} + EV_i) = V^{H^i}(p_X^A, p_L^A, p_{TP}^A, M^{2A}) \quad (37) \quad (36)$$

ただし、添字A,Bは、それぞれ政策の有無を表す(A:有, B:無)。 $V^H$ は表2にて具体的な形が導出されており、それより式展開すると最終的にEV<sub>i</sub>は以下のようなになる。

$$EV_i = \frac{(\Delta_2^A)^{\frac{1}{\sigma_2-1}} M^{2^A} - (\Delta_2^B)^{\frac{1}{\sigma_2-1}} M^{2^B}}{(\Delta_2^B)^{\frac{1}{\sigma_2-1}}} + (\Psi^T + \Psi^S)$$

なお、 $(\Psi^T + \Psi^S)$ は、政府の純税収入である。ここでは、この税収額だけ政府サービスの提供により家計の効用が増大すると仮定しているため、税収額を加えている。ここで、炭素税の導入は、一般には家計の効用を下げると思われる。よって、式(37)の $EV_i$ の第一項はマイナスとなる。しかし、政府の税収分が付加されるため、 $EV_i$ の符号を理論的に確定することはできない。

総等価的偏差(TEV)は、求められた $EV_i$ の現在価値換算の総和をとることにより求められる。

$$TEV = \sum_i \frac{EV_i}{(1+i)^t}$$

ただし、 $i$ は社会的割引率。

### 3.5 炭素税導入の経済評価(数値計算)

#### (1) データセットの作成とパラメータ推定

本節では、DOGEモデルを用いて、炭素税導入に伴う効果と影響の計量評価を行う。ただし、

■表-4 生産関数のパラメータ設定

	効率パラメータ	分配パラメータ		生産容量 比率
		労働	資本	
農林水産業・製造業	378.74	0.7448	0.2552	0.3402
ガソリン自動車製造産業	683.76	0.8171	0.1829	0.1787
ディーゼル自動車製造産業	683.76	0.8171	0.1829	0.1787
低公害車製造産業	683.76	0.8171	0.1829	0.1787
揮発油生産産業	55.05	0.5274	0.4726	0.5156
軽油生産産業	55.05	0.5274	0.4726	0.5156
電力・ガス・水道	75.62	0.5616	0.4384	0.4457
商業	674.38	0.8154	0.1846	0.6681
金融・保険	258.41	0.6997	0.3003	0.6118
不動産	0.54	0.0811	0.9189	0.8030
鉄道旅客輸送	538.40	0.7874	0.2126	0.3756
道路旅客輸送	2037.13	0.9683	0.0317	0.7346
自家用旅客自動車輸送	0.00	0.0000	0.0000	0.0000
航空輸送	2382.59	0.9987	0.0013	0.3151
鉄道貨物輸送	2026.82	0.9674	0.0326	0.4140
道路貨物輸送	1705.08	0.9404	0.0596	0.6429
自家用貨物自動車輸送	0.00	0.0000	0.0000	0.0000
水運	900.42	0.8523	0.1477	0.3569
通信・放送	454.94	0.7668	0.2332	0.5867
公務	2367.96	0.9969	0.0031	0.6609
サービス業	643.85	0.8096	0.1904	0.5592

■表-5 効用関数のパラメータ設定 (38)

		投資消費	政府消費
・第一段階			
代替弾力性	1.113	0.815	0.010
現在消費	0.796	0.033	0.000
将来消費	0.204	0.006	0.000
・第二段階			
代替弾力性	0.8	0.000	0.000
合成財	0.617	-0.000	0.000
余暇	0.252	-0.000	0.000
総旅客運輸	0.131	0.000	0.024
・第三段階			
農林水産業・製造業	0.144	0.075	0.000
電力・ガス・水道	0.015	0.000	0.000
商業	0.198	0.000	0.000
金融・保険	0.015	0.000	0.000
不動産	0.134	0.000	0.000
総貨物運輸	0.021	0.000	0.000
通信・放送	0.009	0.000	0.000
公務	0.102	0.000	0.000
サービス業	0.361	0.000	0.000
・第四段階			
代替弾力性	0.8	0.000	0.000
鉄道貨物輸送	0.0053	0.000	0.000
道路貨物輸送	0.7683	0.000	0.000
自家用貨物輸送	0.0000	0.000	0.000
水運	0.2265	0.000	0.000
		総利用可能時間	291,807 [百万時間]
		1995年資本ストック量	583,138,500 [10億円]
		資本減耗率	0.09734

そのためには、モデルの各関数のパラメータを決める必要がある。ここでは、キャリブレーションと呼ばれる手法により、パラメータを設定した。キャリブレーション手法とは、まず基準年を設定し、その年のデータセットを作成する。そして、作成されたデータセットを厳密に再現するようにパラメータを決定する方法である。この方法では、決定されたパラメータについて、統計的な検討を行うことは不可能であるが、比較的容易にパラメータが決められるため、応用一般均衡モデルではよく用いられる。

本研究では、1995年を基準年とした。まず、経済関係のデータセットは、「平成7年(1995年)産業連関表」を用いた。この中で、貯蓄、投資に関わる部分は、「国民経済計算書」を補完的に用いた。また、余暇時間については、NHK放送文化研究所の「日本人の生活時間」から、労働/余暇時間比(=0.877)を用いて、余暇時間費用を推計した。

以上のデータセットより、生産関数、効用関数のパラメータが決定される。その結果を表4, 5に示す。ただし、CES効用関数の中の代替弾力性は、既存研究(市岡(1991))による値を用いた。

産業連関表の運輸産業や自動車燃料製造産業の生産量と対応する旅客・貨物輸送量(人キロ・トンキロ)や自動車燃料消費量(リットル)の交通データは「道路交通経済要覧」「運輸経済統計要覧」より作成した。各交通機関の所要時間は、いくつかの資料を参照し、機関ごとの平均速度等から推計した。以上の交通関係データセットと、別途外生的に設定した旅客運輸サービス消費に関わる価格弾力値から、旅客運輸サービス消費行動モデルのロジ

ットパラメータが決定される。すなわち、まずロジットモデルから価格弾力性 $e$ を誘導する。

$$e = - \frac{\theta^j}{q_m} (x_p \cdot P_m^j)^2 (1 - P_m^j)$$

ただし、 $P_m^j = \frac{\exp(\theta^j q_m)}{\sum_m \exp(\theta^j q_m)}$ 、 $x_p$ は第1段階の上位

の交通消費量であり、ロジットパラメータの決定に際しては、固定として扱う。価格弾力性は、金本(2001)によるレビューを参考に設定した(表-6)。これより式(40)は、ロジットパラメータ $\theta^j$ のみが未知数となるため、 $\theta^j$ が一意に決定される。こうして、旅客運輸サービス消費行動モデルのロジットパラメータがそれぞれ求められる。

■表-6 旅客運輸消費における価格弾力性

非自動車機関選択	-0.1
自動車機関選択	-0.3
自動車購入車種選択(高/低)	-0.1
自動車購入	-0.1

■表-7 旅客運輸消費における

価格弾力性ロジットパラメータ

ロジットパラメータ 定数項	新規購入	車種選択	交通機関選択	
			非保有者	保有者
	-0.0018	-0.00014	-0.107	-0.072
	0.790	5.179	1.969	-1.928

### (2) 将来シミュレーション (政策無)

前項で設定されたパラメータの下で、政策無の状態での将来シミュレーションを実施した。その結果を、図-8から10に示す。(pp.30~31)

国内総生産は、若干過大推計となっているが、自動車の輸送量については、トレンドをある程度表現できていると思われる。ただし、自動車交通からの二酸化炭素排出量は、2010年時点で1990年比の26.7%増にとどまる結果となった。これは、冒頭で述べた旧運輸省の推計である40%増という予測値と比べると過小である。次節での炭素税に対する政策シミュレーションにおいては、この点を念頭に置いて考察を進めることとする。

### (3) 炭素税政策の設定

炭素税は、ガソリン、軽油の種類に関係なく、二酸化炭素排出量( $gCO_2$ )に対し賦課されるものである。その税額を $T$  (円/ $gCO_2$ )とする。先に示したように、ガソリンの二酸化炭素排出原単位は643 ( $gCO_2/l$ )、軽油は721 ( $gCO_2/l$ )である。よって、排出原単位に $T$  (円/ $gCO_2$ )を乗じることにより、各燃料に対する税賦課額が得られる。なお、DCGEモデルでの計算では、これらの税賦課額を税率に変換して適用した。

ここで、現行の各燃料価格、税額を表-8に示す。現在

は、ガソリンの方が軽油より、税額で見ると22円/lほど高くなっている。本研究では、この現行の燃料税もゼロとし、改めて炭素税のみを賦課することを想定した。

■表-8 現行の自動車燃料価格および税額<sup>(40)</sup>

	ガソリン [円/l]	軽油 [円/l]
現行価格	105.8	81.7
現行税額	58.6	36.1
税抜き価格	47.2	45.6

### (4) 炭素税政策のシミュレーション結果

前節で説明した炭素税額 $T$  (円/ $gCO_2$ )をゼロから徐々に上昇させて、DCGEモデルで計算を行った。なお、政策の開始は2003年とし、一回の動学計算においては、炭素税率は変化させないものとする。ここで、炭素税額がゼロということは、現行の燃料税もゼロとなっていることに注意が必要である。炭素税導入に伴う効果と影響についてのモデルでの計算結果を以下に示す。

#### (4) -1 二酸化炭素排出量削減効果と市場経済的不便益

設定した炭素税額と2010年時点で1990年と比較した二酸化炭素削減率を示したものが図-11である。(pp.31)

図中の①は、市場経済的不便益がゼロとなった状態をとっており、現行の税制を炭素税として見た場合に相当する。そして、②が1990年比で二酸化炭素排出量を17%増に抑制するケース、③が1990年比で二酸化炭素排出量を6%削減するケースである。なお、②は運輸部門の二酸化炭素削減目標、③は国全体での二酸化炭素削減目標である。それぞれ、炭素税額は、①6.2[万円/ $tCO_2$ ]、②8.5[万円/ $tCO_2$ ]、③11.3[万円/ $tCO_2$ ]となっている。ただし、これは現行の税額をゼロとした場合を基準としたものであり、現行と比較した場合②のケースでは2.3[万円/ $tCO_2$ ]、③のケースでは5.1[万円/ $tCO_2$ ]炭素税額を増加させることとなる。各ケースに対応したガソリン、軽油価格は図-12(pp.32)のとおりである。②のケースでは、ガソリン価格は4[円/l]ほどの値下げとなる。

以上の三ケースを含めた炭素税額に対する市場経済的不便益額を示したものが図-13(pp.32)である。②の二酸化炭素排出量を90年比で17%増に抑制した場合、約5,000[億円/年]の不便益が生じ、③の6%削減した場合には、約1.7[兆円/年]の不便益が生じる結果となった。ただし、これらの額の大小については、自動車燃料以外の部門に対しても同様の炭素税を賦課した場合の市場経済的不便益と比較して判断する必要があり、ここで結論を

出すのは早計である。すなわち、それらの比較分析の結果、二酸化炭素削減に対する異部門間での効率性が評価され、その上で改めて本研究にて導出された自動車部門への炭素税政策が実行に値するかを判断すべきと考える。

以上に加え、ここでは炭素税収の一部を低公害車の購入補助へ回すケースも計算を行った。図-13では、その際の市場経済的不便益曲線も示した。炭素税のみを課す場合と比較して、同程度の二酸化炭素排出の削減に対しては、低公害車補助金支給政策は、市場経済的不便益を軽減させることがわかる。すなわち、補助金支給政策によって便益が発生している。その額は、約1,000[億円/年]ほどである。

#### (4)-2 運輸・交通部門への影響

続いて、前節の炭素税導入に対する運輸部門への影響を示す。まず、図-14(pp.33)に炭素税導入の有無に対する2010年時点での交通機関別二酸化炭素排出量の変化率を示した。今回は自動車燃料のみに炭素税を賦課しているにも関わらず、他の交通機関でも二酸化炭素排出量に変化が生じた。これは、炭素税の影響が経済循環の中で波及的影響を及ぼし、他の交通機関の生産量にも影響を与えたものと考えられる。

次に、旅客輸送人キロ、貨物輸送トンキロについて、炭素税導入に対する2010年時点での変化率を交通機関ごとに示した。そのうち、旅客輸送では自家用自動車を、貨物輸送では道路貨物を取り上げ、それぞれ輸送人キロ、輸送トンキロの2003年から2012年までの時系列での変化を示した(図-15, 16, pp.33)。

図-17(pp.34)には、2010年での自動車台数の変化率と自動車燃料の変化率とともに、自動車台数については、ガソリン車台数、ディーゼル車台数の時系列変化を示した。これらのうち、特にディーゼル車の減少率が大きく、さらに年々その減少率が大きくなっていることがわかる。

#### (4)-3 産業・家計部門への影響

炭素税導入に伴う産業別生産量の2010年での変化率を示したものが図-18(pp.35)である。この中では、貨物運輸が最も大きな影響を受けている。これは、炭素税の導入がディーゼル車に強く影響を与えているためだと考えられる。また、サービス・その他の部門の生産量が増加しているのは、政府消費がこれらの部門で多いためである。国内総生産については、2003年から2010年までの時系列変化も示した。

家計消費、貯蓄、効用水準について、炭素税導入に伴う2010年での変化率を示したものが図-19(pp.35)である。

家計消費において、貨物運輸消費の減少率が非常に大きい。また、貯蓄も減少しており、資本ストックの蓄積にも影響を与えるものと考えられる。なお、図-19では同時に、家計が被る損失を表す市場経済的不便益の時系列変化を示した。これを見ると、年々不便益が増大していくことがわかる。

### 3.6 おわりに

本研究では、近年の自動車交通に起因する環境問題に対し、特に温室効果ガスの削減を目的とした炭素税導入に伴う影響を、DCGEモデルを用いて明らかとした。その結果得られた結論は、以下のとおりである。

- ① 運輸部門の温室効果ガスの削減目標 [温室効果ガスを2010年時点で1990年比の17%増に抑制する] を達成するためには、8.5[万円/tCO<sub>2</sub>]の炭素税を課せばよい。ただし、これは現行で課せられている税額を含むものである。このときの市場経済に与える影響は、約5,000[億円/年]の不便益となる。なお、炭素税8.5[万円/tCO<sub>2</sub>]とは、現行のガソリン価格は4[円/1]の値下げ、軽油価格が25[円/1]の値上げに相当する。
- ② 一方、国全体での削減目標 [温室効果ガスを2010年時点で1990年比の6%削減] に対しては、11.3[万円/tCO<sub>2</sub>]の炭素税を課せばよい。このときの市場経済的不便益は約1.7[兆円/年]である。

以上のとおり、本研究では政策導入に伴う市場経済への影響を厚生損失として明らかにできたことが成果である。しかしここでは、自動車交通のみを対象とした炭素税の導入に対する評価にとどまっている。よって、今後は自動車以外の部門への炭素税導入による影響評価も行い、それらを比較した上でどの部門に税を課すことが効率的であるのかを検討することが重要と言える。環境問題といえども、環境負荷を効率的に削減できる部門から削減を進めるべきだと考えられる。なぜなら、非効率な削減を実行した場合、最終的にその負担を負うのは家計だからである。なお、このような観点からの分析にもDCGEモデルは有効となり得る。少なくとも、他の部門への炭素税導入の影響評価については、本研究で用いたモデルをそのまま利用できる。さらに、それらの拡張として、家計の厚生水準が最大となるような各部門ごとの炭素税負担割合を決定する問題が構築できる。これは、正

しくMPEC(均衡制約付き最適化問題)であり、現実問題としても非常に重要であり、今後早急に取り組む必要がある。

運輸省運輸政策局情報管理部(1997),『運輸経済統計要覧』, 運輸経済研究センター。

---

## 参考文献

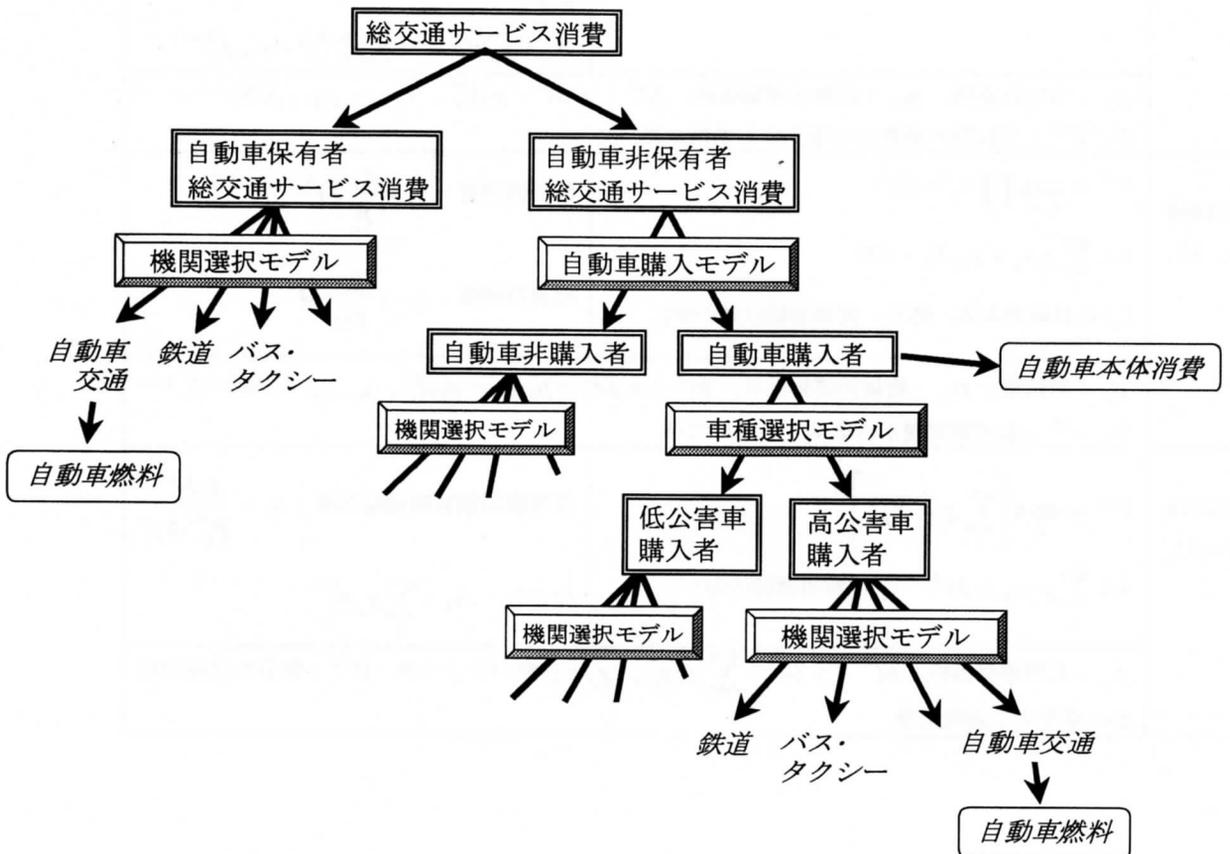
- Bergman, L. (1991), "General Equilibrium Effects of Environmental Policy: A CGE-Modeling Approach," *Environmental and Resource Economics*, 1, 43-61.
- 道路経済研究所, 道路交通経済研究会(1997),『道路交通経済要覧』, ぎょうせい.
- 蓮池勝人(2001),「環境保全のインセンティブ機能を念頭においた自動車関連税制の検討」,『日本交通学会第60回研究報告会概要集』, 117-124.
- 林良嗣, 加藤博和, 上野洋一(1998),「自動車関連税の課税レベルと税関バランスによるCO2削減効果の差異に関する分析」,『運輸政策研究』, Vol.2, No.1, 2-13.
- 市岡修(1991),『応用一般均衡分析』, 有斐閣.
- 伊藤元重, 清野一治, 奥野正寛, 鈴木興太郎(1988),『産業政策の経済分析』, 東京大学出版会.
- Jorgenson, D.W. and Wilcoxon, P.J. (1993), *Energy, the Environment and Economic Growth*, in Kneese, A.V. and Sweeney, J.L. (eds), *Handbooks of Natural Resources and Energy Economics*, Amsterdam: Elsevier, 3, 1267-1349.
- 建設省道路局, (財)日本自動車工業会(1996),『道路ポケットブック』, 全国道路利用者会議, pp.171.
- 近藤美則, 森口祐一(1997),「産業連関表による二酸化炭素の排出原単位」,『国立環境研究所地球環境センター』.
- Shoven, J.B. and Whalley, J. (1992), *Applying General Equilibrium*, Cambridge University Press. (小平裕訳(1993),『応用一般均衡分析—理論と実際』, 東洋新報社.)
- 総務庁(1999),『平成7年産業連関表』, 総務庁.
- 谷下雅義, 鹿島茂(1998),「自動車関連税制が自動車の保有・利用に及ぼす影響の分析」,『土木計画学研究・講演集』, No.21, 267-270.
- 運輸省(1998),『運輸経済年次報告 平成10年度版』, 大蔵省印刷局.

■表-1 家計の財消費行動モデルの定式化

	効用最大化問題	各財消費量
第一段階 ( $l=1$ )	$V = \max_{H, C_F} \left\{ \beta_H^{\frac{1}{\sigma_1}} H^{\sigma_1} + (1 - \beta_H)^{\frac{1}{\sigma_1}} C_F^{\sigma_1} \right\}^{\frac{1}{\sigma_1}}$ <p>s.t. <math>p_H H + p_F C_F = p_L \Omega + p_K K (\equiv M^1)</math></p>	<p>当該消費 : <math>H = \frac{\beta_H M^1}{p_H^{\sigma_1} \Delta_1}</math></p> <p>貯蓄財 : <math>C_F = \frac{(1 - \beta_H) M^1}{p_F^{\sigma_1} \Delta_1}</math></p> <p>ただし,  <math>\Delta_1 = \beta_H p_H^{(1-\sigma_1)} + (1 - \beta_H) p_F^{(1-\sigma_1)}</math></p>
	<p><math>p_H</math> : 当該消費財価格, <math>p_F</math> : 貯蓄価格, <math>\Omega</math> : 総利用可能時間, <math>K</math> : 資本保有量, <math>M^1</math> : 総所得, <math>\beta_H</math> : 分配パラメータ, <math>\sigma_1</math> : 代替弾力性, <math>v_1 = (\sigma_1 - 1) / \sigma_1</math>, <math>V</math> : 効用水準.</p>	
第二段階 ( $l=2$ )	$V^H = \max_{X, S, T_P} \left[ \gamma_X^{\frac{1}{\sigma_2}} X^{\sigma_2} + \gamma_S^{\frac{1}{\sigma_2}} S^{\sigma_2} + \gamma_P^{\frac{1}{\sigma_2}} T_P^{\sigma_2} \right]^{\frac{1}{\sigma_2}}$ <p>s.t. <math>p_X X + p_L S + p_{TP} T_P = M^2</math></p>	<p>合成財消費 : <math>X = \frac{\gamma_X I_D^2}{p_X^{\sigma_2} \Delta_2}</math></p> <p>余暇消費 : <math>S = \frac{\gamma_S I_D^2}{p_L^{\sigma_2} \Delta_2}</math></p> <p>総旅客運輸 : <math>T_P = \frac{\gamma_P I_D^2}{p_{TP}^{\sigma_2} \Delta_2}</math></p> <p>ただし,  <math>\Delta_2 = \gamma_X p_X^{(1-\sigma_2)} + \gamma_S p_L^{(1-\sigma_2)} + \gamma_P p_{TP}^{(1-\sigma_2)}</math></p>
	<p><math>p_X</math> : 合成財価格, <math>p_{TP}</math> : 総旅客運輸価格, <math>M^2 := M^1 - p_F^* C_F^*</math>, <math>\gamma_X, \gamma_S, \gamma_P</math> : 分配パラメータ, <math>V^H</math> : 当該期の消費から享受する効用水準.</p>	
第三段階 ( $l=3$ )	$V^X = \max_{x_j, T_F} \prod_j x_j^{\zeta_j} \cdot T_F^{\zeta_F}$ <p>s.t. <math>\sum_j p_j x_j + p_{TF} T_F = M^3</math></p> <p>(<math>j</math> は自動車本体, 燃料, 貨物運輸以外の財)</p>	<p>個別財消費 : <math>x_j = \frac{\zeta_j}{p_j} M^3</math></p> <p>総貨物運輸 : <math>x_F = \frac{\zeta_F}{p_{TF}} M^3</math></p>
	<p><math>p_j</math> : 財価格, <math>p_{TF}</math> : 総貨物運輸価格, <math>M^3 := M^2 - p_X^* X^* - p_{TP}^* T_P^*</math>, <math>\zeta_j, \zeta_F</math> : 分配パラメータ, <math>V^X</math> : 合成財消費から享受する効用水準.</p>	
第四段階 ( $l=4$ )	$V^{T_F} = \max_{x_j} \left[ \sum_j \chi_j^{\frac{1}{\sigma_4}} x_j^{\sigma_4} \right]^{\frac{1}{\sigma_4}}$ <p>s.t. <math>\sum_j p_j x_j = M^4</math> (<math>j</math> は貨物運輸のみ)</p>	<p>交通機関別貨物運輸消費 : <math>x_j = \frac{\chi_j M^4}{p_j^{\sigma_4} \Delta_4}</math></p> <p>ただし, <math>\Delta_4 = \sum_j \chi_j p_j^{(1-\sigma_4)}</math></p>
	<p><math>p_j</math> : 貨物運輸価格, <math>M^4 := M^3 - \sum_j p_j^* x_j^*</math>, <math>\chi_j</math> : 分配パラメータ, <math>V^{T_F}</math> : 総貨物運輸消費から享受する効用水準.</p>	

■表-2 家計の効用水準および財価格の導出

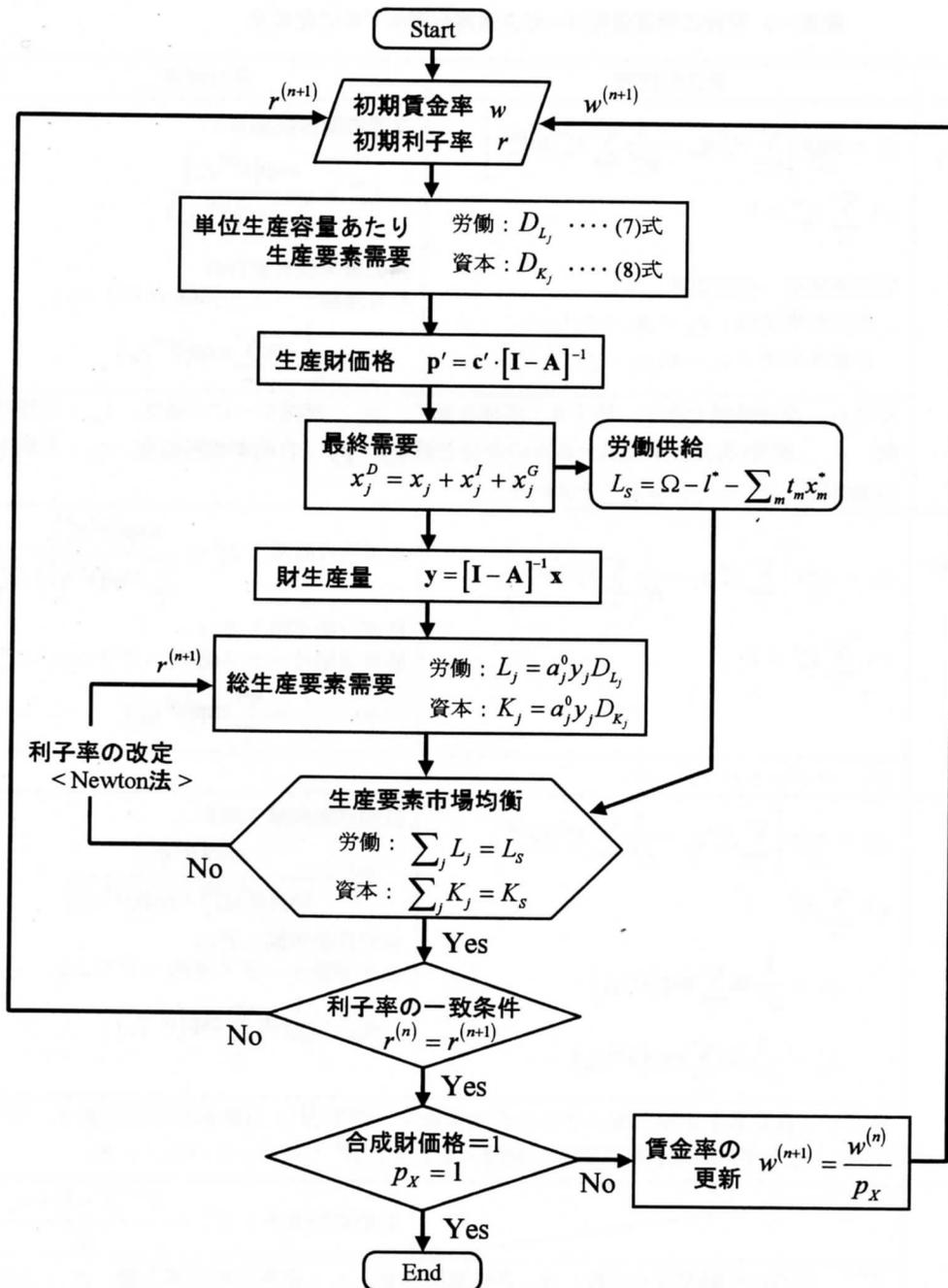
	効用水準	財価格
第一段階 ( $l=1$ )	$V = M^1 \cdot (\Delta_1)^{\frac{1}{\sigma_1-1}}$	現在消費価格: $p_H = (\Delta_2)^{\frac{1}{1-\sigma_2}}$
第二段階 ( $l=2$ )	$V^H = M^2 \cdot (\Delta_2)^{\frac{1}{\sigma_2-1}}$	合成財価格: $p_X = \prod_j \left( \frac{p_j}{\zeta_j} \right)^{\zeta_j} \left( \frac{p_{TF}}{\zeta_F} \right)^{\zeta_F}$
第三段階 ( $l=3$ )	$V^X = M^3 \cdot \prod_j \left( \frac{\zeta_j}{p_j} \right)^{\zeta_j} \left( \frac{\zeta_F}{p_{TF}} \right)^{\zeta_F}$	総貨物運輸価格: $p_F = (\Delta_4)^{\frac{1}{1-\sigma_4}}$
第四段階 ( $l=4$ )	$V^{TF} = M^4 \cdot (\Delta_4)^{\frac{1}{\sigma_4-1}}$	



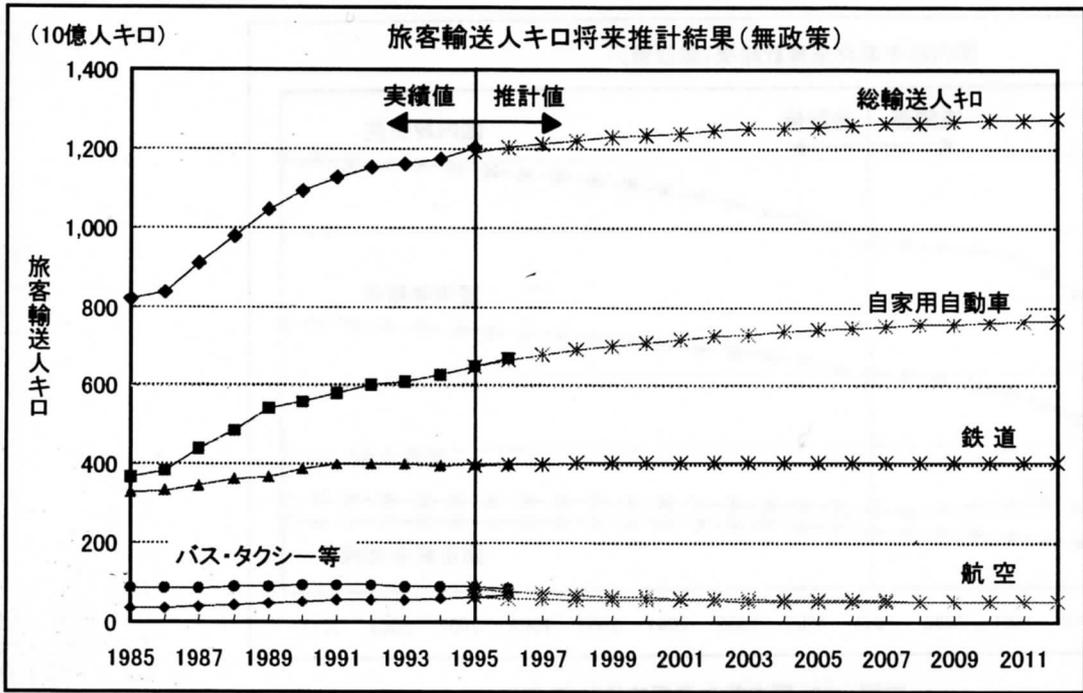
■図-6 旅客運輸サービス消費行動モデルの概要

■表-3 家計の旅客運輸サービス消費行動モデルの定式化

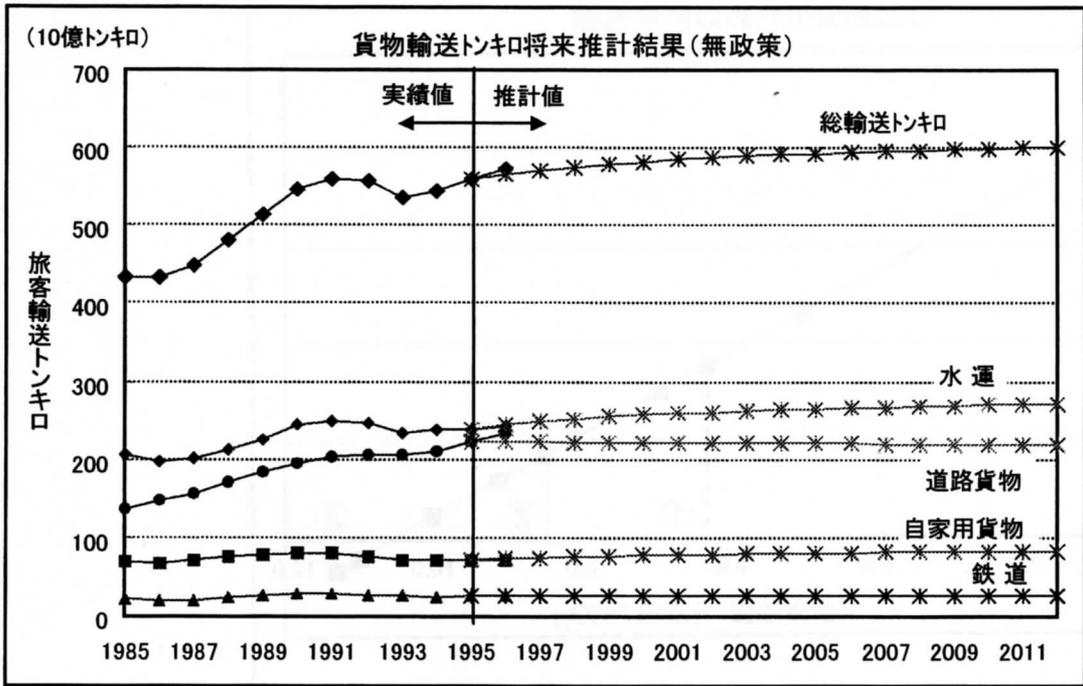
段階	最適化問題	各分担率
自動車(車種 $h$ ) 保有家計の 交通機関選択	$q_h = \min_{P_m^M} \left[ \sum_m P_m^M q_m - \frac{1}{\theta^M} \sum_m P_m^M \ln P_m^M \right]$ $\text{s.t. } \sum_m P_m^M = 1$ <p>交通機関別一般化価格                      非自動車交通: <math>q_m = p_m + p_L t_m</math>                      自動車交通: <math>q_h = \kappa_h p_F + p_L t_h</math></p>	交通機関選択確率: $P_m^M = \frac{\exp(\theta^M q_m)}{\sum_m \exp(\theta^M q_m)}$ <p>高公害車保有家計の                      旅客運輸サービス価格(ログサム):  <math display="block">q_h = \frac{1}{\theta^M} \ln \sum_m \exp(\theta^M q_m)</math></p>
添字 $m$ : 交通機関を表す, 添字 $h$ : 車種を表す, $p_m$ : 運輸サービス価格, $t_m$ : 所要時間, $\kappa_A$ : 燃費(低公害車は高公害車の半分と設定), $p_F$ : 自動車燃料価格, $t_A$ : 自動車所要時間, $\theta^M$ : ロジットパラメータ.		
自動車購入にお ける 車種選択	$q_B = \min_{P_h^S} \left[ \sum_h P_h^S q_h - \frac{1}{\theta^S} \sum_h P_h^S \ln P_h^S \right]$ $\text{s.t. } \sum_h P_h^S = 1$	車種選択確率: $P_h^S = \frac{\exp(\theta^S q_h^S)}{\sum_h \exp(\theta^S q_h^S)}$ <p>新規自動車購入者の                      旅客運輸サービス価格(ログサム):  <math display="block">q_B = \frac{1}{\theta^S} \ln \sum_h \exp(\theta^S q_h)</math></p>
$\theta^S$ : ロジットパラメータ.		
新規自動車 購入確率	$q_{\bar{H}} = \min_{P_o^B} \left[ \sum_o P_o^B q_o - \frac{1}{\theta^B} \sum_o P_o^B \ln P_o^B \right]$ $\text{s.t. } \sum_o P_o^B = 1$ $q_B = \frac{1}{\theta^S} \ln \sum_h \exp(\theta^S q_h)$ $q_{\bar{B}} = \frac{1}{\theta^M} \ln \sum_m \exp(\theta^M q_m)$	自動車新規購入確率: $P_B^B = \frac{\exp(\theta^B q_B^B)}{\exp(\theta^B q_B^B) + \exp(\theta^B q_{\bar{B}}^B)}$ <p>新規自動車購入者の                      旅客運輸サービス価格(ログサム):  <math display="block">q_{\bar{H}} = \frac{1}{\theta^B} \ln \sum_o \exp(\theta^B q_o)</math></p>
添字 $o$ : 自動車を新規に購入するか否かを表す, 添字 $\bar{H}$ : 自動車非保有を表す, 添字 $B, \bar{B}$ : それぞれ新規自動車購入, 非購入を表す, $\theta^B$ : ロジットパラメータ.		
自動車 保有率		自動車保有率: $P^H = \frac{Z^{t-1}(1-\delta) + x_z}{N}$
$Z^{t-1}$ : 前期の自動車保有台数, $\delta$ : 自動車減耗率, $x_z$ : 新規自動車購入量, $N$ : 人口.		



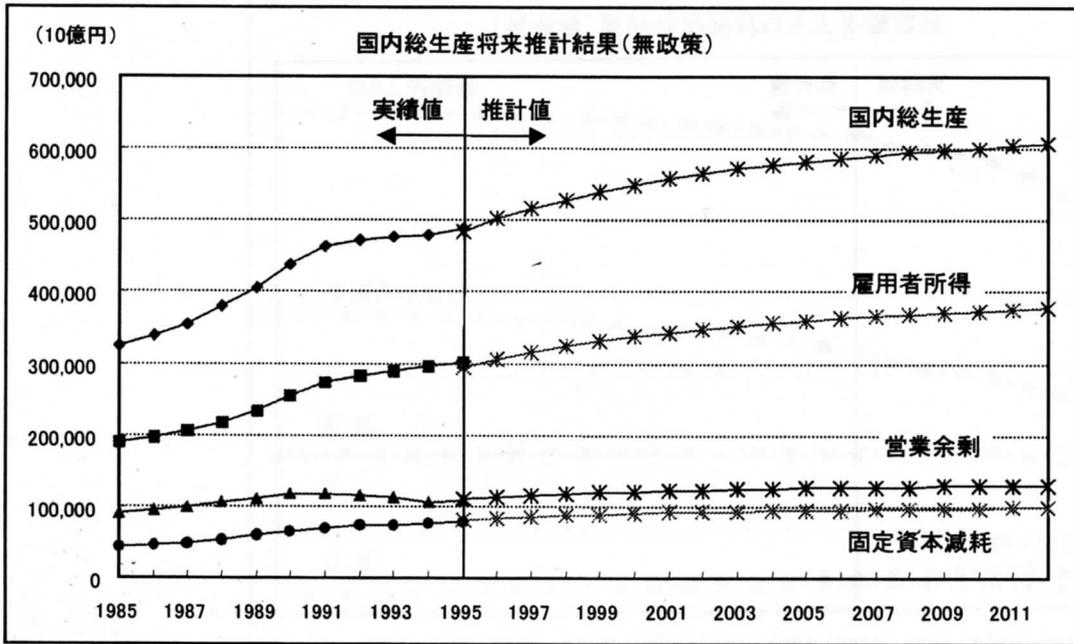
■図-7 均衡計算アルゴリズム



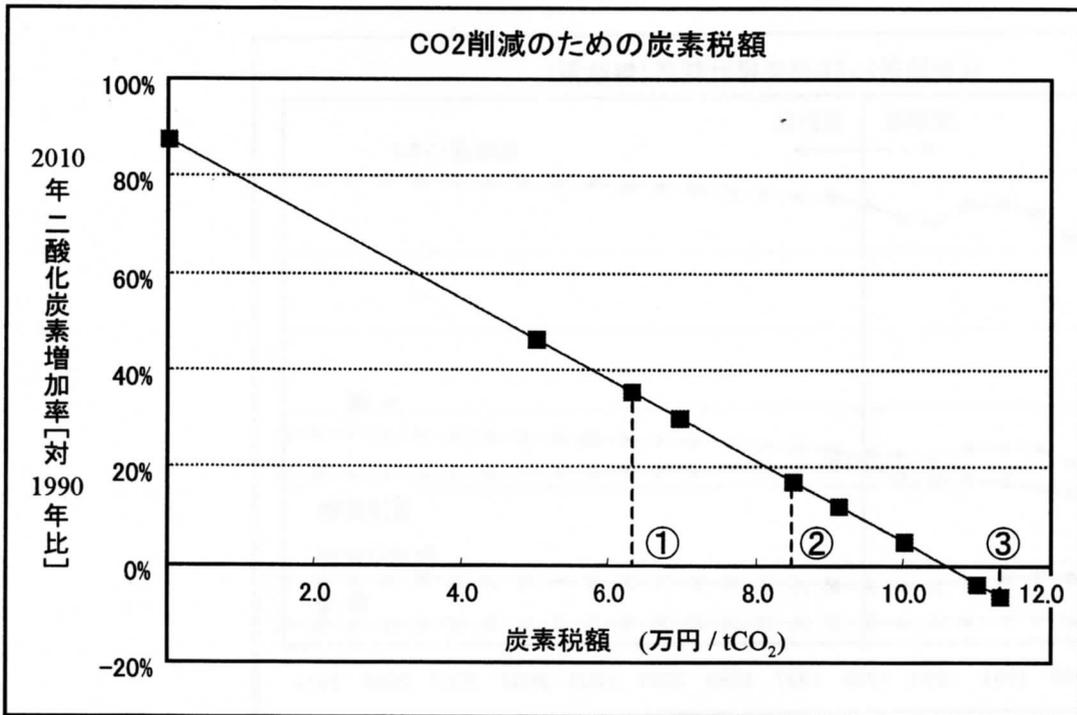
■図-8 輸送人キロ将来推計結果(政策無)



■図-9 輸送トンキロ将来推計結果(政策無)



■図-10 国内総生産将来推計(政策無)



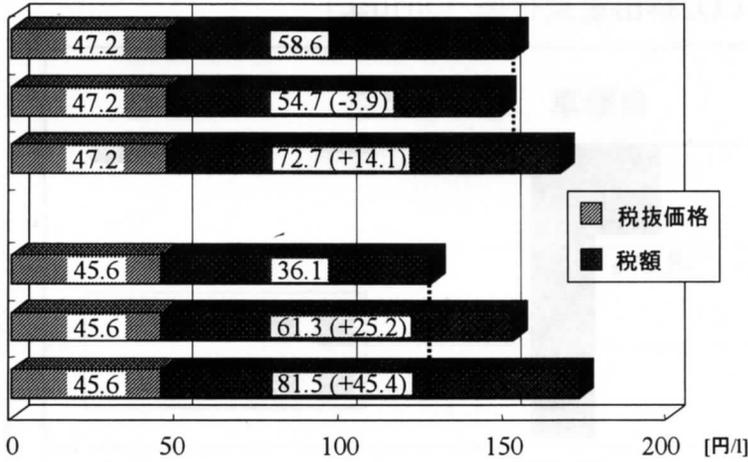
■図-11 炭素税と二酸化炭素排出量の変化率

ガソリン価格

- ① 105.8 [円/l] (現行)
- ② 101.9 [円/l] (-3.9)
- ③ 119.9 [円/l] (+14.1)

軽油価格

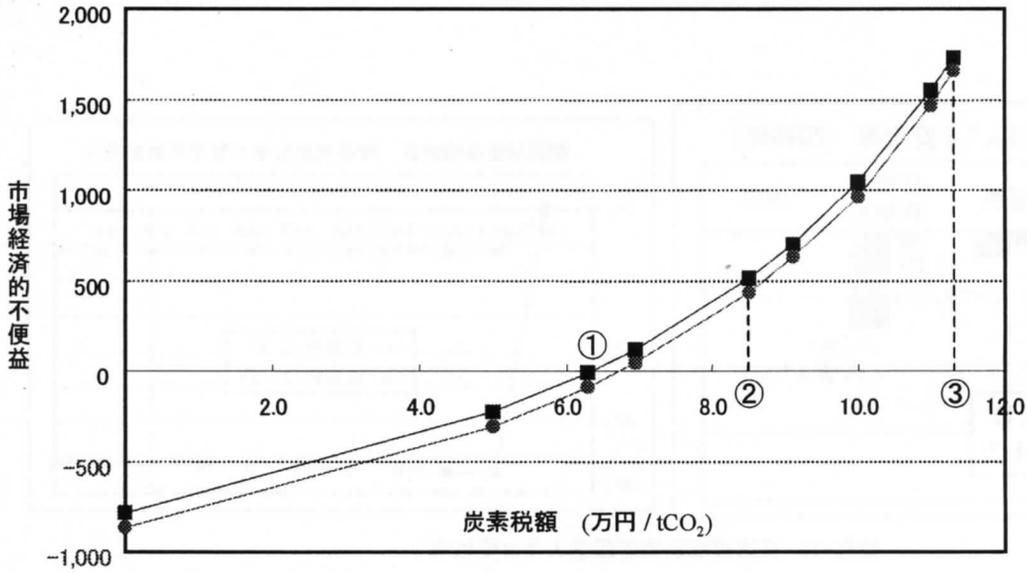
- ① 81.7 [円/l] (現行)
- ② 106.9 [円/l] (+25.2)
- ③ 127.1 [円/l] (+45.4)



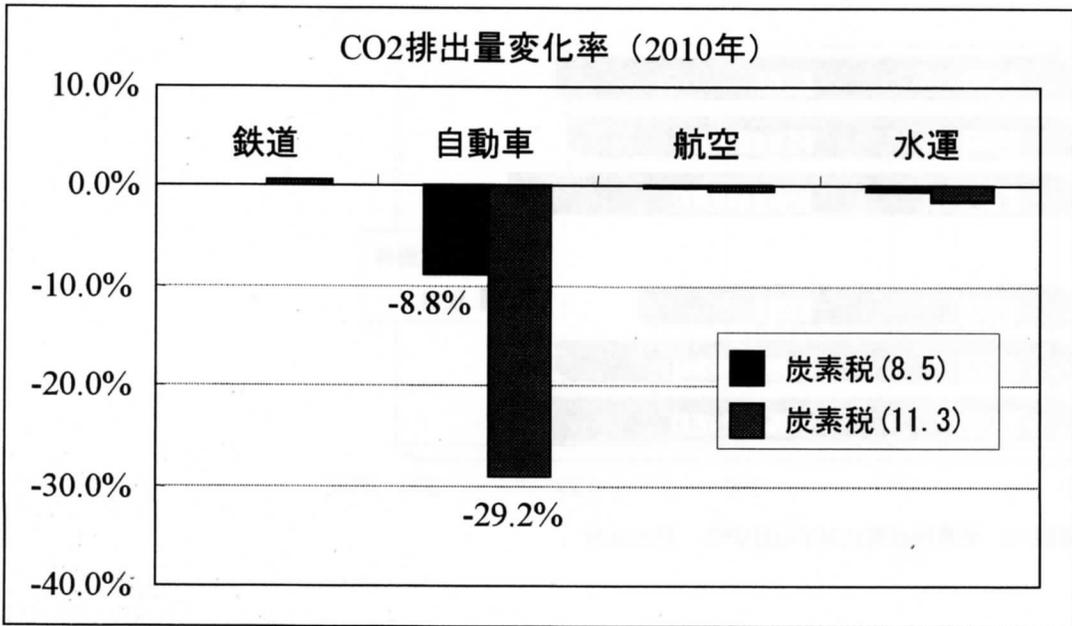
■ 図-12 炭素税政策に対するガソリン、軽油価格

(10億円/年)

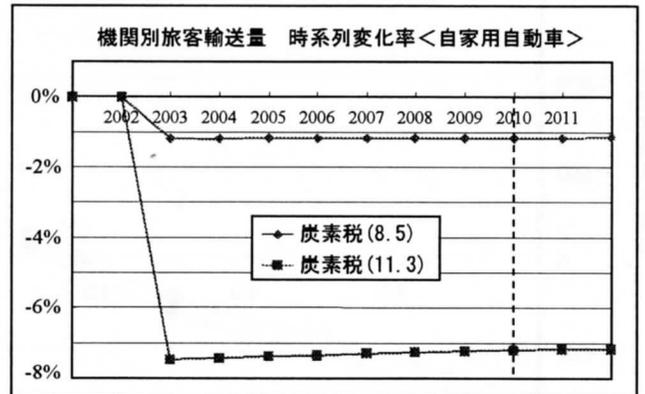
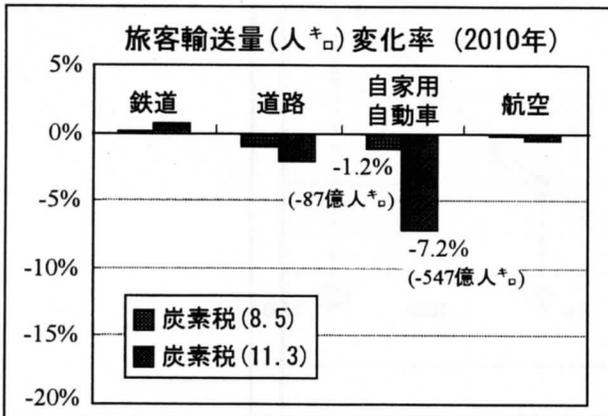
限界市場経済的不便益曲線 (対炭素税額)



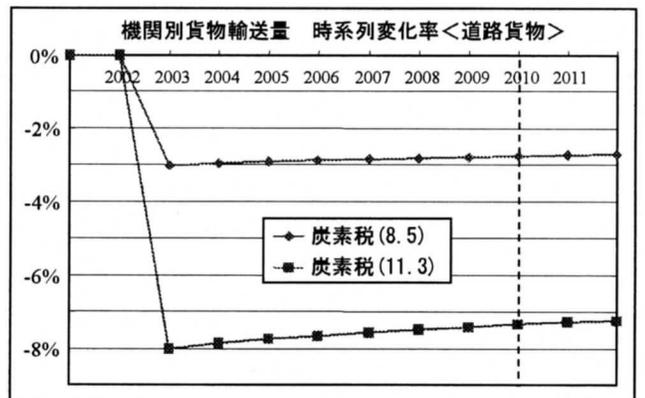
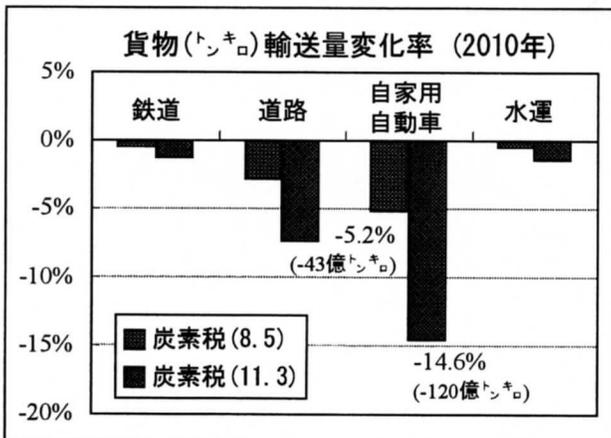
■ 図-13 炭素税に対する市場経済的不便益



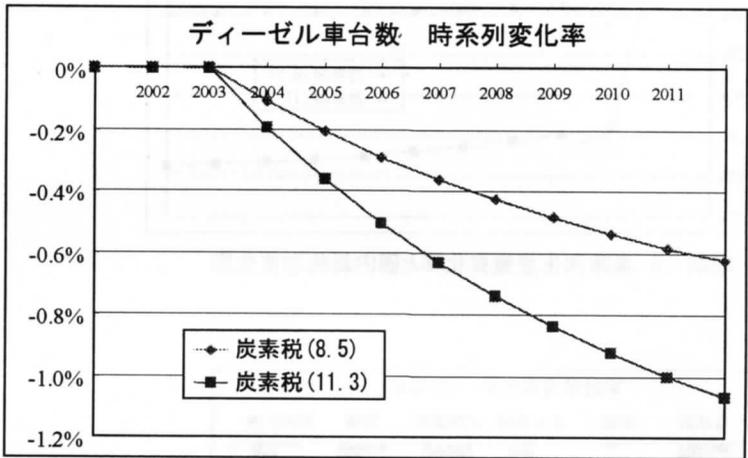
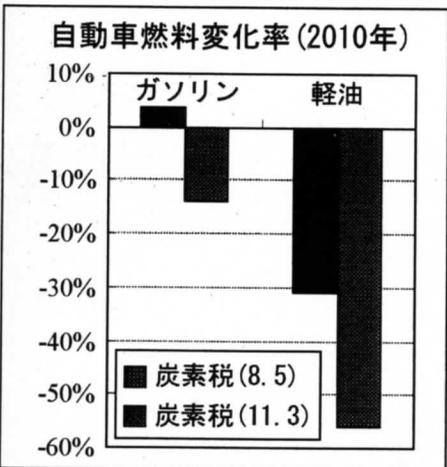
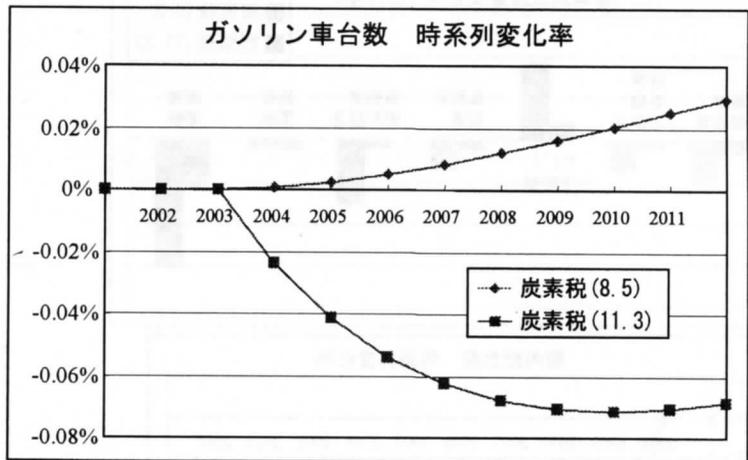
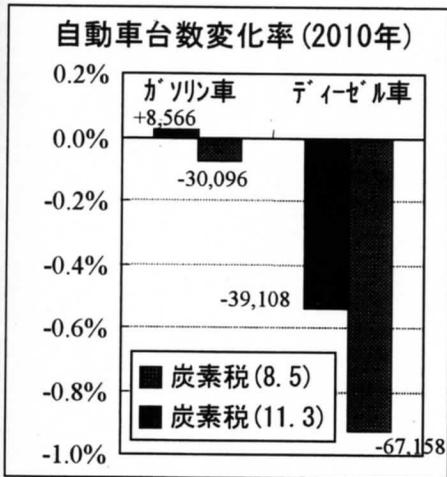
■ 図-14 交通機関別二酸化炭素排出変化



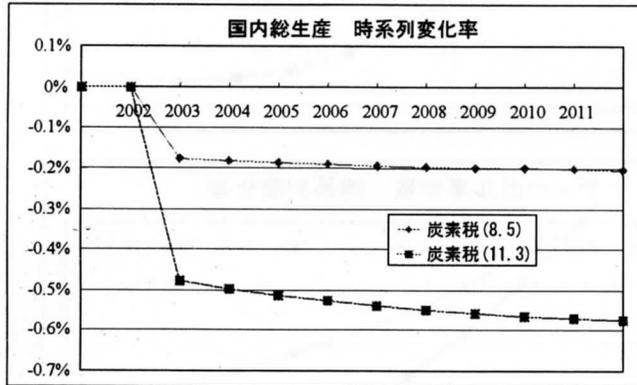
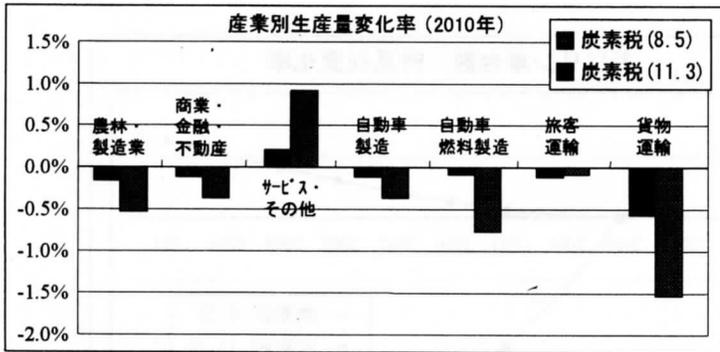
■ 図-15 交通機関別旅客輸送人キロ変化率



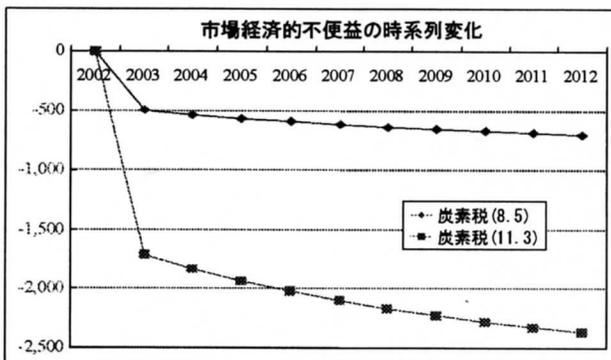
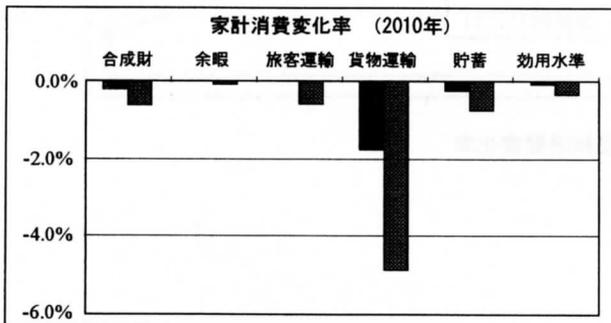
■ 図-16 交通機関別旅客輸送トンキロ変化率



■ 図-17 自動車台数変化率と燃料消費変化率



■ 図-18 産業別生産量変化率と国内総生産変化率



■ 図-19 家計消費変化率と市場経済的不便益

## 4. 地球温暖化ガス排出抑制のための土地利用規制策の経済評価

### 4.1 背景と目的

地球温暖化ガス排出抑制策の早急な実施は当面の重要な課題である。しかし、現在の状況は、いくつかの政策オプションが提示されているだけで、具体的な対策は遅々として進んでいない。この原因として、これまで政策の実施が経済活動に与える負の影響について十分な評価がなされず、政策に対して我々が何をどこまで負担すれば良いのかということが具体的には明らかにされてこなかったため、政策の実施に踏み切れなかったのではないかという点が挙げられる。政策の経済活動への負担とは、例えば本研究で対象とする土地利用規制策を実施した場合、人口や商業施設等があるゾーンに集中するという現象が生じる。これにより、まず当該ゾーンの地代が上昇することによる負担が生じる。また、当該ゾーンより発生する交通に関わる混雑が増すことによっても負担が生じる。このうち、交通への影響は、発生交通量の抑制による温暖化ガスの削減が期待されるが、その場合の住民の負担がいったいどれほどのものであるのかを明らかにすることも一方で重要と言える。もし、住民の負担を考えなかった場合、住民に過度の負担を負わせるような政策を選択するという誤った方向に向かう可能性があるためである。よって、現実問題として温暖化ガスの排出抑制策を考えた場合、政策実施に伴う効果とともに住民の負担についても評価を行うことが肝要といえる。

本研究では、交通部門における地球温暖化ガス排出抑制策を対象とし、住民の負担を計量的に評価した上で、費用便益分析の枠組みで温暖化ガス排出抑制策の有効性を検討することを目的とする。ここでは、筆者らがこれまで構築を進めてきた応用都市経済(Computable Urban Economic: CUE)モデル<sup>1)</sup>の適用を試みる。CUEモデルは、元々交通社会資本の整備効果を評価するために開発を行ったものであるが、それを温暖化ガス抑制策の評価に適用しようとしたものである。CUEモデルでは、交通行動を含めた各種の経済活動からなる個人行動のモデル化および立地選択行動を介して表現される都市構造の変化についても把握することができ、よって、政策が諸経済活動に対してどのような影響・負担を与えるのかが明らかにできる。そして、最終的には

それらの影響を、社会資本整備評価における便益計測の概念を適用して、貨幣タームで評価することが可能である。また、CUEモデルは、岐阜都市圏の交通社会資本整備評価への適用も行って実証分析に対する有用性も確認しており、本研究においても現実的な政策の効果、影響について評価できると考えられる。

本研究では、温暖化ガス排出抑制策として土地利用規制策を取り上げる。通常、これらの政策には、炭素税に代表される税政策の実施が有効とされている<sup>2)</sup>。それにも関わらず、ここで土地利用規制を取り上げたのは、税政策の有効性を否定しようというのではなく、土木工学の立場から、都市計画上の重要な政策である土地利用規制を通して温暖化ガスの排出抑制が行えないかと考え、その有効性の検討を行うこととしたものである。

### 4.2 応用都市経済(CUE)モデルの概要

#### (1) モデルの前提条件

本研究で用いるCUEモデルは、以下の前提条件に基づく。

- 1)ここでは、都市圏レベルの地域を対象とし、それはI個のゾーンに分割されているとする。
- 2)ゾーンには、家計、企業、建物開発者、不在地主が存在する(図-1)。なお、企業は、合成財企業と商業系企業からなるものとする。また、都市圏には一つの地方政府が存在するものとし、その政府が土地利用規制策を行う。
- 3)土地と建物は別個に取り引きされている。また、それぞれ居住用と業務用とを区別して扱う。
- 4)市場は、土地市場、建物市場からなるとし、それぞれ居住用と業務用とにわかれている。

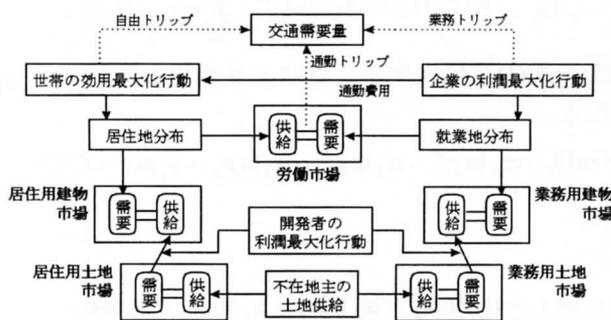


図-1 モデルの経済主体関係図

## (2) 家計の行動モデル

家計は生産要素を提供することにより所得を得て、それを基に、自身の効用が最大化されるように合成財、建物、余暇の消費を行うものとする。ここで、財および余暇を消費する際には、商業系企業が提供するサービスを必要とするものとし、そのサービスを消費するために家計は交通トリップを発生させるとする。この交通トリップが自由トリップと解釈できる。なお、本研究では交通トリップについては、いずれも自動車交通のみを考えている。これら効用最大化行動を以下のように定式化する。ただし、効用関数は、線形対数型にて特定化した。

$$V_i^H = \max_{x_{Z_i}^H, x_{F_i}^H, x_{S_i}^H, l_i} \alpha_Z \ln x_{Z_i}^H + \alpha_F \ln x_{F_i}^H + \alpha_T \ln x_{T_i}^H + \alpha_S \ln x_{S_i}^H + \alpha_l \ln l_i \quad (1a)$$

$$\text{s.t. } x_{Z_i}^H + p_{F_i}^H x_{F_i}^H + q_i^H x_{T_i}^H + p_{S_i}^H x_{S_i}^H + w l_i = w \left[ T - \frac{\sum_{j \in I} n_{ij} t_{ij}}{N_i} \right] \quad (1b)$$

ただし、 $V_i^H$  : ゾーン*i*の家計の効用水準、 $x_{Z_i}^H$  : 価格を1とした合成財の消費量、 $x_{F_i}^H$  : 居住用建物床消費量、 $x_{T_i}^H$  : 自由トリップ消費量、 $x_{S_i}^H$  : 商業系企業サービス消費量、 $l_i$  : 余暇消費量、 $\alpha_Z, \alpha_F, \alpha_T, \alpha_S, \alpha_l$  : 分配パラメータ ( $\alpha_Z + \alpha_F + \alpha_T + \alpha_S + \alpha_l = 1$ )、 $p_{F_i}^H$  : 居住用建物地代、 $q_i^H$  : 自由トリップの一般化価格、 $p_{S_i}^H$  : 商業系企業サービス価格(固定)、 $w$  : 賃金率(固定)、 $T$  : 総利用可能時間(固定)、 $n_{ij}$  : ゾーン*i*に居住しゾーン*j*で就業する家計数、 $t_{ij}$  : *ij*間の交通所要時間、 $N_i$  : ゾーン*i*の家計数。

式(1)を解くと、以下のように各財の消費量が求められる。

$$x_{Z_i}^H = \alpha_Z \Omega_i, \quad x_{F_i}^H = \frac{\alpha_F}{p_{F_i}^H} \Omega_i, \quad x_{T_i}^H = \frac{\alpha_T}{q_i^H} \Omega_i, \\ x_{S_i}^H = \frac{\alpha_S}{p_{S_i}^H} \Omega_i, \quad l_i = \frac{\alpha_l}{w} \Omega_i \quad (2)$$

ただし、 $\Omega_i$  : 家計の総所得  $\left( = w \left[ T - \frac{\sum_{j \in I} n_{ij} t_{ij}}{N_i} \right] \right)$ 。

式(2)を式(1)に代入することにより効用水準が求められる。

$$V_i^H = \ln \Omega_i - \alpha_F \ln p_{F_i}^H - \alpha_T \ln q_i^H - \alpha_S \ln p_{S_i}^H - \alpha_l \ln w + C \quad (3)$$

ただし、

$$C = \alpha_Z \ln \alpha_Z + \alpha_F \ln \alpha_F + \alpha_T \ln \alpha_T + \alpha_S \ln \alpha_S + \alpha_l \ln \alpha_l$$

式(3)は、家計の効用水準が所得 $\Omega_i$ 、居住用建物

地代 $p_{F_i}^H$ 、自由トリップの一般化価格 $q_i^H$ の関数となることを表わしている。よって、包絡線の定理を適用すると効用水準の全微分形が以下のように求められる<sup>3)</sup>。

$$dV_i^H = \lambda \left[ -x_{F_i}^H dp_{F_i}^H - x_{T_i}^H dq_i^H - w \sum_j \frac{n_{ij}}{N_i} dt_{ij} - w \sum_j t_{ij} d \left\{ \frac{n_{ij}}{N_i} \right\} \right] \quad (4)$$

ただし、 $\lambda$  : 式(1)の最適化問題を解く際に用いたラグランジュ乗数。

式(4)は、家計の効用の変化分が、建物地代変化(第一項)、交通一般化価格変化(第二項)、通勤時間変化(第三項)、通勤分布変化(第四項)に分解されることを表している。

次に、家計は式(3)で求められたゾーンごとの効用水準を指標として、居住地のゾーン選択を行うものとする。これを、以下のような選択の基本公式<sup>4)</sup>として表される効用最大化問題により定式化する。

$$S^H = \max_{P_i^H} \left[ \sum_i P_i^H V_i^H - \frac{1}{\theta^H} \sum_i \{ P_i^H \ln P_i^H \} \right] \quad (5a)$$

$$\text{s.t. } \sum_i P_i^H = 1 \quad (5b)$$

ただし、 $S^H$  : 家計の居住地選択における最大期待効用値、 $P_i^H$  : ゾーン*i*の居住地選択確率、 $\theta^H$  : ロジットパラメータ。

式(5)を解くことにより、居住地選択確率が以下のようなロジットモデルにより与えられる。

$$P_i^H = \frac{\exp \theta^H V_i^H}{\sum_i \exp \theta^H V_i^H} \quad (6)$$

さらに、式(6)を式(5)に代入すると、最大期待効用値が求められる。

$$S^H = \frac{1}{\theta^H} \ln \sum_i \exp \theta^H V_i^H \quad (7)$$

## (3) 企業の行動モデル

### a) 合成財企業の行動モデル

合成財企業は、建物と業務トリップ、労働を投入して、生産技術制約の下で利潤が最大となるように生産を行っているものとする。なお、ここでは生産関数をコブ=ダグラス型技術により特定化した。

$$\Pi_i^M = \max_{y_i^M, x_{F_i}^M, L_i^M} \left[ y_i^M - p_{F_i}^M x_{F_i}^M - q_i^M x_{T_i}^M - w L_i^M \right] \quad (8a)$$

$$\text{s.t. } y_i^M = \eta^M \left\{ x_{F_i}^M \right\}^{\beta_F^M} \left\{ x_{T_i}^M \right\}^{\beta_T^M} \left\{ L_i^M \right\}^{\beta_L^M} \quad (8b)$$

ただし、 $y_i^M$  : 合成財生産量、 $x_{F_i}^M$  : 業務用建物床投入量、 $x_{T_i}^M$  : 業務トリップ投入量、 $L_i^M$  : 労働投

入量,  $p_{F_i}^M$ : 業務用建物地代,  $q_i^M$ : 業務トリップの一般化価格,  $\eta^M, \beta_F^M, \beta_T^M, \beta_L^M$ : パラメータ.

式(8)を解くことにより, 合成財企業が投入する建物床, 業務トリップ, 労働投入量が求められる.

$$x_{F_i}^M = \left[ \frac{y_i^M}{\eta^M} \left\{ \frac{\beta_F^M q_i^M}{\beta_T^M p_{F_i}^M} \right\}^{\beta_T^M} \left\{ \frac{\beta_F^M w}{\beta_L^M p_{F_i}^M} \right\}^{\beta_L^M} \right]^{\frac{1}{\beta_F^M + \beta_T^M + \beta_L^M}} \quad (9a)$$

$$x_{T_i}^M = \left[ \frac{y_i^M}{\eta^M} \left\{ \frac{\beta_T^M w}{\beta_L^M q_i^M} \right\}^{\beta_L^M} \left\{ \frac{\beta_T^M p_{F_i}^M}{\beta_F^M q_i^M} \right\}^{\beta_F^M} \right]^{\frac{1}{\beta_F^M + \beta_T^M + \beta_L^M}} \quad (9b)$$

$$L_i^M = \left[ \frac{y_i^M}{\eta^M} \left\{ \frac{\beta_L^M p_{F_i}^M}{\beta_F^M w} \right\}^{\beta_F^M} \left\{ \frac{\beta_L^M q_i^M}{\beta_T^M w} \right\}^{\beta_T^M} \right]^{\frac{1}{\beta_F^M + \beta_T^M + \beta_L^M}} \quad (9c)$$

なお, 式(9)中の供給関数は以下の通りである.

$$y_i^M = \left[ \frac{\beta_F^M + \beta_T^M + \beta_L^M}{c_i^M} \right]^{\frac{\beta_F^M + \beta_T^M + \beta_L^M}{1 - (\beta_F^M + \beta_T^M + \beta_L^M)}} \quad (10a)$$

ただし,

$$c_i^M = \left[ \frac{1}{\eta^M} \left\{ p_{F_i}^M \right\}^{\beta_F^M} \left\{ q_i^M \right\}^{\beta_T^M} \left\{ w \right\}^{\beta_L^M} \right]^{\frac{1}{\beta_F^M + \beta_T^M + \beta_L^M}} \left[ x_{F_i}^M + x_{T_i}^M + L_i^M \right] \quad (10b)$$

式(9),(10)を式(8)に代入することにより, 利潤関数が求められる.

$$\Pi_i^M = \Pi_i^M(p_{F_i}^M, q_i^M) \quad (11)$$

式(11)に包絡線の定理を適用することにより, 利潤  $\Pi_i^M$  の全微分形が導出される.

$$d\Pi_i^M = -x_{F_i}^M dp_{F_i}^M - x_{T_i}^M dq_i^M \quad (12)$$

## b) 商業系企業の行動モデル

商業系企業は, 家計が発生させる自由トリップの集中交通量により決定される商業サービス需要を満たすという制約の下でサービスの生産を行うものとする. その行動は, 費用最小化問題により定式化する. ただし, 生産活動には建物と業務トリップ, 労働が投入されるものとした. なお, 生産関数はコブ=ダグラス型技術により特定化した.

$$C_i^S = \min_{x_{F_i}^S, x_{T_i}^S, L_i^S} \left[ p_{F_i}^S x_{F_i}^S + q_i^S x_{T_i}^S + w L_i^S \right] \quad (13a)$$

$$\text{s.t. } \eta^S \left\{ x_{F_i}^S \right\}^{\beta_F^S} \left\{ x_{T_i}^S \right\}^{\beta_T^S} \left\{ L_i^S \right\}^{\beta_L^S} = y_i^S = \left[ \zeta \cdot \sum_j x_{T_j}^H \right] \quad (13b)$$

ただし,  $x_{T_j}^H$ : ゾーン  $j$  から  $i$  への自由トリップ数,  $C_i^S$ : 商業系企業の生産費用,  $x_{F_i}^S$ : 商業系企業業務用建物床投入量,  $x_{T_i}^S$ : 商業系企業業務トリップ投

入量,  $L_i^S$ : 商業系企業労働投入量,  $p_{F_i}^S$ : 商業系企業業務用建物地代,  $q_i^S$ : 商業系企業業務トリップ一般化価格,  $y_i^S$ : 商業サービス生産量,  $\eta^S, \beta_F^S, \beta_T^S, \beta_L^S$ : パラメータ,  $\zeta$ : 自由トリップ集中量の商業サービス生産量換算係数.

式(13)を解くことにより, 商業系企業が投入する建物床, 業務トリップ, 労働投入量が求められる.

$$x_{F_i}^S = \left[ \frac{y_i^S}{\eta^S} \left\{ \frac{\beta_A^S q_i^S}{\beta_X^S p_{F_i}^S} \right\}^{\beta_X^S} \left\{ \frac{\beta_A^S w}{\beta_L^S p_{F_i}^S} \right\}^{\beta_L^S} \right]^{\frac{1}{\beta_A^S + \beta_X^S + \beta_L^S}} \quad (14a)$$

$$x_{T_i}^S = \left[ \frac{y_i^S}{\eta^S} \left\{ \frac{\beta_X^S w}{\beta_L^S q_i^S} \right\}^{\beta_L^S} \left\{ \frac{\beta_X^S p_{F_i}^S}{\beta_A^S q_i^S} \right\}^{\beta_A^S} \right]^{\frac{1}{\beta_A^S + \beta_X^S + \beta_L^S}} \quad (14b)$$

(14b)

$$L_i^S = \left[ \frac{y_i^S}{\eta^S} \left\{ \frac{\beta_L^S p_{F_i}^S}{\beta_A^S w} \right\}^{\beta_A^S} \left\{ \frac{\beta_L^S q_i^S}{\beta_X^S w} \right\}^{\beta_X^S} \right]^{\frac{1}{\beta_A^S + \beta_X^S + \beta_L^S}} \quad (14c)$$

式(14)中の供給関数は以下の通りである.

$$y_i^S = \left[ p_S \frac{\beta_A^S + \beta_X^S + \beta_L^S}{c_i^S} \right]^{\frac{\beta_A^S + \beta_X^S + \beta_L^S}{1 - (\beta_A^S + \beta_X^S + \beta_L^S)}} \quad (15a)$$

ただし,

$$c_i^S = \left[ \frac{1}{\eta^S} \left\{ p_{F_i}^S \right\}^{\beta_A^S} \left\{ q_i^S \right\}^{\beta_X^S} \left\{ w \right\}^{\beta_L^S} \right]^{\frac{1}{\beta_A^S + \beta_X^S + \beta_L^S}} \left[ x_{F_i}^S + x_{T_i}^S + L_i^S \right] \quad (15b)$$

式(14),(15)を式(13)の目的関数に代入することにより, 生産費用  $C_i^S$  が求められる. さらに, 以下の式より利潤が求められる.

$$\Pi_i^S = p_S y_i^S - C_i^S(p_{F_i}^S, q_i^S) \quad (16)$$

式(16)に包絡線の定理を適用することにより, 利潤  $\Pi_i^S$  の全微分形が導出される.

$$d\Pi_i^S = p_S dy_i^S - x_{F_i}^S dp_{F_i}^S - x_{T_i}^S dq_i^S \quad (17)$$

式(17)の第一項は, 商業系企業の生産量変化による影響を表している. この項が残るのは, 式(13)のモデル化において, 商業系企業はその生産を自らの意思で決定するわけではなく, 自由トリップの集中交通量に応じて決定されるとしたためであり, 外的な要因である自由トリップ集中量の変化による影響が残ったものである.

### c) 企業の立地選択行動モデル

企業の立地選択行動は、先に示した家計の居住地選択行動と同様に定式化できる。ただし、家計のモデルでは効用水準を指標としていた部分を企業では利潤に置き換えて定式化する。なお、本研究では商業系企業のみが立地変更を行うものとする。その結果、その業務地選択確率は以下のように求められる。

$$P_i^S = \frac{\exp \theta^S \Pi_i^S}{\sum_i \exp \theta^S \Pi_i^S} \quad (18)$$

ただし、 $P_i^S$  : ゾーン*i*の業務地選択確率、 $\Pi_i^S$  : 商業系企業の利潤、 $\theta^S$  : ロジットパラメータ。

### (4) 交通行動モデル

自由トリップ、業務トリップ、通勤トリップに関する交通行動モデルの定式化を示す。前節にて求められた家計の自由トリップ消費(式(2))、企業の業務トリップ消費(式(9b)、式(14b))は、正確にはゾーンごとの発生トリップを表している。ここでは、それらに対し、目的地選択および経路選択行動の定式化を行う。まず、目的地選択については、以下のような数理最適化問題により定式化を行う。

$$S^D = \max_{P_{ij}^D} \left[ \sum_j P_{ij}^D \{-q_{ij}^K\} - \frac{1}{\theta^D} \sum_j \{P_{ij}^D \ln P_{ij}^D\} \right] \quad (19a)$$

$$\text{s.t. } \sum_j P_{ij}^D = 1 \quad (19b)$$

ただし、 $P_{ij}^D$  : ゾーン*j*の目的地選択確率、 $q_{ij} = [wt_{ij}]$  : ゾーン*i-j*間の自動車交通一般化価格、 $t_{ij}$  : ゾーン*i-j*間の自動車交通所要時間、 $\theta^D$  : ロジットパラメータ。

式(19)を解くと、目的地選択確率が以下のようにロジットモデルにより求められる。

$$P_{ij}^D = \frac{\exp[\theta^D \cdot \{-q_{ij}^K\}]}{\sum_j \exp[\theta^D \cdot \{-q_{ij}^K\}]} \quad (20)$$

また、最大期待効用値は次のように求められ、これは式(1)におけるゾーン平均交通一般化価格とみなすことができる。

$$q_i = (S_i^D) = \frac{1}{\theta^D} \ln \sum_j \exp[\theta^D \cdot \{-q_{ij}^K\}] \quad (21)$$

式(21)の全微分形は以下ようになる。

$$dq_i = \sum_j \frac{\partial q_i}{\partial q_{ij}} dq_{ij} = w \sum_j P_{ij}^D dt_{ij} \quad (22)$$

次に、経路選択行動に対しては、利用者均衡原理に基づき定式化を行った。それは、以下のような数

理最適化問題により記述される。

$$t_{ij}^{K*} = \min \sum_a \int_0^{x_{ij,a}^K} t_{ij,a}^K(s) ds \quad (23a)$$

$$\text{s.t. } \sum_r h_r^y = x_y, h_r^y \geq 0 \quad (23b)$$

ただし、 $a$  : リンクを表す添字、 $t_{ij,a}^K$  : リンク*a*の所要時間、 $x_{ij,a}^K$  : リンク*a*の交通量、 $h_r^y$  : 経路*r*の交通量。

式(23)にて求められる経路所要時間は任意のODペアにおいて全て等しいはずであるから、この経路所要時間がゾーン間所要時間 $t_{ij}$ となる。

続いて、通勤トリップ分布の導出を示す。立地均衡モデルにおける式(6)および式(18)より、ゾーン*i*の家計数 $N_i$ およびゾーン*j*の企業の従業者数 $E_j$ がそれぞれ以下のように求められる。

$$N_i = P_i^H NT \quad (24a)$$

ただし、 $NT$  : 総家計数 (固定)。

$$E_j = E_j^F + P_j^S ET^S \quad (24b)$$

ただし、 $E_j^F$  : 合成財企業のゾーン*j*の従業者数(固定)、 $ET^S$  : 商業系企業の総従業者数 (固定)。

通勤トリップは、家計数 $N_i$ を発生交通、従業者数 $E_j$ を集中交通と考えて、通常の分布交通量を求める問題として扱うこととする。そこで、二重制約型重力モデル<sup>5)</sup>を用いると以下のように通勤トリップ分布 $n_{ij}$ が求められる。

$$n_{ij} = \mu_i N_i \cdot \nu_j E_j (q_{ij})^{-\rho} \quad (25a)$$

$$\mu_i = \frac{1}{\sum_j \nu_j E_j \cdot (q_{ij})^{-\rho}}, \nu_j = \frac{1}{\sum_i \mu_i N_i \cdot (q_{ij})^{-\rho}} \quad (25a)$$

ただし、 $n_{ij}$  : ゾーン*i*に居住しゾーン*j*にて就業する家計数、 $q_{ij}$  : ゾーン*ij*間の平均交通一般化価格、 $\mu_i, \nu_j$  : 調整パラメータ、 $\rho$  : パラメータ。

### (5) 建物開発者の行動モデル

建物開発者は、資材 $x_{Ki}^D$ と不在地主から提供された土地 $x_{Li}^D$ を投入して、利潤最大化の下で建物を供給しているとする。本モデルでは、建物を居住用と業務用とに区別してモデル化しているが、ここでは居住用建物の供給行動のみを示す。

$$\pi_i^{DH} = \max_{y_{Fi}^{DH}} \left[ p_{Fi}^H y_{Fi}^{DH} - (p_{Li}^H x_{Li}^{DH} + p_{Ki}^H x_{Ki}^{DH}) \right] \quad (26a)$$

$$\text{s.t. } y_{Fi}^{DH} = \eta^{DH} \{x_{Li}^{DH}\}^{\gamma_L} \{x_{Ki}^{DH}\}^{\gamma_K} \quad (26b)$$

ただし、 $y_{Fi}^{DH}$ ：居住用建物床供給量、 $p_{Li}^H$ ：住宅用地代、 $p_K$ ：資材価格(固定)、 $\eta^{DH}$ ：効率パラメータ、 $\gamma_L, \gamma_K$ ：比率パラメータ( $\gamma_L + \gamma_K < 1$ )、 $\pi_i^{DH}$ ：建物開発者の居住用建物供給における利潤。

式(26)を解くことにより、土地投入量、資材投入量が求められる。

$$x_{Li}^{DH} = \left[ \frac{y_{Fi}^{DH}}{\eta^{DH}} \left\{ \frac{\gamma_L p_K}{\gamma_K p_{Li}^H} \right\}^{\gamma_K} \right]^{\frac{1}{\gamma_L + \gamma_K}} \quad (27a)$$

$$x_{Ki}^{DH} = \left[ \frac{y_{Fi}^{DH}}{\eta^{DH}} \left\{ \frac{\gamma_K p_{Li}^H}{\gamma_L p_K} \right\}^{\gamma_L} \right]^{\frac{1}{\gamma_L + \gamma_K}} \quad (27b)$$

式(27)中の供給関数は以下の通りである。

$$y_{Fi}^{DH} = \left[ p_{Fi}^H \frac{\gamma_L + \gamma_K}{c_i^{DH}} \right]^{\frac{\gamma_L + \gamma_K}{1 - (\gamma_L + \gamma_K)}} \quad (28a)$$

ただし、

$$c_i^{DH} = \left[ \frac{1}{\eta^{DH}} \left\{ p_{Li}^H \right\}^{\gamma_L} \left\{ p_K \right\}^{\gamma_K} \right]^{\frac{1}{\gamma_L + \gamma_K}} \cdot \left[ \left( \frac{\gamma_L}{\gamma_K} \right)^{\frac{\gamma_K}{\gamma_L + \gamma_K}} + \left( \frac{\gamma_K}{\gamma_L} \right)^{\frac{\gamma_L}{\gamma_L + \gamma_K}} \right] \quad (28b)$$

式(27),(28)を式(26)に代入することにより、利潤関数が求められる。

$$\pi_i^{DH} = \pi_i^{DH} \left( p_{Fi}^H, p_{Li}^H \right) \quad (29)$$

式(29)に包絡線の定理を適用すると、以下のように利潤  $\pi_i^{DH}$  の全微分形が導出される。

$$d\pi_i^{DH} = y_{Fi}^{DH} dp_{Fi}^H - x_{Li}^{DH} dp_{Li}^H \quad (30)$$

なお、建物開発者は業務用の建物も供給するが、それは居住用のものと全く同様に式展開が可能であるためここでは省略する。ただし、業務用も含めた最終的な建物開発者の総利潤  $\Pi_i^D$  の全微分形について、以下に示す。

$$d\Pi_i^D = d\pi_i^{DH} + d\pi_i^{DF} + d\pi_i^{DS} \quad (31)$$

ただし、 $d\pi_i^{DF}$ ：合成財企業への業務用建物供給による利潤変化、 $d\pi_i^{DS}$ ：商業系企業への業務用建物供給による利潤変化。

なお、重ねて述べるが  $d\pi_i^{DF}$ 、 $d\pi_i^{DS}$  は、式(30)の  $d\pi_i^{DH}$  と全く同様の形で求められる。

## (6) 不在地主の行動モデル

不在地主は、家計、企業へ土地を供給し、地代収入による利潤を得る。その不在地主の土地供給関数を以下のように定式化する。ただし、ここでも居住

用についてのみ示す。

$$y_{Li}^{LH} = \overline{y_{Li}^{LH}} \cdot \left( 1 - \frac{\sigma_i^H}{p_{Li}^H} \right) \quad (32)$$

ただし、 $\overline{y_{Li}^{LH}}$ ：居住用土地供給可能面積、 $\sigma_i^H$ ：パラメータ。

式(32)の () 内は 0~1 までの値をとるものとする。式(32)では、不在地主が供給可能面積  $\overline{y_{Li}^{LH}}$  のうち何割を市場に供給するのかが決定される。さらに説明を加えると、式(32)において、地代が下落すると () 内の値が 0 に近づくため、土地供給量が減少し、地代が上昇すれば () 内の値は 1 に近づくため土地供給量が増加する。一般に、土地の供給は増加することはあっても減少することはないと考えられるが、ここでは住宅地だった場所が空き地や駐車場のよう遊休地になる場合を想定したものである。また、後の土地利用規制策を考えた場合、式(32)の形が有効になることも、このような定式化を行った理由の一つである。

こうして不在地主は、式(32)にて求められる土地を提供して、地代収入を得る。よって、不在地主の利潤は以下ようになる。

$$\pi_i^{LH} = p_{Li}^H \cdot y_{Li}^{LH} \quad (33)$$

式(33)の全微分形は以下のとおりである。

$$d\pi_i^{LH} = y_{Li}^{LH} dp_{Li}^H + p_{Li}^H d\left\{ y_{Li}^{LH} \right\} \quad (34a)$$

$$= y_{Li}^{LH} dp_{Li}^H + p_{Li}^H \left( 1 - \frac{\sigma_i^H}{p_{Li}^H} \right) d\left\{ \overline{y_{Li}^{LH}} \right\} + \frac{\sigma_i^H}{p_{Li}^H} \overline{y_{Li}^{LH}} dp_{Li}^H \quad (34b)$$

式(34)は、不在地主の利潤変化が、地代の変化(第一項)、土地利用規制策を想定した場合の供給可能面積の減少による影響(第二項)、地代変化に伴う土地供給量変化(第三項)により表されることを示している。

なお、不在地主についても建物開発者同様、企業への提供分についても考慮する必要がある。しかし、その展開は家計のそれと同様であるためここでは省略することとし、最終的な不在地主の総利潤  $\Pi_i^L$  の全微分形についてのみ示す。

$$d\Pi_i^L = d\pi_i^{LH} + d\pi_i^{LF} + d\pi_i^{LS} \quad (35)$$

ただし、 $d\pi_i^{LF}$ ：合成財企業への業務用土地供給による利潤変化、 $d\pi_i^{LS}$ ：商業系企業への業務用土地供給による利潤変化。

## (7) 均衡条件

### a) 立地均衡条件

家計の立地選択確率は式(6)にて表される。よって、立地均衡条件は以下ようになる。

$$NT = \sum_i N_i \quad (36)$$

ただし、 $N_i = P_i^H NT$ .

また、商業系企業の業務地選択確率は式(18)にて表され、その立地均衡条件は以下ようになる。

$$ET^S = \sum_j E_j^S \quad (37)$$

ただし、 $E_j^S = P_j^S ET^S$ .

合成財企業は立地を変更しないものとする。

#### b) 市場均衡条件

本モデルで明示的に扱われる市場は建物市場と土地市場である。これらは、それぞれ居住用と業務用とを区別してモデル化を行っており、市場均衡条件は以下のように表される。まず、建物市場については、居住用、業務用それぞれ以下ようになる。

$$y_{Fi}^{DH}(p_{Fi}^H, p_{Li}^H) = N_i \cdot x_{Fi}^H(p_{Fi}^H) \quad (38a)$$

$$y_{Fi}^{DM}(p_{Fi}^M, p_{Li}^M) = E_i^M \cdot x_{Fi}^M(p_{Fi}^M) \quad (38b)$$

$$y_{Fi}^{DS}(p_{Fi}^S, p_{Li}^S) = E_i^S \cdot x_{Fi}^S(p_{Fi}^S) \quad (38c)$$

土地市場については、以下のとおりである。

$$y_{Li}^{LH}(p_{Li}^H) = x_{Li}^{DH}(p_{Fi}^H, p_{Li}^H) \quad (39a)$$

$$y_{Li}^{LM}(p_{Li}^M) = x_{Li}^{DM}(p_{Fi}^M, p_{Li}^M) \quad (39b)$$

$$y_{Li}^{LS}(p_{Li}^S) = x_{Li}^{DS}(p_{Fi}^S, p_{Li}^S) \quad (39c)$$

ただし、 $y_{Fi}^{DM}$ ：合成財企業に対する業務用建物床供給量、 $y_{Fi}^{DS}$ ：商業系企業に対する業務用建物床供給量、 $y_{Li}^{LM}$ ：合成財企業用業務土地供給量、 $x_{Li}^{DM}$ ：合成財企業への業務建物供給のための土地投入量、 $y_{Li}^{LS}$ ：商業系企業用業務土地供給量、 $x_{Li}^{DS}$ ：商業系企業への業務用建物供給のための土地投入量。

式(38)、(39)の()内は、それぞれの関数の価格変数を表している。

### 4.3 土地利用規制策の影響と帰着構成表

ここでは、地球温暖化ガス排出抑制策として、土地利用規制策を取り上げる。これは、家計あるいは商業系企業の立地変更を規制することにより市街地の拡大を抑制し、過度な交通利用を防いで温暖化ガスの排出抑制を図るものである。改めて次章の事例研究において説明するが、本研究では、平成27年までに整備が計画されている道路ネットワークを対象として分析を行う。これらのネットワークが整備された場合、郊外部において交通利便性が上昇

することは容易に想像でき、郊外部への住み替えも進むため、ますます交通利用が増大すると考えられる。このような事態に対し、土地利用規制が温暖化ガスの排出抑制という面でどれほどの効果があるのかを求めようというものである。

ここで取り上げる土地利用規制策は、CUEモデル内では式(32)の土地供給可能面積の値を操作することにより表現する。この供給可能面積への規制を介して、不在地主による土地供給を抑制することができる。その結果、規制対象ゾーンでは地代が上昇することとなり、これに反応して、改めて主体は立地変更するか否かを、式(6)、(18)の立地選択モデルにて決定するわけである。よって、土地利用規制政策が実施された場合、各経済主体は地代の上昇に直面するか、立地の変更をあきらめるか、いずれにしても何らかの負担を強いられることになる。

本章では、そのような主体の負担を、交通社会資本整備評価の際に用いられる便益定義の概念を適用して定量的に求める。さらに、それをいくつかの項目に分解することにより、その不便益が具体的には何によるものであるのかを明らかにする。ここでは、既存の便益計測モデルにしたがって、等価的偏差(EV)の概念を適用して不便益の計測を行う。なお、既存研究では、便益定義の際、ゾーンに依らず決定される非限定EV(NCEV)とゾーンごとに決定されるゾーン別EV(ZCEV)の二種類定義可能であるとされているが、本研究では、ゾーンごとでの政策による主体の不便益が、何に帰着するのかを明らかにすることに焦点を絞り、ZCEVによる定義を用いて分析を進める。よって、式(3)のゾーンごとに決定される効用水準を用いると、規制に伴う家計の不便益ZCEV<sub>i</sub>は以下のように定義される。

$$V_i^H(r_i^A, q_i^A, I_i^A + ZCEV_i) = [V_i^H]^B \quad (40)$$

ただし、添字A, B：政策無、有を表す。

式(40)のZCEV<sub>i</sub>は、支出関数を用いて書き換える

ことが可能である。

$$ZCEV_i = \int_{V_i^{HA}}^{V_i^{HB}} \frac{\partial e_i^H}{\partial V_i^H} dV_i^H \quad (41a)$$

$$= \oint_{A \rightarrow B} \frac{\partial e_i^H}{\partial V_i^H} \lambda \left[ -x_{Fi}^H dp_{Fi}^H - x_{Ti}^H dq_i^H - w \sum_j \frac{n_{ij}}{N_i} dt_{ij} - w \sum_j t_{ij} d \left\{ \frac{n_{ij}}{N_i} \right\} \right] \quad (41b)$$

ただし、 $e_i^H$ ：支出関数。

式(41)の変形には、式(4)の効用関数の全微分形を

用いた。また、式(41b)に式(22)を代入して、

$$ZCEV_i = \oint_{A \rightarrow B} \frac{\partial e_i^H}{\partial V_i^H} \lambda \left[ -x_{F_i}^H dp_{F_i}^H - w \sum_j x_{T_i}^H P_{ij}^D dt_{ij} - w \sum_j \frac{n_{ij}}{N_i} dt_{ij} - w \sum_j t_{ij} d \left\{ \frac{n_{ij}}{N_i} \right\} \right] \quad (42)$$

が得られる。

式(42)は家計一人あたりの不便益であり、ゾーン全体で不便益を求めるためには、人口を乗じる必要がある。しかし、乗じる人口が立地変更前の人口か変更後の人口かという問題が出てくる。これについては、筆者らの既存研究<sup>6)</sup>において立地変更を考慮した便益評価についても検討を行っているが、ここでは簡単化のため、立地変更後の人口を用いて分析を進める。また、ゾーン全体での不便益については、他の主体のそれも考慮する必要がある。ここでは企業、建物開発者および不在地主の利潤変化によって考慮する。以上の結果、ゾーン*i*の総不便益は以下のようなになる。

$$ZNB_i = N_i \cdot ZCEV_i + FEV_i + SEV_i + DEV_i + LEV_i \quad (43)$$

ただし、 $ZNB_i$ ：ゾーン別総便益、 $FEV_i$ ：合成財企業の利潤上昇分、 $SEV_i$ ：商業系企業の利潤上昇分、 $DEV_i$ ：建物開発者の利潤上昇分、 $LEV_i$ ：不在地主の利潤上昇分。

各企業の利潤変化分には、2章にて導出した各利潤関数の全微分形を用いると以下のようなになる。

$$FEV_i = \oint_{A \rightarrow B} \left[ -x_{F_i}^M dp_{F_i}^M - x_{T_i}^M dq_i^M \right] \quad (44a)$$

$$SEV_i = \oint_{A \rightarrow B} \left[ p_S dy_i^S - x_{F_i}^S dp_{F_i}^S - x_{T_i}^S dq_i^S \right] \quad (44b)$$

式(44)に式(22)の交通一般化価格の全微分形を代入する。

$$FEV_i = \oint_{A \rightarrow B} \left[ -x_{F_i}^M dp_{F_i}^M - w \sum_j x_{T_i}^M P_{ij}^D dt_{ij} \right] \quad (45a)$$

$$SEV_i = \oint_{A \rightarrow B} \left[ p_S dy_i^S - x_{F_i}^S dp_{F_i}^S - w \sum_j x_{T_i}^S P_{ij}^D dt_{ij} \right] \quad (45b)$$

また、建物開発者の利潤変化分は、式(30)等により

$$DEV_i = \oint_{A \rightarrow B} \left[ d\pi_i^{DH} + d\pi_i^{DM} + d\pi_i^{DS} \right] \quad (46a)$$

$$= \oint_{A \rightarrow B} \left[ y_{F_i}^{DH} dp_{F_i}^H - x_{L_i}^{DH} dp_{L_i}^H + y_{F_i}^{DM} dp_{F_i}^M - x_{L_i}^{DM} dp_{L_i}^M + y_{F_i}^{DS} dp_{F_i}^S - x_{L_i}^{DS} dp_{L_i}^S \right] \quad (46b)$$

となる。そして、不在地主の利潤変化も、式(34)等を用いて以下のように求められる。

$$LEV_i = \oint_{A \rightarrow B} \left[ d\pi_i^{LH} + d\pi_i^{LM} + d\pi_i^{LS} \right] \quad (47a)$$

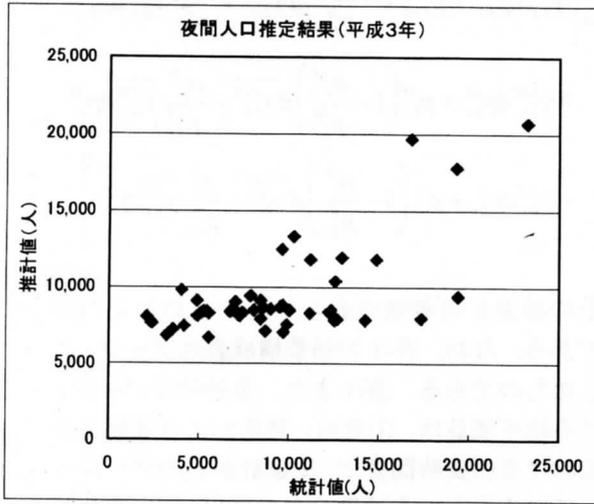
$$= \oint_{A \rightarrow B} \left[ y_{L_i}^{LH} dp_{L_i}^H + p_{L_i}^H \left( 1 - \frac{\sigma_i^H}{P_{L_i}^H} \right) dy_{L_i}^{LH} + \frac{\sigma_i^H}{P_{L_i}^H} y_{L_i}^{LH} dp_{L_i}^H + y_{L_i}^{LM} dp_{L_i}^M + p_{L_i}^M \left( 1 - \frac{\sigma_i^M}{P_{L_i}^M} \right) dy_{L_i}^{LM} + \frac{\sigma_i^M}{P_{L_i}^M} y_{L_i}^{LM} dp_{L_i}^M + y_{L_i}^{LS} dp_{L_i}^S + p_{L_i}^S \left( 1 - \frac{\sigma_i^S}{P_{L_i}^S} \right) dy_{L_i}^{LS} + \frac{\sigma_i^S}{P_{L_i}^S} y_{L_i}^{LS} dp_{L_i}^S \right] \quad (47b)$$

以上の結果を帰着構成表としてまとめたものが表-1である。なお、表-1の帰着構成表はゾーン*i*に着目したものである。表-1より、最終的なゾーン*i*における総不便益は、①自由、業務および通勤トリップにおける所要時間変化、②家計がどのゾーンへ通勤しているかという通勤分布の変化、③商業サービス生産量の変化、④供給可能面積の変化、⑤地代変化に伴う土地供給量変化、の以上五項目による影響からなることがわかる。

#### 4.4 岐阜都市圏での土地利用規制策評価

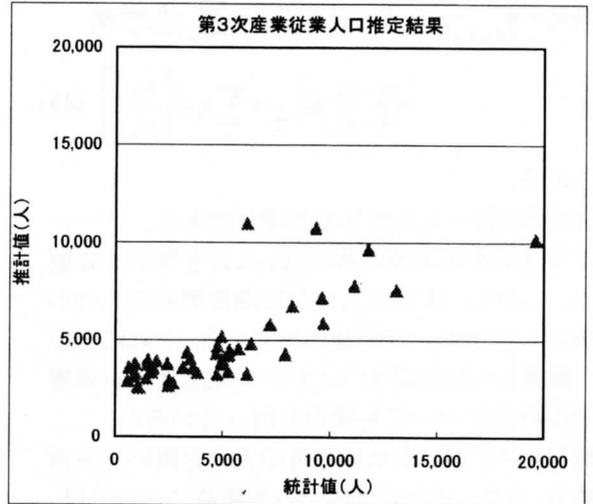
前章までで示した CUE モデルおよび土地利用規制策による社会経済への影響分析を踏まえ、実際に岐阜都市圏を対象として土地利用規制策の影響を計量的に評価する。

実際に、CUE モデルを用いて政策評価を行うためには、各関数のパラメータを決める必要がある。ここでは、1991年時点を基準年として収集したデータセットを作成し、交通行動モデルおよび立地選択モデルは最尤推定法により、また効用関数、生産関数はキャリブレーション手法を適用してパラメータ推定を行った。推定されたパラメータに基づく現況再現性について、紙面の都合上家計居住人口および商業系企業の従業員人口の再現性を、それぞれ図-2、3に示す。この結果を見ると、特に家計の再現性が低い。これは、本モデルでは、立地選択の要因が、自動車交通に関わる利便性のみ依存する構造となっているためと考えられ、今後、公共交通の利便性や下水道等の生活社会資本整備レベル指標等の導入により、再現性を高めていく必要がある。



相関係数 = 0.6429  
 不一致係数 = 0.1746

図-2 家計居住人口の現況再現性



相関係数 = 0.8394  
 不一致係数 = 0.1928

図-3 商業系企業従業人口の現況再現性



図-4 岐阜都市圏と土地利用規制対象エリア

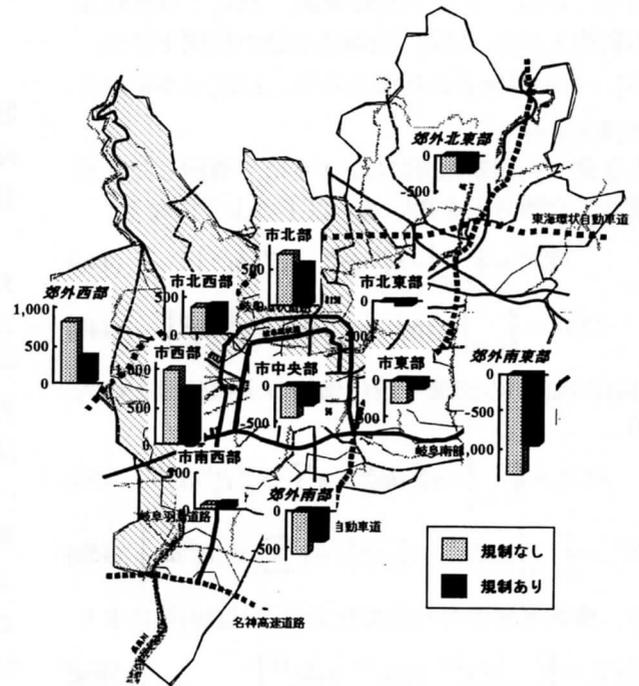


図-5 土地利用規制策による家計数の変化

続いて、ここで想定したシミュレーション分析の概要を示す。ここでは、評価対象年を平成27年とした。ただし、この平成27年とは、現計画において平成27年に完了するとされている道路整備がなされた状態を想定するという意味である。

そこで、平成27年時点で計画されている道路整備事業について有無比較分析を行った後、それらの道路整備によって特に発生交通量が増加した地域に対する土地利用規制策の影響分析を行った。図-4に、対象とした岐阜都市圏とともに、平成27年時点で整備が計画されているものを含めた道路ネットワークと本シミュレーションで想定した土地利用規制策の対象エリアを示した。具体的な規制対象エリアは、岐阜市西部、北部および郊外西部地域であり、それらの地域における土地供給可能面積を、居住用、業務用ともに5%削減するという一律の条件の下で計算を行った。

CUEモデル適用の結果を図-5から8に示す。実際の数値計算では、岐阜都市圏を47ゾーンに分割して計算したが、結果についてはそれらを11の地域に集計化したものによって示す。

図-5には、平成27年時点の道路整備の有無による家計数の変化が、土地利用規制策の有無によってどう変わったのかを示した。まず、図中の規制なしとは、道路整備がなされ土地利用規制がかけられなかった場合を意味しており、純粋な道路整備による効果ということになる。これによれば、平成27年時点での道路整備により、岐阜市西部、北部、北西部および郊外西部にて家計数の増加が認められ、家計にとってはこれらの地域で大きな効果を受けていることがわかる。この結果より、図-4に示したようなエリアに対し土地利用規制をかけることとしたわけであるが、図-5の結果を見ると、道路整備による家計数の増加量が、土地利用規制をかけた地域でのみ減少していることがわかる。それより、家計に対する土地利用規制策は極めて有効に作用していることがわかる。

続いて、商業系企業への影響としてその従業者数の変化を図-6に示した。図の見方は図-5の家計のものと同様である。この結果では、土地利用規制をかけたエリア以外にも従業者数の増加が抑制される地域が認められ、家計の場合と異なる結果となっている。これは、CUEモデルにて行った商業系企業行動のモデル化に起因している。すなわち、本モデルでは商業系企業は家計の自由トリップの集中

交通量に応じて生産を決定するものとした。図-5の結果を見ると、土地利用規制策の実施により、家計が大幅にその立地を変更させている。これより岐阜都市圏全体の交通分布が変わり自由トリップの集中交通量も変化すると考えられる。商業系企業は、このような家計の交通行動変化による影響を被り、土地利用規制が自らの立地選択に及ぼす影響よりその影響が強く作用してしまったものと考えられる。

図-7には、土地利用規制策実施に伴う不便益の計測結果を示した。これを見ると、商業系企業が被る不便益額が、他の主体のものと比較するとかなり大きいことがわかる。しかし、それらを岐阜都市圏全体で合計するとほとんどゼロとなってしまう。結局土地利用規制に伴う影響は、都市圏全体では、ほぼ家計のみに帰着することとなる。その不便益は、8.2(億円/年)となっている。

一方、本研究で想定した土地利用規制策が、地球温暖化ガスの排出抑制にどれほど貢献するのかについては、規制対象エリアにおいて1%強の発生交通トリップの抑制効果が認められた(図-8)。なお、これら郊外地域での発生トリップ抑制は、トリップ長の比較的長い交通を抑制するものと考えられる。そこで、まず数値計算の結果から得られる総走行時間より都市圏全体での自動車交通の総走行距離を推計した。そして、OECDより報告されている<sup>7)</sup>地球温暖化ガス排出に伴う自動車交通の走行距離あたり環境被害原単位[0.52 円/km]を用いて、規制策の有無に対し被害額を算出し、その差額をもって規制による温暖化ガス排出抑制効果とした。それより、5.2(億円/年)の便益が発生する結果となった。

以上の結果では、土地利用規制から被る不便益の方が大きい結果となる。しかし当然ながらこれにより、直ちに土地利用規制策の有効性が否定されるわけではなく、あくまで本数値計算は本研究で一貫して分析を進めてきた土地利用規制策の経済的な影響が、数値上どの程度になるのかを示そうとしたものである。よって、温暖化ガス排出抑制のための、より効果的な土地利用規制策の実施方法については、設定条件を変えることによりさらに分析を行う必要がある。この点は、今後の課題としたい。

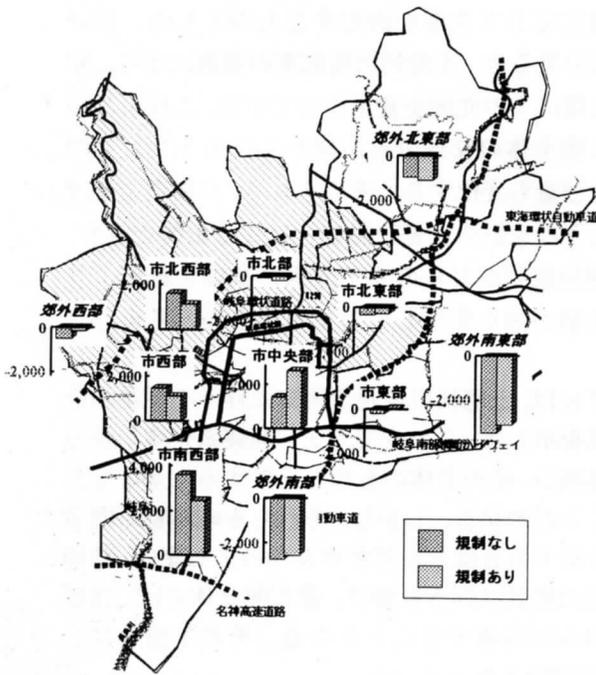


図-6 土地利用規制策による従業者数の変化

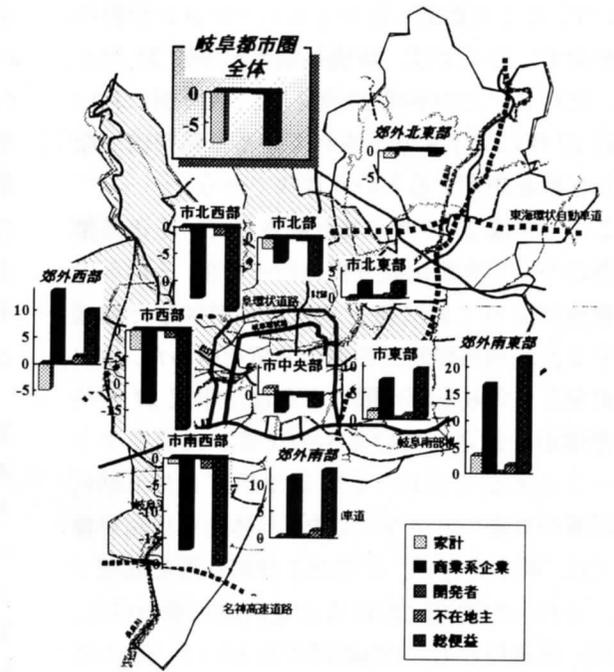


図-7 土地利用規制策による不便益計測結果

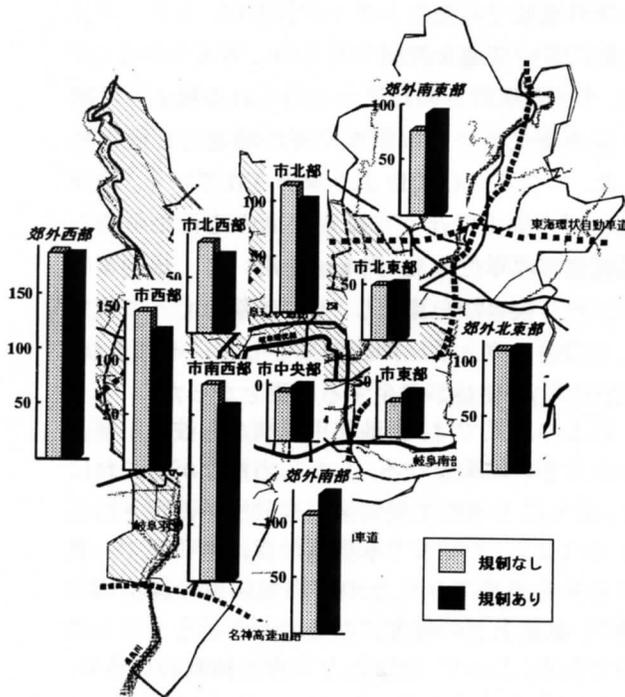


図-8 土地利用規制策による総トリップ発生量の変化

#### 4.5 結論

本研究では、地球温暖化ガス排出抑制策を実施する上で、政策の実施に伴う社会経済への影響も考慮した総合的な観点から政策評価を行うことを目的に、応用都市経済モデルを用いた分析を行った。ここでは土地利用規制策に着目し、その有効性とともに、各経済主体の活動に与える影響について、立地選択行動および交通行動に及ぼす影響を中心に分析を行った。

その成果の一つは、表-1(pp.48)にまとめた帰着構成表の作成である。そこでは、このような分析において従来から指摘されている交通所要時間変化による影響に加え、商業系企業が提供する商業サービス生産と不在地主の土地供給量の変化という供給側に起因する負担が、土地利用規制策の実施に伴い生じること明らかとなった。なお、これらの影響は実際の政策を考えた場合、各主体の立地均衡や市場均衡条件を介して決定されるものである。そこで、岐阜都市圏を対象に数値計算を行い、土地利用規制策が数値的にどの程度の影響すなわち不便益もたらすのかを明らかとした。

その結果、本計算で想定した土地利用規制策の下では、温暖化ガスの抑制に伴い5.2(億円/年)の便益が計上されるものの、市場経済に対しては8.2(億円/

年)の不便益が生じることが示された。ただし、ここでは一パターンの土地利用規制策について数値計算を行ったに留まっている。今後は、さらにパターンを増やして分析を行うことで、より効果的な土地利用規制の実施方法について分析を行うことが必要といえる。

また、本分析は基本的に静学分析の枠組みである。数値計算において、平成27年時点を想定しているが、これは道路ネットワークが変化しただけで、他の条件は変化しておらず、なおかつ土地利用規制策の有無比較分析においては、道路ネットワークも変化しないという条件下で計算を行っている。しかし、このような枠組みの下でも、政策が市場経済に及ぼす影響について、どのような項目から成るのか、さらにそれらが数値的にはどの程度のものであるかを明らかにできた点で意義があったと考えている。ただし、今後他の外的要因等によりダイナミックに変化していく都市構造を考えると、動学分析への拡張が重要な課題となる。

また、ここでは、土地利用規制のみに焦点を絞って分析を進めたが、冒頭でも触れた炭素税等の税制策、あるいは公共交通整備によるモーダルシフト、低公害車の普及など、現在、環境対策において検討されている政策は多岐にわたっている。よって、それらの政策の効果・影響あるいはそれらの政策と土地利用規制策とを組み合わせた場合の効果・影響についても検討していくことも同様に必要である。

---

#### 【参考文献】

- 1) 武藤慎一・秋山孝正・高木朗義(2001): 空間的構造変化を考慮した都市環状道路整備の便益評価, 交通学研究 2000 年研究年報, 日本交通学会, pp.205-214.
- 2) 金本良嗣(2001): 自動車税制と環境政策, 高速道路と自動車, Vol.44, No.7, pp.7-13.
- 3) 森杉壽芳(1997): 社会資本整備の便益評価, 勁草書房, pp.13-41.
- 4) 宮城俊彦(1995): ネスティド・エントロピーモデルとその応用, 土木計画学研究・講演集 No.18(2), pp.163-166.
- 5) 森杉壽芳・宮城俊彦(1996): 都市交通プロジェクトの評価—例題と演習—, コロナ社.
- 6) 武藤慎一・上田孝行・高木朗義・富田貴弘(2000): 応用都市経済モデルによる立地変化を考慮した便益評価に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.17, pp.257-266.

OECD/ECMT(1994): *Internalizing the Social Cost of Transport*, OECD Publications Service.

表-1 ゾーン*i*における帰着構成表

	家計	合成財企業	商業系企業	建物開発者	不在地主	合計
<i>i-j</i> 間所要時間変化(自由・業務トリップ)	$-N_i \cdot w \sum_j x_{Ti}^H P_{ij}^D dt_{ij}$	$-w \sum_j x_{Ti}^M P_{ij}^D dt_{ij}$	$-w \sum_j x_{Ti}^S P_{ij}^D dt_{ij}$			<i>A</i>
通勤時間変化	$-N_i \sum_j w \frac{n_{ij}}{N_i} dt_{ij}$					<i>B</i>
通勤分布変化	$-N_i w \sum_j t_{ij} d \left\{ \frac{n_{ij}}{N_i} \right\}$					<i>C</i>
商業系企業生産量変化		$p_s dy_i^S$				$p_s dy_i^S$
建物地代変化	$-x_{Fi}^H dp_{Fi}^H$	$-x_{Fi}^M dp_{Fi}^M$	$-x_{Fi}^S dp_{Fi}^S$	$y_{Fi}^{DH} dp_{Fi}^H +$ $y_{Fi}^{DM} dp_{Fi}^M +$ $y_{Fi}^{DS} dp_{Fi}^S$		0
地代変化				$-x_{Li}^{DH} dp_{Li}^H$ $-x_{Li}^{DM} dp_{Li}^M$ $-x_{Li}^{DS} dp_{Li}^S$	$y_{Li}^{LH} dp_{Li}^H +$ $y_{Li}^{LM} dp_{Li}^M +$ $y_{Li}^{LS} dp_{Li}^S$	0
土地利用規制による利用可能面積変化					<i>D</i>	<i>D</i>
地代変化による土地供給量変化					<i>E</i>	<i>E</i>
合計	$N_i \cdot ZCEV_i$	$FEV_i$	$SEV_i$	$DEV_i$	$LEV_i$	$ZNB_i$

$$A = -N_i \cdot w \sum_j x_{Ti}^H P_{ij}^D dt_{ij} - w \sum_j x_{Ti}^M P_{ij}^D dt_{ij} - w \sum_j x_{Ti}^S P_{ij}^D dt_{ij}, \quad B = -N_i \sum_j w \frac{n_{ij}}{N_i} dt_{ij}, \quad C = -N_i w \sum_j t_{ij} d \left\{ \frac{n_{ij}}{N_i} \right\}$$

$$D = p_{Li}^H \left( 1 - \frac{\sigma_i^H}{p_{Li}^H} \right) dy_{Li}^{LH} + p_{Li}^M \left( 1 - \frac{\sigma_i^M}{p_{Li}^M} \right) dy_{Li}^{LM} + p_{Li}^S \left( 1 - \frac{\sigma_i^S}{p_{Li}^S} \right) dy_{Li}^{LS}, \quad E = \frac{\sigma_i^H}{p_{Li}^H} y_{Li}^{LH} dp_{Li}^H + \frac{\sigma_i^M}{p_{Li}^M} y_{Li}^{LM} dp_{Li}^M + \frac{\sigma_i^S}{p_{Li}^S} y_{Li}^{LS} dp_{Li}^S$$

## 5. 大規模船社の運賃決定行動を考慮した空間一般均衡モデル

### 5.1 はじめに

従来の国際コンテナ貨物需要予測の基礎となる各国間貿易量の予測は、マクロ要因を変数とした計量経済モデルを基本としているため、港湾整備による輸送条件の改善等の政策評価ができない。最近は特に高度な港湾施設整備が一部で進められ、またそれらを利用する海運業界も再編が進んでいる。これらの状況を踏まえた予測モデルが必要とされている。

地域間(貿易)物流予測の研究は長い歴史を持ち、その手法は、古典的な重力モデル・エントロピーモデルから、地域間産業連関モデル、空間価格均衡モデル、空間応用一般均衡モデル等、様々な研究蓄積がある。特に、空間応用一般均衡モデルは、数多くの適用例があり、多地域間の物流量予測も行われている。しかしながら、国際貿易に関するそれら適用例は、主に関税政策や産業構造変化の影響分析を目的としているため、運輸業者の行動は非常に簡略化されている。運輸関係の政策あるいは変化を分析するためには改良が必要である。

そこで本稿では船社の費用構造と運賃決定要因を明確にした上で、それらを明示的に取り込んだ空間一般均衡モデルを開発することを目的とする。2章では従来の多地域間貿易モデルと、その中心を成す空間一般均衡モデルの最近の動向を考察する。3章では船社の行動を考慮した空間一般均衡モデルの定式化を行う。4章ではモデルを日米EUアジアの4地域に適用し、船社間の競争状態や各種費用の変化の影響を考察する。

### 5.2 従来の地域間物流モデル

#### (1) 重力モデル

地域間流動量を地域のポテンシャルと地域間の輸送抵抗で表現する重力モデルの歴史は古く、Carey(1877)に端を発する。その後、Zipf(1949)、Isard and Bramhall(1960)らによって改良され、Wilson(1970)によってエントロピーモデルが定式化されるに至る。重力モデルは数少ないデータで流動量を予測することができることが利点だが、高い予測精度は期待できない。

#### (2) 地域間産業連関モデル

地域間産業連関分析は、数地域の産業連関表から地域間産業連関表を作成する目的で、Isard(1951)により始められた。その後、Isard and Bramhall(1960)、Leontief and Strout(1963)が重力モデルを統合させる形で発展させた。その後もPolenske(1970)、Batten(1983)らにより改良が進められた。また、産業連関分析の弱点の一つである、プロダクトミックスの問題を解決するため、Oosterhaven(1984)はSNA型地域間産業連関表を導入した。しかし、それらも含め、地域間産業連関モデルは、投入係数や交易係数が固定であること、価格が固定であることが仮定されるため、非常に短期の分析にしか適さない。また、所得(収入)と消費の間の相互依存関係を十分に考慮できないという問題も抱えている。

#### (3) 空間価格均衡モデル

需要関数と供給関数から価格が決定されるマイクロ経済理論に空間概念を導入した空間価格均衡モデルは、Samuelson(1952)、Takayama and Judge(1964,1971)によって展開された。その後、数々の適用例が報告されている。それらはいずれも、需要・供給量、価格の予測については比較的良好だが、地域間交易量の予測精度は低い。これは価格に関して決定論的に需給が決定されるため、同一品目の双方向流動を表現できないことによる。

こうした問題点を解決し、予測精度を高めるため、Batten and Johansson(1985)、Bröcker(1988)、Harker(1988)は分散型価格均衡モデルを構築した。これらは、重力モデルやエントロピーモデルを採用するものであり、行動理論との関係が曖昧である点が問題である。これに対し宮城(1990)はランダム効用理論を採用することにより行動理論との整合性を持つモデルを提案している。

#### (4) 空間一般均衡モデル

空間一般均衡(SCGE)モデルは、生産要素や生産された財の市場における需給均衡点を求めることにより、多地域の各地域における生産、消費、政府行動等を推定するものである。一般均衡モデルが計算可能となったのは、Scarf(1967,1973)の功績によるが、SCGEモデルは多地域の様々なデータが必要であり、実際に適用され始めたのは最近のことであ

る。先駆者である Liew and Liew (1984)は地域間産業連関表を利用した SCGE モデルを作成し、河川整備による水運コスト削減の影響分析を行った。しかし運輸業の活動と輸送コストとの関係において矛盾が生じているとの指摘がある。

SCGEモデルはある外的変化の影響を、企業、家計、その他諸々の主体の行動変化を通じた地域的波及を考察することができる。その他のモデルと異なり、影響が及ぶであろう範囲を全地域の全主体に拡大され、より理論的に整合性の高いモデルとなっており、地域間産業連関モデルが抱える諸問題も解決される。従って、長距離基幹航路における国際海上コンテナ貨物需要予測には、SCGEを基本としたモデルが最も適していると思われる。

### 5.3 多地域一般均衡モデルの定式化

#### (1) モデルの仮定

ここでは Whalley (1985)を参考に、船社の行動を組み込んだモデルの定式化を行う。定式化に当たり、以下のような仮定を置く。

- ・ 国際運賃・保険を船社の収入とする。
- ・ 船社の投入構造を示す項目は国際産業連関表に含まれていない。そこで、船社の投入構造を示す項目は輸出の項目に含まれていると仮定し、船社の生産額の合計を輸出の各地域各産業への投入割合と同じ割合で振り分けて、輸出の項目から分離させて船社の投入構造を表すことにする。
- ・ 各地域は港湾を一つだけ持つ。各地域間においては、港湾を通して相互に財取引が行われる。
- ・ 生産要素は労働と資本を考える。生産要素の地域外への移動はない。労働は産業間を自由に移動できるが、資本は産業間の移動はできない。
- ・ 経済主体としては企業、家計、政府が各地域に存在し、国際輸送を一手に担う船社を1社考える。船社に対する需要は派生需要のみからなる。政府は法人税、所得税を徴収し、それを原資として政府支出を行う。
- ・ 同一財であっても生産地が異なれば別の財と見なす。(Arminton 仮定)
- ・ 各地域間の輸送費は需要に応じた競争状態を考慮した運賃算定式によって与えられる。
- ・ 自地域内での輸送費は、船社の利潤が0となるように調整され決定される。

- ・ 最終需要項目としては家計消費支出、政府支出、固定資本形成、在庫純増を考える。
- ・ 船社と R.O.W.の生産の変化は産業間の投入比率を固定して、投入構造を示す船社の項目と輸出の項目へ振り分けられる。
- ・ 間接税、在庫純増、統計誤差は額を固定する。

R.O.W.の価格は1に固定する。

#### (2) 企業行動

s地域の産業jの生産関数は、資本投入 $K_j^s$ 、労働投入 $L_j^s$ を生産要素とするCES型関数として(1)式のように与えられるものとする。中間投入に関しては、r地域産のi財の投入量 $x_{ij}^s$ 、その投入係数 $a_{ij}^s$ を用いて(2)式のように与えられるものとする。各パラメータや価格が求まる。ここで、国内財と輸入財に関しては、CES型関数により不完全代替性を考慮している。(6)式は各産業の費用最小化問題の一階条件から導かれる。基準均衡状態においてすべての財と生産要素の価格を1と仮定すると、(7)式が得られる。

$$V_j^s = v_j^s \left[ \varphi_j^s (K_j^s)^{(\sigma_j^s-1)/\sigma_j^s} + (1-\varphi_j^s)(L_j^s)^{(\sigma_j^s-1)/\sigma_j^s} \right]^{\sigma_j^s/(\sigma_j^s-1)} \quad (1)$$

$$X_j^s = \min \left( \frac{V_j^s}{a_{Vj}^s}, \frac{x_{1j}^s}{a_{1j}^s}, \dots, \frac{x_{ij}^s}{a_{ij}^s}, \dots, \frac{x_{Nj}^s}{a_{Nj}^s} \right) \quad (2)$$

$$X_j^s = \sum_i a_{ij}^s X_j^s + y_j^s \quad (3)$$

$$x_{ij}^s = a_{ij}^s X_j^s \quad (4)$$

$$a_{ij}^s = \left[ \sum_r \beta_{ij}^{rs} (a_{ij}^{rs})^{(\theta_j^s-1)/\theta_j^s} \right]^{\theta_j^s/(\theta_j^s-1)} \quad (5)$$

$$\varphi_j^s = \frac{\left( \frac{K_j^s}{L_j^s} \right)^{1/\sigma_j^s}}{\left[ 1 + \left( \frac{K_j^s}{L_j^s} \right)^{1/\sigma_j^s} \right]} \quad (6)$$

$$v_j^s = \frac{K_j^s + L_j^s}{\left[ \varphi_j^s (K_j^s)^{(\sigma_j^s-1)/\sigma_j^s} + (1-\varphi_j^s)(L_j^s)^{(\sigma_j^s-1)/\sigma_j^s} \right]^{\sigma_j^s/(\sigma_j^s-1)}} \quad (7)$$

$$p_j^s = \frac{1}{X_j^s} \left( \sum_i \sum_r q_{ij}^{rs} x_{ij}^{rs} + \rho_j^s K_j^s + \omega^s L_j^s \right) \quad (8)$$

$$x_{ij}^{rs} = a_{ij}^{rs} X_j^s \quad (9)$$

$x_{ij}^{rs}$  : s 地域 j 産業における r 地域産 i 財の投入量

$a_{ij}^{rs}$  : 投入係数

$K_j^s, L_j^s$  : s 地域 j 産業における資本投入量, 労働投入量

$p_j^s, q_i^{rs}$  : 生産者価格, 消費者価格

$\sigma, \theta$  : 代替弾力性パラメータ

$\rho_j^s, \omega^s$  : 資本レント, 労働賃金率

### (3) 家計行動

s 地域に居住する家計は財の消費に依存する効用を最大にするように行動する。したがって、家計行動モデルは所得制約の下での効用最大化行動として定式化できる。

$$\max U^s = \prod_i \left( \prod_r (y_{ik}^{rs})^{\beta_{ik}^s} \right) \quad (10)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_i \sum_r q_{ik}^{rs} y_{ik}^{rs} \leq W_k^s$$

$$\sum_k \sum_i \sum_r \beta_{ik}^s = 1$$

$y_{ik}^s$  : r 地域産 i 財の s 地域最終需要項目 k の消費量

$W_k^s$  : s 地域最終需要項目 k の消費支出

(k = 1: 家計消費支出, 2: 政府消費支出, 3: 固定資本形成, 4: 在庫純増)

$\beta$  : 購入比率を表す分配パラメータ

家計に関して上記の効用最大化問題を解くと以下のようなになる。

$$y_{ii}^{rs} = \frac{\beta_{ii}^{rs} W_i^s}{q_{ii}^{rs}} \quad (11)$$

s 地域が他地域から受け取る移転所得を  $TR^s$  とすれば、地域内で最終需要として支出できる金額の総和は間接税を  $IT_j^s$  として以下のように表せる。

$$G^s = \sum_j \rho_j^s K_j^s + \omega^s \sum_j L_j^s + \sum_j IT_j^s + TR^s \quad (12)$$

資本は企業によって保有される場合もあるが、すべての企業家計によって保有されていると考えるならば、 $G^s$  から間接税をひいた残りが s 地域に居住する家計の所得となり、これからさらに資本所得（営業余剰）と賃金に対する税を引いた残りが可処分所

得となる。そこで税率に関して以下の仮定を設ける。仮定 資本所得（営業余剰）と賃金に対する税率は s 地域においてそれぞれ  $\tau_K^s$ （法人税）、 $\tau_L^s$ （所得税）である。また、移転所得は課税対象から除外される。

したがって、s 地域の家計の可処分所得は次のように書ける。

$$W^s = (1 - \tau_K^s) \sum_j \rho_j^s K_j^s + (1 - \tau_L^s) \omega^s \sum_j L_j^s + TR^s \quad (13)$$

また、s 地域の貯蓄率を  $\sigma^s$  とし、仮定より在庫純増が固定値であることを考慮すると、その家計消費支出額は次のように書ける。

$$W_1^s = (1 - \sigma^s) W^s - \gamma_1^s W_4^s \quad (14)$$

$W_4^s$  : s 地域の在庫純増

$\gamma_1^s$  : s 地域の家計消費支出に対する在庫純増の分配パラメータ

### (4) 政府行動

本モデルの政府の役割は、法人税、所得税、間接税を徴収し、政府支出を行うことである。s 地域における徴税額を  $W_2^s$  とすると  $W_2^s$  は次のように書ける。

$$W_2^s = \tau_K^s \sum_j \rho_j^s K_j^s + \tau_L^s \omega^s \sum_j L_j^s + \sum_j IT_j^s - \gamma_2^s W_4^s \quad (15)$$

$\gamma_2^s$  : s 地域の政府支出に対する在庫純増の分配パラメータ

### (5) 貯蓄と投資

投資の源泉は貯蓄である。企業における内部留保はないと仮定しているため、s 地域の貯蓄額は  $S^s = \sigma^s W^s$  である。これが、今期の投資に回ることになるが、ここでは貯蓄のなされた地域に再投資されると考えるので、今期の s 地域における固定資本形成  $W_3^s$  との間には  $W_3^s = S^s$  の関係が成り立つ。よって以下の式が成り立つ。

$$W_3^s = \sigma^s W^s - \gamma_3^s W_4^s \quad (16)$$

$\gamma_3^s$  : s 地域の固定資本形成に対する在庫純増の分配パラメータ

政府支出や固定資本形成も家計消費支出の場合と同様に産地別財別需要量  $y_{ik}^s$  に関して以下の関係を得る。

$$y_{i2}^{rs} = \frac{\beta_{i2}^{rs} W_2^s}{q_{i2}^{rs}}, \quad y_{i3}^{rs} = \frac{\beta_{i3}^{rs} W_3^s}{q_{i3}^{rs}} \quad (17)$$

(6) 船社行動・輸出

$c_{ij}^{rs}$  を  $i$  財 1 単位を  $r$  地域から  $s$  地域  $j$  産業へ運ぶための輸送費,  $c_{ik}^{rs}$  を  $i$  財 1 単位を  $r$  地域から  $s$  地域最終需要  $k$  へ運ぶための輸送費であるとするれば, 船社に対する  $s$  地域の需要は以下の式の左辺で表される.

$$\sum_j \sum_k \sum_s \sum_i \sum_r (c_{ij}^{rs} x_{ij}^{rs} + c_{ik}^{rs} y_{ik}^{rs}) = \sum_i \sum_r T_{ii}^r \quad (18)$$

$T_{ii}^r$  は船社の  $r$  地域  $i$  産業への投入額を表しており, 仮定より基準時と変化後の船社の生産額の変化分は投入額に反映され, 以下の式が成り立つ.

$$T_{ii}^r = (N_1 - N_0) \delta_i^r + T_{oi}^r \quad (19)$$

$T_{ii}^r$  : 変化後の船社の  $r$  地域  $i$  産業への投入

$T_{oi}^r$  : 基準時の船社の  $r$  地域  $i$  産業への投入

$N_1$  : 変化後の船社の全産出額

$N_0$  : 基準時の船社の全産出額

$\delta_i^r$  : 分配パラメータ

輸出も船社と同様に, 仮定より R.O.W.の基準時と変化後の生産額の変化分が輸出の投入額に反映され, 以下の式が成り立つ.

$$E_{ii}^r = (M_1 - M_0) \varepsilon_i^r + E_{oi}^r \quad (20)$$

$E_{ii}^r$  : 変化後の  $r$  地域  $i$  産業の輸出货量

$E_{oi}^r$  : 基準時の  $r$  地域  $i$  産業の輸出货量

$M_1$  : 変化後の R.O.W.の全産出量

$M_0$  : 基準時の R.O.W.の全産出量

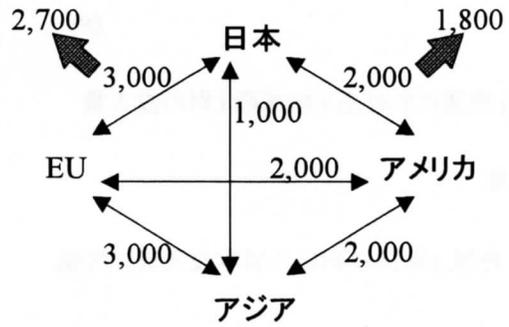
$\varepsilon_i^r$  : 分配パラメータ

運賃は以下の式によって決定される.

$$c^{rs} = \text{Tariff}^{rs} - \phi \sum_i \sum_j (x_{ij}^{rs} + y_{ik}^{rs}) \quad (r \neq s) \quad (21)$$

$$c^{rr} = \frac{(T - \sum_{s(\neq r)} \sum c^{rs})}{\sum_r (x_{ij}^{rr} + y_{ik}^{rr})} (T - \sum_{s(\neq r)} \sum c^{rs}) \quad (22)$$

$\text{Tariff}^{rs}$  : コスト構造を考慮して与えた地域  $rs$  間の基準運賃



■図-1 基準運賃と港湾整備後の運賃

5.4 データセットとキャリブレーション

前章で定式化したモデルを, 日米EUアジアの4地域間に適用する. 基準均衡データとしては1990年日米EUアジア国際産業連関表を使用し, 船社部門を地域の範疇外として増補する. その際, 国際輸送を行う船社は大規模な船社のみであり, また, 世界的に大規模な船社の生産構造は同一であると考え, 邦船3社(NYK, MO, KL)の財務諸表から得られる付加価値率の平均値等を利用した.

5.5 適用例

(1) 日本の中枢港湾整備

大水深バースが国内中枢港に建設され, 更に港湾関連料金が値下げされることを想定する. 具体的には日本の大水深バースを利用する場合の輸送費が, 全体として1 TEU 当たり\$200 低下すると仮定する. 基準運賃と整備後の運賃を図1のように与えた.

1990 年日米EUアジア国際産業連関表から求めたパラメータを表1~表3に示す. 生産技術を表す分配パラメータは掲載を省略したが, 産業連関表における技術係数そのものである. 所得税率と法人税率は現状のそれらの比率が維持されるものとして計算した. 交通企業分配パラメータ, 輸出分配パラメータ, 在庫純増分配パラメータは, 単なる比例配分とした場合の値である.

前節で与えた想定による供給者価格変化, 賃金変化, レント変化, 流動量変化をそれぞれ表4~表7に示す. 供給者価格及び賃金は日本のみが上昇し, 他の3地域は低下している. レントは日本, EUでは全体的に上昇し, アメリカでは一次産業だけが上昇している. 流動量変化率は価格変化を考慮して, 港湾整備前の価格で評価した実質量で計算している. 三次産業の財・サービスの国際間流動は物的流

動を伴わないと考え、ここでは除外している。アジアへの投入及びR.O.W.からの投入以外は増加しており、全体的に貿易が活発となっていることが確認できる。特に10%程度運賃が低下した日本アメリカ間及び日本EU間では1%程度貿易量が増加するという結果となっている。

■表-1 貯蓄率, 所得税率, 法人税率推計結果

	$\sigma^s$	$\tau^s$	$\tau^s$
日本	0.3338	0.0310	0.0419
アメリカ	0.1526	0.1100	0.1253
EU	0.2319	0.1468	0.1468
アジア	0.3434	0.0071	0.0071

■表-2 価格, 交通企業, 輸出パラメータ推計結果

		$\eta_j^s$	$\delta_i^r$	$\varepsilon_i^r$
日本	一次産業	0.2251	0.0002	0.0002
	二次産業	0.1885	0.0684	0.0684
	三次産業	0.2264	0.0361	0.0361
アメリカ	一次産業	0.2098	0.0102	0.0102
	二次産業	0.1746	0.1602	0.1602
	三次産業	0.2621	0.1085	0.1085
EU	一次産業	0.2111	0.0112	0.0112
	二次産業	0.1762	0.3570	0.3570
	三次産業	0.2297	0.1174	0.1174
アジア	一次産業	0.2504	0.0038	0.0038
	二次産業	0.1394	0.0913	0.0913
	三次産業	0.2310	0.0358	0.0358

■表-3 在庫純増パラメータ推計結果

		$\gamma_k^s$
日本	民間消費支出	0.5834
	政府消費支出	0.0917
	固定資本形成	0.3249
アメリカ	民間消費支出	0.6689
	政府消費支出	0.1868
	固定資本形成	0.1443
EU	民間消費支出	0.5917
	政府消費支出	0.1967
	固定資本形成	0.2116
アジア	民間消費支出	0.5702
	政府消費支出	0.1088
	固定資本形成	0.3210

■表-4 貯蓄率, 所得税率, 法人税率推計結果

		変化率(%)
日本	一次産業	0.0855
	二次産業	0.0531
	三次産業	0.0886
アメリカ	一次産業	-0.0003
	二次産業	-0.0227
	三次産業	-0.0229
EU	一次産業	-0.0001
	二次産業	-0.0092
	三次産業	-0.0070
アジア	一次産業	-0.1015
	二次産業	-0.0800
	三次産業	-0.1005

■表-5 賃金変化率

	変化率(%)
日本	0.1210
アメリカ	-0.0209
EU	-0.0009
アジア	-0.1287

## (2) 運賃競争激化

今後、大規模船社間の運賃競争が激化した場合の世界貿易に対する影響を考える。長距離基幹航路の需要の増大に伴って運賃が減少する状況を想定する。(17)式中の $\phi$ を0から徐々に増加させ、変化を考察する。

一例として日本から米国への輸出額の変化を示したものが図2である。他の地域間においてもおよそ同様の傾向を示した。

輸出産業にとっては、需要が増大すると輸送費が低下していくという、規模の経済が働いており、この一般均衡体系は解の唯一性を満たしていないが、パラメータを徐々に変化させても安定した挙動を示している。地域間流動量は地域内流動量と比較して非常に少ないため、地域間流動に規模の経済を働かせても全体に対する影響は小さいものだと考えられる。

## 5.6 おわりに

本稿では SCGE モデルを中心に地域間物流予測に適用可能なモデルを概観した。また国際海上コンテナ貨物需要予測モデルの開発のために改良すべき点を検討した。今後は現在計画されている港湾整備の評価は勿論のこと、為替や貿易条件の変化の影響を分析することも可能な SCGE モデルを開発する予定である。

## 参考文献

- 1) Liew, C. K. and C. J. Liew: Measuring the development impact of a proposed transportation system, *Regional Science and Urban Economics* 14, pp.175-98, 1984.
- 2) Buckley, P. H.: A transportation-oriented interregional computable general equilibrium model of the United States. *The Annals of Regional Science* 26, pp.331-8, 1992.
- 3) Harrigan, F., and P. G. McGregor: Neoclassical and Keynesian perspectives on the regional macroeconomy: A computable general equilibrium approach. *Journal of Regional Science* 29, pp.555-73, 1989.
- 4) Harrigan, F., P. G. McGregor, J. K. Swales, and N. Dourmashkm: Imperfect competition in regional labour markets: A computable general equilibrium analysis. *Environment and Planning A* 24, pp.1463-81, 1992.
- 5) Harrigan F. P. G. McGregor, and J. K. Swales: The system-wide impact on the recipient region of a regional labor subsidy. *Oxford Economic Papers* 48, pp.105-33, 1996.
- 6) Hoffmann, S., S. Robinson, and S. Subramanian: The role of

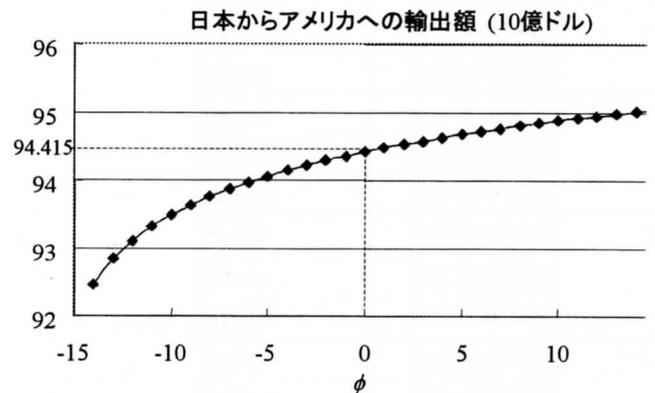
■表-6 レント変化率

		変化率(%)
日本	一次産業	0.1153
	二次産業	0.1153
	三次産業	0.1017
アメリカ	一次産業	0.0415
	二次産業	-0.0115
	三次産業	-0.0102
EU	一次産業	0.0600
	二次産業	0.0329
	三次産業	0.0191
アジア	一次産業	-0.1114
	二次産業	-0.1157
	三次産業	-0.1117

■表-7 流動量変化率

中間投入	日本	アメリカ	EU	アジア
日本	0.0410	0.9250	0.8110	-0.112
アメリカ	1.7210	0.0030	0.0010	0.001
EU	1.1120	0.0090	0.0010	-0.102
アジア	0.2190	0.0700	0.0020	-0.020
ROW	0.1100	-0.1800	-0.0990	-0.117

最終需要	日本	アメリカ	EU	アジア
日本	0.0200	0.7617	0.9105	0.080
アメリカ	1.3102	0.0038	0.0119	0.102
EU	1.6182	0.0183	0.0031	0.008
アジア	0.2834	0.1166	0.0936	-0.002
ROW	0.1052	-0.0313	-0.0194	-0.000



■図-2 運賃競争激化による日本から米国への輸出額変化

defense cuts in the California recession: Computable general equilibrium models and interstate factor mobility. *Journal of Regional Science* 36, pp.571-95, 1996.

- 7) Kimbell, L. J., and G. W. Harrison: General equilibrium analysis of regional fiscal incidence. In *Applied general*

- equilibrium analysis, eds. H. Scarf and J. Shoven. New York: Cambridge University Press, 1984.
- 8) McGregor, P. G., J. K. Swales, and Y. P. Yin: A long-run interpretation of regional input-output analysis. *Journal of Regional Science* 36, pp.479-500, 1996.
  - 9) Norrie K H and M B Percy: Freight rate reform and regional burden: A general equilibrium analysis of Western freight rate proposals. *Canadian journal of Economics* 16, pp.325-49, 1983.
  - 10) Waters, E., D. W. Holland, and B. A. Weber: Economic impacts of a property tax limitation: A computable general equilibrium analysis of Oregon's Measure 5. *Land Economics* 73, pp.72-89, 1997.
  - 11) West, G. R.: Comparison of input-output, input-output+econometric and computable general equilibrium impact models at the regional level. *Economic Systems Research* 7, pp.209-27, 1995.
  - 12) Soven, J. B. and J. Whalley: *Applying General Equilibrium*, 邦訳: 応用一般均衡分析, 東洋経済新報社, 1993.
  - 13) 宮城俊彦, 本部賢一: 応用一般均衡分析を基礎にした地域間交易モデルに関する研究, 土木学会論文集, No.530/IV-30, pp.31-40, 1996.
  - 14) Conrad, K., and M. Schroder: Choosing environmental policy instruments using general equilibrium models. *Journal of Policy Modeling* 15, pp.521-43, 1993.
  - 15) Hertel, T. W.: Partial vs. general equilibrium analysis and choice of functional form: Implications for policy modeling. *Journal of Policy Modeling* 7, pp.281-303, 1985.
  - 16) Hertel, T. W., and T D Mount: The pricing of natural resources in a regional economy *Land Economics* 61, pp.229-43, 1985.
  - 17) Li, P., and A. Rose.: Global warming policy and the Pennsylvania economy: A computable general equilibrium analysis. *Economic Systems Research* 7, pp.151-71, 1995.
  - 18) Jones, R., and J. Whalley: A Canadian regional general equilibrium model and some applications. *Journal of Urban Economics* 25, pp.368-404, 1989.
  - 19) Jones, R., and J. Whalley: Regional balance sheets of gains and losses from national policies. *Regional Science and Urban Economics* 20, pp.421-35, 1990.
  - 20) Koh, Y. K., D. F. Schreiner, and H. Shin: Comparisons of regional fixed price and general equilibrium models. *Regional Science Perspectives* 23, pp.33-80, 1993.
  - 21) Liew, L. H.: "Tops-down" versus "bottoms-up" approaches to regional modeling. *Journal of Policy Modeling* 6, pp.351-67, 1984.
  - 22) Partridge, M. D. and D. S. Rickman: Regional computable general equilibrium modeling: A survey and critical appraisal, *International Regional Science Review* 21-3, pp.205-48, 1998
  - 23) Morgan, W., J. Mutti, and D. Rickman: Tax exporting, regional economic growth, and welfare. *Journal of Urban Economics* 39, pp.131-59, 1996.
  - 24) 安藤朝夫: 価格差を考慮した他地域計量モデルによる交通基盤整備プロジェクト評価システムの開発, 文部省科学研究費補助金研究成果報告書, 1996.
  - 25) 家田仁, 柴崎隆一, 内藤智樹, 三島大輔: アジア圏コンテナ流動モデルの構築とその配分仮説に応じた特性分析, 土木計画学研究・論文集, No.15, pp.469-480, 1997.
  - 26) 奥田隆明: 確率論に基づく多地域一般均衡モデル, 地域学研究, 24-1, pp.117-131, 1994.
  - 27) 溝上章志: 産業間の連関性と空間的な価格均衡を考慮した物資流動モデル構築の試み, 土木学会論文集, No.494/IV-24, pp.53-61, 1994.
  - 28) 宮城俊彦: 分散型空間価格均衡モデル, 地域学研究, 20-1, pp.215-233, 1990.
  - 29) Miyagi, T.: Recent developments in Multiregional general equilibrium modelling: Economic-transportation interaction models, 地域学研究, 27-1, pp.213-227.

Faint, illegible text at the top of the page, possibly bleed-through from the reverse side.

Faint, illegible text at the top of the page, possibly bleed-through from the reverse side.

Faint, illegible text in the upper middle section of the page.

Faint, illegible text in the middle section of the page.

Faint, illegible text in the middle section of the page.

Faint, illegible text in the middle section of the page.

Faint, illegible text in the middle section of the page.

Faint, illegible text in the middle section of the page.

Faint, illegible text in the middle section of the page.

Faint, illegible text in the middle section of the page.

Faint, illegible text in the middle section of the page.

## 6. 人口内生モデルによる地球温暖化の経済的影響分析

### 6.1 はじめに

今日、地球温暖化は世界的な共通問題として議論されている。その影響は時間的・空間的に広範囲であり、不確実性・不可逆性という特殊な性質を持っている。また、地球温暖化の原因は、自然の浄化能力を超えた二酸化炭素排出にあり、その根本には人間の存在そのものが関与している。すなわち、人口問題は、地球環境問題を考える上で、最も重要なファクターの一つであることは言うまでもない。さらに、地球温暖化は、超長期な問題であるため、世代を超えた環境政策の制度設計が必要であるため、世代間での公平性の確保といった問題も大きな問題である。

そこで、本研究は二酸化炭素排出抑制政策を推進する上で、効率性のみならず公平性の観点から経済学的に分析を行い、両観点から得られる折衷案的な経済政策を評価・提案することを大きな目的とする。特に、本稿では、人口変動を内生的に表現することにより、経済成長と人口変動を統合化した長期シミュレーション・モデルを構築することを目的とする。

### 6.2 本研究におけるシミュレーション・モデル

#### (1) 気候変動の統合評価モデル(DICEモデル)

本研究では、長期環境政策において世界的に評価の高いと言われているNordhaus<sup>1)</sup>による気候変動に関する統合評価モデルであるDICE(Dynamic Integrated Model of Climate and the Economy)モデルを用いるものとした。

DICEモデルは、地球全体での経済学的制約と地球物理学的制約の下で、目的関数である社会厚生関数を最大化するものである。ここで定式化された最大化問題を解く際に、Ramseyによる経済成長理論が用いられており、経済が最適な成長経路を辿る条件は、一人あたりの資本の限界生産力が人口増加率と時間選好要因の和に等しくなっている。また、経済学的要因と地球物理学的要因が相互に影響を及ぼしあっており、各要素間の関係は約20本の構造方程式で構成される。このモデルにより、将来の二酸化炭素排出量や大気中の二酸化炭素濃度、気温上昇および最適炭素税を予測することが可能となる。

このモデルの利点は、世界を単一の領域でモデル

化しているため計算が容易であることであり、動学モデルであるため10年単位で気候変化の経路を求めることができることである。その点で多世代間の厚生を比較することが目的の一つである本研究の意図に添うものである。

#### (2) 内生的人口変動モデル

本研究が依拠しているDICEモデルは、人口は外生変数として与えられているため、ある意味で新古典派経済学による経済成長分析の枠組みの側面がある。それに対して本研究の目的は、ある世代が、それよりも新しい世代とどのような関係にあるかという観点から、人口変動と経済成長の関係を検討することにある。そこで、本研究では、利他主義(Altruism)によって世代間が関係し、その関係性の中で各世代の代表的個人が自らの効用を最大化するという行動を定式化したBecher and Barro<sup>2)</sup>による王朝モデル(Dynasty Model)を利用することにより、内生的人口変動モデルを構築する。

まず、代表的個人は、その構成員たる家族のメンバーと利他主義によって結びついているものとする。そのときの代表的個人の効用関数は(1)式のように表される。

$$U_0 = v(c_0) + a(n_0)n_0 U_1 \quad (1)$$

ここで、 $U_0$ :親の効用、 $U_1$ :子供の効用、 $a(n_0)$ : $n_0$ 人の子供に対し親が持つ利他主義の程度

$0 < a(n_0) < 1$ ,  $v(c_0)$ :親が消費  $c_0$  を行うことから

得る効用を意味している。なお、 $a(n_0) = 1$ の場合

には、完全な利他的な状況を意味し、 $a(n_0) = 0$ の場合には、完全な利己的な状況を意味することになる。

さらに、(1)式に更に後の世代の効用を代入し、親は無限先の後世代の子孫まで気遣うとするならば、(2)式のように表現することができる。

$$U_0 = v(c_0) + a(n_0)n_0 v(c_1) + a(n_0)a(n_1)n_0 n_1 v(c_2) + \dots + a(n_0) \times \dots \times a(n_1) \times n_0 \times \dots \times n_1 \times v(c_i) + \dots$$

(2)

ただし、 $c_i$ :第*i*世代の親の消費、 $n_i$ :第*i*世代の親が持つ子供の数を意味している。

ここで、第*i*世代までの人口  $N_i$  を考える。最初に存在する1人の親を第0世代とする。その子供は第1世代を形成する。ここで利他主義の程度  $a(n_i)$  の関数形を(3)式のように特定化する。(3)式は、子供の数が1%増加した場合には、利他主義の程度は  $\sigma$  % 低下することを意味する。なお、パラメータは  $0 < \sigma < 1$  とする。

$$a(n_i) = \alpha (n_i)^{-\sigma} \quad (3)$$

さらに、(3)式を用いると(2)式は(4)式のように表現することができる。

$$U_0 = N_0^{1-\sigma} v(c_0) + \alpha N_1^{1-\sigma} v(c_1) + \dots + \alpha^i N_i^{1-\sigma} v(c_i) + \dots \quad (4)$$

次に、王朝家計の予算制約を考える。第*i*世代の親は、労働供給による賃金収入  $w$  と前の世代から相続した遺産  $k$  を用いて、消費と育児を行い、さらに次の世代に遺産として残すものとする。これを定式化したものが(5)式であり、 $r$  は利子、 $\beta$  は育児コストを意味している。

$$w_i + (1+r_i)k_i = c_i + n_i(\beta_i + k_{i+1}), i = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

以上で定式化した、制約付き最適化問題を解くことにより出生力(あるいは人口増加率)  $n_i$  を内生的に決定する。さらに、「子供の数=出生力」とすると(6)式が得られ、これは、時間選好要因  $\alpha$  もしくは利子率が上昇すれば出生力は上昇することを意味している。

出生力

$$= \left[ \alpha \times (1 + \text{利子率}) \times \frac{\text{第}i+1\text{世代の消費からの限界効用}}{\text{第}i\text{世代の消費からの限界効用}} \right]^{1/\sigma} \quad (6)$$

また、(7)式に示す人口学の基本方程式<sup>3)</sup>において、本研究では出生に関するのみ内生化している。死亡に関しては外生とし、右辺第2項の社会増加に関しては地球を一地域としているモデルであるため考慮しなくてもよい。

$$\text{人口変動} = (\text{出生} - \text{死亡}) + (\text{転出} - \text{転入}) \quad (7)$$

## 6.3 シミュレーション概要

### (1) 人口変動モデルの設定

本研究で行うシミュレーションのため、経済成長と人口変動を統合した長期シミュレーションモデルを構築した。その設定を以下に示す。

本研究では世代の概念をより正確なものとするため、1995年を出発点とする、10年単位の人口コホートを作成した。ここで1995年における初期値は世界銀行<sup>4)</sup>の統計値を用い、また次の世代への生存率(逆に考えると死亡率)を外生とした。

出生に関して、出生力を表す(6)式を用いた。ここで出生力とは、実際に何人の子供が生まれたかという指標であり、生物学的視点から子供を産むことができる世代の人口との積をとることによって、その年代に出生する総出生数を求めることができる。本稿では子供を産むことができる世代を19~39歳の世代とした。また(6)式の適用に関して、DICEモデルの変数として用いられている利子率と消費からの限界効用はそのまま用いた。しかしパラメータ  $\alpha$  と  $\sigma$  はモデル内に存在しないため、世界銀行による出生率の推計値を用い、パラメータを推計した。ここでの推計値は、 $\alpha = 0.50$ 、 $\sigma = 0.78$  を用いた。

### (2) 効率性、公平性および総合指標の定義

本研究では、効率性指標としてEFI(Efficiency Index)、公平性指標としてEQI(Equity Index)および総合指標としてCOI(Comprehensive Index)を式(9)~(11)のように定義する。

$$EFI = W = \sum_{t=0}^T U(t) = \sum_{t=0}^T R(t)L(t) \ln c(t) \quad (9)$$

$$EQI = \left[ \sum_{t=0}^T \{\ln c(t)\}^{1-\varepsilon} \right]^{1/\varepsilon} \quad (10)$$

$$COI = \left[ \sum_{t=0}^T \{U(t)\}^{1-\varepsilon} \right]^{1/\varepsilon} \quad (11)$$

(ここでは、 $\varepsilon \neq 1$  とする)

ここで  $W$ :  $t(0 \leq t \leq T)$  期間での社会厚生関数

$U(t)$ :  $t$  期における社会全体の効用

$R(t)$ :  $t$  期における社会的時間選好率の係数

$L(t)$ :  $t$  期における世界の総人口

$c(t)$ :  $t$  期における一人当たりの消費量

またベルヌーイの効用関数の定義より、 $\ln\{c(t)\}$

は  $t$  期における一人当たりの効用を表す。また  $\varepsilon$  はパラメータ(外生)を示している。

EFI は  $t$  期における社会全体の効用を現在価値換算した値の総和であり、通常のコスト便益分析でいう便益であることから効率性指標を意味している。

EQI は  $t$  期における一人当たりの効用を世代ごとに CES 型関数で比較することにより得られる指標である。なお、各世代の効用レベルを比較するため、社会的割引率を用いていないことに注意されたい。

COI は  $t$  期における社会全体の効用を世代ごとに CES 型関数で比較することにより得られる指標である。

ここで、CES 型関数は、 $\varepsilon$  の値によって公平性を評価することができる。例えば、 $\varepsilon = 0$  の場合にはベンサム型となり効率性評価ができる。 $\varepsilon = +\infty$  の場合にはロールズ型となり公平性評価ができる。これらの議論に関しては小林<sup>5)</sup>に詳しい。

### (3) シナリオの設定

地球温暖化問題の温度上昇シナリオについては IPCC をはじめとして多々存在する<sup>6)</sup>。本研究では、既存文献を参考にしてシナリオを表-1のように設定した。なお、ここでの最適課税とは効率性基準である EFI を最大化させるという意味での最適な課税である。

また本シミュレーションでは、CES 型関数における公平性への社会的配慮の強さを表すパラメータ  $\varepsilon$  の値を外生とし、 $\varepsilon = 0.2, 0.5, 0.8, 1.2$  のケース結果を表記した。

■表-1 シナリオと設定値

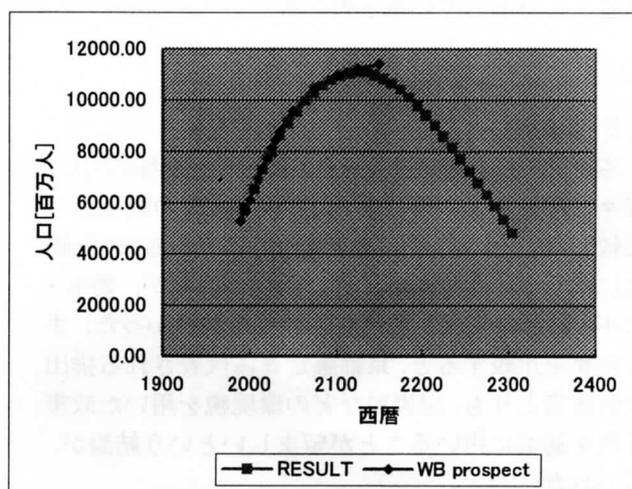
CO2 削減政策の政策	簡略記号
1. 政策無し (ベースケース)	BASE
2. 最適課税 (効率性指標最大化)	Optimal
3. 排出抑制 (1990 年レベル)	E90
4. 気温上昇 2.5°C 規制(1900~2105)	T<2.5

## 6.4 シミュレーション結果とその考察

### (1) 人口変動の結果

人口変動に関するシミュレーション結果を図-1に示す。また、図-1には、世界銀行による長期予測値も示した。ここに示したシミュレーション結果は環境政策無しのケースのものである。なお、その他のケースにおいても同様の傾向を示したことをここに付記する。図-1をみると、本モデルによる予測値は、22 世紀中葉まで世界銀行の予測値に

ほぼ適合するが、それ以降人口は急激に減少していることが分かる。Leibenstein<sup>7)</sup>によると、子供の効用は①消費効用、②労働効用、③保障効用の3種類あるとしている。具体的には、消費効用とは他の消費財と同様に子供が親にとって喜びや満足の源泉となることであり、労働効用とは生産要素として子供が所得を獲得することによるものであり、また保障効用とは親が老齢になったときなどの生活保障として子供を位置付けることである。



■図-1 人口変動のシミュレーション結果

さらに、Leibenstein は、経済発展とそれに伴う一人あたりの所得の上昇が、子供がもたらす3つの効用のうち労働効用と保障効用を低下させると主張した。これは、一人あたりの所得の上昇によって子供を労働に従事させる必要性は低下し、また経済社会の発展に伴って社会保障が充実することで、子供による老後保障などの重要性が低下するためである。また、消費効用については曖昧であるものの、子供による効用が低下すれば、出生力の低下をもたらす。そのため、一人あたりの所得が増加すれば、人口が減少すると言えらる。

### (2) 各ケースにおける指標の結果

表-1の各ケースによる指標の結果を表-2に記す。表で縦方向に各ケースの値、また横方向に各指標の値を示す。

表-2を分析した結果、効率性の指標であるEFIを最大にするという意味で最適な課税の政策が、効率・公平・総合の観点から最もよいことがわかった。また政策を比較すると、最適課税、政策無し、排出規制、温度上昇規制(効率性指標では排出規制と温度上昇規制が逆)の順になった。この結果は、現在問題となっている京都議定書などで用いられる排出規制という政策よりも、炭素税などの政策手段を

適切に用いることでより望ましい結果が得られることを示している。

また、人口を外生とし対象期間を100年間とした研究においては、すべての指標において最適課税、政策無し、温度上昇規制、排出規制という順となった。対象期間を約300年間とした本研究との相違である温度上昇規制と排出規制との逆転は、超長期における温度上昇規制の困難さを示しているものであり、2.5度の温度上昇は経済的政策では不可避であることを示していると考えられる。

## 6.5 まとめ

本研究では、人口要因をDICEモデルに内生化し、様々な政策ごとに効率性・公平性・総合の観点から比較した。その結果、効率性の指標であるEFIを最大にするという意味で最適な課税の政策が、効率・公平・総合の観点から最もよいことがわかった。また政策を比較すると、京都議定書に代表される排出規制政策よりも、炭素税などの環境税を用いた政策手段を適切に用いることが望ましいという結論が得られた。

今後は、地域的要素や世代的要素をより精密にしていける必要がある。また、本研究における効用は消費に基づく市場的要素の影響のみ考慮しているため、今後は温度上昇が人間に及ぼす負の影響である非市場的要素を考慮した効用関数を設定する必要がある。

## 【参考文献】

- 1) Nordhaus, W.D. and Boyer, J.: Warming the World, The MIT Press, 2000.
- 2) Barro, R.J. and G.S. Becker, G.S.: Fertility Choice in a Model of Economic Growth, *Econometrica*, Vol.57, No.2, pp.481-501, 1989.
- 3) 加藤久和: 人口経済学入門, 日本評論社, 2001.
- 4) 世界銀行編: 世界人口長期推計94'95', 東洋書林, 1996.
- 5) 小林潔司: 公平論を巡る最近の理論的展開, 土木計画学ワンデーセミナー, No.19, pp.51-68, 1999.
- 6) IPCC第3作業部会編: 地球温暖化の経済・政策学, 中央法規, 1997.

Leibenstein, H.: Economic Backwardness and Economic Growth, *Studies in the Theory of Economic Development*, Wiley, 1957.

■表-2 各ケースにおける指標の結果

INDEX	1. BASE	2. OPTIMAL	3. ELIMIT	T<2.5
EFI	3.2330E+04	3.2333E+04	3.2163E+04	3.2225E+04
EQI( $\epsilon=0.2$ )	1.0762E+03	1.0775E+03	1.0733E+03	1.0672E+03
EQI( $\epsilon=0.5$ )	1.2669E+04	1.2684E+04	1.2632E+04	1.2562E+04
EQI( $\epsilon=0.8$ )	2.4780E+08	2.4809E+08	2.4701E+08	2.4571E+08
EQI( $\epsilon=1.2$ )	1.1933E-06	1.1947E-06	1.1892E-06	1.1833E-06
COI( $\epsilon=0.2$ )	3.6840E+04	3.6857E+04	3.6535E+04	3.6572E+04
COI( $\epsilon=0.5$ )	2.9699E+05	2.9728E+05	2.9433E+05	2.9349E+05
COI( $\epsilon=0.8$ )	3.5590E+09	3.5657E+09	3.5303E+09	3.4976E+09
COI( $\epsilon=1.2$ )	8.1431E-06	8.1720E-06	8.1263E-06	7.9723E-06