地球温暖化の緩和策と適応策評価のための 最適動学CGEモデル

武藤 慎一¹・森杉 壽芳²・松澤 晴季³

¹正会員 山梨大学大学院准教授 総合研究部工学域 (〒400-0008 山梨県甲府市武田4-3-11)

E-mail: smutoh@yamanashi.ac.jp

²正会員 日本大学客員教授 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

³正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 プロジェクト事業本部

(〒101-8462 東京都千代田区神田錦町3-22)

E-mail: haruki.matsuzawa@ss.pacific.co.jp

2015年12月に開催されたCOP21において、わが国は「2030年度までに2013年度比マイナス26.0%の温室効果ガス（GHG）を削減する」との目標を表明した。これに対する有効な緩和策の実施が今後の課題といえる。また、局地的豪雨や台風の強大化などによる洪水被害等が多発しており、それは地球温暖化の影響が徐々に現れ始めたと言われている。今後は緩和策に加え、適応策を検討することも必要とされている。本研究は、こうした地球温暖化の緩和策および適応策の評価を行うために最適動学CGEモデルを構築した。本モデルを用い、高規格幹線道路整備を前提として、GHG削減目標を達成するための自動車燃料税増徴率を求めた。さらに適応策評価のために、資本損壊等の回復を内生化した洪水被害費用推計を行った。

Key Words : *global warming, dynamic CGE model, mitigation and adaptation, economic evaluation*

1. はじめに

近年、世界中でハリケーンや台風の強大化、局地的な集中豪雨、干ばつ、熱波などの異常気象による被害が深刻化している。こうした異常気象は、地球温暖化が一因と考えられており、このまま温暖化が進行していけばこうした被害のみならず、海面上昇による砂浜の消失、生態系の変化、感染症リスクの拡大などの被害も生じるとされている。

こうした地球温暖化問題に対し、環境省では緩和策と適応策に分けて対策が検討されている。緩和策とは、世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃以内に抑えることを目的とした温室効果ガス（GHG）の排出抑制策のことである。また、適応策とは既に現実のものとなりつつある地球温暖化の影響や中長期的に避けられない影響に対する個別的対応策のことである¹⁾。環境省としては、できる限り緩和策によりGHG排出を抑制して地球温暖化の影響を緩和し、そこで緩和できなかった影響を適応策で対応するということを基本的な考えとしているといえる。ただし、どこまでを緩和策で対応するかは慎重に検討される必要がある。なぜなら、緩和策の実施はGHG排出を抑制する一方で、経済に対しては何

らかの負担を求めるものが多く、過度な緩和策の実施は地球温暖化の抑制効果以上に経済的損失を発生させる可能性があるためである。一方、緩和策で対応できなかった温暖化の影響が適応策で対応できるのかという懸念もある。この点では、地球温暖化の被害がどの程度になるかを予測し、それが適応策により抑えられるのかをみる必要がある。仮に、被害を抑えきれない場合には、緩和策の強化を図ることや、あるいは温暖化被害は国外の排出も影響するため国際協調を図るよう外交努力を行うといったことも考えられる。いずれにしても、将来時点での温暖化被害の評価と、適応策の実効性評価も必要になる。

こうした地球温暖化対策の評価には、応用一般均衡（CGE : Computable General Equilibrium）モデルが有効とされている。これは、武田²⁾の解説がわかりやすいが、CGEモデルの特徴は複数の財市場と生産要素市場が同時に考慮され、経済全体を包括的に捉えている点にある。これにより、原油部門や石油製品製造部門といったGHGを直接排出するような部門を独立的に扱うことができるため、地球温暖化対策がそれらの部門に直接的あるいは間接的に及ぼす影響が的確に捉えられる。そして、それらの影響の結果が経済全体での国民所得、国内総生産（GDP）といったマクロ指標にどのような影響をもた

らすのかも分析できる。また、筆者らはこれまで交通生産を明示的に考慮した空間的CGEモデルの開発を行っており、そこでは自動車交通を中心とした運輸企業が詳細に扱われている。その結果、GHG排出全体の中で約20%を占める運輸部門に対する政策評価も、より正確に行えるようになったといえる。

しかし、従来のCGEモデルによる分析の多くは、静学あるいは逐次動学の範囲であった。地球温暖化対策等の政策は資本ストックの蓄積過程にも影響を及ぼし、その結果として政策の便益や影響も変化していくはずである。その点の考慮が既存のCGE分析では十分ではなかった。

そこで本研究では、地球温暖化問題に対する緩和策と適応策の経済評価の実施を目的として、これまで筆者らが開発してきた交通生産を考慮した空間的CGEモデルを基に、最適動学CGEモデルの開発を行う。最適動学モデルでは、投資も常に最適決定されるため、地球温暖化対策が資本ストックの蓄積過程に及ぼす影響を正確に捉えられる。

そして、開発した最適動学CGEモデルの有用性を検討するため、まず2015年12月に開催された気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）に先立ち、わが国が提出した「2030年度までに2013年度比マイナス26.0%」という削減目標³⁾の達成に向けた緩和策の評価を行う。なお、その評価の前提として、自動車交通への影響が大きいと考えられる高規格幹線道路網計画の実施を想定する。すなわち、現在約10,000kmまで整備されたわが国の高速道路が、残り4,000km整備されたとした際のGHG排出量を予測し、それを前提に運輸部門における削減目標を達成するための緩和策評価を行う。

さらに、適応策については、地球温暖化の影響として最も懸念される集中豪雨や台風の強大化に伴う洪水被害を対象に、その被害額評価を行う。洪水被害に対する適応策とは、被害をいかに軽減させるかということであり、その便益は適応策実施による洪水被害軽減額によって計測できる。その点で被害額評価が非常に重要となるのである。静学分析あるいは逐次動学分析では、内生的に投資が求められないため、洪水被害によって資本ストックが毀損されたとしても、それがどのように回復するのかの評価ができず、正確な被害額を求めることが困難であった。本研究では、最適動学分析の枠組みを利用することにより、資本ストックの回復を生内化した被害額評価を行うこととする。

2. GHG排出量と地球温暖化対策の現状

わが国には京都議定書の第一約束期間（2008~2012年）において、GHG排出量を1990年度比マイナス6%に

抑えるという目標が課されていた。結果は、森林等吸収源および京都メカニズムクレジットを加味することでマイナス8.4%となり、目標は達成できたとされている⁴⁾。

しかし、京都メカニズムを考慮しなければ、2012年度のGHG総排出量は1,343（百万t-CO₂）であり1990年度比で6.5%上回っている。また、2013年度のGHG排出は、原子力発電所の稼働停止による火力発電の増加や冷媒分野のハイドロフルオロカーボン類の排出量が増加したことで、2007年度に続く過去2番目に多い値（1,408百万 t-CO₂）となった。前年度比では1.2%増、そして4年連続の増加となっており⁴⁾、GHG排出削減の取り組みは依然として必要な状況にある。特にわが国は、2015年12月に開催されたCOP21に先立ち「日本の約束草案」³⁾を国連に提出し、その中で2030年度までに2013年度比マイナス26.0%のGHGを削減するとの目標を掲げた。そのため、今後も確実なGHG排出削減を行うことが重要になる。

このような状況の中で緩和策に関しては、前述の「日本の約束草案」における削減目標の達成が大きな課題となる。現時点でも環境税の導入（平成24年10月）、再生可能エネルギー・省エネルギー技術の開発・普及の推進、事業者のためのCO₂削減対策Naviの作成、気候変動キャンペーン「Fun to Share」の実施、地球温暖化防止国民運動の強化等、様々な施策が既に実施されている⁵⁾。また、各都道府県でも独自の地球温暖化対策計画が策定されている。

一方、適応策に関しては、気候変動やGHG排出の現状をモニタリングすることに力が注がれている。観測技術衛星「いぶき」の運用がそれであるが、こうした科学的知見による気候変動の状況を受けて具体的な適応策が検討される。2015年には「気候変動の影響への適応計画」⁶⁾が閣議決定され、適応策の実施に向けたわが国の基本方針が示された。そこでは、気候変動による影響と、適応に関する基本的施策について、農業、森林・林業、水産業と、水環境・水資源、自然生態系、自然災害・沿岸域、健康、産業・経済活動、国民生活・都市生活の7分野に分けてまとめられている。その中でも影響が重大で、緊急性、確信度も高いと評価が下されている水害に関する適応策については、まず比較的発生頻度の高い外力に対し、これまで進めてきた堤防や洪水調節施設、下水道施設等の整備を引き続き進めるとともに、適切な維持管理・更新を行う。また、将来の外力の増大の可能性も考慮し、それらに適応できるように順応的な整備・維持管理等を進めるとされている。それに加え、災害リスクを考慮したまちづくりや地域づくりの促進、避難、応急活動、事業継続のための備えを充実させることにより、人命・資産・社会経済の被害をできる限り軽減するような、いわゆるソフト施策の充実化も進めるとなっている。適応策は、気候変動の影響が地域によって様々である

ため、地方自治体の役割が大きくなるとされ、地方自治体が主体で適応策への取り組みを始めている地域もある。長野県では「長野県環境エネルギー戦略～第三次長野県地球温暖化防止県民計画」（2013）において、「気候変動モニタリング体制」や「信州・気候変動適応プラットフォーム」の構築を行っており、山形県では「地球温暖化に対応した農林水産研究開発ビジョン」（2010）を策定し、暖地型作物（ユズなどの柑橘類）の栽培に関する研究等を行っている。

図-1 CGEモデルの全体構成

3. 最適動学CGEモデル

続いて本章では、最適動学 CGE モデルの開発を行う。その前に、まず既存研究を整理する。

(1) 既存CGEモデル研究の整理

CGEモデルを用いた地球温暖化等の環境問題に関する研究は古くから行われており、以下のように整理できる。静学CGEモデルによる初期の研究には、Bergman⁷⁾による二酸化炭素（CO₂）や、窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）などの大気汚染物質の排出権取引が経済にもたらす影響の分析がある。また、武田ら⁸⁾はGTAP-EGモデルと呼ばれる静学CGEモデルにより、GHGの排出量取引に係る効率的な制度設計の分析を行っている。Tithipongtrakul, 石川⁹⁾は、愛知県を対象としたCGEモデルを構築し、地域環境税の導入による二酸化炭素（CO₂）排出の削減効果とその経済的影響を明らかにしている。

最近では、逐次動学CGEモデルを用いた分析も多い。国立環境研究所では、AIM/CGEモデルと呼ばれる大規模な分析モデルを用いて、地球温暖化のシナリオ分析や、排出量取引の効果および影響分析を行っている¹⁰⁾。日本経済研究センターでも、JCER-CGE モデルと呼ばれる逐次動学CGEモデルにより、COP15に向けた様々な検討を行う「中期目標検討委員会」におけるシナリオ分析と排出量取引の導入による影響分析を行っている¹¹⁾。また、武藤は運輸部門に着目した地球温暖化対策評価を逐次動学CGEモデルにより実施している¹²⁾。

最適動学モデルを用いた研究もいくつかみられる。Nordhaus and PaulはDICE（Dynamic Integrated model of Climate and the Economy）モデルおよびそれを空間的に拡張したRICE（Regional Integrated model of Climate and the Economy）モデルを開発している¹³⁾。これらは、最適動学モデルの枠組みに気候変動モデルを組み込んだ統合評価モデルであり、経済と環境を最適動学の枠組みで統合化した先駆的モデルとして評価が高い。この統合評価モデルを用いて、地球温暖化の将来シナリオ分析や地球温暖化対策の効果と影響の評価がなされ、GHGの最適排出経路が導

出されている。ただし、DICEモデルは経済成長率が外生的に与えられており、厳密には最適経済成長モデルになっていない。その他の経済と気候変動の統合評価モデルに関するレビューは、Stanton et al.¹⁴⁾に詳しい。

わが国では、中畠ら¹⁵⁾がラムゼイ型の最適動学SCGE（空間的CGE）モデルを構築し、長期的な気候変動に伴う水害被害の動学的評価を行っている。中畠らが用いたモデルは、伴¹⁶⁾により構築されたものである。伴は日本のデータベースに基づいて作成された最適動学SCGEモデルを初めて実際に計算したものである。これは、経済政策の評価に適用されたものではあるが、東山ら¹⁷⁾は伴モデルに交通生産を組み込み、現在までに建設された高速道路整備により生じた動学便益を計測する方法を示した。そして、青木ら¹⁸⁾はその計測を行った。

以上の既存研究を踏まえて、本研究ではラムゼイ型の最適動学CGEモデルを開発する。これは、東山ら¹⁷⁾と枠組みは同じであり、伴モデルと比較して、交通サービスを生産する運輸企業が明示的に定式化されたモデルとなっている。ただし、東山ら¹⁷⁾、伴¹⁶⁾は、基準年が定常状態にあると想定したシミュレーション計算となっていることに対し、本研究では、現状をそのまま反映させて非定常状態にあると想定したシミュレーション計算としている点に違いがある。

(2) 最適動学CGEモデルの全体構成

本研究で構築する最適動学 CGE モデルの各期の基本構成は、通常の CGE モデルと同様である。すなわち、まず対象とする社会経済をわが国全体とし、そこには代表的家計、複数の産業部門からなる企業が存在し、経済活動を営んでいるものとする（図-1）。企業には運輸企業が含まれ、それは鉄道旅客、道路旅客、自家旅客、航空の各運輸と、鉄道貨物、道路貨物、自家貨物、水運の各運輸に分かれる。運輸サービスは、家計あるいは企業が財・サービスを購入する際、財の輸送や人の移動に対して必要とされるものとする。また、GHG 排出を検討する上で、石油製品製造部門も明示的に考慮することにした。その他の部門として、政府、公的投資部門、民間

投資部門も存在するとしている。

これらのうち代表的家計は、通時的効用を最大化する行動をとるものとし、ここが通常の CGE モデルと異なる点となる。ただし、企業は瞬時的費用最小化行動をとるものとし、それは静学 CGE モデルと全く同じ行動モデルである。政府、公的投資部門、民間投資部門も、静学 CGE モデルと全く同じ行動をとるものとする。

(3) 代表的家計の通時的効用最大化行動モデル

本研究では、代表的家計の通時的効用最大化行動モデルを、斉藤¹⁹⁾を参考に以下のように定式化する。

$$\max_{U_H^t} \int_0^{\infty} (\ln U_H^t) \exp(-\rho t) dt \quad (1a)$$

$$\text{s.t. } \frac{\partial K^t}{\partial t} + \delta K^t = w^t T_H + r^t \phi \cdot K^t - \kappa_H - e_H^t - S_F^t \quad (1b)$$

ただし、添字 t : 時点を表す, U_H^t : 家計の直接効用関数, T_H : 家計の総利用可能時間 (本モデルでは固定とする), K^t : 資本ストック, κ_H : 家計の直接税額, e_H^t : 家計の支出水準, S_F : 海外貯蓄 (輸出, 輸入のモデル化の際に説明), w^t, r^t : それぞれ賃金率, 利子率, ϕ : 資本におけるストックとフローの換算係数, ρ, δ : 割引率, 資本減耗率。

ここで、現在価値ハミルトニアン (present-value Hamiltonian) H を定義する。

$$H = (\ln U_H^t) \exp(-\rho t) + \mu^t \{ w^t T_H + (r^t \phi - \delta) K^t - \kappa_H - e_H^t - S_F^t \} \quad (2)$$

式(2)に対し式(3a)のような変数の置き換えを行うと、 H は式(3b)のような当期価値ハミルトニアン (current-value Hamiltonian) $\hat{H}$ になる。

$$\hat{H} = \frac{H}{\exp(-\rho t)}, \quad \hat{\mu}^t = \frac{\mu^t}{\exp(-\rho t)} \quad (3a)$$

$$\hat{H} = (\ln U_H^t) + \hat{\mu}^t \{ w^t T_H + (r^t \phi - \delta) K^t - \kappa_H - e_H^t - S_F^t \} \quad (3b)$$

式(3b)を用いると、最適化問題の一階条件 (F.O.C) は以下ようになる。

$$\frac{\partial \hat{H}}{\partial U_H^t} = 0, \quad \frac{\partial \hat{H}}{\partial K^t} = \rho \hat{\mu}^t - \frac{\partial \hat{\mu}^t}{\partial t} \quad (4a)$$

また、横断性条件は以下となる。

$$\lim_{t \rightarrow \infty} [\hat{\mu}^t \exp(-\rho t) \cdot K^t] = 0 \quad (4b)$$

式(4a)を解くには、支出水準が必要となる。そこで、家計の t 期における行動モデルを定式化する。これは静学 CGE モデルと同様にツリー構造によりモデル化される。図-2 がそれであるが、ここでは支出水準を求めるために

図-2 家計の行動モデル

最上位の合成財と余暇を消費する行動モデルを示す。それは以下のような効用水準一定制約下での支出最小化問題により定式化できる。

$$p_U^t U_H^t = \min_{z_H^t, l_S^t} [q_{ZH}^t z_H^t + w^t l_S^t] \quad (5a)$$

$$\text{s.t. } U_H^t = \gamma_H \left[\alpha_{ZH} \left\{ \beta_{ZH} z_H^t \right\}^{\frac{\sigma_H-1}{\sigma_H}} + (1-\alpha_{ZH}) \left\{ (1-\beta_{ZH}) l_S^t \right\}^{\frac{\sigma_H-1}{\sigma_H}} \right]^{\frac{\sigma_H}{\sigma_H-1}} \quad (5b)$$

ただし、 z_H^t, l_S^t : 家計の合成財、余暇の各消費量, q_{ZH}^t, w^t : 合成財価格と賃金率 (余暇価格), p_U^t : 効用水準の価格, α_{ZH}, β_{ZH} : 分配パラメータ, γ_H : 効率パラメータ, σ_H : 代替弾力性パラメータ。

式(5)では、効用関数をBarro型CES関数とした。また、式(5a)の左辺が支出水準 e_H^t を表すことになる。

式(5)の支出最小化問題を解くと以下の需要関数が求められる。

$$z_H^t = \frac{1}{\gamma_H (\beta_{ZH})^{1-\sigma_H}} \left(\frac{\alpha_{ZH}}{q_{ZH}^t} \right)^{\sigma_H} \Psi_H^t \frac{\sigma_H}{1-\sigma_H} U_H^t \quad (6a)$$

$$l_S^t = \frac{1}{\gamma_H (1-\beta_{ZH})^{1-\sigma_H}} \left(\frac{1-\alpha_{ZH}}{w^t} \right)^{\sigma_H} \Psi_H^t \frac{\sigma_H}{1-\sigma_H} U_H^t \quad (6b)$$

ただし、

$$\Psi_H^t = (\alpha_{ZH})^{\sigma_H} \left(\frac{q_{ZH}^t}{\beta_{ZH}} \right)^{1-\sigma_H} + (1-\alpha_{ZH})^{\sigma_H} \left(\frac{w^t}{1-\beta_{ZH}} \right)^{1-\sigma_H}.$$

式(6)を式(5)の目的関数に代入すると、効用水準価格 p_U^t が求められる。

$$p_U^t = \frac{1}{\gamma_H} \Psi_H^t \frac{1}{1-\sigma_H} \quad (7)$$

式(1b)の支出水準は、以下のように表される。

$$e_H^t = p_U^t U_H^t \quad (8)$$

式(7)より効用水準価格が求められ、支出水準も得られることになる。そこで、式(8)を式(2b)に代入し一階条件を解くと、最終的に以下のようなオイラー方程式と資本蓄積式が導出され、これらによって本モデルの動学構造が規定されることになる。なお、その詳細な導出は付録にまとめて示した。

$$\text{オイラー方程式：} \frac{\partial e_H^t}{\partial t} = r^t \varphi - \delta - \rho \quad (9a)$$

資本蓄積式：

$$\frac{\partial K^t}{\partial t} = w^t T_H + (r^t \varphi - \delta) K^t - \kappa_H - e_H^t - S_F^t \quad (9b)$$

(4) 代表的家計の t 期における行動モデル

代表的家計の t 期における（瞬時的）行動モデルは静学モデルと同様となる。ここでは、筆者らが構築してきた交通生産を明示化したSCGEモデル（例えば、武藤、桐越²⁰あるいは森杉²¹）を参照のこと。また細江ら²²等も参考になる）を基に、代表的家計の行動モデルを定式化する。それらは、図-2に示した階層構造により表される。

家計はまず、総利用可能時間と資本ストックを供給して所得を得る。その所得を貯蓄と消費に分ける。なお、この貯蓄の決定は3. (3)の通時的効用最大化行動に基づきなされる。一方、消費に対しては、合成消費財と余暇の消費量を決定する。これは、既に式(5)にて定式化したものである。次に、合成消費財に対し、個別財 n ごとの消費量を決定する。ただし、その消費には運輸の投入が必要であるとする。運輸は、貨物と旅客を区別し、それぞれに対して交通機関選択まで考慮している。なお、本モデルは自家輸送を考慮している点も他にはない特長である。

合成財と余暇の各消費量の決定モデルは式(5)のとおりであり、ここではその次の合成財消費に対する個別財 n の合成消費量決定モデルを示す。

$$q_{ZH}^t z_H^t = \min_{z_{nH}^t} \left[\sum_n q_{nH}^t z_{nH}^t \right] \quad (10a)$$

$$\text{s.t. } z_H^t = \gamma_{ZH} \left[\sum_n \alpha_{nH} \left\{ \beta_{nH} z_{nH}^t \right\}^{\frac{\sigma_{ZH}-1}{\sigma_{ZH}}} \right]^{\frac{\sigma_{ZH}}{\sigma_{ZH}-1}} \quad (10b)$$

ただし、 z_{nH}^t ：家計の個別財 n の合成消費量、 q_{nH}^t ：個別財 n の合成価格、 α_{nH}, β_{nH} ：分配パラメータ（ $\sum_n \alpha_{nH} = 1, \sum_n \beta_{nH} = 1$ ）、 γ_{ZH} ：効率パラメータ、 σ_{ZH} ：代替弾力性パラメータ。

式(10)を解くと以下の需要関数が求められる。

$$z_{nH}^t = \frac{1}{\gamma_{ZH} (\beta_{nH})^{1-\sigma_{ZH}}} \left(\frac{\alpha_{nH}}{q_{nH}^t} \right)^{\sigma_{ZH}} \Psi_{ZH}^t \frac{\sigma_{ZH}}{1-\sigma_{ZH}} z_H^t \quad (11)$$

$$\text{ただし、} \Psi_{ZH}^t = \sum_n (\alpha_{nH})^{\sigma_{ZH}} \left(\frac{q_{nH}^t}{\beta_{nH}} \right)^{1-\sigma_{ZH}}.$$

式(11)を式(10)の目的関数に代入すると、合成消費財価格が求められる。

$$q_{ZH}^t = \frac{1}{\gamma_{ZH}} \Psi_{ZH}^t \frac{1}{1-\sigma_{ZH}} \quad (12)$$

次に、合成消費財 n に対する個別財 n と合成運輸の各消費量決定モデルを示す。

$$q_{nH}^t z_{nH}^t = \min_{x_{nH}^t, z_{TH}^t} \left[p_n^t x_{nH}^t + q_{TH}^t z_{TH}^t \right] \quad (13a)$$

$$\text{s.t. } z_{nH}^t = \gamma_{nH} \left[(1-\alpha_{TH}) \left\{ (1-\beta_{TH}) x_{nH}^t \right\}^{\frac{\sigma_{nH}-1}{\sigma_{nH}}} + \alpha_{TH} \left\{ \beta_{TH} z_{TH}^t \right\}^{\frac{\sigma_{nH}-1}{\sigma_{nH}}} \right]^{\frac{\sigma_{nH}}{\sigma_{nH}-1}} \quad (13b)$$

ただし、 x_{nH}^t, z_{TH}^t ：家計の個別財 n 、合成運輸の各消費量、 p_n^t, q_{TH}^t ： n 財価格と合成運輸価格、 α_{TH}, β_{TH} ：分配パラメータ、 γ_{nH} ：効率パラメータ、 σ_{nH} ：代替弾力性パラメータ。

式(13)を解くと以下の需要関数が求められる。

$$x_{nH}^t = \frac{1}{\gamma_{nH} (1-\beta_{TH})^{1-\sigma_{nH}}} \left(\frac{1-\alpha_{TH}}{p_n^t} \right)^{\sigma_{nH}} \Psi_{nH}^t \frac{\sigma_{nH}}{1-\sigma_{nH}} z_{nH}^t \quad (14a)$$

$$z_{TH}^t = \frac{1}{\gamma_{nH} (\beta_{TH})^{1-\sigma_{nH}}} \left(\frac{\alpha_{TH}}{q_{TH}^t} \right)^{\sigma_{nH}} \Psi_{nH}^t \frac{\sigma_{nH}}{1-\sigma_{nH}} z_{nH}^t \quad (14b)$$

ただし、

$$\Psi_{nH}^t = (1-\alpha_{TH})^{\sigma_{nH}} \left(\frac{p_n^t}{1-\beta_{TH}} \right)^{1-\sigma_{nH}} + (\alpha_{TH})^{\sigma_{nH}} \left(\frac{q_{TH}^t}{\beta_{TH}} \right)^{1-\sigma_{nH}}.$$

式(14)を式(13)の目的関数に代入すると、合成消費財 n の価格が求められる。

$$q_{nH}^t = \frac{1}{\gamma_{nH}} \Psi_{nH}^t \frac{1}{1-\sigma_{nH}} \quad (15)$$

次に、合成運輸消費に対する合成貨物運輸、合成旅客運輸の各消費量決定モデルを示す。

$$q_{TH}^t z_{TH}^t = \min_{z_{TFH}^t, z_{TPH}^t} \left[q_{TFH}^t z_{TFH}^t + q_{TPH}^t z_{TPH}^t \right] \quad (16a)$$

$$\text{s.t. } z_{TH}^t = \gamma_{TH} \left[\alpha_{TFH} \left\{ \beta_{TFH} z_{TFH}^t \right\}^{\frac{\sigma_{TH}-1}{\sigma_{TH}}} + (1-\alpha_{TFH}) \left\{ (1-\beta_{TFH}) z_{TPH}^t \right\}^{\frac{\sigma_{TH}-1}{\sigma_{TH}}} \right]^{\frac{\sigma_{TH}}{\sigma_{TH}-1}} \quad (16b)$$

ただし, $z_{T_FH}^t, z_{T_PH}^t$: 家計の合成貨物運輸, 合成旅客運輸の各消費量, $q_{T_FH}^t, q_{T_PH}^t$: 合成運輸貨物価格と合成旅客運輸価格, $\alpha_{T_FH}, \beta_{T_FH}$: 分配パラメータ, γ_{TH} : 効率パラメータ, σ_{TH} : 代替弾力性パラメータ.

式(16)を解くと以下の需要関数が求められる.

$$z_{T_FH}^t = \frac{1}{\gamma_{TH} (\beta_{T_FH})^{1-\sigma_{TH}}} \left(\frac{\alpha_{T_FH}}{q_{T_FH}^t} \right)^{\sigma_{TH}} \Psi_{TH}^t \frac{\sigma_{TH}}{1-\sigma_{TH}} z_{TH}^t \quad (17a)$$

$$z_{T_PH}^t = \frac{1}{\gamma_{TH} (1-\beta_{T_FH})^{1-\sigma_{TH}}} \left(\frac{1-\alpha_{T_FH}}{q_{T_PH}^t} \right)^{\sigma_{TH}} \Psi_{TH}^t \frac{\sigma_{TH}}{1-\sigma_{TH}} z_{TH}^t \quad (17b)$$

$$\text{ただし, } \Psi_{TH}^t = (\alpha_{T_FH})^{\sigma_{TH}} \left(\frac{q_{T_FH}^t}{\beta_{T_FH}} \right)^{1-\sigma_{TH}} + (1-\alpha_{T_FH})^{\sigma_{TH}} \left(\frac{q_{T_PH}^t}{1-\beta_{T_FH}} \right)^{1-\sigma_{TH}}.$$

式(17)を式(16)の目的関数に代入すると, 合成運輸価格が求められる.

$$q_{TH}^t = \frac{1}{\gamma_{TH}} \Psi_{TH}^t \frac{1}{1-\sigma_{TH}} \quad (18)$$

合成貨物運輸に対する交通機関選択モデルは以下のようなになる.

$$q_{T_FH}^t z_{T_FH}^t = \min_{x_{T_FmH}^t} \left[\sum_{T_Fm} p_{T_Fm}^t x_{T_FmH}^t \right] \quad (19a)$$

$$\text{s.t. } z_{T_FH}^t = \gamma_{T_FH} \left[\sum_{T_Fm} \alpha_{T_FmH} \left\{ \beta_{T_FmH} x_{T_FmH}^t \right\}^{\frac{\sigma_{T_FH}-1}{\sigma_{T_FH}}} \right]^{\frac{\sigma_{T_FH}}{\sigma_{T_FH}-1}} \quad (19b)$$

ただし, $x_{T_FmH}^t$: 家計の交通機関 T_Fm の貨物運輸サービス消費量, $p_{T_FmH}^t$: 交通機関 T_Fm の貨物運輸サービス価格, $\alpha_{T_FmH}, \beta_{T_FmH}$: 分配パラメータ ($\sum_n \alpha_{T_FmH} = 1, \sum_m \beta_{T_FmH} = 1$), γ_{T_FH} : 効率パラメータ, σ_{T_FH} : 代替弾力性パラメータ.

式(19)を解くと以下の需要関数が求められる.

$$x_{T_FmH}^t = \frac{1}{\gamma_{T_FH} (\beta_{T_FmH})^{1-\sigma_{T_FH}}} \left(\frac{\alpha_{T_FmH}}{p_{T_Fm}^t} \right)^{\sigma_{T_FH}} \Psi_{T_FH}^t \frac{\sigma_{T_FH}}{1-\sigma_{T_FH}} z_{T_FH}^t \quad (20)$$

$$\text{ただし, } \Psi_{T_FH}^t = \sum_{T_Fm} (\alpha_{T_FmH})^{\sigma_{T_FH}} \left(\frac{p_{T_Fm}^t}{\beta_{T_FmH}} \right)^{1-\sigma_{T_FH}}.$$

式(20)を式(19)の目的関数に代入すると, 家計の合成貨物運輸価格が求められる.

$$q_{T_FH}^t = \frac{1}{\gamma_{T_FH}} \Psi_{T_FH}^t \frac{1}{1-\sigma_{T_FH}} \quad (21)$$

図-3 企業の行動モデル

最後に合成旅客運輸に対する交通機関選択モデルがあるが, それは合成貨物運輸の添字 T_Fm を合成旅客運輸を表す添字 T_Pm に変更するだけであるため, ここでは説明を割愛したい.

(5) 企業の行動モデル

企業は, 各 t 期において, 瞬時的費用最小化行動を行うものとする. これは, 通常の静学CGEモデルと同様の行動モデルであることを意味する.

本モデルの企業の行動モデルは, 図-3のような階層構造とした. 企業は, まず合成中間財と合成生産要素の投入量を決定し, 合成中間財に対しては中間財 n の合成投入量を決定し, 一方の合成生産要素に対しては労働と資本の投入量を決定する. 企業も家計と同様, 中間財投入には運輸の投入が必要であるとし, 運輸は貨物と旅客を区別した上で, それぞれの交通機関選択まで決定されるものとした.

定式化については, 既存の(S)CGEモデルと同様である. まず合成中間財と合成生産要素の投入量決定モデルを示す.

$$p_m^t y_m^t = \min_{z_m^t, c_m^t} \left[q_{Zm}^t z_m^t + (1+\tau_m) p_{Fm}^t c_m^t \right] \quad (22a)$$

$$\text{s.t. } y_m^t = \gamma_m \left[\alpha_{Zm} \left\{ \beta_{Zm} z_m^t \right\}^{\frac{\sigma_m-1}{\sigma_m}} + (1-\alpha_{Zm}) \left\{ (1-\beta_{Zm}) c_m^t \right\}^{\frac{\sigma_m-1}{\sigma_m}} \right]^{\frac{\sigma_m}{\sigma_m-1}} \quad (22b)$$

ただし, z_m^t, c_m^t : m 企業の合成中間財投入量と合成生産要素投入量, q_{Zm}^t, p_{Fm}^t : 合成中間財価格と合成生産要素価格, τ_m : 純間接税率, y_m^t, p_m^t : m 財の生産量と m 財価格, $\alpha_{Zm}, \beta_{Zm}, \gamma_m$: 分配パラメータおよび効率パラメータ, σ_m : 代替弾力性パラメータ.

式(22)を解くと以下の需要関数が求められる.

$$z_m^t = \frac{1}{\gamma_m (\beta_{Zm})^{1-\sigma_m}} \left(\frac{\alpha_{Zm}}{q_{Zm}^t} \right)^{\sigma_m} \Psi_m^t \frac{\sigma_m}{1-\sigma_m} y_m^t \quad (23a)$$

$$cf_m^t = \frac{1}{\gamma_m (1 - \beta_{zm})^{1-\sigma_m}} \left(\frac{1 - \alpha_{zm}}{\{1 + \tau_m\} pf_m^t} \right)^{\sigma_m} \Psi_m^{t \frac{\sigma_m}{1-\sigma_m}} y_m^t \quad (23b)$$

ただし、

$$\Psi_m^t = (\alpha_{zm})^{\sigma_m} \left(\frac{q_{zm}^t}{\beta_{zm}} \right)^{1-\sigma_m} + (1 - \alpha_{zm})^{\sigma_m} \left(\frac{\{1 + \tau_m\} pf_m^t}{1 - \beta_{zm}} \right)^{1-\sigma_m}.$$

式(23)を式(22)の目的関数に代入すると、 m 財価格が求められる。

$$p_m^t = \frac{1}{\gamma_m} \Psi_m^{t \frac{1}{1-\sigma_m}} \quad (24)$$

式(22a)の τ_m は間接税率を表しているが、後の数値計算での地球温暖化対策税の増徴策においては、 m が石油製品製造部門であるときの τ_m を変更させている。

これ以降の定式化は、家計の消費行動モデルの枠組みと同じであり、モデル構造も式(10)～(21)の家計を表す添字 H を、 m 企業を表す添字 m に変えたものとなる。したがって、ここでは企業の行動モデルとして改めて示すことは割愛したい。

(6) 運輸企業の行動モデル

運輸企業の行動は森杉²⁰⁾と同様であるが、交通生産を明示化している点は他の一般的な(S)CGEモデルとは異なるため、ここで詳細に説明したい。また、もう一つの本CGEモデルの特長である自家輸送の考慮について、ここでは自家輸送部門も運輸企業に含めて考える。自家輸送とは、家計あるいは企業が自身で保有する自動車で行う輸送であり、家計のマイカーによる輸送も含まれる。太田ら²⁹⁾が述べているように、交通整備の評価を行うにあたり自家輸送の考慮は必須であるが、これまでのCGE分析では自家輸送が考慮されてこなかった。この点を本CGEモデルでは明示的に考慮しようとしたものである。

この自家輸送とは、自身で自家輸送サービスを生産し、自身でそれを消費するものと考えられる。このうち、自家輸送サービスの生産部分について、自家輸送部門という仮設部門が行い、それを家計あるいは企業が消費するとしてここではモデル化することにした。その結果、自家輸送部門の生産行動モデルも以下の運輸企業の生産行動モデルと同様に定式化できる。

本CGEモデルでは、運輸企業を独立的に扱う。これは、輸送モデルにアイスバーグ型を用いているSCGEモデルとは大きく異なる点である (CGEEurope²⁹⁾, REAM²⁹⁾, 上田²⁹⁾, 小池ら²⁷⁾は全てアイスバーグ型の輸送モデルである)。アイスバーグ型とは、輸送を考慮するために、輸送される財が輸送の分だけ追加消費されるとしたモデルであり、交通整備等による時間短縮によってその追加消費分が削減されることにより、整備効果が生じる仕組み

となっている。しかし、輸送を行う主体が、輸送される財を生産する企業と同一となっているため、輸送に係る生産構造が考慮できていないという大きな問題があった。そこで、森杉²⁰⁾をはじめ、本研究では運輸企業を独立させて扱い、輸送の生産構造を明確にすることにした。

その場合も、運輸企業の行動モデルは3. (5)の企業行動モデルとほぼ同じとなる。すなわち、中間財と生産要素を投入し、運輸サービスを生産するという構造自体は、図-3に示した他の企業のもものと変わらない。ただし、自動車に関する運輸企業、具体的には道路旅客、自家旅客、道路貨物、自家貨物の各運輸企業においては、自動車燃料を石油製品製造部門から投入しており、それは地球温暖化問題において特に問題視されている、自動車交通からのGHG排出の原因の部分であり、これが本モデルでは明確に考慮されている点には注意されたい。

以上の運輸企業の行動モデルの定式化も企業のもものと同じとなる。すなわち、運輸企業の合成中間財と合成生産要素の投入量決定モデルは式(22)～(24)と全く同様となる。それ以降も、合成中間財投入については全く同じである。すなわち、家計の行動モデルの式(10)～(21)と枠組みは同様となる。一方、合成生産要素に対する定式化は若干異なるため、以下に詳説する。

運輸企業が運輸サービスを生産する際、労働と、自動車など輸送機械が主である資本を投入し、交通路を移動して物や人を輸送する。このとき交通整備等による時間短縮効果が生じると、その労働および資本の投入効率が向上することになる。なぜなら、時間短縮が生じれば、同じ距離を移動するのに、より早く目的地に到達できることになり、それは同じ運輸サービスを生産するために投入される労働と、拘束時間で捉えた資本投入が少なくて済むことを意味するからである。すなわち、交通整備によって、運輸企業では労働と資本の投入効率の向上効果が生じるのである。これは以下のとおり定式化される。

まず運輸企業の合成生産要素投入において、技術制約となる合成生産要素関数を、交通所要時間と労働、資本の各投入量に対してゼロ次同次性を有するものと仮定して特定化する。その意味は、例えば交通整備により交通所要時間が半分に削減されたとすると、そこを移動して輸送サービスを生産する運輸企業の労働と資本の投入量も半分で済むというものである。なぜなら、既に述べたとおり、交通所要時間が半分に削減されれば、同じ運輸サービスを生産するためには半分の時間で済むため、労働と資本の投入量も半分で済むからである。ゼロ次同次性を有する合成生産要素関数は以下のように表される。

$$cf_{T_m}^t = cf_{T_m}^t (\eta_{T_m}^t, l_{T_m}^t, k_{T_m}^t) = cf_{T_m}^t (\lambda \eta_{T_m}^t, \lambda l_{T_m}^t, \lambda k_{T_m}^t) \quad (25)$$

ただし、 T_m : 交通機関別の運輸企業を表す添字、

$l_{T_m}^t, k_{T_m}^t$: それぞれ運輸企業 T_m の労働, 資本投入量,
 $\eta_{T_m}^t$: 交通所要時間.

式(25)の λ を以下のようにおく.

$$\lambda = \frac{\eta_{T_m}^{tA}}{\eta_{T_m}^t} \quad (26)$$

ただし, A : 交通整備なしを意味する添字.

式(26)を式(25)に代入すると, 合成生産要素関数は以下
 のようになる.

$$cf_{T_m}^t = cf_{T_m}^t (eff_{T_m}^t \cdot l_{T_m}^t, eff_{T_m}^t \cdot k_{T_m}^t) \quad (27)$$

ただし, $eff_{T_m}^t : \left[\equiv \frac{\eta_{T_m}^{tA}}{\eta_{T_m}^t} \right]$ であり, 運輸企業における生

産要素投入の効率性を表す指標と解釈できる.

式(27)にしたがうと, 運輸企業の労働, 資本の投入量
 決定モデルは以下ようになる.

$$pf_{T_m}^t cf_{T_m}^t = \min_{l_{T_m}^t, k_{T_m}^t} [w^t l_{T_m}^t + r^t k_{T_m}^t] \quad (28a)$$

$$\text{s.t. } cf_{T_m}^t = \gamma_{FT_m} \left[\alpha_{LT_m} \left\{ \beta_{LT_m} \cdot eff_{T_m}^t l_{T_m}^t \right\}^{\frac{\sigma_{FT_m}-1}{\sigma_{FT_m}}} \right. \\ \left. + (1 - \alpha_{LT_m}) \left\{ (1 - \beta_{LT_m}) \cdot eff_{T_m}^t k_{T_m}^t \right\}^{\frac{\sigma_{FT_m}-1}{\sigma_{FT_m}}} \right]^{\frac{\sigma_{FT_m}}{\sigma_{FT_m}-1}} \quad (28b)$$

ただし, w^t, r^t : 賃金率と利子率, $\alpha_{LT_m}, \beta_{LT_m}$: 分配パ
 ラメータ, γ_{FT_m} : 効率パラメータ, σ_{FT_m} : 代替弾力性
 パラメータ.

式(28)を解くと以下の需要関数が求められる.

$$l_{T_m}^t = \frac{1}{\gamma_{FT_m} (\beta_{LT_m} eff_{T_m}^t)^{1-\sigma_m}} \left(\frac{\alpha_{LT_m}}{w^t} \right)^{\sigma_{FT_m}} \Psi_{FT_m}^t \frac{\sigma_{FT_m}}{1-\sigma_{FT_m}} cf_{T_m}^t \quad (29a)$$

$$k_{T_m}^t = \frac{1}{\gamma_{FT_m} \left(\{1 - \beta_{LT_m}\} eff_{T_m}^t \right)^{1-\sigma_m}} \left(\frac{1 - \alpha_{LT_m}}{r^t} \right)^{\sigma_{FT_m}} \Psi_{FT_m}^t \frac{\sigma_{FT_m}}{1-\sigma_{FT_m}} cf_{T_m}^t \quad (29b)$$

$$\text{ただし, } \Psi_{FT_m}^t = (\alpha_{LT_m})^{\sigma_{FT_m}} \left(\frac{w^t}{\beta_{LT_m} eff_{T_m}^t} \right)^{1-\sigma_{FT_m}} \\ + (1 - \alpha_{LT_m})^{\sigma_{FT_m}} \left(\frac{r^t}{\{1 - \beta_{LT_m}\} eff_{T_m}^t} \right)^{1-\sigma_{FT_m}}.$$

式(29)を式(28)の目的関数に代入すると, 合成生産要素
 価格が求められる.

$$pf_{T_m}^t = \frac{1}{\gamma_{FT_m}} \Psi_{FT_m}^t \frac{1}{1-\sigma_{FT_m}} \quad (30)$$

後の数値計算での高規格幹線道路整備においては, 整
 備有無の平均道路交通所要時間を求め, 整備なしの所要
 時間を式(27)の分子である $\eta_{T_m}^{tA}$ に, 整備ありの所要時間
 を式(27)の分母である $\eta_{T_m}^t$ に入力して, シミュレーショ
 ン計算を実行している.

(7) その他の主体の行動モデル

その他の主体の行動モデルを示す.

政府は, 家計の直接税支払いと企業の純間接税支払い
 からなる税収を得て, その一部を公共投資に回し, 残り
 を政府消費に充てる. 政府消費の n 財別消費量は, 政府
 消費に充てられる税収に対し一定比率で支出されるもの
 としてモデル化した. それは以下のようにになる.

$$x_{nGC}^t = \frac{\alpha_{nGC}}{p_n^t} (1 - \delta_{GI}) \Phi_G^t \quad (31)$$

ただし, x_{nGC}^t, p_n^t : 政府の n 財消費量と n 財価格, Φ_G^t ,
 δ_{GI} : 政府税収と公共投資比率, α_{nGC} : パラメータ.

政府税収は以下のとおり得られる.

$$\Phi_G^t = \kappa_H + \sum_m \tau_m pf_m^t cf_m^t \quad (32)$$

ただし, κ_H : 家計の直接税支払い額, τ_m : m 財の純間
 接税率.

公的投資部門は, 政府から公共投資に回された財源を,
 公的投資需要に充てることにより公共投資を実行する.
 公的投資部門の n 財別消費量も, 公共投資財源に対して
 一定比率で支出されるものとする, 以下のように表さ
 れる.

$$x_{nGI}^t = \frac{\alpha_{nGI}}{p_n^t} \delta_{GI} \Phi_G^t \quad (33)$$

ただし, x_{nGI}^t : 公的投資部門の n 財消費量, α_{nGI} : パラ
 メータ.

民間投資部門は, 式(1b)の左辺から得られる投資額を
 民間投資需要に充てることにより民間投資を実行する.
 民間投資部門の n 財消費量も, 投資額に対して一定比率
 で支出されるものとする, 以下のように表される.

$$x_{nI}^t = \frac{\alpha_{nI}}{p_n^t} \left[\frac{\partial K^t}{\partial t} + \delta K^t \right] \quad (34)$$

ただし, x_{nI}^t : 民間投資部門の n 財消費量, α_{nI} : パラメ
 ータ.

海外部門との経済取引である輸出入は, 細江ら²²⁾にし
 たがい, 図-4のように定式化する.

まず, 企業の行動モデルから導出される n 財生産量 y_n^t
 (式(22)を参照のこと) が, 輸出財と国内財供給に分け
 られるとする. これは, Barro型CET関数にしたがい, 収
 入を最大化するように輸出財と国内財の配分を決定する
 ものとして, 以下のとおり定式化する.

国内総需要 (n 財)

$$\sum_m x'_{nm} + x'_{nH} + x'_{nGC} + x'_{nGI} + x'_{nI}$$

|| n 財市場均衡条件

国内供給 (n 財) $Q'_n [p'_{nQ}]$

輸入財 $x'_{nM} [\overline{p}_{nM}]$ 国内財 $x'_{nD} [p'_{nD}]$ 輸出財 $x'_{nE} [\overline{p}_{nE}]$

【図-3 企業の行動モデル】

図-4 輸出入モデル

$$p'_n y'_n = \max_{x'_{nD}, x'_{nE}} [p'_{nD} x'_{nD} + \overline{p}_{nE} x'_{nE}] \quad (35a)$$

$$\text{s.t. } y'_n = \gamma_{nE} \left[(1 - \alpha_{nE}) \left\{ (1 - \beta_{nE}) x'_{nD} \right\}^{\frac{\sigma_{nE} + 1}{\sigma_{nE}}} + \alpha_{nE} \left\{ \beta_{nE} x'_{nE} \right\}^{\frac{\sigma_{nE} + 1}{\sigma_{nE}}} \right] \quad (35b)$$

ただし, x'_{nD}, x'_{nE} : 国内財供給量, 輸出財供給量, p'_{nD} : 国内財価格, $\overline{p}_{nE}$: 輸出財価格 (固定), α_{nE}, β_{nE} : 分配パラメータ, γ_{nE} : 効率パラメータ, σ_{nE} : 代替弾力性パラメータ, y'_n, p'_n : n 財生産量と n 財価格。

式(35)を解くと以下の供給量関数が求められる。

$$x'_{nD} = \frac{1}{\gamma_{nE} (1 - \beta_{nE})^{1 + \sigma_{nE}}} \left(\frac{1 - \alpha_{nE}}{p'_{nD}} \right)^{-\sigma_{nE}} \Psi_{nE}^t \frac{-\sigma_{nE}}{1 + \sigma_{nE}} y'_n \quad (36a)$$

$$x'_{nE} = \frac{1}{\gamma_{nE} (\beta_{nE})^{1 + \sigma_{nE}}} \left(\frac{\alpha_{nE}}{\overline{p}_{nE}} \right)^{-\sigma_{nE}} \Psi_{nE}^t \frac{-\sigma_{nE}}{1 + \sigma_{nE}} y'_n \quad (36b)$$

ただし,

$$\Psi_{nE}^t = (1 - \alpha_{nE})^{-\sigma_{nE}} \left(\frac{p'_{nD}}{1 - \beta_{nE}} \right)^{1 + \sigma_{nE}} + (\alpha_{nE})^{-\sigma_{nE}} \left(\frac{\overline{p}_{nE}}{\beta_{nE}} \right)^{1 + \sigma_{nE}}.$$

式(36)を式(35)の目的関数に代入すると, n 財価格が求められる。

$$p'_n = \frac{1}{\gamma_{nE}} \Psi_{nE}^t \frac{1}{1 + \sigma_{nE}} \quad (37)$$

ここで, n 財価格は式(24)で既に導出されている。そこで, 式(24)と式(37)より国内財価格を求める。

$$p'_{nD} = (1 - \beta_{nE}) \frac{1}{(1 - \alpha_{nE})^{\frac{-\sigma_{nE}}{1 + \sigma_{nE}}}} \cdot \left[(\gamma_{nE} p'_n)^{1 + \sigma_{nE}} - (\alpha_{nE})^{-\sigma_{nE}} \left(\frac{\overline{p}_{nE}}{\beta_{nE}} \right)^{1 + \sigma_{nE}} \right]^{\frac{1}{1 + \sigma_{nE}}} \quad (38)$$

続いて, 国内財と輸入財を投入して国内供給財を生産する行動モデルを示す。

$$p'_{nQ} Q'_n = \min_{x'_{nD}, x'_{nM}} [p'_{nD} x'_{nD} + \overline{p}_{nM} x'_{nM}] \quad (39a)$$

$$\text{s.t. } Q'_n = \gamma_{nM} \left[(1 - \alpha_{nM}) \left\{ (1 - \beta_{nM}) x'_{nD} \right\}^{\frac{\sigma_{nM} - 1}{\sigma_{nM}}} + \alpha_{nM} \left\{ \beta_{nM} x'_{nM} \right\}^{\frac{\sigma_{nM} - 1}{\sigma_{nM}}} \right]^{\frac{\sigma_{nM}}{\sigma_{nM} - 1}} \quad (39b)$$

ただし, x'_{nM} : 輸出財供給量, $\overline{p}_{nM}$: 輸入財価格 (固定), α_{nM}, β_{nM} : 分配パラメータ, γ_{nM} : 効率パラメータ, σ_{nM} : 代替弾力性パラメータ, Q'_n, p'_{nQ} : 国内財供給量とその価格。

式(39)を解くと以下の需要関数が求められる。

$$x'_{nD} = \frac{1}{\gamma_{nM} (1 - \beta_{nM})^{1 - \sigma_{nM}}} \left(\frac{1 - \alpha_{nM}}{p'_{nD}} \right)^{\sigma_{nM}} \Psi_{nM}^t \frac{\sigma_{nE}}{1 - \sigma_{nE}} Q'_n \quad (40a)$$

$$x'_{nM} = \frac{1}{\gamma_{nM} (\beta_{nM})^{1 - \sigma_{nM}}} \left(\frac{\alpha_{nM}}{\overline{p}_{nM}} \right)^{\sigma_{nM}} \Psi_{nM}^t \frac{\sigma_{nM}}{1 - \sigma_{nM}} Q'_n \quad (40b)$$

ただし,

$$\Psi_{nM}^t = (1 - \alpha_{nM})^{\sigma_{nM}} \left(\frac{p'_{nD}}{1 - \beta_{nM}} \right)^{1 - \sigma_{nM}} + (\alpha_{nM})^{\sigma_{nM}} \left(\frac{\overline{p}_{nM}}{\beta_{nM}} \right)^{1 - \sigma_{nM}}.$$

式(40)を式(39)の目的関数に代入すると, n 財の国内供給財価格が求められる。

$$p'_{nQ} = \frac{1}{\gamma_{nM}} \Psi_{nM}^t \frac{1}{1 - \sigma_{nM}} \quad (41)$$

以上により, 輸出額および輸入額が決定される。それらの差額が海外貯蓄となり, それは以下となる。

$$S_F^t = \sum_n (\overline{p}_{nE} x'_{nE} - \overline{p}_{nM} x'_{nM}) \quad (42)$$

(8) 市場均衡条件

市場均衡は各期ごとに清算されるものとする。各期の市場均衡条件は以下のとおりである。

$$m\text{財市場: } Q'_n = \sum_m x'_{nm} + x'_{nH} + x'_{nGC} + x'_{nGI} + x'_{nI} \quad (43a)$$

$$\text{労働市場: } T_H - I'_S = \sum_m l'_m \quad (43b)$$

$$\text{資本市場: } K^t = \sum_m k'_m \quad (43c)$$

ただし, $x'_{nm}, x'_{nH}, x'_{nGC}, x'_{nGI}, x'_{nI}$: それぞれ企業 m , 家計, 政府, 公的投資部門, 民間投資部門の n 財投入量。

4. 最適動学CGEモデルの数値計算

(1) データセットの作成

最適動学計算を行うにあたり, 構築した最適動学

CGE モデルに対応するデータセットを作成する。基本的なデータベースは 2005 年全国産業連関表を用いた²⁸⁾。本研究の特徴として、石油製品製造部門および運輸部門を詳細化しており、全国表に存在する自家輸送部門もそのまま明示化して考慮している。これにより、自家輸送を考慮したシミュレーション計算が可能となっている。なお、交通所要時間、交通量等のデータについては、

4.(3)高規格幹線道路整備の結果を示す際に説明する。

また、作成されたデータセットを用いてパラメータ推定を行うが、ここでは一般的に CGE 分析で用いられるキャリブレーション手法を適用した。その際の代替弾力性については、コブ・ダグラス型関数に近いものを想定することとし、いずれの値も 0.9 としている。

(2) 政策なしの数値計算結果

次に、政策なしの場合の数値計算結果を示す。ここでは、基準年を 2005 年として 2030 年まで計算を行った。図-5 には、資本供給額と消費支出額の位相図を示し²⁹⁾、図-6 にはそれらの時間推移の結果を示した。計算にあたっては、初期時点 ($t=0$) の資本供給は、基準年データをそのまま用いた。一方、消費支出額は、基準年データが必ずしも鞍点経路上にあるわけではないため、基準年データをそのまま用いると定常状態に到達しない。そこで、初期の消費支出額を、基準年データから少しずつ変化させて鞍点経路上の消費支出額を求めた。

図-5、図-6 は、そのようにして求めた鞍点経路上の結果である。なお、伴¹⁶⁾、東山ら¹⁷⁾は、こうした作業を行わないために、基準年が定常状態にあるとの想定を用いたものである。

(3) 高規格幹線道路（高速道路）整備の数値計算結果

本研究では、地球温暖化問題に対する緩和策の評価を行うにあたり、高規格幹線道路整備がなされた場合を前提とする。これは、国土庁（現国土交通省）が作成した第四次全国総合開発計画³⁰⁾で計画案が示された、高規格幹線道路総延長 14,000km という整備目標（現在の供用区間 9,142km に対し追加 4,858km 整備）を達成すると想定したものである。この整備による道路交通所要時間変化を、筆者らが独自に作成した高規格幹線道路ネットワークを用いて算出した。具体的には、追加 4,858km 整備の有無に対してそれぞれ最短経路探索を実行し、自動車一台あたりの平均所要時間を算出した。その際、交通量のデータは、貨物純流動調査結果³¹⁾および旅客純流動調査結果³²⁾より、それぞれ貨物自動車、旅客自動車の台数に換算したものをを用いた。また、リンク所要時間データは、青木ら¹⁸⁾にて 9,142km 整備の便益が 7.8 兆円と算出されており、その結果に整合するように設定を行っている。なお、ここでは高規格幹線道路のみを対象としてお

図-5 位相図（政策なし）

図-6 消費支出額と資本供給額の推移（政策なし）

り、一般道は含まれていない。一般道まで含めた所要時間の推計等については今後の課題としたい。

その結果、4,858km の整備による平均道路所要時間は 5.6% の削減となった。これを基に、道路関連の運輸企業の生産要素投入の効率性 $eff_{T_m}^t = \frac{\eta_{T_m}^t}{\eta_{T_m}^A}$ の値を求め、数値

シミュレーション計算を実行した。

以上の高規格幹線道路の整備を考慮した理由は、運輸部門における GHG 排出削減を検討するにあたり、そうした整備を前提とすることが危険側を想定するという意味で有益と考えたことと、最適動学モデルを用いた場合に、静学分析のケースと比較して便益がどのように変化するかを把握しようと考えたためである。

図-7 は、便益の計測結果を示したものである。最適動学 CGE モデルを用いて整備有無の計算を実行し、その結果得られた各期の家計の支出水準（式(8)）から等価的偏差に基づき便益（これを動学便益と呼ぶ）を計測した。具体的には以下の式となる。

$$EV^t = p_U^t \left(U_H^t{}^A - U_H^t{}^B \right) \quad (44)$$

図-7 には、静学 CGE モデルによる便益（これを静学便益と呼ぶ）の計測結果も示した。

初期時点で、静学便益と動学便益に差があるのは、一般に最適動学モデルにおいて、鞍点経路上の初期消費支出は、基準年データのものより小さくなる場合が多く、

図-7 高規格幹線道路整備の便益計測結果（単位：兆円）

表-1 二酸化炭素排出原単位

	CO ₂ 排出原単位
ガソリン	2.32 (t-CO ₂ /kl)
軽油	2.58 (t-CO ₂ /kl)

図-8 運輸部門からの二酸化炭素排出量変化率の推移

今回の数値計算でもそのような結果となり、初期時点での動学便益が静学便益より小さくなったものと考えられる。しかし、すぐに動学便益は増加し、最終的に 2030 年では、約 3.5 兆円の便益となった。その時の静学便益は約 2.8 兆円であり、動学便益を静学便益で除した動学乗数は 1.25 となった。

続いて、GHG 排出量変化の結果を示すが、ここでは二酸化炭素排出のみに着目することとする。運輸部門から排出される二酸化炭素排出量は、運輸部門が中間財として投入する石油石炭部門の財消費量からガソリンおよび軽油消費量 (kl) を算出し、それに表-1 の二酸化炭素排出原単位³³⁾ を乗じて求めた。なお、ここでは自家輸送部門はガソリン車、道路旅客、道路貨物部門はディーゼル車として計算を行っている。この結果から高規格幹線道路整備の有無に対する各期の二酸化炭素排出量変化率を示したものが図-8 である。道路整備の結果、全期で二酸化炭素排出量は増加しており、また期を経るごとに増加率が高まっている。2030 年では 0.9% 増となった。

(4) 自動車燃料税の増徴による緩和策の実行

本項では、4.(3) の高規格道路整備を前提として、自動車燃料税の増徴による緩和策の実行を検討する。ここでは、運輸部門だけに着目し、COP21 の削減目標が達成できるような自動車燃料税の増徴率を求めることにした。

運輸部門の削減目標は、2030 年度において 2005 年度比でマイナス 32.1% となっている。

自動車燃料税増徴策を導入したときの、2005 年を基準とした二酸化炭素排出変化率の推移を図-9 に示す。初年度 (2005 年) は、25% ほどの削減率であるが、年次を追うごとに削減率が大きくなり、2030 年では削減目標の 32% を超える結果となっている。このときの必要な自動車燃料税は 41% 増徴させる結果になった。これは、もし現状のガソリン価格が 100 円/l とすると、それが 141 円/l になるということである。削減目標を自動車燃料税の増徴によってのみ達成しようとした場合、その程度の負担が必要となることを示している。なお、このとき (2030 年時点) 自動車関連の運輸サービス消費量変化は、平均で 1.3% の減となっている。ただし、本数値計算では、道路を整備した場合の燃費改善や、電気自動車 (EV 車)、ハイブリッド車等の環境車の普及などは考慮しておらず、今後それらを考慮したモデルへと改良する必要がある。

自動車燃料税増徴策を導入した場合の動学便益を示したものが図-10 である。課税なしとは、4.(3) の高規格道路整備の動学便益のことである。そして、課税ありが自動車燃料税増徴策導入ケースであり、その動学便益は 2030 年で 5,966 億円の正の便益となった。自動車燃料税増徴策の導入により、いわゆるデッドウェイトロスが発生しているが、それより高規格道路整備便益の方が大きいため正の便益となったものと考えられる。以上より、高規格道路を計画どおり 14,000km まで整備して、自動車燃料税増徴策により 2030 年の削減目標を達成させることが整備をしない場合よりも効果的であることが示されたといえる。

(5) 適応策評価のための洪水被害費用計測

本項では、最終的には地球温暖化による影響への適応策を検討することを目的として、まずは資本損壊の回復を内生化した洪水被害費用の計測を行う。この洪水被害費用を、式(44)で定義した等価的偏差に基づく (不) 便益により計測することにした。これは、損害保険ジャパン他³³⁾にて提唱されている災害被害の定義に基づくものである。

ここでは、2005 年の水害による年間資産損失額を初期時点の資本ストックから差し引き、その復旧過程も含めた動学的影響の評価し、洪水被害費用の推計を行う。国土交通省の水管理・国土保全局の水害統計では、2005 年の水害による資産被害は 4,656 億円となっている³⁴⁾。これを資本におけるストックとフローの換算係数 ϕ を乗じて資本供給額に変換し、基準年の資本供給額から差し引いた。

図-9 自動車燃料税増徴策の導入による二酸化炭素排出変化率

図-10 自動車燃料税増徴策の導入による動学便益（百万円）

便益の概念を用いて計測した洪水被害費用の結果を図-11に示す。初年度の被害費用は1,346億円となり、年間水害資産被害額4,656億円のおよそ1/4となった。しかし、2期目の被害費用は885億円となり、急速な回復を示した。これは、損失分の資本ストックを迅速に復旧させる投資が生じたためと考えられる。また2013年以降は正の便益が生じている。これは、長期的な時間軸の中で資本の最適蓄積が調整され、初期の資本損壊による損失を賄うため、2013年以降の資本蓄積を増加させ、その結果消費水準も高まったものと推察される。

次に、初年度の洪水被害の有無に対する生産量変化率を図-12に示す。一般機械部門の生産量低下が特に大きく、マイナス0.8%を超える結果となった。その他にも、窯業、輸送機械、精密機械、建設などの生産量が低下した。水害によって損壊する資本ストックの多くが機械製品部門に影響を与えたものと考えられる。また、図-13には、同様に初年度の財価格変化率の結果を示し、それはすべての部門で上昇し、特に生産量が大きく低下した機械部門、不動産部門では顕著に影響があらわれた。

5. おわりに

(1) 本研究の成果

本研究の成果は、最適動学CGEモデルを開発し、実際に地球温暖化の緩和策と適応策の計量的評価に、十分利

図-11 洪水被害費用（単位：兆円/年）

図-12 産業別生産量変化率

図-13 産業別財価格変化率

用可能であることを示したことにある。本研究で開発したモデルは、この分野の先駆的モデルである伴モデルと異なり、初期時点で定常状態にあるとの想定をおいていない。これより、伴モデルに対し計算の簡便さでは劣るものの、発展途上国などの定常状態が想定できない地域への適用も可能であるといえる。

本モデルは、交通生産を明示化した静学 CGE モデルをベースとしており、運輸部門に関する詳細な動学分析が可能となった。その結果、交通整備の結果もたらされる動学便益を計測した。動学便益は、生涯効用の最大化を図るモデルの特性上、初期時点では静学便益を下回るが、期間を重ねると逓減を伴いながら増加していく。本研究での結果では、すぐに静学便益を上回り、大きな便益の発生する可能性が示唆された。しかし、GHG の一つである二酸化炭素排出量は増加する。そこで、地球温暖化の緩和策として、自動車燃料税の増徴策の導入効果を検討した。自動車燃料税増徴策の導入によって、交通整備の実施を前提としても 2030 年の削減目標を達成でき、さらに正の便益の発生することが示された。また、

地球温暖化の適応策評価のために、洪水被害を対象としてその被害費用の推計も行った。最適動学の枠組みを用いることにより、資本ストック被害が生じて、最適な投資が進み、比較的早い段階での回復が見込まれる可能性を示唆した。

(2) 今後の課題

最適動学 CGE モデルの開発には成功したが、それに空間を考慮した SCGE モデルに拡張することが重要な課題である。ただし、その場合、鞍点経路上の初期時点の値を地域別に算出する必要がある。しかし、各地域の鞍点経路上の消費支出の導出は、地域間の波及的影響もあるため、多大な困難があると考えられる。

また、本研究では、計算の対象を日本のみとした。しかし、地球温暖化の原因は国内のみとは限らないため、世界を対象とするように拡張することが必要といえる。これらについては、世界全体を対象とした GTAP モデルや RICE モデルが開発されており、そこで用いられているデータを利用する等の検討が必要と考えられる。しかし、本モデルの特長である運輸部門の詳細化に対しては、交通データ等が必要となるため困難が伴う。その点での検討が今後必要といえる。

緩和策と適応策の関係についても、今回の動学計算では直接関連付けた分析が行えなかった。緩和策と適応策の両方を総合的に捉えた分析も重要な課題であり、今後取り組んでいく必要がある。

謝辞：本論文の著者である元日本大学特任教授森杉壽芳先生が 2016 年 5 月 18 日にご逝去された。本論文は、故森杉壽芳先生との議論による部分が大きく、ここに深く感謝の意を表する次第である。また、日本交通政策研究会において、日本総合研究所松岡斉所長、日本大学福田敦教授、東北大学河野達仁教授より大変貴重なコメントをいただいた。ここに記して謝意を表する。

付録

式(2b)からオイラー方程式(9a)の誘導過程を示す。式(2b)に式(8)を代入したものが以下である。

$$\hat{H} = (\ln U_H^t) + \hat{\mu}^t \{w^t T_H + (r^t \phi - \delta) K^t - p_U^t U_H^t\} \quad (A1)$$

式(4)の左項の最適化一階条件より以下が得られる。

$$\hat{\mu}^t = \frac{1}{p_U^t U_H^t} = \frac{1}{e_H^t} \quad (A2)$$

式(A2)の両辺を時間微分する。

$$\frac{\partial \hat{\mu}^t}{\partial t} = - \frac{\frac{\partial e_H^t}{\partial t}}{\{e_H^t\}^2} \quad (A3)$$

式(A2)より $\frac{1}{e_H^t} = \hat{\mu}^t$ であるので、

$$\frac{\frac{\partial \hat{\mu}^t}{\partial t}}{\hat{\mu}^t} = - \frac{\frac{\partial e_H^t}{\partial t}}{e_H^t} \quad (A4)$$

一方、式(4a)の右項の最適化一階条件からは以下が得られる。

$$\frac{\frac{\partial \hat{\mu}^t}{\partial t}}{\hat{\mu}^t} = -r^t \phi + \delta + \rho \quad (A5)$$

式(A4)と(A5)より、式(9a)に示すオイラー方程式が導出される。

$$\frac{\frac{\partial e_H^t}{\partial t}}{e_H^t} = r^t \phi - \delta - \rho \quad (A6)$$

参考文献

- 1) 文部科学省、気象庁、環境省：日本の気候変動とその影響（2012 年度版）、気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート、2013。
- 2) 武田史郎：応用一般均衡モデルによる地球温暖化対策の分析、有村俊英、蓬田守弘、川瀬剛志著：地球温暖化対策と国際貿易－排出量取引と国境調整措置をめぐる経済学・法学的分析－、第一章、pp. 15-36、東京大学出版会、2012。
- 3) 首相官邸地球温暖化対策推進本部：日本の約束草案、2015。 (http://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/kaisai/dai30/yakusoku_souan.pdf)
- 4) 尾田武文、野尻幸宏：わが国の 2013 年度（平成 25 年度）の温室効果ガス排出量について～京都議定書の第二約束期間における最初の排出量の報告～、地球環境研究センターニュース、Vol. 26, No. 3, pp. 2-6, 2015。
- 5) 環境省地球環境局：パンフレット「STOP THE 温暖化 2015—緩和と適応へのアプローチ—」、環境省、2015。
- 6) 環境省：気候変動の影響への適応計画、閣議決定、2015。 (<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/tekiou/siryo1.pdf>)
- 7) Bergman, L. : General equilibrium effects of environmental policy: A CGE modeling approach, *Environmental and Resource Economics*, Vol. 1, No. 1, pp. 43-61, 1991。
- 8) 武田史郎、有村俊秀、爲近英恵：排出量取引の制度設計による炭素リーケージ対策、有村俊英、蓬田守弘、川瀬剛志著：地球温暖化対策と国際貿易－排出量取引と国境調整措置をめぐる経済学・法学的分析－、第三章、pp. 63-85、東京大学出版会、2012。
- 9) Tithipongtrakul, N., 石川良文：地域環境税の応用一般均衡分析、地域学研究、Vol. 42, No. 4, pp. 800-1097, 2013。
- 10) Fujimori, S., Masui, T. and Matsuoka, Y. : Gains from

- emission trading under multiple stabilization targets and technological constraints, *Energy Economics*, Vol. 48, pp. 306-315, 2015.
- 11) 武田史郎, 川崎泰史, 落合勝昭, 伴金美: 日本経済研究センターCGE モデルによる CO₂ 削減策の分析ー「中期目標検討委員会」で用いたモデルと試算の解説ー, (社)日本経済研究センター, JCER Discussion Paper, No. 121, 2009.
 - 12) 武藤慎一: 動学的応用一般均衡モデルによる日本の自動車環境政策評価, 徳永澄憲, 武藤慎一, 黄永和, 孫林, 沖山充著: 自動車環境政策のモデル分析ー地球温暖化対策としての環境車普及促進政策ー, 第 3 章, pp. 64-110, 文眞堂, 2012.
 - 13) Nordhaus, W. and Paul, S.: DICE 2013R: Introduction and User's Manual, 2013. (http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/documents/DICE_Manual_100413r1.pdf)
 - 14) Stanton, E. A., Ackerman, F. and Kartha, S.: Inside the Integrated Assessment Models: Four Issues in Climate Economics, Stockholm Environment Institute, Working Paper WPUS-0801, 2008.
 - 15) 中嶋一憲, 森杉壽芳, 森杉雅史, 坂本直樹: 動学的多地域応用一般均衡モデルによる気候変動に伴う水害被害の計測, 土木計画学研究・講演集, Vol. 49, CD-ROM, No. 121, 2014.
 - 16) 伴金美: 日本経済の多地域動学的応用一般均衡モデルの開発: Forward Looking の視点に基づく地域経済分析, RIETI Discussion Paper Series, 07-J-043, 2007.
 - 17) 東山洋平, 森杉壽芳, 武藤慎一, 福田敦: 動学 SCGE モデルによる高速道路整備便益の推計, 土木計画学研究・講演集, Vol. 49, CD-ROM, No. 120, 2014.
 - 18) 青木優, 森杉壽芳, 武藤慎一, 上泉俊雄, 河野達仁, 福田敦, 東山洋平: 高速道路ネットワーク 9,142km の経済効果ー空間的応用一般均衡(SCGE)アプローチー, 高速道路と自動車, Vol.58, No. 3, pp. 16-25, 2015.
 - 19) 斎藤孝: 2 部門ラムゼイ・モデルにおける不均衡成長, 東洋大学「経済論集」, Vol. 37, No. 1, pp. 1-15, 2011.
 - 20) 武藤慎一, 桐越信: Barro 型 CES 関数に基づく空間的応用一般均衡(SCGE)モデルの一般性向上ー交通モデルを中心にー, 交通学研究/2010 年研究年報, pp. 255-264, 2011.
 - 21) 森杉壽芳: 交通ネットワーク均衡を明示的に組み込んだ SCGE モデルによる道路整備経済効果と便益の計測, 日交研シリーズ A-617, 日本交通政策研究会, 2014.
 - 22) 細江宣裕, 我澤賢之, 橋本日出男: テキストブック応用一般均衡モデリングープログラムからシミュレーションまでー, 東大出版会, 2004.
 - 23) 太田和博, 加藤一誠, 小島克巳: 交通の産業連関分析, 日本評論社, 2006.
 - 24) Bröcker, J.: Operational spatial computable general equilibrium modeling, *The Annals of Regional Science*, Vol. 32, pp. 367-387, 1998.
 - 25) Tavasszy, L. A., Thissen, M. J. P. M. and Oosterhaven, J.: Challenges in the application of spatial general equilibrium models for transport appraisal, *Research in Transportation Economics*, Vol. 31, pp. 12-18, 2011.
 - 26) 上田孝行編著: Excel で学ぶ地域・都市経済分析, コロナ社, 2009.
 - 27) 小池淳司, 佐藤啓輔, 川本信秀: 空間的応用一般均衡モデル「RAEM-Light」を用いた道路ネットワーク評価ー地域間公平性の視点からの実務的アプローチー, 土木計画学研究・論文集, No. 26, pp. 161-168, 2009.
 - 28) 総務省: 平成 17 年 (2005 年) 産業連関表, 総務省, 2009.
 - 29) 山口利夫: マクロ経済動学ーガイドー, pp. 47-54, 2001.
 - 30) 国土庁: 第四次全国総合開発計画, 国土庁, 1987.
 - 31) 国土交通省: 第 8 回 全国貨物純流動調査報告書, 国土交通省, 2007.
 - 32) 国土交通省: 第 4 回 (2005 年) 全国幹線旅客純流動調査 幹線旅客流動の実態ー全国幹線旅客純流動データの分析ー, 国土交通省, 2007.
 - 33) 日本ガス協会: CO₂ 削減対策の評価に用いる電気の CO₂ 排出係数について<2010 年施行温対法対応版>, 日本ガス協会, 2012.
 - 34) 国土交通省: 平成 17 年水害統計, 国土交通省, 2006.
 - 35) 西岡秀三, 植田和弘, 森杉壽芳監修, 損害保険ジャパン他編著: 気候変動リスクとどう向き合うかー企業・行政・市民の賢い適応, 金融財政事情研究会, 2014.

(2016. 2. 26 受付)

OPTIMAL DYNAMIC CGE MODEL TO EVALUATE MITIGATION AND ADAPTATION POLICIES FOR GLOBAL WARMING

Shinichi MUTO, Hisa MORISUGI and Haruki MATSUZAWA

The Japanese Government submitted a target to reduce greenhouse gas (GHG) in 2030 by 26% for emission level of GHG in 2013. It is an important issue to act the effective mitigation policies. On the other hand, it will be important to argue about adaptation policies, because flood disasters occur much more by local heavy rain or typhoon of bigger intensity, which are said to be due to the global warming.

We built the optimal dynamic CGE model to evaluate mitigation or adaptation policies for global warming. By using the model, we calculate the automobile fuel tax rate to achieve emission reduction target under the condition that expressways will be constructed, and estimate damage cost of flood disaster considered capital reconstruction to evaluate adaptation policies.