環境政策評価への計量厚生分析の適用

(A Welfare Metrics for the Evaluation of Environmental Policies)

1999年2月

武　藤　慎　一

環境政策評価への計量厚生分析の適用

(A Welfare Metrics for the Evaluation of Environmental Policies)

1999 年 2 月

武　藤　慎　一

目　次

第二編　応用編

第1章　序　論

1－1　本論文の背景

近年，環境問題への関心の高まりとともに，様々な場面で環境に関わる議論がなされるようになってきた．特に，政策担当者は，環境問題に大きな関心を寄せており，1992 年のリオデジャネイロにおける「地球サミット」をはじめとして，国際会議も多く開催されるようになってきた．1997 年に京都で開かれた地球温暖化防止京都会議では，日本の温室効果ガス削減目標として，2008 年から 2012 年までに 1990 年比で 6%の削減が正式に決定され，政策目標が議論される段階まで来ている[三橋(1998)[1]]．しかし，そのような政策目標の達成に向けた具体的な施策の検討は，未だ議論されている段階であり，科学者によるこの分野での貢献が期待されているといえよう[2]．

環境問題として取り挙げられているものは，このような温室効果ガスによる地球温暖化の問題だけでなく，大気汚染の問題，土壌汚染の問題，水質汚濁の問題など様々である[3,4]．特に，土木の分野が対象とする社会資本整備や各種政策は，自然環境へ及ぼす影響も甚大であり，世論から批判を浴びることが多い．例えば，最近では環境という側面から見て公共事業を見直そうという議論がなされており[5,6]，公共事業が環境へ及ぼす影響を定量的に評価しようという研究もいくつかみられる[7,8]．また，従来土木では道路整備を行ってきたという背景があって，自動車交通に起因する大気汚染や騒音等の環境問題も重大なテーマとして取り挙げられている．特に，ここでは，社会環境の問題として，混雑や交通事故が社会へ与える被害もまとめて環境問題として議論される場合が多い[9,10]．そして，これらの問題に対して，何らかの対策を早急に行うことが求められている．

しかし，環境政策を考えた場合，その一方で，社会資本整備事業の縮小や諸経済活動への費用負担の増加等の社会経済への負荷を伴う点に注意を払うことが必要である．もちろん，これにより環境政策に対して反対の立場をとるというのではなく，環境問題における各個人の責任と負担とを明確に示した上で政策の提示を行うことが，環境政策における合意形成を得るためには重要であることを主張するものである．例えば，社会資本は，経済主体の諸活動の基盤をなすものであるため，社会資本の整備事業を縮小するということは，社会が受けるべき便益をあきらめなければならなくなる可能性がある．また，環境税のような形で経済主体へ費用負担の増加を求めるような場合も同様である．この場合，どの政策を実施するかについては，環境改善による効果だけではなく，社会があきらめなければならない便益，すなわち，社会的厚生の損失を考慮に入れて，その上で総合的な厚生を最大とさせる政策を選択することが重要となってくる．そして，そのための評価手法を確立することが，現在求められていることといえる．

これらについて，経済学，特に厚生経済学の分野で，研究が進められてきた [1]．そこでは，限界的な環境被害に等しい単価で課税あるいは逆に補助金を出せば，政策の経済システムへの影響を考慮した上で,政策の純便益が最大になるような環境水準を自ずから達成できるという，いわゆる Pigou 税・補助金の概念が提示された [2]．これにより，理論上は結論が導き出されたと言われてきた．しかし，現実問題として Pigou 税・補助金を実施するには，いくつかの困難な問題が発生する．例えば，具体的な税率設定において必要となる限界的な環境被害額の計測における困難性，また，税を賦課する際の対象の設定，税の賦課の具体的方法等も慎重に議論されなければならない．あるいは，直接的に税を賦課することが困難な場合，その代替的な施策として，社会資本整備などが有効となりうるかという検討も必要となってくる．

このように，実際問題として環境政策の実行を考えた場合，税の賦課にもいくつかの手段があり，また，社会資本整備等の代替的な施策も存在するため，それらの中から最適な政策を選択する必要がある．そして，そのためには，各政策を定量的に評価し，それを比較分析できる枠組みを構築することが重要と考えられる．また，現在の環境問題では，政策の実行におけるスピードが要求されており，迅速な政策決定を進める上でも，各政策の定量評価が重要な問題となると考えられる．

1－2　本論文の目的

前節の背景を受け，本論文では，環境政策を実施した場合の環境改善の効果とともに，社会経済へ与える影響，具体的には政策を実施することにより生じる社会的厚生の損失を，同時に計測し得る計測モデルの開発およびそれによる実証分析を行うことを目的とする．

この場合，今ある社会経済システムの中で，どのように環境の変化を捉え，経済と環境との相互関係をいかに記述していくのかが重要な要素となってくる．そこで，本研究では，一般均衡理論に基礎をおいた計量厚生分析(Welfare Metrics)の適用を試みる．一般均衡理論とは，社会経済システム内の全ての経済主体を取り挙げ，そこで取引される財やサービス，あるいは労働や資本などの生産要素を全て取り扱った理論体系であり，理論上は，各施策の直接的影響から間接的影響まであらゆる影響を評価することが可能となっている．また，全ての財・サービスを取り扱っているため，どのような政策オプションについても理論的には対応可能であるという特色を持っており，特に，複数の政策を同時に行った場合の影響評価も行いうるという点では非常に有用性が高いと考えられる．

一方，計量厚生分析は，ある施策，例えば社会資本整備の有効性を判断する場合に，一般均衡理論を用いて，便益評価の枠組みを展開した分析手法である．本分析手法の特徴は，一般均衡理論を適用していることにより，利害関係主体別に便益の受益と負担を整理することが可能となり，主体が享受する便益の分配状況を把握することができる点である．そして，この点を

明示的に示すため便益帰着構成表が提案されており，それより，便益の波及構造を詳細に把握することが可能となる．

本研究では，この計量厚生分析の枠組みを環境政策評価への適用することを試みる．特に本研究では，実証的な分析へ計量厚生分析を適用するための方法論に焦点を当てて検討を行う．計量厚生分析，特にその中の一般均衡理論は，理論的には精緻な分析を行える反面，実証的な分析へ適用するには困難な問題があるとされてきた．第一に，現実の社会と理論モデルの一般均衡理論とをどのように対応づけるか，第二に，一般均衡モデルを実際には如何にして解くのかという計算上の問題などが指摘されてきた．これに対し本研究では，一般均衡理論の実証分析への適用を意図して開発された，応用一般均衡(Computable General Equilibrium)モデルの適用を試みる．そして，応用一般均衡モデルに基づいた計量厚生分析の枠組みを再構築し，さらに，実際にいくつかの環境政策へ適用を試み，その有用性を示すことにする．

1－3　本論文の構成

本論文は，基礎理論編と応用編の二編から構成される．

第一編の基礎理論編では，計量厚生分析の基礎理論体系の解説とともに，その環境政策評価への適用の試みとして一般均衡理論による環境政策評価について，また，実証分析への適用の試みとして応用一般均衡理論についての解説を行う．

第二編の応用編では，自動車交通の外部不経済削減政策の評価のための応用一般均衡モデルの開発を行い，それを用いた計量厚生分析の枠組みを示す．そして，実際に，自動車燃料税増徴策，自動車重量税増徴策，公共交通整備政策，低公害車普及政策について，数値シミュレーション分析を行い，各政策の特徴および有効性について比較検討を行っていく．

各章の関係については，図 1-1 に示すとおりである．また，各編の具体的な構成は以下のとおりである．

第一編「基礎理論編」は，第 2 章から第 4 章の構成とする．

第 2 章では，計量厚生分析の基礎的な理論体系について解説を行う．そこでは，まず，計量厚生分析がどのように開発され，発展してきたかについて述べた後，簡単な一般均衡モデルを提示して，便益定義から便益帰着構成表の構築まで解説する．これにより，計量厚生分析の枠組みにより，公共政策や社会資本整備の影響を間接的な影響まで含めて評価することができ，さらに，その便益の波及構造についても明らかにすることが可能となる点を示すことができる．

第 3 章では，第 2 章で述べた計量厚生分析を環境政策評価に適用するために，環境政策評価に対して一般均衡理論がどのように適用されてきたのかを説明する．そこで，まず，第 2 章で提示した一般均衡モデルを修正して，環境質を考慮した一般均衡モデルを構築し，それを用いて，環境政策としての税制策がどのように評価されるのかを示す．そこでは，政策の実施が各

経済主体の行動に影響を与え，その結果として環境改善がどれだけ進むかの評価とともに，各経済主体の行動が抑制されることによる影響も評価し，その上で，理論的に最善といえる政策がどのようなものであるのかが明らかとされる．また，近年研究が進められている環境の経済評価に関わる各種手法について，それらの相互関係および特色を先の環境質を考慮した一般均衡モデルを利用して明らかとする．

第 2 章，第 3 章では，一般均衡理論およびそれを用いた計量厚生分析の枠組みが，公共政策または環境政策評価において，有用である点が明らかとされた．しかし，その実証分析への適用にはいくつかの困難が見られる．これに対しては，一般均衡理論の実証分析のために開発された応用一般均衡モデルの適用が考えられる．そこで，第 4 章では，応用一般均衡理論の基礎的な理論フレームおよびその計算方法について明らかにする．また，その補論では，公共投資の評価に対して，応用一般均衡理論を適用した例を提示することにより，その有用性を示すこととする．

第二編「応用編」は，第 5 章から第 7 章の構成とする．

第 5 章では，環境問題として，自動車交通に起因する外部不経済問題を取り挙げ，その削減政策の評価を行うための応用一般均衡モデルの開発を行う．ここでは，特に自動車交通を取り挙げて外部不経済削減政策の評価を行うため，運輸産業および自動車関連産業について詳細に表現したモデルの構築を試みる．また，家計の交通サービス消費行動モデルについては，土木計画学の分野で研究が進められてきた非集計交通行動モデルとの融合を図り，家計の交通行動も，より詳細に表現し得るモデルの開発を行う．また，便益帰着構成表の作成も行い，各種政策の影響の波及構造についても明らかとする．

第 6 章では，第 5 章で構築した応用一般均衡モデルの動学分析への拡張を試みる．環境問題は，特に長期的な影響が懸念されるため，環境政策についても動学的な視点での評価が重要となってくる．そこで，ここでは，自動車を含めた資本への投資行動を内生化した，動学的応用一般均衡モデルの構築を行う．

第 7 章では，第 5 章，第 6 章で構築した静学的および動学的応用一般均衡モデルを用いて，数値シミュレーションによる自動車交通の外部不経済削減政策の評価を行う．まず，静学モデルでは，自動車燃料税増徴策，自動車重量税増徴策，公共交通整備政策，低公害車普及政策を取り挙げシミュレーション分析を行い，各政策の有効性の検討を行う．そして，動学モデルでは，自動車燃料税増徴策，自動車重量税増徴策について，シミュレーション分析を通して，その有効性について比較検討を行う．

最後に第 8 章では，本論文の結論として，成果をとりまとめるとともに，残された課題を整理して明らかとする．

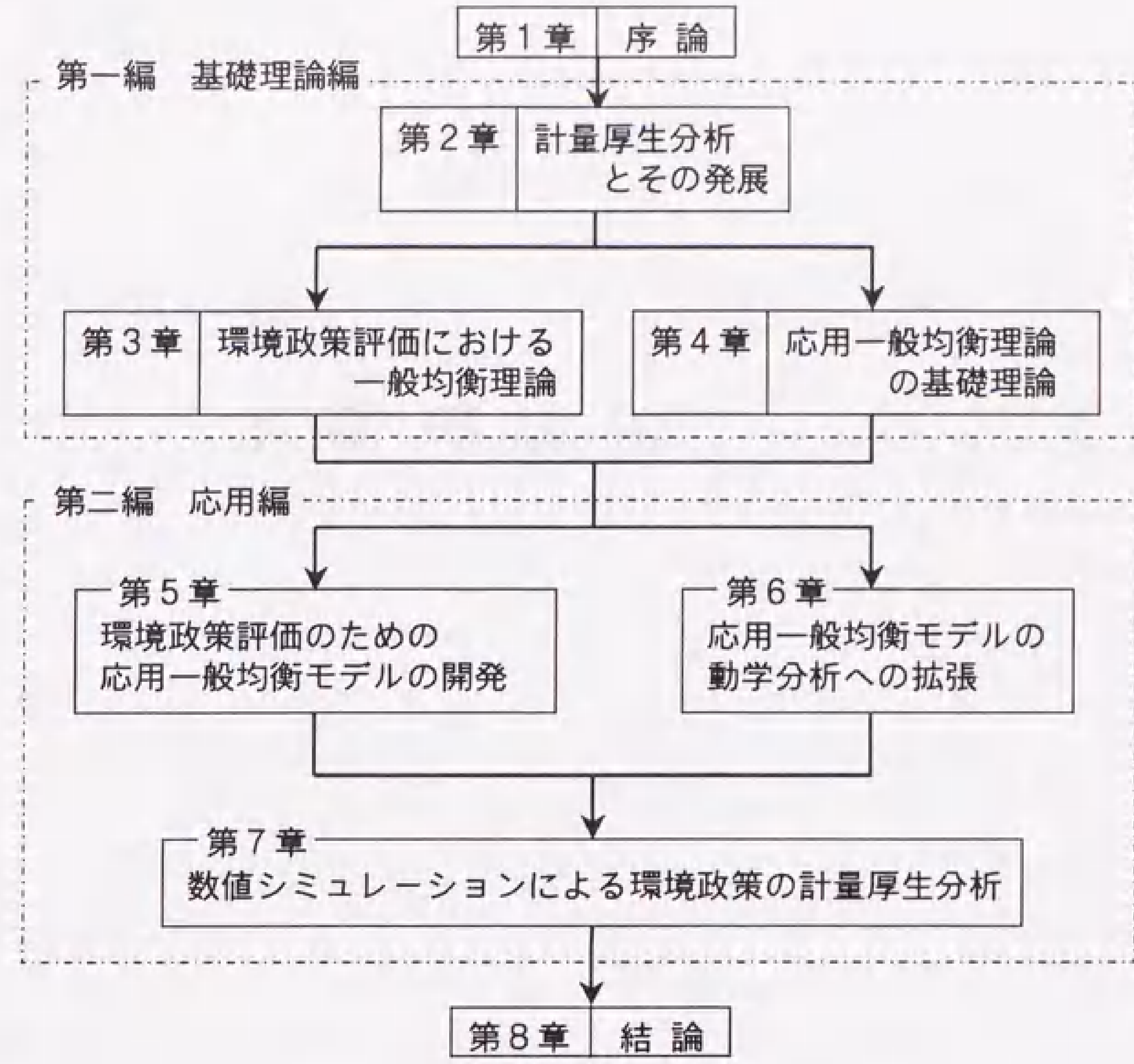

図 1-1　本論文における研究の流れ

第一編

基礎理論編

第２章　計量厚生分析とその発展

２－１　緒　言

本章では，計量厚生分析(Welfare Metrics)がどのように開発され，発展してきたかについて，特に，費用便益分析との関係に着目して解説を行う．

計量厚生分析とは，公共投資の評価を行うために開発された費用便益分析(Cost Benefit Analysis：CBA)を修正あるいは拡張することにより，費用便益分析におけるいくつかの問題を解消した分析手法と位置づけることができる．そして，その特徴としては，基礎理論としてミクロ経済学の中心的理論体系である一般均衡理論を用いている点が挙げられる．

一般均衡理論とは，社会経済システムの中の全ての経済主体を取り挙げ，そこで取り引きされる財やサービス，あるいは労働や資本といった生産要素を全て取り扱った理論体系といえる[西村(1986)[1]，Dinwiddy and Teal(1988)[2]など]．よって，理論上は，公共政策や社会資本整備等に関わる直接的影響から間接的影響まで全てを評価することが可能となる．そして，この一般均衡理論の理論的枠組みを用いて，公共投資を実施した場合の影響を直接効果のみならず間接効果まで含めて評価しようとしたものが，計量厚生分析といえる．計量厚生分析では，一般均衡理論の実証分析への適用を積極的に進める一方，一般均衡理論を採用したことにより，利害関係主体別に便益の受益あるいは費用の負担を整理することが可能となっており，従来の費用便益分析では十分に考慮されてこなかった公平性の問題の政策的検討も行える枠組みとなっている．そして，便益の波及構造を明示的に示す試みとして，便益帰着構成表の提案がなされている[森杉(1997)[3]]．

このような計量厚生分析を，環境問題へ適用する理論フレームと具体的手法を開発することが本論文の最大のテーマである．序論において述べたように，環境問題に対する各種政策は，環境改善には有効である反面，社会経済へは何らかの負荷を与えるという問題がある．そもそも経済学，特に厚生経済学の分野では，理論的観点から環境の変化が経済主体の活動に及ぼす影響を評価する，あるいは環境政策の実施が環境へ及ぼす効果だけでなく，社会経済に与える影響まで含めて評価するという研究がなされていた[植田ら(1991)[4]]．そして，それらを一般均衡理論の枠組みで評価する試みも行われている[Baumol and Oates(1988)[5]]．現在の複雑な社会経済システムの中で環境変化がどのような影響を発生させるのか，また，逆に経済主体の活動が環境へどのような影響を与えるのかを包括的に評価できるという点では，一般均衡理論が強力な分析道具であることは間違いない．そして，それを実証分析へ適用し，公平性の問題の検討といった問題についての検討まで行うためには，計量厚生分析の適用が有効であると考えられる．

本章では，環境政策の評価に対し計量厚生分析を適用するための基礎理論の解説という位置づけで，一般均衡理論を用いた便益計測および便益帰着構成表の作成方法を説明する．また，最後に，環境政策評価において計量厚生分析がどのような意義を持つのかという点についても解説を行う．

2－2　計量厚生分析の発展経緯

現在，逼迫する財政事情によって，公共投資を取り巻く環境は非常に厳しいものがある．しかし，従来からそのような問題は盛んに議論されており，特に厚生経済学あるいは公共経済学の分野では多くの理論や手法が開発されてきた[森杉(1997)[6]，栗田(1992)[7]]．その中で，一貫した理論フレームの下，実証的な評価まで行うため考案された手法が費用便益分析である．この費用便益分析の基本的な考え方は，極めて単純で，「ある公共投資が，公共の福祉を増進させ，それによる効果が投資のための費用を上回るならば投資を行い，そうでなければ投資を行わない」という原理に基づき，公共投資の有効性を判断するという点に集約される[常木(1990)[8]]．しかし，このような形で公共投資の評価を行うためには，まず公共の福祉というものが何であるのかを定義する必要があり，また公共投資の効果を費用と比較するためには効果を貨幣タームで定量的に評価することが必要となってくる．この貨幣タームで計測された効果が「便益」と呼ばれるものであり，費用便益分析の研究とは，便益評価に関する研究と言い換えることもできよう．

古典的な費用便益分析に関する研究は，便益評価の理論フレームの構築とその実証への適用方法の確立に対し多くの労力が割かれてきた．それらの研究の最大の成果は，ミクロ経済学において発展してきた効用理論から導かれる社会的余剰の概念を用いて便益計測が行えるということを示した点が挙げられる．現在では，この社会的余剰の定義，計測を如何に行うか，という点に対して，より精緻な研究が進められている段階である[常木(1990)[8]]．

しかし，それらの研究では，費用便益分析の基本原理である，総額での便益と費用とを比較して事業の有効性を判断するという考えに焦点を絞って体系の構築が行われてきたため，例えば，地域間あるいは主体間での公平性の問題が十分に考慮されておらず，また，実証分析への適用という面では，複雑な計算問題を解かなければならないという困難が残されていた．

これに対し，森杉(1997)[3]では，一貫して一般均衡理論の理論的枠組みを適用した費用便益分析に関する研究が進められ，さらに便益帰着構成表の提案を行うことにより，便益の波及，帰着と分配の状況も一般均衡理論の理論体系から分析できる点を示し，実証分析への適用も積極的に試みられている．これら森杉らの一連の研究業績を，その研究グループは総称して計量厚生分析と呼んでいる．このように，一般均衡理論の枠組みで便益評価を行うことにより，主体間での受益と負担の構造を把握することが可能となり，これより利害関係主体間でのバランス関係を表現することができる．これを，体系的に一覧表として表現したものが便益帰着構成表である．

本論文でも，この一般均衡理論を基礎として環境政策評価のための理論フレームの確立を目指していく．そこで，計量厚生分析における基礎理論である一般均衡理論と便益帰着構成表の理論について，森杉(1997)[3]に基づき解説を行うことにする．

2－3　計量厚生分析の基礎理論

2－3－1　一般均衡理論の基礎的概念

一般均衡理論は，ミクロ経済学の中心的理論として発展してきた．そこでは，社会に存在する経済主体が便宜的に家計，企業，政府等に分けられ，それらの行動が数理モデルを用いて表現される．そして，経済政策や公共政策，社会資本整備実施による影響を，それら数理モデルを解くことにより把握することができる構造となっている[9]．本項では，その一般均衡モデルの理論的枠組みを，特に社会資本整備評価に着目して示し，その解法および便益定義，便益帰着構成表の作成まで解説を行う．そこで，その基礎的概念として，まず均衡の概念および価格の役割について解説を行った後，実際に簡便な一般均衡モデルを提示し，その理論フレームを解説することとする．なお，本章で説明する一般均衡理論とは，厳密には完全競争下での一般均衡理論(ワルラス的一般均衡理論)と呼ばれるものである．

（a）均衡概念の定義

一般均衡理論の中で「均衡」と呼ばれる概念は，市場において，

需要　＝　供給

が成立する状態のことであり，どの経済主体も行動を変更する誘因を持たない状態を意味している．そして，一般均衡理論とはあらゆる生産物および労働や資本などの資源(生産要素)に対し市場均衡が成立することを前提にしたモデルである．

一般均衡理論において，この市場均衡条件が特に重要とされるのは，市場均衡が成立するならば，生産物および労働や資本などの資源が最も効率的に配分されることが確かめられている(厚生経済学の第1定理)からである[岩田(1994)[10]]．なお，このときの効率的とは，ある主体の効用を低下させないと他の主体の効用を引き上げられない状態をいう．経済学では，これは「パレート効率性(Pareto efficiency)」と呼ばれている．このパレート効率性の概念は，本章の後半部においても，数理モデルを用いて改めて解説を行うことにする．

（ｂ）市場における価格の役割

続いて，市場均衡が実際に成立するまでの過程を考える．この場合，市場の価格が「シグナル」として重要な役割を果たす．

通常，一般均衡理論では，各経済主体は，財および生産要素の市場価格を観察して，需要量(*D*)・供給量(*S*)を決定する(このような主体のことをプライステーカーと呼ぶ)．その結果，図 1-1(a)のように市場全体で需要が供給を上まわるならば価格は上昇する方向に，逆に図 1-1(b)のように市場全体で供給が需要を上まわるならば価格は低下する方向に動いて，需要と供給が一致するまで価格調整が行われる．その結果，最終的には需要量(*D*)と供給量(*S*)の交点，すなわち価格 P^* において市場均衡が成立することになる．つまり，価格は需要と供給とのバランスが成立するように，市場における情報を伝達する役割を果たしていることがわかる．

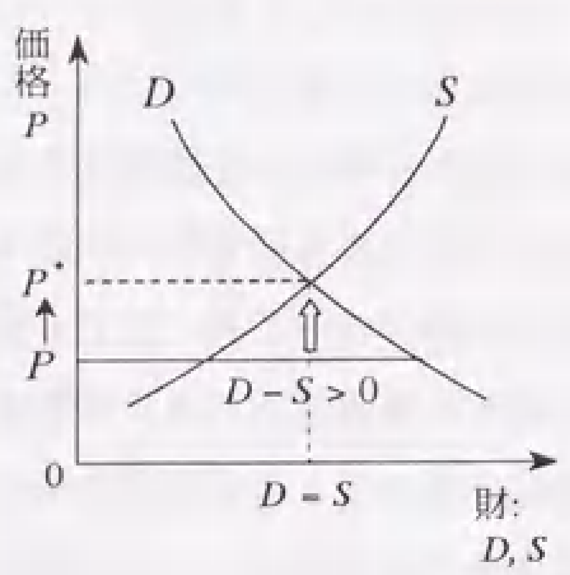

図 2-1(a) 市場価格の調整(I)

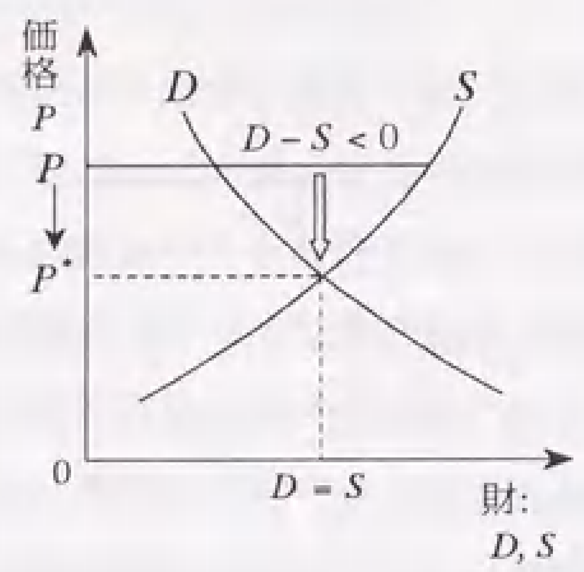

図 2-1(b) 市場価格の調整(II)

このことは，生産要素の市場においても同様である．なお，生産要素市場において用いられる価格は，労働の場合は賃金，資本の場合は利子，土地の場合は地代と呼ばれる．

２－３－２　一般均衡モデルの理論的枠組み

続いて，各経済主体の行動を数理モデルにより表現する．

（ａ）モデルの設定と基本構造

ここでは，一地域からなる経済システムを想定する．なお，その経済システムには，「交通企業」「企業」「家計」「政府」の 4 経済主体が存在するものとし，生産要素は，労働と資本，土地を想定する．また，市場は各生産財の財市場と，労働・資本・土地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とする．

これら経済主体の取引関係を図示したものが図 2-2 である．図 2-2 の上半部では生産物の取引関係が，下半部では生産要素の取引関係が表されている．これら財，生産要素の流れとは逆

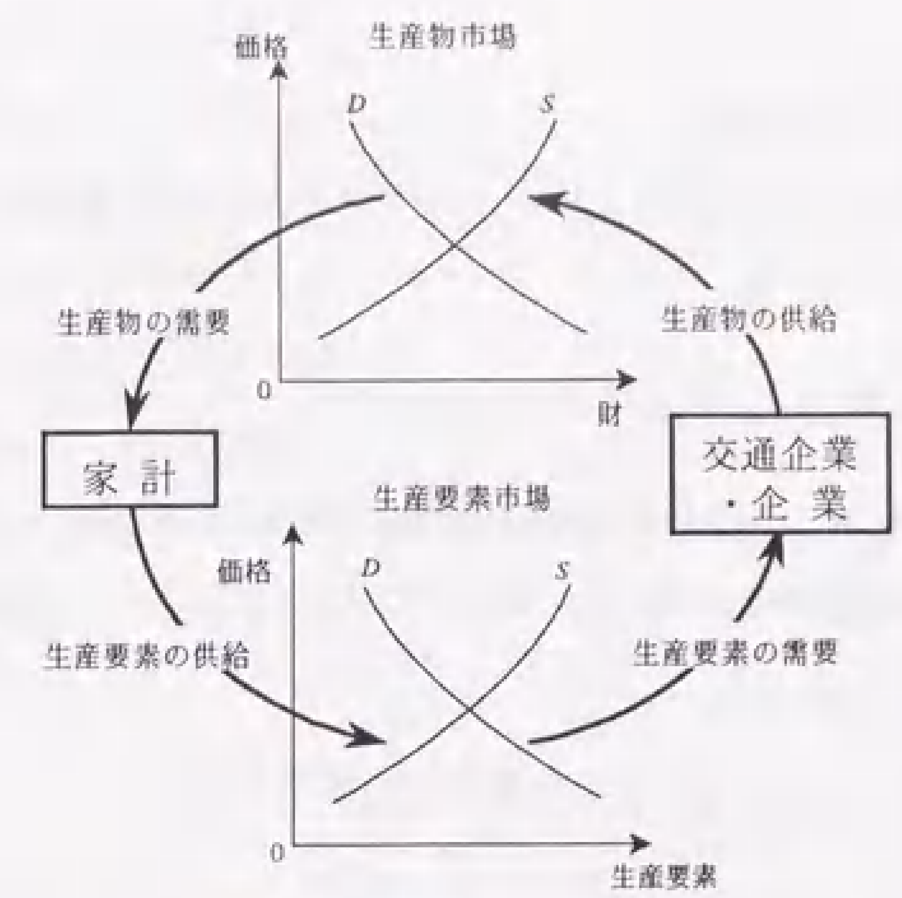

図 2-2　一般均衡モデルの概念

向きには，対価として貨幣の流れがある点に注意が必要である．なお，ここでは，生産物と生産要素の両方の市場が同時に考慮されている．こうして，あらゆる財および生産要素の市場均衡が考慮されて，それらの関連が分析されているという点で「一般均衡理論」と呼ばれるのである．この中の，生産物の需要・供給および生産要素の需要・供給に関しては，次項以降，モデルを定式化することによって具体的に得られる．

（ｂ）企業の行動

企業は，家計によって提供される生産要素(労働・資本・土地)を投入して利潤を最大化するように財 *M* (価格は 1 とする)を生産するものとする．その行動モデルは，以下のように定式化される．

$$\pi_M = \max_{y_M, x_M^T, L_M, K_M, H_M} y_M - p_T x_M^T - wL_M - rK_M - aH_M \tag{2.1.a}$$

$$\text{s.t.} \quad y_M = f_M\left(x_M^T, L_M, K_M, H_M\right) \tag{2.1.b}$$

ただし，　M　：企業を表す添字，

y_M　：企業 M の産出量，

x_M^T　：企業 M の交通財投入量，

L_M　：企業 M の労働投入量，

K_M　：企業 M の資本投入量，

H_M　：企業 M の土地投入量，

p_T　：交通サービス価格，

w　：賃金率，

r　：利子率，

a　：地代，

f_M　：企業 M の生産関数．

この最適化問題は，式(2.1.b)を式(2.1.a)に代入することにより，制約条件なしの最適化問題として解くことができる．すなわち，

$$\pi_M = \max_{x_M^T, L_M, K_M, H_M} f_M\left(x_M^T, L_M, K_M, H_M\right) - p_T x_M^T - wL_M - rK_M - aH_M \tag{2.2}$$

と考えることができる．なお，このような最適化問題の解法は，秋山・上田(1997)[11]，西村(1982)[12]，吉田(1993)[13] 等に詳しく解説されており，それらによれば式(2.3)の最適化問題の一階条件は以下のように求められる．

$$\frac{\partial f_M}{\partial x_M^T} = p_T\ ,\quad \frac{\partial f_M}{\partial L_M} = w\ ,\quad \frac{\partial f_M}{\partial K_M} = r\ ,\quad \frac{\partial f_M}{\partial H_M} = a \tag{2.3}$$

さらに式(2.3)の条件を解くことにより，交通サービス需要関数および各要素の需要関数が以下のように表されることがわかる．

$$x_M^T = x_M^T\left(p_T, w, r, a\right) \tag{2.4.a}$$

$$L_M = L_M\left(p_T, w, r, a\right) \tag{2.4.b}$$

$$K_M = K_M\left(p_T, w, r, a\right) \tag{2.4.c}$$

$$H_M = H_M\left(p_T, w, r, a\right) \tag{2.4.d}$$

これらを式(2.1.b)に代入することにより財 M の供給関数が，さらに式(2.1.a)の目的関数に代入することにより利潤関数が以下のように表される．

$$y_M = y_M\left(p_T, w, r, a\right) \tag{2.5.a}$$

$$\pi_M = \pi_M\left(p_T, w, r, a\right) \tag{2.5.b}$$

また，式(2.5.b)に対し，包絡線の定理を適用すると以下のように利潤関数の全微分形が求められる[西村(1990)[14]，Varian(1984)[15]]．なお，その詳細な誘導は付録に示した．

$$d\pi_M = -x_M^T dp_T - L_M dw - K_M dr - H_M da \tag{2.6}$$

（ｃ）交通企業の行動

交通企業も企業と同様，家計によって提供される生産要素(労働・資本・土地)を投入して利潤を最大化するように交通サービスを生産するものとし，以下のように定式化する．

$$\pi_T = \max_{y_T, x_T^M, L_T, K_T, H_T} p_T y_T - x_T^M - wL_T - rK_T - aH_T \tag{2.7.a}$$

$$\text{s.t.}\quad y_T = f_T\left(x_T^M, L_T, K_T, H_T\right) \tag{2.7.b}$$

ただし，T　：交通企業を表す添字，

y_T　：交通企業 T の産出量，

x_T^M　：交通企業 T の財 M 投入量，

L_T　：交通企業 T の労働投入量，

K_T　：交通企業 T の資本投入量，

H_T　：交通企業 T の土地投入量，

f_T　：交通企業 T の生産関数．

式(2.7)の最適化問題の一階条件についても，企業の場合と同様，

$$p_T \frac{\partial f_T}{\partial x_T^M} = 1\ ,\quad p_T \frac{\partial f_T}{\partial L_T} = w\ ,\quad p_T \frac{\partial f_T}{\partial K_T} = r\ ,\quad p_T \frac{\partial f_T}{\partial H_T} = a \tag{2.8}$$

のように得られ，以下のように各需要関数が求められる．

$$x_T^M = x_T^M\left(p_T, w, r, a\right) \tag{2.9.a}$$

$$L_T = L_T\left(p_T, w, r, a\right) \tag{2.9.b}$$

$$K_T = K_T\left(p_T, w, r, a\right) \tag{2.9.c}$$

$$H_T = H_T\left(p_T, w, r, a\right) \tag{2.9.d}$$

さらに，交通企業の生産関数，利潤関数についても，

$$y_T = y_T\left(p_T, w, r, a\right) \tag{2.10.a}$$

$$\pi_T = \pi_T\left(p_T, w, r, a\right) \tag{2.10.b}$$

のように得られ，利潤関数の全微分形も求められる．

$$d\pi_T = y_T dp_T - L_T dw - K_T dr - H_T da \tag{2.11}$$

（ｄ）家計の行動

家計は，予算制約と時間制約の下で効用を最大化するように各財の消費量を決定するものとする．その行動は，以下のように定式化できる．

$$V_H = \max_{x_H^M, x_H^T, h_H, s_H} u_H\left(x_H^M, x_H^T, h_H, s_H\right) \tag{2.12.a}$$

$$\text{s.t.}\quad x_H^M + p_T x_H^T + ah_H = wL_H + r\overline{K_H} + a\overline{H_H} + \pi_M + \pi_T - \tau_H \tag{2.12.b}$$

$$L_H + s_H + t\,x_H^T = \Omega \tag{2.12.c}$$

ただし，H　：家計を表す添字，

x_H^M　：家計 H の財 M の消費量，

x_H^T　：家計 H の交通財 T の消費量，

h_H　：家計 H の土地消費量，

s_H　：家計 H の余暇消費量，

L_H ：家計 H の労働供給量，

$\overline{K_H}$ ：家計 H の資本保有量，

$\overline{H_H}$ ：家計 H の土地保有量，

π_M ：企業 M の利潤，

π_T ：交通企業 T の利潤，

τ_H ：交通投資の家計 H の負担額，

t ：交通所要時間，

Ω ：総利用可能時間，

u_H ：直接効用関数，

V_H ：間接効用関数(効用水準)．

このうち，制約条件式(2.12.b～c)は，一般化価格の概念を用いてまとめることができる．

$$\text{s.t.}\quad x_H^M + (p_T + wt)x_H^T + ah_H + ws_H = w\Omega + r\overline{K_H} + a\overline{H_H} + \pi_M + \pi_T - \tau_H[\equiv I_H] \qquad (2.13)$$

ただし， I_H ：家計 H の総所得．

よって，家計の効用最大化行動は，式(2.13)の制約の下，式(2.12.a)を最大化する問題と考えることができる．これを，ラグランジュ未定乗数法を用いて解くことにする [16), 17)]．まず，次のようにラグランジュ関数を定式化する．

$$\Im(\mathbf{x}, \lambda) = u(\mathbf{x}) + \lambda\left[I_H - \left\{x_H^M + (p_T + wt)x_H^T + a\,h_H + ws_H\right\}\right] \qquad (2.14)$$

ただし， $\mathbf{x}$ ：消費財ベクトル，

λ ：ラグランジュ乗数．

このラグランジュ関数の最大化の一階条件は，

$$\frac{\partial u_H}{\partial x_H^M} = \lambda\,,\quad \frac{\partial u_H}{\partial x_H^T} = \lambda(p_T + wt)\,,\quad \frac{\partial u_H}{\partial h_H} = \lambda a\,,\quad \frac{\partial u_H}{\partial s_H} = \lambda w \qquad (2.15.a)$$

$$I_H = x_H^M + (p_T + wt)x_H^T + ah_H + ws_H\,. \qquad (2.15.b)$$

そして，これらの条件を解くことにより，各消費量が以下のように表されることがわかる．

$$x_H^M = x_H^M\left(q_T, a, w, I_H\left(w, r, a, \pi_M, \pi_T, \tau_H\right)\right) \qquad (2.16.a)$$

$$x_H^T = x_H^T\left(q_T, a, w, I_H\left(w, r, a, \pi_M, \pi_T, \tau_H\right)\right) \qquad (2.16.b)$$

$$h_H = h_H\left(q_T, a, w, I_H\left(w, r, a, \pi_M, \pi_T, \tau_H\right)\right) \qquad (2.16.c)$$

$$s_H = s_H\left(q_T, a, w, I_H\left(w, r, a, \pi_M, \pi_T, \tau_H\right)\right) \qquad (2.16.d)$$

ただし， q_T ：交通一般化価格$(= p_T + wt)$．

これらを式(2.12.a)の目的関数に代入すると間接効用関数が求められる．

$$V_H = V_H\left(q_T, a, w, I_H\left(w, r, a, \pi_M, \pi_T, \tau_H\right)\right) \qquad (2.17)$$

また，式(2.17)に対し，包絡線の定理を適用すると以下のように間接効用関数の全微分形が求められる [18), 19)]．なお，その詳細な誘導についても付録に示した．

$$dV_H = -\lambda x_H^T\left(dp_T + wdt\right) - \lambda h_H da$$
$$+ \lambda L_H dw + \lambda\overline{K_H}dr + \lambda\overline{H_H}da + \lambda d\pi_M + \lambda d\pi_T - \lambda d\tau_H \qquad (2.18)$$

（ｅ）政府の行動

政府は，家計から税金を徴収し，交通企業に対しては，補助を行っている．

$$\Psi = \tau_H \qquad (2.19)$$

ただし， ψ ：交通企業への補助金．

（ｆ）市場均衡条件

本モデルにおける市場均衡条件は，以下のように表される．

合成財 ： $y_M = x_T^M + x_H^M$ (2.20.a)

交通財 ： $y_T = x_M^T + x_H^T$ (2.20.b)

労働 ： $L_H = L_M + L_T$ (2.20.c)

資本 ： $\overline{K_H} = K_M + K_T$ (2.20.d)

土地 ： $\overline{H_H} = H_M + H_T + h_H$ (2.20.e)

財政均衡： $\Psi = \tau$ (2.20.f)

式(2.20.a～f)において，方程式数は 6 個，また，合成財をニュメレールとしてその価格を 1 とおいたので未知数は p_T, w, r, a, τ の 5 個である．よって，本モデルでは均衡解が唯一存在すると考えられる[江副(1994) [20)]]．

２－３－３　便益の定義

本項では，前項にて構築した一般均衡モデルを用いて交通社会資本整備を例に挙げ，便益定義を説明する．

（ａ）交通社会資本整備による波及的影響

ここでは，政府が家計より徴収した税を用いて交通企業に対し投資を行い，交通企業が社会基盤を含めて整備を行うという交通社会資本整備事業を想定する．そして，整備による経済シ

ステムの変化を前項にて構築した一般均衡モデルを用いて表現することを試みる．

ここでは，図 2-3 に従って解説を行う．まず，整備の結果，交通所要時間が $t^A \rightarrow t^B$ へ変化したとする．これは，式(2.4), (2.9)および式(2.16)における交通一般化価格を変化させ，その結果，各企業と家計の行動が変化することになる．こうして，各主体の行動が変化した結果，市場均衡を通じて価格調整がなされるので，交通サービス価格 p_T，生産要素の価格 w, r, a からなる価格体系が変化し，さらに，家計の総所得 I_H も変化することになる．そして，以上の結果として，家計の間接効用関数(効用水準)が[5],

$$V_H^A \equiv V_H\left(q_T^A, a^A, w^A, I_H\left(w^A, r^A, a^A, \pi_M^A, \pi_T^A, \tau_H^A\right)\right) \rightarrow V_H^B \equiv V_H\left(q_T^B, a^B, w^B, I_H\left(w^B, r^B, a^B, \pi_M^B, \pi_T^B, \tau_H^B\right)\right)$$

へと変化すると考えられる．この効用水準の変化分を，貨幣タームにて計測しようとしたものが便益である．

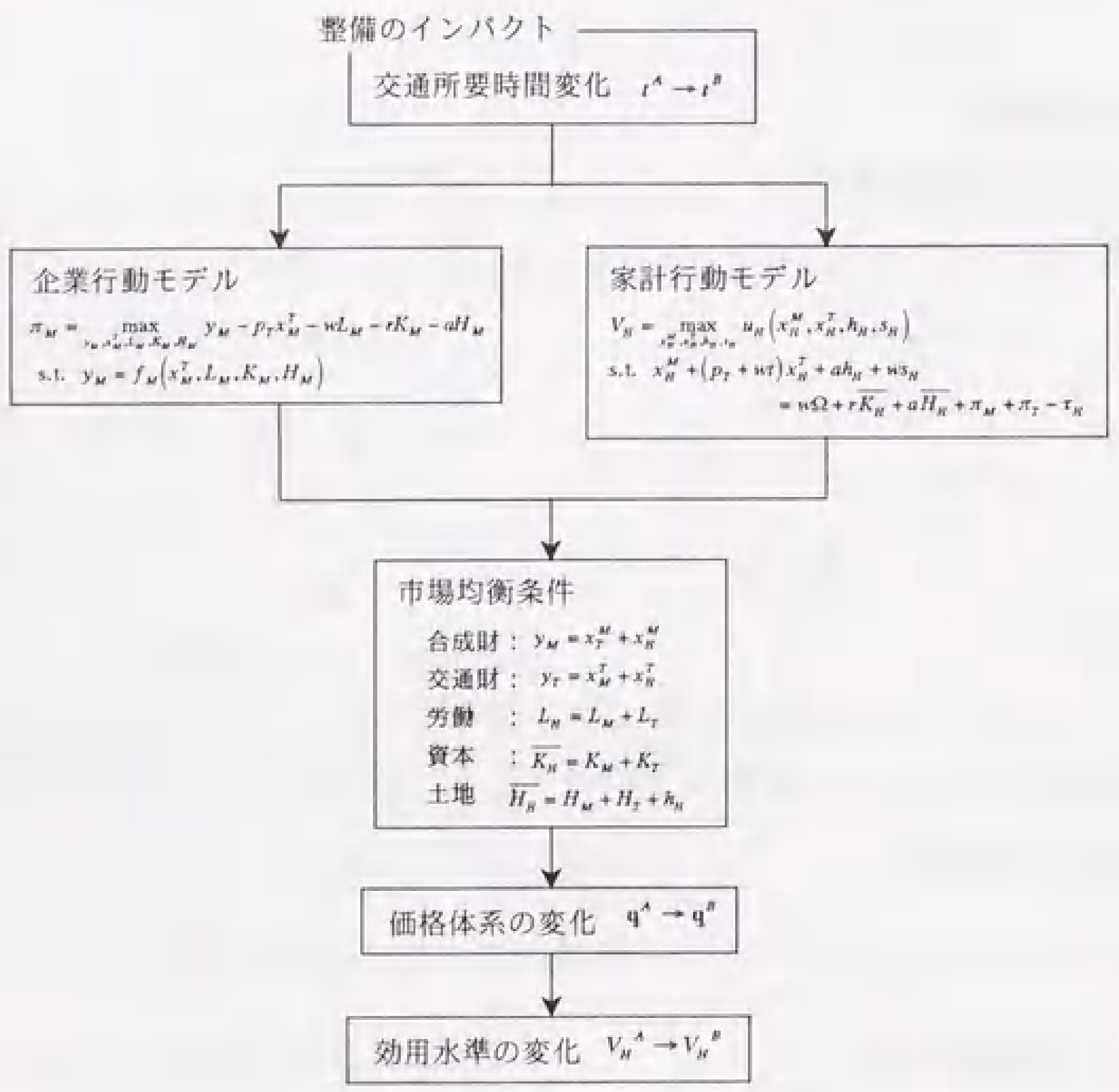

図 2-3　交通社会資本整備による波及的影響

（ｂ）便益の定義

前項の便益は，実際に定義しようとするといくつかの定義が考えられる．それは，森杉(1984)[21]あるいは林山(1997)[22]にて詳細に解説がなされており省略するが，ここでは，森杉(1984)が適用を主張する等価的偏差 EV (Equivalent Variation)に基づく便益定義を行う．この他には，補償的偏差 CV (Compensating Variation)や消費者余剰の変分 MD (Marshall and Dupuit Measure)，ADD 指標 (Allais-Debreu-Diewert 指標)などがある．

等価的偏差 EV とは，交通整備がなされた後の効用水準 V_H^B を維持するという条件のもとで，$A \Rightarrow B$ の変化をあきらめるために家計が必要と考える最小補償額と定義される．これに従えば，EV は以下のように定式化される．

$$V_H\left(q_T^A, a^A, w^A, I_H\left(w^A, r^A, a^A, \pi_M^A, \pi_T^A, \tau_H^A\right) + EV\right)$$
$$= V_H^B \equiv V_H\left(q_T^B, a^B, w^B, I_H\left(w^B, r^B, a^B, \pi_M^B, \pi_T^B, \tau_H^B\right)\right) \qquad (2.21)$$

ただし，A，B　：政策なし，政策ありを表す．

ここで，価格 $\mathbf{q}$ の状態下で，効用水準 V_H を達成するために必要な最小所得を示す関数 e を定義する．これは，支出関数と呼ばれている．この支出関数 e を用いると式(2.21)で定義される EV は以下のように変形できる．

$$EV = e\left(q_T^A, a^A, w^A, V_H^B\right) - I_H\left(w^A, r^A, a^A, \pi_M^A, \pi_T^A, \tau_H^A\right) \qquad (2.22)$$

式(2.22)において，整備後の効用水準 V_H^B が重要となるが，これは２－３－３（ａ）[図 2-3]においてその誘導が示されており，それより式(2.22)の EV が実際に計測できる．

２－３－４　効率と公平

前項では，一般均衡理論の理論フレームを示した．そこでは，企業は利潤最大化を，家計は効用最大化を達成しており，そしてそれらが競争市場均衡にて規定されることを示した．しかし，それらのフレームが社会的にみて無駄のない効率的な資源配分を達成しているかについてまでは明らかにしなかった．本項では，まず，一般均衡モデルにおける競争市場均衡では，資源配分が最も効率的になされていることを，効率の基準を設けることにより示す．

一方，近年の社会資本整備に対しては，効率性の観点からの評価もさることながら，公平性の観点からも評価が求められるようになってきた．そこで，本項では，一般均衡理論を拡張して，公平性の問題も検討できる枠組みとして提案された便益帰着構成表の概念も示す．さらに，便益帰着構成表の利用価値として，便益の分配および帰着の構造を把握できる点について明らかにし，その意義を解説する．

（ａ）資源配分の効率性

２－３－１項にて，一般均衡理論では市場均衡が満たされていれば，生産物および労働や資本などの資源が最も効率的に配分されることについて触れた．ここでは，それを前項で定式化した一般均衡モデルを用いて改めて明らかにする．

２－３－１項でも触れたが，「ある資源配分が他の資源配分より良いか悪いかを判断する厚生

基準」としては，よくパレート効率性という基準が用いられる．これは，「誰かの効用を悪化させることなくしては，他の誰の効用も増加させることはできない状態」を意味している．

ここでは，まず，パレート効率性の条件を一般均衡モデルを用いて誘導する．そして，競争市場における資源配分がこれらの条件を満たすことを示し，それより一般均衡モデルにおける競争市場均衡の枠組みがパレート効率性を満たすことの証明とする．

パレート効率性の条件は「他の消費者の効用を不変として任意の消費者の効用が最大化される」のように言い換えることができる．そして，これは前項の一般均衡モデルを用いて，以下のように定式化することができる[江副(1994)[23]，西村(1990)[24]，川又(1989)[25]]．

$$\max_{x_{H1}^M, x_{H1}^T, s_{H1}} \quad u_{H1}\left(x_{H1}^M, x_{H1}^T, h_{H1}, s_{H1}\right) \tag{2.23.a}$$

$$\text{s.t.} \quad u_{Hi}\left(x_{Hi}^M, x_{Hi}^T, h_{Hi}, s_{Hi}\right) \geq \overline{u_{Hi}} \qquad \text{添字} \quad i = 2, \cdots, I \tag{2.23.b}$$

$$f_M\left(x_M^T, L_M, K_M, H_M\right) = x_T^M + x_{H1}^M + \sum_i x_{Hi}^M \tag{2.23.c}$$

$$f_T\left(x_T^M, L_T, K_T, H_T\right) = x_M^T + x_{H1}^T + \sum_i x_{Hi}^T \tag{2.23.d}$$

$$\left(\Omega_{H1} - s_{H1}\right) + \sum_i \left(\Omega_{Hi} - s_{Hi}\right) = L_M + L_T \text{，} \quad \overline{K_H} = K_M + K_T \text{，}$$
$$\overline{H_H} = H_M + H_T + h_{H1} + \sum_i h_{Hi} \tag{2.23.e}$$

ただし，ここでは，家計は I 個存在するとしている．また，制約条件の意味は，

制約条件式(2.23.b)：他の全ての家計の効用が一定，

制約条件式(2.23.c) (2.23.d)：財供給に関わる制約，

制約条件式(2.23.e)：資源制約，

を表す．

式(2.23)を，ラグランジュ未定乗数法を用いて解くことにする．まず，次のようにラグランジュ関数 $\Im$ を設定する．

$$\begin{aligned}
\Im = {} & u_{H1}\left(x_{H1}^M, x_{H1}^T, h_{H1}, s_{H1}\right) + \sum_i \lambda_i \left[u_{Hi}\left(x_{Hi}^M, x_{Hi}^T, h_{Hi}, s_{Hi}\right) - \overline{u_{Hi}}\right] \\
& + \mu_M \left[f_M\left(x_M^T, L_M, K_M, H_M\right) - x_T^M - x_{H1}^M - \sum_i x_{Hi}^M\right] \\
& + \mu_T \left[f_T\left(x_T^M, L_T, K_T, H_T\right) - x_M^T - x_{H1}^T - \sum_i x_{Hi}^T\right] \\
& + \nu_L \left[\left(\Omega_{H1} - s_{H1}\right) + \sum_i \left(\Omega_{Hi} - s_{Hi}\right) - L_M - L_T\right] \\
& + \nu_K \left[\overline{K_H} - K_M - K_T\right] \\
& + \nu_H \left[\overline{H_H} - H_M - H_T - h_{H1} - \sum_i h_{Hi}\right]
\end{aligned} \tag{2.24}$$

ただし，　λ_i　：制約条件式(2.23.b)に関わるラグランジュ乗数，

μ_j　：制約条件式(2.23.c) (2.23.d)に関わるラグランジュ乗数，

ν_k　：制約条件式(2.23.e) に関わるラグランジュ乗数．

このラグランジュ関数の最大化の一階条件は，

$$\frac{\partial u_{H1}}{\partial x_{H1}^M} - \mu_M = 0 \text{，} \quad \frac{\partial u_{H1}}{\partial x_{H1}^T} - \mu_T = 0 \text{，} \quad \frac{\partial u_{H1}}{\partial h_{H1}} - \nu_H = 0 \text{，} \quad \frac{\partial u_{H1}}{\partial s_{H1}} - \nu_L = 0 \tag{2.25.a}$$

$$\lambda_i \frac{\partial u_{Hi}}{\partial x_{Hi}^M} - \mu_M = 0 \text{，} \quad \lambda_i \frac{\partial u_{Hi}}{\partial x_{Hi}^T} - \mu_T = 0 \text{，} \quad \lambda_i \frac{\partial u_{Hi}}{\partial h_{Hi}} - \nu_H = 0 \text{，} \quad \lambda_i \frac{\partial u_{Hi}}{\partial s_{Hi}} - \nu_L = 0 \qquad i = 2, \cdots, I \tag{2.25.b}$$

$$\mu_M \frac{\partial f_M}{\partial x_M^T} - \mu_T = 0 \text{，} \quad \mu_M \frac{\partial f_M}{\partial L_M} - \nu_L = 0 \text{，} \quad \mu_M \frac{\partial f_M}{\partial K_M} - \nu_K = 0 \text{，} \quad \mu_M \frac{\partial f_M}{\partial H_M} - \nu_H = 0 \tag{2.25.c}$$

$$\mu_T \frac{\partial f_T}{\partial x_T^M} - \mu_M = 0 \text{，} \quad \mu_T \frac{\partial f_T}{\partial L_T} - \nu_L = 0 \text{，} \quad \mu_T \frac{\partial f_T}{\partial K_T} - \nu_K = 0 \text{，} \quad \mu_T \frac{\partial f_T}{\partial H_T} - \nu_H = 0 \tag{2.25.d}$$

および，制約条件式(2.23.b～d)となる．

式(2.25.a)と式(2.25.b)より，

$$\frac{\mu_M}{\mu_T} = \frac{\partial u_{H1} / \partial x_{H1}^M}{\partial u_{H1} / \partial x_{H1}^T} = \frac{\partial u_{Hi} / \partial x_{Hi}^M}{\partial u_{Hi} / \partial x_{Hi}^T} \qquad \text{添字} \quad i = 2, \cdots, I \text{．} \tag{2.26}$$

これより，どの家計も財 M と交通サービス T との間の限界代替率が同じであることがわかる．

一方，式(2.25.c)と式(2.25.d)より，

$$\frac{\mu_M}{\mu_T} = \frac{\partial f_T / \partial L_T}{\partial f_M / \partial L_M} = \frac{\partial f_T / \partial K_T}{\partial f_M / \partial K_M} = \frac{\partial f_T / \partial H_T}{\partial f_M / \partial H_M} = \frac{1}{\partial f_M / \partial x_M^T} = \frac{\partial f_T}{\partial x_T^M} \text{．} \tag{2.27}$$

これより，企業間での限界生産力の比率は，どの投入要素に対しても同じであることがわかる．

さらに式(2.26)と式(2.27)より，

$$\underbrace{\frac{\partial u_{H1} / \partial x_{H1}^M}{\partial u_{H1} / \partial x_{H1}^T} = \frac{\partial u_{Hi} / \partial x_{Hi}^M}{\partial u_{Hi} / \partial x_{Hi}^T}}_{\text{限界代替率}} = \frac{\mu_M}{\mu_T} = \underbrace{\frac{\partial f_T / \partial L_T}{\partial f_M / \partial L_M} = \frac{\partial f_T / \partial K_T}{\partial f_M / \partial K_M} = \frac{\partial f_T / \partial H_T}{\partial f_M / \partial H_M} = \frac{1}{\partial f_M / \partial x_M^T} = \frac{\partial f_T}{\partial x_T^M}}_{\text{企業間の限界生産力比}} \tag{2.28}$$

が導け，これがパレート効率性の条件となる．これは，パレート効率的な資源配分の下では，各財に対する家計の限界評価と，企業の限界評価とが等しくなることを意味していると解釈できる．

続いて，上で導出されたパレート効率の条件が，一般均衡モデルにおける競争市場均衡の枠組みから導出されるかを確認する．

まず，２－３－２節にて定式化した家計の効用最大化行動モデルにおける一階条件より，

$$\frac{\partial u_{Hi} / \partial x_{Hi}^{M}}{\partial u_{Hi} / \partial x_{Hi}^{T}} = \frac{p_M}{p_T} \qquad i = 1, \cdots, I \tag{2.29}$$

が得られる．なお，ここでは便宜上，M 財の価格を p_M とした．式(2.29)の右辺の価格比は，式(2.20)の市場条件が成立している限りにおいては，全ての消費者に対して共通であるので，式(2.26)のパレート効率の条件が成立する．

同じく，２－３－２節にて定式化した企業と交通企業の利潤最大化行動モデルにおける一階条件より，

$$\frac{\partial f_T / \partial L_T}{\partial f_M / \partial L_M} = \frac{\partial f_T / \partial K_T}{\partial f_M / \partial K_M} = \frac{\partial f_T / \partial H_T}{\partial f_M / \partial H_M} = \frac{1}{\partial f_M / \partial x_M^{T}} = \frac{\partial f_T}{\partial x_T^{M}} = \frac{p_M}{p_T} \tag{2.30}$$

が得られる．式(2.30)の右辺の価格比も，全ての企業に対して共通であるので，式(2.27)のパレート効率の条件が成立する．

さらに，全ての家計，企業にとって市場条件が成立している限りは価格が共通となるので，

$$\frac{\partial u_{Hi} / \partial x_{Hi}^{M}}{\partial u_{Hi} / \partial x_{Hi}^{T}} = \frac{p_M}{p_T} = \frac{\partial f_T / \partial L_T}{\partial f_M / \partial L_M} = \frac{\partial f_T / \partial K_T}{\partial f_M / \partial K_M} = \frac{\partial f_T / \partial H_T}{\partial f_M / \partial H_M} = \frac{1}{\partial f_M / \partial x_M^{T}} = \frac{\partial f_T}{\partial x_T^{M}} \tag{2.31}$$

が成立し，よって，前項の一般均衡モデルが競争市場均衡を満たしている場合には，パレート効率の条件(式(2.28))を満たしていることが示された．なお，これは，厚生経済学の第一定理と呼ばれている．

（ｂ）公平性の観点からの検討の必要性

前項では，効率性の観点から一般均衡モデルの特徴および有用性を示した．しかし，現在の公共事業を取り巻く環境を考えた場合，公平性からの検討も避けられないものとなっている．公平性の問題について既往の経済学では，所得再分配などを通じて解消することができるとされ，よって，政策の有効性は効率性の問題のみを検討すれば十分であるとされてきた．

しかし，近年の社会資本整備において，効率性の観点からの評価がもちろん重要であるが，既に述べたように公平性の観点からの評価が求められるようになってきている．その一つの理由として，近年，地価の高騰などにより社会資本整備に関わる費用が逓増的に増加してきており，財源調達の方法を明確化することが挙げられる．つまり，交通整備を行った後で，整備地

区の地価が上昇した場合，その土地の地主は資産価値の上昇による便益を得ることになる．よって，その交通整備の費用負担を地主に求めることも財源調達の一つの手段となり得るのである．このとき，注意が必要であるのは，地価は社会的移転所得であるということであり，社会的効率性のみに着目して検討を行った場合には，地価上昇に関わる便益が総便益額に現れてこない点である．そのため，上のような財源調達の正当性を評価するためには，便益の移転・帰着関係が把握できるような理論フレームが必要となってくるのである．ただし，ここで問題とする公平性は，一つの政策による純便益の分配に関する公平であり，政策無しの状態における効用格差に関する公平とは異なる点には注意が必要である．

このような問題意識から，一般均衡モデルを拡張することにより，便益の分配状況も明示的に表現し得る理論的枠組みとして考案された便益帰着構成表(Benefit Incidence Table)について，次節で解説を行う．

２－３－５　便益帰着構成表の理論

便益帰着構成表とは，一般均衡理論を用いて定義された便益(式(2.22)の等価的偏差 EV)が，各経済主体(あるいは地域)にとってどれだけの量になるのかを体系的に表したものといえる．この場合，当然のことながら，一般均衡理論の枠組みと整合的であることが前提である[上田・森杉(1997) [26]]．そこで，本項では，まず，便益帰着構成表の全体構造について説明した後，一般均衡モデルから実際に便益帰着構成表の導出を行う．

（ａ）便益帰着構成表の基本的枠組み

まず，表 2-1 に交通社会資本整備事業を対象として作成した，概念的な便益帰着構成表を示した．

表 2-1　便益帰着構成表の概念

	企業 M	交通企業 T	家計 H	地主：L	合計
整備費用		－A			－A
料金収入		＋B			＋B
利用者便益	－C		－D		－C－D
交通時間短縮			＋E		＋E
賃金率変化	－F	－G	＋H		0
利子率変化	－I	－J	＋K		0
地代変化	－L	－M	－N	＋O	0
税金・補助金		＋P	－Q		0
合計 (帰着便益)	－C－F－I－L	－A＋B－G－J －J－M＋P	－D＋E＋H＋K －N－Q	＋O	－A＋B－C －D＋E

表の基本的な構成は，横すなわち「行」方向には，関係主体ここでは交通企業・企業・家計・土地保有者・政府が列挙される．一方，縦すなわち「列」方向には，便益の項目が列挙される．そして，列方向の便益の項目に従い，その便益がどの主体に帰着するのかを表示していく．表

2-1 では，プラスの符号の付いているものが正の便益を，マイナスの符号の付いているものが負の便益あるいは費用負担を表している．実際には，数値計算を行わないとプラスかマイナスかわからないものもあるが，ここでは便宜的に＋，－をつけた．例えば，交通整備に対しては，交通企業は整備費用の負担を行う．よって，－A が計上され，家計はそれにより時間短縮便益を得るため ＋E が計上される，という具合である．これより，便益帰着構成表では，どのような項目の便益が，どの経済主体から発生しどの経済主体に帰着しているのかを把握することが可能となることがわかる．

この便益帰着構成表の特徴として，列方向の便益の小計に着目すると，それは，経済主体ごとの帰着便益の和であることがわかる．ここに，関係主体間での受益と負担の状況を把握することが可能となり，公平性の問題を検討する際の有益な情報となってくる．

また，もう一つの便益帰着構成表の特徴として，便益の相殺の状況が明示的に表されているという点が挙げられる．すなわち，行方向の便益の小計に着目すると，ゼロになっている項目が見られる．これは，便益の主体間での移転を表しており，それについては，一般均衡理論から導かれる便益(社会的純便益(SNB : Social Net Benefit))の増大には貢献していないことを意味している．すなわち，地価の上昇分による便益(＋O)を事業の総便益に含めてはならないというよく知られた帰結を表していることになる[金本(1996)[27]]．

さらに，便益帰着構成表の作成において，特に注意を要するのは，表の中で表されている便益は，一般均衡理論から定義された便益(社会的純便益(SNB : Social Net Benefit))を各経済主体および項目ごとに分配しただけのものであるから，その総和，表 2-1 では，行方向あるいは列方向の小計の総和は，厳密に SNB と一致しなくてはならない点である．

（b）便益帰着構成表の導出

続いて，２－３－２節にて構築した一般均衡理論を用いて，便益帰着構成表を実際に導出することによりその特徴を明らかにする．そこで，まず，式(2.22)にて定義された等価的偏差 EV の分離を試みる．

まず，式(2.22)で定義された等価的偏差 EV を，式(2.18)で導出された間接効用関数の全微分形を用いて変形する[森杉(1997)[28]，Johansson(1987)[29]]．

$$EV = e\left(q_T^A, a^A, w^A, V_H^B\right) - I_H\left(w^A, r^A, a^A, \pi_M^A, \pi_T^A, \tau_H^A\right) \tag{2.32.a}$$

$$= \oint_{A \to B} \frac{\partial e}{\partial V} dV \tag{2.32.b}$$

$$= \oint_{0 \to 1} \frac{\partial e}{\partial V} \lambda(\sigma)\left[-x_H^T(\sigma)\left\{\frac{dp_T(\sigma)}{d\sigma} + w(\sigma)\frac{dt(\sigma)}{d\sigma}\right\} - h_H \frac{da(\sigma)}{d\sigma} \right.$$
$$\left. + L_H(\sigma)\frac{dw(\sigma)}{d\sigma} + \overline{K_H}\frac{dr(\sigma)}{d\sigma} + \overline{H_H}\frac{da(\sigma)}{d\sigma} + \frac{d\pi_M(\sigma)}{d\sigma} + \frac{d\pi_T(\sigma)}{d\sigma} - \frac{d\tau_H(\sigma)}{d\sigma}\right] \tag{2.32.c}$$

ただし，　A，B　：政策なし，政策ありを表す，

$\sigma \in [0,1]$　：状態 A から B への積分経路を表すパラメータ，

$\sigma = 0$：政策なし，$\sigma = 1$：政策あり．

また，企業 M，交通企業 T の利潤の変化分 $\Delta\pi_M$，$\Delta\pi_T$ は，式(2.6), (2.11)の利潤関数の全微分形より，それぞれ以下のように求められる．

$$\Delta\pi_M = \oint_{A \to B} d\pi_M \tag{2.33.a}$$

$$= \oint_{0 \to 1} \frac{d\pi_M}{d\sigma} d\sigma \tag{2.33.b}$$

$$= \oint_{0 \to 1} \left[-x_M^T(\sigma)\frac{dp_T(\sigma)}{d\sigma} - L_M(\sigma)\frac{dw(\sigma)}{d\sigma} - K_M(\sigma)\frac{dr(\sigma)}{d\sigma} - H_M(\sigma)\frac{da(\sigma)}{d\sigma}\right] d\sigma \tag{2.33.c}$$

$$\Delta\pi_T = \oint_{A \to B} d\pi_T \tag{2.34.a}$$

$$= \oint_{0 \to 1} \frac{d\pi_T}{d\sigma} d\sigma \tag{2.34.b}$$

$$= \oint_{0 \to 1} \left[y_T(\sigma)\frac{dp_T(\sigma)}{d\sigma} - L_T(\sigma)\frac{dw(\sigma)}{d\sigma} - K_T\frac{dr(\sigma)}{d\sigma} - H_T\frac{da(\sigma)}{d\sigma}\right] d\sigma \tag{2.34.c}$$

式(2.33.c)，式(2.34.c)を，式(2.32.c)に代入する．

$$EV = \oint_{0 \to 1} \frac{\partial e}{\partial V} \lambda(\sigma)\left[-x_H^T(\sigma)\left\{\frac{dp_T(\sigma)}{d\sigma} + w(\sigma)\frac{dt(\sigma)}{d\sigma}\right\} - h_H \frac{da(\sigma)}{d\sigma} \right.$$
$$+ L_H(\sigma)\frac{dw(\sigma)}{d\sigma} + \overline{K_H}\frac{dr(\sigma)}{d\sigma} + \overline{H_H}\frac{da(\sigma)}{d\sigma}$$
$$- x_M^T(\sigma)\frac{dp_T(\sigma)}{d\sigma} - L_M(\sigma)\frac{dw(\sigma)}{d\sigma} - K_M(\sigma)\frac{dr(\sigma)}{d\sigma} - H_M(\sigma)\frac{da(\sigma)}{d\sigma}$$
$$\left. + y_T(\sigma)\frac{dp_T(\sigma)}{d\sigma} - L_T(\sigma)\frac{dw(\sigma)}{d\sigma} - K_T(\sigma)\frac{dr(\sigma)}{d\sigma} - H_T(\sigma)\frac{da(\sigma)}{d\sigma} - \frac{d\tau_H(\sigma)}{d\sigma}\right] d\sigma \tag{2.35.a}$$

$$= \oint_{0 \to 1} \frac{\partial e}{\partial V} \lambda(\sigma)\left[y_T(\sigma)\frac{dp_T(\sigma)}{d\sigma} - \left\{x_M^T(\sigma) + x_H^T(\sigma)\right\}\frac{dp_T(\sigma)}{d\sigma} - x_H^T(\sigma)w(\sigma)\frac{dt(\sigma)}{d\sigma} \right.$$
$$+ \left\{L_H(\sigma) - L_M(\sigma) - L_T(\sigma)\right\}\frac{dw(\sigma)}{d\sigma} + \left\{\overline{K_H} - K_M(\sigma) - K_T(\sigma)\right\}\frac{dr(\sigma)}{d\sigma}$$
$$\left. + \left\{\overline{H_H} - H_M(\sigma) - H_T(\sigma) - h_H(\sigma)\right\}\frac{da(\sigma)}{d\sigma} - \frac{d\tau_H(\sigma)}{d\sigma}\right] d\sigma \tag{2.35.b}$$

これが，等価的偏差 EV の分離形である．

この各項を，同一の便益項目は同一の行内に記載されるように並び替えて整理することにより，表 2-2 に示す便益帰着構成表が完成する．これによれば，本研究にて構築された一般均衡

理論において交通整備による社会的純便益を構成する要因としては，交通に関わる時間短縮便益のみで構成されていることがわかる．また，便益帰着構成表の最下欄には，主体ごとの帰着便益も計上されており，どの主体がどれだけの便益を得たのかを把握することが可能となる．

表 2-2　便益帰着構成表

	企業 M	交通企業 T	家計 H	地主：L	合計
整備費用		$-dC$			$-dC$
料金収入		$y_T dp_T$			$y_T dp_T$
利用者便益	$-x_M^T dp_T$		$-x_H^T dp_T$		$-\left\{x_M^T + x_H^T\right\}dp_T$
交通時間短縮			$-x_H^T w\,dt$		$-x_H^T w\,dt$
賃金率変化	$-L_M dw$	$-L_T dw$	$L_H dw$		0
利子率変化	$-K_M dr$	$-K_T dr$	$\overline{K_H} dr$		0
地代変化	$-H_M da$	$-H_T da$	$-h_H da$	$\overline{H_H} da$	0
税金・補助金		$d\Psi$	$-d\tau_H$		0
合計 (帰着便益)	$-x_M^T dp_T$ $-L_M dw - K_M dr$ $-H_M dr$	$y_T dp_T$ $-L_T dw - K_T dr$ $-H_T da - dC + d\Psi$	$L_H dw + K_H dr$ $-x_H^T dp_T - x_H^T w\,dt$ $-h_H da - d\tau_H$	$\overline{H_H} da$	SNB

ただし，簡単化のため $\frac{\partial e}{\partial V}\lambda(\sigma) = 1$ としている．

（ｃ）便益の分配状況の把握

ここまでは，便益帰着構成表が公平性の検討に対して有効であるとの立場からその特徴を説明してきた．ここでは，それらに加えて便益帰着構成表の付加的な利用価値について説明を行うこととする．

表 2-2 に示した便益帰着構成表において，SNB に着目する．この SNB は，表 2-2 の最右欄の合計値として，

$$\mathrm{SNB} = -dC + y_T dp_T - \left\{x_M^T + x_H^T\right\}dp_T - x_H^T w\,dt \tag{2.36}$$

として求められることがわかる．今，交通市場においても市場均衡が成立しているとすると，式(2.36)の右辺，第二項と第三項がキャンセルされ，結局

$$\mathrm{SNB} = -dC + \left\{-x_H^T w\,dt\right\} \tag{2.37}$$

が社会的純便益として得られることになる．このうち，第一項は整備費用，第二項は時間短縮便益である．時間短縮便益については，$dt < 0$ であるから $\left\{-x_H^T w\,dt\right\} > 0$ のように正の便益となる．

便益帰着構成表においては，式(2.37)にて現れない項目についても表現されているので，どの項目の影響が市場メカニズムによってキャンセルされ，どの項目が残ってくるのかが体系的に把握できる．すなわち，便益帰着構成表では，公平性の検討とは別の利点として，便益について項目ごとの分配状況を明らかにすることができ，それらの市場メカニズムによるキャンセルアウトによって最終帰着便益の把握まで，一つの表において表現することが可能となっているのである．

これは，第 5 章における分析において，特に重要となってくる部分であり，また改めて説明を行うことにする．

2－4　環境政策評価における計量厚生分析の意義

前節では，計量厚生分析の基本的な理論フレームを示すことにより，その全体構造の解説を行った．本節では，この計量厚生分析のフレームを用いて，環境政策評価を行うことの意義と必要性について説明を行う．

まず，一つの流れとしては，計量厚生分析の研究の中で，環境に関わる部分の評価を行わなくてはならなくなってきた点が挙げられる．もちろん，これは計量厚生分析に限られた問題ではなく，費用便益分析等が抱える共通の問題といえるが，とにかく計量厚生分析の枠組みでいかに環境問題を考慮していくのかが重要な課題とされていた．そして，本論文では，その点に対してアプローチを試みていると位置付けられる．

一方，現在の環境問題に関わる状況を考えても，計量厚生分析の必要性を示すことができる．そもそも環境問題とは，自然環境の変化が現在から将来に至るまで，人間社会に対してどのような被害をもたらすのかが懸念されているのである [30]．その環境変化による被害とは，農林業の生産性の低下から始まり，企業の生産への影響，そして，その結果として家計の財需要を充足させられなくなることと考えられる．また，それ以外には，例えば熱帯雨林が失われることに対して，精神的なショックを受けるなど，直接，消費者の満足度を低下させる場合も考えられるが，結局は環境問題を考えた場合，環境変化が社会経済システムにどのような影響をもたらすのかを明らかにすることが必要といえる．このような意味では，一般均衡理論に基礎をおく計量厚生分析では，各経済主体の行動の変化を表現することが可能となるため，その期待は非常に大きいと考えられる．

また，これらの環境変化を規制する手段として，最近になり様々な政策オプションが提案されている[例えば MacNeil et al(1991)[31]]が，その影響を評価する場合にも，環境抑制効果の予測が行えるとともに，政策が社会の経済主体の活動に及ぼす影響も評価することが可能となる計量厚生分析は有用といえる．例えば，環境庁地球環境経済研究会(1990)[32]にて指摘されている，環境保全のための財源問題などを検討するためには，客観的な評価を行うことができる計量厚生分析は非常に有効な手段となりうると考えられる．

2－5　結　語

本章では，計量厚生分析の基礎理論として，一般均衡理論と，それによる便益帰着構成表の導出について解説を行った．

計量厚生分析では，一般均衡理論による理論構築がなされているため，社会経済システム内の全ての経済主体の取引を明示的に表現することが可能となり，公共政策や社会資本整備の直接的な影響から間接的な影響まで評価することが可能であることを示した．特に本論文では，交通社会資本整備事業を例に挙げ，その効果を貨幣タームにて評価したものである便益について，その定義および計測法の解説も行った．

本論文のように，交通整備による効果を「便益」という厚生指標を持って表現することは，事業費用と比較するだけでその有効性を判断することが可能となるという利点とともに，評価に客観性を持たせることができると考えられる．さらに，便益帰着構成表により，主体間の便益の波及と帰着状況についてまで明らかにすることができ，政策判断においてより多くの情報を提供できるといえる．

続いて，計量厚生分析の枠組みを環境問題の解決へ向けてどのように適用できるのかを検討していく．次章では，環境問題を客観的な立場から表現した後，計量厚生分析の枠組みの中で，どう扱いうるのかを考えることにする．

付録２－Ａ　－利潤関数・間接効用関数の全微分形の誘導－

（ａ）利潤関数の全微分形の誘導

ここでは，式(2.6)の企業 M の利潤関数の全微分形の誘導を示す．

まず，式(2.10.b)より利潤関数が価格ベクトルの関数となることを考えると，その全微分形は以下のように与えられる．

$$d\pi_M = \frac{\partial \pi_M}{\partial p_T}dp_T + \frac{\partial \pi_M}{\partial w}dw + \frac{\partial \pi_M}{\partial r}dr + \frac{\partial \pi_M}{\partial a}da \tag{2.A.1}$$

そこで，$\pi_M = y_M - p_T x_M^T - wL_M - rK_M - aH_M$ を，価格ベクトル (p_T, w, r, a) で偏微分する．このとき，生産関数は式(2.1.b)にて，また中間投入財 x_M^T および生産要素 L_M，K_M，H_M の投入量は式(2.4)にて得られており，それらも価格ベクトルの関数となることを考えると，

$$\frac{\partial \pi_M}{\partial p_T} = -x_M^T + \left(\frac{\partial f_M}{\partial x_M^T} - p_T\right)\frac{\partial x_M^T}{\partial p_T} + \left(\frac{\partial f_M}{\partial L_M} - w\right)\frac{\partial L_M}{\partial p_T} + \left(\frac{\partial f_M}{\partial K_M} - r\right)\frac{\partial K_M}{\partial p_T} + \left(\frac{\partial f_M}{\partial H_M} - a\right)\frac{\partial H_M}{\partial p_T} \tag{2.A.2}$$

$$\frac{\partial \pi_M}{\partial w} = -L_M + \left(\frac{\partial f_M}{\partial x_M^T} - p_T\right)\frac{\partial x_M^T}{\partial w} + \left(\frac{\partial f_M}{\partial L_M} - w\right)\frac{\partial L_M}{\partial w} + \left(\frac{\partial f_M}{\partial K_M} - r\right)\frac{\partial K_M}{\partial w} + \left(\frac{\partial f_M}{\partial H_M} - a\right)\frac{\partial H_M}{\partial w} \tag{2.A.3}$$

$$\frac{\partial \pi_M}{\partial r} = -K_M + \left(\frac{\partial f_M}{\partial x_M^T} - p_T\right)\frac{\partial x_M^T}{\partial r} + \left(\frac{\partial f_M}{\partial L_M} - w\right)\frac{\partial L_M}{\partial r} + \left(\frac{\partial f_M}{\partial K_M} - r\right)\frac{\partial K_M}{\partial r} + \left(\frac{\partial f_M}{\partial H_M} - a\right)\frac{\partial H_M}{\partial r} \tag{2.A.4}$$

$$\frac{\partial \pi_M}{\partial a} = -H_M + \left(\frac{\partial f_M}{\partial x_M^T} - p_T\right)\frac{\partial x_M^T}{\partial a} + \left(\frac{\partial f_M}{\partial L_M} - w\right)\frac{\partial L_M}{\partial a} + \left(\frac{\partial f_M}{\partial K_M} - r\right)\frac{\partial K_M}{\partial a} + \left(\frac{\partial f_M}{\partial H_M} - a\right)\frac{\partial H_M}{\partial a} \tag{2.A.5}$$

のようになる．この右辺の第 2,3,4 項は，利潤最大化の一階の条件(式(2.3))よりゼロとなる．よって，

$$\frac{\partial \pi_M(p_T, w, r, a)}{\partial p_T} = -x_M^T(p_T, w, r, a) \tag{2.A.6}$$

$$\frac{\partial \pi_M(p_T, w, r, a)}{\partial w} = -L_M(p_T, w, r, a) \tag{2.A.7}$$

$$\frac{\partial \pi_M(p_T,w,r,a)}{\partial r} = -K_M(p_T,w,r,a) \tag{2.A.8}$$

$$\frac{\partial \pi_M(p_T,w,r,a)}{\partial a} = -H_M(p_T,w,r,a) \tag{2.A.9}$$

が成立する．これは，ホテリング(Hotelling)の補題と呼ばれている．

式(2.A.6～9)を式(2.A.1)に代入すると，式(2.6)の利潤関数の全微分形が誘導される．

$$d\pi_M = -x_M^T dp_T - L_M dw - K_M dr - H_M da \tag{2.6}$$

交通企業についても同様に行えるため，ここではその誘導は省略する．

（b）間接効用関数の全微分形の誘導

続いて，式(2.17)の間接効用関数の全微分形の誘導を示す．

式(2.12)を解くことにより得られる間接効用関数は，厳密には以下のように表される．

$$\begin{aligned} V_H = u_H\Big[& x_H^M\big(q_T,a,w,I_H(w,r,a,\pi_M,\pi_T,\tau_H)\big), x_H^T\big(q_T,a,w,I_H(w,r,a,\pi_M,\pi_T,\tau_H)\big) \\ & + h_H\big(q_T,a,w,I_H(w,r,a,\pi_M,\pi_T,\tau_H)\big) + s_H\big(q_T,a,w,I_H(w,r,a,\pi_M,\pi_T,\tau_H)\big)\Big] \end{aligned} \tag{2.A.10}$$

よって，その全微分形は，

$$dV_H = \frac{\partial V_H}{\partial q_T}dq_T + \frac{\partial V_H}{\partial w}dw + \frac{\partial V_H}{\partial r}dr + \frac{\partial V_H}{\partial a}da + \frac{\partial V_H}{\partial \pi_M}d\pi_M + \frac{\partial V_H}{\partial \pi_T}d\pi_T + \frac{\partial V_H}{\partial \tau_H}d\tau_H \tag{2.A.11}$$

のようになる．

そこで，間接効用関数を $\{q_T,w,r,a,\pi_M,\pi_T,\tau_H\}$ で偏微分し，効用最大化の一階条件(式(2.15))を代入すると，

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_H}{\partial q_T} &= \frac{\partial u_H}{\partial x_H^M}\frac{\partial x_H^M}{\partial q_T} + \frac{\partial u_H}{\partial x_H^T}\frac{\partial x_H^T}{\partial q_T} + \frac{\partial u_H}{\partial h_H}\frac{\partial h_H}{\partial q_T} + \frac{\partial u_H}{\partial s_H}\frac{\partial s_H}{\partial q_T} \\ &= \lambda\left(\frac{\partial x_H^M}{\partial q_T} + q_T\frac{\partial x_H^T}{\partial q_T} + a\frac{\partial h_H}{\partial q_T} + w\frac{\partial s_H}{\partial q_T}\right) \end{aligned} \tag{2.A.12}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_H}{\partial w} &= \frac{\partial u_H}{\partial x_H^M}\frac{\partial x_H^M}{\partial w} + \frac{\partial u_H}{\partial x_H^T}\frac{\partial x_H^T}{\partial w} + \frac{\partial u_H}{\partial h_H}\frac{\partial h_H}{\partial w} + \frac{\partial u_H}{\partial s_H}\frac{\partial s_H}{\partial w} \\ &= \lambda\left(\frac{\partial x_H^M}{\partial w} + q_T\frac{\partial x_H^T}{\partial w} + a\frac{\partial h_H}{\partial w} + w\frac{\partial s_H}{\partial w}\right) \end{aligned} \tag{2.A.13}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_H}{\partial r} &= \frac{\partial u_H}{\partial x_H^M}\frac{\partial x_H^M}{\partial r} + \frac{\partial u_H}{\partial x_H^T}\frac{\partial x_H^T}{\partial r} + \frac{\partial u_H}{\partial h_H}\frac{\partial h_H}{\partial r} + \frac{\partial u_H}{\partial s_H}\frac{\partial s_H}{\partial r} \\ &= \lambda\left(\frac{\partial x_H^M}{\partial r} + q_T\frac{\partial x_H^T}{\partial r} + a\frac{\partial h_H}{\partial r} + w\frac{\partial s_H}{\partial r}\right) \end{aligned} \tag{2.A.14}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_H}{\partial a} &= \frac{\partial u_H}{\partial x_H^M}\frac{\partial x_H^M}{\partial a} + \frac{\partial u_H}{\partial x_H^T}\frac{\partial x_H^T}{\partial a} + \frac{\partial u_H}{\partial h_H}\frac{\partial h_H}{\partial a} + \frac{\partial u_H}{\partial s_H}\frac{\partial s_H}{\partial a} \\ &= \lambda\left(\frac{\partial x_H^M}{\partial a} + q_T\frac{\partial x_H^T}{\partial a} + a\frac{\partial h_H}{\partial a} + w\frac{\partial s_H}{\partial a}\right) \end{aligned} \tag{2.A.15}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_H}{\partial \pi_M} &= \frac{\partial u_H}{\partial x_H^M}\frac{\partial x_H^M}{\partial \pi_M} + \frac{\partial u_H}{\partial x_H^T}\frac{\partial x_H^T}{\partial \pi_M} + \frac{\partial u_H}{\partial h_H}\frac{\partial h_H}{\partial \pi_M} + \frac{\partial u_H}{\partial s_H}\frac{\partial s_H}{\partial \pi_M} \\ &= \lambda\left(\frac{\partial x_H^M}{\partial \pi_M} + q_T\frac{\partial x_H^T}{\partial \pi_M} + a\frac{\partial h_H}{\partial \pi_M} + w\frac{\partial s_H}{\partial \pi_M}\right) \end{aligned} \tag{2.A.16}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_H}{\partial \pi_T} &= \frac{\partial u_H}{\partial x_H^M}\frac{\partial x_H^M}{\partial \pi_T} + \frac{\partial u_H}{\partial x_H^T}\frac{\partial x_H^T}{\partial \pi_T} + \frac{\partial u_H}{\partial h_H}\frac{\partial h_H}{\partial \pi_T} + \frac{\partial u_H}{\partial s_H}\frac{\partial s_H}{\partial \pi_T} \\ &= \lambda\left(\frac{\partial x_H^M}{\partial \pi_T} + q_T\frac{\partial x_H^T}{\partial \pi_T} + a\frac{\partial h_H}{\partial \pi_T} + w\frac{\partial s_H}{\partial \pi_T}\right) \end{aligned} \tag{2.A.17}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_H}{\partial \tau_H} &= \frac{\partial u_H}{\partial x_H^M}\frac{\partial x_H^M}{\partial \tau_H} + \frac{\partial u_H}{\partial x_H^T}\frac{\partial x_H^T}{\partial \tau_H} + \frac{\partial u_H}{\partial h_H}\frac{\partial h_H}{\partial \tau_H} + \frac{\partial u_H}{\partial s_H}\frac{\partial s_H}{\partial \tau_H} \\ &= \lambda\left(\frac{\partial x_H^M}{\partial \tau_H} + q_T\frac{\partial x_H^T}{\partial \tau_H} + a\frac{\partial h_H}{\partial \tau_H} + w\frac{\partial s_H}{\partial \tau_H}\right) \end{aligned} \tag{2.A.18}$$

また，制約条件式 $x_H^M + (p_T + wt)x_H^T + ah_H + ws_H = w\Omega + r\overline{K_H} + a\overline{H_H} + \pi_M + \pi_T - \tau_H$ を価格変数 $\{q_T,w,r,a,\pi_M,\pi_T,\tau_H\}$ で偏微分すると，

$$\frac{\partial x_H^M}{\partial q_T} + q_T\frac{\partial x_H^T}{\partial q_T} + a\frac{\partial h_H}{\partial q_T} + w\frac{\partial s_H}{\partial q_T} = -x_H^T \tag{2.A.19}$$

$$\frac{\partial x_H^M}{\partial w} + q_T\frac{\partial x_H^T}{\partial w} + a\frac{\partial h_H}{\partial w} + w\frac{\partial s_H}{\partial w} = \Omega - s_H \tag{2.A.20}$$

$$\frac{\partial x_H^M}{\partial r} + q_T\frac{\partial x_H^T}{\partial r} + a\frac{\partial h_H}{\partial r} + w\frac{\partial s_H}{\partial r} = \overline{K_H} \tag{2.A.21}$$

$$\frac{\partial x_H^M}{\partial a} + q_T\frac{\partial x_H^T}{\partial a} + a\frac{\partial h_H}{\partial a} + w\frac{\partial s_H}{\partial a} = \overline{H_H} \tag{2.A.22}$$

$$\frac{\partial x_H^M}{\partial \pi_M} + q_T\frac{\partial x_H^T}{\partial \pi_M} + a\frac{\partial h_H}{\partial \pi_M} + w\frac{\partial s_H}{\partial \pi_M} = 1 \tag{2.A.23}$$

$$\frac{\partial x_H^M}{\partial \pi_T} + q_T\frac{\partial x_H^T}{\partial \pi_T} + a\frac{\partial h_H}{\partial \pi_T} + w\frac{\partial s_H}{\partial \pi_T} = 1 \tag{2.A.24}$$

$$\frac{\partial x_H^M}{\partial \tau_H} + q_T\frac{\partial x_H^T}{\partial \tau_H} + a\frac{\partial h_H}{\partial \tau_H} + w\frac{\partial s_H}{\partial \tau_H} = -1 \tag{2.A.25}$$

これらを，式(2.A.12～18)に代入すると，

$$\frac{\partial V_H}{\partial q_T} = -\lambda x_H^T, \quad \frac{\partial V_H}{\partial w} = \lambda\Omega - \lambda s_H, \quad \frac{\partial V_H}{\partial r} = \lambda\overline{K_H}, \quad \frac{\partial V_H}{\partial a} = \lambda\overline{H_H},$$

$$\frac{\partial V_H}{\partial \pi_M} = \lambda , \quad \frac{\partial V_H}{\partial \pi_T} = \lambda , \quad \frac{\partial V_H}{\partial \tau_H} = -\lambda \tag{2.A.26}$$

が得られる．

以上より，式(2.A.26)を式(2.A.11)に代入すると，間接効用関数の全微分形が求められる．

$$dV_H = \lambda\left[-x_H^T dq_T - h_H da - s_H dw + \Omega dw + \overline{K_H} dr + \overline{H_H} da + d\pi_M + d\pi_T - d\tau_H\right] \tag{2.A.27}$$

さらに，交通一般化価格の微少変化分 dq_T については，次のように展開される．

$$dq_T = dp_T + wdt + tdw \tag{2.A.28}$$

よって，式(2.A.28)を式(2.A.27)に代入することにより，式(2.17)が求められる．

$$dV_H = \lambda\left[-x_H^T\left(dp_T + wdt\right) - h_H da + \left(\Omega - t\,x_H^T - s_H\right)dw + \overline{K_H} dr + \overline{H_H} da + d\pi_M + d\pi_T - d\tau_H\right] \tag{2.A.29}$$

$$dV_H = \lambda\left[-x_H^T\left(dp_T + wdt\right) - h_H da + L_H dw + \overline{K_H} dr + \overline{H_H} da + d\pi_M + d\pi_T - d\tau_H\right] \tag{2.17}$$

第３章　環境政策評価における一般均衡理論

３－１　緒　言

本章では，環境問題の分析および環境政策の評価に関わる研究が，これまでどのように進められてきたのかを，特に一般均衡理論との関係に着目して分析する．これにより，計量厚生分析の枠組みを環境変化が考慮された形に拡張し，それによる環境政策評価の議論において，その方向性を示すことができると思われる．

近年，環境問題の深刻化とともに，様々な場面で環境に関わる問題が議論されるようになってきた．特に，経済学の分野では，理論面および実証面から様々なアプローチを用いて，環境問題の分析および環境政策についての提言が行われている．しかし，依然として理論的な部分においてもいくつかの議論が混在している状況であり，一貫した理論体系の下で政策提言を行えるまでにはまだ困難があると言わざるをえない状況である．このような中，植田ら(1991)[1]は，近年の環境経済学におけるアプローチを 5 つのタイプに類型化して示している．1)物質代謝論アプローチ，2)環境資源論アプローチ，3)外部不経済論アプローチ，4)社会的費用論アプローチ，5)経済体制論アプローチの 5 つである．これらの具体的な内容の解説は次節にゆずるが，それらの整理を通して環境問題を分析していく上での課題が明らかとなってくる．

本章では，まず上記の 5 つのアプローチの解説を行うことにより，現在の環境問題に対する研究における課題を明らかにする．その上で，第 2 章で提示した一般均衡理論を適用することにより，それら課題のうちのいくつかについては整理できることを示す．すなわち，まず環境質を考慮した一般均衡モデルを構築し，それにより環境汚染および環境政策の実施による影響を表現して，その定性的な帰結を説明する．さらに，近年，研究が進められている環境の経済評価に関しても，一般均衡理論を用いて表現することにより，理論的に整理できることを示す．そして，本章の後半では，具体的な計測理論に対してその特徴および各手法の相互関係等を一般均衡理論の枠組みを用いて明らかにしていく．

３－２　環境問題・環境政策評価を巡る最近の動向

前節で述べたように，環境問題を巡り経済学の分野で用いられているいくつかのアプローチについて，植田ら(1991)[1]が 5 つのタイプに類型化して示している．それは，1)物質代謝論アプローチ，2)環境資源論アプローチ，3)外部不経済論アプローチ，4)社会的費用アプローチ，5)経済体制論アプローチの 5 つである．まず，以下では各アプローチの概要を簡単に説明していく．

物質代謝論アプローチ

これは，現在の社会経済システムにおける経済循環を，自然システムにおける物質循環の一部と位置づけ，物質代謝を損なわない社会経済活動を規定しようというアプローチである．自然界では，あらゆる物質が無駄なく循環していることが知られている．この物質代謝の中に，経済活動の中での物質の流れ，例えば財の生産のために投入される物質や生産活動の結果として廃棄される物質の一連の動きを組み込み，それらを含んだ総合的な物質の収支構造を分析することにより，経済活動の範囲を規定しようと試みられている．

これまでの経済学の主要な研究では，経済循環のみに着目した分析であったのに対し，ここでは，経済循環と物質循環との連関を考慮に入れて経済活動の分析を行っていく必要のあることを示した点が重要といえるが，まだ概念的な整理にとどまった研究であり [2),3)]，今後，理論的・実証的な方向へ議論を展開していくことが必要とされている．

環境資源論アプローチ

これは，環境資源をストックと捉えることからスタートする．一般にストックとは，フローとしてのサービスを生む源泉とみなされる．そこで，ここでは，ストックしての環境資源から生み出されるフローとしての環境サービスを，遠い将来まで持続的に享受するための，環境資源の維持・管理およびその合理的な利用方法を分析することが研究の対象となっている．

このアプローチは，近年注目を集めている持続可能な発展のための環境政策のあり方を議論する上で有効とされており，最適成長理論のアプローチなどを用いた理論研究が積極的に進められている分野でもある[Beltratti et al(1998)[4)]，Xepapadeas(1997)[5)]，大住(1985)[6)]]．また，宇沢((1987)[7)]，(1994)[8)])は，ストックの概念をもう一歩進め，環境資源だけでなく，社会資本と制度資本を加えた社会的共通資本を定義し，その維持・管理の方策について検討を行っている．

外部不経済論アプローチ

このアプローチは，環境問題を市場経済の外部で生じている現象，いわゆる「市場の失敗」と捉え，その是正のための公的介入を正当化する論理を組み立てたものといえる．そこでは，環境被害を私的限界費用と社会的限界費用との乖離であると捉え，その乖離分に等しい単価で課税すれば，環境被害による損失も考慮に入れた上で，総余剰を最大にするような環境水準を自ずから達成できるという，いわゆる Pigou 税の概念が提示された．

これは，Pigou(1938)[9)]が外部不経済論を展開する中で明らかにしたのが最初であり，現在では，厚生経済学あるいは公共経済学として，環境問題の分析において最も主流のアプローチとなっている[常木(1990)[10)]，Baumol and Oates(1988)[11)]，Hanley et al(1997)[12)]，植田ら(1997)[13)]]．

社会的費用論アプローチ

このアプローチは，外部不経済論アプローチと密接な関わりがある．すなわち，外部不経済

論アプローチにおいて述べた私的限界費用と社会的限界費用との乖離として表された環境被害とは，具体的にはどのように定義され計測されるのかがここでは争点とされてきた [14)]．その論争の結果として，社会的費用とは，環境被害を引き起こした経済主体がそれに対しては何ら負担せず，第三者が非市場的な形で負担をしている費用，あるいはそれに私的費用を加えた総費用と定義されるに至っている．非市場的な形という意味は，環境被害による精神的な負担等も含まれることを示している．

現在では，実際にその社会的費用を計測しようという研究もなされてきている．林山(1998)[15)]によれば，社会的費用の計測方法としては，大きく市場評価法と非市場評価法とに分けられ，そのうち非市場評価法に関わる研究が現在では重要となってきているとされている．そして，その非市場評価法として，代替法(Environmental Surrogates Method)，旅行費用法(Travel Cost Method)，ヘドニックアプローチ(Hedonic Approach)，仮想市場法(Contingent Valuation Method)が挙げられている．一方，これらの各種社会的費用計測の手法を用いて，自動車交通に関わる社会的費用の計測を行ったものもみられる [16),17)]．

経済体制論アプローチ

これは，環境問題の解決を，その原因者に対してのみ求めるのではなく，経済体制のあり方にも求めて議論しようというものである．ここでいう経済体制とは，具体的には 1)資本形成，2)産業構造，3)地域構造，4)交通体系，5)生活様式，6)国家統治構造が挙げられている[宮本(1989)[18)]]．本アプローチにおいて，経済体制のあり方が重要とされているのは，例えば全く同じ環境汚染が発生した場合でも，経済体制が異なることによって被害も異なる場合がありえるからであり，経済体制と環境被害との関係を明らかにしておくことが必要であることがここでは強調されている．このアプローチも，今後，理論的・実証的な方向への展開が期待されている．

以上，環境経済学における研究の流れを，植田らによって類型化されたアプローチについて，そのタイプごとに説明を行った．これらを基に本論文において目指そうとする環境政策評価の方法論の枠組みを提示する．

まず， 3)の外部不経済論アプローチが本論文の理論体系の基礎的な部分を占めることになると考えられる．上でも述べたように，このアプローチは，厚生経済学・公共経済学の研究分野で，今や主要な位置を占めており，いくつかの有用な結論が導き出されている．まず，環境問題に対しては，既往の経済学において主張される市場メカニズムが有効には働かず，その是正のための公的介入が必要であることを，論理的かつ客観的に説明している点が挙げられる．なお，この論理展開については３－４節にて改めて説明することにする．また，実際に公的介入として政府が環境政策を行う場合，その方法として直接規制による方法がよいのか課税や補助金政策による方法がよいのか議論になるケースがある．現在の日本では，大部分が直接規制による政策が採用されているが，これについて市場メカニズムの働きを活用することにより効率

的に汚染の削減が行えるとして，課税や補助金政策の方が有効であるということが示されている．ここでも，論理的かつ客観的な形で説明が展開されている[Baumol and Oates[19]，土門(1997)[20]]．第 2 章で示した計量厚生分析の中の基礎理論である一般均衡理論も，市場メカニズムの働きを十分に活用した分析手法であり，本論文でも外部不経済論アプローチにおける数々の成果を基に，それらを計量厚生分析の枠組みにおいて分析していくことが可能であると考えられる．

そして，3)の外部不経済論アプローチとともに，本論文において注目したいものが 5)の経済体制論アプローチである．ここでは，産業構造や国土・地域構造，交通体系と環境被害との関係を規定することにより，これまでなされてきた経済政策，国土・地域政策，交通整備政策等が，環境問題にどのような影響を与えてきたのかが分析可能となると考えられる．これまで，土木計画学の分野でなされてきた研究の多くは，正に，国土・地域政策や交通整備政策が，国土・地域構造にどのような影響を与えるのかを分析してきたものであるといえる[例えば，森杉・大野[21]，上田[22]，小池[23]など]．それを，さらに環境への影響にまで拡げて分析しようとしたものが経済体制論アプローチであるといえる．よって，このアプローチに対しては，土木計画学の分野で積み上げられてきた研究蓄積が活かしうると考えられる．すなわち，上記の森杉，上田，小池らによる一連の研究では，一般均衡理論を用いたアプローチが採られており，それにより，政策実施による産業構造や国土・地域構造へ及ぼす影響を評価し，その上で政策の有効性を判断することが可能となっている．よって，経済体制論アプローチにおいても，一般均衡理論は強力な分析手法となり得ると考えられる．

本論文は，一般均衡理論を用いた計量厚生分析の中で環境政策評価の枠組みを構築し，かつ実証的な分析への展開を図ろうというものである．この点では，外部不経済論アプローチにおける分析とも整合が保たれる．その上，経済体制論アプローチで問題とされる，環境問題と経済体制との連関も記述することができると思われる (図 3-1)．

また，実証的な分析への展開という点からすれば，4)の社会的費用論アプローチも重要となると考えられる．実証分析においては，実際の環境被害としての社会的費用がいくらになるの

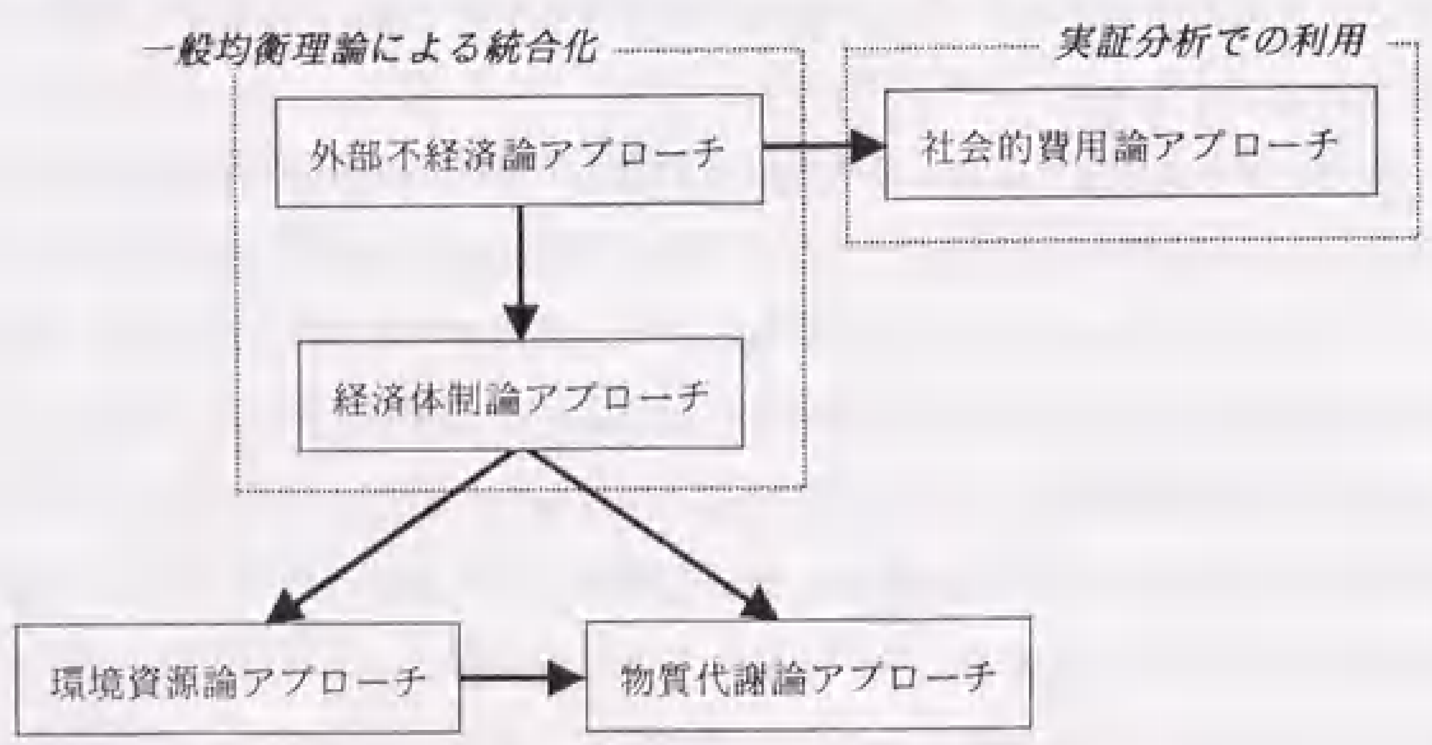

図 3-1　既往研究と本論文でのアプローチの関係

かという点が明らかにされなければ，具体的な政策の提言を行うことができないからである．最近になり，社会的費用を実際に計測しようという試みが様々な方面でなされている．例えば，現在の主要な経済指標である国民総生産(GNP)を，環境的要素の組み込まれたグリーン GNP へ拡げようという試みに際して，社会的費用を計測する試みが，理論的・実証的な面からなされている[24]．また，プロジェクト評価の立場から，先の林山(1998)[15]によって整理された手法等を用いて，実際に社会的費用を計測しようという試みがなされている[Dixon et al.(1994)[25]]．

一方，1)と 2)の物質代謝論アプローチ，環境資源論アプローチについては，本論文においても課題とされる部分である．ただし，本論文の第 6 章では，計量厚生分析の枠組みの動学化を図っており，環境資源論アプローチについては部分的には分析を試みている．しかし，物質代謝論アプローチについては，依然として課題となっている．

以上の点より，まず本章では，一般均衡理論の枠組みおいて環境問題がどのように位置付けられ，それをどのように扱うことができるのか，第 2 章にて示した一般均衡理論を基に考えることとする．次に，林山(1998)[15]によって整理された社会的費用の計測手法に対しては，一般均衡理論を用いて各手法の特徴を明らかにすることが可能であり，その結果としてそれらの手法を用いる際の注意すべき点について説明を行うことにする．

3－3　一般均衡モデルによる環境問題の表現

3－3－1　環境質を考慮した一般均衡モデル

本節では，第 2 章にて説明した一般均衡理論を用いて自然環境の変化が経済主体の活動へ及ぼす影響がどのように表現できるのかを示す．本章では，環境被害が多数の人々に同時に影響を与える点を考慮して，環境質を負の公共財と考えて組み込んだ一般均衡モデルを想定する[26][27]．

基本的なモデルの構造は，2－3－2 節で説明したものと同様である．そして，環境被害の想定として，交通企業の生産，すなわち，自動車交通を投入して交通サービスの生産を行う活動に伴い，窒素酸化物(NOx)や硫黄酸化物等(SOx)の大気汚染物質が排出され，それが環境を汚染すると考える．このとき，交通企業がより多く投入要素を投入して生産を行うことは，結果として環境を悪化させることになるため，環境質 Z は交通企業の投入物 x_T^M, L_T, K_T の関数として表される[28]．

$$Z = Z\left(x_T^M, L_T, K_T\right) \tag{3.1}$$

以上のような想定の下で，環境質を考慮した各経済主体の行動を改めて定式化する．

（a）企業の行動

企業 M の行動モデルは，式(2.1.b)の生産関数に環境質 Z が含まれる形となる．すなわち，

$$\pi_M = \max_{y_M, x_M^T, L_M, K_M, H_M} y_M - p_T x_M^T - wL_M - rK_M - aH_M \tag{3.2.a}$$

$$\text{s.t.} \quad y_M = f_M\left\{x_M^T, L_M, K_M, H_M, Z\left(x_T^M, L_T, K_T\right)\right\} \tag{3.2.b}$$

のように定式化される．なお，各変数は式(2.1)のそれと全く同様である．

この利潤最大化問題の最適化条件は，以下のようになる．

$$\frac{\partial f_M}{\partial x_M^T} = p_T \,, \quad \frac{\partial f_M}{\partial L_M} = w \,, \quad \frac{\partial f_M}{\partial K_M} = r \,, \quad \frac{\partial f_M}{\partial H_M} = a \tag{3.3}$$

そして，これらの条件より求められる各投入量は，環境質 Z の関数として以下のようになることがわかる．

$$\begin{aligned} &x_M^T = x_M^T(p_T, w, r, a, Z) \,, \quad L_M = L_M(p_T, w, r, a, Z) \,, \\ &\qquad K_M = K_M(p_T, w, r, a, Z) \,, \quad H_M = H_M(p_T, w, r, a, Z) \end{aligned} \tag{3.4}$$

財 M の供給関数，利潤関数についても同様に，環境質 Z の関数として表される．

$$y_M = y_M(p_T, w, r, a, Z) \,, \quad \pi_M = \pi_M(p_T, w, r, a, Z) \tag{3.5}$$

この結果，利潤関数の全微分形は以下のようになる．

$$d\pi_M = -x_M^T dp_T - L_M dw - K_M dr - H_M da + \frac{\partial \pi_M}{\partial Z} dZ \tag{3.6}$$

式(3.6)の最後の項の $\partial \pi_M / \partial Z$ は，企業 M における環境質 Z の限界価値を表している．

（b）交通企業の行動

交通企業については，自身の排出した汚染物は自身の生産には影響を与えないと想定すると，式(2.7)にて定式化した，環境質を考慮しない場合と全く同様の形で定式化できる．

$$\pi_T = \max_{y_T, x_T^M, L_T, K_T, H_T} p_T y_T - x_T^M - wL_T - rK_T - aH_T \tag{3.7.a}$$

$$\text{s.t.} \quad y_T = f_T\left(x_T^M, L_T, K_T, H_T\right) \tag{3.7.b}$$

また，最適条件も

$$p_T \frac{\partial f_T}{\partial x_T^M} = 1 \,, \quad p_T \frac{\partial f_T}{\partial L_T} = w \,, \quad p_T \frac{\partial f_T}{\partial K_T} = r \,, \quad p_T \frac{\partial f_T}{\partial H_T} = a \tag{3.8}$$

のように得られ，各投入量が以下のように求められる．

$$\begin{aligned} &x_T^M = x_T^M(p_T, w, r, a) \,, \quad L_T = L_T(p_T, w, r, a) \,, \\ &\qquad K_T = K_T(p_T, w, r, a) \,, \quad H_T = H_T(p_T, w, r, a) \end{aligned} \tag{3.9}$$

さらに，生産関数，利潤関数も，

$$y_T = y_T(p_T, w, r, a) \,, \quad \pi_T = \pi_T(p_T, w, r, a) \tag{3.10}$$

のように得られ，利潤関数の全微分も以下のように得られる．

$$d\pi_T = y_T dp_T - L_T dw - K_T dr - H_T da \tag{3.11}$$

（c）家計の行動

家計の行動モデルは，式(2.12.a)の効用関数に環境質 Z が含まれる形となる．すなわち，

$$V = \max_{x_H^M, x_H^T, h_H, s_H} u\left(x_H^M, x_H^T, h_H, s_H, Z\left(x_T^M, L_T, K_T\right)\right) \tag{3.12.a}$$

$$\text{s.t.} \quad x_H^M + (p_T + wt)\, x_H^T + ah_H + ws_H = w\Omega + r\overline{K_H} + a\overline{H_H} + \pi_M + \pi_T - \tau_H \left[\equiv I_H\right] \tag{3.12.b}$$

のように定式化される．ただし，制約条件は一般化価格の概念を用いた形で表現した．

式(3.12)の効用最大化問題の最適化条件は，

$$\frac{\partial u}{\partial x_H^M} = \lambda \,, \quad \frac{\partial u}{\partial x_H^T} = \lambda(p_T + wt) \,, \quad \frac{\partial u}{\partial h_H} = \lambda a \,, \quad \frac{\partial u}{\partial s_H} = \lambda w \tag{3.13.a}$$

$$I_H = x_H^M + (p_T + wt)\, x_H^T + ah_H + ws_H \tag{3.13.b}$$

のようになる．そして，これらの条件を解いて得られる各消費量は，以下のように環境質 Z の関数として求められることがわかる．

$$x_H^M = x_H^M\left(q_T, a, w, I_H\left(w, r, a, \pi_M, \pi_T, \tau_H\right), Z\right) \tag{3.14.a}$$

$$x_H^T = x_H^T\left(q_T, a, w, I_H\left(w, r, a, \pi_M, \pi_T, \tau_H\right), Z\right) \tag{3.14.b}$$

$$h_H = h_H\left(q_T, a, w, I_H\left(w, r, a, \pi_M, \pi_T, \tau_H\right), Z\right) \tag{3.14.c}$$

$$s_H = s_H\left(q_T, a, w, I_H\left(w, r, a, \pi_M, \pi_T, \tau_H\right), Z\right) \tag{3.14.d}$$

よって，間接効用関数(効用水準)についても同様に，環境質 Z の関数として表される．

$$V_H = V_H\left(q_T, a, w, I_H\left(w, r, a, \pi_M, \pi_T, \tau_H\right), Z\right) \tag{3.15}$$

よって，効用水準の全微分形は，以下のようになる．

$$\begin{aligned} dV_H = &-\lambda x_H^T\left(dp_T + wdt\right) - \lambda h_H da \\ &+ \lambda L_H dw + \lambda\overline{K_H} dr + \lambda\overline{H_H} da + \lambda d\pi_M + \lambda d\pi_T - \lambda d\tau_H + \frac{\partial V}{\partial Z} dZ \end{aligned} \tag{3.16}$$

式(3.16)の最後の項の $\partial V / \partial Z$ は，家計における環境質 Z の限界価値を表している．

以上のモデルにおける市場均衡条件については，第2章の式(2.20)と同様の形で表される．

3－3－2　パレート効率性条件の導出

続いて，前項にて定式化した，環境質を考慮した一般均衡モデルにおけるパレート効率性の条件を導出する．このとき，パレート効率性条件を導出するための制約条件付き最大化問題は，以下のように定式化される[26),29)]．

$$\max_{x_{H1}^M, x_{H1}^T, s_{H1}} \quad u_{H1}\left\{x_{H1}^M, x_{H1}^T, h_{H1}, s_{H1}, Z\left(x_T^M, L_T, K_T\right)\right\} \tag{3.17.a}$$

$$\text{s.t.} \quad u_{Hi}\left\{x_{Hi}^M, x_{Hi}^T, h_{Hi}, s_{Hi}, Z\left(x_T^M, L_T, K_T\right)\right\} \ge \overline{u_{Hi}} \qquad 添字\ \ i = 2,\cdots,I \tag{3.17.b}$$

$$f_M\left\{x_M^T, L_M, K_M, H_M, Z\left(x_T^M, L_T, K_T\right)\right\} = x_T^M + x_{H1}^M + \sum_i x_{Hi}^M \tag{3.17.c}$$

$$f_T\left(x_T^M, L_T, K_T, H_T\right) = x_M^T + x_{H1}^T + \sum_i x_{Hi}^T \tag{3.17.d}$$

$$\begin{aligned}&\left(\Omega_{H1} - s_{H1}\right) + \sum_i \left(\Omega_{Hi} - s_{Hi}\right) = L_M + L_T\ ,\quad \overline{K_H} = K_M + K_T\ ,\\ &\qquad \overline{H_H} = H_M + H_T + h_{H1} + \sum_i h_{Hi}\end{aligned} \tag{3.17.e}$$

制約条件に関しては，

制約条件式(3.17.b)：他の全ての家計の効用が一定，

制約条件式(3.17.c) (3.17.d)：財供給に関わる制約，

制約条件式(3.17.e)：資源制約，

を表す．

式(3.17)を，ラグランジュ未定乗数法を用いて解くことにする．まず，次のようにラグランジュ関数 $\Im$ を設定する．

$$\begin{aligned}\Im = {} & u_{H1}\left\{x_{H1}^M, x_{H1}^T, h_{H1}, s_{H1}, Z\left(x_T^M, L_T, K_T\right)\right\} \\ & + \sum_i \lambda_i \left[u_{Hi}\left\{x_{Hi}^M, x_{Hi}^T, h_{Hi}, s_{Hi}, Z\left(x_T^M, L_T, K_T\right)\right\} - \overline{u_{Hi}}\right] \\ & + \mu_M \left[f_M\left\{x_M^T, L_M, K_M, H_M, Z\left(x_T^M, L_T, K_T\right)\right\} - x_T^M - x_{H1}^M - \sum_i x_{Hi}^M\right] \\ & + \mu_T \left[f_T\left(x_T^M, L_T, K_T, H_T\right) - x_M^T - x_{H1}^T - \sum_i x_{Hi}^T\right] \\ & + \nu_L \left[\left(\Omega_{H1} - s_{H1}\right) + \sum_i \left(\Omega_{Hi} - s_{Hi}\right) - L_M - L_T\right] \\ & + \nu_K \left[\overline{K_H} - K_M - K_T\right] \\ & + \nu_H \left[\overline{H_H} - H_M - H_T - h_{H1} - \sum_i h_{Hi}\right]\end{aligned} \tag{3.18}$$

ただし，　λ_i　：制約条件式(3.17.b)に関わるラグランジュ乗数，

μ_j　：制約条件式(3.17.c) (3.17.d)に関わるラグランジュ乗数，

ν_k　：制約条件式(3.17.e) に関わるラグランジュ乗数．

このラグランジュ関数の最大化の一階条件は，

$$\frac{\partial u_{H1}}{\partial x_{H1}^M} - \mu_M = 0\ ,\quad \frac{\partial u_{H1}}{\partial x_{H1}^T} - \mu_T = 0\ ,\quad \frac{\partial u_{H1}}{\partial h_{H1}} - \nu_H = 0\ ,\quad \frac{\partial u_{H1}}{\partial s_{H1}} - \nu_L = 0 \tag{3.19.a}$$

$$\lambda_i \frac{\partial u_{Hi}}{\partial x_{Hi}^M} - \mu_M = 0\ ,\ \lambda_i \frac{\partial u_{Hi}}{\partial x_{Hi}^T} - \mu_T = 0\ ,\ \lambda_i \frac{\partial u_{Hi}}{\partial h_{Hi}} - \nu_H = 0\ ,\ \lambda_i \frac{\partial u_{Hi}}{\partial s_{Hi}} - \nu_L = 0 \qquad i = 2,\cdots,I \tag{3.19.b}$$

$$\mu_M \frac{\partial f_M}{\partial x_M^T} - \mu_T = 0\ ,\quad \mu_M \frac{\partial f_M}{\partial L_M} - \nu_L = 0\ ,\quad \mu_M \frac{\partial f_M}{\partial K_M} - \nu_K = 0\ ,\quad \mu_M \frac{\partial f_M}{\partial H_M} - \nu_H = 0 \tag{3.19.c}$$

$$\begin{aligned}&\mu_T \frac{\partial f_T}{\partial x_T^M} - \mu_M + \frac{\partial u_{H1}}{\partial Z} + \sum_i \lambda_i \frac{\partial u_{Hi}}{\partial Z} + \mu_M \frac{\partial f_M}{\partial Z} = 0\\ &\quad \mu_T \frac{\partial f_T}{\partial L_T} - \nu_L + \frac{\partial u_{H1}}{\partial Z} + \sum_i \lambda_i \frac{\partial u_{Hi}}{\partial Z} + \mu_M \frac{\partial f_M}{\partial Z} = 0\\ &\quad \mu_T \frac{\partial f_T}{\partial K_T} - \nu_K + \frac{\partial u_{H1}}{\partial Z} + \sum_i \lambda_i \frac{\partial u_{Hi}}{\partial Z} + \mu_M \frac{\partial f_M}{\partial Z} = 0\\ &\quad \mu_T \frac{\partial f_T}{\partial H_T} - \nu_H + \frac{\partial u_{H1}}{\partial Z} + \sum_i \lambda_i \frac{\partial u_{Hi}}{\partial Z} + \mu_M \frac{\partial f_M}{\partial Z} = 0\end{aligned} \tag{3.19.d}$$

および，制約条件式(3.17.b～e)となる．

まず，家計に関わる条件については，式(3.19.a)と式(3.19.b)の第一式より，

$$\frac{\mu_M}{\mu_T} = \frac{\partial u_{H1} \Big/ \partial x_{H1}^M}{\partial u_{H1} \Big/ \partial x_{H1}^T} = \frac{\partial u_{Hi} \Big/ \partial x_{Hi}^M}{\partial u_{Hi} \Big/ \partial x_{Hi}^T} \qquad 添字\ \ i = 2,\cdots,I \tag{3.20}$$

のように，環境質を考慮しない場合の条件(式(2.26))と同様の形で求められる．

一方，企業に関わる条件については，付録に示すような式変形を行うと，

$$\begin{aligned}\frac{\mu_M}{\mu_T} &= \frac{\dfrac{\partial f_T}{\partial L_T} + \dfrac{\partial u_{H1}/\partial Z}{\partial u_{H1}/\partial x_{H1}^T} + \displaystyle\sum_i \dfrac{\partial u_{Hi}/\partial Z}{\partial u_{Hi}/\partial x_{Hi}^T} + \dfrac{\partial f_M/\partial Z}{\partial f_M/\partial x_M^T}}{\dfrac{\partial f_M}{\partial L_M}}\\ &= \frac{\dfrac{\partial f_T}{\partial K_T} + \dfrac{\partial u_{H1}/\partial Z}{\partial u_{H1}/\partial x_{H1}^T} + \displaystyle\sum_i \dfrac{\partial u_{Hi}/\partial Z}{\partial u_{Hi}/\partial x_{Hi}^T} + \dfrac{\partial f_M/\partial Z}{\partial f_M/\partial x_M^T}}{\dfrac{\partial f_M}{\partial K_M}}\\ &= \frac{\dfrac{\partial f_T}{\partial H_T} + \dfrac{\partial u_{H1}/\partial Z}{\partial u_{H1}/\partial x_{H1}^T} + \displaystyle\sum_i \dfrac{\partial u_{Hi}/\partial Z}{\partial u_{Hi}/\partial x_{Hi}^T} + \dfrac{\partial f_M/\partial Z}{\partial f_M/\partial x_M^T}}{\dfrac{\partial f_M}{\partial H_M}}\end{aligned}$$

$$
= \frac{\partial f_T}{\partial x_T^M} + \frac{\partial u_{H1}/\partial Z}{\partial u_{H1}/\partial x_{H1}^T} + \sum_i \frac{\partial u_{Hi}/\partial Z}{\partial u_{Hi}/\partial x_{Hi}^T} + \frac{\partial f_M/\partial Z}{\partial f_M/\partial x_M^T} \qquad \text{添字 } i = 2,\cdots,I \qquad (3.21)
$$

のような条件となり，環境質を考慮した分だけ歪みが生じていることがわかる．

以上の結果，パレート効率の条件は

$$
\frac{\partial u_{Hi}/\partial x_{Hi}^M}{\partial u_{Hi}/\partial x_{Hi}^T} = \frac{\dfrac{\partial f_T}{\partial L_T} + \sum_i \dfrac{\partial u_{Hi}/\partial Z}{\partial u_{Hi}/\partial x_{Hi}^T} + \dfrac{\partial f_M/\partial Z}{\partial f_M/\partial x_M^T}}{\dfrac{\partial f_M}{\partial L_M}}
$$

$$
= \frac{\dfrac{\partial f_T}{\partial K_T} + \sum_i \dfrac{\partial u_{Hi}/\partial Z}{\partial u_{Hi}/\partial x_{Hi}^T} + \dfrac{\partial f_M/\partial Z}{\partial f_M/\partial x_M^T}}{\dfrac{\partial f_M}{\partial K_M}}
$$

$$
= \frac{\dfrac{\partial f_T}{\partial H_T} + \sum_i \dfrac{\partial u_{Hi}/\partial Z}{\partial u_{Hi}/\partial x_{Hi}^T} + \dfrac{\partial f_M/\partial Z}{\partial f_M/\partial x_M^T}}{\dfrac{\partial f_M}{\partial H_M}}
$$

$$
= \frac{\partial f_T}{\partial x_T^M} + \sum_i \frac{\partial u_{Hi}/\partial Z}{\partial u_{Hi}/\partial x_{Hi}^T} + \frac{\partial f_M/\partial Z}{\partial f_M/\partial x_M^T} \qquad \text{添字 } i = 1,\cdots,I \qquad (3.22)
$$

となる．

式(3.22)中における $\sum_i \frac{\partial u_{Hi}/\partial Z}{\partial u_{Hi}/\partial x_{Hi}^T} + \frac{\partial f_M/\partial Z}{\partial f_M/\partial x_M^T}$ は，環境質が変化した場合の効用および企業の生産へ及ぼす限界被害の総和を表している．すなわち，環境質を考慮した場合としない場合では，環境の限界被害分だけパレート効率性の条件が乖離していることがわかる．

続いて，前節で構築した一般均衡モデルにおける，競争市場での最適条件を検討する．まず，式(3.12)の家計の行動モデルにおける効用最大化の一階条件より，

$$
\frac{\partial u_{Hi}/\partial x_{Hi}^M}{\partial u_{Hi}/\partial x_{Hi}^T} = \frac{p_M}{p_T} \qquad i = 1,\cdots,I \qquad (3.23)
$$

の条件が得られる．これは，式(2.30)の環境質を考慮しない場合と同様の条件式である．

また，式(3.2)と式(3.7)の各企業の利潤最大化行動より導かれる一階条件からも，

$$
\frac{\partial f_T/\partial L_T}{\partial f_M/\partial L_M} = \frac{\partial f_T/\partial K_T}{\partial f_M/\partial K_M} = \frac{\partial f_T/\partial H_T}{\partial f_M/\partial H_M} = \frac{1}{\partial f_M/\partial x_M^T} = \frac{\partial f_T}{\partial x_T^M} = \frac{p_M}{p_T} \qquad (3.24)
$$

の条件が導け，これも環境質を考慮しない場合と同様の条件式となる．

以上より，競争市場における各経済主体の合理的行動に対する最適条件は，環境質を考慮し

た場合でも考慮しない場合でも全く同様の形となり，よって，環境質が考慮されている場合に競争市場に任せたのではパレート効率が成立しないことがわかる．

3－3－3　環境政策評価への一般均衡モデルの適用

前項では，環境質を考慮した場合，競争市場ではパレート効率が成立しないことを示した．本項では，その場合に何らかの政策を行うことにより，競争市場に任せても環境問題を解消することができないかという点を，一般均衡モデルの枠組みを用いて検討する．

本節では，交通企業が環境被害を発生させているという状況を想定している．よって，ここでは，政府が交通企業に対して，ピグー税的システムの税を賦課する政策を考え，それにより式(3.22)にて示したパレート効率性の条件を成立させる政策が存在するかを確認する．そこで，式(3.7)にて定式化した交通企業 T の行動モデルにおいて，産出量 y_T に対して税率 ω_T を賦課する場合を考える．

$$
\pi_T = \max_{y_T, x_T^M, L_T, K_T, H_T} (1+\omega_T) p_T y_T - x_T^M - wL_T - rK_T - aH_T \qquad (3.25.a)
$$

$$
\text{s.t.} \quad y_T = f_T\left(x_T^M, L_T, K_T, H_T\right) \qquad (3.25.b)
$$

ただし，　ω_T　：環境税率．

この最適化問題の一階条件は，

$$
(1+\omega_T) p_T \frac{\partial f_T}{\partial x_T^M} = 1, \quad (1+\omega_T) p_T \frac{\partial f_T}{\partial L_T} = w,
$$

$$
(1+\omega_T) p_T \frac{\partial f_T}{\partial K_T} = r, \quad (1+\omega_T) p_T \frac{\partial f_T}{\partial K_T} = r. \qquad (3.26)
$$

一方，企業 M については何も政策をしないとすると，その最適条件は式(3.3)，すなわち

$$
\frac{\partial f_M}{\partial x_M^T} = p_T, \quad \frac{\partial f_M}{\partial L_M} = w, \quad \frac{\partial f_M}{\partial K_M} = r, \quad \frac{\partial f_M}{\partial H_M} = a \qquad (3.27)
$$

となる．さらに，式(3.24)に相当する企業の競争市場条件は，

$$
\frac{\partial f_T/\partial L_T}{\partial f_M/\partial L_M} = \frac{\partial f_T/\partial K_T}{\partial f_M/\partial K_M} = \frac{\partial f_T/\partial H_T}{\partial f_M/\partial H_M} = \frac{1}{\partial f_M/\partial x_M^T} = \frac{\partial f_T}{\partial x_T^M} = \frac{p_M}{(1+\omega_T)p_T}. \qquad (3.28)
$$

これを変形すると，

$$
\frac{p_M}{p_T} = \frac{\dfrac{\partial f_T}{\partial L_T}(1+\omega_T)}{\partial f_M/\partial L_M} = \frac{\dfrac{\partial f_T}{\partial K_T}(1+\omega_T)}{\partial f_M/\partial K_M} = \frac{\dfrac{\partial f_T}{\partial H_T}(1+\omega_T)}{\partial f_M/\partial H_M} = \frac{1+\omega_T}{\partial f_M/\partial x_M^T} = \frac{\partial f_T}{\partial x_T^M}(1+\omega_T). \qquad (3.29)
$$

一方，家計についても，何も制作しないとすると，式(3.12)と全く同様に定式化されるため，その効用最大化問題の一階条件より得られる競争市場条件は，

$$\frac{p_M}{p_T} = \frac{\partial u_{Hi} \big/ \partial x_{Hi}^M}{\partial u_{Hi} \big/ \partial x_{Hi}^T} \tag{3.30}$$

となる．

このような想定の下，環境税率 ω_T を

$$\omega_T = \sum_i \frac{\partial u_{Hi} / \partial Z}{\partial u_{Hi} / \partial x_{Hi}^T} + \frac{\partial f_M / \partial Z}{\partial f_M / \partial x_M^T} \tag{3.31}$$

のように設定すると，式(3.22)のパレート効率性の条件が満たされることがわかる．これより，政府が環境汚染による限界被害の総和と同じ額だけ汚染源である交通サービスに課税することにより，パレート効率が回復できることになる．

パレート効率が満たされるということは，第 2 章で述べたように資源が最も効率的に配分されていることになり，ここでは，環境への影響も考慮した上で，資源配分が最適となるシステムがピグー税であると示されたといえる．

ここで，特に強調したい点は，一般均衡理論の枠組みにおいても厚生経済学における主要な帰結が成立することが示せたという点であり，この意味から計量厚生分析が既往研究と整合性を保っていることが明らかになったと考えられる．

3－4　環境政策による影響の幾何学的表現

本項では，前項にて示したピグー税による環境政策について，幾何学的方法によって改めてその意味を検討することにする．これは，3－2節にて述べた外部不経済論アプローチにおける理論展開と一致している[30),31)]．

ここでは，図 3-2 に示すような自動車交通サービス市場を，部分均衡の枠組みにて捉える．

3－4－1　基本設定

まず，交通サービス市場には，交通サービスの供給者としての交通企業と消費者である家計が存在しており，家計は私的限界費用(PMC)に基づき費用を負担しているものとする．このとき，家計にとっての均衡点は点 D にて表され，その最適交通サービス消費量は x_H^{TA}，一般化価格は $p_T{}^A$ となる．

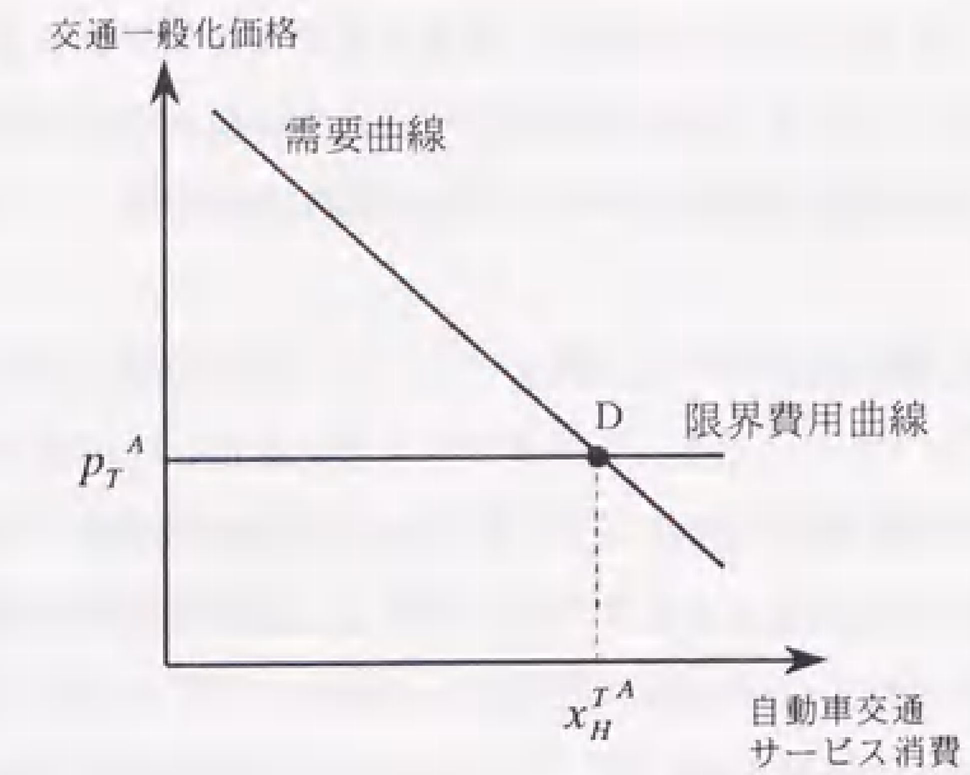

図 3-2　自動車交通サービス市場

3－4－2　環境改善便益

ところで，交通企業は，環境汚染を発生させている．これは，家計が負担している私的限界費用 PMC が，社会的にみた限界費用(社会的限界費用：SMC)とは乖離しているものと考えることができる．これは，図 3-3 のように表される．このとき，図 3-2 の x_H^{TA} に対応する SMC を点 C で表すと，この CD 間の差は自動車利用者によって負担されていない環境被害費用との見方ができる．この乖離分は，3－3－2節の式(3.22)における $\sum_i \frac{\partial u_{Hi}/\partial Z}{\partial u_{Hi}/\partial x_{Hi}^T} + \frac{\partial f_M/\partial Z}{\partial f_M/\partial x_M^T}$ と考えられる．

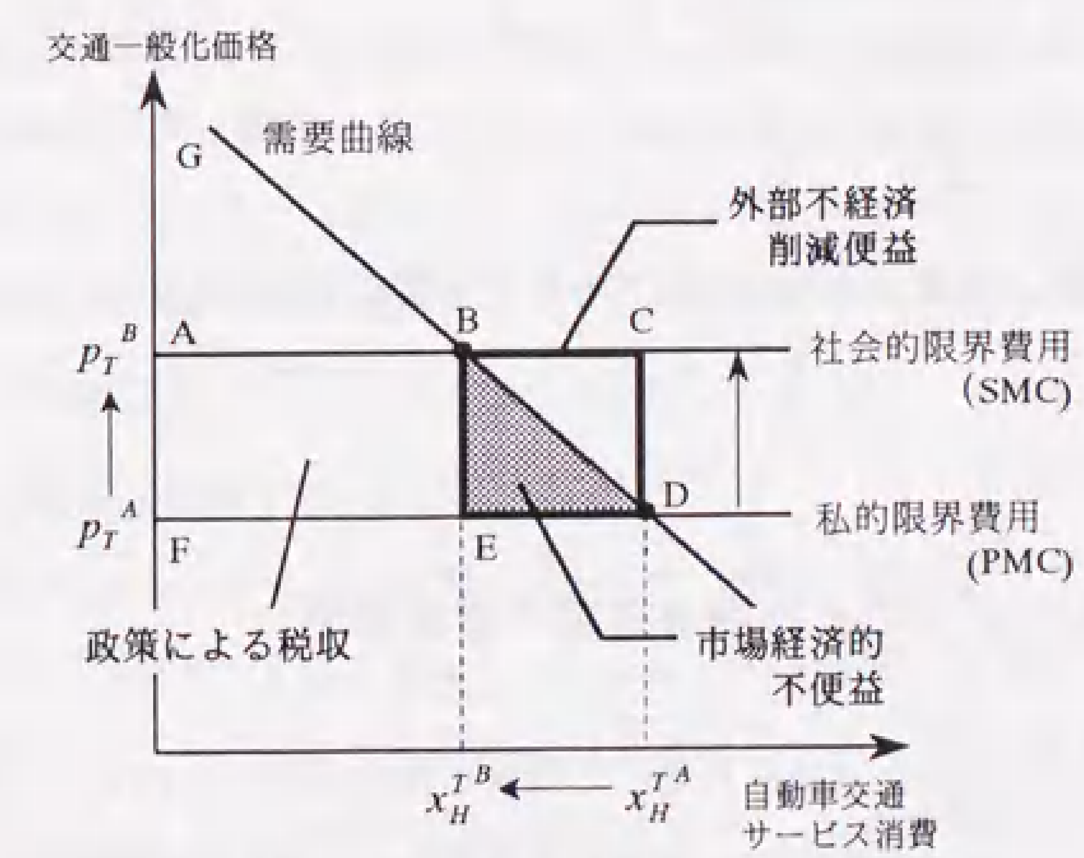

図 3-3　環境政策の実施に伴う諸影響

続いて，交通企業に対し，単位交通サービスあたりの環境被害費用(CD)と同額の税が賦課された場合を考える．すなわち，式(3.31)の設定を考える．これは図 3-3 では，限界費用曲線のシ

フト(PMC→SMC)によって表され，その結果，最適自動車交通サービス消費はx_H^{TA}からx_H^{TB}へ減少することになる．それに伴い，環境被害費用はACDFからABEFに減少することになり，その差額をとることにより環境改善便益がBCDEとして求められる．

3－4－3　市場経済的不便益

その一方で，税の増徴(限界費用曲線のシフト)に伴い社会的余剰がGDFからGBAに減少し，ABDFだけ社会的余剰が失われることもわかる．ただし，この社会的余剰損失分の一部であるABEFに関しては，税の課税により政府が得る収入であり，政府サービスを通じてその額だけ消費者および生産者に還元されるとすれば，この部分は社会的余剰損失分から差し引くことができる．そのため，結局，純社会的余剰損失はBDEとなることになるが，この損失分が市場経済的不便益となる．

3－4－4　環境政策の純便益

また，既に得られた外部不経済削減便益BCDEからこの市場経済的不便益BDEを差し引くことにより，政策による純便益もBCDと得られる．

ここでは，税率を私的限界費用(PMC)と社会的限界費用(SMC)の乖離分に設定したが，その乖離分以上に税率を上げると，市場経済的不便益がより大きくなるため，純便益は減少することがわかる．一方，税率を乖離分以下に設定すると，環境被害が依然として残されたままとなるため純便益が小さくなることがわかる．

以上の結果より，私的限界費用(PMC)と社会的限界費用(SMC)の乖離分に環境税率を設定することが，社会的純便益を最大化させる政策であるという，前節と同じ結果が得られる．

以上の議論は，道路混雑による被害を明らかにする際にも用いられている[清野(1989)[32]，山内(1995)[33]]．

3－5　一般均衡モデルによる環境被害の経済評価

本節では，近年研究が盛んに進められている環境の経済評価について，一般均衡理論の枠組みを用いて解説を行う．3－3節にて，環境質を考慮した一般均衡理論を導入した背景には，現在実際に適用が進んでいる環境の経済評価手法である，ヘドニック価格法，旅行費用法，CVM(Contingent Valuation Method)について[34]，それらの相互関係を整理することが可能となるということがある．すなわち，上の各手法は，環境被害を貨幣タームにて計測することが可能

とされているが，そのためにはいくつかの仮定，前提を必要としており，一般均衡理論を用いることによりそれらの仮定や前提を理論的に明らかとした上で，各手法の特徴を把握することが可能となる．実際に，これらの手法を適用するには，そのような仮定や前提を十分考慮することが重要といえよう．

本節では，まず，環境の被害額を，3－3－3節にて構築した一般均衡モデルを用いて定義される等価的偏差EVを用いて計測できることを示す．さらに，そのEVを展開することにより，ヘドニック価格法，旅行費用法，CVMにおいて，それぞれ誘導される被害額の形を示し，その際どのような仮定，前提が必要となるのかを明らかとする．その上で，各手法の特徴，有用性を明らかとする．なお，上記の環境の経済評価手法以外には，再生費用法，回避費用法，労働賃金法などがあるが[35]，それらについてここでは解説を行わない．

3－5－1　環境被害費用の定義

まず，3－3節にて構築した環境質を考慮した一般均衡モデルを用いて，その環境質が$Z^A \to Z^B$へ低下した場合の家計の効用水準低下分を，等価的偏差EVの概念を用いて貨幣換算することにより，環境被害費用を計測することを考える．

環境質が$Z^A \to Z^B$へと低下した場合，3－3－1節にて導出した企業および家計の需要関数および供給関数が環境質の関数となっているため，需要量・供給量が変化する．それが市場均衡を介して，交通サービス価格p_T，生産要素の価格w, r, aを変化させ，家計の総所得I_Hを変化させる．その結果，家計の間接効用関数(効用水準)が，

$$V_H^A \equiv V_H\left(q_T^A, a^A, w^A, I_H{}^A, Z^A\right) \;\to\; V_H^B \equiv V_H\left(q_T^B, a^B, w^B, I_H{}^B, Z^B\right)$$

と変化する．

この効用の変化分を，2－3－3節にて行ったのと同様に，等価的偏差EVの概念を用いて貨幣換算する．このとき，EVは支出関数eを用いて以下のように定義できる．

$$EV \equiv e\left(q_T^A, a^A, w^A, V_H^B, Z^A\right) - I_H\left(w^A, r^A, a^A, \pi_M^A, \pi_T^A, \tau_H^A, Z^A\right) \tag{3.32}$$

このEVこそが，環境被害額：DCを表している．

環境の経済評価といった場合には，厳密には，3－3節の一般均衡モデルにおける効用関数や生産関数の定式化，パラメータ推定等を行った上で，式(3.32)のEVに基づいて被害額等の計測を行うことが望ましい．しかし，そのためには多大なデータと困難な計算作業が存在するためその簡便な手法としてヘドニック価格法，旅行費用法，CVMが開発されたと考えられる．すなわち，これらの各手法は，EVの計測を行っていることに他ならない．ただし，各手法によって仮定，前提が異なることにより，それぞれの計測方法，最終的な被害額の形が異なると考えられる．その点について，次項にて具体的に示す．

3－5－2　環境被害費用の計測手法

本項では，式(3.32)の EV を展開することにより，ヘドニック価格法，旅行費用法，CVM において誘導される環境被害額 DC の導出を行う．その上で，各手法の特徴を明らかにする．

（a）ヘドニック価格法

ヘドニック価格法(Hedonic Price Method)は，環境質の変化による便益・被害が，地価（あるいは地代）に帰着するというキャピタリゼーション仮説に基づき，事業による地価の変化分を当該事業の便益とする方法である[36]．すなわち，3－3節における一般均衡モデルにおける前提に従うと，環境被害額 DC を以下のように求めていることになる．

$$DC = \overline{H_H}\left(a^B - a^A\right) \tag{3.33}$$

ただし，　A，B　：環境質の変化前，変化後を表す，

$\overline{H_H}$　：利用可能土地面積．

ここでは，式(3.33)の環境被害額 DC を，式(3.32)の EV を用いて誘導することを考える．3－3－1節では，環境質を考慮した場合の利潤関数および間接効用関数の全微分形について，

$$\begin{aligned} dV_H &= -\lambda x_H^T\left(dp_T + wdt\right) - \lambda h_H da \\ &\quad + \lambda L_H dw + \lambda \overline{K_H} dr + \lambda \overline{H_H} da + \lambda d\pi_M + \lambda d\pi_T - \lambda d\tau_H + \frac{\partial V}{\partial Z} dZ \end{aligned} \tag{3.34.a}$$

$$d\pi_M = -x_M^T dp_T - L_M dw - K_M dr - H_M da + \frac{\partial \pi_M}{\partial Z} dZ \tag{3.34.b}$$

$$d\pi_T = y_T dp_T - L_T dw - K_T dr - H_T da \tag{3.34.c}$$

のように求められることを示したので，式(2.33)から式(2.36)の式展開に沿って展開することにより，環境被害額 DC が以下のように導出される．

$$\begin{aligned} DC = \oint_{A \to B} \frac{\partial e}{\partial V} \lambda \Bigg[& \underbrace{\left\{ -x_H^T\left(dp_T + wdt\right) - h_H da + L_H dw + \overline{K_H} dr - d\tau_H + \frac{\partial I_H}{\partial Z} dZ \right\}}_{①} \\ & + \underbrace{\left\{ -x_M^T dp_T - L_M dw - K_M dr - H_M da + \frac{\partial \pi_M}{\partial Z} dZ \right\}}_{②} \\ & + \underbrace{\left\{ y_T dp_T - L_T dw - K_T dr - H_T da \right\}}_{③} + \underbrace{\overline{H_H} da}_{④} \Bigg] \end{aligned} \tag{3.35}$$

このうち，①は家計の効用変化分，②は企業 M の利潤変化分，③は交通企業 T の利潤変化分

を表している．そして，式(3.35)における環境被害額 DC が $\overline{H_H}da$ と一致するには，①～③が全てゼロにならなければならない．すなわち，ヘドニック価格法が妥当性を持つ条件は，家計の効用および各企業の利潤が，環境質の変化が生じても最終的には変化しないという，いわゆる Small Open の仮定が成立する必要があるということになる．言い換えれば，環境質の変化があった地域に，効用と利潤が一定に保たれるように立地がスムーズに進むという前提を認めると，資産価値の変動が，環境被害額と一致するということである．

このヘドニック価格法を利用して交通社会資本整備や公園整備の効果を計測したものには肥田野(1997)[37]が，自動車騒音の外部効果を計測したものには山崎(1991)[38]など多数の実証分析への適用も見られる．

（b）旅行費用法

旅行費用法(Travel Cost Method)は，環境質変化による地域の魅力度の低下を，その地域への訪問需要の減少という影響を利用して計測しようとした方法である．すなわち，地域訪問の需要関数の推定を行って，それにより環境質の変化に伴う消費者余剰の減少分を計測し，それを環境被害額とする方法である[39]．

旅行費用法にて計測される環境被害額についても，式(3.32)の EV から誘導することが可能である．その誘導を示す前に，3－3－1節のモデルの設定を若干変更することにする．今，交通企業 T は交通サービスを提供するとしていたが，ここでは，レジャーサービスを提供する企業と考えることにする．これに伴い，交通企業を表す添字 T をレジャー企業を表す添字 R に書き替えることにする．その設定の下で，式(3.35)にて誘導した環境被害額 DC を，さらに以下のように整理する．

$$\begin{aligned} DC = \oint_{A \to B} \frac{\partial e}{\partial V} \lambda \Bigg[& \left(y_R - x_M^R - x_H^R\right) dp_R + \left(L_H - L_M - L_R\right) dw + \left(\overline{K_H} - K_M - K_R\right) dr \\ & + \left(\overline{H_H} - H_M - H_R - h_H\right) da + \left(\frac{\partial I_H}{\partial Z} + \frac{\partial \pi_M}{\partial Z} + \frac{\partial \pi_R}{\partial Z}\right) dZ - d\tau_H \Bigg] \end{aligned} \tag{3.36}$$

ただし，　p_R　：レジャー消費価格．

式(3.36)の中で，レジャー価格 p_R，賃金率 w，利子率 r，地代 a の変化分の係数については，市場均衡条件式(式(2.20))より，全てゼロとなることがわかる．よって，

$$DC = \oint_{A \to B} \frac{\partial e}{\partial V} \lambda \left[\left(\frac{\partial I_H}{\partial Z} + \frac{\partial \pi_M}{\partial Z} + \frac{\partial \pi_R}{\partial Z}\right) dZ - d\tau_H \right] \tag{3.37}$$

となる．すなわち，環境質の変化が，財市場や生産要素市場に及ぼす影響は，全て市場メカニズムの下でキャンセルされ，最終的に各主体の環境質に対する限界価値のみが残ることがわかる．ここで問題となるのが，限界価値の計測についてである．まず，家計の限界価値計測について考える．

$$\oint_{A\to B}\frac{\partial e}{\partial V}\lambda\left[\frac{\partial I_H}{\partial Z}dZ\right]=e\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,Z^A,V_H\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,I_H^A,Z^B\right)\right)$$
$$-e\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,Z^A,V_H\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,I_H^A,Z^A\right)\right) \tag{3.38.a}$$
$$=e\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,Z^A,V_H\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,I_H^A,Z^B\right)\right)$$
$$-e\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,Z^A,V_H\left(p_R^\infty,w^A,r^A,a^A,I_H^A,Z^B\right)\right)$$
$$+e\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,Z^A,V_H\left(p_R^\infty,w^A,r^A,a^A,I_H^A,Z^B\right)\right)$$
$$-e\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,Z^A,V_H\left(p_R^\infty,w^A,r^A,a^A,I_H^A,Z^A\right)\right)$$
$$+e\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,Z^A,V_H\left(p_R^\infty,w^A,r^A,a^A,I_H^A,Z^A\right)\right)$$
$$-e\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,Z^A,V_H\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,I_H^A,Z^A\right)\right) \tag{3.38.b}$$
$$=\int_{p_R^A}^{p_R^\infty}\frac{\partial e}{\partial V}\lambda\left[x_H^R\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,I_H^A,Z^B\right)-x_H^R\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,I_H^A,Z^A\right)\right]dp_R+E_A \tag{3.38.c}$$

ただし，

$$E_A=e\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,Z^A,V_H\left(p_R^\infty,w^A,r^A,a^A,I_H^A,Z^B\right)\right)$$
$$-e\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,Z^A,V_H\left(p_R^\infty,w^A,r^A,a^A,I_H^A,Z^A\right)\right) \tag{3.39}$$

式(3.38)において，式(3.38.a)から(3.38.b)への変形は，式(3.38.b)の第 2 項と第 3 項，および第 4 項と第 5 項がキャンセルされることより自明である．また，式(3.38.b)から式(3.38.c)への変形は，

$$-\left\{e\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,Z^A,V_H\left(p_R^\infty,w^A,r^A,a^A,I_H^A,Z^B\right)\right)\right.$$
$$\left.-e\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,Z^A,V_H\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,I_H^A,Z^B\right)\right)\right\} \tag{3.40.a}$$
$$=-\int_{p_R^A}^{p_R^\infty}\frac{\partial e}{\partial V}\frac{\partial V}{\partial p_R}dp_R \tag{3.40.b}$$
$$=-\int_{p_R^A}^{p_R^\infty}\frac{\partial e}{\partial V}\lambda\left\{-x_H^R\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,I_H^A,Z^B\right)\right\}dp_R \tag{3.40.c}$$

および，

$$e\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,Z^A,V_H\left(p_R^\infty,w^A,r^A,a^A,I_H^A,Z^A\right)\right)$$
$$-e\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,Z^A,V_H\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,I_H^A,Z^A\right)\right) \tag{3.41.a}$$
$$=\int_{p_R^A}^{p_R^\infty}\frac{\partial e}{\partial V}\frac{\partial V}{\partial p_R}dp_R \tag{3.41.b}$$
$$=\int_{p_R^A}^{p_R^\infty}\frac{\partial e}{\partial V}\lambda\left\{-x_H^R\left(p_R^A,w^A,r^A,a^A,I_H^A,Z^A\right)\right\}dp_R \tag{3.41.c}$$

という関係を用いた．

式(3.38.b)は，図 3-4 の影部の面積，すなわちレジャー需要関数の環境質変化に対する消費者余剰の増分として計測される．また，E_A については，価格が無限大になっても存在する便益ということで，存在効果を表している．

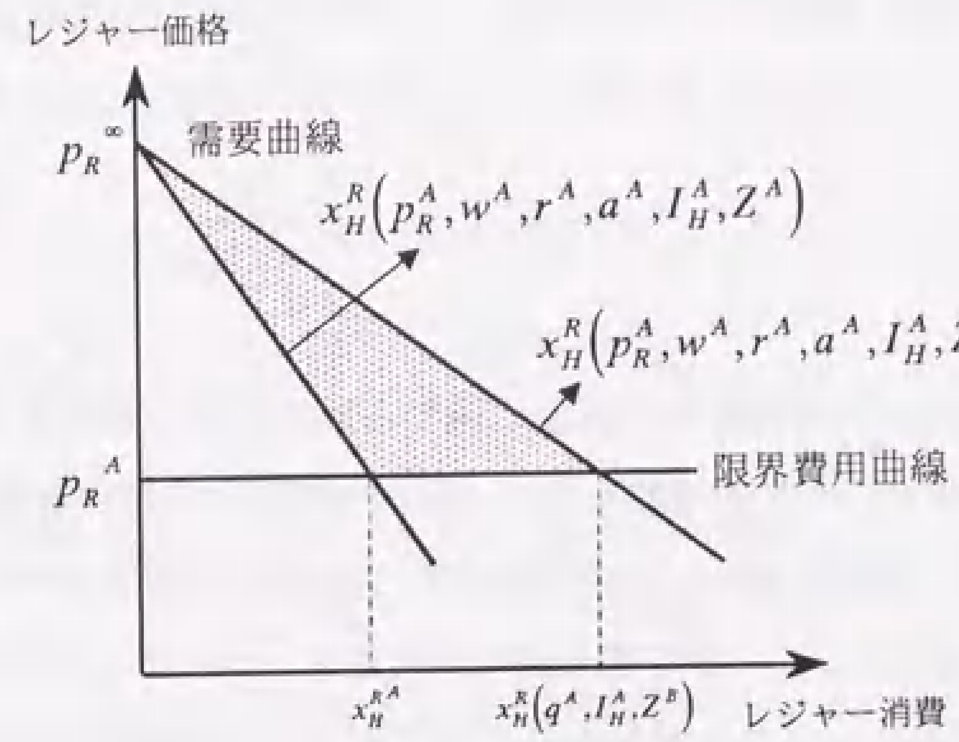

図 3-4　旅行費用法による便益計測

この旅行費用法は，公園整備の便益評価に適用された例がある[大野ら(1995)[40]]．

（ｃ）CVM

CVM(Contingent Valuation Method)は，アンケート調査により環境被害額を直接聞く方法である．すなわち，環境質が低下した場合，その低下を防ぐことに対しいくら支払うか[支払い意志額 : Willingness to Pay(WTP)]，あるいはその低下を受け入れるにはいくら補償されればよいか[受取補償額 : Willingness to Accept Compensation(WTA)]を直接被験者に質問する方法である．

これによれば，結局，CVM とは式(3.32)で定義された EV を直接聞いていることになる．厳密に言えば，EV の定義というものが変化後の効用水準を維持するという条件のもとで A→B の変化をあきらめるために必要と考える最小補償額(２－３－３（ｂ）)であることを考えると，EV というのは，その環境悪化後の被害を受け入れるための受取補償額 WTA と一致する．一方，EV とともに厚生経済学にて便益指標として用いられる CV(Compensating Variation)は，変化前の効用水準を維持するという条件のもとで A→B の変化を獲得するために個人が支払うに値すると考える最大支払い意志額という定義であることを考えると，CV は先の支払い意志額 WTP と一致することになる [41]．

以上のように，CVM は，環境の被害額についても直接的かつ容易に知ることができ，その適用範囲も広範であるという利点を有している．しかし，大きな問題として，評価値の信頼性に関わる問題が挙げられる．すなわち，調査方法によっては種々のバイアス（例えば，ただ乗りバイアス，情報バイアス，見栄バイアスなど）が存在することが指摘されている．それらのバイアスを取り除くため，質問方式についてもいくつか考えられているが [42]，いずれにしても

今後の実証的な面での研究蓄積が望まれる手法である．

しかし，近年になりわが国でも CVM を用いた実証分析がなされてきている．特に，農業経済学の分野で積極的な研究が進められてきたが [43), 44)]，最近では土木計画学の分野でもいくつかの適用がなされている [45), 46)]．

3－6　結　語

本章では，環境問題の分析や環境政策の評価に関わる既往研究の整理を行うとともに，それらの諸理論と計量厚生分析の中の基礎理論をなす一般均衡理論との関係を明らかにした．

まず，植田らによって，環境に関わる既往研究が，1)物質代謝論アプローチ，2)環境資源論アプローチ，3)外部不経済論アプローチ，4)社会的費用論アプローチ，5)経済体制論アプローチの 5 つのタイプに整理されていることを紹介し，各アプローチの概説を行った．その中で，特に厚生経済学，公共経済学の主要なアプローチとなっている，3)の外部不経済論アプローチについては，一般均衡理論においても同様の帰結が得られることを示し，よって，計量厚生分析の枠組みが従来の研究と整合性が保たれている点を明らかにした．

さらに，5)の経済体制論アプローチについては，計量厚生分析がこれまで交通社会資本整備と国土構造，地域構造との関連分析に適用されてきたことから，環境政策と経済体制との間の関連分析にも計量厚生分析が有用と考えられる点を示した．

また，4)の社会的費用論アプローチについては，最近になり土木計画学の分野においても研究が進められており，具体的な計測手法として，ヘドニック価格法，旅行費用法，CVM などが用いられていることを解説した．そして，それら各評価手法についても，一般均衡理論の枠組みを適用することにより，理論的な面から相互関係を明らかにすることが可能となった．特に，ヘドニック価格法については，上田(1993)[47)]により，空間的な概念を考慮した一般均衡理論を用いて定性的な分析を行い，その理論背景をより明確に示すという研究もなされており，一般均衡理論が強力な分析手法であることが明らかとなっている．

このように一般均衡理論は，理論的な観点から議論の整理を行う上でも非常に有効であり，かつ従来の環境問題の研究における定性的な分析結果とも整合性が保たれている理論であるといえる．そして，その一般均衡理論をもって，政策分析を行おうとしている計量厚生分析もその特質をそのまま有するといえる．しかしながら一般均衡理論は，理論的な面では非常に優れている反面，実証的な分析に適用するためにはいくつかの問題が指摘されている．次章では，その問題点について明らかにした後，それらを解決すべく提案されている応用一般均衡理論について，その基礎的な理論の解説を行う．

付録３－Ａ　－企業に関わるパレート効率性条件の誘導－

ここでは，式(3.21)の企業におけるパレート効率性条件の誘導を示す．

まず，式(3.19.c)第二式，式(3.19.b)第二式，式(3.19.c)第一式より，

$$\nu_L = \mu_M \frac{\partial f_M}{\partial L_M}, \quad \lambda_i = \frac{\mu_T}{\partial u_{Hi} / \partial x_{Hi}^T}, \quad \mu_M = \frac{\mu_T}{\partial f_M / \partial x_M^T}. \tag{3.A.1}$$

これらを式(3.19.d)に代入する．例えば，その第二式では，

$$\mu_T \frac{\partial f_T}{\partial L_T} - \mu_M \frac{\partial f_M}{\partial L_M} + \mu_T \frac{\partial u_{H1} / \partial Z}{\partial u_{H1} / \partial x_{H1}^T} + \sum_i \mu_T \frac{\partial u_{Hi} / \partial Z}{\partial u_{Hi} / \partial x_{Hi}^T} + \mu_T \frac{\partial f_M / \partial Z}{\partial f_M / \partial x_M^T} = 0. \tag{3.A.2}$$

以上の結果，両辺を μ_T で割って整理すると式(3.21)の条件式が求められる．

$$\frac{\mu_M}{\mu_T} = \frac{\dfrac{\partial f_T}{\partial L_T} + \dfrac{\partial u_{H1} / \partial Z}{\partial u_{H1} / \partial x_{H1}^T} + \sum_i \dfrac{\partial u_{Hi} / \partial Z}{\partial u_{Hi} / \partial x_{Hi}^T} + \dfrac{\partial f_M / \partial Z}{\partial f_M / \partial x_M^T}}{\dfrac{\partial f_M}{\partial L_M}} \tag{3.21}$$

これと同様にして，式(3.19.d)の他の式でも式(3.21)の条件が導出される．

第4章　応用一般均衡モデルの基礎理論

4－1　緒　言

本章では，第 2 章にて提示した一般均衡理論を，実際の政策評価や公共投資評価に対し適用するため開発された応用一般均衡理論の理論的枠組みを示す．一般均衡理論は，理論的には非常に優れており，複雑な経済現象を解明する際には，理論的な側面に限れば重要な結論を導びくことを可能としてきた．そして，計量厚生分析の基礎理論をなしていることについても既に述べたとおりである．しかし，計量厚生分析の主たる目的が，現実の政策や公共投資の効果を定量的に評価することである点を考えた場合，第一に，一般均衡理論と現実の社会構造とをどのように対応づけていくのか，第二に，非線形連立方程式として定式化される一般均衡体系を実際にはどのように解くのかという技術的な問題が残されていた．これらの問題を解決すべく開発されたのが応用一般均衡理論である．

応用一般均衡理論では，第一の現実社会との対応づけの問題に対しては，Leontief が現実的な観点から，複雑な社会経済主体間の相互依存関係を統合的に捉えるために開発した産業連関表 [1]を用いることにより解決が図られた．また，第二の均衡計算手法の問題に対しては，理論経済学や数学の分野でなされた研究の結果，Scarf(1960)によって開発された不動点アルゴリズム [2]を適用して解決が図られた．これより実際に一般均衡体系を数値的に解くことが可能となり，一般均衡理論の適用範囲が大幅に拡張されたといえる．現在では，経済学や財政学，地域科学など多くの分野で，応用一般均衡理論の適用が試みられている．

以下では，まず，応用一般均衡理論の発展経緯を述べた後，その中で重要な役割を担う産業連関表について応用一般均衡理論との関連に着目して解説を行う．そして，4 つの経済主体のみを考える簡単な応用一般均衡モデルを提示し，パラメータ推定の方法，均衡計算の方法の解説を行い，最後に計量厚生分析の中での応用一般均衡理論の位置づけを明らかにする．

4－2　応用一般均衡理論の発展経緯

応用一般均衡理論とは，Walras が体系的に展開した一般均衡理論を，種々の政策の実証・計量的な評価へ適用するために考案された，計算可能な一般均衡モデルの意味である．日本語では，応用一般均衡理論と統一的に表現されているが，英語では Applied General Equilibrium(AGE)と Computable General Equilibrium(CGE)のように二通りで表現されている．しかし，本質的な意味は，一般均衡理論を現実の政策分析へ適用を可能とした実証モデルのことである．

このように，異なるニュアンスによって表現される理由は，その発展経緯が異なることにあるように思われる．AGE は，Harberger(1962)[3]の 2 部門租税モデルの一般化に関わり，Shoven and Whalley(1972)[4]によって進められた Scarf の不動点アルゴリズムを適用した応用一般均衡理論の研究であり，そして，CGE は，Leontief により開発された産業連関分析(Input-Output Analysis)を一般均衡理論へ拡張することに焦点をあてた，Johansen(1960)[5]の研究である．なお，この Johansen による研究は，その後 Adelman and Robinson(1978)[6]や Dixon ら(1992)[7]によって，より精緻な理論体系の構築がなされている．

以上の点は，Ginsburgh and Keyzer(1997)[8]が AGE と CGE を区別した定式化を行っていることからも推察される．そこでは，AGE モデルでは，生産関数に関し，より一般的な関数を用いて展開がなされており，CGE モデルでは，産業連関分析における主要な仮定である中間投入係数固定の仮定を利用して生産関数の特定化がなされている．また，宮城(1998)[9]では，AGE モデルを CGE モデルより広い範囲の均衡体系を表現するモデルであるとの解釈もなされている．ただし，最近では，AGE，CGE という区別もなくなってきており，統一的に CGE モデルと呼ばれることが多いようである．そこで，本研究でも CGE モデルとして統一的に表現していくこととする．

Shoven and Whalley あるいは Johansen によって進められた CGE モデルに関わる研究は，財政政策評価および貿易政策評価の分野に適用されてきた．財政政策評価に関しては，Ballard, Fullerton, Shoven and Whalley(1985)[10]や Don, Klundert and Sinderen(1991)[11]による研究，また，貿易政策評価に関しては，Dixon ら(1982)[12]よる研究等がある．なお，それらは Shoven and Whalley(1992)[13]によって詳細にレビューされている．

わが国でも近年になって CGE モデルを適用した政策分析の試みがなされている．例えば，市岡(1991)[14]が，CGE モデルを用いて税制と日本経済に関わる分析を行っているし，黒田(1989)[15]はエネルギー価格変化の経済的影響分析を行っている．

また，地域経済の構造分析や交通社会資本整備による効果分析などに対し CGE モデルを適用しようという試みもなされてきている．わが国で最初に導入を試みたのは，宮田(1990)[16]による北海道経済の構造分析へ CGE モデルを適用したケースであると思われる．その後，溝上(1994)[17]が物質流動に関わる分析に CGE モデルを用いているケースが見られる．しかし，この分野で最も適用が進んでいるものは，空間概念が取り入れられた応用一般均衡 (Spatial General Equilibrium: SCGE)モデルに関わる研究である．そこでは，交通社会資本整備による効果が，地域間でどのように波及していくのかが一般均衡理論の枠組みで評価されている[宮城・本部(1996)[18]，柴田・安藤(1992)[19]，奥田(1994)[20]，小林・秀島(1997)[21]，赤松・半田(1997)[22]等]．なお，SCGE モデルの発展経緯については Miyagi (1996)[23] によって詳細にまとめられている．

これ以外にも，環境問題に対して CGE モデルを適用した例も見られるが[24]，それらについては次章以降にて改めてレビューを示すこととする．

4－3　産業連関表の基本構造

4－3－1　産業連関表の開発

一般均衡理論の実証的な分析への適用が進まない原因の一つに，一般均衡モデルをどのように現実の社会経済と対応づけるのかという問題があった．一般均衡モデルは，第 2 章で述べたように，経済活動の本質的な部分のみを実にうまく取り出してモデル化がなされているといえる．しかし，逆に単純化されてしまったモデルでは，現実の政策分析には適用できないのではないかとの懸念があった．そのため，第 2 章(図 2-2)のような経済循環システム，すなわち財や貨幣の流れを実際にデータとして捉え，それに沿った形で一般均衡モデルを計算することが必要とされたのである．こうして，現実経済の循環過程を記述しようという研究が行われるようになった．なお，このような研究が行われるようになったのは，第二次世界大戦前後であり，まだ歴史が浅い分野であるといえるが[25]，そこでは，まず経済循環を以下のような形で捉えることから研究が始まった．

① 家計は保有する労働や資本(生産要素)を提供する

↓

② 企業は生産要素を用いて「生産 (Production)」する

↓

③ 家計は所得の「分配 (Distribution)」を受ける

↓

④ 家計は所得をもとに，財の「消費 (Consumption)」を行う

そして，これら各段階での取引量を，効率的に把握できないかという検討が進められた結果，Leontief による産業連関表の開発が行われたのである．この産業連関表は，先の経済の流れを表形式にて表現したものであり，さらに，財の取引関係を投入と産出という視点から効率にまとめられている．また，いくつかの変数については，それらを係数化することにより，政策分析にも適用することが可能となっている．これは，通常，産業連関分析と呼ばれている．

いずれにしても，産業連関表の開発により，経済循環の中における財の取引関係の把握が可能となり，今日では，産業連関表において足りない部分，特に資本蓄積に関わる部分を補う形でいくつかの勘定体系を組み合わせ，国内総生産(GDP)の計算の元ともなっている国民経済計算体系(System of National Accounts)が確立されるに至っている[26,27]．

ただし，国民経済計算体系の中でも，依然として産業連関表は一国の生産，消費構造を把握するための貴重な勘定体系となっている．さらに，そこでは一国の経済取引関係が，最終的に家計が消費する最終需要や生産要素に関わる取引だけでなく，生産の中間段階での取引である

中間投入に関しても記録がなされており，それらの取引関係を投入と産出という観点からまとめている点が特徴として挙げられよう．

このように，一国の経済の流れを，いくつかの部門もしくは主体間の相互依存の循環図として捉えようとする発想は，200 年前に既にフランスの重農主義経済学者ケネー(Francois Quesnay (1758))に見られ，発想としては古くからあったようである．それを受け，純粋に経済理論として主体間の相互依存の循環を捉えようとしたものこそが，第 2 章にて示した一般均衡理論体系といえ，Leontief は，この一般均衡理論の実証的展開を試みて，産業連関表の提案を行ったと言われている[28]．

現在では，表の精粗を別として，世界 80 カ所以上で産業連関表が作成されるに至っている．産業連関表は，一般均衡理論の実証的適用の可能性を示すだけでなく，その国の経済状況，経済構造を把握するための重要な情報を与えてくれるのである．

わが国では，昭和 26 年に初めて産業連関表が作成された．その後，昭和 35 年に昭和 30 年産業連関表が作成され，以降 5 年おきに作成されることが慣行化した．現在，産業連関表は，基本表(列 411×行 527)，中統合表(91 部門表)，小統合表(32 部門表)からなり，目的に応じて選択できるようになっている．また，全国表だけでなく，地域間産業連関表，国際産業連関表など幅広い分析を行うための連関表作成も積極的に行われている[29]．

4－3－2　産業連関表の基本構造

産業連関表は，各産業間および家計との間の財の取引関係をまとめた表である．まず，1990 年に公表された産業連関表を表 4-1 に示す[30]．なお，ここでは，特に運輸産業を詳細に表し，その他の産業は第一次，第二次，第三次産業に括って，簡単化した産業連関表を示した．表 4-1 では，最左欄と最上欄にそれぞれ経済主体が並べられており，最左欄の主体から最上欄の主体へ取り引きされた財の量が貨幣タームで記述されている．

産業連関表の下方および右方の取引について，若干の補足をしておく．まず，表の下方は付加価値と呼ばれる部分で，労働や資本取引が記述されている．すなわち，雇用者所得は労働取引であり，営業余剰が資本取引を表す．また，資本減耗引当とは企業貯蓄と解釈でき，それ以降の間接税，補助金は政府とのやり取りである．一方，産業連関表の右方では，家計，対家計民間非営利団体，政府からなる最終需要主体の消費および資本蓄積のための投資需要，輸出入が記述されている．

本項では，産業連関表の基本的な構造を簡潔に解説する．よって，簡略化した産業連関表を，経済変数により表し，それを利用して産業連関表の性質を解説することとする．では，まず用いられる経済変数について，図 4-1 の経済循環図に沿って示す．

表4-1　1990年産業連関表

	中間需要									
	第一次産業	第二次産業	第三次産業	自動車製造部門	自動車燃料生産部門	鉄道旅客輸送	道路旅客輸送	自家用旅客自動車輸送	航空輸送	鉄道貨物輸送
第一次産業	2,301,859	12,491,673	1,092,300	0	0	0	0	0	0	0
第二次産業	3,024,484	160,329,334	43,351,257	8,197,105	2,540,014	983,488	175,915	124,869	374,416	48,870
第三次産業	1,474,992	60,044,803	66,645,530	4,746,490	256,528	1,753,815	743,962	3,236,640	1,019,008	50,981
自動車製造部門	0	159,942	1,645,909	17,732,074	0	0	0	0	0	0
自動車燃料生産部門	0	0	0	0	0	0	80,520	1,162,140	0	0
鉄道旅客輸送	7,063	757,877	1,528,564	20,362	2,531	837	2,084	0	1,395	167
道路旅客輸送	6,172	572,315	922,389	17,579	1,713	1,135	2,135	0	198	82
自家用旅客自動車輸送	42,285	1,942,004	2,553,026	19,502	1,991	10,927	9,020	0	4,559	398
航空輸送	13,951	387,922	777,231	25,616	2,061	292	554	18	20,931	28
鉄道貨物輸送	1,612	108,198	21,693	4,258	198	4,380	364	3,147	697	773
道路貨物輸送	315,486	4,582,506	984,812	281,028	4,815	2,891	10,546	22,766	6,298	3,604
自家用貨物自動車輸送	272,486	1,734,555	1,413,468	5,995	709	3,554	2,931	0	1,481	128
水運	35,024	1,102,918	113,739	72,551	35,815	329	7,931	61,992	3,546	39
内生部門計	7,495,414	244,214,046	121,049,918	31,122,560	2,846,376	2,761,648	1,035,962	4,611,572	1,432,529	105,070
家計外消費支出	153,719	8,224,619	8,135,656	355,455	33,043	146,278	189,432	0	35,143	6,071
雇用者所得	1,617,967	76,122,421	138,453,111	4,572,084	114,323	1,222,185	3,071,028	0	571,078	76,660
営業余剰	6,183,571	41,741,876	58,394,996	2,209,199	101,209	547,444	175,574	0	710	3,320
資本減耗引当	1,961,551	22,410,479	34,138,817	1,273,164	86,831	1,668,975	238,523	0	191,920	48,411
間接税（除関税・消費税）	561,723	12,169,379	12,565,693	454,332	1,649,711	140,905	66,639	0	138,435	4,260
（控除）補助金	-178,623	-818,811	2,669,787	-5,126	-7,879	-808,408	-89,241	0	-635	-36,263
粗付加価値部門計	10,299,908	159,849,964	249,018,486	8,859,108	1,977,237	2,917,379	3,651,955	0	936,651	102,459
国内生産額	17,795,322	404,064,010	370,068,404	39,981,668	4,823,613	5,679,027	4,687,917	4,611,572	2,369,180	207,529

	中間需要				最終需要									
	道路貨物輸送	自家用貨物自動車輸送	水運	内生部門計	家計外消費支出	家計消費支出	対家計民間非営利団体消費	一般政府消費支出	国内純固定資本形成（公的）	国内純固定資本形成（民間）	在庫純増	輸出	輸入	国内生産額
第一次産業	0	0	0	15,885,832	115,510	4,405,592	0	0	0	282,510	20,507	47,840	-2,962,469	17,795,322
第二次産業	216,450	122,275	522,973	220,011,450	3,291,891	60,484,315	0	1,347,849	30,546,762	89,164,383	2,182,464	29,288,184	-32,253,288	404,064,010
第三次産業	2,084,154	2,442,390	971,313	145,470,606	13,825,417	159,928,557	3,135,125	36,954,212	1,023,226	11,243,536	146,160	5,291,888	-6,950,323	370,068,404
自動車製造部門	0	0	0	19,537,925	0	5,689,951	0	0	87,067	5,739,150	197,255	9,877,549	-1,147,229	39,981,668
自動車燃料生産部門	598,148	798,549	0	2,639,357	0	2,294,954	0	0	0	0	47,957	55,114	-213,769	4,823,613
鉄道旅客輸送	7,609	0	8,091	2,336,580	15,139	3,404,957	0	0	0	0	0	27,362	-105,011	5,679,027
道路旅客輸送	15,698	0	3,780	1,543,196	160,882	3,090,995	0	0	0	0	0	23,339	-130,495	4,687,917
自家用旅客自動車輸送	18,781	0	9,079	4,611,572	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,611,572
航空輸送	3,488	96	1,981	1,234,169	16,753	1,796,787	0	0	1,406	11,133	494	400,280	-1,091,842	2,369,180
鉄道貨物輸送	14,140	2,182	749	162,391	2,259	38,765	0	0	190	3,507	383	34	0	207,529
道路貨物輸送	17,565	18,208	7,845	6,258,370	116,239	2,377,337	0	0	51,336	524,346	19,339	413,142	0	9,760,109
自家用貨物自動車輸送	6,107	0	2,943	3,444,357	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,444,357
水運	98,508	60,657	1,326,398	2,919,447	4,150	263,741	0	0	2,628	45,820	5,600	2,457,022	-978,911	4,719,497
内生部門計	3,080,648	3,444,357	2,855,152	426,055,252	17,548,240	243,775,951	3,135,125	38,302,061	31,712,615	107,014,385	2,620,159	47,881,754	-45,833,337	872,212,205
家計外消費支出	174,642	0	94,182											
雇用者所得	5,306,716	0	1,155,389											
営業余剰	535,908	0	196,906											
資本減耗引当	487,108	0	314,153											
間接税（除関税・消費税）	181,047	0	113,577											
（控除）補助金	-5,960	0	-9,862											
粗付加価値部門計	6,679,461	0	1,864,345											
国内生産額	9,760,109	3,444,357	4,719,497											

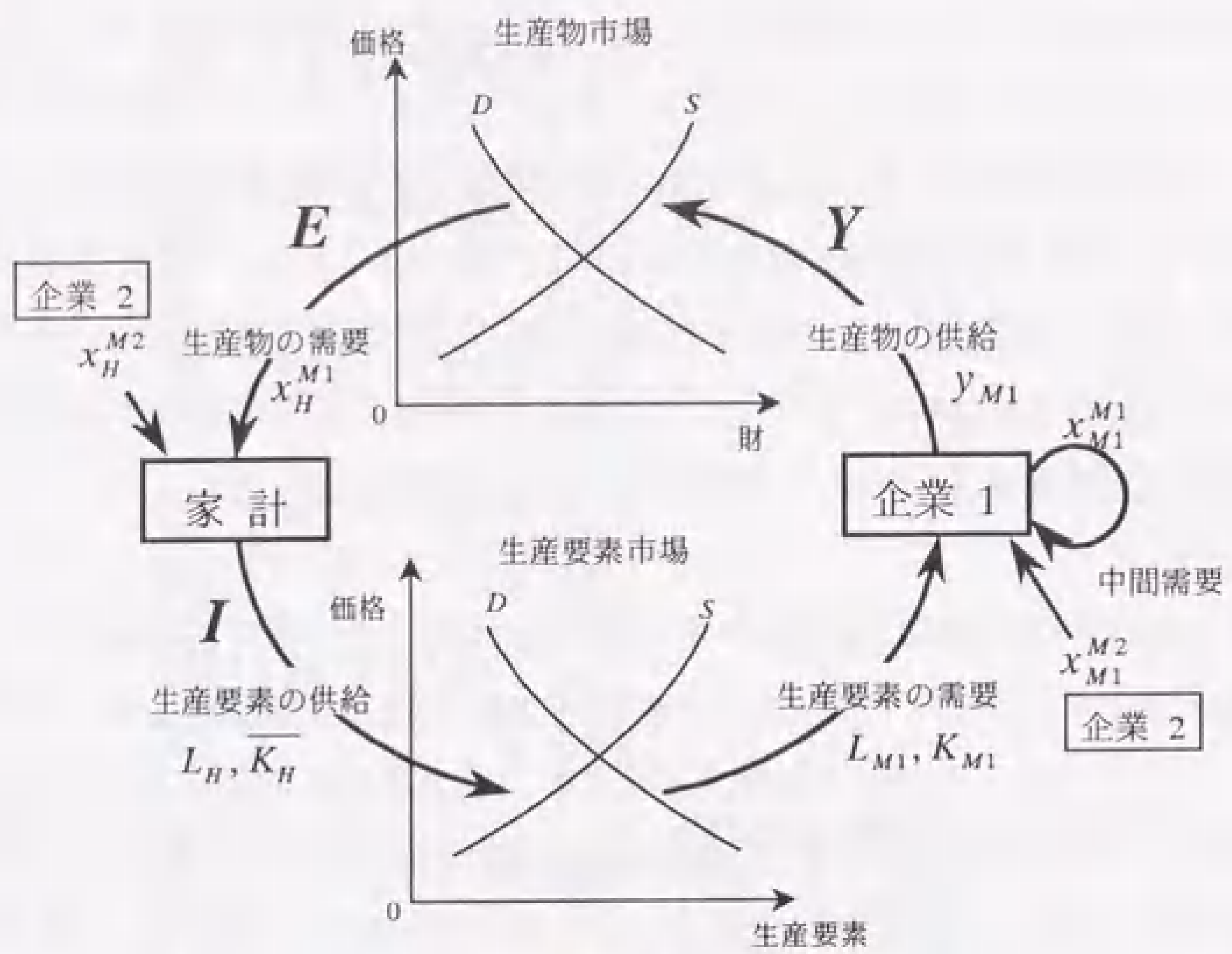

図 4-1　産業連関表のための経済変数

ただし，y_j　：企業 j の産出量，

x_j^i　：企業 j から企業 i への中間投入量，

L_j　：企業 j の労働需要量，

K_j　：企業 j の資本需要量，

L_H　：家計 H の労働供給量，

$\overline{K_H}$　：家計 H の資本保有量，

p_j　：財 j の生産財価格，

w　：賃金率，

r　：利子率．

図 4-1 の経済変数を用いて表した産業連関表が表 4-2 である．

表 4-2　産業連関表

需要部門＼供給部門		中間需要		最終需要	総産出額
		企業 1	企業 2	家計	
中間投入	企業 1	$p_{M1}x_{M1}^{M1}$	$p_{M1}x_{M2}^{M1}$	$p_{M1}x_H^{M1}$	$p_{M1}y_{M1}$
	企業 2	$p_{M2}x_{M1}^{M2}$	$p_{M2}x_{M2}^{M2}$	$p_{M2}x_H^{M2}$	$p_{M2}y_{M2}$
付加価値	労働	$w\,L_{M1}$	$w\,L_{M2}$	$(=w\,L_H)$	
	資本	$r\,K_{M1}$	$r\,K_{M2}$	$(=r\,\overline{K_H})$	
総産出額		$p_{M1}y_{M1}$	$p_{M2}y_{M2}$		

まず，産業連関表(表 4-2)を横方向すなわち「行」に沿って読む．すると，その最終列に示さ

れている各部門の産出額 $p_j y_j$ が，どの部門に受容されたのか，その配分構成がわかる．すなわち，産出の配分構成は，生産のための原材料投入としての中間需要と，生産物の最終需要主体(家計，対家計民間非営利団体，政府)への配分を表す最終需要とに分けられるのである．産業連関表では，行合計である中間需要と最終需要との合計は，国内産出額と常に一致している．すなわち，産出のバランス式

$$p_j y_j \quad = \quad \sum_i p_j x_i^j \quad + \quad p_j x_H^j \tag{4.1}$$

(総産出)　　(中間需要)　　(最終需要)

が成立している．これは，ある期に生産された財が全て何らかの形で消費されていることを表している．この点について，現実には消費されずに残される分が生じるが，産業連関表では，これは在庫調整の項目によって処理されている．

また，表の縦方向すなわち「列」に沿って読むと，各部門がその生産物を生産するために要した投入財の構成がわかる．まず，生産活動の中間段階で投入する中間投入であり，これを産出額から除いた部分は，生産によって発生した付加価値とみなされる．この付加価値の解釈は，労働や資本などの生産要素投入から生じた価値と考えられる．また，ここでも列合計である中間投入と付加価値との合計は国内産出額に一致するようにバランスしている．これより，生産に対する費用のバランス式

$$p_j y_j \quad = \quad \sum_i p_i x_j^i \quad + \quad \left[wL_j + rK_j\right] \tag{4.2}$$

(総産出)　　(中間投入)　　(付加価値)

が成立する．これは，ある期の企業収入は全て，中間投入財あるいは労働・資本への支払いにまわされることを表している．

こうして，産業連関表では，現実経済における財および生産要素の取引が，一目瞭然となる．さらに，産業連関表では，その構造から，生産－分配－支出(消費)の三局面から捉えた純生産物の循環過程についても読みとることが可能である．純生産物とは，産業の総産出から中間投入分を差し引いたものと定義される．

純生産物の循環を，生産－分配－支出(消費)の三局面から捉えようという発想は，国民所得勘定にみられる [31),32)]．ここでは，まず，国民所得勘定における生産者国民所得，分配国民所得，支出国民所得の定義について述べ，それらが産業連関表ではどのように表されているのかを説明する．

① 生産国民所得：Y

これは，純生産物の価値額の合計として計上される．すなわち，総産出額から中間投入額を差し引くことにより求められ，産業連関表(表 4-2)中の変数を用いると以下のように表される．

$$Y = \sum_j \left(p_j y_j - \sum_i p_i x_j^i \right) \tag{4.3}$$

これは，いわゆる国民総生産(Gross National Products : GNP)である．また，産業連関表より，生産国民所得は付加価値額と等しいことがわかる．

② 分配国民所得：I

これは，生産要素の保有者がそれを提供することにより得た収入，すなわち雇用者所得・財産所得・企業所得の合計として計上される．このうち，財産所得とは地代収入のことであり，企業所得とは利子収入のことである．ここでは，生産要素を労働と資本のみを考えるとすると，分配国民所得は以下のように表される．

$$I = \sum_j \left[wL_j + rK_j \right] = wL_H + r\overline{K_H} \tag{4.4}$$

なお，これは，産業連関表では付加価値として表されている．

③ 支出国民所得：E

これは，家計が消費財・投資財のような最終需要に費やした支出の合計として計上される．

$$E = \sum_j p_j x_H^j \tag{4.5}$$

なお，これは，産業連関表では最終需要額として表されている．

以上の結果，生産国民所得も分配国民所得も同じ付加価値額を表しているため，これらは等しいことがわかる．また，今，外国との貿易を考えないとすると，一国で生産された財はその国で消費されなければならない．よって，生産国民所得と支出国民所得も等しくなっていることがわかる．すなわち，

生産国民所得Y ＝分配国民所得I ＝支出国民所得E

が成立している．このように，経済活動は，生産－分配－支出の三面から等しく捉えることができ，このバランス法則は「三面等価の原則」と呼ばれている．諸経済活動を，この三面から捉えることができるということは，ただ単に同じものを三種類の方法で観測できるというだけでなく，経済の相互依存の特性を知る上で非常に重要な視点となってくる．

4－4　応用一般均衡モデルの理論的枠組み

前節では，応用一般均衡モデルの現実的な政策分析への適用に際して重要な役割を担っている産業連関表についてその構造の解説を行った．応用一般均衡モデルにおいては，その産業連関表を有効に活用しようという観点から，第 2 章にて示した一般均衡モデルが若干修正されることになる．このような応用一般均衡モデルについて，その概略を最も簡潔に記した文献として宮本(1992)[33]が，また，計算手法にまで踏み込んで解説されているものには，Dinwiddy and Teal(1988)[34]がある．本節では，それらを参考として，第 2 章の一般均衡モデルをベースに，1

地域・4 経済主体の簡単な CGE モデルの定式化を実際に行い，その構造を明らかにする．

4－4－1　モデルの仮定と基本構造

本モデルの想定も基本的には，２－３－２節にて示した一般均衡理論の想定と同じである．すなわち，経済システムには，「交通企業」「企業」「家計」「政府」の 4 つの経済主体を想定する(図 4-2)．なお，ここで想定する交通企業は，道路交通・鉄道・航空などのあらゆるモード，そして物流・人流の全てを供給する集約的交通企業である．

各経済主体は，具体的には以下のような行動をとるものとする．

1) 交通企業は，企業から財を購入して交通社会資本の建設およびその運営を行う．なお，簡単化のため，料金は利用者が企業と家計のいずれであっても同一料金とする．
2) 企業は，家計から提供される生産要素(労働・資本)および交通企業が生産する交通サービスを投入して生産を行っている．
3) 家計は，企業に生産要素を提供して，所得を受け取る．そして，その所得をもとに企業が生産した財，買い物などのための交通サービス，居住のための土地および余暇の消費を行う．
4) 政府は家計，企業から税金を徴収し，交通企業に対しては補助を行っている．

市場については，各生産財の財市場と，労働・土地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とする．

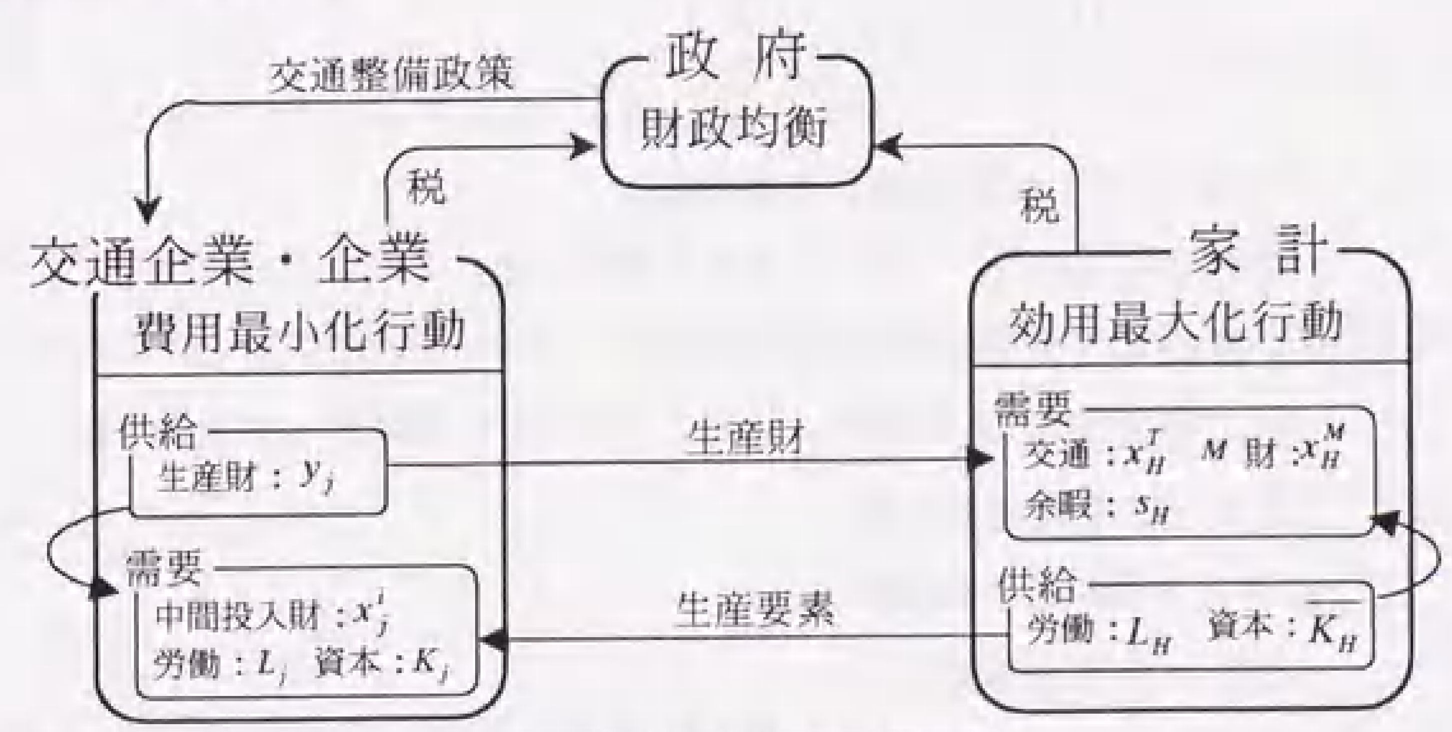

図 4-2　各経済主体の相互関係

4－4－2　企業の行動

企業 M 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

の行動モデルを図 4-3 に示すように，二段階の最適化行動をとるものとして定式化する．すなわち，企業は，第一段階で合成生産要素と中間投入財の投入量を決定し，第二段階で各生産要素の投入量を決定する．

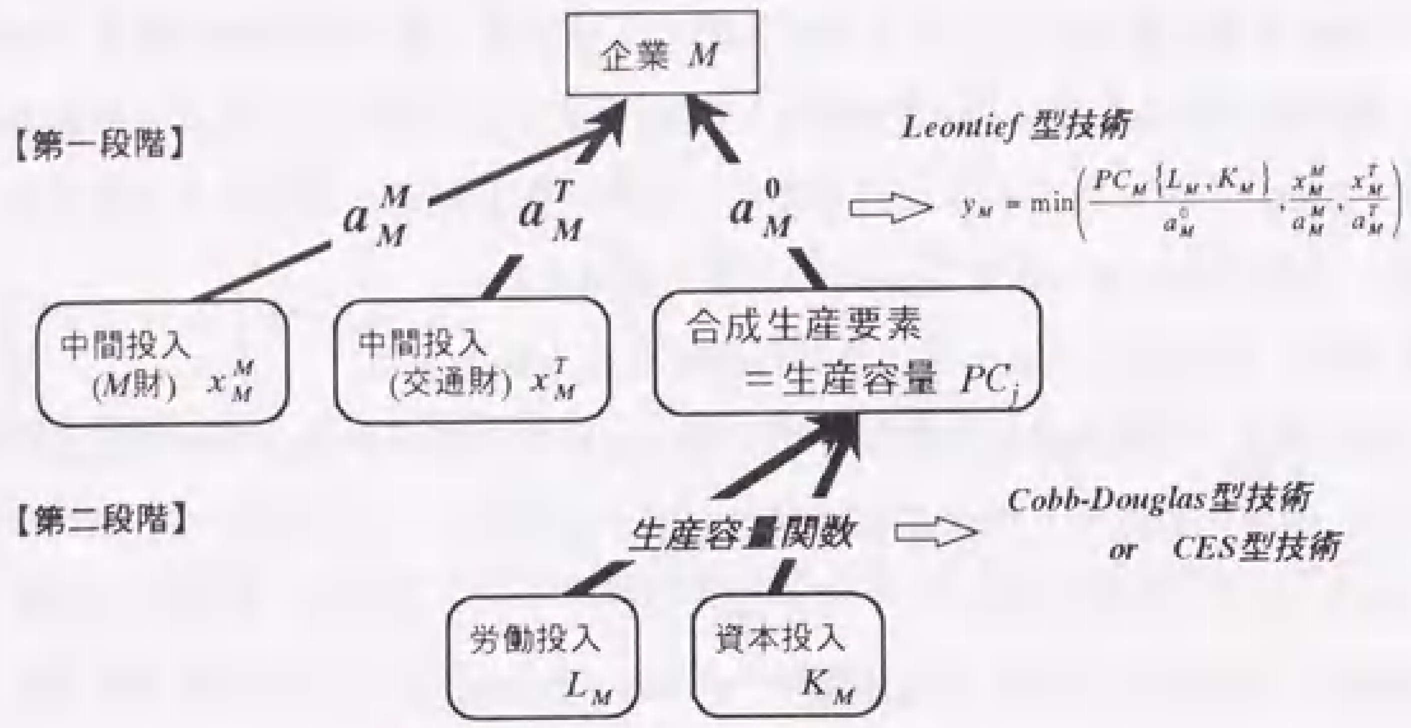

図 4-3　企業 M の行動モデル

【第一段階：財 M の生産行動】

まず，企業 M は，中間投入財の投入量と生産要素をひとまとまりとみなした合成生産要素投入量(生産容量)を決定する．その行動モデルを，以下のように Leontief 型生産技術制約の下での生産に関わる費用最小化行動により定式化する [35]．

$$C_M = \min_{x_M^M, x_M^T, PC_M} \quad c_M(w,r)PC_M + p_M x_M^M + p_T x_M^T \tag{4.6.a}$$

$$\text{s.t.} \quad y_M = \min\left(\frac{PC_M\{L_M, K_M\}}{a_M^0}, \frac{x_M^M}{a_M^M}, \frac{x_M^T}{a_M^T}\right) \tag{4.6.b}$$

ただし，　PC_M ：企業 M の生産容量(合成生産要素)，

x_M^i ：企業 i から企業 M へ投入される中間投入量，

c_M ：企業 M の合成生産要素の単位費用，

p_i ：財 i の生産財価格，

a_M^0 ：企業 M の生産容量比率，

$a_M^i\ (i \neq 0)$ ：中間投入係数(固定)，

C_M ：企業 M の費用関数．

式(4.6)で定式化された，財 M の生産に関わる行動の形が，応用一般均衡モデルの最大の特徴といえる．すなわち，ここでは Leontief 型生産技術を用いて，企業の生産行動が規定されている．式(4.6.b)の Leontief 型生産技術の下では，企業は，y_M の生産に対し，投入物価格に関わらず，常に生産容量を $a_M^0 y_M$，財 M を $a_M^M y_M$，交通財を $a_M^M y_M$ だけ投入しなければならない．これより，式(4.6)の最適解は以下のように決定される．

$$PC_M = a_M^0 y_M \tag{4.7.a}$$

$$x_M^M = a_M^M y_M \tag{4.7.b}$$

$$x_M^T = a_M^T y_M \tag{4.7.c}$$

この最適解は，図解するとその意味を理解しやすい．まず，Leontief 型生産技術とは，図 4-4(a)のような形で表され [36]，よって，任意の生産量 y_M に対する等量曲線および費用関数は図 4-4(b)のように表される．これより，投入財の最適投入量は，図 4-4(b)のように，生産費用関数 $\left[c_M(w,r)PC_M + p_M x_M^M + p_T x_M^T\right]$ 上の生産関数 y_M の頂点によって求められる．すなわち，Leontief 型生産技術の場合には，常に Leontief 型生産関数の頂点上で最適投入量が決定されることがわかる．

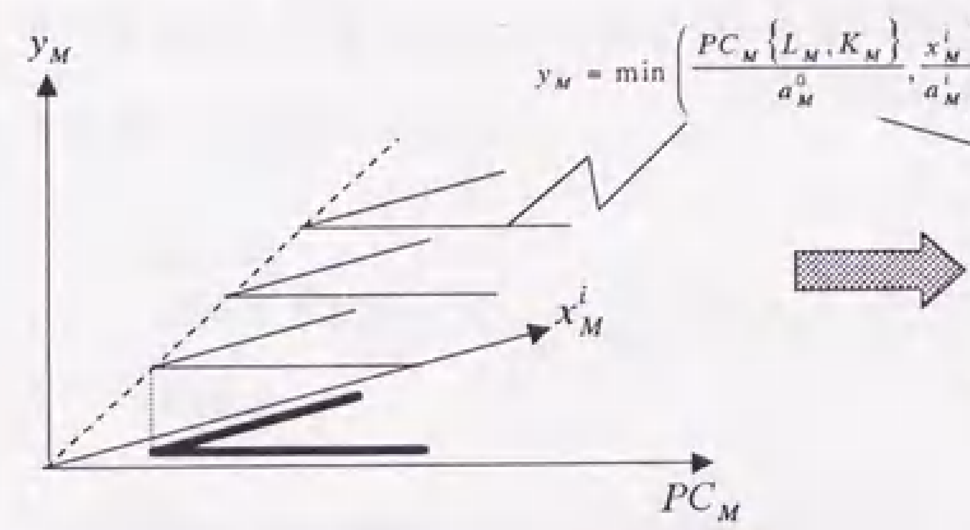

図 4-4(a)　Leontief 型生産関数

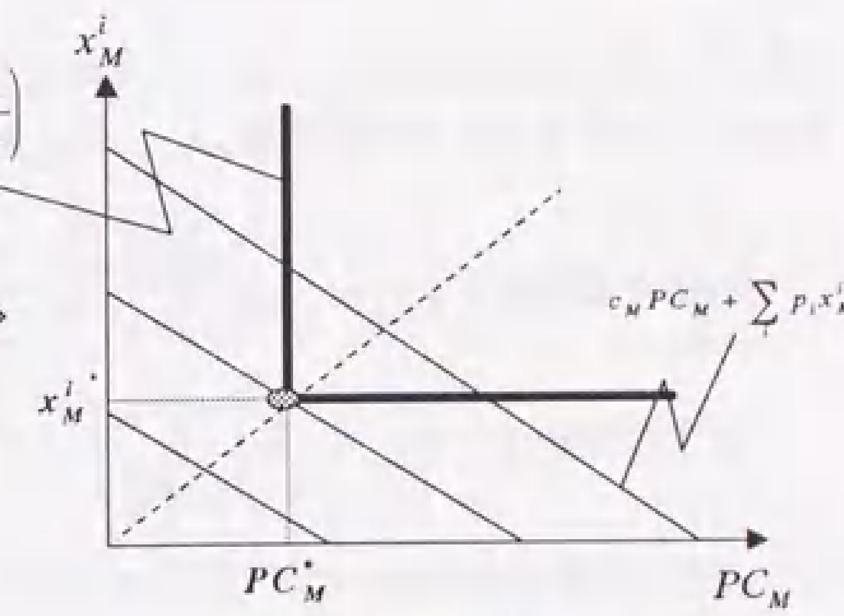

図 4-4(b)　最適投入量の導出

また，式(4.2)の最適解を，式(4.1.a)に代入することにより，企業 M の費用関数 C_M が以下のように得られる．

$$C_M(y_M, p_M, p_T, w, r) = \left[a_M^0 c(w,r) + a_M^M p_M + a_M^T p_T\right] y_M \tag{4.8}$$

【第二段階：生産要素投入行動】

続いて，企業 M は，各生産要素の投入量を決定する．その行動モデルは，生産容量における技術制約の下での生産要素費用最小化行動により定式化する．

$$c_M = \min_{L_M, K_M} \quad wL_M + rK_M \tag{4.9.a}$$

$$\text{s.t.} \quad PC_M(L_M, K_M) = 1 \tag{4.9.b}$$

ただし，　PC_M ：企業 M の生産容量(合成生産要素)，

a_M^0 ：企業 M の生産容量比率，

$a_M^i\ (j \neq 0)$ ：中間投入係数，

c_M ：企業 M の合成生産要素の単位費用，

C_M ：企業 M の費用関数．

これは，通常の一般均衡モデルで定式化される企業の生産行動モデルと同様にみなすことができる．よって，式(4.9.b)の生産容量関数 PC_M は，（ａ）コブ・ダグラス(Cobb-Douglas)型技術や（ｂ）CES(Constant Elasticity of Substitution)型技術を用いて特定化される [37), 36)]．

（ａ）コブ・ダグラス(Cobb-Douglas)型技術の場合

Cobb-Douglas 型技術は，以下のように定式化される．

$$PC_M = \eta_M L_M^{\alpha_M^L} K_M^{\alpha_M^K} \tag{4.10}$$

ただし，　η_M　：比率パラメータ，

α_M^L, α_M^K　：分配パラメータ　$\left[\alpha_M^L + \alpha_M^K = 1\right]$．

これを，式(4.9)に代入し，ラグランジュ未定乗数法を用いて解くと，以下のように生産容量一単位あたりの生産要素需要関数 D_{L_M}，D_{K_M} が求められる．

$$\text{労働需要関数：}\ D_{L_M} = \frac{1}{\eta^M}\left[\frac{\alpha_M^L \cdot r}{\alpha_M^K \cdot w}\right]^{\alpha_M^K} \tag{4.11.a}$$

$$\text{資本需要関数：}\ D_{K_M} = \frac{1}{\eta^M}\left[\frac{\alpha_M^K \cdot w}{\alpha_M^L \cdot r}\right]^{\alpha_M^L} \tag{4.11.b}$$

ここでも，最適解の図解を示す．まず，Cobb-Douglas 型技術は，Leontief 型技術に対して図 4-5(a)のような形で表される．よって，単位生産容量に対する等生産容量曲線および生産要素費用関数は図 4-5(b)のようになり，生産要素の最適需要量は，図 4-5(b)の生産容量関数 PC_M と生産要素費用関数$\left[wL_M + rK_M\right]$との接点によって求められる．

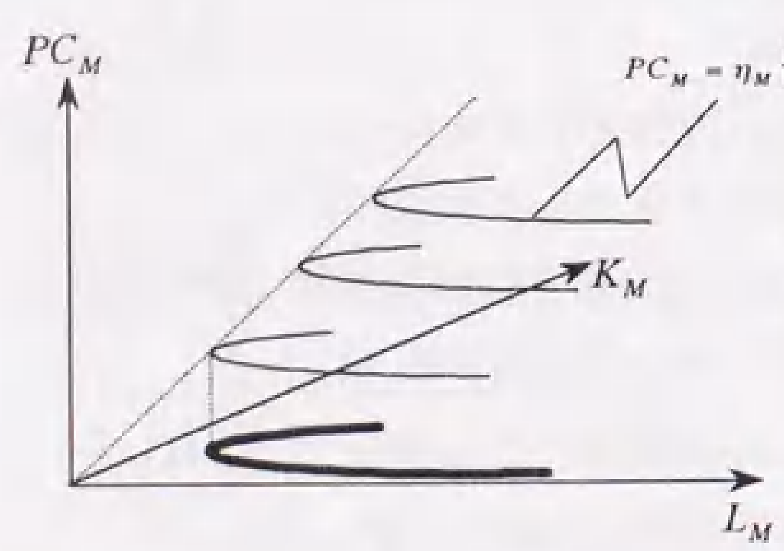

図 4-5(a)　Cobb-Douglas 型生産関数

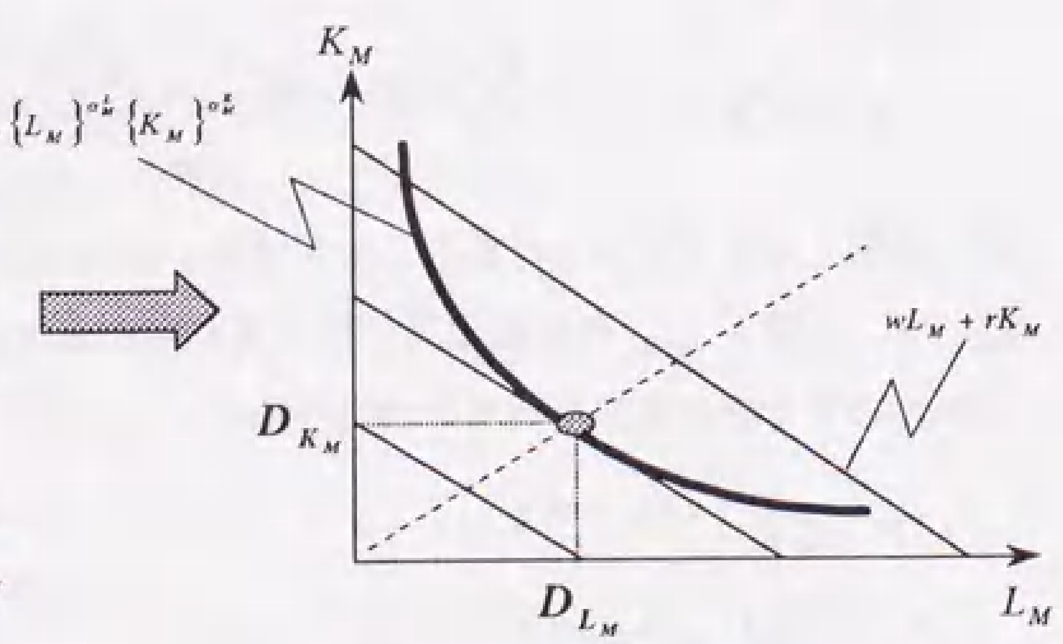

図 4-5(b)　最適生産要素需要量の導出

また，式(4.11)で得られた要素需要関数を，式(4.9.a)の目的関数に代入することにより，合成生産要素の単位費用 c_M が以下のように求められる．

$$c_M(w,r) = wD_{L_M} + rD_{K_M}$$

$$= \frac{1}{\eta_M}\left[\left(\frac{\alpha_M^L}{\alpha_M^K}\right)^{\alpha_M^K} + \left(\frac{\alpha_M^K}{\alpha_M^L}\right)^{\alpha_M^L}\right] w^{\alpha_M^L} r^{\alpha_M^K} \tag{4.12}$$

（ｂ）CES(Constant Elasticity of Substitution)型技術の場合

一方，CES 型技術は，以下のように定式化される．

$$PC_M = \eta_M\left[\alpha_M^L \cdot L_M^{-\rho^M} + \alpha_M^K \cdot K_M^{-\rho^M}\right]^{-\frac{1}{\rho^M}} \tag{4.13}$$

ただし，　ρ_M　$:= \dfrac{1-\sigma_M}{\sigma_M}$，

σ_M　：生産要素間の代替弾力性．

これより，CES 型技術における生産容量一単位あたりの生産要素需要関数 D_{L_M}，D_{K_M} は，以下のように求められる．

$$\text{労働需要関数：}\ D_{L_M} = \frac{1}{\eta_M}\left[\alpha_M^L + \alpha_M^K\left(\frac{\alpha_M^L \cdot r}{\alpha_M^K \cdot w}\right)^{\frac{\rho^M}{1+\rho^M}}\right]^{\frac{1}{\rho^M}} \tag{4.14.a}$$

$$\text{資本需要関数：}\ D_{K_M} = \frac{1}{\eta_M}\left[\alpha_M^L\left(\frac{\alpha_M^K \cdot w}{\alpha_M^L \cdot r}\right)^{\frac{\rho^M}{1+\rho^M}} + \alpha_M^K\right]^{\frac{1}{\rho^M}} \tag{4.14.b}$$

CES 型技術とは，「Constant Elasticity of Substitution」が示すように，代替弾力性が一定の技術という意味である．この代替弾力性をここでは σ_M とおいた．なお，この代替弾力性とは，例えば生産要素価格が上昇したとき，それに応じて生産要素の投入量比の調整がなされるような場合に，その調整の度合いを表す指標であると考えられる．代替弾力性が大きくなるほど，この調整の度合いが大きくなる．

また，特に，σ_M を 1 とした場合が，（ａ）の Cobb-Douglas 型技術を表すことも知られている．それらの関係を図 4-6 に示す [36)]．

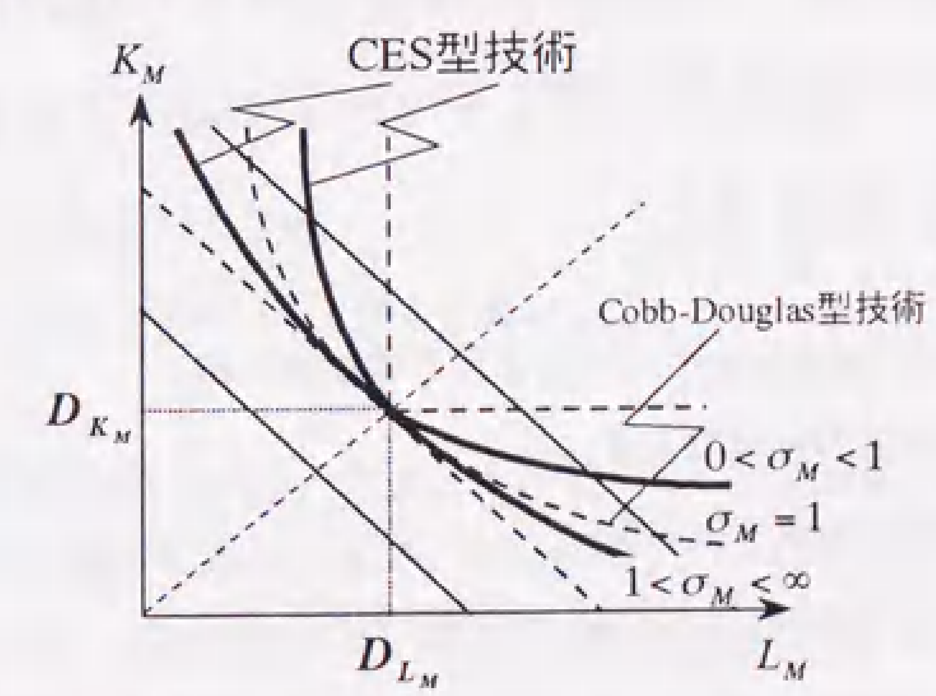

図 4-6　CES 型技術と Cobb-Douglas 型技術

これによれば，代替弾力性が相対的に小さい$0<\sigma_M<1$では，生産要素投入比の調整度合いが小さい，すなわち代替がされにくい様子を表し，代替弾力性が相対的に大きい$1<\sigma_M<\infty$では，生産要素投入比の調整度合いが大きい，すなわち代替がされやすい様子を表していることがわかる．

また，式(4.12)と同様に，式(4.14)で得られた要素需要関数を，式(4.9.a)の目的関数に代入することにより合成生産要素の単位費用c_Mが求められる．

$$c_M(w,r) = wD_{L_M} + rD_{K_M}$$

$$= \frac{1}{\eta_M}\left\langle w\left[\alpha_M^L + \alpha_M^K\left(\frac{\alpha_M^L \cdot r}{\alpha_M^K \cdot w}\right)^{\frac{\rho^M}{1+\rho^M}}\right]^{\frac{1}{\rho^M}} + r\left[\alpha_M^L\left(\frac{\alpha_M^K \cdot w}{\alpha_M^L \cdot r}\right)^{\frac{\rho^M}{1+\rho^M}} + \alpha_M^K\right]^{\frac{1}{\rho^M}}\right\rangle \qquad (4.15)$$

4－4－3　交通企業の行動

交通企業Tは，生産要素および中間投入財を投入して交通社会資本の建設およびその運営を行うとする．なお，交通企業Tも企業Mと同様に Leontief 型技術を用いて生産関数を特定化するが，ここでは，生産要素である労働と資本の間の代替弾力性もゼロとして定式化する(図 4-7)．

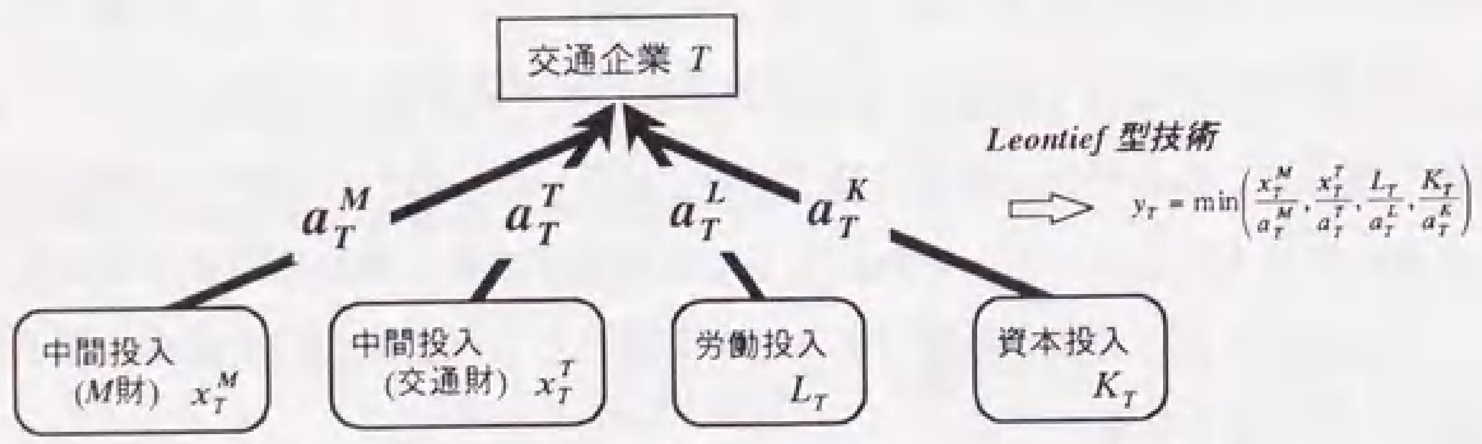

図 4-7　交通企業の行動モデル

その行動モデルを，以下のような費用最小化行動によって定式化する．

$$C_T = \min_{x_T^M, x_T^T, L_T, K_T} \quad p_M x_T^M + p_T x_T^T + wL_T + rK_T \qquad (4.16.a)$$

$$\text{s.t.} \quad y_T = \min\left(\frac{x_T^M}{a_T^M}, \frac{x_T^T}{a_T^T}, \frac{L_T}{a_T^L}, \frac{K_T}{a_T^K}\right) \qquad (4.16.b)$$

ただし，　x_M^i　：企業iから交通企業Tへ投入される中間投入量，

L_T　：交通企業Tの労働投入量，

K_T　：交通企業Tの資本投入量．

この最適解は，式(4.7)の企業Mの最適解と同様に求められる．

$$x_T^M = a_T^M y_T \qquad (4.17.a)$$

$$x_T^T = a_T^T y_T \qquad (4.17.b)$$

$$L_T = a_T^L y_T \qquad (4.17.c)$$

$$K_T = a_T^K y_T \qquad (4.17.d)$$

さらに，これらを式(4.16.a)の目的関数に代入することにより，交通企業Tの費用関数C_Tが求められる．

$$C_T(y_T, p_M, p_T, w, r) = \left[a_T^M p_M + a_T^T p_T + a_T^L w + a_T^K r\right] y_T \qquad (4.18)$$

4－4－4　生産財の価格形成

（a）財Mの生産財価格

財Mの生産財価格は，企業Mの利潤最大化の条件から求められる．

まず，4－4－2節の式(4.8)より，企業Mの費用関数C_Mは，

$$C_M(y_M, p_M, p_T, w, r) = \left[a_M^0 c(w,r) + a_M^M p_M + a_M^T p_T\right] y_M \qquad (4.8)$$

のように得られ，これより，企業Mの利潤最大化行動は以下のように定式化される．

$$\Pi_M = \max_{y_M} \quad p_M y_M - C_M(y_M, p_M, p_T, w, r) \qquad (4.19.a)$$

$$\text{s.t.} \quad C_M(y_M, p_M, p_T, w, r) = \left[a_M^0 c(w,r) + a_M^M p_M + a_M^T p_T\right] y_M \qquad (4.19.b)$$

この最適化問題は，式(4.17.b)を式(4.17.a)に代入することにより，制約条件なしの最適化問題として解くことができる．

$$\Pi_M = \max_{y_M} \quad p_M y_M - \left[a_M^0 c(w,r) + a_M^M p_M + a_M^T p_T\right] y_M \qquad (4.20)$$

よって，この一階条件は，

$$p_M - \left[a_M^0 c(w,r) + a_M^M p_M + a_M^T p_T\right] = 0 \qquad (4.21)$$

のようになるため，財Mの生産財価格が以下のように求められる．

$$p_M = a_M^0 c(w,r) + a_M^M p_M + a_M^T p_T \qquad (4.22)$$

なお，$c(w,r)$は，式(4.12)or 式(4.15)より得られる．

式(4.21)の利潤最大化の条件をもう一度考えてみる．これによれば，企業Mの利潤最大化の条件は，その価格水準に関わる条件のみで，産出水準y_Mとは無関係であることがわかる．これは，規模に関する収穫一定の技術の下で成立する条件であり，本モデルでは，式(4.6)にて生産関数を Leontief 型技術にて定式化したため，費用最小化の下で選択される投入物の組み合わ

せに対しては，規模に関して収穫一定が成り立っているものと考えられるためである．

規模に関する収穫一定の技術の条件下では，費用関数は図 4-8(a)のように，収入曲線と重なることになる [38]．そして，図 4-8(a)あるいは式(4.19)の条件式より，財 M の価格水準は限界費用と平均費用の両者と等しくなっていることもわかる．これより，財 M の供給関数は図 4-8(b)のように表される．また，式(4.19)の条件を，式(4.17)の目的関数に代入すると，企業 M の長期利潤がゼロとなっていることがわかる．

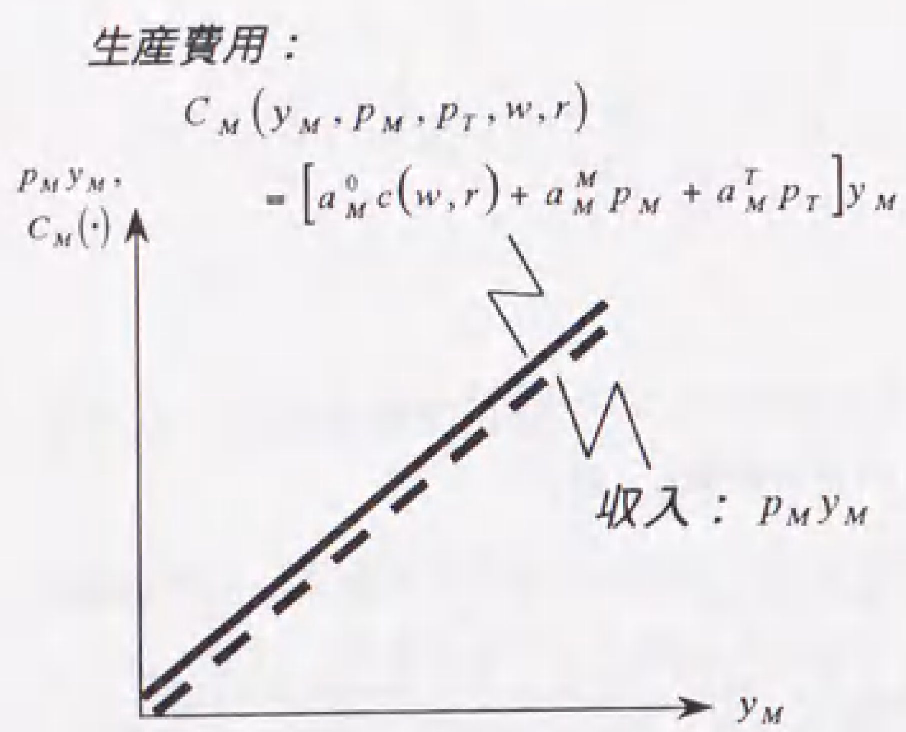

図 4-8(a)　費用曲線

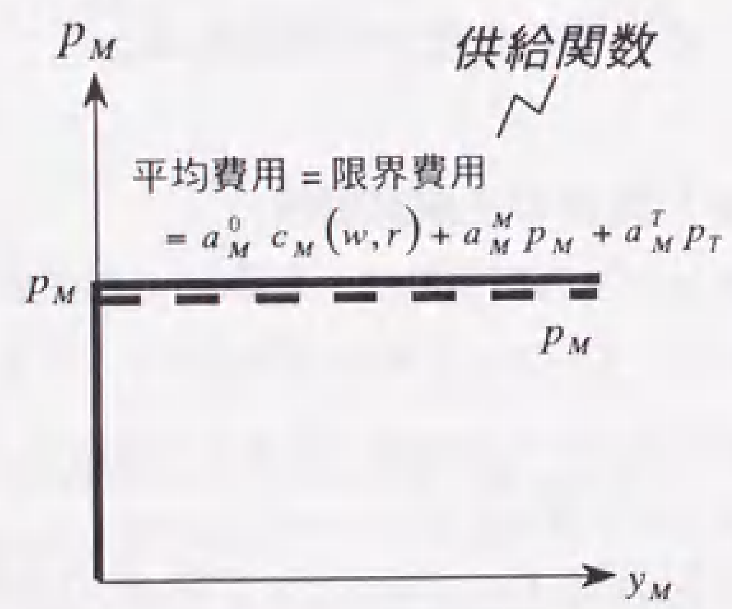

図 4-8(b)　供給関数

(b) 交通サービス T の生産財価格

交通サービス T の生産財価格も，企業 M のそれと同様に求められる．

すなわち，交通サービス T の利潤最大化行動は以下のように定式化される．

$$\Pi_T = \max_{y_T} \quad p_T y_T - C_T(y_T, p_M, p_T, w, r) \tag{4.23.a}$$

$$\text{s.t.} \quad C_T(y_T, p_M, p_T, w, r) = \left[a_T^M p_M + a_T^T p_T + a_T^L w + a_T^K r\right] y_T \tag{4.23.b}$$

この一階条件は，

$$p_T - \left[a_T^M p_M + a_T^T p_T + a_T^L w + a_T^K r\right] = 0 \tag{4.24}$$

となり，よって，交通サービス価格 p_T は以下のように求められる．

$$p_T = a_T^M p_M + a_T^T p_T + a_T^L w + a_T^K r \tag{4.25}$$

なお，交通サービス価格 p_T の価格水準も限界費用と平均費用の両者と等しくなっていることがわかる．

(c) 生産財価格のベクトル表示

式(4.22)と式(4.25)で得られた生産財価格は，ベクトル表示で表すことが可能である [39]．

$$\begin{bmatrix} p_M \\ p_T \end{bmatrix}' = \begin{bmatrix} a_M^0 c(w,r) \\ w a_T^L + r a_T^K \end{bmatrix}' [\mathbf{I} - \mathbf{A}]^{-1} \tag{4.26}$$

ただし，　$\mathbf{I}$　：単位行列，

$\mathbf{A}$　：中間投入係数行列，

'　：ベクトルの転置を表す．

4－4－5　家計の行動

家計は，企業に生産要素(労働と資本)を提供して所得を受け取る．そして，その所得をもとに企業が生産した財および余暇の消費を行うとする．この行動モデルは，所得制約と時間制約の下での，効用最大化行動として定式化できる．

$$V_H = \max_{x_H^M, x_H^T, s_H} \quad U_H(x_H^M, x_H^T, s_H) \tag{4.27.a}$$

$$\text{s.t.} \quad p_M x_H^M + p_T x_H^T = w L_H + r \overline{K_H} - \tau_H \tag{4.27.b}$$

$$L_H + s_H + t x_H^T = \Omega \tag{4.27.c}$$

ただし，　x_H^M　：家計 H の財 M の消費量，

x_H^T　：家計 H の交通サービス T の消費量，

s_H　：家計 H の余暇消費量，

L_H　：家計 H の労働供給量，

$\overline{K_H}$　：家計 H の資本保有量，

τ_H　：一括税，

t　：交通所要時間，

Ω　：総利用可能時間，

U_H　：家計 H の直接効用関数，

V_H　：家計 H の間接効用関数．

なお，式(4.27.b), (4.27.c)の制約条件式は，以下のように一般化価格を用いた式に書き直すことができる．

$$\text{s.t.} \quad x_H^M + (p_T + wt) x_H^T + w s_H = w\Omega + + r\overline{K_H} - \tau_H [\equiv I_H] \tag{4.28}$$

また，式(4.27.a)の家計の直接効用関数は，企業の生産容量関数の特定化において説明した CES 型関数を用いて特定化される場合が多い [40]．

$$U_H = \left[\left(\beta_H^M\right)^{\frac{1}{\sigma_H}} \left(x_H^M\right)^{\frac{\sigma_H - 1}{\sigma_H}} + \left(\beta_H^T\right)^{\frac{1}{\sigma_H}} \left(x_H^T\right)^{\frac{\sigma_H - 1}{\sigma_H}} + \left(\beta_H^S\right)^{\frac{1}{\sigma_H}} \left(s_H\right)^{\frac{\sigma_H - 1}{\sigma_H}} \right] \tag{4.29}$$

ただし， β_H^i ：財 i の分配パラメータ($\sum_i \beta_H^i = 1$),

σ_H ：各消費財の間の代替弾力性.

これを，式(4.27.a)に代入して，ラグランジュ未定乗数法を用いて解くと，以下のように各財の需要関数が得られる.

財 M ： $$x_H^M = \frac{\beta_H^M \left(w\Omega + r\overline{K_H} - \tau_H\right)}{p_M{}^{\sigma_H} \cdot \Delta} \tag{4.30.a}$$

交通サービス： $$x_H^T = \frac{\beta_H^T \left(w\Omega + r\overline{K_H} - \tau_H\right)}{\left(p_T + w \cdot t\right)^{\sigma_H} \Delta} \tag{4.30.b}$$

余暇 ： $$s_H = \frac{\beta_H^S \left(w\Omega + r\overline{K_H} - \tau_H\right)}{w^{\sigma_H} \cdot \Delta} \tag{4.30.c}$$

ただし， $\Delta = \beta_H^M p_M{}^{1-\sigma_H} + \beta_H^T \left(p_T + w \cdot t\right)^{1-\sigma_H} + \beta_H^S w^{1-\sigma_H}$.

これらを，式(4.27.a)の目的関数に代入することにより，間接効用関数が求められる.

$$V_H = I_H [\Delta]^{\frac{1}{\sigma_H - 1}} \tag{4.31}$$

ただし， $I_H = w\Omega + r\overline{K_H} - \tau_H$.

なお，ここでも，式(4.30)の最適解と式(4.31)の間接効用関数を図解しておく.

今，家計の直接効用関数は CES 型関数にて特定化したため，図 4-9(a)のような形で表される．よって，直接効用関数の等高線である無差別曲線は図 4-9(b)のようになり，これと予算制約線との接点により家計の最適な財需要量が決定される．また，このときの予算制約線と接する無差別曲線の示す効用値が，家計の効用水準(間接効用関数)を表している.

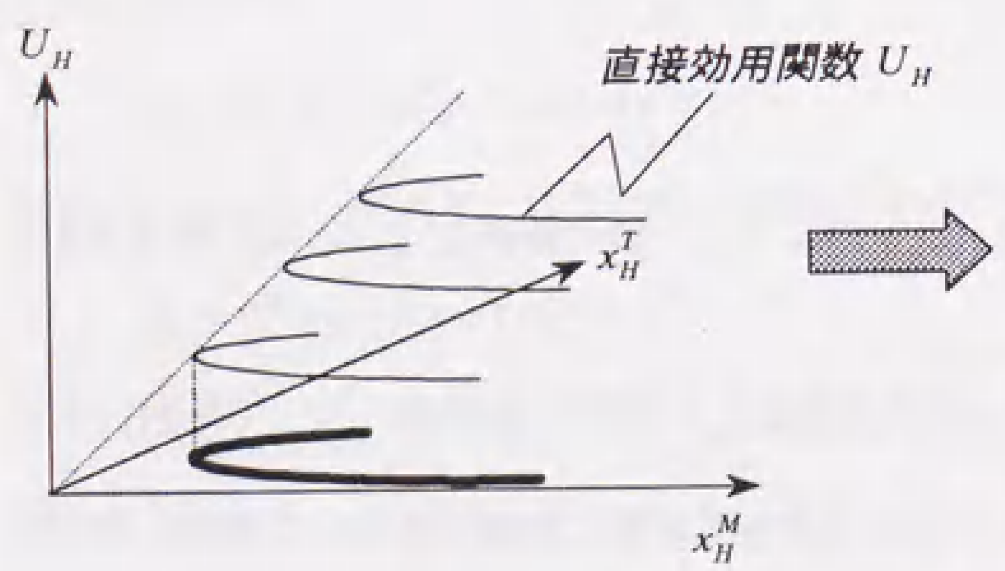

図 4-9(a) CES 型効用関数

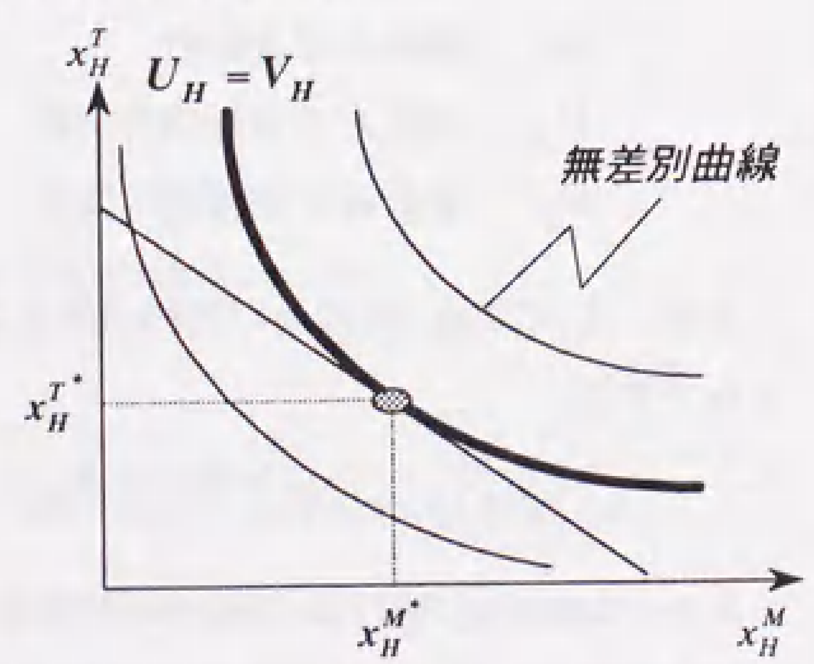

図 4-9(b) 最適財需要量の導出

4－4－6 政府の行動

政府は，家計から税金を徴収し，交通企業に対し補助を行っている.

$$\Psi = \tau_H \tag{4.32}$$

ただし， Ψ ：交通企業への補助金.

4－4－7 市場均衡条件

応用一般均衡モデルにおける市場均衡条件は，以下のように表される.

財 M ： $$y_M = x_M^M(q) + x_T^M(q) + x_H^M(q) \tag{4.33.a}$$

交通サービス： $$y_T = x_M^T(q) + x_T^T(q) + x_H^T(q) \tag{4.33.b}$$

労働 ： $$L_H(q) = L_M(y_M, w, r) + L_T(y_T) \tag{4.33.c}$$

資本 ： $$\overline{K_H} = K_M(y_M, w, r) + K_T(y_T) \tag{4.33.d}$$

財政均衡 ： $$\Psi = \tau_H \tag{4.33.e}$$

財 M と交通サービスの価格形成：

$$\begin{bmatrix} p_M \\ p_T \end{bmatrix}' = \begin{bmatrix} a_M^0 \left\{ wD_{L_M} + rD_{K_M} \right\} \\ wa_T^L + ra_T^K \end{bmatrix}' [\mathbf{I} - \mathbf{A}]^{-1} \tag{4.33.f}$$

ただし， q ：財の価格ベクトル $\left[= \left(p_M, p_T, p_T + wt, w, r\right)\right]$.

式(4.33.a)と式(4.33.b)は，財 M と交通サービスの供給量 y_M ， y_T が，図 4-10 のように，その需要量に応じて決定されることを表している.

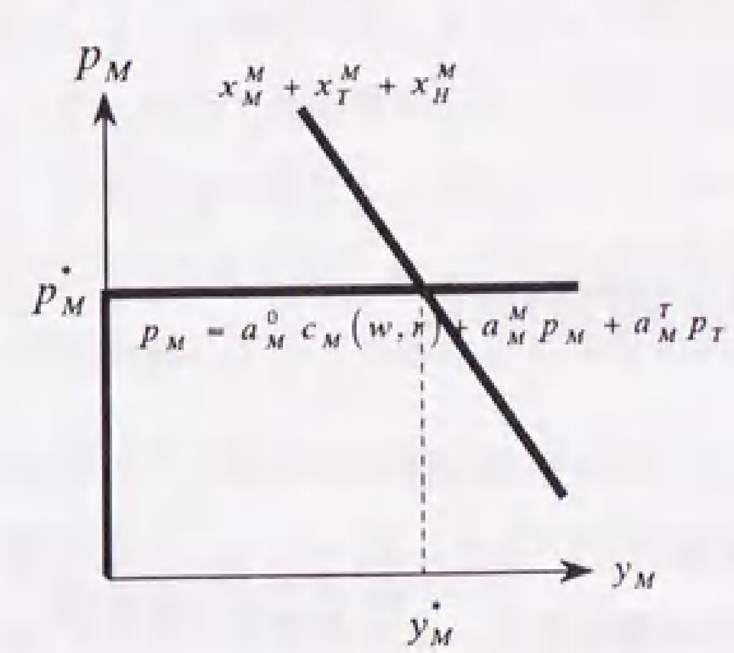

図 4-10(a) 財 M 市場の均衡

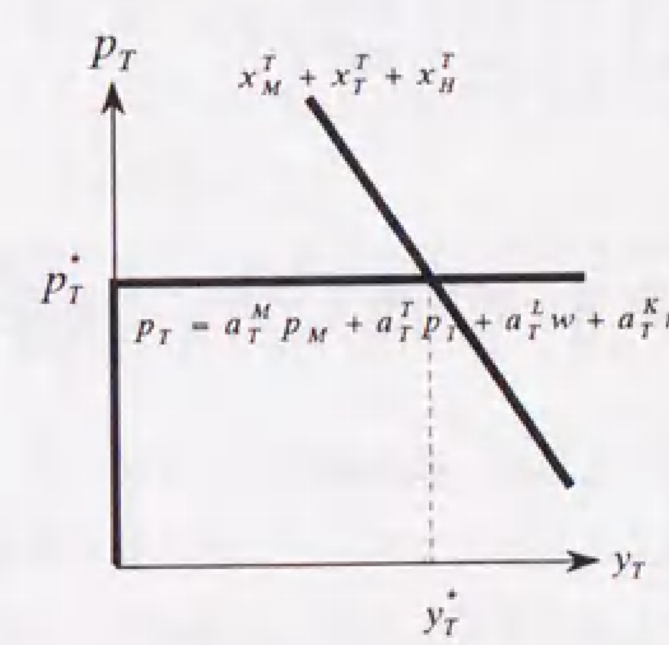

図 4-10(a) 交通サービス T 市場の均衡

なお， y_M ， y_T は，式(4.7.b)と式(4.7.c)の最適解をしき(4.33.a),(4.33.b)に代入して変形することに

より，以下のように家計の最終需要のみを用いた式に変形できる．

$$\begin{bmatrix} y_M \\ y_T \end{bmatrix} = [\mathbf{I}-\mathbf{A}]^{-1} \begin{bmatrix} x_H^M \\ x_H^T \end{bmatrix} \tag{4.34}$$

式(4.34)の中の$[\mathbf{I}-\mathbf{A}]^{-1}$は，レオンチェフ逆行列と呼ばれるものである[41]．

さらに，式(4.33.c)と式(4.33.d)の企業 M の生産要素需要量 L_M，K_M は，既に式(4.11)あるいは式(4.14)において単位生産容量あたりの生産要素需要量 D_{L_M}，D_{K_M} が得られているので，それに生産容量 PC_M を乗じることにより求められる．なお，生産容量 PC_M は式(4.7.a)において得られている．よって，L_M，K_M は以下のように得られることがわかる．

$$L_M(y_M, w, r) = a_M^0 y_M D_{L_M}(w, r) \tag{4.35.a}$$

$$K_M(y_M, w, r) = a_M^0 y_M D_{K_M}(w, r) \tag{4.35.b}$$

また，交通企業の生産要素需要量 L_T，K_T は，式(4.17.c), (4.17.d)にて得られている．

一方，生産要素の供給面について，まず，労働供給 L_H は，式(4.30.c)から余暇消費が，式(4.30.d)から総交通サービス消費時間が得られ，これらを総利用可能時間 Ω から差し引くことにより求められる．また，資本供給は固定的に扱う．

以上の結果，式(4.33.a～f)において，方程式数は 7 個，未知数は p_M，p_T，w，r，y_M，y_T，τ_H の 7 個である．しかし，財市場は，図 4-10 のとおり需要に応じた供給がなされることより均衡計算の対象からは外してもよい．また，式(4.33.a～d)に対し，それぞれ p_M，p_T，w，r を乗じて合計すると，家計の予算制約式(4.27.b)となることから，結局，独立な方程式は，労働市場かあるいは資本市場かのいずれか 1 個となる．すなわち，生産要素市場均衡の一つの条件式は冗長となる．よって，この方程式を解くためには，生産要素市場のいずれかの市場をニュメレール(基準財)と設定する必要がある．なお，その場合の具体的な解法は，後の４－６－３節「均衡計算の方法」において説明する．

４－５　応用一般均衡モデルによる産業連関表の表現

前節で示した応用一般均衡モデルでは，式(4.33)に示す市場均衡条件を解くことにより，一連の体系を解くことができる．そこから得られた結果を用いると，表 4-3 のように産業連関表を表現することができる．ただし，余暇および交通消費時間は，家計が自身に投入するものと解釈できるので，そのように表に組み込むこととした．

表 4-3　CGE モデルにより表された産業連関表

需要部門／供給部門		中間需要		最終需要	総産出額
		企業 M	交通企業 T	家計 H	
中間投入	企業 M	$p_M x_M^M$	$p_M x_T^M$	$p_M x_H^M$	$p_M y_M$
	交通企業 T	$p_T x_M^T$	$p_T x_T^T$	$p_T x_H^T$	$p_T y_T$
付加価値	労働	$w L_M$	$w L_T$	$w s_H + w t x_H^T$	$[w\Omega]$
	資本	$r K_M$	$r K_T$	0	$[w \overline{K_H}]$
総産出額		$p_M y_M$	$p_T y_T$	$[w\Omega + r\overline{K_H}]$	

産業連関表の見方については，４－３－３節にて説明を行ったので繰り返さないが，ここでは前節で構築された応用一般均衡モデルとの関わりについて説明を行う．

まず，表の縦方向すなわち「列」に着目すると，企業に関しては，式(4.6)および式(4.9)にて定式化された生産行動において投入された財・生産要素が表わされている．そして，CGE モデルでは企業の長期利潤がゼロとなるため，投入財・要素の和は総産出額と等しく，よって，産業連関表の基本的性質である産出のバランス式(4.1)を満たしていることがわかる．一方，家計に関しても，表の縦方向には，式(4.27)にて定式化された消費行動において需要された財が表されていることがわかる．

また，表の横方向すなわち「行」に着目すると，中間投入部門に関しては，企業が生産した財がどの部門に投入・消費されていったかが表されている．なお，CGE モデルでは，市場均衡条件式(4.33.a), (4.33.b)より，その投入・消費量の和は，財の供給量と等しくなっていることがわかり，これより，費用のバランス式(4.2)も満たされていることがわかる．一方，付加価値部門に関しては，家計が保有する生産要素がどの部門に投入されていったかが表されている．この生産要素の提供と引き換えに，家計は所得を得る．すなわち，家計の総所得は，総付加価値額となっていることがわかる．さらに，CGE モデルでは，家計は所得を完全に消費に充てるとしているため，所得と最終需要額との均等も成立する．これより，CGE モデルでは，経済活動における「三面等価の原則」も満たされていることがわかる．

このように CGE モデルによって産業連関表を表現できるということは，パラメータを推定する場合や均衡計算によって得られた結果を解釈する場合などで重要となってくる．

４－６　数値計算の方法

続いて，CGE モデルにおいて，実際に数値シミュレーションを行うためのパラメータ推定の方法および均衡計算の方法について解説する．

まず，CGE モデルを用いて数値シミュレーションを行うためには，生産関数，生産容量関数および効用関数のパラメータを決定する必要がある．これについて，従来の計量経済モデルなどでは，時系列データなど十分なサンプル数のデータに対し，統計的手法を用いてパラメータ推定が行われるのが一般的であった．しかし，CGE モデルでは，データソースとして主に産業連関表が用いられるため，統計的な推定を行えるだけのデータが入手できない場合が多い．このため，CGE モデルではキャリブレーションという手法によってパラメータ推定がなされる[42]．このキャリブレーション手法とは，ある基準年で，社会経済が一般均衡状態にあると想定して，その基準年データセットのみを正確に再現するようなパラメータを，連立方程式や収束計算によって求めるという方法である．この方法では，統計的な問題が考慮されることはないが，推計計算が非常に簡単に行われるという利点がある．

そこで，以下では本 CGE モデルに対応した産業連関データを示し，キャリブレーションによるパラメータ推定の方法，さらに均衡計算の方法を示す．

4－6－1　データ整備の方法

1990 年の産業連関表(表 4-1)を，本 CGE モデルの部門に合うように集計した産業連関表を表 4-4 に示す．

表 4-4　集計産業連関表

(単位：兆円)

		中間需要		最終需要	総産出額
		企業 M	交通企業 T	家計 H	
中間投入	企業 M	402	18	413	833
	交通企業 T	20	1	12	33
付加価値	労働	220	11		
	資本	191	3		
総産出額		833	33		

しかし，この産業連関表には余暇消費および交通消費時間に関するデータが記載されておらず，本 CGE モデルのデータセットとしては不十分である．そこで，余暇消費，交通消費時間に関するデータを別途推計し，それを産業連関表に組み込んで本モデルに合致した修正産業連関表を作成することにする．以下では，その推計法を説明する．

（a）余暇消費・交通消費時間の推計

4－4－5 節の家計の行動にて定式化したように，本 CGE モデルでは，家計は総利用可能時間を労働，余暇，交通に分けていると考える．そこで，資料「日本人の生活時間(NHK 放送文

化研究所)[43]」から，わが国の家計の総労働時間，総余暇時間，交通消費時間を求める．それらは，以下のようになる．

総労働時間＝1,280(億時間/年)

余暇時間＝1,459(億時間/年)

交通消費時間＝214(億時間/年)

これらの総計として，総利用可能時間を 2,953(億時間/年)と定義する．

一方，表 4-4 の集計産業連関表からは，企業の労働投入を貨幣タームで得ることができる．すなわち，

総労働投入額＝11+220＝231(兆円/年)

である．これを，上記の家計の総労働時間にて割ることにより賃金率が求められる．

賃金率＝1,800(円/時間)

さらに，この賃金率を上記余暇消費，交通消費時間に乗ずることにより，余暇消費額，交通消費時間の価値額を求めることができる．

余暇消費額＝263(兆円/年)

交通消費時間の価値額＝38.5(兆円/年)

（b）修正産業連関表

前項にて得られた余暇消費額，交通消費時間の価値額を，表 4-4 の産業連関表に加えることにより，表 4-5 のように本 CGE モデルに合致した修正産業連関表を求めることが可能となる．

ところで，表 4-5 では，各主体の財の取引が貨幣タームによって表現されただけである．この表 4-5 の修正産業連関表と，表 4-3 の CGE モデルにより表現された産業連関表とが対応しているのだが，CGE モデルでは価格を明示的に扱う必要があるため，表 4-5 の修正産業連関表も[価格×数量]のように表示する必要がある．ただし，労働投入額については，前項で労働時間と賃金率が求められており，それより[価格×数量]表示することが可能である．一方，他の財および生産要素に関しては，まず，数量を表す単位として「一通貨単位の報酬を稼得することのできる量」を設定する．これによれば，表 4-5 で表されている数値を，そのまま数量表示とみなすことが可能となる．[価格×数量]表示された産業連関表を表 4-6 に示す．

表 4-5　修正産業連関表

（単位：兆円）

		中間需要		最終需要	総産出額
		企業 M	交通企業 T	家計 H	
中間投入	企業 M	402	18	413	833
	交通企業 T	20	1	12	33
付加価値	労働	220	11	302	533
	資本	191	3	-	194
総産出額		833	33	727	1,593

表 4-6　[価格×数量]表示の産業連関表

		中間需要		最終需要	総産出
		企業　M	交通企業　T	家計　H	
中間投入	企業　M	$p_M \cdot x_M^M$ (1・402)	$p_M \cdot x_M^T$ (1・18)	$p^T \cdot x_T^H$ (1・12)	$p_M \cdot y_M$ (1・833)
	交通企業 T	$p_T \cdot x_M^T$ (1・20)	$p_T \cdot x_T^T$ (1・1)	$p^M \cdot x_M^H$ (1・413)	$p_T \cdot y_T$ (1・33)
付加価値	労働	$w \cdot L_M$ (1800・0.122)	$w \cdot L_T$ (1800・0.006)	$w \cdot s^H + t x_T^H$ (1800・0.146 + 0.021)	$w\Omega + r\overline{K_H}$ (727)
	土地（資本）	$r \cdot K_M$ (1・191)	$r \cdot K_T$ (1・3)	—	
総産出		$p_M \cdot y_M$ (1・833)	$p_T \cdot y_T$ (1・33)	$w\Omega + r\overline{K_H}$ (727)	1,593

4－6－2　パラメータ推定の方法

続いてキャリブレーションによるパラメータ推定の方法を説明する．

（a）生産関数のパラメータ推定

まず，企業 M の生産関数(式(4.6.b))のパラメータ推定の方法を説明する．ここで推定されるパラメータは，生産容量比率 a_M^0 および中間投入係数 a_M^i であるが，いずれも，企業 M の費用最小化問題における最適解である式(4.7)より，以下のように求められる．

$$a_M^0 = \frac{PC_M}{y_M} = \frac{wL_M + rK_M}{y_M} \tag{4.36.a}$$

$$a_M^i = \frac{x_M^i}{y_M} \tag{4.36.b}$$

なお，このうち，生産容量比率 a_M^0 は，産出量に対する生産容量すなわち総生産要素投入額の比率を，また，中間投入係数 a_M^i は，産出量に占める中間投入財の投入量の比率を表していることがわかる．

一方，交通企業 T の生産関数(式(4.16.b))のパラメータ推定も，企業 M のそれと全く同様に行える．すなわち，ここで推定されるべきパラメータは，生産要素投入係数 a_T^L，a_T^K と中間投入係数 a_T^i となるが，これも，交通企業 T の費用最小化問題の最適解である式(4.17)より，以下のように求められる．

$$a_T^L = \frac{L_T}{y_T} \tag{4.37.a}$$

$$a_T^K = \frac{K_T}{y_T} \tag{4.37.b}$$

$$a_T^i = \frac{x_T^i}{y_T} \tag{4.37.c}$$

なお，この場合も，生産要素投入係数 a_T^L，a_T^K は，産出量に対する各生産要素の投入額の比率を，中間投入係数 a_T^i は，産出量に占める中間投入財の投入量の比率を表していることがわかる．

（b）生産容量関数のパラメータ推定

続いて，企業 M の生産容量関数のパラメータ推定の方法を説明する．

なお，ここでは，式(4.10)にて定式化された Cobb-Douglas 型技術の場合のみ推定方法を示し，CES 型技術の場合は省略する．CES 型の場合は，次項における家計の効用関数のパラメータ推定にて併せて説明することにする．

そこで，Cobb-Douglas 型技術の場合のパラメータ推定では，その制約の下で解いた式(4.9)の費用最小化問題の最適条件に着目する．その条件は，以下のように表される．

$$\lambda_C \frac{\alpha_M^L}{L_M} \eta_M {L_M}^{\alpha_M^L} {K_M}^{\alpha_M^K} = w \tag{4.38.a}$$

$$\lambda_C \frac{\alpha_M^K}{K_M} \eta_M {L_M}^{\alpha_M^L} {K_M}^{\alpha_M^K} = r \tag{4.38.b}$$

ただし，　λ_C　：ラグランジュ乗数．

式(4.38)の両辺を割ると，

$$\frac{wL_M}{rK_M} = \frac{\alpha_M^L}{\alpha_M^K} \tag{4.39}$$

が導かれる．さらに，$\alpha_M^L + \alpha_M^K = 1$ を考慮して変形すると，

$$\alpha_M^L = \frac{wL_M}{wL_M + rK_M} \tag{4.40}$$

のように，分配パラメータ α_M^L が得られる．また，$\alpha_M^L + \alpha_M^K = 1$ より α_M^K も求められる．

$$\alpha_M^K = \frac{rK_M}{wL_M + rK_M} \tag{4.41}$$

なお，式(4.40),式(4.41)の wL_M, rK_M は，それぞれ表 4-5 の修正産業連関表における企業 M の労働投入額，資本投入額を表している．

また，比率パラメータ η_M は，均衡状態では生産容量額と生産要素投入費用とが等しいという条件より導かれる．

$$\left(PC_M =\right) \eta_M L_M{}^{\alpha_M^L} K_M{}^{\alpha_M^K} = wL_M + rK_M \tag{4.42}$$

これを変形して，

$$\eta_M = \frac{wL_M + rK_M}{L_M{}^{\alpha_M^L} K_M{}^{\alpha_M^K}} \tag{4.43}$$

が得られる．このうち，$\left[wL_M + rK_M\right]$ は企業 M の総生産要素投入額を表しており，分母の L_M，K_M は労働投入量，資本投入量を表す．また，分配パラメータ α_M^L，α_M^K は，式(4.40), (4.41)にて得られている．

（c）効用関数のパラメータ推定

続いて，CES 型にて特定化された効用関数(式(4.29))のパラメータ推定の方法を説明する．

CES 型関数では，Cobb-Douglas 型関数に比べ，代替弾力性が増えた分パラメータが一つ多いため，前項で示した Cobb-Douglas 型関数のようにはパラメータ推定が行えない．これに対し，応用一般均衡理論では，代替弾力性を計量経済学の実証研究などから外生的に与える場合が多い [44]．そして，分配パラメータのみを内生パラメータとして，キャリブレーションによりパラメータが推定される．

具体的には，まず，式(4.30.b)の交通サービス需要関数について，財 M 需要関数(式(4.30.a))と余暇需要関数(式(4.30.c))との比をとる．

$$\frac{x_H^T}{x_H^M} = \frac{\beta_H^T \cdot p_M{}^{\sigma_H}}{\beta_H^M \left(p_T + w \cdot t\right)^{\sigma_H}} \tag{4.44.a}$$

$$\frac{x_H^T}{x_H^S} = \frac{\beta_H^T \cdot w^{\sigma_H}}{\beta_H^S \left(p_T + w \cdot t\right)^{\sigma_H}} \tag{4.44.b}$$

この結果，式(4.44.a)を β_H^M にて，式(4.44.b)を β_H^S にて解いて，それらを $\beta_H^M + \beta_H^T + \beta_H^S = 1$ に代入する．そして，それを β_H^T について解くことにより，分配パラメータ β_H^T が求められる．

$$\beta_H^T = \frac{x_H^T \left(p_T + w \cdot t\right)^{\sigma_H}}{x_H^T \left(p_T + w \cdot t\right)^{\sigma_H} + x_H^M \cdot p_M{}^{\sigma_H} + x_H^S \cdot w^{\sigma_H}} \tag{4.45}$$

式(4.45)の各変数は，表 4-5 の修正産業連関表のデータとして得られるので，代替弾力性が外生的に与えられれば，分配パラメータ β_H^T が決定される．

また，他の分配パラメータ β_H^M，β_H^S についても同様にして求められる．

4－6－3　再現性の確認

前節で示したように，キャリブレーションによるパラメータ推定では，基準年での生産要素価格と生産財価格のもとで，基準年で観測される経済状態を正確に再現するようにパラメータが決定される．これによれば，逆に，これらのパラメータと基準年の生産要素価格，生産財価格を，生産関数や生産容量関数，効用関数に代入すれば，企業や家計の供給量あるいは需要量などの諸経済変数の実績値が正確に再現され，その結果，式(4.33)に示した市場均衡条件も再現できることになる．

4－6－4　均衡計算の方法

続いて，実際の政策を想定して，政策変数を操作した後の，市場均衡条件(式(4.33))の均衡計算の方法を解説する．ただし，4－4－7節で述べたように，式(4.33)の市場均衡条件式を解くためには，生産要素のいずれかの市場をニュメレール(基準財)として設定する必要がある．ここでは，資本市場をニュメレールとして，すなわち利子率 r を 1 に固定して計算を行う．

その均衡計算全体のフローは，図 4-11 のように表される．以下，順を追って説明する．

1) 初期値として賃金率 w を与える．なお，利子率 r は 1 に固定する．
2) 1)の w を，式(4.11)(あるいは式(4.14))に代入して，単位生産容量あたりの生産要素需要量 D_{L_M}，D_{K_M} を求める．
3) 1)の w と，2)の D_{L_M}, D_{K_M} を式(4.33.f)に代入して，生産財価格 p_M，p_T を求める．
4) これより，1)の w と 3)の p_M, p_T を式(4.30)に代入すると，家計の最終需要 x_H が求められる．
5) さらに，4)の x_H を式(4.34)に代入すると，各企業の産出量 y_M，y_T が求められる．

続いて，要素市場の均衡条件が満たされるかのチェックを行う．その際，均衡条件が満たさ

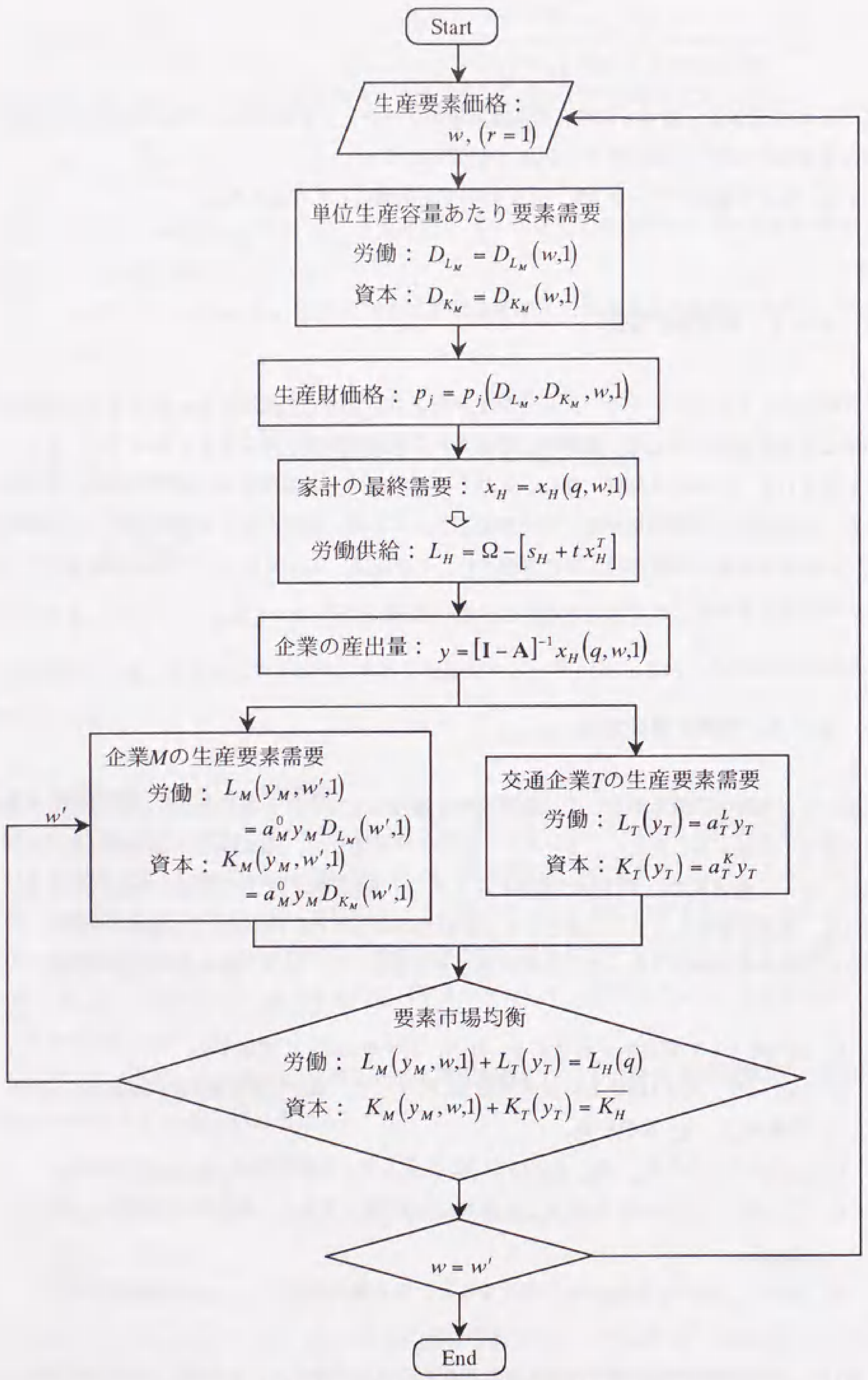

図 4-11　均衡計算フローチャート

れなければ反復計算を行うのだが，その計算の速度をはやめるため，まず一時的に 1)～5)までで得られた諸変数を固定として計算を行う．なお，ここで，反復計算されるのは賃金率 w のみであるから，賃金率 w を改めて

$$w \equiv w'$$

と置き直し，その下で要素市場の均衡条件を満たすよう反復計算行っていく．

6) w' を，式(4.11)(あるいは式(4.14))に再代入して，D_{L_M}，D_{K_M} を求める．
7) 6)の D_{L_M}，D_{K_M} と，固定された各企業の産出量 $\overline{y_M}$，$\overline{y_T}$ を，式(4.33.c)と式(4.33.d)の生産要素市場均衡式に代入する．
8) このとき，生産要素市場均衡式が満たされれば(誤差内に収まれば)，Step9)へ，満たされなければ以下の賃金率の改訂ルール [45]

$$w'_{N+1} = w'_N - \left[G_L(w',1) \Big/ \frac{\partial G_L}{\partial w'} \right] \tag{4.46}$$

ただし，w'_N ：N 回目の収束計算における賃金率，
G_L ：労働の超過需要．

に従って，Step6)に戻る．
9) 8)より得られた w' と初期値 w が一致すれば終了．一致しなければ，w' を再び初期値として Step1)へ戻る．

以上の収束計算を介して，要素市場均衡条件の解として，政策ありの場合の生産要素価格が求められ，それと同時に，生産財価格および財の供給量，需要量，，効用水準などが決定される．

4－7　等価的偏差 EV の導出

前項では，政策を行った場合の効用水準についても導出されることを示した．

これより，2－3－3節の便益の定義に従えば，ここでも等価的偏差 EV を定義することが可能である．

本 CGE モデルでは，家計の効用水準(間接効用関数)が式(4.31)のように得られている．

$$V_H = I_H [\Delta]^{\frac{1}{\sigma_H - 1}} \tag{4.31}$$

この間接効用関数の逆関数が支出関数であるから，支出関数 e_H は以下のように求められる．

$$e_H(= I_H) = V_H [\Delta]^{-\frac{1}{\sigma_H - 1}} \tag{4.47}$$

よって，この支出関数を用いれば，2－3－3節式(2.22)より，以下のように等価的偏差 EV が

定義できる．

$$EV = e_H\left(q^A, V_H{}^B\right) - I_H{}^A \tag{4.48}$$

ただし，　A，B　：政策なし，政策ありを表す．

式(4.48)に式(4.47)を代入する．

$$EV = V_H{}^B\left[\Delta^A\right]^{-\frac{1}{\sigma_H - 1}} - I_H{}^A \tag{4.49}$$

また，式(4.47)より，

$$[\Delta]^{-\frac{1}{\sigma_H - 1}} = \frac{I_H}{V_H} \tag{4.50}$$

となるから，これを式(4.49)に代入すると，以下のように等価的偏差 EV が導出される．

$$EV = V_H{}^B \frac{I_H{}^A}{V_H{}^A} - I_H{}^A \tag{4.51.a}$$

$$= I_H{}^A\left[\frac{V_H{}^B - V_H{}^A}{V_H{}^A}\right] \tag{4.51.b}$$

4－8　応用一般均衡モデルの計量厚生分析における位置づけ

第 2 章にて解説を行った計量厚生分析では，一般均衡理論に理論的な基礎をおいているため，例えば社会資本整備に伴う直接的な影響から間接的な影響まで，二重計測や計測漏れがない形で評価することが可能であることを解説してきた．ところが，数値シミュレーションを伴う実証分析を行うためには，非線形連立方程式体系を解くという困難な作業が残されていた．そのため，経済主体を集計化して限定的な社会を想定したシミュレーションや部分均衡論的に消費者余剰に着目した便益計測を行うなど，簡単化したシステムでの分析がなされてきたのが現状であった．そのため，このように簡単化されたモデルでは，一般均衡理論体系であってもどこまで現実の社会を表現できるのかといった懸念がもたれていた．

これに対し，本節で示した応用一般均衡モデルは，厳密に一般均衡理論の枠組みの中でモデル構築が行われている一方で，最終的な均衡計算では，生産要素市場のみを取り扱えばよいという簡便さを有している．本節では，企業数を企業 M と交通企業 T の二種類を取り挙げてモデル化を行ったが，企業数を増やしたとしても，均衡計算体系は依然として生産要素市場のみを考慮すればよく，よって，計算の操作性を維持したまま，より現実に近い想定の下でのシミュレーションが可能となる．さらに，政策等の実施による影響について，より多くの情報を得ることができる上に，実際に便益評価を行うことが可能となる．

もちろん，応用一般均衡モデルにも問題がないわけではないが，これまで困難とされてきた一般均衡理論体系が比較的容易に解け，さらに，便益評価を含めた，非常に多くの分析結果を提示していくれるという点では，応用一般均衡モデルは強力な分析手段となりうると考えられる．

4－9　結　語

本章では，第 2 章で解説を行った，一般均衡理論に基礎をおく計量厚生分析の実証分析への適用手法として有用と考えられる応用一般均衡理論について，理論的枠組みの定式化から，データ整備，数値シミュレーションの方法までを示した．そこでは，応用一般均衡モデルは，一般均衡理論を実際の社会経済データに適用して政策の影響を予測するモデルであり，よって，理論的な整合性を保証しつつ，政策の影響を定量的に把握できることを明らかにすることができた．また，応用一般均衡理論の特徴および有用性について前節でも解説したとおりである．そこで，ここでは，この応用一般均衡理論の普及といった面で，その方法と課題について解説を行う．

応用一般均衡モデルは，基本的に産業連関表のデータを利用していることを説明した．それに対し，現在，わが国では(1)全国集計された産業連関表，(2)全国 9 ブロック地域間産業連関表，(3)県別産業連関表，(4)政令指定都市別産業連関表のような各地域レベルに合わせた産業連関表が整備されている．従って，応用一般均衡モデルの実際の適用においては，それらを地域単位とした分析までは可能となる．

例えば，(1)全国産業連関表によれば，道路整備五カ年計画のような国民経済的な影響を持つ事業の効果が，また，(2)全国 9 ブロック地域間産業連関表によれば，国土幹線的な道路のような交通整備の効果が，また，(3)県別産業連関表あるいは(4)政令指定都市産業連関表によれば，県内あるいは地域内の交通整備事業の効果が，対象地域全体でどれだけ発生するかを分析することが可能となる．

しかし，応用一般均衡モデルにもいくつかの問題がある．まず，パラメータ推定を行うためのデータセットが，基準年のみを用いており，統計的な問題が考えられない点である．さらに，本稿では外生パラメータを外部の文献から与えているため，パラメータの設定が一つの手法として完結していない点も問題である．

また，応用一般均衡モデルには，空間概念が組み込まれておらず，交通整備による交易パターンの変化を予測することができないとの問題がある．しかし，この点については近年，応用一般均衡モデルを空間的に拡張した，空間的応用一般均衡(Spatial Computable General Equilibrium: SCGE)モデルの開発がなされてきている [17]．それにより，交通整備による交易パターン変化の予測も可能となってくる．この点で，応用一般均衡モデルでは，交通整備に対し，

全体の集計的交易量がどれだけ変化するかのみの予測にとどまっているといえ，空間的応用一般均衡モデルでは，どの地域からの交易がどれだけ増加・減少するかまで予測することが可能となるのである．

第４章補論　応用一般均衡モデルの公共投資評価への適用

４－Ａ－１　緒　言

本補論では，第 4 章にて構築された応用一般均衡モデルを用いて，実際に交通整備政策の評価を行った数値シミュレーションの結果と，その政策的解釈の方法について解説を行う．なお，ここで，想定する交通整備政策は架空のものであり，第 4 章のモデルの挙動を確認することを目的として行ったものである．

４－Ａ－２　数値シミュレーションにおける前提条件

（ａ）政策による効果の捉え方

モデルの計算に入る前に，まず交通社会資本整備事業をどのようにモデルにおいて表現するかについて検討する必要がある．そこで，交通社会資本整備事業の効果をさらに詳細に分析してみると，大きく次の二つに分類されると考えられる[46),47)]．

1) 交通企業の労働生産性向上による効果
2) 家計の交通サービス消費における時間短縮効果

以下では，それぞれの効果の概要と，モデルにおける設定条件について説明する．

１）交通企業の労働生産性向上による効果

交通企業の労働生産性向上効果とは，物流システムの効率化による効果と考えられる．例えば，物流トラック業者を考え，交通社会資本，具体的には道路整備が行われたとする．このとき，整備された道路を利用するトラック業者は，ある一定の物流サービスを生産するために投入する運転手の労働時間を減らすことができる．なぜなら，道路整備によりトラックは以前より早く目的地に着けるためである．そのため，トラック業者としては道路整備により，これまでより，少ない労働力でこれまでの物流サービス供給量を維持でき，その分安価な価格でサービスを提供することができる．この効果をここでは，交通企業の労働生産性向上効果と呼ぶ．

この効果のモデルにおける設定条件を示す．第 4 章前節の式(4.16.b)にて用いられた労働投入係数 a_T^L は，単位生産量あたりの労働投入量を表すが，結果としてこの係数は交通所要時間を表すことになる．なぜなら，交通企業の生産量はトラック等が生産活動のために移動した輸送距離とみなすこともでき，一方，労働投入量は時間タームで与えられるため，単位生産量あたりの労働投入量というのは，単位輸送距離あたりの所要時間を表していると解釈できるためであ

る．ここでは，労働投入係数 a_T^L を 0.95 倍に設定して計算を行った．

2）家計の交通サービス消費おける時間短縮効果

交通社会資本整備による効果として，もう一方で重要と考えられるものが家計が行う交通サービス消費に関わる効果である．例えば，家計が自家用自動車で行うレジャートリップ消費を考える．この時，道路整備が行われることにより，家計は目的地にこれまでより早く到着することができるようになり，その分の時間をその地での滞在時間を延長させるなど他の活動に充てることが可能となる．当然，余暇等に時間を費やすことが可能となれば家計の効用は増加する．これが，家計における交通サービスの時間短縮効果と考えられる．

モデルでは，家計が消費する交通サービスの一般化価格に含まれる交通所要時間 t を削減することにより政策の設定を行った．なお，ここでは交通所要時間 t が 5%削減されたものと設定して数値シミュレーションを行った．

（b）パラメータ推定結果

第 4 章にて構築された CGE モデルのパラメータ推定結果を示す．キャリブレーション手法によるパラメータの推定方法は，４－６－２節で解説したとおりである．

表 4-A-1　交通企業のパラメータ推定結果

生産要素投入係数	
a_ℓ^T	a_L^T
0.000185	0.0909

表 4-A-2　企業のパラメータ推定結果

比率パラメータ	分配パラメータ		生産容量比率
η^M	α_ℓ^M	α_L^M	a_0^M
110.26	0.535	0.465	0.493

表 4-A-3　家計のパラメータ推定結果

交通所要時間	代替弾力性	分配パラメータ			
t	σ^H	β_T^H	β_M^H	β_L^H	β_S^H
0.00178	0.800	0.073	0.796	0.017	0.113

４－Ａ－４　数値シミュレーション結果

前節にて示した諸条件の設定の下，４－６－２節の均衡計算の方法によりシミュレーション計算を行った．その結果を表 4-A-4 に示す．

表 4-A-4　交通社会資本整備の効果分析結果

●生産要素価格

	基準年	政策後	上昇率
労働	1800.000	1794.505	-0.305%
資本	1.000	1.000	0.000%

●収束率

	需要量	供給量	収束率
労働	0.128	0.128	0.000%
資本	194.010	194.000	-0.005%

●家計消費量

	基準年	政策後	変化率
交通サービス	12.000	12.437	3.638%
企業生産財	413.000	413.367	0.089%
土地	9.000	8.990	-0.109%
余暇	0.146	0.146	0.136%

●便益評価

等価的偏差(EV)	2.52
整備費用	1.00
純便益	1.52

（兆円）

●潜在所得

	基準年	政策後	上昇率
潜在所得	735.840	734.213	-0.221%

（兆円）

●生産財(一般化)価格

	基準年	政策後	上昇率
交通一般化価格	4.208	4.019	-4.498%
企業生産財価格	1.000	0.998	-0.247%

●生産量

	基準年	政策後	変化率
交通企業	33.000	33.480	1.455%
企業	833.000	834.216	0.146%

また，参考までに次の二ケースについてもシミュレーション結果を示しておく．

Case1) 交通企業の労働生産性向上による効果のみを考慮した場合

Case2) 家計における交通サービスの時間短縮効果のみを考慮した場合

各ケースの結果は，それぞれ表 4-A-5, 4-A-6 に示した．

表 4-A-5　交通企業の労働生産性向上による効果のみを考慮した場合 (Case1)

●生産要素価格

	基準年	政策後	上昇率
労働	1800.000	1797.744	-0.125%
資本	1.000	1.000	0.000%

●収束率

	需要量	供給量	収束率
労働	0.128	0.128	0.000%
資本	194.005	194.000	-0.003%

●家計消費量

	基準年	政策後	変化率
交通サービス	12.000	12.045	0.371%
企業生産財	413.000	413.256	0.062%
土地	9.000	8.995	-0.058%
余暇	0.146	0.146	0.043%

●便益評価

等価的偏差(EV)	0.55

（兆円）

●潜在所得

	基準年	政策後	上昇率
潜在所得	735.840	735.172	-0.091%

（兆円）

●生産財(一般化)価格

	基準年	政策後	上昇率
交通一般化価格	4.208	4.186	-0.534%
企業生産財価格	1.000	0.999	-0.150%

●生産量

	基準年	政策後	変化率
交通企業	33.000	33.060	0.181%
企業	833.000	833.558	0.067%

表 4-A-6　家計における交通サービスの時間短縮効果のみを考慮した場合 (Case2)

●生産要素価格

	基準年	政策後	上昇率
労働	1800.000	1796.776	-0.179%
資本	1.000	1.000	0.000%

●潜在所得

	基準年	政策後	上昇率
潜在所得	735.840	734.886	-0.130%

(兆円)

●収束率

	需要量	供給量	収束率
労働	0.129	0.129	0.000%
資本	194.005	194.000	-0.002%

●生産財(一般化)価格

	基準年	政策後	上昇率
交通一般化価格	4.208	4.041	-3.969%
企業生産財価格	1.000	0.999	-0.097%

●家計消費量

	基準年	政策後	変化率
交通サービス	12.000	12.389	3.241%
企業生産財	413.000	413.111	0.027%
土地	9.000	8.995	-0.051%
余暇	0.146	0.146	0.093%

●生産量

	基準年	政策後	変化率
交通企業	33.000	33.417	1.264%
企業	833.000	833.654	0.079%

●便益評価

等価的偏差(EV)	1.96

(兆円)

4－A－5　数値シミュレーション結果の政策的解釈

表 4-A-4 におけるシミュレーション結果によれば，交通社会資本整備による便益として，等価的偏差 EV によれば 2.52 (兆円)の便益となり，正の便益が発生することがわかる．また，ここで整備費用を 1 (兆円)とした場合，整備による純便益は，1.52 (兆円)となる．

整備による影響について，まず，直接的な影響として交通一般化価格が約 4.5%低下している点が挙げられる．この影響より，家計の交通サービス消費，さらに交通企業の生産量の増加が認められる．また，企業の生産財価格に低下が見られるのも，中間投入財としての交通財の価格が低下していることが原因と考えられる．一方で，交通企業の労働生産性が向上しているためか，労働価格が低下しており，その影響で家計の潜在所得が減少している．しかし，総合的には整備による直接的な効果が効いて，正の便益が生じる結果となっている．

1）Case1 の政策的解釈

Case1 は，交通交通企業の労働生産性向上による効果のみを考慮した場合である．結果自身は，表 4-A-4 と傾向としては同じである．ただし，EV は 0.55 (兆円)と若干低めの数値となっている．

ここでは，交通企業の労働投入係数が削減されたことによる直接的影響に着目して分析を行う．この労働投入係数の削減は，まず，式(4.18)の[ ]内で表される交通企業の生産要素費用を減少させる．そして，その影響を受けて，各財の生産財価格が低下したものと考えられる．その結果，家計の財消費および各企業の生産量が増加する．

各企業の生産量の増加は，その生産要素需要を増加させるが，ここでは，交通企業の労働投

入係数の削減による労働需要の減少による影響が強いため，生産要素価格が低下したものと考えられる．

2）Case2 の政策的解釈

Case2 は，家計における交通サービスの時間短縮効果のみを考慮した場合であり，その直接的な影響として，交通一般化価格の 4%弱の低下が見られる．これより家計の交通サービス需要が増加し，さらに交通企業の生産量も増加している．またそれとともに，他の企業の家計需要，生産量も増加している．

また，EV の計算結果によれば，1.96(兆円)の便益が生じる結果となっており，Case1 と比べて大きな効果があったことがわかる．すなわち，交通社会資本整備が家計部門の時間短縮に対してより大きな影響を及ぼすものと考えられる．

第二編

応 用 編

第5章　環境政策評価のための応用一般均衡モデルの開発

5－1　緒　言

第二編では，第 4 章にて構築した応用一般均衡モデルを用いて，環境政策，特に自動車交通に起因する環境問題に対する諸政策の評価を行っていく．そこで，まず，本章では環境政策を評価するために拡張された応用一般均衡モデルの開発を行う．

近年，環境への関心が高まるにつれ，交通部門特に自動車交通に起因する環境問題も広く取り挙げられるようになってきた．例えば，窒素酸化物(NOx) や硫黄酸化物(SOx)等による大気汚染の問題，，二酸化炭素(CO_2)等の温室効果ガスの排出よる地球温暖化問題，騒音・振動による問題，また，最近になって生活環境に関わる問題として，交通事故や混雑による問題も指摘されている．

これらの問題に対し，各種環境政策も提案・実施されるようになってきた．例えば，自動車燃料税増徴策のように自動車燃料に税を賦課することにより自動車利用を抑制しようという政策や，自動車重量税増徴策のように自動車取得時あるいは維持に対し税を賦課して，自動車そのものを抑制しようという政策，また，公共交通を今一度見直して，その整備を行うことにより自動車交通からの転換を図り間接的に自動車を抑制しようという政策，そして，自動車に関する技術開発の支援により，低燃費車や低公害車などを普及させる政策などがある．

ところが，これらの政策は，何らかの形で社会活動に対して費用負担の増加をもたらす可能性があり，よって，政策の有効性を検討するには，政策の環境改善への効果を示すとともに，社会経済活動への影響も評価することが重要となってくる．

このような意味では，計量厚生分析，特に応用一般均衡(CGE)モデルを適用した計量厚生分析の適用が有効である．その理由として，第一に，CGE モデルでは，自動車燃料税増徴策や自動車重量税増徴策のような税制問題を扱う枠組みが準備されており，税導入にともなう社会経済の変化を明らかにした上で,その影響を便益という厚生指標によって評価することができる．それにより，政策の有効性の比較検討を容易に行うことが可能となる．第二に，CGE モデルの枠組みでは産業を細かく分割することが可能であり，よって，公共交通部門や低公害車産業などを組み込んだモデル構築が容易に行え，それに対する政策分析を行うことが可能となる．そして，第三に，便益帰着構成表の作成を通して，政策による効果・影響の要因を細かい部分まで明らかにすることが可能となる点が挙げられる．

そこで本章では，環境問題に適用された CGE モデルの既往研究の整理を行った後，自動車交通に起因する外部不経済削減政策を評価するための CGE モデルを構築する．さらに，便益帰着構成表の作成を行い，理論的な観点から各政策の影響について比較静学分析を行う．

5－2　環境政策評価のための既往の応用一般均衡モデル

4－2節では，経済学の分野で発展してきたCGEモデルに関し，その発展経緯の解説を行った．そこで，本節では，特に環境問題に対して適用されているCGEモデルについて，既往モデルの整理を行う．なお，ここでは，比較静学の枠組みで分析されているCGEモデルについて，まず整理を行い，動学的枠組みでの分析モデルについては次章に譲ることにする．

静学的応用一般均衡モデルを用いた分析では，Bergman(1991)[1]が，窒素酸化物(NOx)や硫黄酸化物(SOx)，二酸化炭素(CO_2)のような大気汚染物質の抑制に対する排出権取引の実施が，財の価格や資源の配分にどのような影響を与えるのかを分析するためのCGEモデルを開発し，実際にスウェーデン経済への適用を試みているし，Ballard and Medema(1993)[2]は，CGEモデルの中に財の生産が消費者に及ぼす外部不経済だけでなく生産者間での取引において生じる外部不経済も組み入れ，それにより，Pigou税とPigou的補助金の効果の比較分析を行っている．また，Pirredu(1998)[3]でも，Ballard and Medematoと同様，生産者－消費者および生産者－生産者の間で生じる外部不経済の影響を考慮したCGEモデルの構築を行い，公的主体が行う環境規制と，Pigou的課税政策の効果の違いについて比較分析を行っている．

わが国でも，Miyata(1995)[4]が廃棄物の発生およびその除去を内生化したCGEモデルを構築し，廃棄物発生に対する課徴金や処理技術の変化が北海道経済に与える影響の分析を行っている．また，奥田ら(1997)[5]は，エネルギー投入の概念を精緻に組み込んだCGEモデルにより，高規格幹線道路の整備状況の違いがエネルギー消費量に与える影響の分析を行っている．

これらの他に，特に本章で対象とするような交通部門に起因する環境問題に対してCGEモデルを適用しているものには，Mayeres and Proost(1995)[6]やVerhoef(1996)[7]がある．これらでは，特に道路混雑に関わる外部不経済の問題を取り挙げ，その抑制政策についてCGE分析的アプローチを用いている．特に，Mayeres and Proost (1995)では，道路混雑による外部不経済が存在する状況下での最適課税率が，CGEモデルを用いて導出されている．なお，Borger and Swysen (1998)[8]でも似たようなフレームではあるが，交通部門に関わる項目を詳細にモデル化したCGEモデルにて，外部不経済が存在する下での最適課税率およびさらにここでは最適な料金政策についても検討されている．また，Mayeres(1998)[9]では，先のMayeres and Proostモデルにおける外部不経済の扱いを精緻化したCGEモデルも示されている．

本章でも，Borger and Swysen(1988)[8]やMayeres(1998)[9]のような形で，交通部門に関わる運輸産業および自動車関連産業の行動モデルを精緻に定式化し，さらに家計の運輸サービス消費行動についても詳細化したCGEモデルの開発を行う．特に，本論文で構築されるCGEモデルでは，交通計画・土木計画学の分野で適用が定着しているLogitタイプの交通消費行動モデルを組み込むことを試みる．

このLogitモデルは，交通需要予測において研究が進められてきたものであり，実証分析においても積極的な適用がなされている[Ben-Akiva and Lerman(1985)[10]，土木学会土木計画学研究委員会編(1995)[11]]．また，このLogit Modelを交通環境政策に関わる評価に対し，適用している研究も見られる[林・加藤ら(1995)[12]，伊藤・石田(1996)[13]など]．しかし，そこでは，個人の意思決定に立脚したいわゆるミクロ経済学的な観点からのモデル化はなされておらず，よって余剰分析や便益分析といった手法を用いることができないため，複数政策間での有効性の比較においては一貫した評価を行えないとの弱点があった．そこで，本論文では，Logitモデルをミクロ経済学的行動理論と整合を持たせた形でCGEモデルへ組み込むことを試み，第4章にて解説を行ってきたCGEモデルの計量厚生分析の枠組みへの導入についても可能となるようなモデル体系の構築を行う．

5－3　環境政策評価のための応用一般均衡モデルの構造

本節では，環境政策評価のためのCGEモデルの定式化を行う．なお，本CGEモデルの特徴しては，以下の3点が挙げられる．1) モデルへの環境質の導入，2) 運輸産業および自動車関連産業の行動モデルの精緻化，3) 家計の運輸サービス消費行動モデルの精緻化である．

5－3－1　モデルの仮定と基本構造

本節で構築されるCGEモデルは，以下の仮定に基づく．

1) 社会は，産業，運輸産業，集計された1家計，中央政府からなるものとする．その相互関係は，図5-1に示すとおりである．

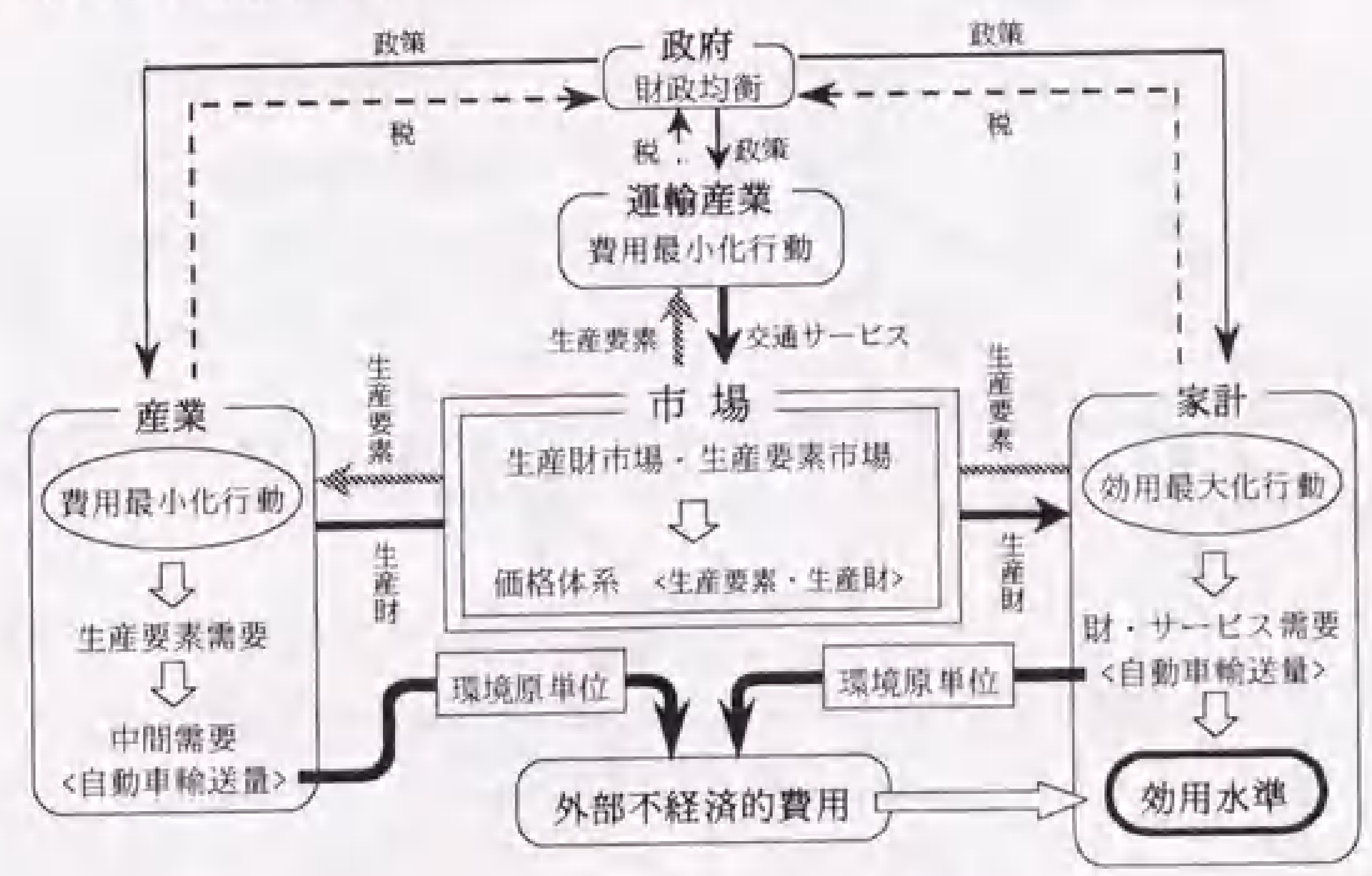

図5-1　各経済主体の行動と相互関係

2) 産業は，労働，非自動車資本からなる生産要素および中間投入財を投入して生産活動を行う．

3) 運輸産業は，産業が投入する生産要素に加え，燃料種類別自動車資本(高公害車自動車資本・低公害車自動車資本)も生産要素として投入する．

4) 家計は，生産要素を提供することにより所得を得て，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．

5) 旅客運輸サービスに関し，産業が生産に投入する旅客運輸サービスは，実際には自家生産しているものであっても，全て旅客運輸産業によって提供されているものとする．また，家計が消費する旅客運輸サービスは，基本的に旅客運輸産業によって提供されるとするが，自家用自動車に関わる旅客運輸サービスは，家計自らがそのサービスを生産して自らが消費するものとする．

6) 政府は，環境政策を実施するが，具体的な行動は第 8 章にて各政策シナリオの解説を行う際に明らかとする．

市場については，各生産財の財市場と，労働，燃料種類別自動車資本および非自動車資本からなる生産要素市場が存在する．なお，それらは，完全競争的であるとする．

5－3－2　産業 (除運輸産業) の行動

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．その行動モデルは，基本的には4－4－2項にて定式化された企業モデルと同じように，二段階の最適化行動をとるものとして定式化する．すなわち，産業は，第一段階で合成生産要素と中間投入財の投入量を決定し，第二段階で各生産要素の投入量を決定する．

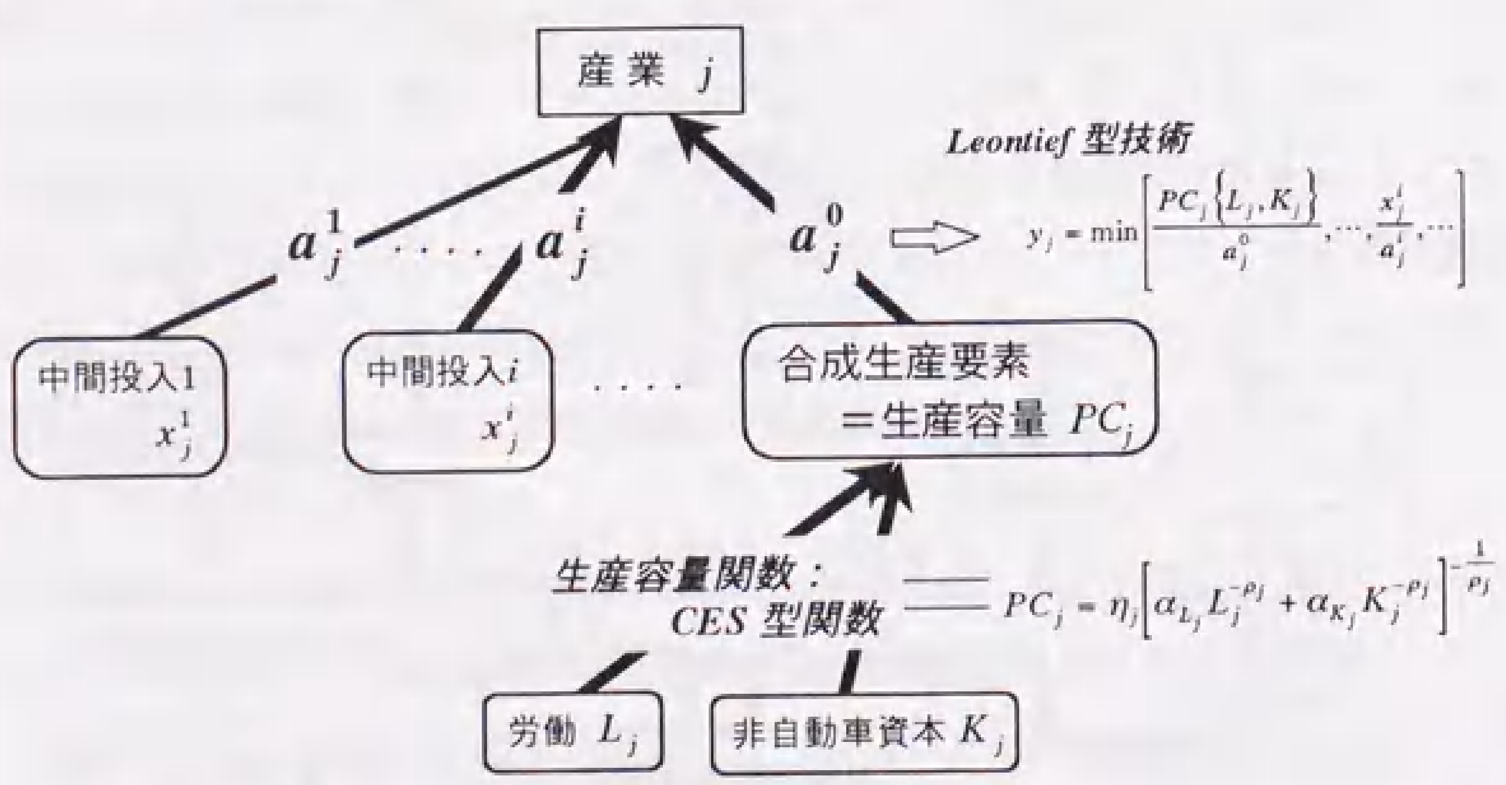

図 5-2　産業の生産行動

【第一段階：財 j の生産行動】

まず，産業 j は，生産要素をひとまとまりとみなした合成生産要素投入量(生産容量：Production Capacity)と，中間投入財投入量を決定する．その行動モデルを，Leontief 型生産技術制約の下での生産費用最小化行動により定式化する．

$$C_j = \min_{x_j^i, PC_j} \ c_j\left(p_{L_j}{}^{+}, p_{K_j}{}^{+}\right)PC_j + \sum_i p_i x_j^i \tag{5.1.a}$$

$$\text{s.t.} \quad y_j = \min\left[\frac{PC_j\{L_j, K_j\}}{a_j^0}, \cdots \frac{x_j^i}{a_j^i}, \cdots\right] \tag{5.1.b}$$

ただし，
j　：産業を表す添字，
PC_j ：産業 j の生産容量(合成生産要素)，
x_j^i　：産業 i から産業 j へ投入される中間投入量，
y_j　：産業 j の産出量，
L_j　：産業 j の労働投入量，
K_j　：産業 j の非自動車資本投入量，
c_j　：産業 j の合成生産要素の単位費用[第二段階にて決定される]，
$p_L{}^{+} = p_L\left(1+\omega_{L_j}\right)$　：税込み労働価格，
p_L　：労働価格(賃金率)，
ω_{L_j}　：労働税率
$p_K{}^{+} = p_K\left(1+\omega_{K_j}\right)$　：税込み非自動車資本価格(利子率)，
p_K　：非自動車資本価格(利子率)，
ω_{K_j}　：非自動車資本税率
p_i　：財 i の生産財価格，
a_j^0　：産業 j の生産容量比率，
$a_j^i\,(i \neq 0)$ ：中間投入係数(固定)，
C_j　：産業 j の費用関数．

式(5.1)の最適化問題を解くと，以下のように，生産容量 PC_j と中間投入量 x_j^i が求められる．

$$PC_j = a_j^0 y_j \tag{5.2.a}$$

$$x_j^i = a_j^i y_j \tag{5.2.b}$$

また，これらを，式(5.1.a)の目的関数に代入すると，産業 j の費用関数 C_j が求められる．

$$C_j\left(y_j, \cdots, p_i, \cdots, p_L{}^{+}, p_K{}^{+}\right) = \left[a_j^0 c\left(p_{L_j}{}^{+}, p_{K_j}{}^{+}\right) + \sum_i a_j^i p_i\right] y_j \tag{5.3}$$

【第二段階：生産要素投入行動】

続いて，産業 j は，各生産要素の投入量を決定する．その行動モデルは，生産容量に関わる技術制約の下での生産要素費用最小化行動により定式化するが，ここでは，産業 j は税込みの価格に直面していると考える．なお，生産容量 PC_j は，CES 型技術を用いて定式化する．

$$c_j = \min_{L_j, K_j} \quad p_{L_j}{}^{+} L_j + p_{K_j}{}^{+} K_j \tag{5.4.a}$$

$$\text{s.t.} \quad PC_j = \eta_j \left[\alpha_{L_j} L_j^{-\rho_j} + \alpha_{K_j} K_j^{-\rho_j} \right]^{-\frac{1}{\rho_j}} = 1 \tag{5.4.b}$$

ただし，　η_j　：比率パラメータ，

　　$\alpha_{L_j}, \alpha_{K_j}$　：分配パラメータ $\left[\alpha_{L_j} + \alpha_{K_j} = 1 \right]$，

　　ρ_j　$: = \dfrac{1-\sigma_j}{\sigma_j}$，

　　σ_j　：生産要素間の代替弾力性．

式(5.4)の最適化問題を解くと，以下のように，生産容量一単位あたりの生産要素需要関数 D_{L_j}，D_{K_j} が求められる．

$$\text{労働需要関数：} D_{L_j} = \frac{1}{\eta_j} \left[\alpha_{L_j} + \alpha_{K_j} \left(\frac{\alpha_{L_j} \cdot p_{K_j}{}^{+}}{\alpha_{K_j} \cdot p_{L_j}{}^{+}} \right)^{\frac{\rho_j}{1+\rho_j}} \right]^{\frac{1}{\rho_j}} \tag{5.5.a}$$

非自動車資本需要関数：

$$D_{K_j} = \frac{1}{\eta_j} \left[\alpha_{L_j} \left(\frac{\alpha_{K_j} \cdot p_{L_j}{}^{+}}{\alpha_{L_j} \cdot p_{K_j}{}^{+}} \right)^{\frac{\rho_j}{1+\rho_j}} + \alpha_{K_j} \right]^{\frac{1}{\rho_j}} \tag{5.5.b}$$

また，これらの要素需要関数を，式(5.4.a)の目的関数に代入すると，式(5.1.a)にて導入した合成生産要素の単位費用 c_j が求められる．

$$c_j\left(p_{L_j}{}^{+}, p_{K_j}{}^{+}\right) = p_{L_j}{}^{+} D_{L_j} + p_{K_j}{}^{+} D_{K_j}$$

$$= \frac{1}{\eta_j} \left\langle p_{L_j}{}^{+} \left[\alpha_{L_j} + \alpha_{K_j} \left(\frac{\alpha_{L_j} \cdot p_{K_j}{}^{+}}{\alpha_{K_j} \cdot p_{L_j}{}^{+}} \right)^{\frac{\rho_j}{1+\rho_j}} \right]^{\frac{1}{\rho_j}} + p_{K_j}{}^{+} \frac{1}{\eta_j} \left[\alpha_{L_j} \left(\frac{\alpha_{K_j} \cdot p_{L_j}{}^{+}}{\alpha_{L_j} \cdot p_{K_j}{}^{+}} \right)^{\frac{\rho_j}{1+\rho_j}} + \alpha_{K_j} \right]^{\frac{1}{\rho_j}} \right\rangle \tag{5.6}$$

5－3－3　運輸産業の行動

運輸産業も，生産要素および中間投入財を投入して運輸サービスの生産を行うが，生産要素として労働，非自動車資本以外に，自動車資本も投入する．そして，その自動車資本については，燃料種類別の選択まで行うとする．よって，運輸産業の行動モデルは，図 5-3 のような三段階の最適化行動をとるものと考える．すなわち，運輸産業は，第一段階で合成生産要素と中間投入財の投入量を決定し，第二段階で各生産要素の投入量を決定し，第三段階で自動車資本の燃料種別投入割合を決定する．

【第一段階：運輸サービス k の生産行動】

第一段階は，産業 j と全く同様に定式化される．すなわち，運輸産業 k は，Leontief 型生産技術制約の下での費用最小化行動により，合成生産要素(生産容量)と中間投入財の投入量を決定する．

$$C_k = \min_{x_k^i, PC_k} \quad c_k\left(p_{L_k}{}^{+}, p_{M_k}{}^{+}, p_{K_k}{}^{+}\right) PC_k + \sum_i p_i x_k^i \tag{5.7.a}$$

$$\text{s.t.} \quad y_k = \min \left[\frac{PC_k\left\{L_k, M_k, K_k\right\}}{a_k^0}, \cdots \frac{x_k^i}{a_k^i}, \cdots \right] \tag{5.7.b}$$

$$M_k = \sum_h M_k^h \tag{5.7.c}$$

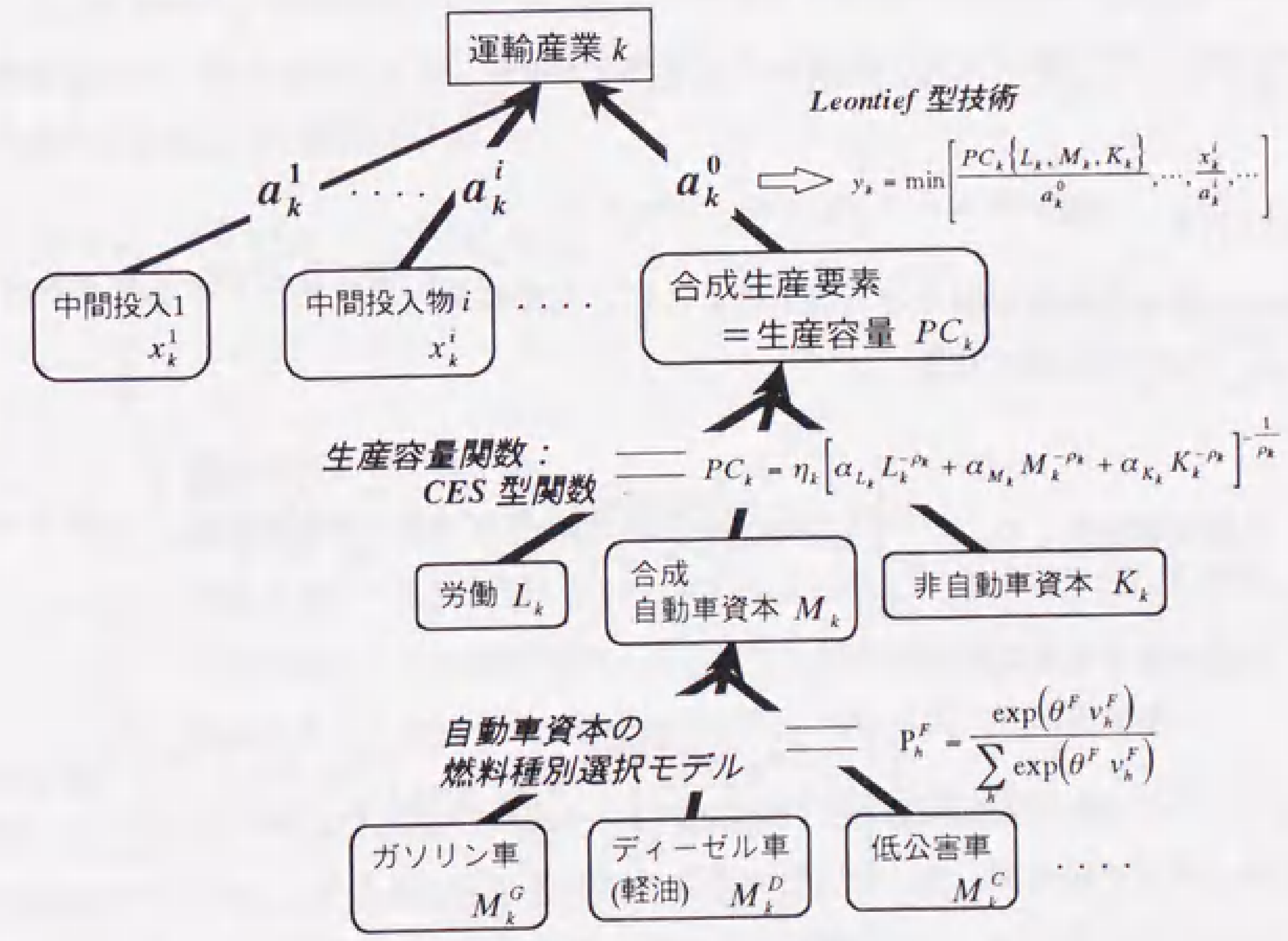

図 5-3　運輸産業の生産行動

ただし，k　：運輸産業を表す添字，

M_k ：運輸産業kの自動車資本投入量，

h　：燃料種別を表す添字，

M_k^h ：燃料種別自動車資本，

$p_M{}^+$ ：税込み自動車資本価格．

ここで，税込み自動車資本価格は，後に式(5.16.b)において導出される．

式(5.7)の最適化問題を解くと，これまでと同様，生産容量PC_kと中間投入量x_k^iが求められる．

$$PC_k = a_k^0 y_k \tag{5.8.a}$$

$$x_k^i = a_k^i y_k \tag{5.8.b}$$

また，運輸産業kの費用関数C_kも以下のように求められる．

$$C_k\left(y_k, \cdots, p_i, \cdots, p_L{}^+, p_{M_k}{}^+, p_K{}^+\right) = \left[a_k^0 c_k\left(p_{L_k}{}^+, p_{M_k}{}^+, p_{K_k}{}^+\right) + \sum_i a_k^i p_i\right] y_k \tag{5.9}$$

【第二段階：生産要素投入行動】

第二段階も，産業jと全く同様に定式化される．すなわち，運輸産業kは，生産容量に関わる技術制約の下での生産要素費用最小化行動により，各生産要素の投入量を決定する．なお，生産容量PC_kは，CES型技術を用いて定式化する．

$$c_k = \min_{L_k, M_k, K_k} \quad p_{L_k}{}^+ L_k + p_{M_k}{}^+ M_k + p_{K_k}{}^+ K_k \tag{5.10.a}$$

$$\text{s.t.} \quad PC_k = \eta_k \left[\alpha_{L_k} L_k^{-\rho_k} + \alpha_{M_k} M_k^{-\rho_k} + \alpha_{K_k} K_k^{-\rho_k}\right]^{-\frac{1}{\rho_k}} = 1 \tag{5.10.b}$$

ただし，　α_{M_k} ：分配パラメータ$\left[\alpha_{L_k} + \alpha_{M_k} + \alpha_{K_k} = 1\right]$．

式(5.8)の最適化問題を解くと，以下のように，生産容量一単位あたりの生産要素需要関数D_{L_k}，D_{M_k}，D_{K_k}が求められる．

労働需要関数：
$$D_{L_k} = \frac{1}{\eta_k}\left[\alpha_{L_k} + \alpha_{M_k}\left(\frac{\alpha_{L_k} \cdot p_{M_k}{}^+}{\alpha_{M_k} \cdot p_{L_k}{}^+}\right)^{\frac{\rho_k}{1+\rho_k}} + \alpha_{K_k}\left(\frac{\alpha_{L_k} \cdot p_{K_k}{}^+}{\alpha_{K_k} \cdot p_{L_k}{}^+}\right)^{\frac{\rho_k}{1+\rho_k}}\right]^{\frac{1}{\rho_k}} \tag{5.11.a}$$

自動車資本需要関数

$$: D_{M_k} = \frac{1}{\eta_k}\left[\alpha_{L_k}\left(\frac{\alpha_{M_k} \cdot p_{L_k}{}^+}{\alpha_{L_k} \cdot p_{M_k}{}^+}\right)^{\frac{\rho_k}{1+\rho_k}} + \alpha_{M_k} + \alpha_{K_k}\left(\frac{\alpha_{M_k} \cdot p_{L_k}{}^+}{\alpha_{K_k} \cdot p_{L_k}{}^+}\right)^{\frac{\rho_k}{1+\rho_k}}\right]^{\frac{1}{\rho_j}} \tag{5.11.b}$$

非自動車資本需要関数

$$: D_{K_k} = \frac{1}{\eta_k}\left[\alpha_{L_k}\left(\frac{\alpha_{K_k} \cdot p_{L_k}{}^+}{\alpha_{L_k} \cdot p_{K_k}{}^+}\right)^{\frac{\rho_k}{1+\rho_k}} + \alpha_{M_k}\left(\frac{\alpha_{K_k} \cdot p_{L_k}{}^+}{\alpha_{M_k} \cdot p_{L_k}{}^+}\right)^{\frac{\rho_k}{1+\rho_k}} + \alpha_{K_k}\right]^{\frac{1}{\rho_j}} \tag{5.11.c}$$

また，これらの要素需要関数を，式(5.10.a)の目的関数に代入すると，合成生産要素の単位費用c_kが求められる．

$$\begin{aligned} c_k\left(p_{L_k}{}^+, p_{M_k}{}^+, p_{K_k}{}^+\right) &= p_{L_k}{}^+ D_{L_k} + p_{M_k}{}^+ D_{M_k} + p_{K_k}{}^+ D_{K_k} \\ &= \frac{1}{\eta_k}\left\langle p_{L_k}{}^+\left[\alpha_{L_k} + \alpha_{M_k}\left(\frac{\alpha_{L_k} \cdot p_{M_k}{}^+}{\alpha_{M_k} \cdot p_{L_k}{}^+}\right)^{\frac{\rho_k}{1+\rho_k}} + \alpha_{K_k}\left(\frac{\alpha_{L_k} \cdot p_{K_k}{}^+}{\alpha_{K_k} \cdot p_{L_k}{}^+}\right)^{\frac{\rho_k}{1+\rho_k}}\right]^{\frac{1}{\rho_k}}\right. \\ &\quad + p_{M_k}{}^+\left[\alpha_{L_k}\left(\frac{\alpha_{M_k} \cdot p_{L_k}{}^+}{\alpha_{L_k} \cdot p_{M_k}{}^+}\right)^{\frac{\rho_k}{1+\rho_k}} + \alpha_{M_k} + \alpha_{K_k}\left(\frac{\alpha_{M_k} \cdot p_{L_k}{}^+}{\alpha_{K_k} \cdot p_{L_k}{}^+}\right)^{\frac{\rho_k}{1+\rho_k}}\right]^{\frac{1}{\rho_j}} \\ &\quad \left. + p_{K_k}{}^+\left[\alpha_{L_k}\left(\frac{\alpha_{K_k} \cdot p_{L_k}{}^+}{\alpha_{L_k} \cdot p_{K_k}{}^+}\right)^{\frac{\rho_k}{1+\rho_k}} + \alpha_{M_k}\left(\frac{\alpha_{K_k} \cdot p_{L_k}{}^+}{\alpha_{M_k} \cdot p_{L_k}{}^+}\right)^{\frac{\rho_k}{1+\rho_k}} + \alpha_{K_k}\right]^{\frac{1}{\rho_j}}\right\rangle \end{aligned} \tag{5.12}$$

【第三段階：自動車資本の燃料種類別選択行動】

続く第三段階では，運輸産業kは，式(5.11.b)にて得られた自動車資本投入D_{M_k}に対して，その燃料種類別投入割合を決定する．その行動モデルを，宮城(1995)[14)]に基づき，「選択の基本公式」の最大化問題として定式化する．

$$S_k^F = \max_{P_{h_k}^F} \quad \sum_h P_{h_k}^F v_{h_k}^F - \frac{1}{\theta_k^F}\sum_h P_{h_k}^F \ln P_{h_k}^F \tag{5.13.a}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_h P_{h_k}^F = 1 \tag{5.13.b}$$

ただし，h　：燃料種別を表す添字，

$P_{h_k}^F$ ：運輸産業kの燃料種別hの自動車資本投入割合，

$v_{h_k}^F$ ：運輸産業kの燃料種別hの自動車資本を投入した場合に得られる効用，

θ_k^F ：自動車資本の燃料種類別投入割合決定に関わるロジットパラメータ，

S_k^F ：自動車資本の燃料種類別投入割合決定に関わる最大期待効用値．

宮城・小川(1985) [15)]では，共役性理論を用いて式(5.13.a)の目的関数の導出を行っており，さらに宮城(1995) [14)]では，その目的関数を選択の基本公式と呼んで，最大期待効用と期待効用との乖離分を，選択の多様性によってもたらされる効用増加分(エントロピー)により与えたもの

と意味解釈がなされている．これによって，ミクロ経済学的行動理論と Logit モデルとが整合的に説明されることが明らかにされたといえる．また，上田(1995) [16]によれば，ここで選択の多様性によってもたらされる効用増加分と呼ばれている部分について，一種の Risk Premium としての解釈が成り立つことも示されている．

式(5.13)のような形で主体の行動モデルの定式化を行っているものには，他にも高木(1996) [17]がある．また，このような形以外で Logit モデルと効用最大化理論とを関連づけようと試みられている論文には，Morisugi et al(1995) [18]，佐野(1990) [19]がある．

式(5.13)に戻って，その中の燃料種別 h の自動車資本を投入した場合に得られる効用 $v_{h_k}^F$ は，燃料種別 h の自動車資本価格 p_M^h の関数として，以下のように定式化する．

$$v_{h_k}^F = -\kappa_{h_k} {p_{M_k}^h}^{+} \tag{5.14}$$

ただし，　κ_{h_k}　：パラメータ

$\quad {p_{M_k}^h}^{+} = p_M^h\left(1+\omega_{M_k}^h\right)$ ：税込み燃料種別 h 自動車資本価格，

$\quad p_M^h$ ：燃料種別 h 自動車資本価格，

$\quad \omega_{M_k}^h$ ：燃料種別 h 自動車資本税率．

式(5.13)の最適化問題を解くと，以下のように，Logit モデルによって燃料種別 h の自動車資本投入割合が求められる．

$$\mathrm{P}_{h_k}^F = \frac{\exp\left(\theta_k^F\, v_{h_k}^F\right)}{\sum_h \exp\left(\theta_k^F\, v_{h_k}^F\right)} \tag{5.15}$$

式(5.15)を，式(5.13.a)の目的関数に代入することにより最大期待効用値 S_k^F が求められる．

$$S_k^F = \frac{1}{\theta_k^F} \ln \sum_h \exp\left(\theta_k^F v_{h_k}^F\right) \tag{5.16.a}$$

また，この最適化問題に付随して，税込み自動車資本価格 ${p_{M_k}}^{+}$ も導出される．

$${p_{M_k}}^{+} = \sum_h {p_{M_k}^h}^{+} \cdot \exp\left\{\theta_k^F\left(v_{h_k}^F - S_k^F\right)\right\} \tag{5.16.b}$$

なお，これらの具体的な導出方法は，付録にまとめて示した．

式(5.15)より，生産容量一単位あたりの燃料種別 h の自動車資本需要量は以下のように求められる．

$$D_{M_k}^h = \mathrm{P}_{h_k}^F D_{M_k} \tag{5.17.a}$$

$$= \frac{\exp\left(\theta_k^F\, v_{h_k}^F\right)}{\sum_h \exp\left(\theta_k^F\, v_{h_k}^F\right)} \cdot \frac{1}{\eta_k}\left[\alpha_{L_k}\left(\frac{\alpha_{M_k}\cdot {p_{L_k}}^{+}}{\alpha_{L_k}\cdot {p_{M_k}}^{+}}\right)^{\frac{\rho_k}{1+\rho_k}} + \alpha_{M_k} + \alpha_{K_k}\left(\frac{\alpha_{M_k}\cdot {p_{L_k}}^{+}}{\alpha_{K_k}\cdot {p_{L_k}}^{+}}\right)^{\frac{\rho_k}{1+\rho_k}}\right]^{\frac{1}{\rho_j}} \tag{5.17.b}$$

5－3－4　生産財の価格形成

（ａ）財 j の生産財価格

財 j の生産財価格は，産業 j の利潤最大化の条件から求められる．

まず，式(5.3)より，産業 j の費用関数 C_j が以下のように得られている．

$$C_j = \left[a_j^0\, c\left({p_{L_j}}^{+}, {p_{K_j}}^{+}\right) + \sum_i a_j^i p_i\right] y_j \tag{5.18}$$

なお，合成生産要素の単位費用 c_j は式(5.6)より，

$$c_j\left({p_{L_j}}^{+}, {p_{K_j}}^{+}\right) = {p_{L_j}}^{+} D_{L_j} + {p_{K_j}}^{+} D_{K_j} \tag{5.19}$$

のようになる．

ここで，生産物税を導入する．なお，そのタックスベースを要素費用とすると，費用関数 C_j は以下のように表される．

$$C_j = \left[a_j^0\left\{{p_{L_j}}^{+} D_{L_j} + {p_{K_j}}^{+} D_{K_j}\right\}\left(1+\omega_{O_j}\right) + \sum_i a_j^i p_i\right] y_j \tag{5.20}$$

ただし，　ω_{O_j} ：財 j の生産物税率．

これより，産業 j の利潤最大化行動は以下のように定式化される．

$$\Pi_j = \max_{y_j}\ \ p_j y_j - C_j \tag{5.21.a}$$

$$\text{s.t.}\ \ C_j = \left[a_j^0\left\{{p_{L_j}}^{+} D_{L_j} + {p_{K_j}}^{+} D_{K_j}\right\}\left(1+\omega_{O_j}\right) + \sum_i a_j^i p_i\right] y_j \tag{5.21.b}$$

この最適化問題の一階条件は，

$$p_j - a_j^0\left\{{p_{L_j}}^{+} D_{L_j} + {p_{K_j}}^{+} D_{K_j}\right\}\left(1+\omega_{O_j}\right) + \sum_i a_j^i p_i = 0 \tag{5.22}$$

のようになる．よって，財 j の生産財価格は，以下のように求められる．

$$p_j = a_j^0\left\{{p_{L_j}}^{+} D_{L_j} + {p_{K_j}}^{+} D_{K_j}\right\}\left(1+\omega_{O_j}\right) + \sum_i a_j^i p_i \tag{5.23}$$

なお，この条件式を，式(5.21)の目的関数に代入すると，産業 j の長期利潤がゼロとなっていることがわかる．また，利潤関数の全微分形は，付録(５－Ａ（ａ）)における式展開より，以下のように求められる．

$$d\Pi_j = y_j dp_j - L_j d{p_{L_j}}^{+} - K_j d{p_{K_j}}^{+} - \sum_i x_j^i dp_i \tag{5.24}$$

（ｂ）運輸サービスkの価格

運輸サービスkの価格も，財jの価格と同様に求められる．

すなわち，まず，運輸産業kの費用関数C_kは，以下のように得られる．

$$C_k = \left[a_k^0 c_k \left(p_{L_k}{}^+, p_{M_k}{}^+, p_{K_k}{}^+ \right) + \sum_i a_k^i p_i \right] y_k \tag{5.25}$$

なお，式(5.12)の合成生産要素単位費用c_kを代入して，

$$C_k = \left[a_k^0 \left(p_{L_k}{}^+ D_{L_k} + p_{M_k}{}^+ D_{M_k} + p_{K_k}{}^+ D_{K_k} \right) + \sum_i a_k^i p_i \right] y_k \tag{5.26}$$

となる．

ここでも，生産物税を導入する．そのタックスペースを要素費用とすると，運輸産業kの費用関数C_kは以下のようになる．

$$C_k = \left[a_k^0 \left\{ p_{L_k}{}^+ D_{L_k} + p_{M_k}{}^+ D_{M_k} + p_{K_k}{}^+ D_{K_k} \right\} \left(1 + \omega_{O_k} \right) + \sum_i a_k^i p_i \right] y_k \tag{5.27}$$

ただし，　ω_{O_k}　：運輸サービスkの生産物税率．

これより，運輸産業kの利潤最大化行動は，以下のように定式化される．

$$\Pi_k = \max_{y_k} \quad p_k y_k - C_k \tag{5.28.a}$$

$$\text{s.t.} \quad C_k = \left[a_k^0 \left\{ p_{L_k}{}^+ D_{L_k} + p_{M_k}{}^+ D_{M_k} + p_{K_k}{}^+ D_{K_k} \right\} \left(1 + \omega_{O_k} \right) + \sum_i a_k^i p_i \right] y_k \tag{5.28.b}$$

この一階条件は，

$$p_k - a_k^0 \left\{ p_{L_k}{}^+ D_{L_k} + p_{M_k}{}^+ D_{M_k} + p_{K_k}{}^+ D_{K_k} \right\} \left(1 + \omega_{O_k} \right) + \sum_i a_k^i p_i = 0 \tag{5.29}$$

となり，よって，運輸サービスkの価格は以下のように求められる．

$$p_k = a_k^0 \left\{ p_{L_k}{}^+ D_{L_k} + p_{M_k}{}^+ D_{M_k} + p_{K_k}{}^+ D_{K_k} \right\} \left(1 + \omega_{O_k} \right) + \sum_i a_k^i p_i \tag{5.30}$$

また，この条件式を，式(5.28.a)の目的関数に代入すると，運輸産業kの長期利潤もゼロとなっていることがわかる．なお，運輸産業kの利潤関数の全微分形も，付録(５－Ａ（ｂ）)における式展開より以下のように求められる．

$$d\Pi_k = y_k dp_k - L_k dp_{L_k}{}^+ - \sum_h M_k^h dp_{M_k}^{h\,+} - K_k dp_{K_k}{}^+ - \sum_i x_k^i dp_i \tag{5.31}$$

（ｃ）生産財価格のベクトル表示

式(5.23)と式(5.30)より得られた生産財価格は，ベクトル表示で表すことも可能である．

$$\begin{bmatrix} \vdots \\ p_j \\ \vdots \\ p_k \\ \vdots \end{bmatrix}' = \begin{bmatrix} \vdots \\ a_j^0 \left(p_{L_j}{}^+ D_{L_j} + p_{K_j}{}^+ D_{K_j} \right) \left(1 + \omega_{O_j} \right) \\ \vdots \\ a_k^0 \left(p_{L_k}{}^+ D_{L_k} + p_{M_k}{}^+ D_{M_k} + p_{K_k}{}^+ D_{K_k} \right) \left(1 + \omega_{O_k} \right) \\ \vdots \end{bmatrix}' [\mathbf{I} - \mathbf{A}]^{-1} \tag{5.32}$$

ただし，　$\mathbf{I}$　：単位行列，

　　　　　$\mathbf{A}$　：中間投入係数行列，

　　　　　$'$　：ベクトルの転置を表す．

５－３－５　家計の行動

（ａ）家計の行動モデルの概要

家計は，基本的には，４－４－５節で示したような効用最大化行動をとるものとする．しかし，幅広い財の選択をモデル化するため，図 5-4 のように階層的にモデル化する[Shoven and Whalley(1992)[20]，市岡(1991)[21]]．

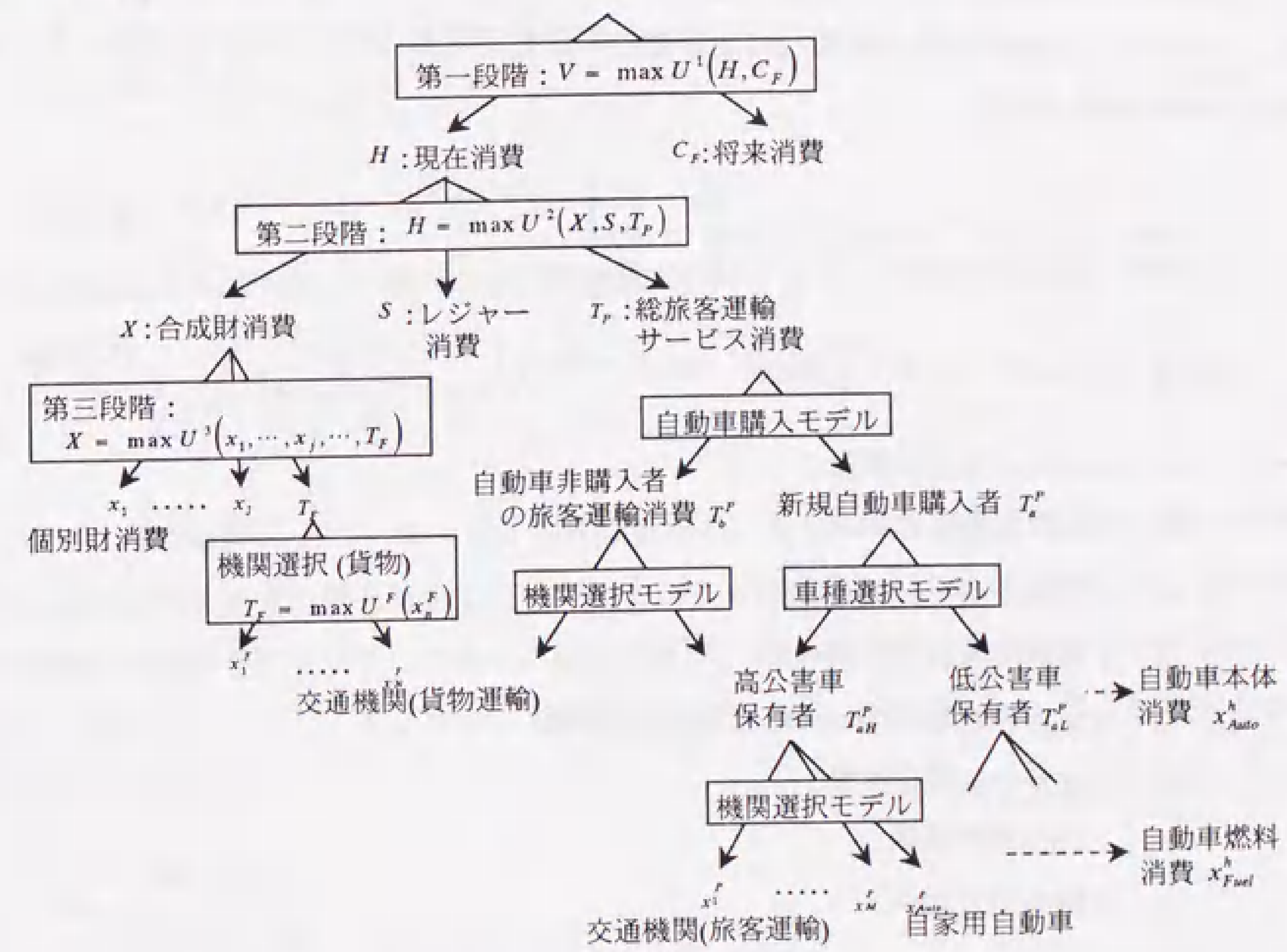

図 5-4　家計の行動モデルの概要

第一段階では，家計は時間要素も組み込まれた総所得を，現在消費にまわすか，将来消費するための貯蓄にまわすかを決定する．なお，この時には，モデル化を簡単にするため，家計が

直面する諸価格は現在水準のままで将来も変化しないという近視眼的期待(myopic)を仮定する．第二段階では，現在消費に関し，合成財消費と余暇消費，旅客運輸サービス消費の各消費を決定し，第三段階では，合成財消費に関し，個別財消費と総貨物運輸サービス消費の各消費を決定する．そして，総貨物運輸サービス消費は，交通機関別の消費量の決定も行う．一方，旅客運輸サービス消費に関しては，まず，自家用自動車を保有していない家計は，自家用自動車を購入する否かの選択を行い，その後，自家用自動車購入を決定した家計はその車種選択を行った後，自家用自動車を保有している家計，保有していない家計それぞれについて，交通機関選択を行うものとする．

（ｂ）家計の財消費行動モデル

まず，旅客運輸サービス以外の財消費行動モデルについて説明する．

【第一段階】

第一段階では，家計は現在消費と将来消費の各消費量を決定する．この行動モデルは，所得制約の下での効用最大化行動として定式化される．なお，効用関数は CES 型にて特定化する．また，外部不経済の変化による影響を考慮するため，効用関数には外部不経済レベル r を組み込む．この r は，自動車旅客運輸部門の生産量の影響を受けるものとする．これは，３－３－１節と同様の想定である．

$$V = \max_{H, C_F} \left[\left\{ \beta_H^{\frac{1}{\sigma_1}} H^{v_1} + \left(1 - \beta_H\right)^{\frac{1}{\sigma_1}} C_F^{\ v_1} \right\}^{\frac{1}{v_1}} + \mu \cdot r \right] \tag{5.33.a}$$

$$\text{s.t.}\quad p_H H + p_C C_F = p_L \Omega + \sum_h p_M^h \overline{M^h} + p_K \overline{K} - \tau \left(\equiv I_D \right) \tag{5.33.b}$$

ただし，H　：家計の現在消費量，
C_F　：家計の将来消費量，
r　：外部不経済レベル，
Ω　：家計の総利用可能時間(一定)，
$\overline{M^h}$　：家計の燃料種類 h の自動車資本保有量，
$\overline{K}$　：家計の資本保有量，
p_H　：現在消費価格，
p_C　：将来消費価格，
τ　：一括税，
μ　：外部不経済に関わるパラメータ(外部不経済原単位)，
β_H　：分配パラメータ，
v_1　：$= \dfrac{\sigma_1 - 1}{\sigma_1}$，
σ_1　：現在消費と将来消費との間の代替弾力性，
V　：間接効用関数．

なお，家計の総利用可能時間は，以下のように労働時間，余暇時間，交通消費時間を考えることとする．

$$\Omega = L_S + S + \sum_m t_m x_m^P \tag{5.34}$$

ただし，L_S　：家計の労働時間[労働供給量]，
S　：家計の余暇消費量，
t_m　：交通機関 m の単位輸送量あたりの交通所要時間，
x_m^P　：家計の交通機関 m の旅客運輸サービス消費量，

式(5.33)の最適化問題をラグランジュ未定乗数法を用いて解くと，以下のように現在消費 H と将来消費 C_F の各消費量が決定する．

$$H = \frac{\beta_H I_D}{p_H^{\ \sigma_1} \Delta_1} \tag{5.35.a}$$

$$C_F = \frac{\left(1 - \beta_H\right) I_D}{p_C^{\ \sigma_1} \Delta_1} \tag{5.35.b}$$

ただし，$\Delta_1 = \beta_H p_H^{\ (1-\sigma_1)} + \left(1 - \beta_H\right) p_C^{\ (1-\sigma_1)}$．

式(5.35.a)と式(5.35.b)を，式(5.33.a)の目的関数に代入すると，間接効用関数 V が求められる．

$$V\left(p_H, p_C, I_D, r\right) = I_D \left(\Delta_1\right)^{\frac{1}{\sigma_1 - 1}} + \mu \cdot r \tag{5.36}$$

ここで，将来消費 C_F について，若干の説明を加えておく．この将来消費とは，将来の消費のために現在使用できる所得を確保したもの，すなわち貯蓄を表している．そこで，この将来消費と貯蓄との関係を明らかにしておく必要があるが，これは，第 6 章の動学モデルの章において詳しく述べることにし，ここでは，将来消費が決まれば，貯蓄量も以下の式より決まることを示すにとどめる．

$$S_I = \frac{\left(1 - \beta_H\right) I_D}{p_{SI}\ p_C^{\ (\sigma_1 - 1)} \Delta_1} \tag{5.37}$$

ただし，S_I　：貯蓄量，
p_{SI}　：貯蓄財価格．

【第二段階】

第二段階では，家計は合成財消費と余暇消費，総旅客運輸サービス消費の各消費量を決定する．なお，この余暇消費は，後述の労働供給と関連する．この行動モデルは，将来消費額すなわち最適貯蓄額を控除した所得制約[$I_D - p_{SI}S_I \left(\equiv I_D^2\right)$]の下での効用最大化行動として定式化される．なお，効用関数は CES 型にて特定化する．

$$H^* = \max_{X,S,T_P} \left[\gamma_X^{\frac{1}{\sigma_2}} X^{\nu_2} + \gamma_S^{\frac{1}{\sigma_2}} S^{\nu_2} + \gamma_P^{\frac{1}{\sigma_2}} T_P^{\nu_2}\right]^{\frac{1}{\nu_2}} \tag{5.38.a}$$

$$\text{s.t.} \quad p_X X + p_L S + p_P T_P = I_D^2 \tag{5.38.b}$$

ただし，
X ：家計の合成財消費量，
T_P ：家計の総旅客運輸消費量，
p_X ：合成財消費価格，
p_L ：労働価格(余暇消費価格)，
p_P ：総旅客運輸サービス価格，
$\gamma_X, \gamma_S, \gamma_P$ ：分配パラメータ $\left[\gamma_X + \gamma_S + \gamma_P = 1\right]$，
ν_2 ：$= \dfrac{\sigma_2 - 1}{\sigma_2}$，
σ_2 ：合成財消費，余暇消費，総旅客運輸サービス消費の間の代替弾力性，
H^* ：現在消費の水準．

式(5.38)の最適化問題をラグランジュ未定乗数法を用いて解くと，以下のように各消費量が決定する．

$$X = \frac{\gamma_X I_D^2}{p_X^{\sigma_2} \Delta_2} \tag{5.39.a}$$

$$S = \frac{\gamma_S I_D^2}{p_L^{\sigma_2} \Delta_2} \tag{5.39.b}$$

$$T_P = \frac{\gamma_P I_D^2}{p_P^{\sigma_2} \Delta_2} \tag{5.39.c}$$

ただし， $\Delta_2 = \gamma_X p_X^{(1-\sigma_2)} + \gamma_S p_L^{(1-\sigma_2)} + \gamma_P p_P^{(1-\sigma_2)}$．

式(5.39)の各消費量を，式(5.38.a)の目的関数に代入すると，現在消費の水準 H^* が求められる．

$$H^*\left(p_X, p_L, p_P, I_D^2\right) = I_D^2 \left(\Delta_2\right)^{\frac{1}{\sigma_2 - 1}} \tag{5.40}$$

この現在消費の水準 H^* より，第一段階で定式化した最適化問題の中の現在消費価格 p_H を導出することが可能となる．まず，式(5.33.b)の所得制約式と，将来消費と貯蓄額が等しいことより，

$$p_H = \frac{I_D - p_{SI} S_I}{H} = \frac{I_D^2}{H}. \tag{5.41}$$

式(5.40)の現在消費の水準 H^* を代入して，

$$p_H = \frac{I_D^2}{I_D^2 \left(\Delta_2\right)^{\frac{1}{\sigma_2 - 1}}} = \left(\Delta_2\right)^{\frac{1}{1-\sigma_2}} \tag{5.42}$$

のように，現在消費価格 p_H が求められる．

【第三段階】

第三段階では，家計は自動車本体消費と自動車燃料消費を除く個別財消費および総貨物運輸サービス消費の各消費量を決定する．この行動モデルは，第二段階までで決定している各消費額を控除した所得制約[$I_D - p_{SI}S_I - p_L S - p_P T_P \left(\equiv I_D^3\right)$]の下での効用最大化行動として定式化される．なお，効用関数は Cobb-Douglas 型にて特定化する．

$$X^* = \max_{x_{j'}, T_F} \left[\prod_{j'} x_{j'}^{\varsigma_{j'}} \cdot T_F^{\varsigma_F}\right] \tag{5.43.a}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j'} p_{j'} x_{j'} + p_F T_F = I_D^3 \tag{5.43.b}$$

ただし，
$x_{j'}$ ：家計の自動車本体消費と自動車燃料消費を除く個別財消費量，
T_F ：家計の貨物運輸サービス消費量，
$p_{j'}$ ：財 j' の価格，
p_F ：貨物運輸サービス消費価格，
$\varsigma_{j'}, \varsigma_F$ ：支出シェアを表すパラメータ $\left[\sum_{j'} \varsigma_{j'} + \varsigma_F = 1\right]$，
X^* ：合成財消費の水準．

式(5.43)の最適化問題をラグランジュ未定乗数法を用いて解くと，以下のように各消費量が決定する．

$$x_{j'} = \frac{\varsigma_{j'}}{p_{j'}} I_D^3 \tag{5.44.a}$$

$$T_F = \frac{\varsigma_F}{p_F} I_D^3 \tag{5.44.b}$$

式(5.44)の各消費量を，式(5.43.a)の目的関数に代入すると，合成財消費の水準 X^* が求められる．

$$X^*\left(p_{j'}, p_F, I_D^3\right) = I_D^3 \cdot \prod_{j'} \left(\frac{\varsigma_{j'}}{p_{j'}}\right)^{\varsigma_{j'}} \cdot \left(\frac{\varsigma_F}{p_F}\right)^{\varsigma_F} \tag{5.45}$$

この合成財消費の水準 X^* より，第二段階の式(5.42)で求められた現在消費価格と同様に，第二段階で定式化した最適化問題の中の合成財消費価格 p_X を導出することが可能となる．まず，

式(5.38.b)の所得制約式より，

$$p_X = \frac{I_D^2 - p_L \ell - p_P T_P}{X} = \frac{I_D^3}{X}. \tag{5.46}$$

式(5.45)の合成財消費の水準 X^* を代入して，

$$p_H = \frac{I_D^3}{I_D^3 \cdot \prod_{j'} \left(\frac{\lambda_{j'}}{p_{j'}}\right)^{\lambda_j} \cdot \left(\frac{\lambda_F}{p_F}\right)^{\lambda_F}} = \prod_{j'} \left(\frac{p_{j'}}{\lambda_{j'}}\right)^{\lambda_j} \cdot \left(\frac{p_F}{\lambda_F}\right)^{\lambda_F} \tag{5.47}$$

のように，合成財価格 p_X が求められる．

【貨物運輸の交通機関別サービス消費】

続いて，家計は，式(5.44.b)で得られた総貨物運輸サービス消費に対し，交通機関別のサービス消費量を決定する．この行動モデルもこれまでと同様，第三段階までで決定している各消費額を控除した所得制約[$I_D - p_{SI}S_I - p_L S - p_P T_P - \sum_{j'} p_{j'} x_{j'} (\equiv I_D^F)$]の下での効用最大化行動として定式化される．なお，効用関数は CES 型にて特定化する．

$$T_F^* = \max_{x_n^F} \left[\sum_n (\chi_n)^{\frac{1}{\sigma_F}} \{x_n^F\}^{\nu_F} \right]^{\frac{1}{\nu_F}} \tag{5.48.a}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_n p_n^F x_n^F = I_D^F \tag{5.48.b}$$

ただし， x_n^F ：家計の交通機関 n の貨物運輸サービス消費量，

p_n^F ：交通機関 n の貨物運輸サービス価格，

χ_n ：支出シェアを表すパラメータ $\left[\sum_n \chi_n = 1\right]$，

ν_F ： $= \dfrac{\sigma_F - 1}{\sigma_F}$，

σ_F ：交通機関 n の貨物運輸サービス消費の間の代替弾力性，

T_F^* ：総貨物旅客サービス消費の水準．

式(5.48)の最適化問題をラグランジュ未定乗数法を用いて解くと，以下のように各消費量が決定する．

$$x_n^F = \frac{\chi_n I_D^F}{(p_n^F)^{\sigma_F} \Delta_F} \tag{5.49}$$

ただし， $\Delta_F = \sum_n \chi_n (p_n^F)^{1-\sigma_F}$ ．

式(5.49)の各消費量を，式(5.48.a)の目的関数に代入すると，総貨物旅客サービス消費の水準

T_F^* が求められる．

$$T_F^*(p_n^F, I_D^F) = I_D^F (\Delta_F)^{\frac{1}{\sigma_F - 1}} \tag{5.50}$$

この総貨物旅客サービス消費の水準 T_F^* より，これまでと同様に，第三段階で定式化した最適化問題の中の総貨物運輸サービス消費価格 p_F を導出することが可能となる．まず，式(5.43.b)の所得制約式より，

$$p_F = \frac{I_D^3 - \sum_{j'} p_{j'} x_{j'}}{T_F} = \frac{I_D^F}{T_F}. \tag{5.51}$$

式(5.50)の総貨物旅客サービス消費の水準 T_F^* を代入して，

$$p_F = \frac{I_D^F}{I_D^F (\Delta_F)^{\frac{1}{\sigma_F - 1}}} = (\Delta_F)^{\frac{1}{1-\sigma_F}} \tag{5.52}$$

のように，総貨物旅客サービス消費価格 p_F が求められる．

(c) 家計の旅客運輸サービス消費行動モデル

続いて，家計の旅客運輸サービス消費行動モデルの定式化を行う．

ここでは，その行動モデルを，図 5-5 に示すような Nested 構造によって定式化する．

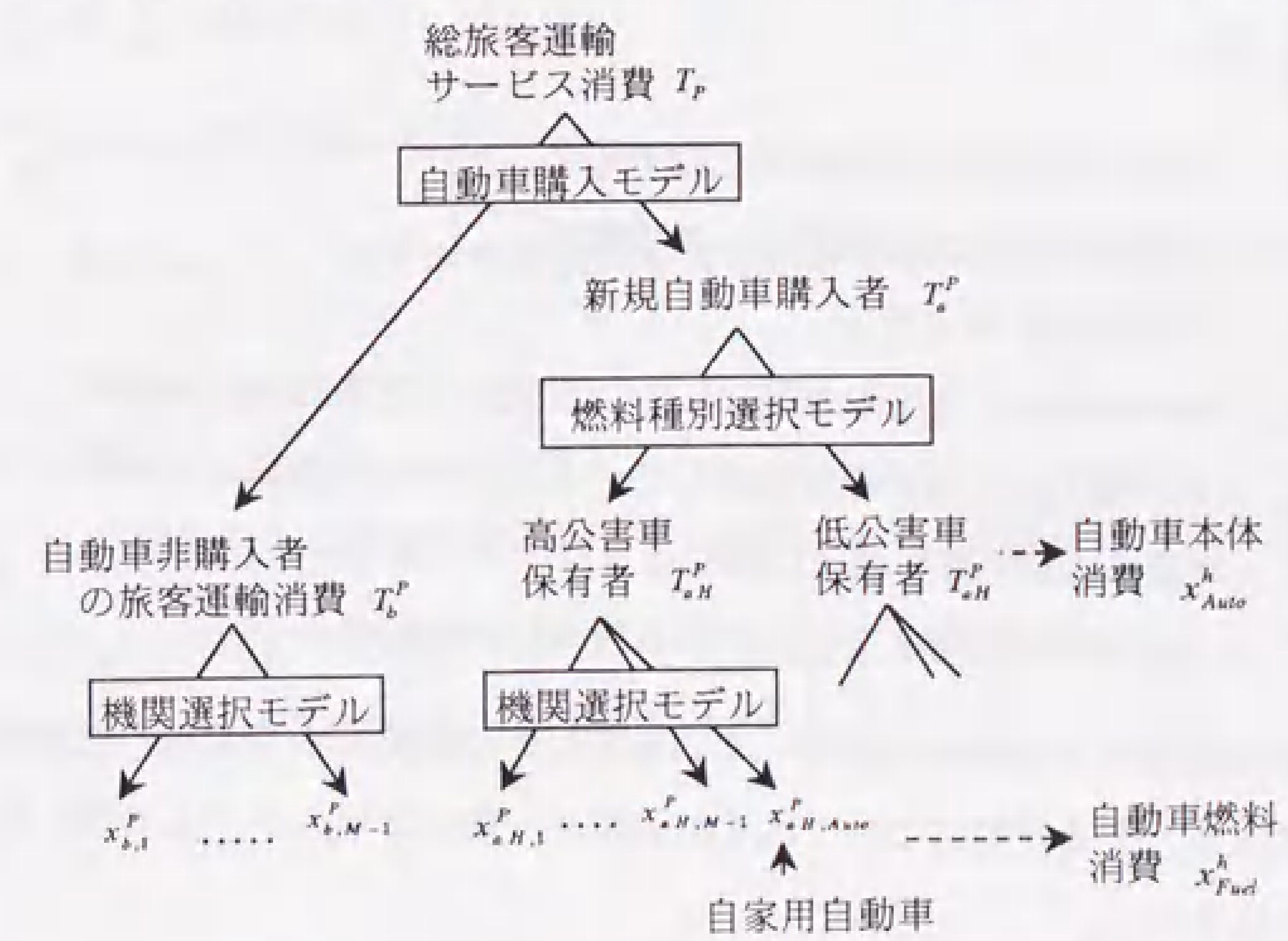

図 5-5　家計の旅客運輸サービスに関わる行動モデル

まず，最上位の新規自動車購入モデルにおいて，自家用自動車を保有していない家計が，新規に自家用自動車を購入するか否かの選択を行い，新規に自動車を購入することを決定した家計はその燃料種別選択を行う．その後，自家用自動車を保有している家計は自家用自動車を含

めた交通機関から，一方，自家用自動車を保有していない家計は自家用自動車を除く交通機関から機関選択を行い，交通機関別の旅客運輸サービス消費を決定するものとする．なお，それらは，Nested Logit Model により定式化する．

また，自家用自動車に関わる旅客運輸サービスについては，家計自らがそのサービスを生産して自らが消費するものとし，そのサービスの生産には，自動車本体と自動車燃料，そして時間資源が投入されるとする[22]．

なお，ここでは，説明の都合上，交通機関選択モデルから説明を行う．

【交通機関選択モデル】

ここでは，交通機関選択モデルの定式化を行うが，既に述べたように，燃料種別がいずれであれ，自家用自動車を保有している家計は，自家用自動車を含めた交通機関から，自家用自動車を保有していない家計は，自家用自動車を除く交通機関から選択を行い，交通機関ごとの旅客運輸サービス消費を決定するものとする．そこで，まず，自家用自動車を保有している家計の交通機関選択行動の定式化を行う．その行動モデルは，５－３－３節で定式化された運輸産業における自動車資本の燃料種別選択モデルと同様に定式化する．すなわち，以下のような「選択の基本公式」の最大化問題として定式化する．

$$S_{ah}^{M} = \max_{\mathrm{P}_{ahm}^{M}} \sum_{m} \mathrm{P}_{ahm}^{M} u_{ahm}^{M} - \frac{1}{\theta_{ah}^{M}} \sum_{m} \mathrm{P}_{ahm}^{M} \ln \mathrm{P}_{ahm}^{M} \tag{5.53.a}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{m} \mathrm{P}_{ahm}^{M} = 1 \tag{5.53.b}$$

ただし，　a　：自家用自動車の新規購入を表す添字，

h　：自家用自動車の燃料種別を表す添字，

m　：交通機関を表す添字，

P_{ahm}^{M}：燃料種別 h の自動車を保有している家計の交通機関選択確率，

u_{ahm}^{M}：燃料種別 h の自動車を保有している家計が交通機関 m を選択した場合の効用，

θ_{ah}^{M}：交通機関選択確率決定に関わるロジットパラメータ，

S_{ah}^{M}：交通機関選択確率決定に関わる最大期待効用値．

式(5.53)の燃料種別 h の自動車を保有している家計が交通機関 m を選択した場合の効用に関し，自家用自動車以外の交通機関についてはその効用が一般化価格のタームで表されるよう，以下のように定式化する．

$$u_{ahm}^{M} = -\left(p_m + t_m \cdot p_L\right) \tag{5.54}$$

ただし，　p_m　：交通機関 m の旅客運輸サービス価格，

t_m　：交通機関 m の所要時間．

また，自家用自動車を選択した場合の効用($m = Auto$ の場合)については，家計自らが自動車

本体と自動車燃料，時間資源を投入して生産するとされており，自動車本体の消費については次項の自動車購入モデルにおいてモデル化するものとして，ここでは，自動車燃料価格と時間費用を用いて効用を定式化する．

$$u_{ah,Auto}^{M} = -\left(\xi^{h} p_{Fuel} + t_{Auto} \cdot p_L\right) \tag{5.55}$$

ただし，　p_{Fuel}：自動車燃料価格，

t_{Auto}：自家用自動車の所要時間，

ξ^{h}　：燃料種別 h の自家用自動車における単位自動車トリップあたりの自動車燃料消費量(固定)．

これより，自家用自動車に関わる燃料種別の相違は，単位トリップあたりの燃料消費量の違いとして表されている．

式(5.53)の最適化問題を解くと，以下のように，Logit モデルの形で各交通機関の選択確率が求められる．

$$\mathrm{P}_{ahm}^{M} = \frac{\exp\left(\theta_{ah}^{M} u_{ahm}^{M}\right)}{\sum_{m} \exp\left(\theta_{ah}^{M} u_{ahm}^{M}\right)} \tag{5.56}$$

また，この最適化問題に付随して，最大期待効用値 S_{ah}^{M} および燃料種別 h の自動車を保有している家計に対する旅客運輸サービス価格 p_{ah}^{P} が以下のように求められる．

$$S_{ah}^{M} = \frac{1}{\theta_{ah}^{M}} \ln \sum_{m} \exp\left(\theta_{ah}^{M} u_{ahm}^{M}\right) \tag{5.57.a}$$

$$p_{ah}^{P} = \sum_{m} p_m \cdot \exp\left\{\theta_{ah}^{M}\left(u_{ahm}^{M} - S_{ah}^{M}\right)\right\} \tag{5.57.b}$$

以上の結果，式(5.56)より，家計の交通機関 m の旅客運輸サービス消費 x_{ahm}^{P} が以下のように求められる．

$$x_{ahm}^{P} = T_{ah}^{P} \cdot \mathrm{P}_{ahm}^{M} \tag{5.58}$$

ただし，　T_{ah}^{P}　：燃料種別 h の自動車を保有している家計の総旅客運輸サービス消費．

この T_{ah}^{P} に関しては，次項にて求められる．

また，式(5.58)より，自動車燃料消費も導出される．

$$x_{h,Fuel} = \xi^{h} T_{ah}^{P} \cdot \mathrm{P}_{ahm}^{M} \tag{5.59}$$

一方，自家用自動車非保有家計の交通機関選択は，自家用自動車保有家計の定式化において，交通機関の中の自家用自動車を除いたものと同じであるため，ここでは省略する．

【燃料種別選択モデル】

次に，新規に自動車購入を決定した家計の燃料種別選択モデルの定式化を行う．これも，前項の交通機関選択モデルと同様に，以下のような「選択の基本公式」の最大化問題により定式化する．

$$S_a^S = \max_{\mathrm{P}_{ah}^S} \quad \sum_h \mathrm{P}_{ah}^S u_{ah}^S - \frac{1}{\theta_a^S} \sum_h \mathrm{P}_{ah}^S \ln \mathrm{P}_{ah}^S \tag{5.60.a}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_h \mathrm{P}_{ah}^S = 1 \tag{5.60.b}$$

ただし，P_{ah}^S ：自動車を購入する際の燃料種別 h の自動車選択確率，

u_{ah}^S ：自動車を購入する際の燃料種別 h の自動車を選択した場合の効用，

θ_a^S ：燃料種別選択確率決定に関わるロジットパラメータ，

S_a^S ：燃料種別選択確率決定に関わる最大期待効用値．

なお，式(5.60.a)の新規に自動車を購入する際の燃料種別 h の自動車を選択した家計の効用 u_{ah}^S は以下のように定式化される．

$$u_{ah}^S = S_{ah}^M - \frac{x_{Auto}^h \cdot p_{Auto}^h}{x_{ah,Auto}^P} \tag{5.61}$$

ただし，x_{Auto}^h ：燃料種別 h の自動車の新規自動車消費量，

$x_{ah,Auto}^P$ ：自動車新規購入者の燃料種別 h の自家用自動車旅客運輸サービス消費量，

p_{Auto}^h ：燃料種別 h の自動車の自動車本体価格．

式(5.61)中の最大期待効用値 S_{ah}^M は式(5.57.a)より，自動車旅客運輸サービス消費を表す $x_{ah,Auto}^P$ は式(5.58)より求められる．

式(5.61)では，新規に自動車を購入する際の燃料種別 h の自動車を選択した家計の効用を，自動車購入にかかる費用 $x_{Auto}^h\, p_{Auto}^h$ の自家用自動車トリップ $x_{ah,Auto}^P$ に対する平均費用を用いて定式化した．これより，自動車購入費用を単位トリップあたりの費用に換算することができるとともに，自動車を購入した家計にとっては，自家用自動車トリップを増大させることにより平均的な自動車購入費用を小さくすることができるという構造を考慮することが可能となる．

式(5.60)の最適化問題を解くと，以下のように Logit モデルによって燃料種別選択確率が求められる．

$$\mathrm{P}_{ah}^S = \frac{\exp\left(\theta_a^S u_{ah}^S\right)}{\sum_h \exp\left(\theta_a^S u_{ah}^S\right)} \tag{5.62}$$

また，この最適化問題に付随して，最大期待効用値 S_a^S および自動車購入者に対する総旅客運輸サービス価格 p_a^P も以下のように求められる．

$$S_a^S = \frac{1}{\theta_a^S} \ln \sum_h \exp\left(\theta_a^S u_{ah}^S\right) \tag{5.63.a}$$

$$p_a^P = \sum_h p_{ah}^P \cdot \exp\left\{\theta_a^S\left(u_{ah}^S - S_a^S\right)\right\} \tag{5.63.b}$$

【自動車購入モデル】

まずここでは，自家用自動車を保有していない家計が，新規に自動車を購入する割合，新規自動車購入率の決定モデルが定式化される．それについても，５－３－３節で定式化された運輸産業における自動車資本の燃料種別選択モデルと同様に定式化する．すなわち，以下のような「選択の基本公式」の最大化問題として定式化する．

$$S^A = \max_{\mathrm{P}_o^A} \quad \sum_o \mathrm{P}_o^A u_o^A - \frac{1}{\theta^A} \sum_o \mathrm{P}_o^A \ln \mathrm{P}_o^A \tag{5.64.a}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_o \mathrm{P}_o^A = 1 \tag{5.64.b}$$

ただし，o ：新規自動車購入者(a)か非購入者(b)かを表す添字，

P_o^A ：新規自動車購入率 $(o = a)$，非購入率 $(o = b)$，

θ^A ：自動車購入率決定に関わるロジットパラメータ，

S^A ：自動車購入率決定に関わる最大期待効用値．

なお，式(5.64.a)では，新規自動車購入者の効用 u_a^A，非購入者の効用 u_b^A は，それぞれ新規自動車購入者の燃料種別選択に関わる最大期待効用値 S_a^S [式(5.63.a)]，非購入者の交通機関選択に関わる最大期待効用値 S_b^M [式(5.57.a)]によって表されるとする．

$$u_a^A = S_a^S \tag{5.65.a}$$

$$u_b^A = S_b^M \tag{5.65.b}$$

式(5.64)の最適化問題を解くと，これまでと同様，Logit モデルによって新規自動車購入率が求められる．

$$\mathrm{P}_a^A = \frac{\exp\left(\theta^A S_a^S\right)}{\exp\left(\theta^A S_a^S\right) + \exp\left(\theta^A S_b^M\right)} \tag{5.66}$$

また，この最適化問題に付随して，最大期待効用値 S^A および総旅客運輸サービス価格 p_P [式(5.38.b)]も以下のように求められる．

$$S^A = \frac{1}{\theta^A} \ln\left[\exp\left(\theta^A S_a^S\right) + \exp\left(\theta^A S_b^M\right)\right] \tag{5.67.a}$$

$$p_P = p_a^P \cdot \exp\left\{\theta^A\left(S_a^S - S^A\right)\right\} + p_a^P \cdot \exp\left\{\theta^A\left(S_b^M - S^A\right)\right\} \tag{5.67.b}$$

以上の結果，式(5.66)より，家計の新規自動車本体消費量が以下のように求められる．

$$x_{Auto} = \left[\overline{D} - (1-\delta)D_{t-1}\right]\mathrm{P}_a^A \tag{5.68}$$

ただし，　$\overline{D}$　：全世帯が自動車を保有した場合の総自動車保有台数，

D_{t-1}：前期の総自動車保有台数，

δ　：自動車減耗率，

また，式(5.68)および式(5.62)より，燃料種類別の自動車本体消費量も求められる．

$$x_{Auto}^h = x_{Auto} \cdot \mathrm{P}_{ah}^S \tag{5.69}$$

【自動車保有率の導出】

続いて，式(5.68)より求められる新規自動車消費x_{Auto}を用いて，自家用自動車保有率P^Hを導出する．自家用自動車保有率は，全世帯が自動車を保有した場合の自動車保有台数に対して，新規自動車消費を加えた自動車保有台数の占める割合として求められる．

$$\mathrm{P}_t^H = \frac{x_{Auto} + (1-\delta)D_{t-1}}{\overline{D}} \tag{5.70}$$

この自家用自動車保有率より，式(5.58)において触れた自家用自動車保有家計の総旅客運輸サービス消費T_a^P，非保有家計の総旅客運輸サービス消費T_b^Pが求められる．

$$T_a^P = T_P \cdot \mathrm{P}^H \tag{5.71.a}$$

$$T_b^P = T_P \cdot \left(1 - \mathrm{P}^H\right) \tag{5.71.b}$$

ただし，　T_P　：総旅客運輸サービス消費 [式(5.39.c)より得られる]．

（ｄ）間接効用関数の全微分形

ここで，式(5.36)にて求められた家計の間接効用関数(効用水準)の全微分形を導出しておく．それは，付録(５－Ａ（ａ）)に示す式展開より，最終的に以下のように求められる．

$$\begin{aligned} dV = \lambda \Bigg[& -\sum_j x_{j'} dp_{j'} - \sum_k x_k dp_k - x_{Auto} dp_{Auto} + \frac{x_{Auto} p_{Auto}}{x_{Auto}^P} dx_{Auto}^P - x_{Fuel}\, dp_{Fuel} \\ & - \left(p_L x_{Auto}^P dt_{Auto} + p_L \sum_m x_m^P dt_m \right) + L_S dp_L + \sum_h \overline{M^h} dp_M^h + \overline{K} dp_K \\ & + \sum_j d\Pi_j + \sum_k d\Pi_k - d\tau + \frac{\partial I_D}{\partial r} dr \Bigg] \end{aligned} \tag{5.72}$$

５－３－６　政府の行動

政府の行動については，数値シミュレーションを行う第 7 章において詳細に説明するが，基

本的には，税を徴収する役割を担うとする．

$$\begin{aligned} \Psi = & \left[\sum_j \omega_{L_j} p_L L_j + \sum_k \omega_{L_k} p_L L_k \right] + \left[\sum_k \sum_h \omega_{M_k^h} p_{M_k^h} M_k^h \right] + \left[\sum_j \omega_{K_j} p_K K_j + \sum_k \omega_{K_k} p_K K_k \right] \\ & + \left[\sum_j \omega_{O_j} PC_j + \sum_k \omega_{O_k} PC_k \right] + \tau \end{aligned} \tag{5.73}$$

ただし，　Ψ　：政府の税収入．

ただし，自動車燃料税，自動車重量税については，税の賦課自体が目的であるため，その税収分は家計に還元されるとする．なお，公共交通整備政策においては，その税を公共交通整備に投資するものとする．

５－３－７　市場均衡条件

（ａ）市場均衡条件

本モデルにおける市場均衡条件は，以下のように表される．

財 j　　　：$y_j = \sum_i x_i^j(q) + F^j(q) + \overline{E^j} - \overline{m^j}\left[\sum_i x_i^j(q) + F^j(q)\right]$　(5.74.a)

交通サービス：$y_k = \sum_i x_i^k(q) + F^k(q) + \overline{E^k} - \overline{m^k}\left[\sum_i x_i^k(q) + F^k(q)\right]$　(5.74.b)

労働　　　：$L_S(q) = \sum_j L_j\left(y_j, p_L, p_M^h, p_K\right) + \sum_k L_k\left(y_k, p_L, p_M^h, p_K\right)$　(5.74.c)

燃料種別hの自動車資本：

$$\overline{M^h} = \sum_k M_k^h\left(y_k, p_L, p_M^h, p_K\right) \tag{5.74.d}$$

資本　　　：$\overline{K} = \sum_j K_j\left(y_j, p_L, p_M^h, p_K\right) + \sum_k K_k\left(y_k, p_L, p_M^h, p_K\right)$　(5.74.e)

財政均衡　：$\Psi = \tau_H$　(5.74.f)

財 j と運輸サービス k の価格形成：

$$\begin{bmatrix} \vdots \\ p_j \\ \vdots \\ p_k \\ \vdots \end{bmatrix}' = \begin{bmatrix} \vdots \\ a_j^0 \left(p_{L_j}{}^{+}D_{L_j} + p_{K_j}{}^{+}D_{K_j}\right)\left(1 + \omega_{O_j}\right) \\ \vdots \\ a_k^0 \left(p_{L_k}{}^{+}D_{L_k} + p_{M_k}{}^{+}D_{M_k} + p_{K_k}{}^{+}D_{K_k}\right)\left(1 + \omega_{O_k}\right) \\ \vdots \end{bmatrix}' \left[\mathbf{I} - \mathbf{A}\right]^{-1} \tag{5.74.g}$$

ただし，　q　：財の価格ベクトル$\left[= \left(\cdots, p_j, \cdots, p_k, \cdots, p_k + t_k p_L, p_L, p_M^h, p_K\right)\right]$，

F^j ：財 j の最終需要，

$\overline{E^j}$ ：財 j の輸出量(固定)，

$\overline{m^j}$ ：財 j の輸入係数(固定)，

L_S ：家計の労働供給量．

(b) 産出量の導出

式(5.74.a)と式(5.74.b)は，それぞれ財 j と運輸サービス k の需給バランスを表しているが，第4章の財需給バランス式(4.33.a,b)とは異なるため，若干の説明を要する．

まず，最終需要については，厳密には家計消費だけではなく，家計消費以外に民間非営利団体消費，政府消費および投資需要による消費が含まれる [23]．そのため，それらの総計として改めて F で表すこととした．なお，これらのうち，家計消費は，5－3－5節にて導出された家計の財消費量[式(5.44.a),(5.49),(5.58),(5.59),(5.67)]より求められる．また，民間非営利団体消費，政府消費については，簡略化のため固定的に扱うものとする．投資需要による消費は，式(5.36)にて導出された家計貯蓄 S_I より求められる．すなわち，家計貯蓄はそのまま投資に充てられると考え，その投資額 I を源泉に投資需要が発生するのである．その投資需要は，以下のように資本係数を用いて表されるとする．

$$x_j^I = \overline{k^j} \cdot I \tag{5.75}$$

ただし， $\overline{k^j}$ ：投資需要を構成する財 j の比率．

また，貿易による財の需要と供給の調整をはかるため，輸出および輸入も考慮に入れた．このうち，輸出量は固定とした．また，輸入量は，国内需要[＝中間需要＋最終需要]に，比例して決定されるとした [24]．

こうして，式(5.74.a)と式(5.74.b)が成立することとなる．さらに，式(5.2.b)と式(5.8.b)の最適中間投入量の条件式を用いて，式(5.74.a)と式(5.74.b)を変形することにより，産出量が以下のように求められる．

$$\begin{bmatrix} \vdots \\ y_j \\ \vdots \\ y_k \\ \vdots \end{bmatrix} = \left[\mathbf{I} - \left(\mathbf{I} - \overline{\mathbf{M}}\right)\mathbf{A}\right]^{-1} \begin{bmatrix} \vdots \\ \left(1 - \overline{m^j}\right)F^j + E^j \\ \vdots \\ \left(1 - \overline{m^k}\right)F^k + E^k \\ \vdots \end{bmatrix} \tag{5.76}$$

ただし， $\overline{\mathbf{M}}$ ：輸入係数を対角に並べた行列．

(c) 生産要素需要の導出

一方，生産要素需要に関しては，第4章と全く同様にして求められる．すなわち，産業 j の生産要素需要量は，式(5.2.a)の生産容量 PC_j と，式(5.5)の単位生産容量あたりの生産要素需要

量 D_{L_j}， D_{K_j} を用いて，以下のように求められる．

$$L_j\left(y_j, p_L{}^+, p_K{}^+\right) = a_j^0 y_j D_{L_j}\left(p_L{}^+, p_K{}^+\right) \tag{5.77.a}$$

$$K_j\left(y_j, p_L{}^+, p_K{}^+\right) = a_j^0 y_j D_{K_j}\left(p_L{}^+, p_K{}^+\right) \tag{5.77.b}$$

運輸産業 k の生産要素需要は，式(5.8.a)の生産容量 PC_k と，式(5.11)の単位生産容量あたりの生産要素需要量 D_{L_k}， D_{M_k}， D_{K_k}，および式(5.15)の燃料種別自動車資本投入割合 P_h^F より，以下のように求められる．

$$L_k\left(y_k, p_L{}^+, p_M\left(p_M^h{}^+\right), p_K{}^+\right) = a_k^0 y_k D_{L_k}\left(p_L{}^+, p_M\left(p_M^h{}^+\right), p_K{}^+\right) \tag{5.78.a}$$

$$M_k^h\left(y_k, p_L{}^+, p_M\left(p_M^h{}^+\right), p_K{}^+\right) = a_k^0 y_k \mathrm{P}_h^F \cdot D_{L_k}\left(p_L{}^+, p_M\left(p_M^h{}^+\right), p_K{}^+\right) \tag{5.78.b}$$

$$K_k\left(y_k, p_L{}^+, p_M\left(p_M^h{}^+\right), p_K{}^+\right) = a_k^0 y_k D_{K_k}\left(p_L{}^+, p_M\left(p_M^h{}^+\right), p_K{}^+\right) \tag{5.78.c}$$

(d) 生産要素供給

生産要素の供給面について，まず，労働供給 L_S は，式(5.39.b)から余暇消費が，式(5.39.c)から総交通サービス消費時間が得られ，これらを総利用可能時間 Ω から差し引くことにより求められる．また，燃料種類別自動車資本，非自動車資本供給はともに固定的に扱う．

以上の結果，式(5.73.a～f)において，方程式数は $(2J + 2K + H + 3)$ 個，未知数は p_j， p_k， p_L， p_{M^h}， p_K， y_j， y_k， τ_H の $(2J + 2K + H + 3)$ 個である．しかし，財 j および運輸サービス k の市場は，需要に応じた供給がなされることより均衡計算の対象からは外してもよい．また，式(5.74.a～d)に対し，それぞれ p_j， p_k， p_L， p_M^h， p_K を乗じて合計すると，家計の予算制約式を統合したものとなることから，結局，独立な市場条件式は，生産要素市場のみであり，なおかつ生産要素市場均衡の一つの条件式は冗長となることがわかる．よって，この方程式を解くためには，生産要素市場のいずれかの市場をニュメレール(基準財)と設定する必要がある．ここでは，非自動車資本価格をニュメレールとして，均衡計算を行う．なお，その方法は基本的には4－6－4節と同様である．

5－4　便益定義と便益帰着構成表

5－4－1　便益の定義

前節で構築した応用一般均衡モデルにおける便益定義は以下のように行える．なお，本章でも，等価的偏差(EV)により便益定義を行う．

まず，ここでは，政策として 1)自動車燃料税増徴策，2)自動車重量税増徴策，3)公共交通整備政策，4)低公害車普及政策の 4 政策を想定して，便益定義を行う．すなわち，各政策に対し，式(5.35)より得られた家計の効用水準(間接効用関数)

$$V\left(p_H, p_C, I_D, r\right) = I_D\left(\Delta_1\right)^{\frac{1}{\sigma_1 - 1}} + \mu \cdot r \tag{5.79}$$

が，以下のように変化した場合の便益定義を行う．

$$V^A\left({p_H}^A, {p_C}^A, {I_D}^A, r^A\right) \Rightarrow V^B\left({p_H}^B, {p_C}^B, {I_D}^B, r^B\right)$$

ただし，　A，B　：政策なし，政策ありを表す．

これより，４－７節にて導出した方法により EV が導出される．

$$EV = {I_D}^A\left[\frac{V^B - V^A}{V^A}\right] \tag{5.80.a}$$

$$= \underbrace{\frac{{I_D}^B\left({\Delta_1}^B\right)^{\frac{1}{\sigma_1 - 1}} - {I_D}^A\left({\Delta_1}^A\right)^{\frac{1}{\sigma_1 - 1}}}{\left({\Delta_1}^A\right)^{\frac{1}{\sigma_1 - 1}}}}_{[第一項]} + \underbrace{\frac{\mu\left[r^B - r^A\right]}{\left({\Delta_1}^A\right)^{\frac{1}{\sigma_1 - 1}}}}_{[第二項]} \tag{5.80.b}$$

以上の結果得られる EV について，[第一項]は，市場経済を通しての財・サービス消費における影響を，[第二項]は，外部不経済レベルの変化による影響を表していると考えられる．

５－４－２　便益帰着構成表の作成

（ａ）自動車燃料税増徴策

まず，自動車燃料税増徴策を実施した場合の便益帰着構成表を作成する．

そこで，政府が自動車燃料税を $\omega_{Fuel}^A \rightarrow \omega_{Fuel}^B$ へ増加させた場合を考える．その結果，産業および家計の行動が変化するため，市場均衡条件を介して生産財の価格および生産要素の価格が変化し，家計の効用水準が変化する．式(5.80)にて定義された等価的偏差 EV では，式(5.36)にて得られたシャドウプライス p_H, p_C の関数として得られた間接効用関数を用いたが，式(5.72)で誘導された間接効用関数全微分形からわかるように，間接効用関数は厳密には全ての生産財価格および生産要素価格の関数として表される．すなわち，自動車燃料税増徴策による家計の効用水準の変化は以下のように表される．

$$V\left({p_j}^A, {p_{Fuel}}^A, {\omega_{Fuel}}^A, {p_k}^A, {t_m}^A, {p_L}^A, {p_M^h}^A, {p_K}^A, r^A\right) \rightarrow V\left({p_j}^B, {p_{Fuel}}^B, {\omega_{Fuel}}^B, {p_k}^B, {t_m}^B, {p_L}^B, {p_M^h}^B, {p_K}^B, r^B\right)$$

ただし，　A, B　：政策なし，政策ありを表す，

　　　　p_{Fuel}　：自動車燃料価格，

　　　　ω_{Fuel}　：自動車燃料税．

この間接効用関数を用いると EV は以下のように定義される．

$$\begin{aligned} EV = {} & e\left({p_j}^A, {p_{Fuel}}^A, {\omega_{Fuel}}^A, {p_k}^A, {t_m}^A, {p_L}^A, V^B, r^A\right) \\ & - e\left({p_j}^A, {p_{Fuel}}^A, {\omega_{Fuel}}^A, {p_k}^A, {t_m}^A, {p_L}^A, V^A, r^A\right) \end{aligned} \tag{5.81}$$

式(5.81)を，２－３－５節（ｂ）と同様に式(5.72)の間接効用関数の全微分形を用いて変形する．

$$EV = \oint_{A \to B} \frac{\partial e}{\partial V} dV \tag{5.82.a}$$

$$\begin{aligned} = \oint_{A \to B} \frac{\partial e}{\partial V} \lambda \Bigg[& -\sum_{j'} x_{j'} dp_{j'} - \sum_k x_k dp_k - x_{Auto} dp_{Auto} + \frac{x_{Auto} p_{Auto}}{x_{Auto}^P} dx_{Auto}^P \\ & - x_{Fuel}\left(dp_{Fuel} + d\omega_{Fuel}\right) - \left(p_L x_{Auto}^P dt_{Auto} + p_L \sum_m x_m^P dt_m\right) \\ & + L_S dp_L + \sum_h \overline{M^h} dp_M^h + \overline{K} dp_K + \sum_j d\Pi_j + \sum_k d\Pi_k + d\tau + \frac{\partial I_D}{\partial r} dr \Bigg] \end{aligned} \tag{5.82.b}$$

産業 j および運輸産業 k の利潤の全微分形は式(5.24)と式(5.31)にて得られているので，自動車燃料税増徴策実施に伴う各産業の利潤変化 $\Delta\Pi_j$，$\Delta\Pi_k$ は以下のようになる．

$$\Delta\Pi_j = \oint_{A \to B} d\Pi_j \tag{5.83.a}$$

$$= \oint_{A \to B} \left[y_j dp_j - PC_j \cdot D_{L_j} dp_L - PC_j \cdot D_{K_j} dp_K - \sum_i x_j^i dp_i \right] \tag{5.83.b}$$

$$\Delta\Pi_k = \oint_{A \to B} d\Pi_k \tag{5.84.a}$$

$$= \oint_{A \to B} \left[y_k dp_k - PC_k \cdot D_{L_k} dp_L - PC_k \cdot D_{M_k} \sum_h \mathrm{P}_h^F dp_{M^h} - PC_k \cdot D_{K_k} dp_K - \sum_i x_k^i dp_i \right] \tag{5.84.b}$$

なお，ここでは自動車燃料税のみの増徴策を考えることとし，よって，労働税，資本税の変化率はないものと考えている．

以上の結果，式(5.83.b)と式(5.84.b)を式(5.82.b)に代入して整理すると，EV は以下のように求められる．

$$\begin{aligned} EV = \oint_{A \to B} \frac{\partial e}{\partial V} \lambda \Bigg[& -\sum_{j'} x_{j'} dp_{j'} - \sum_k x_k dp_k - x_{Auto} dp_{Auto} + \frac{x_{Auto} p_{Auto}}{x_{Auto}^P} dx_{Auto}^P - x_{Fuel}\left(dp_{Fuel} + d\omega_{Fuel}\right) \\ & - \left(p_L x_{Auto}^P dt_{Auto} + p_L \sum_m x_m^P dt_m\right) + L_S dp_L + \sum_h \overline{M^h} dp_M^h + \overline{K} dp_K - d\tau + \frac{\partial I_D}{\partial r} dr \\ & + \sum_j \left\{ y_j dp_j - PC_j \cdot D_{L_j} dp_L - PC_j \cdot D_{K_j} dp_K - \sum_i x_j^i dp_i \right\} \end{aligned}$$

$$+\sum_k \left\{ y_k dp_k - PC_k \cdot D_{L_k} dp_L - PC_k \cdot D_{M_k} \sum_h \mathrm{P}_h^F dp_{M^h} - PC_k \cdot D_{K_k} dp_K - \sum_i x_k^i dp_i \right\} \Bigg] \Bigg] \tag{5.85.a}$$

$$= \oint_{A \to B} \frac{\partial e}{\partial V} \lambda \Bigg[\sum_{j'} \underbrace{\left\{ y_{j'} - \sum_i x_i^{j'} - x_{j'} \right\} dp_{j'}}_{\text{財 } j' \text{ 市場}} + \sum_k \underbrace{\left\{ y_k - \sum_i x_i^k - x_k \right\} dp_k}_{\text{運輸サービス } k \text{ 市場}} + \underbrace{\left\{ y_{Auto} - x_{Auto} \right\} dp_{Auto}}_{\text{自動車本体市場}}$$

$$+ \underbrace{\frac{x_{Auto} p_{Auto}}{x_{Auto}^P} dx_{Auto}^P}_{\text{自動車購入費用節約}} + \underbrace{\left\{ y_{Fuel} - \sum_k x_k^{Fuel} - x_{Fuel} \right\} dp_{Fuel}}_{\text{自動車燃料市場}} - \underbrace{\left\{ \sum_k x_k^{Fuel} + x_{Fuel} \right\} d\omega_{Fuel}}_{\text{自動車燃料税変化の影響}}$$

$$- \underbrace{\left(p_L x_{Auto}^P dt_{Auto} + p_L \sum_m x_m^P dt_m \right)}_{\text{交通所要時間変化の影響}} + \underbrace{\left\{ L_S - \sum_j L_j - \sum_k L_k \right\} dp_L}_{\text{労働市場}}$$

$$+ \sum_k \underbrace{\left\{ \overline{M^h} - \sum_k M_k^h \right\} dp_M^h}_{\text{燃料種別 } h \text{ の自動車資本市場}} + \underbrace{\left\{ \overline{K} - \sum_j K_j - \sum_k K_k \right\} dp_K}_{\text{非自動車資本市場}} + \underbrace{d\Psi}_{\text{税再分配}} + \underbrace{\frac{\partial I_D}{\partial r} dr}_{\text{外部不経済変化の影響}} \Bigg] \tag{5.85.b}$$

ただし,

$$d\Psi = \left\{ \sum_k x_k^{Fuel} + x_{Fuel} \right\} d\omega_{Fuel} + \omega_{Fuel} \left\{ \sum_k dx_k^{Fuel} + dx_{Fuel} \right\}. \tag{5.86}$$

式(5.85.b)より，政策による便益は結局，生産要素を含む財の生産者余剰と消費者余剰の変化分により表されることがわかる．

例えば，式(5.85.b)の財 j' 市場における影響について着目すると，財 j' に関する生産者余剰変化 $\left[\oint_{A \to B} y_{j'} dp_{j'} \right]$ と消費者余剰変化 $\left[-\oint_{A \to B} \left(\sum_i x_i^{j'} + x_{j'} \right) dp_{j'} \right]$ の差額として表されている．他の財についても市場における影響は，生産者余剰変化と消費者余剰変化との差額によって表されている．そして，式(5.74)の市場均衡条件より，生産者余剰変化と消費者余剰変化とは互いにキャンセルされ，財市場および生産要素市場での影響は実質的には EV には影響を与えないことがわかる．一方，他にもいくつか影響が残ってきているが，それらは後で説明することにする．

また，式(5.85.b)の各種影響を，それらがどの主体に帰着しているかまで含めて表にまとめたものが表 5-1 の便益帰着構成表である．本表の縦方向には式(5.85.b)における各種影響の項目が並べられ，横方向には経済主体をとって，各影響の項目がどの主体に帰着しているのかが一目でわかるようになっている．これによれば，市場均衡によってキャンセルされるものについても，最右欄がゼロとして明示的に示されている．

こうして，式(5.85.b)においてキャンセルアウトを考慮すると，EV は最終的に以下のような形で得られる．

$$EV = \oint_{A \to B} \frac{\partial e}{\partial V} \lambda \Bigg[\underbrace{\omega_{Fuel} \left\{ \sum_k dx_k^{Fuel} + dx_{Fuel} \right\}}_{[1]} + \underbrace{\frac{x_{Auto} p_{Auto}}{x_{Auto}^P} dx_{Auto}^P}_{[2]}$$

$$- \underbrace{\left(p_L x_{Auto}^P dt_{Auto} + p_L \sum_m x_m^P dt_m \right)}_{[3]} + \underbrace{\frac{\partial I_D}{\partial r} dr}_{[4]} \Bigg] \tag{5.87}$$

このうち，[1]は租税の影響として一般的に指摘される税の超過負担(Excess Burden)と呼ばれるものである(図 5-6) [25]．[2]は自動車購入者が自らの自家用自動車トリップを増大させることにより単位自動車トリップあたりの自動車購入費用が変化することの影響，すなわち自動車購入費用節約便益を表している．[3]は各交通機関の所要時間変化による影響，[4]は外部不経済の削減効果である．

また，式(5.87)の帰着便益は，表 5-1 では家計の欄の合計部に記されている．すなわち，本政策による便益は全て家計のみに帰着しているものといえる．

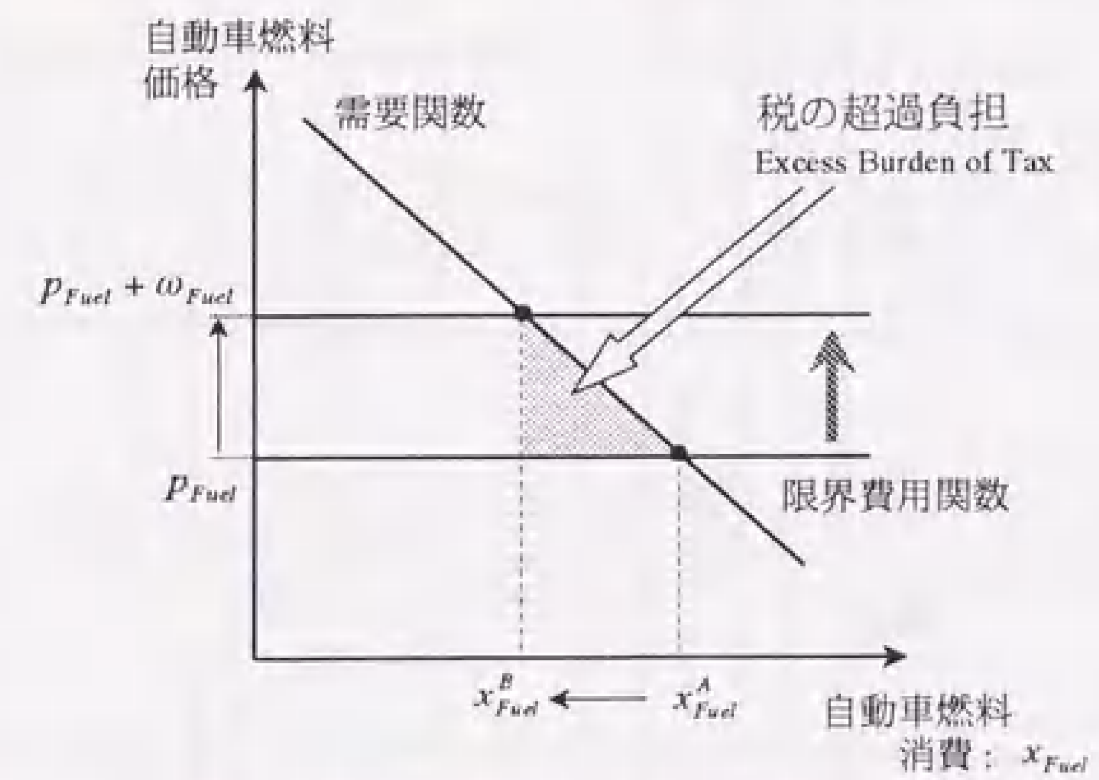

図 5-6　自動車燃料税の超過負担(家計部分)

(b) 自動車重量税増徴策・公共交通整備政策

同様にして，自動車重量税増徴策，公共交通整備政策についても便益帰着構成表の作成を行った．その結果を表 5-2, 5-3 に示す．

このうち，自動車重量税増徴策は自動車本体の消費に対して賦課をかけられる税制策であるといえる．また，公共交通整備政策とは，自家用自動車以外の公共交通の整備によって，自動車交通から公共交通機関への利用の転換をはかり，間接的に自動車交通を抑制しようという政策である．なお，ここでは，非自家用自動車交通の所要時間 t_m を短縮させることにより政策を表現し，その整備には整備費用 C が必要であるとした．ただし，その整備費用は家計が負担するものとする．なお，各政策の有効性の比較検討については，数値シミュレーション結果を含めて改めて解説することにする．

表 5-1　便益帰着構成表　－自動車燃料税増徴策－

主体 / 項目	家計	生産財 j' 生産部門	運輸サービス k 生産部門	自動車製造部門	自動車燃料生産部門	政府	合計
労働市場	$\oint_{A\to B} L_S\,dp_L$	$-\oint_{A\to B} L_{j'}\,dp_L$	$-\oint_{A\to B} L_k\,dp_L$	$-\oint_{A\to B} L_{Auto}\,dp_L$	$-\oint_{A\to B} L_{Fuel}\,dp_L$	0	0
燃料種別 h の自動車資本市場	$\oint_{A\to B} \overline{M^h}\,dp_M^h$	0	$-\oint_{A\to B} M_k^h\,dp_M^h$	0	0	0	0
非自動車資本市場	$\oint_{A\to B} \overline{K}\,dp_K$	$-\oint_{A\to B} K_{j'}\,dp_K$	$-\oint_{A\to B} K_k\,dp_K$	$-\oint_{A\to B} K_{Auto}\,dp_K$	$-\oint_{A\to B} K_{Fuel}\,dp_K$	0	0
生産財 j' 市場	$-\oint_{A\to B} x_{j'}\,dp_{j'}$	$\oint_{A\to B}\{y_{j'}-x_{j'}^{j'}\}dp_{j'}$	$-\oint_{A\to B} x_k^{j'}\,dp_{j'}$	$-\oint_{A\to B} x_{Auto}^{j'}\,dp_{j'}$	$-\oint_{A\to B} x_{Fuel}^{j'}\,dp_{j'}$	0	0
運輸ｻｰﾋﾞｽ k 市場	$-\oint_{A\to B} x_k\,dp_k$	$-\oint_{A\to B} x_{j'}^k\,dp_k$	$\oint_{A\to B}\{y_k-x_k^k\}dp_k$	$-\oint_{A\to B} x_{Auto}^k\,dp_k$	$-\oint_{A\to B} x_{Fuel}^k\,dp_k$	0	0
自動車市場	$-\oint_{A\to B} x_{Auto}\,dp_{Auto}$	0	0	$\oint_{A\to B} y_{Auto}\,dp_{Auto}$	0	0	0
自動車燃料市場	$-\oint_{A\to B} x_{Fuel}\,dp_{Fuel}$	0	$-\oint_{A\to B} x_k^{Fuel}\,dp_{Fuel}$	0	$\oint_{A\to B} y_{Fuel}\,dp_{Fuel}$	0	0
自動車燃料税変化の影響	$-\oint_{A\to B} x_{Fuel}\,d\omega_{Fuel}$	0	$-\oint_{A\to B} x_k^{Fuel}\,d\omega_{Fuel}$	0	0	$\oint_{A\to B}\left[\left(x_{Fuel}+\sum_k x_k^{Fuel}\right)d\omega_{Fuel} + \omega_{Fuel}\left(dx_{Fuel}+\sum_k dx_k^{Fuel}\right)\right]$	$\oint_{A\to B}\omega_{Fuel}\left(dx_{Fuel}+\sum_k dx_k^{Fuel}\right)$
税再分配	$\oint_{A\to B} d\Psi$	0	0	0	0	$\oint_{A\to B} -d\Psi$	0
自動車購入費用節約	$\oint_{A\to B}\frac{p_{Auto}x_{Auto}}{x_{Auto}^P}\,dx_{Auto}^P$	0	0	0	0	0	$\oint_{A\to B}\frac{p_{Auto}x_{Auto}}{x_{Auto}^P}\,dx_{Auto}^P$
交通機関所要時間変化の影響	$-\oint_{A\to B}\left\{p_L x_{Auto}^P dt_{Auto} + p_L\sum_m x_m^P dt_m\right]$	0	0	0	0	0	$-\oint_{A\to B}\left\{p_L x_{Auto}^P dt_{Auto} + p_L\sum_m x_m^P dt_m\right]$
外部不経済変化の影響	$\oint_{A\to B}\frac{\partial I_D}{\partial r}dr$	0	0	0	0	0	$\oint_{A\to B}\frac{\partial I_D}{\partial r}dr$
合　計		0	0	0	0	0	SNB

$$\oint_{A\to B}\left[\omega_{Fuel}\left\{\sum_k dx_k^{Fuel}+dx_{Fuel}\right\}+\frac{x_{Auto}p_{Auto}}{x_{Auto}^P}dx_{Auto}^P-\left(p_L x_{Auto}^P dt_{Auto}+p_L\sum_m x_m^P dt_m\right)+\frac{\partial I_D}{\partial r}dr\right]$$

ただし，簡単化のため $\frac{\partial e}{\partial V}\lambda = 1$ として表した．

表 5-2　便益帰着構成表　－自動車重量税増徴策－

主体 / 項目	家計	生産財 j' 生産部門	運輸サービス k 生産部門	自動車製造部門	自動車燃料生産部門	政府	合計
労働市場	$\oint_{A\to B} L_S\,dp_L$	$-\oint_{A\to B} L_{j'}\,dp_L$	$-\oint_{A\to B} L_k\,dp_L$	$-\oint_{A\to B} L_{Auto}\,dp_L$	$-\oint_{A\to B} L_{Fuel}\,dp_L$	0	0
燃料種別 h の自動車資本市場	$\oint_{A\to B} \overline{M^h}\,dp_M^h$	0	$-\oint_{A\to B} M_k^h\,dp_M^h$	0	0	0	0
非自動車資本市場	$\oint_{A\to B} \overline{K}\,dp_K$	$-\oint_{A\to B} K_{j'}\,dp_K$	$-\oint_{A\to B} K_k\,dp_K$	$-\oint_{A\to B} K_{Auto}\,dp_K$	$-\oint_{A\to B} K_{Fuel}\,dp_K$	0	0
生産財 j' 市場	$-\oint_{A\to B} x_{j'}\,dp_{j'}$	$\oint_{A\to B}\{y_{j'}-x_{j'}^{j'}\}dp_{j'}$	$-\oint_{A\to B} x_k^{j'}\,dp_{j'}$	$-\oint_{A\to B} x_{Auto}^{j'}\,dp_{j'}$	$-\oint_{A\to B} x_{Fuel}^{j'}\,dp_{j'}$	0	0
運輸ｻｰﾋﾞｽ k 市場	$-\oint_{A\to B} x_k\,dp_k$	$-\oint_{A\to B} x_{j'}^k\,dp_k$	$\oint_{A\to B}\{y_k-x_k^k\}dp_k$	$-\oint_{A\to B} x_{Auto}^k\,dp_k$	$-\oint_{A\to B} x_{Fuel}^k\,dp_k$	0	0
自動車市場	$-\oint_{A\to B} x_{Auto}\,dp_{Auto}$	0	0	$\oint_{A\to B} y_{Auto}\,dp_{Auto}$	0	0	0
自動車重量税変化の影響	$-\oint_{A\to B} x_{Auto}\,d\omega_{Auto}$	0	0	0	0	$\oint_{A\to B}\left[x_{Auto}d\omega_{Auto}+\omega_{Auto}dx_{Auto}\right]$	$\oint_{A\to B}\omega_{Auto}dx_{Auto}$
税再分配	$\oint_{A\to B} d\Psi$	0	0	0	0	$\oint_{A\to B} -d\Psi$	0
自動車燃料市場	$-\oint_{A\to B} x_{Fuel}\,dp_{Fuel}$	0	$-\oint_{A\to B} x_k^{Fuel}\,dp_{Fuel}$	0	$\oint_{A\to B} y_{Fuel}\,dp_{Fuel}$	0	0
自動車購入費用節約	$\oint_{A\to B}\frac{p_{Auto}x_{Auto}}{x_{Auto}^P}\,dx_{Auto}^P$	0	0	0	0	0	$\oint_{A\to B}\frac{p_{Auto}x_{Auto}}{x_{Auto}^P}\,dx_{Auto}^P$
交通機関所要時間変化の影響	$-\oint_{A\to B}\left\{p_L x_{Auto}^P dt_{Auto} + p_L\sum_m x_m^P dt_m\right]$	0	0	0	0	0	$-\oint_{A\to B}\left\{p_L x_{Auto}^P dt_{Auto} + p_L\sum_m x_m^P dt_m\right]$
外部不経済変化の影響	$\oint_{A\to B}\frac{\partial I_D}{\partial r}dr$	0	0	0	0	0	$\oint_{A\to B}\frac{\partial I_D}{\partial r}dr$
合　計		0	0	0	0	0	SNB

$$\oint_{A\to B}\left[\omega_{Auto}dx_{Auto}+\frac{x_{Auto}\left(p_{Auto}+\omega_{Auto}\right)}{x_{Auto}^P}dx_{Auto}^P-\left(p_L x_{Auto}^P dt_{Auto}+p_L\sum_m x_m^P dt_m\right)+\frac{\partial I_D}{\partial r}dr\right]$$

ただし，簡単化のため $\frac{\partial e}{\partial V}\lambda = 1$ として表した．

表 5-3 便益帰着構成表 －公共交通整備政策－

主体 / 項目	家計	生産財 j' 生産部門	運輸サービス k 生産部門	自動車製造部門	自動車燃料生産部門	政府	合計
公共高越整備費用	0	0	0	0	0	$-\oint_{A\to B} dC$	$-\oint_{A\to B} dC$
是負担・税収	$-\oint_{A\to B} dC$	0	0	0	0	$\oint_{A\to B} dC$	0
労働市場	$\oint_{A\to B} L_S\, dp_L$	$-\oint_{A\to B} L_{j'}\, dp_L$	$-\oint_{A\to B} L_k\, dp_L$	$-\oint_{A\to B} L_{Auto}\, dp_L$	$-\oint_{A\to B} L_{Fuel}\, dp_L$	0	0
燃料種別 h の自動車資本市場	$\oint_{A\to B} \overline{M^h}\, dp_M^h$	0	$-\oint_{A\to B} M_k^h\, dp_M^h$	0	0	0	0
非自動車資本市場	$\oint_{A\to B} \overline{K}\, dp_K$	$-\oint_{A\to B} K_{j'}\, dp_K$	$-\oint_{A\to B} K_k\, dp_K$	$-\oint_{A\to B} K_{Auto}\, dp_K$	$-\oint_{A\to B} K_{Fuel}\, dp_K$	0	0
生産財 j' 市場	$-\oint_{A\to B} x_{j'}\, dp_{j'}$	$\oint_{A\to B} \{y_{j'} - x_{j'}^{j'}\} dp_{j'}$	$-\oint_{A\to B} x_k^{j'}\, dp_{j'}$	$-\oint_{A\to B} x_{Auto}^{j'}\, dp_{j'}$	$-\oint_{A\to B} x_{Fuel}^{j'}\, dp_{j'}$	0	0
運輸ｻｰﾋﾞｽ k 市場	$-\oint_{A\to B} x_k\, dp_k$	$-\oint_{A\to B} x_{j'}^k\, dp_k$	$\oint_{A\to B} \{y_k - x_k^k\} dp_k$	$-\oint_{A\to B} x_{Auto}^k\, dp_k$	$-\oint_{A\to B} x_{Fuel}^k\, dp_k$	0	0
自動車市場	$-\oint_{A\to B} x_{Auto}\, dp_{Auto}$	0	0	$\oint_{A\to B} y_{Auto}\, dp_{Auto}$	0	0	0
自動車燃料市場	$-\oint_{A\to B} x_{Fuel}\, dp_{Fuel}$	0	$-\oint_{A\to B} x_k^{Fuel}\, dp_{Fuel}$	0	$\oint_{A\to B} y_{Fuel}\, dp_{Fuel}$	0	0
自動車購入費用節約	$\oint_{A\to B} \frac{p_{Auto} x_{Auto}}{x_{Auto}^P} dx_{Auto}^P$	0	0	0	0	0	$\oint_{A\to B} \frac{p_{Auto} x_{Auto}}{x_{Auto}^P} dx_{Auto}^P$
交通機関所要時間変化の影響	$-\oint_{A\to B} \left\{p_L x_{Auto}^P dt_{Auto} + p_L \sum_m x_m^P dt_m\right]$	0	0	0	0	0	$-\oint_{A\to B} \left\{p_L x_{Auto}^P dt_{Auto} + p_L \sum_m x_m^P dt_m\right]$
外部不経済変化の影響	$\oint_{A\to B} \frac{\partial I_D}{\partial r} dr$	0	0	0	0	0	$\oint_{A\to B} \frac{\partial I_D}{\partial r} dr$
合 計		0	0	0	0	0	SNB

$$\oint_{A\to B} \left[-dC + \frac{x_{Auto} p_{Auto}}{x_{Auto}^P} dx_{Auto}^P - \left(p_L x_{Auto}^P dt_{Auto} + p_L \sum_m x_m^P dt_m \right) + \frac{\partial I_D}{\partial r} dr \right]$$

ただし，簡単化のため $\frac{\partial e}{\partial V}\lambda = 1$ として表した．

5－5 結 語

本章では，環境政策を評価するための応用一般均衡モデルの開発を行った．特に，自動車交通に起因する環境問題に対して，その政策評価を行うため，次の点について詳細に記述したモデル構築を行った点が特徴して挙げられる．

1) モデルへの環境質の導入
2) 運輸産業および自動車関連産業の行動モデルの精緻化
3) 家計の運輸サービス消費行動モデルの精緻化

まず，1)については，第 3 章で解説した，環境質を考慮した一般均衡モデルに基づいている．ただし，ここでは環境質変化による影響を家計のみが受けるものとしている．また，環境質として，特に自動車交通による外部不経済を考え，よって環境質すなわち外部不経済レベルは，自動車交通の輸送量(人キロ・トンキロ)に依存して決定されるものとした．これにより，便益評価の段階で，外部不経済レベルの変化による影響についても，等価的偏差 EV により計測することが可能となることを示した．

また，2)については，まず，自動車運輸産業の生産行動において，自動車を資本として明示的に扱った．これにより，自動車運輸サービスの生産における自動車の役割をより現実的に表現できているといえる．また，シミュレーション分析において，いくつかの税制策のバリエーションを考えるため，自動車関連産業も自動車製造産業と自動車燃料製造産業を明示的に示した．応用一般均衡モデルでは，このように比較的産業の数を増やすことに自由道があることがわかる．

3)については，まず，交通において，その価格を一般化価格により表現している点が挙げられる．そして，その上で，現在土木計画学の分野で適用が定着してきている Logit モデルを用いて家計の交通行動モデルを定式化した．ただし，そこでは，応用一般均衡理論との整合性を保つため，Logit モデルによる定式化も，最適化問題として定式化を行っている．

さらに，これまでも繰り返す述べてきたが，ここでは，政策が各経済主体の活動に及ぼす影響，さらにはその結果生じると予想される社会的厚生の損失についても，等価的偏差 EV を用いて計量化することが可能であり，さらに，便益帰着構成表によりその影響の波及構造を明らかにすることが可能となることも明らかとした．

付録５－Ａ－１　－最適化問題によるロジットモデルの導出－

ここでは，以下に示すようなロジットモデル導出のための最適化問題を考える．例えば，交通機関iに対する機関選択問題を考える．

$$S = \max_{P_i} \sum_i P_i \cdot v_i - \frac{1}{\theta}\sum_i P_i \ln P_i \tag{5.A.1}$$

$$\text{s.t.} \sum_i P_i = 1 \tag{5.A.2}$$

ただし，
i　：交通機関を表す添字，
P_i　：交通機関選択割合，
v_i　：交通機関iを選択した場合に得られる効用，
θ　：ロジットパラメータ，
S　：最大期待効用値．

まず，ラグランジュ関数$\Im$を以下のように設定する．

$$\Im = \sum_i P_i v_i - \frac{1}{\theta}\sum_i P_i \ln P_i + \lambda\left[1 - \sum_i P_i\right] \tag{5.A.3}$$

ただし，λ　：ラグランジュ乗数．

式(5.A.1)，式(5.A.2)の最適化問題は，式(5.A.3)のラグランジュ関数を偏微分することによって解くことができる．$\Im$をP_i，λで偏微分して得られる一階の条件は，

$$\frac{\partial \Im}{\partial P_i} = v_i - \frac{1}{\theta}\left(\ln P_i + 1\right) - \lambda = 0 \tag{5.A.4}$$

$$\frac{\partial \Im}{\partial \lambda} = 1 - \sum_i P_i = 0 \tag{5.A.5}$$

である．

まず，式(5.A.4)より

$$P_i = \exp\left[\theta\left(v_i - \lambda\right) - 1\right] \tag{5.A.6}$$

が得られる．この両辺の総和をとると，

$$\sum_i P_i = \sum_i \exp\left[\theta\left(v_i - \lambda\right) - 1\right]. \tag{5.A.7}$$

これを式(5.A.5)に代入する．

$$\sum_i \exp\left[\theta\left(v_i - \lambda\right) - 1\right] = 1 \tag{5.A.8}$$

$$\exp\left[\theta\lambda + 1\right] = \sum_i \exp\theta v_i \tag{5.A.9}$$

式(5.A.10)の両辺に対し対数をとり，λについて解くと

$$\lambda = \frac{1}{\theta}\left[\ln\sum_i \exp\theta v_i - 1\right] \tag{5.A.10}$$

となる．これを，式(5.A.4)に代入して整理する．

$$\ln P_i = \theta v_i - \ln\sum_i \exp\theta v_i \tag{5.A.11}$$

$$P_i = \exp\left[\theta v_i - \ln\sum_i \exp\theta v_i\right] \tag{5.A.12}$$

$$= \frac{\exp\theta v_i}{\sum_i \exp\theta v_i} \tag{5.A.13}$$

以上のように，交通機関選択割合P_iが求められる．

式(5.A.13)を式(5.A.1)の目的関数に代入して，整理することにより最大期待効用値が求められる．

$$S = \sum_i P_i \cdot v_i - \frac{1}{\theta}\sum_i P_i \ln\left\{\frac{\exp\theta v_i}{\sum_i \exp\theta v_i}\right\} \tag{5.A.14}$$

$$= \frac{1}{\theta}\ln\sum_i \exp\theta v_i \tag{5.A.15}$$

続いて，所得を交通サービスに充てる場合を考える．

$$I_T = \sum_i p_i T_i \tag{5.A.16}$$

ただし，
I_T　：交通サービスのみに充てる所得，
T_i　：交通機関iのサービス消費量，
p_i　：交通機関iの価格．

また，ここで，総交通サービス消費量をT，その価格をpとすると，

$$I_T = pT \tag{5.A.17}$$

さらに，総交通サービス消費量Tを利用すると，式(5.A.16)は以下のように書き替えられる．

$$I_T = \sum_i p_i \cdot P_i T \tag{5.A.18}$$

式(5.A.17)と式(5.A.18)より，

$$p = \sum_i p_i P_i \tag{5.A.19}$$

が得られる．式(5.A.19)に，式(5.A.6)を代入する．

$$p = \sum_i p_i \cdot \exp\left[\theta\left(v_i - \lambda\right) - 1\right] \tag{5.A.20}$$

これに，式(5.A.10)におけるλを代入する．

$$p = \sum_i p_i \cdot \exp\theta\left[v_i - \frac{1}{\theta}\ln\sum_i \exp\theta v_i\right] \tag{5.A.21}$$

さらに，式(5.A.15)より，

$$p = \sum_i p_i \cdot \exp\theta\left[v_i - S\right] \tag{5.A.22}$$

と得られ，総交通サービス消費価格pが導出される．

付録５－Ａ－２　－利潤関数・間接効用関数の全微分形の誘導－

（ａ）産業jの利潤関数の全微分形

式(5.21)より，産業jの利潤関数の全微分形は以下のようになる．

$$d\Pi_j = \frac{\partial \Pi_j}{\partial p_j}dp_j + \frac{\partial \Pi_j}{\partial C_j}\left[\frac{\partial C_j}{\partial c_j}\left\{\frac{\partial c_j}{\partial p_{L_j}}dp_{L_j} + \frac{\partial c_j}{\partial p_{K_j}}dp_{K_j}\right\} + \sum_i \frac{\partial C_j}{\partial p_i}dp_i\right] \tag{5.A.23}$$

そこで，$\Pi_j = p_j y_j - C_j\left\{y_j, \cdots, p_i, \cdots, c_j\left(p_L{}^+, p_K{}^+\right)\right\}$を，価格ベクトルで偏微分する．

$$\frac{\partial \Pi_j}{\partial p_j} = y_j \tag{5.A.24}$$

$$\frac{\partial \Pi_j}{\partial C_j} = -1, \quad \frac{\partial C_j}{\partial c_j} = a_j^0 y_j = PC_j \tag{5.A.25}$$

$$\frac{\partial c_j}{\partial p_{L_j}^+} = D_{L_j}, \quad \frac{\partial c_j}{\partial p_{K_j}^+} = D_{K_j} \tag{5.A.26}$$

$$\frac{\partial C_j}{\partial p_i} = a_j^i y_j = x_j^i \tag{5.A.27}$$

式(5.A.2)はホテリング(Hotelling)の補題より，式(5.A.4)はシェパード(Shephard)の補題より求められる[26),27)]．

式(5.A.2～5)を式(5.A.1)に代入すると，利潤関数の全微分形が求められる．

$$d\Pi_j = y_j dp_j - PC_j \cdot D_{L_j} dp_{L_j}{}^+ - PC_j \cdot D_{K_j} dp_{K_j}{}^+ - \sum_i x_j^i dp_i \tag{5.A.28}$$

なお，このうち第二項，第三項は，式(5.73)より，それぞれ

$$PC_j \cdot D_{L_j} = L_j \tag{5.A.29}$$

$$PC_j \cdot D_{K_j} = K_j \tag{5.A.30}$$

となる．よって，これらを式(5.A.28)に代入することにより式(5.24)が誘導される．

$$d\Pi_j = y_j dp_j - L_j dp_{L_j}{}^+ - K_j dp_{K_j}{}^+ - \sum_i x_j^i dp_i \tag{5.24}$$

（ｂ）運輸産業kの利潤関数の全微分形

産業jの場合と同様，運輸産業kの利潤関数の全微分形も式(5.27)より以下のようになる．

$$d\Pi_k = \frac{\partial \Pi_k}{\partial p_k}dp_k + \frac{\partial \Pi_k}{\partial C_k}\left[\frac{\partial C_k}{\partial c_k}\left\{\frac{\partial c_k}{\partial p_{L_k}}dp_{L_k} + \frac{\partial c_k}{\partial p_{M_k}}dp_{M_k} + \frac{\partial c_k}{\partial p_{K_k}}dp_{K_k}\right\} + \sum_i \frac{\partial C_i}{\partial p_i}dp_i\right] \tag{5.A.31}$$

そこで，産業 j の場合と同様，$\Pi_k = p_k y_k - C_k\left\{y_k,\cdots,p_i,\cdots,c_k\left(p_{L_k}{}^{+}, p_{M_k}{}^{+}, p_{K_k}{}^{+}\right)\right\}$ を価格ベクトルで偏微分して，それを式(5.A.9)に代入すると以下のような形で利潤関数の全微分形が得られる．

$$d\Pi_k = y_k dp_k - PC_k \cdot D_{L_k} dp_{L_k}{}^{+} - PC_k \cdot D_{M_k} dp_{M_k}{}^{+} - PC_k \cdot D_{K_k} dp_{K_k}{}^{+} - \sum_i x_k^i dp_i \qquad (5.A.32)$$

このうち，右辺の第三項は，自動車資本の燃料種別選択に関わる余剰変化を表しているが，ここでは，それを各燃料種別自動車資本を選択した際に得られる効用の平均値と考えられる最大期待効用値 S^F の変化分と置き換えて式展開を行うことにする．このとき，最大期待効用値 S^F の変化分は，以下のように変形できる．

$$dS^F = \sum_h \frac{\partial S^F}{\partial v_h^F} \cdot \frac{\partial v_h^F}{\partial p_{M^h}{}^{+}} dp_{M_k}^{h\,+} = -\sum_h \mathrm{P}_h^F dp_{M_k}^{h\,+} \left(= -dp_{M_k}^{+}\right) \qquad (5.A.33)$$

この変形には，$\dfrac{\partial S^F}{\partial v_h^F} = \mathrm{P}_h^F$ の関係式とともに，式(5.14)より $\dfrac{\partial v_h^F}{\partial p_{M_k}^{h\,+}} = -1$ の関係式を用いた．

$$d\Pi_k = y_k dp_k - PC_k \cdot D_{L_k} dp_{L_k}^{+} - PC_k \cdot D_{M_k} \sum_h \mathrm{P}_h^F dp_{M_k}^{h\,+} - PC_k \cdot D_{K_k} dp_{K_k}^{+} - \sum_i x_k^i dp_i$$

$$(5.A.34)$$

なお，このうち第二項，第四項は，式(5.74)よりそれぞれ

$$PC_k \cdot D_{L_k} = L_k \qquad (5.A.35)$$

$$PC_k \cdot \mathrm{P}_h^F \cdot D_{L_k} = M_k^h \qquad (5.A.36)$$

$$PC_k \cdot D_{K_k} = K_k \qquad (5.A.37)$$

となる．よって，これらを式(5.A.34)に代入することにより，式(5.31)の利潤関数の全微分形が誘導される．

$$d\Pi_k = y_k dp_k - L_k dp_{L_k}^{+} - \sum_h M_k^h dp_{M_k}^{h\,+} - K_k dp_{K_k}^{+} - \sum_i x_k^i dp_i \qquad (5.A.38)$$

（ｃ）間接効用関数の全微分形

式(5.36)では，間接効用関数が，現在消費価格，将来消費価格と総所得の関数として求められることを示したが，それらが下位レベルにおける内生変数であることを考えると，最適現在消費水準 H^* と最適貯蓄(将来消費)水準 $C_F{}^*$ の関数となっていると考えられる．今，静学モデルの範疇で考えて，最適貯蓄(将来消費)水準 $C_F{}^*$ の変化分をゼロとみなすと，間接効用関数の全微分形は以下のようになる．

$$dV = \frac{\partial V}{\partial H^*} dH^* + \sum_h \frac{\partial V}{\partial p_M^h} dp_M^h + \frac{\partial V}{\partial p_K} dp_K + \sum_j \frac{\partial V}{\partial \Pi_j} d\Pi_j + \sum_k \frac{\partial V}{\partial \Pi_k} d\Pi_k + \frac{\partial V}{\partial \tau} d\tau + \frac{\partial V}{\partial r} dr \qquad (5.A.39)$$

このうち，まず右辺第二項以降の誘導を示す．これらは，第二章の付録(２－A(ｂ))と全く同様にして求められる．すなわち，

$$\frac{\partial V}{\partial p_M^h} = \lambda \overline{M^h}, \quad \frac{\partial V}{\partial p_K} = \lambda \overline{K}, \quad \frac{\partial V}{\partial \Pi_j} = \lambda, \quad \frac{\partial V}{\partial \Pi_k} = \lambda, \quad \frac{\partial V}{\partial \tau} = -\lambda \qquad (5.A.40)$$

となる．なお，λ は式(5.33)の最適化問題を解く際に用いられるラグランジュ乗数であり，それは，以下のようにも表される．

$$\lambda = \frac{\partial V}{\partial I_D} \qquad (5.A.41)$$

また，右辺第一項の最適現在消費水準 H^* は，式(5.40)より最適合成財消費水準 X^* と余暇消費価格である労働価格，総旅客運輸サービス価格の関数となっているから，

$$dH^* = \frac{\partial H^*}{\partial X^*} dX^* + \frac{\partial H^*}{\partial p_L} dp_L + \frac{\partial H^*}{\partial p_P} dp_P \qquad (5.A.42)$$

のように，全微分形が求められる．さらに，最適合成財消費水準 X^* は個別財の価格と総貨物運輸サービス水準 $T_F{}^*$ の関数となっており，その $T_F{}^*$ は交通機関別の貨物運輸サービス価格の関数となっていることから，その全微分形はそれぞれ，

$$dX^* = \sum_j \frac{\partial X^*}{\partial p_{j'}} dp_{j'} + \frac{\partial X^*}{\partial T_F{}^*} dT_F{}^* \qquad (5.A.43)$$

なお，式(5.A.42), (5.A.43)の各段階の最適消費水準についてはそれぞれ以下のように誘導が可能である．

総貨物運輸サービス水準： $dT_F{}^*$

まず，総貨物運輸サービス水準 $T_F{}^*$ の全微分形は以下のように求められる．

$$dT_F{}^* = \sum_n \frac{\partial T_F{}^*}{\partial p_n^F} dp_n^F \qquad (5.A.44)$$

この中の $\partial T_F{}^* / \partial p_n^F$ は，以下のように変形される．

$$\frac{\partial T_F{}^*}{\partial p_n^F} = \sum_i \frac{\partial T_F}{\partial x_i^F} \frac{\partial x_i^F}{\partial p_n^F} = \lambda^F \sum_i p_i^F \frac{\partial x_i^F}{\partial p_n^F} \qquad (5.A.45)$$

なお，λ^F は式(5.48)の最適化問題を解く際に用いられるラグランジュ乗数であり，それは，以下のようにも表される．

$$\lambda^F = \frac{\partial T_F{}^*}{\partial I_D} \qquad (5.A.46)$$

また，式(5.48.b)の予算制約式を交通機関別の貨物運輸サービス価格によって偏微分すると，

$$\sum_i p_i^F \frac{\partial x_i^F}{\partial p_n^F} = -x_n^F \tag{5.A.47}$$

が得られる．以上の結果，総貨物運輸サービス水準T_F^*の全微分形は

$$dT_F^* = -\lambda^F \sum_n x_n^F dp_n^F \tag{5.A.48}$$

のように求められる．

合成財消費水準： $\boldsymbol{dX^*}$

式(5.A.43)の$\sum_{j'} \partial X^* / \partial p_{j'}$も前項と同様にして求められ，それより，式(5.A.43)の第一項は以下のようになる．

$$\sum_{j'} \frac{\partial X^*}{\partial p_{j'}} = -\lambda^3 \sum_{j'} x_{j'} dp_{j'} \tag{5.A.49}$$

なお，λ^3は式(5.43)の最適化問題を解く際に用いられるラグランジュ乗数であり，それは，以下のようにも表される．

$$\lambda^3 = \frac{\partial X^*}{\partial I_D} \tag{5.A.50}$$

式(5.A.49)，式(5.A.50)および式(5.A.46)より，式(5.A.43)の合成財消費水準X^*の全微分形は，

$$dX^* = \frac{\partial X^*}{\partial I_D}\left[-\sum_{j'} x_{j'} dp_{j'} - \sum_n x_n^F dp_n^F\right] \tag{5.A.51}$$

のように求められる．

現在消費水準： $\boldsymbol{dH^*}$

式(5.A.42)第二項 $\partial H^* / \partial p_L$は，基本的には前項と同様に変形して求められるが，第2章の付録にて示したように家計の総所得に余暇消費価格とみなした労働価格p_Lが含まれている点に注意すると，

$$\frac{\partial H^*}{\partial p_L} = \lambda^2 (\Omega - S) \tag{5.A.52}$$

のようになる．ただし，λ^2は式(5.35)の最適化問題を解く際に用いられるラグランジュ乗数である．なお，λ^2は以下のようにも表される．

$$\lambda^2 = \frac{\partial H^*}{\partial I_D} \tag{5.A.53}$$

続いて，式(5.A.42)第三項 $\partial H^* / \partial p_P$については，前項と全く同様に求められる．すなわち，

$$\frac{\partial H^*}{\partial p_L} = \lambda^2 (-T_P) \tag{5.A.54}$$

となる．

以上式(5.A.53)，式(5.A.54)および式(5.A.50)より，式(5.A.42)の現在消費水準H^*の全微分形は，

$$dH^* = \frac{\partial H^*}{\partial I_D}\left[-\sum_{j'} x_{j'} dp_{j'} - \sum_n x_n^F dp_n^F + (\Omega - S) dp_L - T_P dp_P\right] \tag{5.A.55}$$

として求められる．

総旅客運輸サービス消費水準： $\boldsymbol{-T_P dp_P}$

式(5.A.33)の第四項は，旅客運輸サービス消費に関わる余剰の変化分である．この余剰変化分は，前期までで自家用自動車を保有している家計と保有していない家計の二つに分けて考える必要がある．このうち，前者については式(5.57.a)にて求められた自動車保有者の交通機関選択に関わる最大期待効用値S_a^Mの変化分として，また，後者については式(5.66.a)にて得られる新規自動車購入に関わる最大期待効用値S^Aの変化分に置き換えて求めることができる．これは，前節の運輸産業の利潤関数全微分形を求めた方法と同様である．よって，旅客運輸サービス消費に関わる余剰の変化分は以下のように表される．

$$-T_P dp_P = T_P\left[\mathrm{P}_{t-1}^H \, dS_a^M + \left\{1 - \mathrm{P}_{t-1}^H\right\} dS^A\right] \tag{5.A.56}$$

ただし，P_{t-1}^Hは前期($t-1$期)の自動車保有率を表しており，式(5.65)より

$$\mathrm{P}_{t-1}^H = \frac{(1-\delta) D_{t-1}}{\overline{D}} \tag{5.A.57}$$

のように求められる．

式(5.A.56)のうち，新規自動車購入に関わる最大期待効用値S^Aの変化分dS^Aは，以下のように変形できる．

$$dS^A = \sum_o \frac{\partial S^A}{\partial u_o^A} du_o^A = \sum_o \mathrm{P}_o^A du_o^A \tag{5.A.58}$$

ただし，添字oは新規自動車購入者(a)，非購入者(b)を表す．

まず，新規自動車購入者($o = a$)の効用関数u_a^Aの変化について考える．これは式(5.65.a)より，

$$du_a^A = dS_a^S \, , \tag{5.A.59}$$

すなわち，燃料種別選択に関わる最大期待効用値S_a^Sの変化分となる．そして，これも式(5.A.58)と同様に，

$$dS_a^S = \sum_h \frac{\partial S_a^S}{\partial u_{ah}^S} du_{ah}^S = \sum_h \mathrm{P}_{ah}^S du_{ah}^S \tag{5.A.60}$$

のように変形される．このdu_{ah}^{M}は，自動車購入者のうち，燃料種別hを選択した家計の効用変化分であり，式(5.61)を全微分することにより以下のように求められる．

$$du_{ah}^{S}=dS_{ah}^{M}+\frac{1}{x_{ah,Auto}^{P}}\left\{-x_{Auto}^{h}dp_{Auto}^{h}+\frac{x_{Auto}^{h}p_{Auto}^{h}}{x_{ah,Auto}^{P}}dx_{ah,Auto}^{P}\right\} \tag{5.A.61}$$

さらに，右辺第一項のdS_{ah}^{M}は，自動車購入者の交通機関選択に関わる最大期待効用値，すなわち式(5.57.a)より得られるS_{ah}^{M}の変化分を表していおり，これまでと同様以下のように変形される．

$$dS_{ah}^{M}=\sum_{m}\frac{\partial S_{ah}^{M}}{\partial u_{ahm}^{M}}du_{ahm}^{M}=\sum_{m}\mathrm{P}_{ahm}^{M}du_{ahm}^{M} \tag{5.A.62}$$

なお，du_{ahm}^{M}は自動車購入者が交通機関mを選択した場合の効用変化分を表している．

以上の結果より，新規自動車購入者の効用変化分du_{a}^{A}は以下のように求められる．

$$du_{a}^{A}=\sum_{h}\mathrm{P}_{ah}^{S}\left[\sum_{m}\mathrm{P}_{ahm}^{M}du_{ahm}^{M}+\frac{1}{x_{ah,Auto}^{P}}\left\{-x_{Auto}^{h}dp_{Auto}^{h}+\frac{x_{Auto}^{h}p_{Auto}^{h}}{x_{ah,Auto}^{P}}dx_{ah,Auto}^{P}\right\}\right] \tag{5.A.63}$$

一方，式(5.A.58)における自動車非購入者($o=b$)の効用関数u_{b}^{A}の変化分は，式(5.65.b)を全微分することにより求められる．

$$du_{b}^{A}=dS_{b}^{M}=\sum_{m}\frac{\partial S_{b}^{M}}{\partial u_{bm}^{M}}du_{bm}^{M}=\sum_{m}\mathrm{P}_{bm}^{M}du_{bm}^{M} \tag{5.A.64}$$

なお，du_{bm}^{M}は自動車非購入者が交通機関mを選択した場合の効用変化分を表している．

よって，式(5.A.63)，(5.A.64)より，新規自動車購入に関わる最大期待効用値S^{A}の変化分dS^{A}が以下のように求められる．

$$\begin{aligned}dS^{A}=\mathrm{P}_{a}^{A}\sum_{h}\mathrm{P}_{ah}^{S}&\left[\sum_{m}\mathrm{P}_{ahm}^{M}du_{ahm}^{M}+\frac{1}{x_{ah,Auto}^{P}}\left\{-x_{Auto}^{h}dp_{Auto}^{h}+\frac{x_{Auto}^{h}p_{Auto}^{h}}{x_{ah,Auto}^{P}}dx_{ah,Auto}^{P}\right\}\right]\\&+\mathrm{P}_{b}^{A}\sum_{m}\mathrm{P}_{bm}^{M}du_{bm}^{M}\end{aligned} \tag{5.A.65}$$

これを，式(5.A.56)に代入する．なお，このとき式(5.A.56)の右辺第一項dS_{a}^{M}が，式(5.A.63)にて求められていることを考慮すると，

$$\begin{aligned}-T_{P}dp_{P}=T_{P}\Bigg[&\mathrm{P}_{t-1}^{H}\sum_{h}\mathrm{P}_{ah}^{S}\sum_{m}\mathrm{P}_{ahm}^{M}du_{ahm}^{M}\\&+\left(1-\mathrm{P}_{t-1}^{H}\right)\left\{\mathrm{P}_{a}^{A}\left[\sum_{h}\mathrm{P}_{ah}^{S}\left\{\sum_{m}\mathrm{P}_{ahm}^{M}du_{ahm}^{M}+\frac{1}{x_{ah,Auto}^{P}}\left(-x_{Auto}^{h}dp_{Auto}^{h}+\frac{x_{Auto}^{h}p_{Auto}^{h}}{x_{ah,Auto}^{P}}dx_{ah,Auto}^{P}\right)\right\}\right]\right.\\&\left.+\mathrm{P}_{b}^{A}\sum_{m}\mathrm{P}_{bm}^{M}du_{bm}^{M}\right\}\Bigg]\end{aligned} \tag{5.A.66}$$

ここで，今期(t期)の自動車保有率P_{t}^{H}は，前期の自動車保有率に新規自動車購入分考慮して求められるので，

$$\mathrm{P}_{t}^{H}=\mathrm{P}_{t-1}^{H}+\left(1-\mathrm{P}_{t-1}^{H}\right)\mathrm{P}_{a}^{A}\cdot\sum_{h}\mathrm{P}_{ah}^{S} \tag{5.A.67}$$

となる．一方，今期の自動車非保有率は，

$$1-\mathrm{P}_{t}^{H}=\left(1-\mathrm{P}_{t-1}^{H}\right)\cdot\mathrm{P}_{b}^{A} \tag{5.A.68}$$

となる．

式(5.A.66)を今期の自動車保有率を用いて書き直すと，

$$\begin{aligned}-T_{P}dp_{P}=T_{P}\Bigg[&\underbrace{\mathrm{P}_{t}^{H}\sum_{h}\mathrm{P}_{ah}^{S}\sum_{m}\mathrm{P}_{ahm}^{M}du_{ahm}^{M}}_{①}\\&\underbrace{+\left(1-\mathrm{P}_{t-1}^{H}\right)\mathrm{P}_{a}^{A}\sum_{h}\mathrm{P}_{ah}^{S}\frac{1}{x_{ah,Auto}^{P}}\left(-x_{Auto}^{h}dp_{Auto}^{h}+\frac{x_{Auto}^{h}p_{Auto}^{h}}{x_{ah,Auto}^{P}}dx_{ah,Auto}^{P}\right)}_{②}\\&\underbrace{+\left(1-\mathrm{P}_{t}^{H}\right)\sum_{m}\mathrm{P}_{bm}^{M}du_{bm}^{M}}_{③}\Bigg]\end{aligned} \tag{5.A.69}$$

のようになる．このうち，①は自動車保有者の交通機関に関わる余剰変化，②は新規自動車購入者の自動車購入に関わる余剰変化，③は自動車非保有者の交通機関に関わる余剰変化を表している．

最後に，自動車保有者および非保有者が交通機関mを選択した場合の効用変化分の誘導を示す．まず，自動車保有者が交通機関mを選択した場合の効用変化分du_{ahm}^{M}は，自家用自動車以外の交通と，自家用自動車($m=Auto$)とを分けて考える必要があるが，式(5.54)と式(5.55)よりそれぞれ以下のように求められる．

$$du_{ahm}^{M}=-dp_{m}-\left(p_{L}dt_{m}+t_{m}dp_{L}\right) \tag{5.A.70}$$

$$du_{ah,Auto}^{M}=-\xi dp_{Fuel}-\left(p_{L}dt_{Auto}+t_{Auto}dp_{L}\right) \tag{5.A.71}$$

また，自動車非保有者が交通機関mを選択した場合の効用変化分du_{bm}^{M}は，保有者のそれと同様の形となるので，

$$du_{bm}^{M}=-dp_{m}-\left(p_{L}dt_{m}+t_{m}dp_{L}\right) \tag{5.A.72}$$

のように求められる．

式(5.A.70～72)を式(5.A.69)に代入して，旅客運輸サービス消費に関わる余剰の変化分が求められるが，その際，交通機関別旅客運輸サービス消費が各選択確率を用いて，

$$x_{Auto}^{P}=T_{P}\left[\mathrm{P}_{t}^{H}\cdot\sum_{h}\mathrm{P}_{ah}^{S}\mathrm{P}_{ah,Auto}^{M}\right] \tag{5.A.73}$$

$$x_{Auto}^{P'} = T_P\left[\left(1-\mathrm{P}_{t-1}^{H}\right)\mathrm{P}_a^A\cdot\sum_h \mathrm{P}_{ah}^S \mathrm{P}_{ah,Auto}^M\right] \tag{5.A.74}$$

$$x_m^P = T_P\left[\mathrm{P}_t^H\cdot\sum_h \mathrm{P}_{ah}^S\mathrm{P}_{ahm}^M + \left(1-\mathrm{P}_t^H\right)\cdot\mathrm{P}_{bm}^M\right] \tag{5.A.75}$$

のように表されるとすると，式(5.A.69)より $-T_P dp_P$ は，

$$\begin{aligned}-T_P dp_P =& -x_{Auto}dp_{Auto} + \frac{x_{Auto}p_{Auto}}{x_{Auto}^P}dx_{Auto}^P - \xi\cdot x_{Auto}^P\,dp_{Fuel} - \sum_m x_m^P dp_m \\ & -\left(p_L x_{Auto}^P dt_{Auto} + p_L\sum_m x_m^P dt_m\right) - \left(t_{Auto}x_{Auto}^P + \sum_m t_m x_m^P\right)dp_L\end{aligned} \tag{5.A.76}$$

のように求められる．

ただし，x_{Auto}^P ：自家用自動車による旅客運輸サービス消費，

$x_{Auto}^{P'}$ ：特に新規自動車購入者に限った自家用自動車旅客運輸サービス消費，

x_m^P ：自動車保有者・非保有者，両者の交通機関 m の旅客運輸サービス消費．

以上の結果，式(5.A.76)を式(5.A.55)に代入することにより，現在消費水準 H^* の全微分形が以下のように求められる．

$$\begin{aligned}dH^* = \frac{\partial H^*}{\partial I_D}\Bigg[& -\sum_{j'} x_{j'}dp_{j'} - \sum_n x_n^F dp_n^F - x_{Auto}dp_{Auto} + \frac{x_{Auto}p_{Auto}}{x_{Auto}^P}dx_{Auto}^P - \xi\cdot x_{Auto}^P\,dp_{Fuel} - \sum_m x_m^P\,dp_m \\ & -\left(p_L x_{Auto}^P dt_{Auto} + p_L\sum_m x_m^P dt_m\right) + \left(\Omega - S - t_{Auto}x_{Auto}^P - \sum_m t_m x_m^P\right)dp_L\Bigg]\end{aligned} \tag{5.A.77}$$

効用水準： dV

以上の結果，効用水準の全微分形は，式(5.A.77)および式(5.A.40)を式(5.A.39)に代入すると，

$$\begin{aligned}dV = \lambda\Bigg[& -\sum_{j'} x_{j'}dp_{j'} - \sum_n x_n^F dp_n^F - x_{Auto}dp_{Auto} + \frac{x_{Auto}p_{Auto}}{x_{Auto}^P}dx_{Auto}^P - \xi\cdot x_{Auto}^P\,dp_{Fuel} - \sum_m x_m^P dp_m \\ & -\left(p_L x_{Auto}^P dt_{Auto} + p_L\sum_m x_m^P dt_m\right) + \left(\Omega - S - t_{Auto}x_{Auto}^P - \sum_m t_m x_m^P\right)dp_L \\ & + \sum_h \overline{M^h}dp_M^h + \overline{K}dp_K + \sum_j d\Pi_j + \sum_k d\Pi_k - d\tau + \frac{\partial I_D}{\partial r}dr\Bigg]\end{aligned} \tag{5.A.78}$$

のように求められる．

なお，式(5.A.78)の第五項，第八項については，それぞれ式(5.59)，式(5.34)より以下のように変形が可能である．

$$\xi\cdot x_{Auto}^P = x_{Fuel} \tag{5.A.79}$$

$$\Omega - S - t_{Auto}x_{Auto}^P - \sum_m t_m x_m^P = L_S \tag{5.A.80}$$

また，ここまでの式展開では旅客運輸サービスと貨物運輸サービスとを厳密に区別してきたが，簡単化のため式(5.A.78)の第二項，第六項はまとめて以下のように表現を改めることとする．

$$\sum_n x_n^F dp_n^F + \sum_m x_m^P dp_m = \sum_k x_k dp_k \tag{5.A.81}$$

添字 k は，これまでと同様運輸産業を表している．

式(5.A.79～81)を式(5.A.78)に代入することにより，式(5.72)の間接効用関数の全微分形が誘導される．

$$\begin{aligned}dV = \lambda\Bigg[& -\sum_{j'} x_{j'}dp_{j'} - \sum_k x_k dp_k - x_{Auto}dp_{Auto} + \frac{x_{Auto}p_{Auto}}{x_{Auto}^P}dx_{Auto}^P - x_{Fuel}\,dp_{Fuel} \\ & -\left(p_L x_{Auto}^P dt_{Auto} + p_L\sum_m x_m^P dt_m\right) + L_S dp_L + \sum_h \overline{M^h}dp_M^h + \overline{K}dp_K \\ & + \sum_j d\Pi_j + \sum_k d\Pi_k - d\tau + \frac{\partial I_D}{\partial r}dr\Bigg]\end{aligned} \tag{5.72}$$

第６章　応用一般均衡モデルの動学分析への拡張

６－１　緒　言

本章では，第 5 章にて構築された応用一般均衡モデルを，動学的応用一般均衡モデルへと拡張し，環境政策の中長期的な効果・影響の分析を行うことができる計量厚生分析の枠組みを提示する．

前章にて構築したような静学モデルは，基本的には，現在の経済システムの構造に従ってモデル化されているため，時間経過とともに経済構造が変化するような状況を表現することができず，政策の長期的な影響が十分に分析できないとの問題があった．これに対し，動学モデルでは，時間による影響を考慮してモデル化されているので，政策の長期的な影響を分析することが可能となり，より幅の広い分析が行えるとされている．環境問題を考えた場合，特に将来への影響が問題とされ，長期的な枠組みで分析を行っていくことが必要と思われる．例えば，現在問題となっている地球温暖化も正に長期の問題であり，幾年か先の将来のために現在の我々に何ができるのかを考えることが重要となってくるのである．

本章でも，前章同様，基本的には自動車交通に起因する外部不経済の問題を対象として，動学的応用一般均衡モデルの構築を行う．なお，実際にモデル化を行う前に本章では，動学モデルの基礎的な概念について，マクロ経済学の議論を参考に解説を行う．その後，環境政策の評価を行うために開発されてきた既存の動学的応用一般均衡モデルを整理することにより本章での方向性を明らかにして，その上で，動学モデルの開発を行うことにする．

６－２　動学化の概念

実際の動学的応用一般均衡(DCGE：Dynamic Computable General Equilibrium)モデルの構築に入る前に，動学モデルに関する基礎的概念を示しておく．

動学モデルの説明を行うには，まず，ストックとフローの概念を明らかにしておく必要がある．ストックとは，過去から蓄積された資本・資産，フローとは，一定の期間内に動く財貨の流量と定義される[中込(1995)[1]，藤田(1989)[2]]．また，ストックとフローの関係としては，ストックはフローの源泉になると考えられている．例えば，自動車を例に挙げれば，自動車の保有台数がストックにあたる．そのストックとしての自動車を使って，人々は物や人の輸送を行う．そして，その輸送キロ数や運んだ物や人の量などがフローと呼ばれる．フローとはこのようにある期間が限定されて初めて量が特定されるが，通常，マクロ統計等では 1 年間がその期間と

して採用されている．

当然のことながら，ストックとしての自動車台数が増加すれば，そこから生み出されるフローも増加して，結果として効用が高められることになる．しかしその一方で，ストックを増やすためには，新たに自動車を製造しなければならず，そのための費用も必要となる．そのため，人々は，ストックを増大させるために必要とされる費用と，その費用を用いてストックを増加させ，そこから生まれる新たなフローから得る効用とを比較して，ストックをどれだけ増加させるのかを決定する．

以上をまとめると，動学モデルの基本的な構造としては，まず，人々はストックを蓄積するための投資から生み出される新たなフローから得る収益と，投資のための費用とを比較して貯蓄量を決める．その貯蓄が投資にまわされ，ストックが蓄積される．そのストックの蓄積が次期に新たなフローを生み，消費者がそれを享受する(図 6-1)．もし，新たなフローから得られる効用が低かったなれば人々は次の期の貯蓄を減らすだろうし，効用が得られたならばより貯蓄を増やすかもしれない．そのようにして，再び貯蓄量が決定され，それがストック蓄積のための投資へとまわされるのである．この流れこそが，動学モデルの基本構造であるといえる[岩井(1989)[3]，中島・吉岡(1989)[4]]．

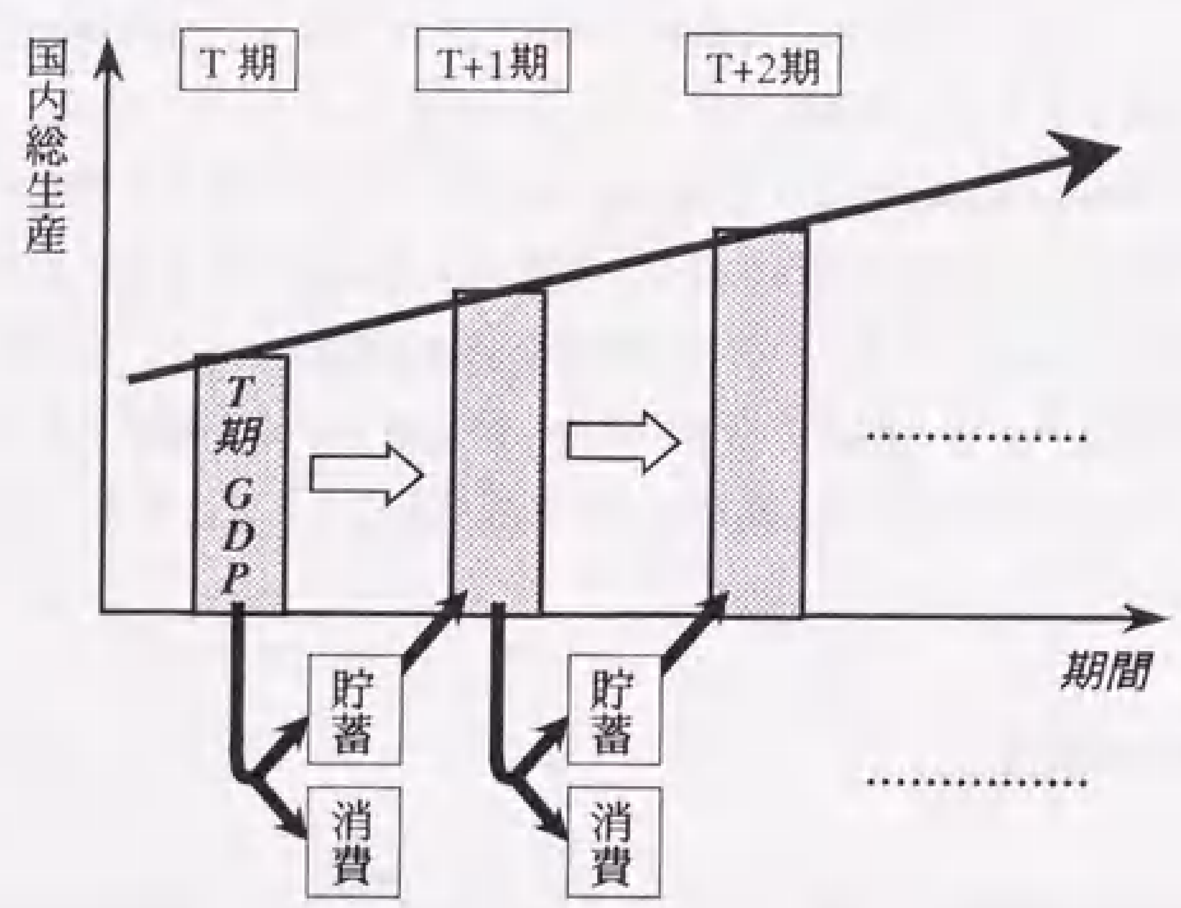

図 6-1 動学モデルの基本構造

6－3 環境政策評価のための既往の動学的応用一般均衡モデル

近年の環境問題への関心の高まりからか，動学的応用一般均衡(DCGE)モデルによる環境問題あるいは環境政策の評価・分析を行っている研究もいくつかみられる．

Jorgenson and Wilcoxen (1993)[5]では，エネルギー部門を明示的に組み込んだ DCGE モデルにより，二酸化炭素排出の抑制政策が長期的なエネルギー価格の変化を介して，どのような影響を

経済成長に及ぼすのか分析している．また，Capros et al (1998)[6]は，EU の 12 ヶ国を対象した大規模な DCGE モデルである GEM-E3 モデルの開発を行っており，それを用いて，EU-12 ヶ国全部に炭素税を賦課した場合や，その中の主要な国のみに賦課した場合など，いくつかの税制策のパターンについてシミュレーション分析を行っている．さらに，同じ GEM-E3 モデルを用いて Conrad and Schmidt (1998)[7]は，EU-12 ヶ国に対し排出権取引を認めた場合の効果，影響について分析を行っている．また，物理的な側面からの大気循環システムによる気候変動予測モデル[森田・松岡 (1995)[8]]と DCGE モデルを連動させることにより，気候の変動が社会経済へ与える影響を分析しようという試みもなされている[Duraiappah, A.K. (1993)[9]]．

わが国においても，地球温暖化問題の解決に向けた環境政策の評価に対して DCGE モデルを適用した研究がみられる．黒田・新保(1993)[10]では，基本的な部分は，上記の Jorgenson and Wilcoxen モデルに依っているが，それを日本経済に対して適用を行い，炭素税導入の効果・影響の分析を行っている．その他の地球温暖化対策に対して DCGE を適用した例については，天野(1997)[11]あるいは Amano(1992)[12]によって詳細にまとめられている．地球温暖化以外の環境問題に対して DCGE モデルの適用を試みている例としては，Miyata(1997)[13]による廃棄物処理に関わる問題に対して分析を行ったものが挙げられる．

6－4 動学的応用一般均衡モデルの構造

6－4－1 モデルの全体構造

本章にて構築する動学的応用一般均衡モデルは，前章にて構築された静学的応用一般均衡モデルを一期とし，毎期ごとに市場が清算される枠組みを想定する．ただし，ある期における家計の最適化行動モデルにおいて求められる貯蓄量が，資本ストック蓄積のための投資にまわされ，それより次期の資本ストック量が決定するという，6－2節で概説を行った動学構造を有するモデルを構築する．

なお，産業が生産のために投入する資本のストック蓄積をモデル化している点では，従来のモデルと基本的には同じであるが，本論文では，家計が保有する自動車についても明示的にストックの概念として捉え，その蓄積についてもモデル化を行っていく．

6－4－2 資本ストックの蓄積

(a) 資本ストック蓄積の概要

まず，産業が生産のために投入する資本のストック蓄積についての説明を行う．本モデルも，

家計の貯蓄決定行動を通して求められる貯蓄が投資にまわされ，その投資分が資本ストックの増加分となるとしている点では，6－2節で説明した既往の動学モデルの構造を有すると考えられる．ただし，本論文では，資本を自動車資本と非自動車資本に分類してモデル化を行っているため，投資の割り振りを決定する部分を新たにモデル化する必要がある．その結果，各資本ごとに投資量が決定され，それが次期の資本ストックの増加分となる(図 6-2)．こうして蓄積された資本ストックが次の期には新たな利潤を生み，それが配当として家計に還元される．家計はこの配当を期待して貯蓄を行うのである．なお，本論文では，資本ストックの減耗δ_c[c：自動車資本か非自動車資本かを表す]も考慮するが，それは固定的に扱う．

また，本モデルでは資本ストックと資本フロー(サービス)とを区別するため，単位資本ストックはφ_k[固定]の資本サービスを生むとし，それが各期において資本市場に供給されると考える．

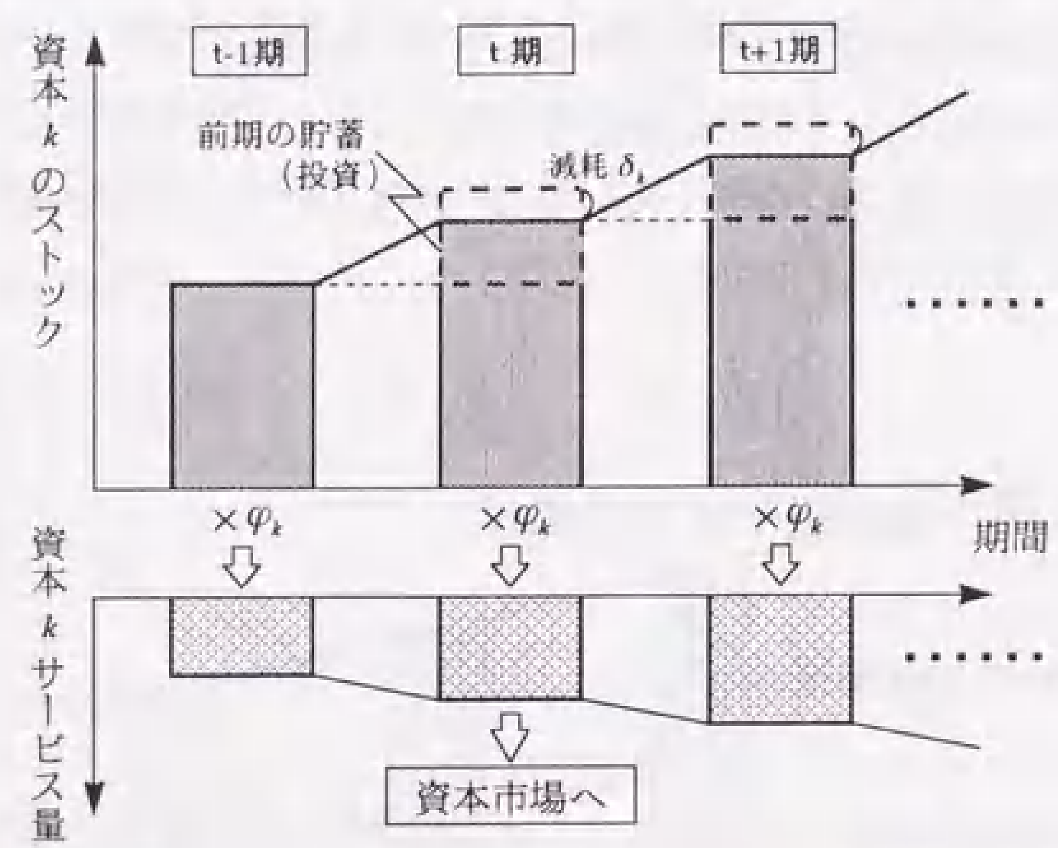

図 6-2　資本ストック蓄積と資本サービス供給量の変化

（b）家計の貯蓄および投資行動

続いて，資本ストックの蓄積の源泉となる家計の貯蓄行動を説明する．

基本的なモデルは，第 5 章にて構築された CGE モデルと同じである．このうち，図 5-4 において，貯蓄・投資行動を取り出して，モデルの概念を示したものが図 6-3 である．ただし，本論文では，貯蓄から決まる投資量の各資本への割り振りについては，直接的なモデル化は行わず，第 5 章式(5.35.b)より決まる将来消費C_Fの自動車資本・非自動車資本への割り振りをモデル化することにより，間接的に各資本の投資量を決定する構造を考える．なぜなら，その方が投資の帰属価値の概念が捉えやすいと考えられるためである．

式(5.35.b)より決まる将来消費C_Fの各資本への割り振りのモデルは，基本的には，5－3－3節で定式化された運輸産業における自動車資本の燃料種別選択モデルと同様であるが，ここ

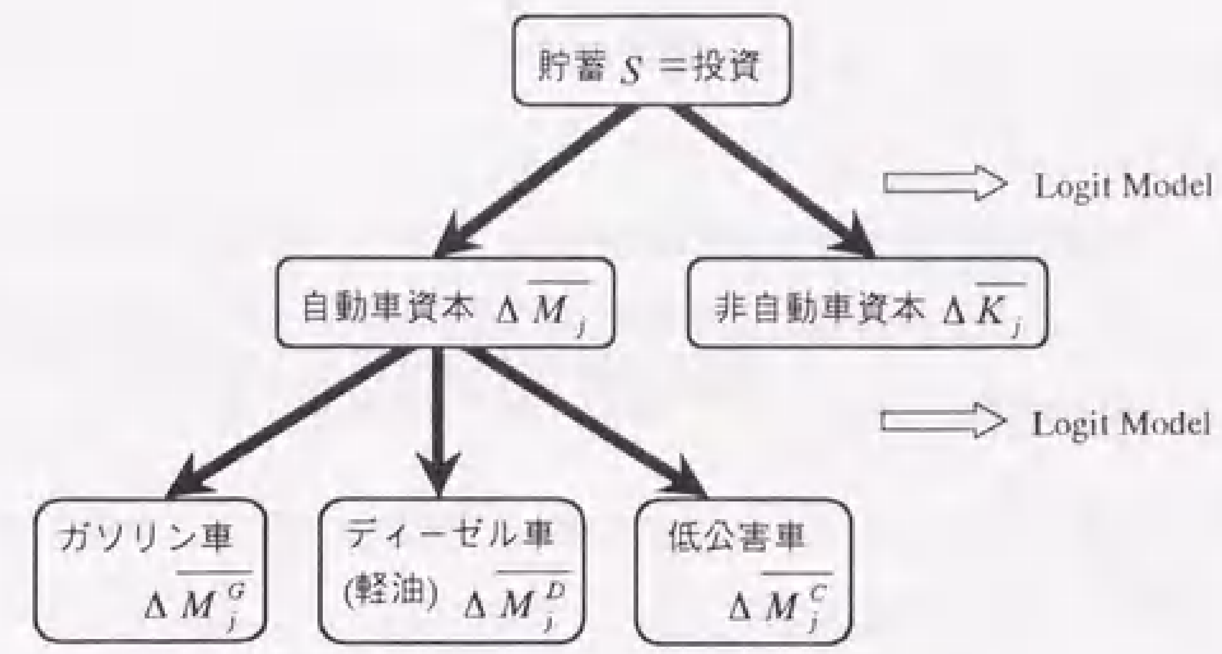

図 6-3　家計の投資先選択行動の概念図

では，まず自動車資本と非自動車資本との選択を行い，その後，自動車資本に関しその燃料種別選択を行うという点で Nested 構造を有しているので，以下のような Neseted Entropy モデルを用いた定式化を行う[宮城(1995)[14]，赤松・半田(1996)[15]など]．

$$S^I = \max_{\Phi_h^{IF},P_c^I}\left[ZH^{IF}\left(\Phi_h^{IF},P_c^I\right)+P_K^I\left\{-\frac{p_{S_K}p_X}{p_K\,\varphi_K}\right\}-\frac{1}{\theta^I}\sum_c\left\{P_c^I\cdot\ln P_c^I\right\}\right] \tag{6.1.a}$$

$$\text{s.t.}\ \sum_c P_c^A=1,\ \sum_h \Phi_h^{IF}=P_M^I \tag{6.1.b}$$

ここで，

$$ZH^{IF}=\sum_h \Phi_h^{IF}\left\{-\frac{p_{S_{M^h}}p_X}{p_{M^h}\,\varphi_{M^h}}\right\}-\frac{1}{\theta^{IF}}\sum_h\left\{\Phi_h^{IF}\cdot\ln\frac{\Phi_h^{IF}}{P_M^I}\right\} \tag{6.2}$$

ただし，c　：資本を表す添字($=M$:自動車資本，$=K$:非自動車資本)，

P_c^I　：投資先としての資本c選択確率，

p_{S_K}　：非自動車資本の資本財購入価格，

p_X　：合成財価格，

p_K　：非自動車資本価格，

φ_K　：資本のフロー・ストック比率，

Φ_h^{IF}　：$=P_M^I\cdot P_h^{IF}$，

P_h^{IF}　：燃料種別hの自動車資本への投資確率，

θ^I,θ^{IF}：ロジットパラメータ，

S^I　：投資先の選択確率決定に関わる最大期待効用値．

式(6.1.a) の目的関数は，資本cへの投資選択の基本公式，またその中に組み込まれているZH^{IF}は，燃料種別hの自動車資本への投資選択の基本公式を表している．また，式(6.1.a)中の$\frac{p_{S_K}p_X}{p_K\varphi_K}$，式(6.2)中の$\frac{p_{S_{M^h}}p_X}{p_{M^h}\varphi_{M^h}}$は，各資本に対する将来消費量$C_{F_c}$の帰属価値(シャドウプライス)を表している．すなわち，家計が貯蓄による次期以降の収益と，逆に貯蓄によって現時点で消

費できなくなる額とがバランスするように貯蓄を決定すると仮定することにより導出される[16]．

$$p_K \varphi_K D_K = p_X C_{F_K} \tag{6.3}$$

式(6.2)の左辺は，，次期以降の非自動車資本価格も p_K であると期待する家計の貯蓄 S_K がもたらす収益を表しており，右辺は，貯蓄により現時点であきらめなければならない消費 C_{F_K} に合成財価格 p_X と等しい期待価格をかけたものである．式(6.2)を変形すると，

$$p_{S_K} S_K = \left(\frac{p_{S_K} p_X}{p_K \varphi_K} \right) C_{F_K} \tag{6.4}$$

となり，この C_{F_K} の帰属価値として $\dfrac{p_{S_K} p_X}{p_K \varphi_K}$ が求められる．なお，$\dfrac{p_{S_{M^h}} p_X}{p_{M^h} \varphi_{M^h}}$ も同様にして求められる．

式(6.1)を解くと，各投資先選択確率が求められる．

【自動車資本 M への投資確率】

$$P_M^I = \frac{1}{1 + \exp \theta^I \left[\left\{ -\dfrac{p_{S_K} p_X}{p_K \varphi_K} \right\} - \dfrac{1}{\theta^{IF}} \ln \sum_h \exp \left\{ \theta^{IF} \left(-\dfrac{p_{S_{M^h}} p_X}{p_{M^h} \varphi_{M^h}} \right) \right\} \right]} \tag{6.5.a}$$

【燃料種別 h の自動車資本への投資確率】

$$P_h^{IF} = \frac{\exp \left\{ \theta^{IF} \left(-\dfrac{p_{S_{M^h}} p_X}{p_{M^h} \varphi_{M^h}} \right) \right\}}{\sum_h \exp \left\{ \theta^{IF} \left(-\dfrac{p_{S_{M^h}} p_X}{p_{M^h} \varphi_{M^h}} \right) \right\}} \tag{6.5.b}$$

また，式(6.1)の最適化問題に付随して，式(18)の将来消費の価格 p_C も導出される．

$$p_C = \sum_c \left\{ \frac{p_{S_c} p_X}{p_c \varphi_c} \right\} \exp \theta^F \left[-\frac{p_{S_c} p_X}{p_c \varphi_c} - S^I \right] \tag{6.6.a}$$

$$S^I = \frac{1}{\theta^F} \ln \sum_c \theta^F \left\{ -\frac{p_{S_c} p_X}{p_c \varphi_c} \right\} \tag{6.6.b}$$

以上の結果より，式(5.35.b)にて決まる将来消費 C_F の，燃料種別自動車資本かつ自動車資本と非自動車資本への割り振りが決定される．

$$C_{F_c} = P_c^I C_F \tag{6.7.a}$$

$$C_{F_{M^h}} = P_h^{IF} C_{F_M} \tag{6.7.b}$$

さらに，式(6.2)の関係式より，貯蓄量 S_K, S_{M^h} すなわち資本蓄積量 $\Delta \overline{K}, \Delta \overline{M^h}$ も決定する．

$$S_K \left(= \Delta \overline{K} \right) = \frac{p_X}{p_K \varphi_K} C_{F_K} \tag{6.8.a}$$

$$S_{M^h} \left(= \Delta \overline{M^h} \right) = \frac{p_X}{p_{M^h} \varphi_{M^h}} C_{F_{M^h}} \tag{6.8.b}$$

6－4－3　家計の自家用自動車保有台数の蓄積

家計の自家用自動車保有台数の蓄積は，静学モデルにおける自動車購入モデルの枠組みと同様に定式化できる．すなわち，式(5.61)より，t 期の家計の燃料種別 h の新規自家用自動車消費が以下のように求められる．

$$x_h{}^t = \left[\overline{D} - (1 - \delta) D^{t-1} \right] \mathrm{P}_1^{A\,t} \cdot \mathrm{P}_h^{S\,t} \tag{6.9}$$

ただし，$x_h{}^t$ ：家計の t 期の車種 h の新規自動車消費，

$\overline{D}$ ：全世帯が自動車を保有した場合の総自動車保有台数，

D_{t-1} ：$t-1$ 期の家計の総自動車保有台数，

$\mathrm{P}_1^{A\,t}$ ：t 期の新規自動車購入率，

$\mathrm{P}_h^{S\,t}$ ：t 期の車種 h の選択確率，δ ：自動車減耗率．

δ ：自動車減耗率，

家計は，これより得られる自動車台数の下で，静学モデルの枠組みに従い，自家用自動車等の旅客運輸サービス消費を行う．

6－5　便益の定義

動学的応用一般均衡モデルでの便益は，各期ごとに静学モデルにて定義したように EV を導出し，現在価値換算して求めることにする．ただし，静学モデルと全く同じように EV を定義すると二重計算になってしまう．なぜなら，式(5.36)の間接効用関数には貯蓄の項が含まれており，動学モデルではそれが将来の消費に充てられるため，そのときに再び貯蓄分を考慮することになってしまうからである．そこで，動学モデルでは，現在消費の水準 H^* (式(5.40))を用いて各期ごとに EV_t を定義する．その結果，t 期の便益 EV_t は，以下のように求められる．

$$EV_t = \frac{\left\{ I_D^2 \right\}_t^B \left\{ \left(\Delta_2 \right)_t^B \right\}^{\frac{1}{\sigma_2 - 1}} - \left\{ I_D^2 \right\}_t^A \left\{ \left(\Delta_2 \right)_t^A \right\}^{\frac{1}{\sigma_2 - 1}}}{\left\{ \left(\Delta_2 \right)_t^A \right\}^{\frac{1}{\sigma_2 - 1}}} + \frac{\mu \cdot \left[r_t^B - r_t^A \right]}{\left\{ \left(\Delta_2 \right)_t^A \right\}^{\frac{1}{\sigma_2 - 1}}} \tag{6.10}$$

総便益は，EV_t を現在価値で割り引いて総和をとり，以下のように求める．

$$SNB = \sum_t \frac{EV_t}{(1+i)^t} \tag{6.11}$$

ただし，　SNB ：総便益，

i　：社会的割引率．

6－6　結　語

本章では，第 5 章にて構築された応用一般均衡モデルの動学モデルへの拡張を行った．本動学的応用一般均衡モデルは，静学的応用一般均衡モデルを一期とし，毎期ごとに市場が清算される枠組みを想定しているため，いわゆる経済学における最適成長論で扱われるような枠組みではないが，将来に渡る環境変化の影響およびその抑制のための諸政策の評価を行うことが可能となっている．

しかし，この場合，静学モデルによる分析と動学モデルによる分析と，どちらの分析が結果として有効かつ的確な評価となりうるのかという点が問題となろう．この点について，静学分析と動学分析の性質の違いを明らかにすることによって次のように考える．まず，静学分析は，現在の経済システムの構造に従ってモデル化されたものであり，時間経過とともに経済構造が変化するような場合の影響は考慮されない反面，短期的には信頼性が高いと考えられる．一方，動学分析は，時間による影響を考慮してモデル化されたものであり，政策の長期的な影響を分析することが可能となる反面，将来の経済システム構造に対する多くの不確定要因のために，静学分析に比べて信頼性が劣るという問題がある．

よって，まず，静学分析によってある程度信頼性の高い結果を示した後，その結果と併せて，動学分析による結果を検討する方向が，最善の方法であると考えられる．

第 7 章　数値シミュレーションによる環境政策の計量厚生分析

7－1　緒　言

本章では，第 5 章にて構築された静学的応用一般均衡モデル，第 6 章で構築された動学的応用一般均衡モデルを用いて，実際にいくつかの自動車交通に起因する外部不経済削減政策について数値シミュレーション分析を行う．

なお，数値計算を行うためには，生産関数，生産容量関数および効用関数のパラメータを決定する必要がある．そこで，第 4 章にて説明を行ったキャリブレーション手法を用いてパラメータ推定を行う．以下ではまず，パラメータ推定に必要な基準年データセットの作成を行い，それらのデータをもとにパラメータ推定を行った結果を示す．

その後，外部不経済削減政策として，自動車燃料税増徴策，自動車重量税増徴策，公共交通整備政策，低公害車普及政策の 4 政策に対し，数値シミュレーション分析を行い，各政策の有効性についての検討を行う．

7－2　データセットの作成

ここでは，4－6－1 節にて解説を行ったデータ整備の方法に沿って，第 5 章，第 6 章の応用一般均衡モデルに対応するデータセットの作成を行う．

7－2－1　経済関係のデータセット

経済関係のデータセットに関しては，基本的には表 4-1 にて示した 1990 年産業連関表 [1]が用いられる．これを改めて表 7-1 に示す．

ここでも，表 7-1 の産業連関表の拡張を行う．まず，第一に 4－6－1 節(a)と同様，余暇時間，交通消費時間を組み込む必要がある．また，政府から家計，逆に家計から政府への移転所得も推計されなければならないし，第 7 章にて動学モデルを構築したことに関連して，貯蓄に関わるデータも組み込まれなければならない．

(a) 余暇時間・交通時間消費額の推計

余暇時間，交通消費時間のうち，余暇時間については，4－6－1 節(a)と全く同様にして

表7-1　1990年産業連関表

表7-2　拡張産業連関表(社会会計行列)

求められる．

総労働時間＝148,209 (百万時間/年)

余暇時間＝168,959 (百万時間/年)

なお，交通消費時間に関しては，交通関係のデータから作成することとし，次項にて改めて示すが，結果として以下のように求められる．

総交通時間＝20,361 (百万時間/年)

よって，総利用可能時間は，337,529 (百万時間/年)と定義される．

また，労働時間と産業連関表の雇用者所得データから賃金率が 1,800 円と計算できるので，余暇消費額と交通時間消費額は以下となる．

余暇消費額＋交通時間消費額＝340,774,957 (百万円/年)

(ｂ) 貯蓄・移転所得の推計

貯蓄に関し，企業貯蓄は付加価値部門の資本減耗引当がそれに相当する．よってここでは，家計と政府についての貯蓄が求められなければならない．

なお，これらについては「国民経済計算年報(経済企画庁編)[2]」より求めることができる．

以上の結果，表 7-2 に示すような拡張された産業連関表が作成される．これは，社会会計行列と呼ばれているものとも解釈できる[武野・金丸(1997)[3]，中島・吉岡(1989)[4]]．

7－2－2　交通関係のデータセット

交通部門に関しては，データとして輸送量などが比較的得やすい．この輸送量とは，旅客部門は人キロで，貨物部門はトンキロで表されるものである．1990 年時点での各輸送量は表 7-3 のようになっている．なお，これらの時系列変化についても，図 7-1 に示した．

本論文では，運輸産業の生産についてこの輸送量をベースとして表現することにする．これより，運輸サービスの価格は人キロあるいはトンキロあたりの価格に修正される．さらに，この運輸サービス価格の中の旅客部門については，本モデルでは一般化価格にて定義を行った．そのため，各交通機関に対して，単位輸送人キロあたりの交通所要時間を求める必要がある．これに関し，鉄道部門は，「数字でみる鉄道(運輸省鉄道局)[5]」から主要都市間の所要時間および営業キロ数を求め，推計できる．また，道路部門は，「道路交通経済要覧(道路経済研究所・道路交通経済研究会)[6]」の全国平均速度データより，航空部門も「道路交通経済要覧(道路経済研究所・道路交通経済研究会)[6]」の飛行時間データより推計した．その所要時間と一般化価格の推計結果を表 7-4 に示す．また，この交通所要時間から７－２－１(ａ)節の交通消費時間が

表 7-3　旅客運輸・貨物運輸輸送量 (1990 年時点)

		産業	家計	合計	分担率
旅客部門	鉄道	155,159	232,319	387,478	29.99%
	道路	31,673	61,307	92,980	7.20%
	自家用自動車	186,449	573,631	760,080	58.82%
	航空	12,472	39,152	51,624	4.00%
	旅客合計	385,753	906,409	1,292,162	-
貨物部門	鉄道	22,116	5,080	27,196	3.95%
	道路	153,333	49,375	202,708	29.42%
	自家用自動車	71,536	0	71,536	10.38%
	航空	365,824	21,654	387,478	56.24%
	貨物合計	612,809	76,109	688,918	-

単位：旅客部門；人キロ
貨物部門；トンキロ

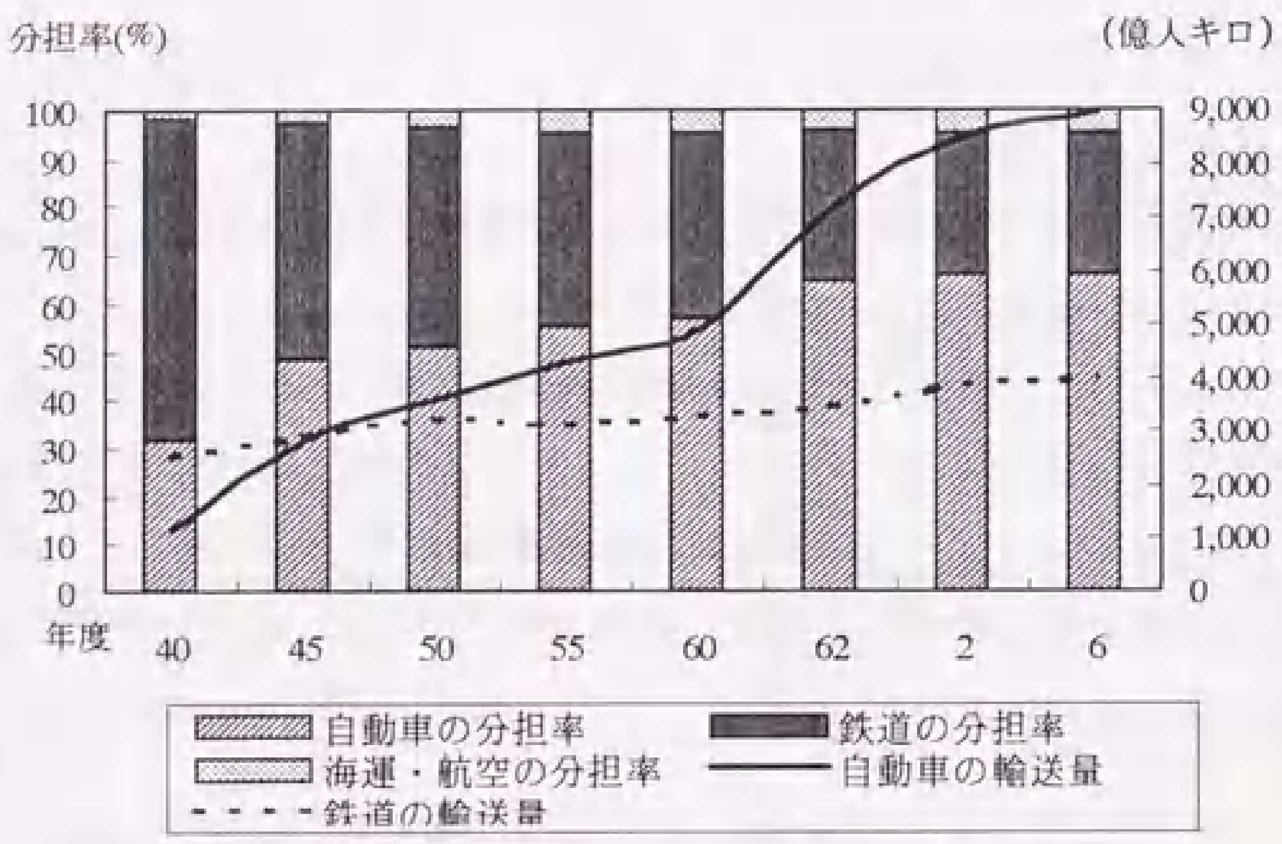

図 7-1　国内旅客運輸の輸送量と分担率の推移

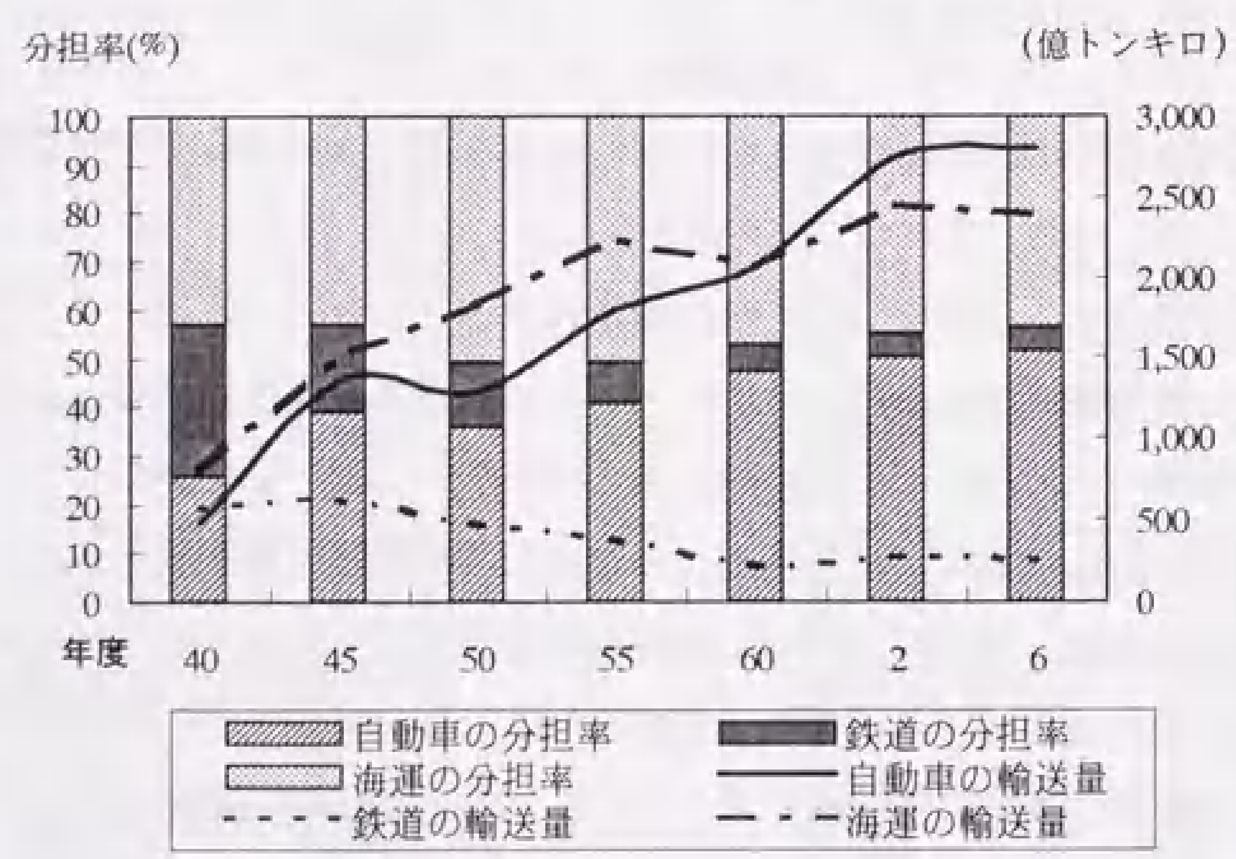

図 7-2　国内貨物運輸の輸送量と分担率の推移

表 7-4　旅客輸送　機関別交通所要時間

	鉄道	道路	航空
所要時間(時間/人キロ)	0.010651	0.028169	0.00001728
一般化価格(円/人キロ)	33.83	101.12	45.92

められる．

また，その他の交通関係のデータについては，まとめて表 7-5 に示した [7),8),9),10),11)]．

表 7-5　主要データの出典一覧

著者・編者	書名	発行	用いた主要データ
経済企画庁経済研究所	国民経済計算年報	大蔵省印刷局	家計所得，家計消費の項目　など
NHK 放送文化研究所	日本人の生活時間		労働時間，レジャー時間　など
ニッセイ基礎研究所	調査月報		貯蓄・投資動向，資本蓄積状況など
(財)道路経済研究所，道路交通経済研究会	道路交通経済要覧	ぎょうせい	旅客・貨物輸送量，自動車走行台キロ，自動車保有台数　など
運輸省運輸政策局情報管理部	数字でみる鉄道	(財)運輸経済研究センター	鉄道所要時間，鉄道建設費用　など
(財)運輸経済研究センター	運輸経済統計要覧		燃料種類別自動車台数　など
(社)日本自動車工業会	道路ポケットブック		ガソリン価格，ガソリン税率，軽油価格，軽油税率　など
(財)自動車検査登録協力会	自動車保有車両数		初年度登録自動車台数
(株)日産自動車	自動車産業ハンドブック	紀伊国屋書店	自動車台数　など

7－2－3　外部不経済的費用関係のデータセット

外部不経済的費用に関わる部分は，本論文では，騒音，地域規模の大気汚染，地球規模の大気汚染，交通事故損失，森林の喪失の 5 項目を考える．地域規模の大気汚染とは，NOx や SOx など，拡散されることにより地上に蓄積しないものの汚染を指し，地球規模の大気汚染とは，地球温暖化など地球規模の環境破壊に影響を与えるといわれている CO_2 等による汚染を指す．

騒音，地域規模の大気汚染，地球規模の大気汚染については，OECD/ECMT(1994)[12)]による計測値(表 7-6)を，交通事故損失については，交通安全プロジェクト研究会(1994)による計測値「4 兆 7 億円」を，森林喪失については Titus(1992)による計測値「110(万円/km^2)～370(万円/km^2)」を用いた．

表 7-6　騒音，地域規模の大気汚染，地球規模の大気汚染の環境原単位

	騒音	地域規模の大気汚染	地球規模の大気汚染
旅客部門(円/人キロ)	0.42	1.69	0.52
貨物部門(円/トンキロ)	0.21	0.65	0.29

7－3　パラメータ推定結果

パラメータの推定方法は，4－6－2節と同様にして行える．それらの結果をまとめて表 7-7～9に示す．

表 7-7　生産関数と生産容量関数のパラメータ

	生産容量比率 $a^0_{j,k}$	労働 $\alpha_{L_{j,k}}$	自動車資本 α_{M_k}	非自動車資本 $\alpha_{K_{j,k}}$	比率ﾊﾟﾗﾒｰﾀ $\eta_{j,k}$
第一次産業	0.438	0.923	0.000	0.077	1324.079
第二次産業	0.292	0.731	0.000	0.269	427.740
第三次産業	0.532	0.798	0.000	0.202	656.820
自動車製造部門	0.170	0.692	0.000	0.308	330.851
自動車燃料生産部門	0.045	0.530	0.000	0.470	106.389
鉄道旅客輸送	0.312	0.710	0.000	0.290	373.915
道路旅客輸送	0.693	0.949	0.011	0.040	1544.811
自家用旅客自動車輸送	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
航空輸送	0.241	0.999	0.000	0.001	1800.544
鉄道貨物輸送	0.385	0.961	0.000	0.039	1585.008
道路貨物輸送	0.599	0.914	0.035	0.051	1342.317
自家用貨物自動車輸送	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
水運	0.287	0.864	0.000	0.136	963.897

家計の静学モデル部分に関わるパラメータ推定値

表 7-8(1)　効用関数（第一段階）

代替弾力性 σ_1	分配ﾊﾟﾗﾒｰﾀ β_1
1.113	0.923

表 7-8(2)　効用関数（第二段階）

代替弾力性 σ_2	合成財γ_X	余暇消費γ_S	総旅客ｻｰﾋﾞｽ γ_P
0.800	0.681	0.235	0.084

表 7-8(3)　効用関数（第三段階）

	支出シェア$\varsigma_{j,F}$
第一次産業	0.019
第二次産業	0.262
第三次産業	0.707
総貨物運輸サービス	0.012

表 7-8(4)　効用関数（貨物運輸の機関選択）

	分配ﾊﾟﾗﾒｰﾀ χ_n	代替弾力性 σ_F
鉄道貨物輸送	0.014	1.000
道路貨物輸送	0.887	
自家用貨物自動車	0.000	
水運	0.098	

表 7-8(5)　旅客運輸モデル(ﾛｼﾞｯﾄﾊﾟﾗﾒｰﾀ)

自動車購入 θ^A	燃料種別選択 θ^S	機関選択 θ^{M^H}	機関選択 θ^{M^L}
0.112	-1.279	-0.077	-0.108

表 7-8(5)　旅客運輸モデル(その他のﾊﾟﾗﾒｰﾀ)

全世帯自動車台数 $\overline{D}$	燃費（高公害） ξ^H	燃費（低公害） ξ^L	自動車減耗率 δ
7,556,307	4.001	2.000	0.022

家計の動学モデル部分に関わるパラメータ推定値

表 7-9(1)　投資選択モデル(ﾛｼﾞｯﾄﾊﾟﾗﾒｰﾀ)

資本投資 θ^I	燃料種別選択 θ^{IF}
-0.009	0.008

表 7-9(2)　非自動車資本比率

	資本比率 $\overline{k^{j,k}}$
第一次産業	0.050
第二次産業	0.642
第三次産業	0.264
自動車燃料生産部門	0.000
鉄道旅客輸送	0.003
道路旅客輸送	0.003
自家用旅客自動車輸送	0.008
航空輸送	0.002
鉄道貨物輸送	0.000
道路貨物輸送	0.018
自家用貨物自動車輸送	0.007
水運	0.004

7－4　政策の設定

本研究では，以下の4つの政策について，数値シミュレーションを試みる．

1) 自動車燃料税増徴策：自動車燃料に税を賦課することにより自動車利用を抑制しようという政策
2) 自動車重量税増徴策：自動車取得時あるいは維持に対し税を賦課して，自動車そのものを抑制しようという政策
3) 公共交通整備政策：公共交通の整備を行うことにより間接的に自動車を抑制しようという政策
4) 低公害車普及政策：自動車に関する技術開発の支援により，低燃費車や低公害車などを普及させる政策

7－5　静学モデルによるシミュレーション結果

7－5－1　自動車燃料税増徴策

まず，静学モデルによる自動車燃料税増徴策のシミュレーション結果を示す．ここでは，ガソリン，軽油税率を順に上昇させて EV の計算を行った．ただし，政策後のガソリン価格と軽油価格が同水準になるように両方の燃料税率を操作している．これは，モデル上では式(5.32)の自動車燃料生産物税に相当する．なお，政策を実施するために必要となる事務的な経費等は考慮していない．また，政策による税収入については，産業および家計に還元されるとした．こ

れは，ミクロ経済学で税制政策の影響を分析する際になされる設定と同様の考えによるものである．

その結果，純便益は図 7-3 のように上に凸のグラフとなった．すなわち，燃料価格が 98(円/ℓ)のとき，純便益が最大となる．なお，この詳細な計算結果については，表 7-10 に示す．

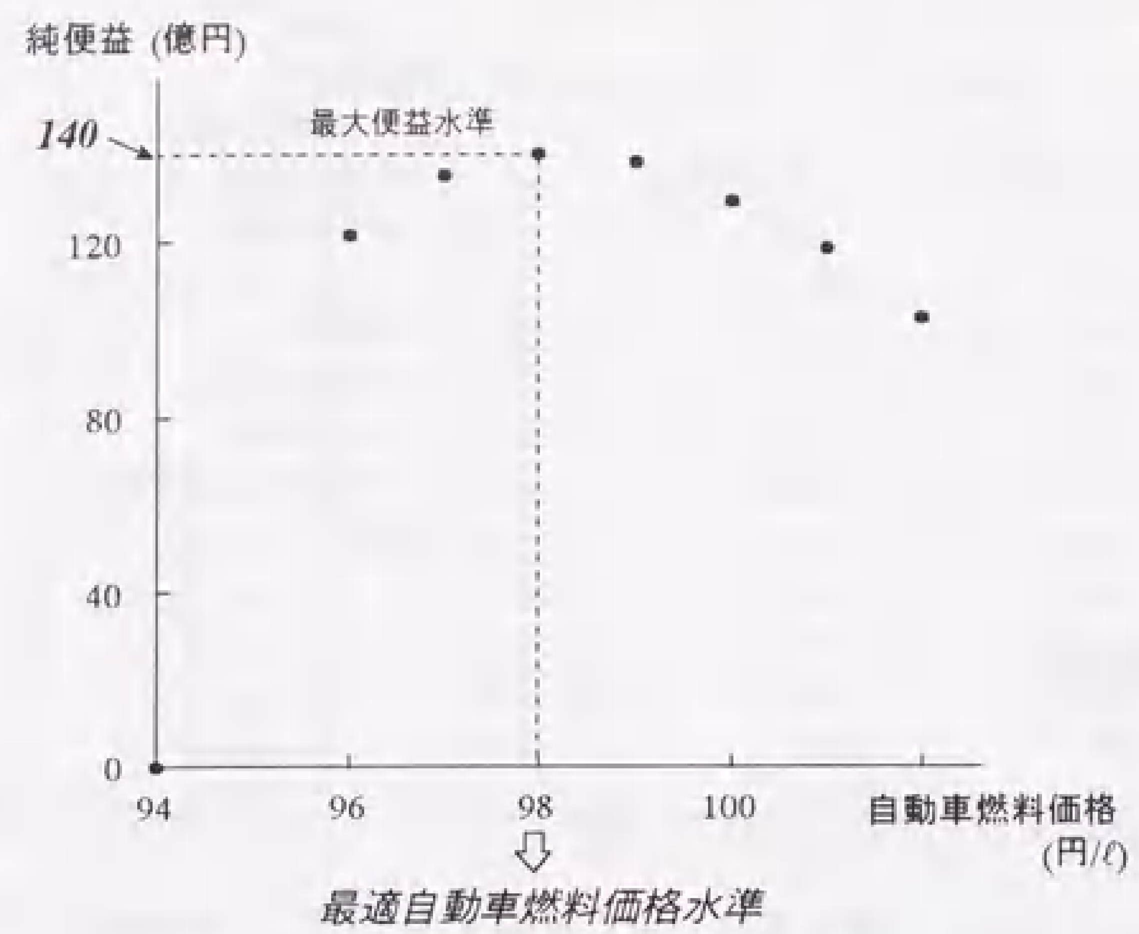

図 7-3　自動車燃料税増徴策による純便益

7－5－2　他の 3 政策との比較

続いて，自動車燃料税増徴策において純便益が最大となるケースに対し，自動車重量税増徴策，非自動車交通(公共交通)整備政策，低公害車普及政策の 3 政策との比較分析を行った．まず，各政策の設定条件を示す．

1) 自動車燃料税増徴策：純便益最大のケース
2) 自動車重量税増徴策：重量税率を 10.3%引き上げた場合．これは，モデル上では式(5.14)の自動車資本税と式(5.32)の自動車本体生産物税に相当する．また，本政策は Case1)の燃料税増徴策と外部不経済削減便益が等しくなるケースである．
3) 公共交通(非自家用自動車交通)整備政策：公共交通(鉄道・バス・タクシー・航空)の一般化費用を 5%引き下げた場合
4) 低公害車普及政策：高公害車の 2%が低公害車に代替されるとした場合

これらについて，実際にシミュレーション計算を行った結果，図 7-4 のような便益計測結果が得られた．

表 7-10　静学モデルによる数値シミュレーション結果
－自動車燃料税増徴策において純便益が最大となるケース－

●生産要素価格

	基準年	政策後	上昇率
労働	1,800	1,800	-0.02%
自動車資本	1.00000	0.99988	-0.01%
非自動車資本	1.00000	0.99980	-0.02%

●収束率

	需要量	供給量	収束率
労働	148,214	148,214	0.00%
自動車資本	303,444	303,416	-0.01%
非自動車資本	90,705,363	90,707,239	0.00%

（百万円）

●生産財価格

	基準年	政策後	上昇率
第一次産業	1.00000	1.00033	0.03%
第二次産業	1.00000	1.00022	0.02%
第三次産業	1.00000	1.00005	0.00%
自動車製造部門	1.00000	1.00005	0.01%
自動車燃料生産部門	1.00000	1.04248	4.25%
鉄道旅客輸送	14.65639	14.65747	0.01%
道路旅客輸送	50.41855	50.46828	0.10%
自家用旅客自動車輸送	24.73374	25.10483	1.50%
航空輸送	45.89300	45.89429	0.00%
鉄道貨物輸送	7.63086	7.63202	0.02%
道路貨物輸送	48.14860	48.32946	0.38%
自家用貨物自動車輸送	48.14860	48.82079	1.40%
水運	12.18004	12.18011	0.00%

●家計消費【第一段階】

	基準年	政策後	変化率
可処分所得	695,712,151	695,547,654	-0.02%
現在消費	16,444,206	16,438,713	-0.03%
貯蓄	108,591,654	108,565,558	-0.02%

●家計消費【第二段階】

	基準年	政策後	変化率
合成財	105,083,865	105,045,343	-0.04%
レジャー	168,959	168,948	-0.01%
旅客運輸	906,409	904,822	-0.18%

●家計消費【第三段階】

	基準年	政策後	変化率
第一次産業	4,405,592	4,403,144	-0.06%
第二次産業	60,484,315	60,457,104	-0.04%
第三次産業	159,928,557	159,884,352	-0.03%
自動車製造部門	5,689,951	5,684,806	-0.09%
自動車燃料生産部門	2,294,954	2,288,215	-0.29%
鉄道旅客輸送(人キロ)	232,319	232,387	0.03%
道路旅客輸送(人キロ)	61,307	61,325	0.03%
自家用自動車旅客(人キロ)	0	0	0.00%
航空輸送(人キロ)	39,152	39,163	0.03%
鉄道貨物輸送(トンキロ)	5,080	5,078	-0.04%
道路貨物輸送(トンキロ)	49,375	49,179	-0.40%
自家用自動車貨物(ﾄﾝｷﾛ)	0	0	0.00%
水運(トンキロ)	21,654	21,648	-0.02%
合計	233,212,255	233,126,402	-0.04%

●産出量（数量）

	基準年	政策後	変化率
第一次産業	17,795,322	17,789,621	-0.03%
第二次産業	404,064,012	404,013,849	-0.01%
第三次産業	370,068,408	370,020,721	-0.01%
自動車製造部門	39,981,668	39,971,254	-0.03%
自動車燃料生産部門	4,823,613	4,710,194	-2.35%
鉄道旅客輸送(人キロ)	387,478	387,533	0.01%
道路旅客輸送(人キロ)	92,980	92,965	-0.02%
自家用自動車旅客(人キロ)	186,449	183,694	-1.48%
航空輸送(人キロ)	51,624	51,631	0.01%
鉄道貨物輸送(トンキロ)	27,196	27,192	-0.01%
道路貨物輸送(トンキロ)	202,708	201,947	-0.38%
自家用自動車貨物(ﾄﾝｷﾛ)	71,536	70,553	-1.37%
水運(トンキロ)	387,478	387,524	0.01%
合計	838,140,472	837,908,677	-0.03%

●自動車保有率・分担率

	基準年	政策後	変化分
自動車保有率	75.30%	75.23%	-0.07%
自動車分担率	63.29%	63.21%	-0.08%
自家用自動車[家計](人ｷﾛ)	573,631	571,947	-0.29%

●便益評価

	（億円）
外部不経済削減便益	320
市場経済的不便益	-2,180
政策による税収	2,000
純便益	140

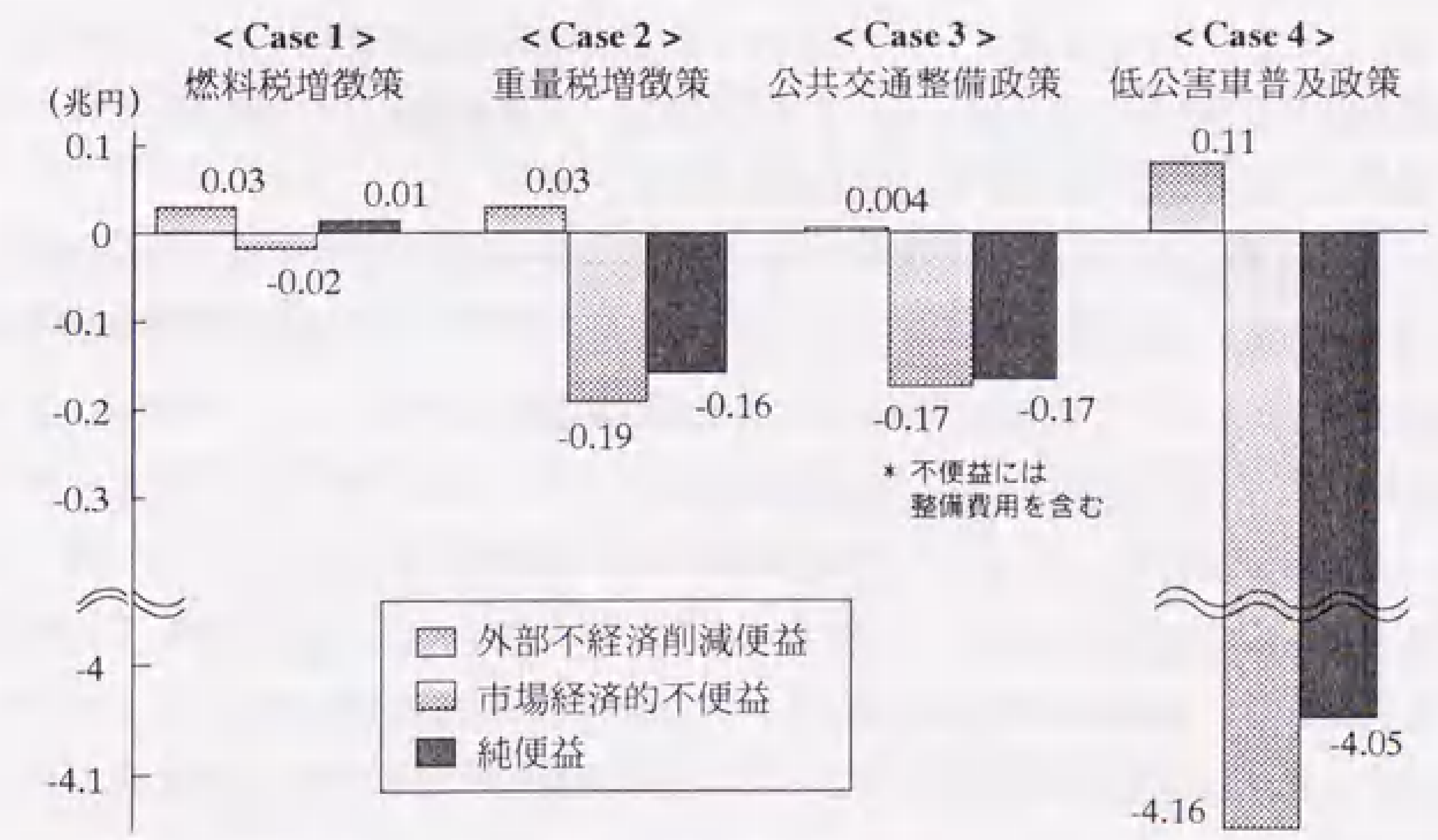

図 7-4　4 政策の便益計測結果の比較

なお，便益計測に際し，次のような仮定を設けている．まず，2)の自動車重量税増徴策の市場経済的不便益には，1)の自動車燃料税増徴策と同様，税収入分は差し引かれている．3)の公共交通整備政策では，市場経済的不便益の中にその整備費用が含められている．

図 7-4 の結果によれば，燃料税増徴策が最も効果的な政策であるとの結果となった．この理由について，まず公共交通整備政策との比較では，自動車交通から公共交通へのシフトが極めて非弾力的なため，多額の費用を投資して公共交通の整備を行っても，自動車抑制の効果が小さくなったためと考えられる．

また，低公害車普及政策との比較では，現在の低公害車の車体価格が，ガソリン車やディーゼル車と比べて高いため，低公害車購入において不便益が生じていると考えられる．

ただし，これらの結果はあくまで現段階での結果であり，パラメータの設定などによっては当然結果が変わることが考えられ，よって，直ちにこれらの政策の有効性が否定されるものではない．特に低公害車普及政策などは，今後の技術開発等によっては，市場経済的不便益が抑えられることも考えられよう．

燃料税増徴策と重量税増徴策の間の影響の違いについては，第 5 章5－4－2節にて作成された便益帰着構成表より分析することができる．式(5.86)には燃料税増徴策における等価的偏差 EV の最終帰着形が求められている．

$$EV = \oint_{A \to B} \frac{\partial e}{\partial V} \lambda \left[\omega_{Fuel} \left\{ \sum_k dx_k^{Fuel} + dx_{Fuel} \right\} + \frac{x_{Auto} p_{Auto}}{x_{Auto}^P} dx_{Auto}^P \right.$$
$$\left. - \left(p_L x_{Auto}^P dt_{Auto} + p_L \sum_m x_m^P dt_m \right) + \frac{\partial V}{\partial r} dr \right] \tag{7.1}$$

このうち[　]内，第一項は，租税の影響として一般的に指摘されている税の超過負担(Excess Burden)と呼ばれるものである [18]．第二項は，自動車購入者が自らの自家用自動車トリップを増大させることにより単位自動車トリップあたりの自動車購入費用が変化することの影響，すなわち自動車購入費用節約便益を表している．第三項は，各交通機関の所要時間変化による影響を表している．第四項は外部不経済の削減効果である．

一方，重量税増徴策では，EV の最終帰着形が式(7.1)と同様の形となり，その中の燃料税 ω_{Fuel} が重量税 ω_{Auto} に置き換えられたものとなった．これより，燃料税増徴策と重量税増徴策の影響の違いを生じさせている大きな原因は，税の超過負担分であることがわかる．この税の超過負担は，図 7-5 より価格弾力性が大きい財は，弾力性の小さい財に比べて小さくなっており，よって価格弾力性の違いによって両税制政策が異なる影響を生じさせていると思われる．

すなわち，一般に価格弾力性が小さいと言われている自動車本体の需要において，弾力性が大きいと言われている自動車燃料の需要より，大きな税の超過負担が発生しているのである．それに加え，式(7.1)の第二項の効果が加わってさらに重量税増徴策の税の超過負担分が大きくなっていると考えられる．

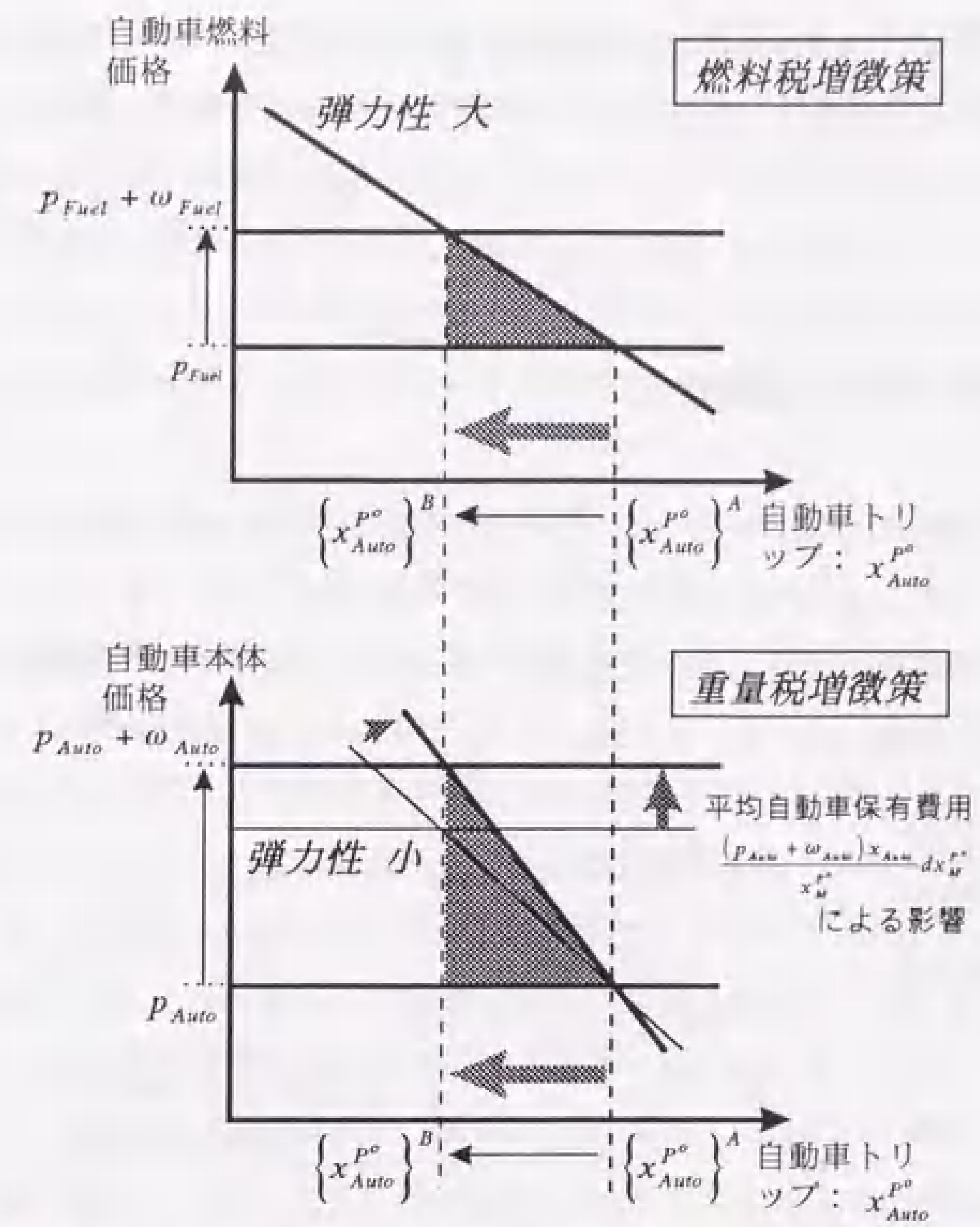

図 7-5　燃料税増徴策と重量税増徴策の税超過負担分比較

7－6　動学モデルによるシミュレーション結果

続いて動学モデルによるシミュレーション結果を示す．ここでは，燃料税増徴策と重量税増徴策を取り挙げシミュレーション分析を行った．その設定条件は，静学モデルでの数値シミュレーションにおける Case1，Case2 と同じである．その便益の計測結果を表 7-11 に示す．なお，ここでは対象期間を 15 年，社会的割引率を 1.5%と設定して計算を行った．

表 7-11　動学モデルによる便益計測結果

	燃料税増徴策	重量税増徴策
外部不経済削減便益	0.22	0.92
市場経済的不便益	-5.75	-3.46
政策による税収	2.93	3.09
純便益	-2.60	0.55

(兆円)

これによれば，重量税増徴策の方が燃料税増徴策より純便益が大きくなるとの結果となっており，静学モデルによる分析とは逆の結論となった．その理由を探るため各便益ごとに計測結果の考察を行っていく．

7－6－1　外部不経済削減便益

まず，外部不経済削減便益については，重量税増徴策の方が燃料税増徴策より約 4 倍もの便益となっている．なお，この外部不経済削減便益の時系列変化は図 7-6 のようになった．これによれば，燃料税増徴策は毎年一定の削減便益となっているのに対し，重量税増徴策は年を経るごとに削減便益が増加している．これは，図 7-7 のように，運輸産業が投入する自動車と家

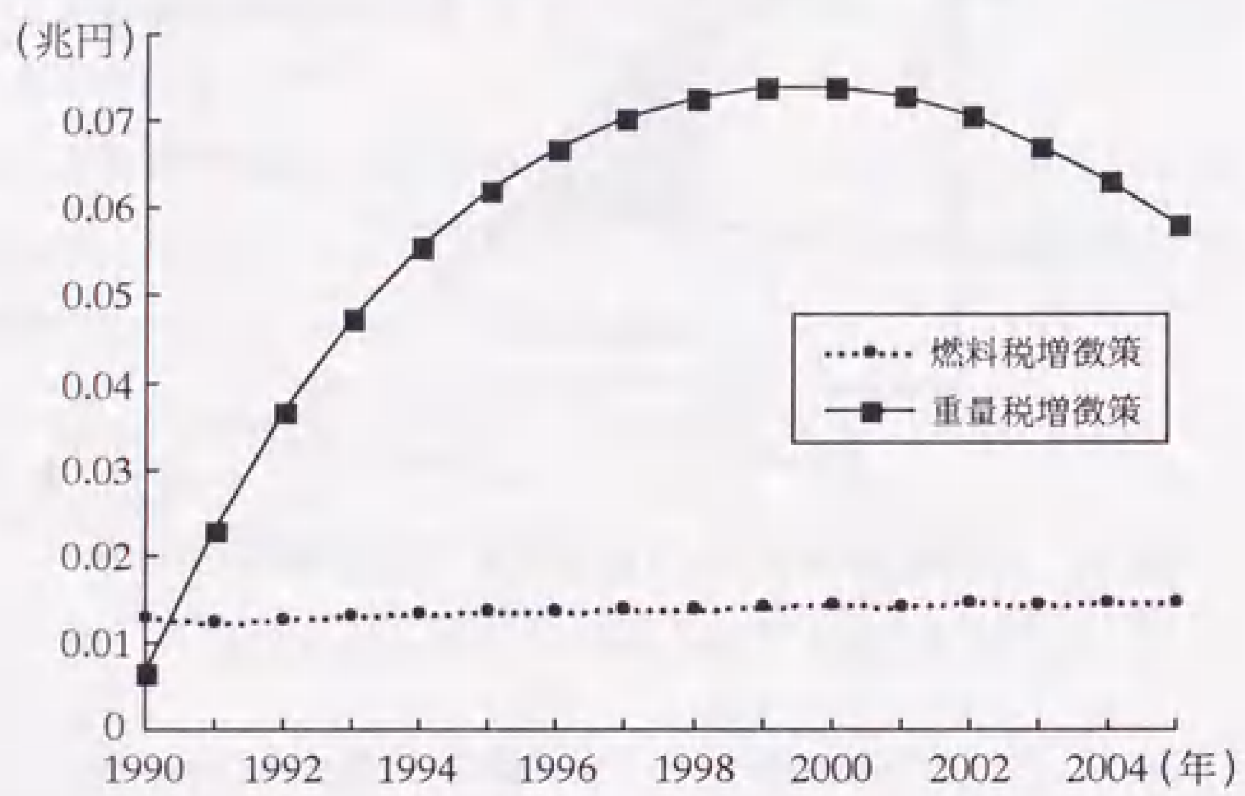

図 7-6　外部不経済削減便益の時系列変化

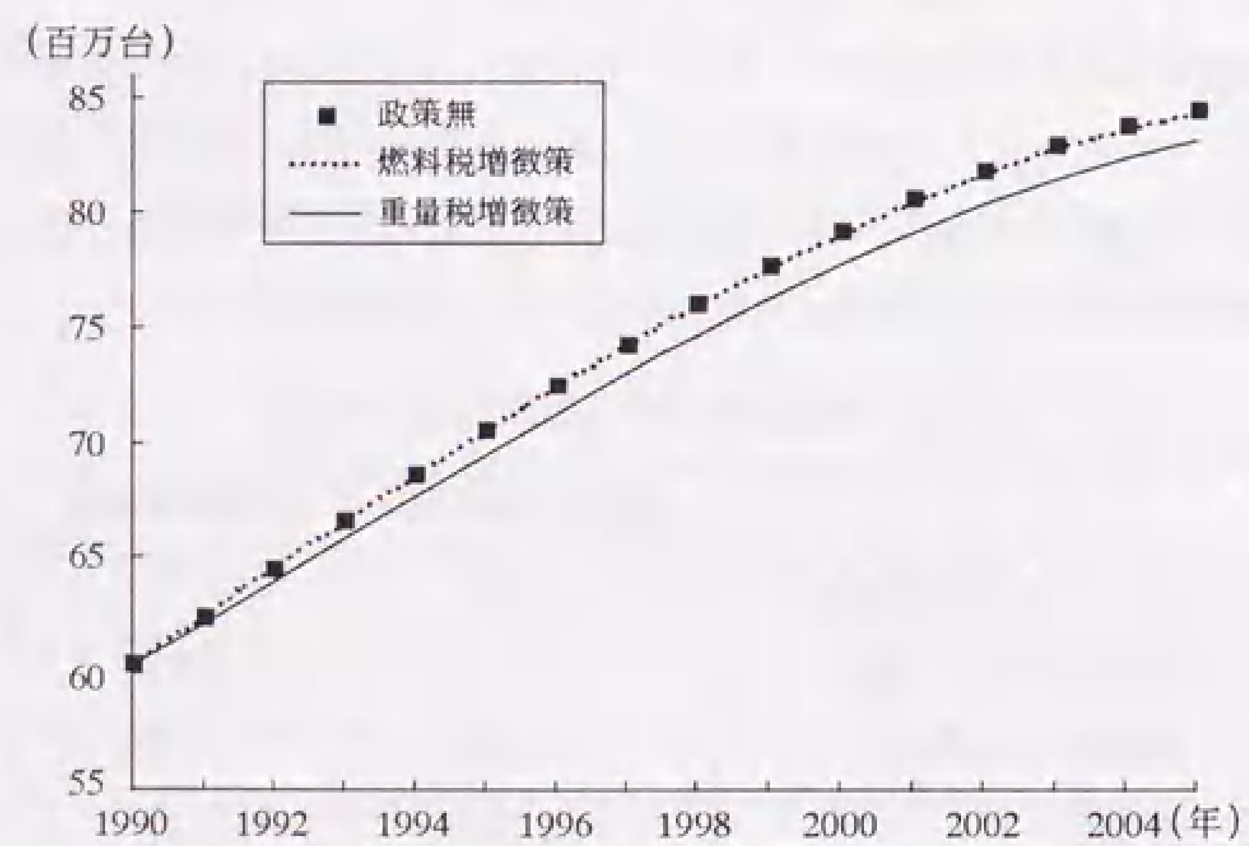

図 7-7　総自動車台数の時系列変化

計が保有する自動車の合計である総自動車台数の伸びが，両政策において異なっていることが原因として考えられる．すなわち，重量税増徴策は自動車保有に対し課税する政策であるため，年々の自動車台数の伸びの抑制に効果を発揮するのに対し，燃料税増徴策は自動車利用への課税であるため，自動車台数の伸びの抑制にはそれほど影響を与えないといえる．その結果，重量税増徴策では，各期ごとの自動車台数の伸びの抑制を通じて自動車利用の方も年々抑制されていき，また燃料税増徴策では，各期が独立に自動車利用の抑制に効果を示しているに過ぎないと考えられる．

7－6－2　市場経済的不便益

一方，市場経済的不便益でも重量税増徴策の方が不便益が少ない結果となり，燃料税増徴策より良好な結果となった．この市場経済的不便益の計測結果の時系列変化は図 7-8 のようになる．これを見ても，常に重量税増徴策の方が不便益が小さくなっている．

また，政策開始の頃は，両政策とも不便益が徐々に大きくなっていっているのに対し，1999 年頃から重量税増徴策の方は不便益が小さくなる方向に動いていることもわかる．これは，図 7-9 および図 7-10 に示した政策無のケースに対する総所得 I_D と現在消費価格 p_H の変化率の推移を表すグラフより次のように考えられる．まず，1999 年頃までは重量税増徴策，燃料税増徴策共に，所得の変化率が徐々に下がっている．また，現在消費価格 p_H の上昇率はほぼ一定である．しかし，1999 年頃から重量税増徴策は，政策による総所得 I_D の変化率が急速に下がっていく一方で，現在消費価格 p_H の変化率も下がっていき最後はマイナス，すなわち価格が下がる結果となっている．これより，潜在賃金所得 I_D が減少することによる不効用と，現在消費価格 p_H が下がることによる効用とが互いに打ち消し合い，結果として市場経済的不便益が小さくなる方向に動いたのではないかと思われる．

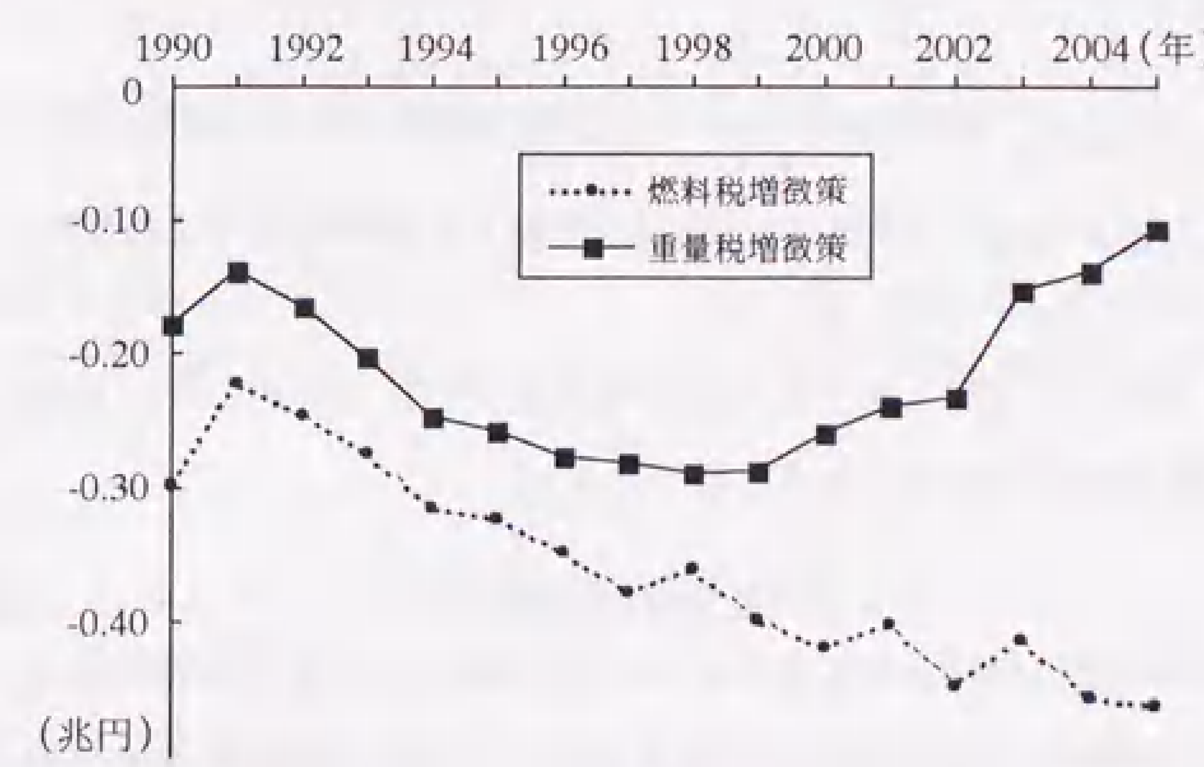

図 7-8　市場経済的不便益の時系列変化

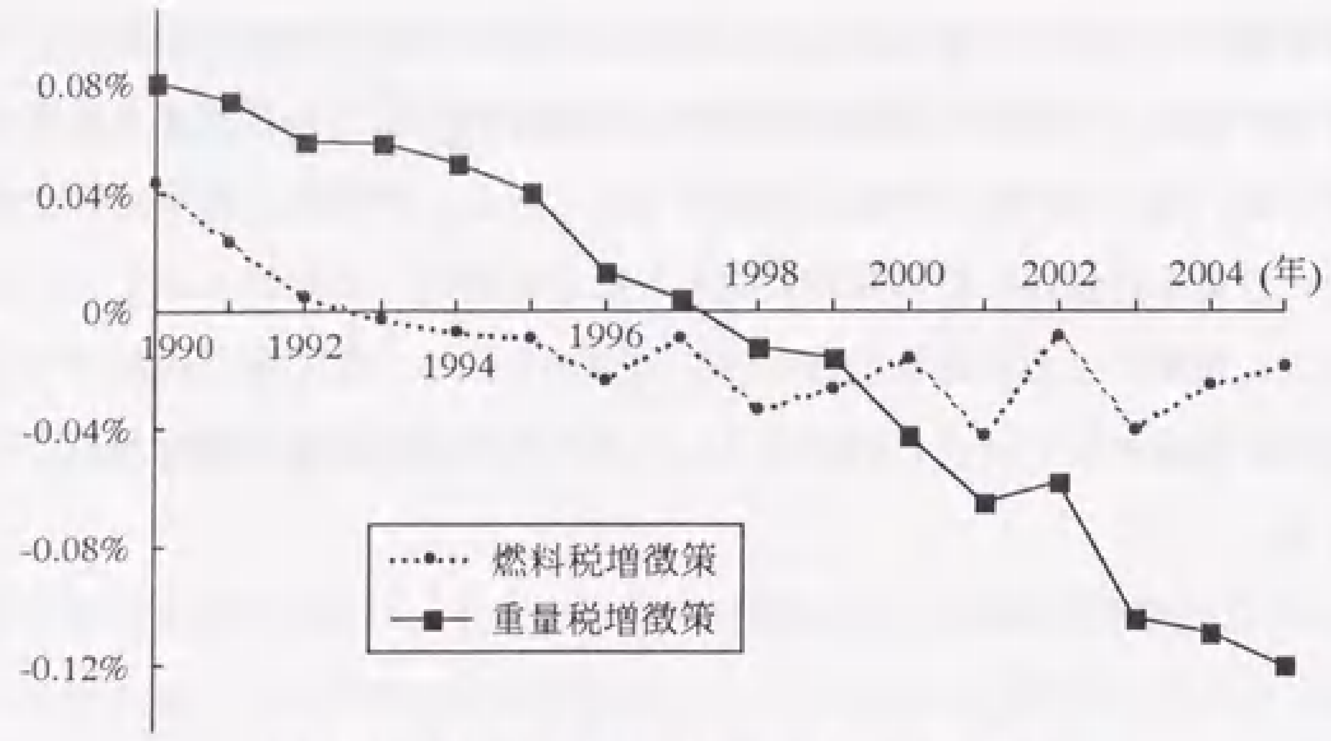

図 7-9　家計の総所得の変化率 (対政策無)

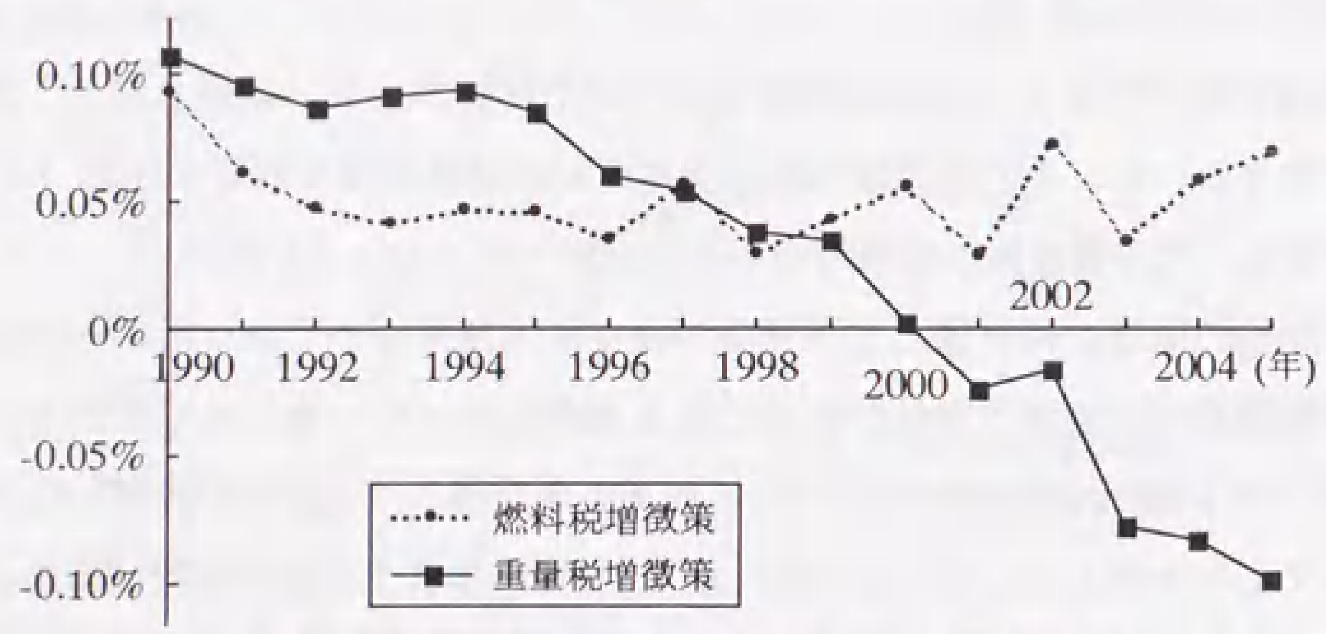

図 7-10　現在消費価格の変化率 (対政策無)

なお，動学モデルによる数値シミュレーション結果の詳細な部分については，図 7-11～16 において示す．

7－6－3　動学分析結果の考察

以上の結果をまとめると，動学分析において重量税増徴策が良好な結果となった理由は，

1) 各期ごとの自動車保有への課税が連続的に影響して自動車利用の抑制効果が高まったため
2) 政策による所得の低下による不効用と価格の低下による効用とが打ち消し合い，結果的に市場経済的不便益が小さくなったため

のようになる．

また，市場経済的不便益の時系列変化のグラフ(図 7-8)では，その結果がかなり敏感に動いていることがわかる．これより，動学分析ではシミュレーションの計算自身がパラメータの設定により大きく変動している可能性がある．

動学モデルによるシミュレーション結果

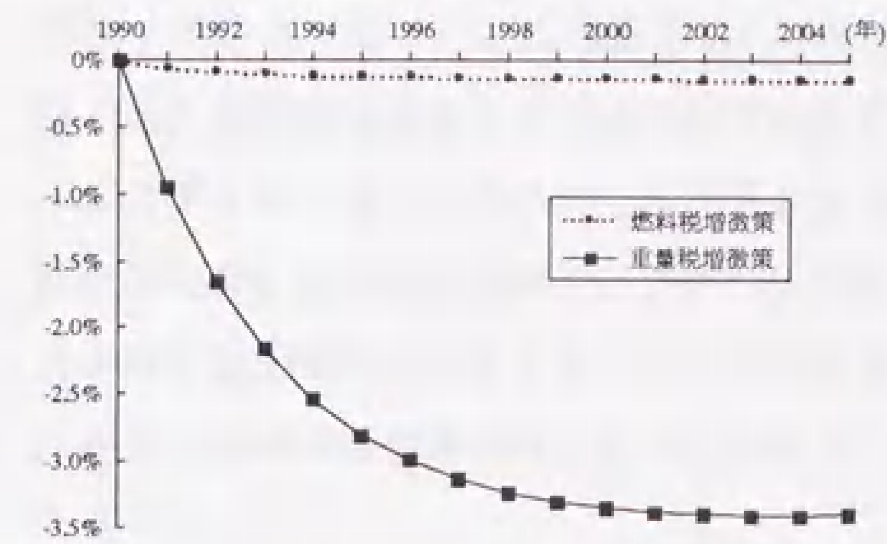

図 7-11　自動車資本ストックの変化率 (対政策なし)

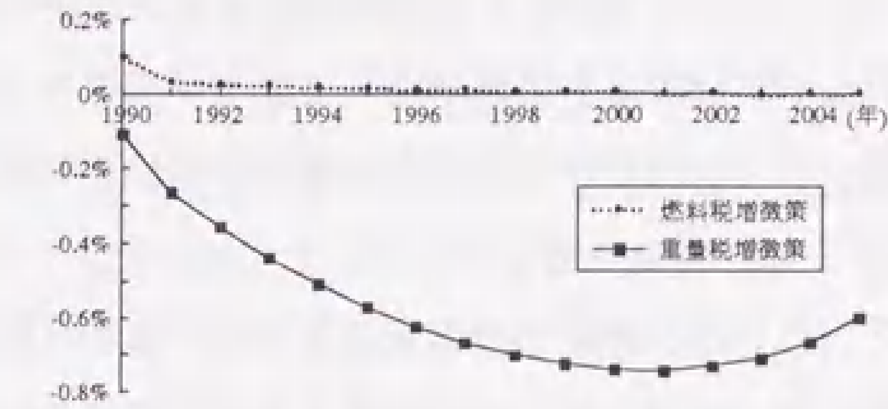

図 7-14　家計の自家用自動車保有率の変化 (対政策なし)

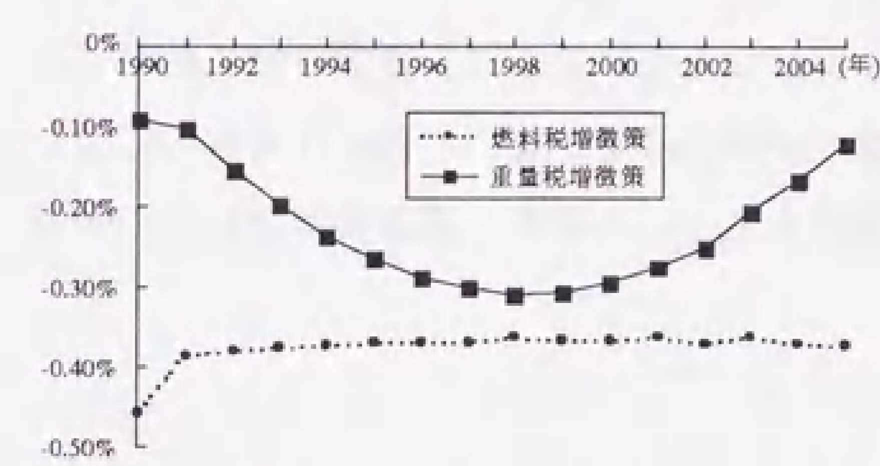

図 7-12　道路旅客運輸産業の生産量[人キロベース]の変化率 (対政策なし)

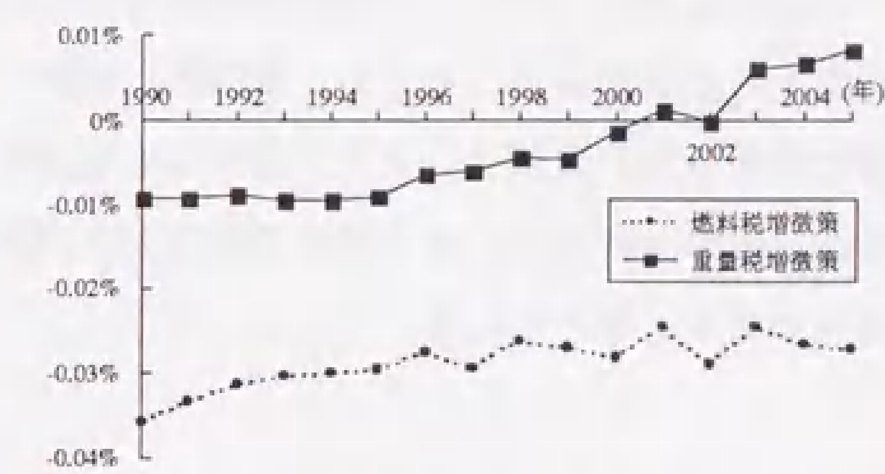

図 7-15　家計の自家用自動車分担率の変化 (対政策なし)

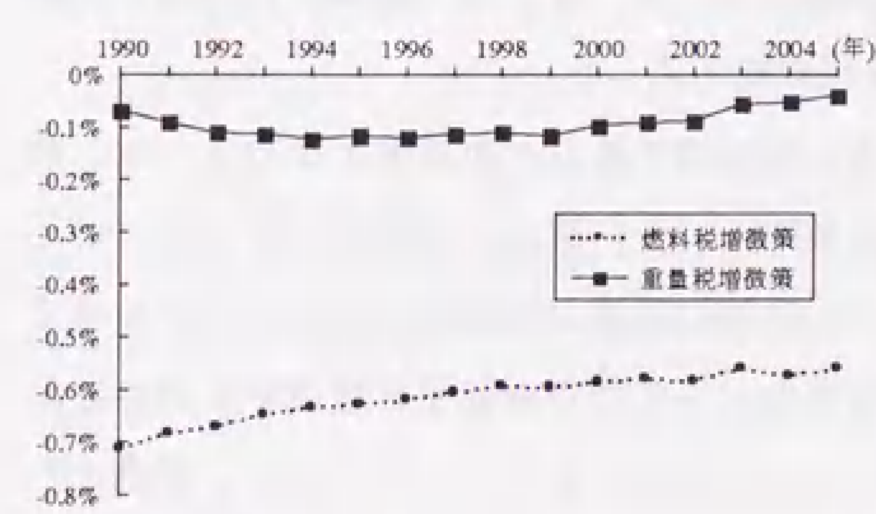

図 7-13　道路貨物運輸産業の生産量[トンキロベース]の変化率 (対政策なし)

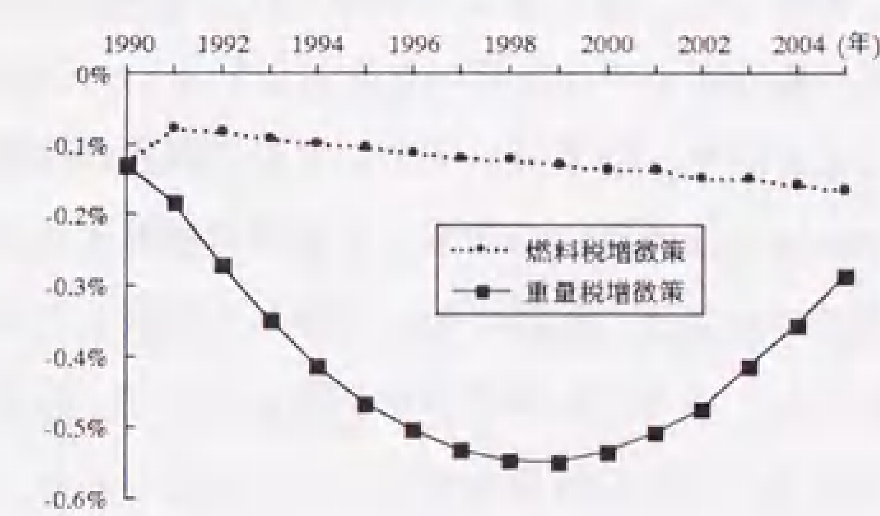

図 7-16　家計の自家用自動車消費[人キロベース]の変化率 (対政策なし)

7－7　数値シミュレーション結果の政策的解釈

前節までで，静学モデルと動学モデル，それぞれのモデルを用いて数値シミュレーションを行った結果を示した．その結果，静学分析においては燃料税増徴策が最も効果的であるとの結

果となった一方，動学分析では燃料税増徴策より重量税増徴策の方が効果的という，逆転する結果となった．本節では，政策決定を行う上で，静学分析と動学分析とで異なる結果となった点について，どのように解釈すれば良いのかを考察することとする．

まず，静学分析と動学分析で結果が異なった点については，ストック蓄積に影響を与える政策というものは，短期的に効果が小さいが長期的に見ると有効となり得ることを表している．第 5 章の便益帰着分析においても述べたように，価格弾力性による税の超過負担分の比較分析においては，燃料税増徴策の有効性が認められる結果となるが，ストック蓄積が考慮される緒期に渡っては，必ずしもその考えが適当でないことを示すという，実に興味深い結果が得られたと思われる．

では，これらの結果を踏まえ，政策決定者としては何に基づき意志決定を行えば良いのかを考えてみる．

政策決定者は，まず，目前の問題が短期的に解決を図らなければならないものであるのかを判断する必要がある．そして，短期的に解決しなければならないならば，静学分析において有効と判断された政策を，また，必ずしも短期での解決を図る必要がないと思われるものについては，動学分析において有効と判断された政策を選択するという形で，意志決定を行うことが妥当であると考えられる．

7－8　結　語

本章では，第 5 章にて構築された静学的応用一般均衡モデル，第 6 章で構築された動学的応用一般均衡モデルを用いた数値シミュレーション分析結果を示した．

その結果，静学分析においては燃料税増徴策が最も効果的であるとの結果となった一方，動学分析では燃料税増徴策より重量税増徴策の方が効果的という，逆転する結果となった．この点については，前節において詳しく説明したように，目前の問題が短期的に解決すべきものであるか，そうでないのかを判断した上で，静学，動学のどちらの分析結果を適用するのかを決定することが妥当な方法であると考えられる．ただし，これは，本シミュレーション結果のみに基づいて，政策の決定を行う場合について考えられることであり，ここで示した結果が全てであることを意味するものではない．例えば，ここで言えば自動車燃料税増徴策と自動車重量税増徴策を組み合わせた複合的な政策も十分に現実的なものであり，その場合の効果の評価，さらには相互の税率の最適な組み合わせについて，数値シミュレーション等による分析が必要であり，その点については，今後の課題である．

また，本章で示した数値シミュレーションの結果がどれだけの信頼性を持つのかという点について，本来は明確な説明が必要であろう．しかし，パラメータ推定においても述べたように，応用一般均衡モデルでは，パラメータ自身が統計的な検討がされていない状態である．また，

このように簡単化されたモデルを用いて，現実が的確に表現できているのかという指摘もある．

しかし，政策の影響を評価する上で重要となるのは，政策あり，なしでの人々の厚生変化を評価することであり，この意味では，応用一般均衡モデルも信頼のおける分析手法であると思われる．なぜなら，応用一般均衡モデルでは，人々の市場メカニズムに基づく行動原理が，精緻にモデリングされている点と，パラメータについても現時点での人々の行動については，厳密に再現がとれているからである．

応用一般均衡モデルも，もちろん万能の評価手法というわけではないが，政策決定においてはいくつかの有益な情報を与えてくれるという点においては，有用な分析手法であると考えられるであろう．

第8章　結　論

8－1　本論文の成果

本論文では，最近の環境問題への関心の高まりを背景として，環境政策の有効性を評価するための方法論について検討を行った．特に，本論文では，環境政策の実施は，環境改善による便益を生じさせる反面，社会が受け取るべき便益をあきらめなければならない部分も存在することを指摘し，その両者を同時に評価した上で，政策の有効性を判断することが重要であることを示した．

そして，その環境政策の評価モデルとして，計量厚生分析の枠組みを適用した評価手法の開発を行った．計量厚生分析は，基礎理論として一般均衡理論を用いており，社会経済のあらゆる主体の活動をモデル化することが可能となっている．よって，環境政策が，主体の活動にどのような影響を及ぼすのかを捉えることができ，その結果，環境抑制への効果と，主体の活動が抑制されることによる不便益とを同一の枠組みにて評価することが可能となる．また，計量厚生分析では，便益帰着構成表の提案もなされており，それによれば，便益・費用の波及構造を明示的に示すことができるとともに，環境改善による効果と社会へ及ぼされる影響との両者を，便益という統一的な厚生指標による評価が可能となる．これより，複数の政策について，その有効性の比較検討を行うことが可能となっている．

また，現在の環境問題では，早急な対策が必要とされていることを考えた場合，実証的な分析が重要と思われる．よって，本論文では，一般均衡理論の実証的モデルと位置付けられる応用一般均衡理論の適用を図った．応用一般均衡モデルとは，一般均衡理論の枠組みを適用しているものの，最終的な均衡計算においては，生産要素市場のみを取り扱えばよい，という簡便さを有しており，また，モデルの分析結果から得られる情報が，非常に多いという利点を持ち合わせたモデルである．応用一般均衡理論の適用により，現実的な環境政策についても，数値シミュレーションを通して，実際に評価することが可能となる．

そして，本論文では，実証分析として，自動車交通に関わる環境問題に対し抑制策の評価を行った．なお，ここでは，政策の対象が自動車交通を含めた運輸産業であることから，運輸産業，自動車関連産業および家計の交通に関わる消費行動モデルを詳細に記述した応用一般均衡モデルの開発を行い，また，中長期的な影響も分析するためモデルの動学化も行っている．そして，政策としては，静学分析の枠組みでは，自動車燃料税増徴策，自動車重量税増徴策，公共交通整備政策，低公害車普及政策について，動学分析の枠組みでは，自動車燃料税増徴策，自動車重量税増徴策の比較分析を取り上げ，それらの評価を行った．

ここでは，数値シミュレーション分析を通して，環境改善による効果のみならず社会経済へ及ぼされる影響も考慮された形で，実際に便益計測を行った．その結果，静学分析における自動車燃料税増徴策では，環境面と経済面の両者を考慮した場合に，純便益が最大となる最適な燃料税率の存在することが示せ，その時の純便益は正となることがわかった．これは，燃料税率を上げすぎると市場経済への影響が深刻となるため，逆に純便益が減少することを意味している．また，他の 3 政策について，燃料税増徴策の純便益が最大となるケースとの比較分析という形で政策評価を行ったが，いずれの政策も純便益は負となった．よって，この純便益を厚生指標とすれば，燃料税増徴策が最も効果の高い政策であることがわかる．

また，動学分析では，逆に自動車重量税増徴策の方が，自動車燃料税増徴策より効果が高いとの結果が得られた．重量税増徴策は，自動車の保有を抑制する効果があり，自動車保有への規制を通じて間接的に自動車利用が抑制される．よって，静学分析の結果と比較した場合，中長期的には，自動車保有台数の伸びをコントロールすることが，利用を直接規制する以上に効果が高くなるものと考えられる．

以上のように，本論文では，最近の環境問題への関心の高まりを背景として，その抑制政策の有効性について評価を行う上で，社会経済へ及ぼす影響も考慮に入れた評価手法を，計量厚生分析の枠組みを適用して開発した．本論文で，特に強調したい点としては，第一に，環境政策の影響として，環境改善による効果とともに社会経済へ与える影響を，便益という統一的厚生指標により計測できることを示した点，第二に，それを数値シミュレーションにより実際に計測することが可能であり，それにより複数の政策の有効性を比較検討することが可能となることを示した点が挙げられる．

8－2　今後の課題

本論文では，前節のような成果があった反面，課題もいくつか存在する．それらを整理すると以下のようになる．

1) 均衡制約付き最適化問題の計量厚生分析への適用
2) 公平性問題の検討
3) 計量厚生分析への非市場評価手法の導入

本節では，これらを各々解説していくことにする．

8－2－1　均衡制約付き最適化問題の計量厚生分析への適用

均衡制約付き最適化問題(Mathmatical Programs with Equilibrium Constraints: MPEC)とは，政策決定に対する人々の反応を考慮した意志決定問題として，何らかの政策決定変数を含む上位問題と，人々の行動を記述する下位問題からなる二段階最適化問題として定式化された数理最適化モデルのことである[1]．本論文第 7 章では，静学的応用一般均衡モデルにより，4 つの外部不経済削減政策の評価を行った．しかし，ここでは 4 つの政策について，独立的に数値シミュレーションを行い，その結果の比較を行って各政策の有効性の検討を行うにとどまっている．より現実的な政策提言を行うためには，4 つの政策を複合的に実施した場合に，どのような政策の組み合わせが最も効率がよいのかを示す必要がある．

このとき，MPEC がその分析手法として有用と考えられる．すなわち，上位問題として，自動車燃料税率，自動車重量税率，公共交通所要時間，低公害車補助率などを政策変数として家計の効用水準を最大化する数理最適化問題，下位問題として応用一般均衡モデルによる人々の行動を記述するモデルを有する，二段階最適化問題として定式化することが可能であり，それにより，4 政策における政策変数の最適な組み合わせが求められると考えられる．図 8-1 では，MPEC の直感的なイメージとして，政策変数に自動車燃料税率，自動車重量税率を取り挙げた場合について図示した．ここでは，図の頂点における自動車燃料税率，自動車重量税率の組み合わせが，求めるべき最適解であることがわかる．

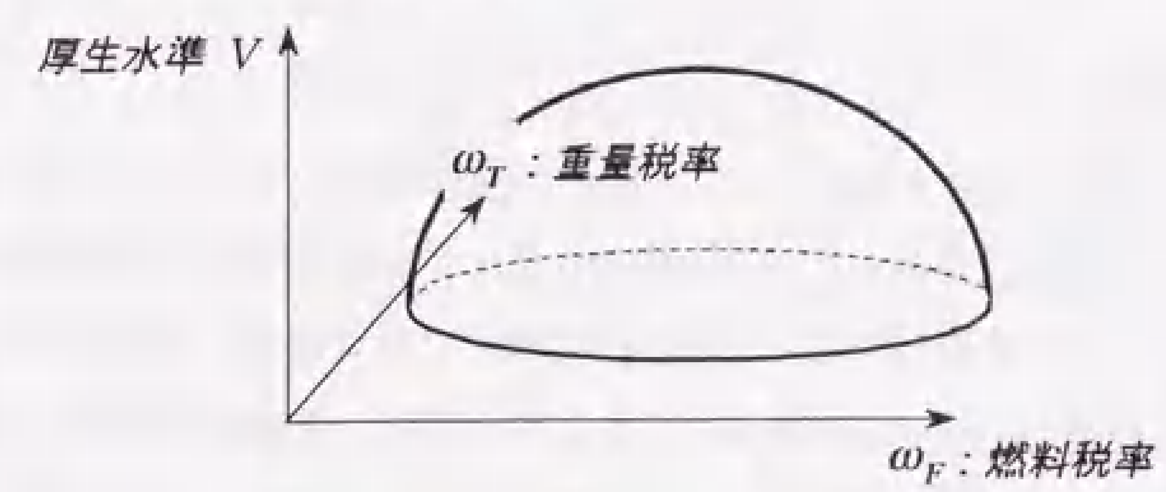

図 8-1　自動車燃料税増徴策と自動車重量税増徴策における MPEC の概念

以上は，静学モデルにおける議論である．さらに，今後は，動学分析の枠組みでも MPEC による政策決定を考えることが重要となると考えられる．本論文で示した動学モデルは，静学モデルを一期として各期毎に市場が清算される逐次均衡型のモデルであった．よって，この枠組みを用いた場合，先の静学モデルを用いた MPEC による政策決定問題を各期毎で解いて，その最適解を結ぶことにより最適動学経路を描くことが可能となると思われる．しかし，動学分析では，最適動学経路は資本蓄積の経路にも依存するため，長期で見たときの最適な投資行動について考慮しなければならないと考えられる．

8－2－2　公平性問題の検討

環境問題では，公平性といった場合，次の二ケースにわけて考える必要がある．一つは，地域間の公平性の問題，もう一つは，世代間の公平性の問題である．

地域間の公平性問題

地域間の公平性問題とは，地域間での自然環境の違いにより生じる問題である．例えば，農山村部の自然が豊かな地域と，都市部の状況とを考えると明らかである．本論文での成果を踏まえ，このような地域間での自然環境，さらには社会環境の違いについても考慮した分析手法への展開を行い，そしてその手法を用いて，自然環境を保護する上での費用負担問題のような地域相互に影響を与える政策について，各地域の厚生水準の変化を評価して政策分析を行っていくことが必要と考えられる．

その枠組みとしては，空間的応用一般均衡モデル(SCGE)の適用が考えられる．応用一般均衡モデルを空間的に拡張したモデルとして，SCGE モデルが提案されていることについては第 4 章にて述べたとおりである．よって，地域間の公平性問題の検討として，SCGE モデルに自然環境や社会環境のような地域属性を組み込み，それによる政策の評価を行うことが方向として考えられる．また，この場合には，モデルの空間的拡張とともに，立地行動もモデル化することが必要となってくると考えられる．

世代間の公平性問題

世代間の公平性問題も重要である．近年，「持続可能な発展」ということ場合により，環境政策の目標が表現される場合がある．この達成のためには，世代間の公平性問題を考える必要が出てくる．すなわち，将来世代の厚生をある程度維持した状態で，現在の我々の生活を規定する問題を考えなければならないのである．これに対しては，本論文で提示した動学的応用一般均衡モデルの概念が重要な示唆を与えていると思われる．しかし，ここでは，想定として同質の人物に対する将来に渡る厚生水準に対して評価を行っており，将来世代の厚生に対する重みについてはなんら触れてはいなかった．そのため，現在世代と将来世代との公平に対し，何らかの評価を与えた上で，その指標をもとに長期的な政策提言を行う必要があると考えられる．

8－2－3　計量厚生分析への非市場評価手法の導入

第 3 章にて示したように，非市場評価手法についても，研究が進められている．計量厚生分析自身は，主体の活動から自然環境の変化までを，包括的に捉えた分析手法であるといえるが，

本論文における数値シミュレーションでは，充分に自然環境の変化等について考慮されていなかった．そこで，自然環境の変化のような個別部分についても，非市場評価手法等を利用して評価し，それを計量厚生分析の枠組みに取り入れて，総合的な観点からの政策評価につなげていくことが必要と思われる．ただし，この場合，特に自然環境の評価などについては，影響の二重計測や計測漏れ等が懸念されるため，計量厚生分析の枠組みに沿った形で，非市場評価手法の導入を図ることが重要と考えられる．

以上示した課題以外にも，応用一般均衡モデルにおける課題として，不完全競争の導入[2),3)]，不均衡の導入等の課題も考えられる．

特に，不完全競争の導入については，最近になり，自動車に関わる環境政策に対し注目されている低公害車に対する政策について評価する際，低公害車産業の行動をモデル化する場合に重要となってくる．すなわち，低公害車産業のような場合，初期の段階では研究開発費用のような費用がかかり，時間とともにそれらが回収される費用逓減産業であると考えられる．よって，このときには，本研究で仮定した完全競争の仮定が成り立たないため，不完全競争の導入を図ったモデルを開発する必要があると考えられる．

参考文献

【第 1 章参考文献】

1) 三橋規宏(1998)：環境経済入門，日本経済新聞社．
2) 森田恒幸(1997)：地球環境問題と政策科学，宮川公男編，政策科学の新展開，第 7 章，pp.161-181，東洋経済．
3) 中村英夫編(1992)：都市と環境，ぎょうせい．
4) 大竹千代子編(1978)：日本環境図譜，共立出版．
5) 週間金曜日編集部編(1997)：環境を破壊する公共事業，緑風出版．
6) 公共事業チェック機構を実現する議員の会編(1996)：アメリカはなぜダム開発をやめたのか，築地書館．
7) 栗山浩一(1998)：公共事業と環境の価値，築地書館．
8) Dixon, J.A., Scura, L.F., Carpenter, R.A. and Sherman, P.B.(1994)：*Economic Analysis of Environmental Impacts*, 2nd Edition, Earthscan Publications LTD. (環境経済評価研究会訳(1998)：新環境はいくらか，築地書館．)
9) 宇沢弘文(1974)：自動車の社会的費用，岩波書店．
10) 上岡直見(1996)：クルマの不経済学，北斗出版．
11) 植田和弘・落合仁司・北畠佳房・寺西俊一(1991)：環境経済学，有斐閣ブックス，pp.13-30．
12) Pigou, A.C.(1938)：*The Economics of Welfare*, 4th Edition, London: Macmillan and Co.

【第 2 章参考文献】

1) 西村和雄(1986)：ミクロ経済学入門，岩波書店，pp.4-8．
2) Dinwiddy, C. L. and Teal, F. J. (1988)：*The Two-Sector General Equilibrium Model: A New Approach*, Philip Allan. (山岡道男訳(1995)：コンピュータ時代の経済学入門，早稲田大学出版部，pp.11-12．)
3) 森杉壽芳(1997)：社会資本整備の便益評価，勁草書房．
4) 植田和弘・落合仁司・北畠佳房・寺西俊一(1991)：環境経済学，有斐閣ブックス，pp.13-30．
5) Baumol, W.J. and Oates, W.E. (1988)：*The Theory of Environmental Policy*, 2nd Edition,

Cambridge University Press.
6) 参考文献3)，pp.3-4.
7) 栗田啓子(1992)：エンジニア・エコノミスト，東京大学出版会，pp.49-80.
8) 常木淳(1990)：公共経済学，新世社，pp.161-186.
9) 参考文献2)，pp.11-46.
10) 岩田規久男(1994)：経済学を学ぶ，ちくま新書，pp.93-107.
11) 秋山孝正・上田孝行(1997)：すぐわかる計画数学，コロナ社，pp.115-131.
12) 西村和雄(1982)：経済数学早わかり，日本評論社，pp.134.
13) 吉田和男(1993)：経済学に最低限必要な数学，日本評論社，pp.37-50.
14) 西村和雄(1990)：ミクロ経済学，東洋経済新報社，pp.152-154.
15) Varian, H.R. (1984)：*Microeconomic Analysis*, Norton and Company. (佐藤隆三・三野和雄訳(1986)：ミクロ経済分析，勁草書房，pp.59-61.)
16) 参考文献12)，pp.198-212.
17) 参考文献13)，pp.51-68.
18) 参考文献14)，pp.57-58.
19) 参考文献15)，pp.140-141.
20) 江副憲昭(1994)：市場と規制の経済理論，中央経済社，pp.41.
21) 森杉壽芳(1984):交通便益の概念とその測定理論,高速道路と自動車,Vol.27,No.4,pp.17-26.
22) 林山泰久(1997)：ADD 指標による交通関連社会資本整備の厚生損失の計測精度，土木学会論文集 No.555／Ⅳ-34，pp.71-81.
23) 参考文献15)，pp.45-46.
24) 参考文献14)，pp.275-293.
25) 川又邦雄(1989)：市場機構と経済厚生，創文社，pp.100-102.
26) 上田孝行・森杉壽芳(1997)：便益帰着関係の把握，中村英夫編，道路投資の社会経済評価，第14章，pp.275-288，東洋経済新報社.
27) 金本良嗣(1996)：交通投資の便益評価・消費者余剰アプローチ，日交研シリーズ A-201，日本交通政策研究会.
28) 参考文献3)，pp.26-41.
29) Johansson, P-O (1987)：*The Economic Theory and Measurement of Environmental*, Cambridge University Press. (嘉田良平 監訳(1994)：環境評価の経済学，多賀出版，pp.29-52.)
30) (財)地球産業文化研究所(1998)：ポスト市場主義経済，ミオシン出版，pp.8-22.
31) MacNeil, J., Winsemius, P. and Yakushiji, T. (1991)：*Beyond Interdependence, The Meshing of the World's Economy and the Earth's Ecology*, Oxford University Press. (日米欧委員会日本委員会 訳(1991)：持続可能な成長の政治経済学－エコノミーとエコロジーの統合－，ダイヤモンド社.)

32) 環境庁地球環境経済研究会(1990)：地球環境の政治経済学－新グローバリズムと日本－，ダイヤモンド社，pp.131-144.

【第3章参考文献】

1) 植田和弘・落合仁司・北畠佳房・寺西俊一(1991)：環境経済学，有斐閣ブックス.
2) Rifkin, J. (1990)：Entropy into the Greenhouse World. (竹内均 訳(1990)：エントロピーの法則，祥伝社.)
3) 室田武(1991)：きみはエントロピーを見たか？ 地球生命の経済学，朝日文庫.
4) Beltratti, A., Chichilnisky, G. and Heal, G. (1998)：Sustainable Use of Renewable Resources, in Chichilnisky, G., Heal, G. and Vercelli, A. (eds), *Sustainability: Dynamics and Uncertainty*, Kluwer Academic Publisher, pp.49-76.
5) Xepapadeas, A. (1997)：Advanced Principles in Environmental Policy, Edward Elgar Publishing, pp.114-135.
6) 大住圭介(1985)：長期経済計画の理論的研究，勁草書房，pp.215-250.
7) 宇沢弘文(1987)：公共経済学を求めて，岩波書店.
8) 宇沢弘文・茂木愛一郎編(1994)：社会的共通資本，東京大学出版会.
9) Pigou, A.C.(1938)：*The Economics of Welfare*, 4th Edition, London: Macmillan and Co.
10) 常木淳(1990)：公共経済学，新世社，pp.161-186.
11) Baumol, W.J. and Oates, W.E. (1988)：*The Theory of Environmental Policy*, 2nd Edition, Cambridge University Press.
12) Hanley, N., Shogren, J.F. and White, B. (1997):*Environmental Economics in Theory and Practice*, Macmillan Press Ltd.
13) 植田和弘・岡敏弘・新澤秀則(1997)：環境政策の経済学，日本評論社.
14) Kapp, K.W., (1950)：*The Social Costs of Private Enterprise*, Cambridge, Mass., Harvard University Press. (柴田徳衛・鈴木正俊 訳(1975)：環境破壊と社会的費用，岩波書店.)
15) 林山泰久(1998)：非市場財の存在価値，土木計画学研究・講演集，No.21(2)，pp.35-48.
16) Small, K.A. and Kazimi, C. (1995)：On the Costs of Air Pollution form Motor Vehicles, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.29, pp.7-32.
17) OECD/ECMT(1994)：Internalizing the Social Costs of Transport, OECD Publications Service.
18) 宮本憲一(1989)：環境経済学，岩波書店，pp.45-49.
19) 参考文献11)，pp.57-78.
20) 土門晃二 (1997)：環境規制と市場，細江守紀編，公共政策の経済学，第11章，pp.249-268，有斐閣.

21) 森杉壽芳(1997)：社会資本整備の便益評価，勁草書房，pp.73-90.

22) 上田孝行(1995)：交通・立地分析モデルによる都市交通プロジェクトの影響分析，日交研シリーズ　A-184，日本交通政策研究会.

23) 小池淳司・上田孝行・森杉壽芳(1996)：2 都市モデルを用いた交通整備の評価に関する研究，土木計画学研究・論文集，No.13，pp.289-294.

24) 日本総合研究所(1993)：国民経済計算体系に環境・経済統合勘定を付加するための研究報告書，pp.39-53.

25) Dixon, J.A., Scura, L.F., Carpenter, R.A. and Sherman, P.B.(1994)：*Economic Analysis of Environmental Impacts*, 2nd Edition, Earthscan Publications LTD. (環境経済評価研究会訳(1998)：新環境はいくらか，築地書館．)

26) 江副憲昭(1994)：市場と規制の経済理論，中央経済社，pp.204-208.

27) 参考文献 21)，pp.127-140.

28) 川又邦雄(1989)：市場機構と経済厚生，創文社，pp.187-200.

29) 西村和雄(1990)：ミクロ経済学，東洋経済新報社，pp.300-308.

30) 植田和弘(1996)：環境経済学，岩波書店，pp.21-23.

31) 天野明弘(1997)：総合政策・入門，有斐閣アルマ，pp.142-152.

32) 清野一治(1989)：交通料金，奥野正寛・篠原総一・金本良嗣編，交通政策の経済学，第 1 章，pp.27-47，日本経済新聞社.

33) 山内弘隆(1994)：東京の交通問題：道路混雑問題への対応，八田達夫・八代尚宏編，東京問題の経済学，第 3 章，pp.91-123，東京大学出版会.

34) Pearce, D., Markandya, A. and Barbier, B. (1989)：*Blueprint for a Green Economy*, Earthscan Publications. (和田憲昌 訳(1994)：新しい環境経済学－持続可能な発展の理論－，ダイヤモンド社，pp.57-100．)

35) 森杉壽芳・大野栄治・小池淳司・武藤慎一(1995)：公園整備事業の便益評価－新しい非市場評価手法の提案－，土木学会論文集，No.518／Ⅳ-28，pp.135-144.

36) 金本良嗣(1997)：都市経済学，東洋経済，pp.328-335.

37) 肥田野登(1997)：環境と社会資本の経済評価，勁草書房.

38) 山崎福寿(1991)：自動車騒音による外部効果の計測，環境科学会誌，Vol.4，pp.251-264.

39) Johansson, P-O (1987)：*The Economic Theory and Measurement of Environmental*, Cambridge University Press. (嘉田良平 監訳(1994)：環境評価の経済学，多賀出版，pp.155-168．)

40) 大野栄治・田苗創基・高木朗義(1995)：旅行費用法を用いた公園の親水化事業の便益評価，土木計画学研究・講演集，No.18(2)，pp.57-60.

41) 林山泰久(1998)：仮想的市場評価法による環境質の便益評価，現代フォーラム，土木学会誌，Vol.83. 6，pp.37-40.

42) 栗山浩一(1998)：公共事業と環境の価値，築地書館.

43) 嘉田良平・浅野耕太・新保輝幸(1995)：農林業の外部経済効果と環境農業政策，多賀出版，pp.1-297.

44) 藤本高志(1998)：農がはぐくむ環境の経済評価　CVM，農林統計協会.

45) 岩瀬広・林山泰久(1997)：CVM による幹線交通網整備がもたらすリダンダンシーの経済的評価，土木計画学研究・講演集，No.20(2)，pp.379-382.

46) 大野栄治・三村信男・山田和人(1996)：奉仕労働量による海面上昇対策便益の評価，土木計画学研究・講演集，No.19(2)，pp.79-82.

47) 上田孝行(1993)：住環境改善便益のキャンセルアウトについての一考察，日本不動産学会平成 5 年度秋期全国大会梗概集，No.9，日本不動産学会，pp.105-108.

【第 4 章参考文献】

1) 宮沢健一編(1991)：産業連関分析入門，日本経済新聞社.

2) Shoven, J.B. and Whalley, J. (1992)：*Applying General Equilibrium*, Cambridge University Press, 1992. (小平裕訳(1993)：応用一般均衡分析－理論と実際，東洋新報社，pp.35-67．)

3) Harberger, A.C. (1962)：The Incidence of the Corporation Income Tax, *Journal of Political Economy* 70, pp.215-240.

4) Shoven, J.B. and Whalley, J. (1972)：A General Equilibrium Calculation of the Effects of Differential Taxation of Income from Capital in the U.S., *Journal Public Economics* 1, pp.281-322.

5) Johansen, L. (1960)：*A Multi-Sectoral Study of Economic Growth*, Amsterdam, North-Holland.

6) Adelman, I. and Robinson, S. (1978)：*Income Distribution Policy in Developing Countries: A Case Study of Korea*, Oxford, Oxford University Press.

7) Dixon, P.B., Parmenter, B.R., Powell, A.A. and Wilcxes, P.J. (1992)：*Notes and Problems in Applied General Equilibrium Economics*, North-Holland.

8) Ginsburgh, V. and Keyzer, M. (1997)：*The Structure of Applied General Equilibrium Models*, The MIT Press, pp.91-129.

9) 宮城俊彦(1998)：応用一般均衡分析の発展経緯－基礎理論と応用－，土木計画学ワンデーセミナー　シリーズ 15，応用一般均衡モデルの公共投資評価への適用，pp.17-28.

10) Ballard, C.L., Fullerton, D., Shoven, J.B. and Whalley, J. (1985)：*A General Equilibrium Model for Tax Policy Evaluation*, University of Chicago Press.

11) Don, H., Klundert, T. van de and Sinderen, J. van (1991):*Applied General Equilibrium Modelling*, Kluwer Academic Publishers.

12) Dixon, P.B., Parmenter, B.R., Sutton, J. and Vincent, D.P. (1982)：*ORANI: A Multisectoral Model*

of the Australian Economy, North-Holland.
13) 参考文献 2)，邦訳 pp.70-87．
14) 市岡修(1991)：応用一般均衡分析，有斐閣．
15) 黒田昌裕(1989)：一般均衡の数量分析，岩波書店．
16) 宮田譲・佐藤泰久・高橋誠一・山崎尚子(1990)：地域経済の一般均衡モデル－CGE モデルからの視点－，土木計画学研究・講演集，No.13，pp.45-52．
17) 溝上章志(1994)：産業間の連関性と空間的な価格均衡を考慮した物質流動モデル構築の試み，土木学会論文集，No.494／Ⅳ-24，pp.53-61．
18) 宮城俊彦・本部賢一(1996)：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．
19) 柴田貴徳・安藤朝夫(1992)：多地域財・価格均衡に基づく中国基幹交通施設整備の効果分析，土木計画学研究・論文集，No.10，pp.167-174．
20) 奥田隆明(1994)：確率論に基づく多地域一般均衡モデル－地域政策分析のための応用一般均衡モデルとして－，地域学研究，No.24，Vol.1，pp.117-131．
21) 小林潔司・秀島栄三(1997)：地方生活圏の都市システム構造に関する応用一般均衡モデル，土木計画学研究・講演集，No.20，pp.259-262．
22) 赤松隆・半田正樹(1997)：変分不等式アプローチによる多地域一般均衡モデルの構築と解析，土木計画学研究・講演集，No.20，pp.367-370．
23) Miyagi, T. (1996)：Recent Developments in Multiregional General Equilibrium modeling: Economic-Transportation Interaction Models, Paper prepared for the 33rd Japanese Section Meetings of the RSAI, Aichi, Japan.
24) Miyata, Y.(1995)：A General Equilibrium Analysis of the Waste-Economic System –A CGE Modeling Approach-, 土木計画学研究・論文集，No.12，pp.259-270．
25) 藤田宏二(1989)：経済理論と経済循環，嵯峨野書院，pp.9-12．
26) 経済企画庁経済研究所国民所得部編(1989)：新国民経済計算の見方・使い方－新 SNA の特徴－，大蔵省印刷局．
27) 武野秀樹・金丸哲編著(1997)：国民経済計算とその拡張，勁草書房．
28) 中込正樹(1995)：一歩先を行く経済学入門　マクロ編，有斐閣．
29) 参考文献 14)，pp.71-72．
30) 参考文献 1)，pp.127-158．
31) 総務庁(1994)：平成 2 年産業連関表，総務庁．
32) 武野秀樹(1990)：国民所得論，九州大学出版会，pp.109-118．
33) 参考文献 24)，pp.45-71．
34) 宮本昌徳(1992)：租税の応用一般均衡分析，今泉博国・藪田雅弘編著，現代経済政策の基礎，第 5 章，pp.95-108，中央経済社．

35) Dinwiddy, C. L. and Teal, F. J. (1988)：*The Two-Sector General Equilibrium Model: A New Approach*, Philip Allan. (山岡道男訳(1995)：コンピュータ時代の経済学入門，早稲田大学出版部，pp.11-43．)
36) 参考文献 34)，邦訳 pp.55-59．
37) 西村和雄(1990)：ミクロ経済学，東洋経済新報社，pp.193-200．
38) 参考文献 2)，邦訳 pp.113-115．
39) 参考文献 34)，邦訳 pp.47-54．
40) 参考文献 13)，pp.70-71．
41) 参考文献 2)，邦訳 pp.89-92．
42) 参考文献 1)，pp.77-93．
43) 参考文献 13)，pp.7-9．
44) NHK 放送文化研究所(1996)：日本人の生活時間，日本放送出版協会．
45) 参考文献 2)，邦訳 pp.113-117．
46) 参考文献 2)，邦訳 pp.65-67．
47) 森杉壽芳(1997)：社会資本整備の便益評価，勁草書房，pp.14-16．
48) 上田孝行(1997)：道路投資の主な効果とその分類，中村英夫編，道路投資の社会経済評価，第 14 章，pp.51-73，東洋経済新報社．

【第 5 章参考文献】

1) Bergman, L. (1991)：General Equilibrium Effects of Environmental Policy: A CGE-Modeling Approach, *Environmental and Resource Economics*, Vol.1, pp.43-61.
2) Ballard, C.L. and Medema, S.G. (1993)：The Marginal Efficiency Effects of Taxes and Subsidies in the Presence of Externalities, *Journal of Public Economics* 52, pp.199-216.
3) Pireddu, G. (1998)：Evaluating External Costs and Benefits Resulting from a Cleaner Environment in a Stylized CGE Model, in Roson, R. and Small, K.A. (eds), *Environmental and Transport in Economic Modelling*, Chapter 6, pp.118-151, Kluwer Academic Publishers.
4) Miyata, Y. (1995)：A General Equilibrium Analysis of the Waste-Economic System -A CGE Modeling Approach-, 土木計画学研究・論文集，No.12，pp.259-270．
5) 奥田隆明・中嶋康博・林良嗣(1997)：高速交通体系の整備による地球環境負荷の計測モデル，土木計画学研究・講演集，No.20(2)，pp.133-136．
6) Mayeres, I. and Proost, S. (1995)：Optimal Tax Rules for Congestion Type of Externalities, Paper presented at the 7th WCTR, Sydney, Australia.
7) Verhoef, E.T. (1996)：Economic Efficiency in Second-best Regulation of Road Transport

Externalities, Paper presented at the 36th ERSA, ETH Zurich, Switzerland.

8) Borger, B.D. and Swysen, D. (1998) : Optimal Pricing and Regulation of Transport Externalities: A Welfare Comparison of Some Policy Alternatives, in Roson, R. and Small, K.A. (eds), *Environmental and Transport in Economic Modelling*, Chapter 6, pp.118-151, Kluwer Academic Publishers.

9) Mayeres, I. (1998) : The Control of Externalities in the Transport Sector: An Applied General Equilibrium Model, Paper presented at the 8th WCTR, Antwerp, Belgium.

10) Ben-Akiva, M. and Lerman, S.R. (1985) : Discrete Choice Theory of Product Differentiation, MIT Press.

11) 土木学会土木計画学研究委員会編(1995)：非集計行動モデルの理論と実際，土木学会．

12) 林良嗣・加藤博和・木本仁・菅原敏文(1995)：都市旅客交通のモーダルシフト政策に伴うCO_2排出量削減効果の推計，土木計画学研究・論文集，No.12，pp.277-282．

13) 伊藤雅・石田東生(1996)：ガソリン消費量モデルによる乗用車利用の地域・時系列特性の把握，土木計画学研究・論文集，No.13，pp.525-533．

14) 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．

15) 宮城俊彦・小川俊幸(1985)：共役性理論を基礎とした交通配分モデルについて，土木計画学研究・講演集，No.7，pp.301-308．

16) 上田孝行(1995)：期待効用最大化とロジットモデル，土木計画学研究・講演集，No.18(1)，pp.441．

17) 高木朗義(1996)：防災投資の便益評価手法に関する研究，岐阜大学博士学位論文，pp.48-54．

18) Morisugi, H., Ueda, T. and Le, D.H. (1995) : A New Proposal for Travel Demand Forecasting in the Context of Classical Consumer Behavior Theory, Paper presented at the 7th WCTR, Sydney, Australia.

19) 佐野紳也(1990)：質的選択分析－理論と応用，三菱経済研究所，pp.34-43．

20) Shoven, J.B. and Whalley, J. (1992) : *Applying General Equilibrium*, Cambridge University Press, 1992. (小平裕訳(1993)：応用一般均衡分析－理論と実際，東洋新報社，pp.92-95．)

21) 市岡修(1991)：応用一般均衡分析，有斐閣，pp.72-76．

22) Johansson, P-O (1987) : *Cost-Benefit Analysis of Environmental Change*, Cambridge University Press, pp.32-33.

23) 玉木興乗(1995)：経済の循環，多賀出版，pp.183-197．

24) 宮沢健一編(1991)：産業連関分析入門，日本経済新聞社，pp.89-93．

25) 常木淳(1995)：公共経済学，新世社，pp.111-117．

26) 西村和雄(1990)：ミクロ経済学，東洋経済新報社，pp.152-153．

27) 参考文献 25)，pp.179．

【第６章参考文献】

1) 中込正樹(1995)：一歩先をいく経済学入門　マクロ編，有斐閣，pp.6-19．

2) 藤田宏二(1989)：経済理論と経済循環，嵯峨野書院，pp.9-32．

3) 岩井克人(1994)：経済成長論，岩井克人・伊藤元重編，現代の経済理論，第７章，pp.265-324，東京大学出版会，

4) 中島隆信・吉岡完治編(1997)：実証経済分析の基礎，慶應義塾大学出版会，pp.215-235．

5) Jorgenson, D.W. and Wilcoxen, 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*, Vol. 3, Amsterdam: Elsevier, pp.1267-1349.

6) Capros, P., Georgakopoulos, P., Zografakis, S., Regemorter, D.V. and Proost, S. (1998) : Coordinated Versus Non-coordinated European Energy/Carbon Tax Solutions Analysied with GEM-E3 Linking the EU-12, in Proost, S. and Braden, J.B. (eds), Climate Change Transport and Environmental Policy, Edward Elgar Publishing Limited, pp.105-130.

7) Conrad, K. and Schmidt, T.F.N. (1998) : National Economic Impacts of an EU Environmental Policy: an Applied General Equilibrium Analysis, in Proost, S. and Braden, J.B. (eds), Climate Change Transport and Environmental Policy, Edward Elgar Publishing Limited, pp.48-77.

8) 森田恒幸・松岡譲・甲斐沼美紀子(1995)：地球温暖化対策の統合評価モデル(AIM)の開発，シミュレーション，Vol. 14(1)，pp.4-11．

9) Duraiappah, A.K. (1993) : Global Warming and Economic Development, Kluwer Academic Publishers B.V.(鷹津芳樹訳：地球温暖化と経済発展，内田老鶴圃．)

10) 黒田昌裕・新保一成(1993)：二酸化炭素排出量安定化と経済成長，宇沢弘文・國則守生，地球温暖化の経済分析，第６章，pp.167-196，東京大学出版会．

11) 天野明弘(1997)：地球温暖化の経済学，日本経済新聞社，pp.135-139．

12) Amano, A. (1992) : *Global Warming and Economic Growth*, Center for Global Environmental Research.

13) Miyata, Y. (1997) : An Intertemporal General Equilibrium Analysis of the Waste-Economic System，土木計画学研究・論文集，No.14，pp.99-154．

14) 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．

15) 赤松隆・半田正樹(1996)：Nested LOGIT 型交通・住居立地統合均衡モデルとその効率的解法，土木計画学研究・論文集，No.13，pp.279-287．

16) Shoven, J.B. and Whalley, J. (1992) : *Applying General Equilibrium*, Cambridge University Press, 1992. (小平裕訳(1993)：応用一般均衡分析－理論と実際，東洋新報社，pp.168-177．)

【第７章参考文献】

1) 総務庁(1994)：平成２年産業連関表，総務庁．
2) 経済企画庁編(1997)：国民経済計算年報　平成９年版，大蔵省印刷局，pp.14-17．
3) 武野秀樹・金丸哲編著(1997)：国民経済計算とその拡張，勁草書房．
4) 中島隆信・吉岡完治編(1997)：実証経済分析の基礎，慶應義塾大学出版会．
5) 運輸省鉄道局(1991)：数字でみる鉄道 '91，運輸経済研究センター．
6) 道路経済研究所・道路交通経済研究会(1993)：道路交通経済要覧，ぎょうせい．
7) ニッセイ基礎研究所(1995)：調査月報．
8) 運輸省運輸政策局情報管理部(1991)：運輸経済統計要覧，運輸経済研究センター
9) 日本自動車工業会(1991)：道路ポケットブック，全国道路利用者会議．
10) 自動車検査登録協会(1991)：自動車保有車両数
11) 日産自動車(1991)：自動車産業ハンドブック，紀伊国屋書店．
12) OECD/ECMT(1994) : Internalizing the Social Costs of Transport, OECD Publications Service.
13) 交通安全プロジェクト研究会(1994)：道路交通事故の社会的・経済的損失，日交研シリーズ A-166．
14) Titus, (1992) : The Cost of Climate Change to the United States, in Kalkstein et al, Global Climate Change, Implication, Challengers and Mitigation Measurel, Pennsylvania Academy of Science.

【第８章参考文献】

1) 宮城俊彦(1997)：均衡制約付き最適化問題の土木計画への応用可能性，土木計画学研究・講演集，No.20(1)，pp.507-510．
2) 清野一治(1993)：規制と競争の経済学，東京大学出版会．
3) 久我清・入谷純・永谷裕昭・浦井憲(1998)：一般均衡理論の新展開，多賀出版，pp.263-294．

謝　辞

博士論文を結ぶにあたり，これまで御指導，御協力頂いた多くの方々に深く感謝の意を表したい．

まず，学部時代から本論文の執筆に至るまで，終始一貫して御指導，御鞭撻を賜った東北大学森杉壽芳教授には心より感謝の意を表したい．筆者が計量厚生分析の枠組みを用いるにあたり，その本質的な部分まで数え切れない御指導を頂き，また，環境問題および環境政策評価の重要性を私に説き本論文の着眼点を示唆して頂いた．研究以外の部分でも並々ならぬお世話を頂き，今後，筆者の社会人としての生活において貴重な経験となると思う．森杉教授には，どんなに感謝しても足りないが，今一度ここに感謝の意を表す次第である．

また，本論文の主査をお引き受け頂き，本論文の執筆においても多大な御指導を頂いた岐阜大学宮城俊彦教授にも感謝の意を表したい．本論文で適用を行った応用一般均衡モデルは，宮城教授の研究と共通する部分も多く，その理論体系の理解から適用方法に至るまで非常に有益な助言を賜った．ここに記して感謝の意を表す．

岐阜大学上田孝行助教授には，本論文の執筆から完成に至るまで，浅学な筆者に対して懇切丁寧に相談にのって頂き，適切な御指導，御助言を頂いた．本論文のモデル構築から数値計算まで，大部分は上田助教授との議論によるものであり，上田助教授の御指導がなければ本論文は完成し得なかった．ここに深く感謝の意を表す次第である．

岐阜大学秋山孝正教授，岐阜大学松井佳彦助教授には，本論文の副査を引き受けて頂き，熱心な御指導，御助言を頂いた．ここに記して感謝の意を表す．特に，秋山教授には，筆者が見落としがちな部分に対して適切な御助言を頂き，本論文の幅を拡げることができた思われる．今一度ここに感謝の意を表す次第である．

名城大学大野栄治助教授には，筆者が学部時代に御指導頂くとともに，テーマが同じ環境問題であることから有益な御助言を頂いた．ここに記して感謝の意を表する．また，東北大学林山泰久助教授にも，環境問題から一般均衡理論体系まで，その理論的な部分について幅広く御助言頂くとともに，今後さらに研究を発展させていく上で，一般均衡理論以外の理論も含めた総合的な観点から問題を捉えることの重要性を説いて頂いた．ここに記して感謝の意を表す．中日本建設コンサルタント高木朗義氏には，特に水環境問題について様々な御示唆を頂くとともに，研究以外の部分でも多大なお世話を頂いた．ここに記して感謝の意を表す次第である．長岡技術科学大学小池淳司助手には，筆者が研究室に入って以来，熱心に御指導頂くとともに，博士論文の執筆にあたっても数々の相談にのって頂いた．また，研究以外の部分でもお世話を頂いた．ここに記して感謝の意を表す．中京大学鈴木崇児講師には，専門分野は異なるものの，本論文に対し違った角度から有益な御助言を頂くとともに，研究に対する姿勢についても熱心

に議論に応じて頂いた．ここに感謝の意を表する次第である．

本論文は，岐阜大学森杉・上田・小池研究室の多くの先輩方および後輩達の協力があって初めて完成したものである．特に，第7章の数値シミュレーションに関しては，舘幹士氏（現在，三重県庁勤務），岡田英孝氏の協力がなければ完成し得なかった．ここに深く感謝の意を表する次第である．また，筆者が研究室に入った時には，岐阜大学森杉・上田・小池研究室の先輩方の熱心な御指導を頂くとともに，博士後期課程の最後の一年間に岐阜大学森杉・上田・小池研究室に所属した，浅野貴志氏，大見明弘氏，近藤浩治氏をはじめとする後輩達には，本論文の編集作業等の御協力を頂いた．改めてここに感謝の意を表す．

本論文において研究を進める上で，学外での研究発表会においても貴重な御指摘，御助言を頂いた．土木計画学研究発表会では，京都大学藤田昌久教授，京都大学北村隆一教授，名古屋大学奥田隆明助教授に貴重なコメントを頂くとともに，研究の方向性についても御示唆を頂いた．ここに記して感謝の意を表する．また，応用地域学研究発表会では，青山学院大学須田昌也先生，豊橋技術科学大学宮田譲先生に貴重な御助言，御示唆を頂いた．ここに記して感謝の意を表する次第である．

また，本論文の一部は，(財)運輸政策機構運輸政策研究所の客員研究員研究として，多大な御協力を頂いた．特に，水流正英氏（現在，長銀総研コンサルティング）には，資料およびデータ等の収集に熱心な御協力を頂いた．ここに記して感謝の意を表する次第である．

東京大学清水英範教授，群馬大学片田敏孝助教授には，学会や研究会等，折に触れて声をかけていただき，研究を進める上で筆者にとって大きな励みとなった．ここに記して感謝の意を表す．

最後に私事ではあるが，両親には今日まで多大な心配をかけてきた．また，妻嘉世，愛娘なつ美は，いつも私のそばにいて力強く励ましてくれた．家族の支えをなくしては，本論文は完成しなかったかもしれない．改めてここに深く感謝の意を表する次第である．

これまでの多くの人々の多大なる励ましの下に本論文を完成させることができた．しかし，本論文の完成は「ゴール」なのではなく，新たなステップへの「スタート」でもある．これまでの多くの人々の支えに改めて感謝するとともに，これからもますます研究に精進していくことを決意して本論文を終えることとする．

平成11年2月23日

武藤　慎一

[illegible]