独立した輸送部門をもつSCGEモデルによる 高速道路の経済効果評価

宮城 俊彦¹

¹正会員 東北大学教授 大学院情報科学研究科 (〒 801-2267 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)
E-mail: toshi_miyagi@plan.civil.tohoku.ac.jp

本研究は、輸送部門を独立した一部門として取り扱う空間応用一般均衡 (SCGE) モデルの枠組みと特長を示すとともに、現在施工中の東海環状自動車道に適用し、その経済効果分析を示したものである。多くの SCGE モデルは輸送部門の複雑さを回避するため、一般には氷解モデルを用いている。本研究では氷解モデルの問題点を指摘するとともに、輸送マージンによる方法ではなく、所要時間短縮が家計の拡張された可処分所得変化を通して発現するモデルを提案している。また、道路の改善に伴う地域間の所要時間短縮を経済一般均衡とリンクさせるため、地域間交易係数のシェア・パラメータを空間相互作用モデルで推定する方法を提案し、道路改善が地域間アクセシビリティを変化させるように機能するモデルを提案している。

Key Words : *spatial computable general equilibrium model, spatial interaction model, independent transport sector, interregional trade coefficient, economic effects of road project*

1. はじめに

多地域を対象とする CGE モデルは、spatial CGE (SCGE) モデル、multi-regional CGE あるいは regional CGE モデルと呼ばれている。しかし、これらの間には大きな違いがある。SCGE モデルでは複数の地域相互間の交易を対象とし、対象とする空間はネットワーク構造を有する交通システムで連結されていることを前提にしているのに対し、multi-regional CGE や regional CGE モデルは、ある特定の地域経済を分析対象にしておき、その地域と係わりのある地域間との交易のみを対象とする空間経済モデルである。したがって、実体のネットワークを対象にする必要は必ずしもない。多地域を扱っているという意味で広義に解釈し、これらのモデルを SCGE モデルと呼ぶ研究者もいるが、地域 (regional) CGE モデルという限定した呼称のほうが適切である。地域 CGE において、地域を国に置き換えたものが国際貿易モデルになる。本研究で扱うモデルは、交通インフラのネットワーク構造を前提にした SCGE モデルである。

SCGE モデルは大きく 2 つのタイプに分類できる。第 1 のタイプは地域間交易係数が与えられていることを前提にした交易外生化モデルであり、Roson¹⁾あるいは Frietz *et al.*²⁾が提案した SCGE モデルがこのタイプである。交易外生化モデルでは交通インフラの変化が地域間交易量に与える影響はモデル化されない。

第 2 のモデルは、地域間交易量を内生的に決定するモデルであり、地域間交易量は地域間交通時間などの

サービス変数に応じて変化することを前提にしている。後者のタイプには、Bröcker³⁾や宮城・本部^{4),5)}の提案したモデルなどがある。本研究は、後者の交易内生モデルを対象としている。

一方、宮城⁶⁾が提案した M-SCGE モデルは Bröcker および宮城・本部モデルと以下の 2 点で異なっている。第 1 に、M-SCGE モデルは輸送における iceberg specification (氷解モデル¹⁾) を採用せず、輸送部門を独立した 1 産業として扱っている点である。第 2 に、47 都道府県の地域内産業連関表が利用可能であることを前提に、地域間交易量額を基準均衡データとして与えられる地域ごとの産業連関表と完全に整合するように決定する点である。

交通がもたらす地域経済へのインパクトを評価する場合、新規道路建設や交通容量の拡張などの交通技術の変化による経済効果とガソリン料金値上げあるいは重量税や環境税の賦課のような交通価格政策がもたらす効果を区別する必要がある。前者は、交通インフラ整備に伴うアクセシビリティ変化が財市場を通して生産・消費に波及する効果計測を目的としている。この場合、アクセシビリティ変化が輸送価格 (各産業の輸送マージン) を下げるように働くかどうかは輸送産業の構造に依存する。地域間交易係数の変化はより安価な資源の利用の範囲を拡大し、消費財の価格を減少させるように機能するが、消費需要の拡大に伴う地域間交

¹ iceberg model を氷塊モデルと訳している文献がほとんどであるが、本研究では、宮城³³⁾の考察に基づき、氷解モデルという用語を用いる。

易の増大により輸送費は上昇する場合もある。輸送費が増大するか減少するかは産業連関表より投影された輸送産業の投入産出構造に依存する。また、企業の負担する交通費用は中間投入における輸送産業の投入割合に依存して変化する。このように、交通インフラ整備が輸送価格の変化を通してどのように空間的に波及するかを分析するには、氷解モデルは不十分であり、輸送部門を独立した産業部門として取り扱う必要がある。

一方、交通政策に伴う価格変化は地域間のネットワーク構造の変化を前提にする必要はない。ただし、交通価格の変化は企業の交通費用支払いに直結するため生産にも影響する。

交通インフラの整備は交通所要時間にも影響する。混雑の減少は、商品の取扱いの余裕時間を増加させ、ジャスト・イン・タイムでの配送時間をもたらす。生産の効率性向上に寄与すると考えられる。しかし、地域間で生じる交通所要時間の変化が企業の生産行動にどのように影響を及ぼすかをモデル化するための十分なデータはなく、理論的にも説明されていないので本研究でも取り扱っていない。一方、移動時間の短縮は家計の余暇時間の増大をもたらす。家計は生じた余裕時間を労働サービス供給に使うことができるため、地域の労働サービス供給が増加するように働く。本研究では短縮時間を時間価値を用いて貨幣換算するという従来のやり方ではなく、市場機構を使って同じ効果を持つようなモデルを提案している。

本研究の目的は、交通インフラ整備に伴うアクセシビリティ変化が財価格の変化を通して地域の生産と消費に与える影響および家計の効用変化を分析できるモデルを提案することである。SCGEモデルの主たる部分はCGEに同じなのでその記述は最小限にとどめ、本研究では、アクセシビリティ変化をSCGEモデルにどうリンクさせるかに重点を置いて議論している。

本研究は以下のように構成される。まず、2. ではSCGEモデルの成立の背景と現在の研究動向を概観する。3. では、M-SCGEモデルの構造と特長を簡単に紹介する。ここでは経済一般均衡体系については詳細を省略し、地域間交易モデルに焦点を絞って記述している(モデル全体の枠組みは付録に掲載した)。4. はSCGEモデルを東海環状道路の整備効果計測に適用した結果を述べたものである。まず、分析の前提条件となる基準均衡データの概要と現況再現性に触れ、次に、東海環状道路が与える地域経済効果を愛知、岐阜、三重の東海三県を中心に分析する。そして、5. において提案モデルの課題等について整理している。

2. SCGEモデル研究の背景

輸送と経済活動の相互作用を扱うモデルは1940年前後にカントロピッチとヒチコックによって個別に提案された輸送問題に始まる。輸送問題は1950年代以降、異なる分野で独自の発展をとげる。1つは交通工学における交通量配分モデルとしての輸送問題の精緻化であり、他の1つは空間経済学における空間価格均衡モデルへの拡張である。交通工学の分野では複雑な交通ネットワークを前提に非線形の輸送費用を取り扱えるモデルに関心があつたのに対し、経済学の分野では輸送費用よりも需要と供給の枠組みの一般化に興味があつたといえる。Enke⁷⁾, Samuelson⁸⁾にはじまる空間価格均衡モデルはTakayama and Judge⁹⁾, Friedlaender and Spady¹⁰⁾等によって拡張され、その後、Harker¹¹⁾, Nugurney¹²⁾等を経て交通ネットワーク均衡モデルを内包するよう一般化された。しかし、空間価格均衡モデルは、貨物流動を想定した部分均衡モデルであり、1財のみを扱い、財市場における中間投入と最終需要の区別はなく、労働市場も含まれていない。また、モデルに含まれるパラメータの決定法は言及されていない。しかし、交通ネットワークと経済一般均衡モデルを統合するというSCGEモデルの基本的思想はこれらの研究の延長線上で展開されてきたといえる。

SCGEモデルとはSpatial Computable General Equilibriumモデルの略称であり、Shoven and Whalley^{13), 14)}によって体系化された経済一般均衡計算(Computable General Equilibrium: CGE)を空間を含むように拡張したモデルである。すなわち、CGEモデルが1国を対象にしているのに対し、国内における地域経済分析、特に地域間の経済連携を分析することを目標に研究が進められてきた。SCGEモデルという名称は、1993年にR. Rosonによって主催されたベニス国際ワークショップ以降定着したと思われる。Roson¹⁾やFriez *et al.*²⁾は経済一般均衡と交通ネットワーク均衡を同時に達成することに関心があり、地域間交易量が与えられていることを前提にしていた。一方、Bröcker³⁾そして宮城・本部⁵⁾, Miyagi¹⁵⁾によって提案されたSCGEモデルは、交通ネットワーク均衡との統合化よりも地域間交易係数の内生化に力点が置かれている。

一般均衡分析は、通常、不動点アルゴリズムを必要とする¹⁴⁾。あるいはMathiesen¹⁶⁾によって示されたような相補性問題(あるいは変分不等式問題)を解く必要がある。しかし、需要関数の粗代替性が成立すれば勾配法やNewton法を利用することができる。Newton法は初期実行解として均衡解の周辺の値を与えることができれば収束が保証できる。したがって、均衡状態におけるショックが現在の均衡から大きく逸脱するほど大き

	地域 A		地域 B		全地域 (全国)		輸出・輸入	生産
	中間投入	最終需要	中間投入	最終需要	中間投入	最終需要		
地域 A							輸出・入	生産
地域 B							輸出・入	生産
	地域 A の中間投入の計	地域 A の最終需要の計	地域 B の中間投入の計	地域 B の最終需要の計	全域の中間投入	全域の最終需要	輸出・入	生産
	付加価値		付加価値		付加価値			
	生産		生産		生産			

図-1 競争移入型地域間産業連関表の推計

くなければ (例えば, 正の生産財がショックによってゼロの生産財に変化するような変化がなければ), 基準均衡からスタートした解は, 新たな均衡状態へスムーズに移行することが期待できる。特に, SCGE モデルでは多数の地域と財の同時均衡を求めるため, 効率的な均衡計算を必要とする。こうした背景のもと, Bröcker³⁾ および宮城・本部モデル⁵⁾あるいは M-SCGE モデル⁶⁾では, Newton 法を採用している。

SCGE モデルは 2000 年代に入って世界的に関心が高まり, 特にヨーロッパにおいて国の総合開発計画あるいは交通網計画には欠かせないという認識からモデル開発への機運が急速に高まってきた。英国の道路計画評価の諮問機関である SACTRA の勧告を受けて SCGE モデル研究をレビューした報告書が RAND Europe Cambridge¹⁷⁾によってまとめられている。また, ブラジルでも大規模な SCGE モデルが開発され, 国の道路網計画の評価に適用されている¹⁸⁾。RAND Europe Cambridge の報告書における MH モデルは, 宮城・本部モデルを指している。また, EU モデルは Bröcker の研究を基礎に展開された改良モデルである。

MH モデルは岐阜県を広域行政圏に分割したデータを用いてテストパイロット的に運用され¹⁹⁾, その後, その修正バージョンが東海北陸自動車道の経済効果分析に適用された^{20), 21)}。47 都道府県産業連関表を用い, 実際の道路網データを利用した SCGE モデルとしては, 少なくともわが国では最初であり, 世界的に見ても適用事例としては早い部類に属しよう。わが国では MH モデルの適用を皮切りに比較的早期に SCGE モデルを現実の道路網計画評価に適用したという意味では SCGE モデル先進国である。最近では防災の経済効果分析, 労働投入における地域間移動のモデル化および SCGE モデルの動学化など, 広がりを示している²²⁾⁻²⁴⁾。しかし, 我が国の研究が比較的小規模グループで行われているのに対し, EU モデルはヨーロッパの 7 カ国の研究機関とコンサルタントが参加する大きな研究であり, 鉄道網を含むネットワーク化経済が各国へ与える効果を評価する総合的プロジェクトとして実施されている。

3. M-SCGE モデルの構造と特長

(1) M-SCGE モデルの特長

図-1 に示す競争移入型地域間産業連関表の雛形を用いて M-SCGE モデルの特長を説明する。M-SCGE モデルの特長は, キャリブレーションにおいて, 図-1 に示した網掛け部分をデータとして与え, 空白部分を埋める機能をもつ点である。すなわち, 地域 A および地域 B の地域内産業連関表および輸出, 輸入が与えられているという条件の下, 地域 A が自地域および地域 B からの移入額を推計する。同様の推定を地域 B に対しても行う。その際, 地域 A の行で横に合計した額は, 前もって与えられている地域 A の生産額に一致する必要がある。地域 B についても同様である。すなわち, 地域 A の列において行が地域 B の欄が地域 A の移入に相当し, 地域 A の行において地域 B の列の欄が移出に相当する。このように M-SCGE モデルは地域間交易量を予測するメカニズムを内包している。この方法は東海北陸自動車道の経済効果分析²⁰⁾を行う段階から採用されている方法であるが, 宮城⁶⁾は MH モデルと区別するためにこの手法を後に M-SCGE モデルと呼んでいる。

一方, 地域ごとの域内産業連関表が未知の場合にも, 各地域の投入産出構造が全国と同じであると仮定すれば, 全国の産業連関表を用いて地域 A, B の地域内産業連関表の部分も推計できる。たとえば, A 県を広域市町村圏に分割した場合, A 県の産業連関表はデータとして得ることができるが, 分割された広域市町村圏の地域内産業連関表は整備されていない。この場合, 各広域市町村の産業の投入産出構造が A 県と同じであると仮定して, 各広域市町村圏ごとの産業連関表と地域間産業連関表を作成することができる。この方法の原型は Bröcker³⁾によって提案された。

無論, すべての地域間の地域間産業連関表が与えられていれば, 最も信頼できる分析が可能になるが, このようなデータはわが国を 9 地域に分割した 9 地域間産業連関表しか公表データはない。地域間産業連関表が与えられていることを前提にした手法は Roson¹⁾によつ

て提案された。

ところで、地域 A および地域 A からの地域 B への移出・輸出そして地域 B から地域 A への移入・輸入のみを扱うのが、地域 CGE モデルであり、地域 B の地域内表も分析対象とする SCGE モデルとは異なる。

(2) 基準均衡データ

M-SCGE モデルの適用にあたっては、CGE モデルと同様、1) 基準均衡データの準備、2) キャリブレーション、3) 仮設均衡（現況再現）計算、4) シナリオ分析、という 4 つのプロセスを経る。これらの作業の前段階では、分析の目的、利用可能データの有無等を参考に地域分割を含め対象地域が決定されている必要がある。本研究では、分割されたサブ地域をゾーンと呼ぶことにする。

ところで、CGE モデルでは基準均衡データとして社会会計行列（Social Account Matrix: SAM）を利用することを前提にしている場合が多い。一方、MH モデルは当初から産業連関表（Input-Output Table: IO 表）を利用することを前提に開発が進められてきた。その理由は基本的に 2 つある。

第 1 に、各県が標準的に整備している県内産業連関表は制度部門間の所得移転を含まない粗の SAM が付帯しているのみであり、標準的 SAM を作成するには多大の労力と時間を要するというのが最大の理由である。IO 表と標準 SAM の基本的な違いは、SAM では資本と労働を所有する主体（制度部門）に関する情報を含むが、IO 表では産業別に投入される本源的生産要素の情報のみで、所得の分配構造は分からない点である。租税の効果を主たる分析目的とするモデルでは、税制の効果がどのように経済主体の所得分布に影響するかをみる必要があり、所得の分配構造に関する情報が重要になる。たとえば、家計は労働収入のみならず土地等の提供を通じての所得、また、企業からの利子や配当、政府からの社会保障費等を通じての所得を得ている。制度部門ごとの所得の源泉が利用できる場合、所得税や間接税の分離が可能であるが、IO 表ではこのような制度部門ごとの所得あるいは制度部門間の所得の移転は分からない。

実際、交通インフラの整備に伴う経済効果を算定する場合、通常の CGE モデルで行われるようなミクロ的所得再配分の効果にまで言及する必要はないように思われる。無論、SAM のデータを利用可能ならばそのような分析も行えるが、そのために膨大な作業をする必要はないという意味においてである。SCGE モデルでは、資本と労働というマクロ的な所得分配を通じての地域格差の分析に焦点が当てられるべきであり、その意味では IO データでも必要最低限の情報は得られてい

るといえる。これが第 2 の理由である。

(3) M-SCGE モデルの基本構造

a) 基本構造

CGE モデルはミクロ経済学における経済均衡を定式化したものである。すなわち、家計は予算制約の下で効用最大化を図るべく財・サービスの消費を行い、企業行動には利潤最大化行動が仮定される。本研究における家計の行動モデルは Ballard, Fullerton, Shoven and Whalley (BFSW)²⁵⁾ の AGE (Applied General Equilibrium) モデル、その後 BFSW を参考に作成された市岡の日本版 AGE モデル²⁶⁾ と基本的に同じであり、モデルの詳細はこれら文献に譲る。本研究のアプローチが BFSW モデルあるいは日本版 AGE と異なる点は、以下のようである。まず、租税の分離は行っておらず、また、階層構造をすべて CES 関数で表現している。次に、図-2 に示すように、消費において交易財と非交易財を区別し、交易財に関しては他地域からの移入を考慮している。最後に、本研究では、本来の余暇時間ではなく、短縮交通時間を利用して拡張可処分所得を定義する点で大きく異なっている。すなわち、本研究で定義する余暇時間とは、短縮交通時間であり、労働サービスに供給できる時間を指す。生産関数は、図-3 に示す 3 層ネステッド構造で定式化される。最上位レベルでは、生産の投入要素を中間投入と本源的投入に分解する。第 2 レベルでは、中間投入は地域内財と他地域からの移入財の代替性を考慮する。また、労働と資本は代替性を持つと仮定される。そして、第 3 レベルでは、移入財を移出地域に分解する。このように地域間交易を加味している点が通常の CGE モデルと異なる点である。

一般的に熟練を要する技術を必要とする産業は、産業としての技術代替性が低く、コスト変化への反応が鈍く、高いコスト支払いに甘んじる。一方、通常の産業の技術代替性はより高く、したがって安いコストを求めて広い地域からの投入を求める。交通網の整備に伴うアクセシビリティの改善はより安い中間投入財や投入労働の獲得を可能にし、企業の生産における投入費用の低下要因になる。企業の利潤増加は高い本源的投入要素支払いとなって地域住民の所得を向上させる。生産行動についても CGE モデルに関連する多くの文献あるいは宮城⁶⁾などで触れられているので詳細は割愛し、基本部分の方程式のみを付録 1 に掲載した。

b) 氷解モデルの問題点

交通プロジェクトの経済効果を評価する際の最大の問題点は交通プロジェクトによる地域間所要時間短縮を生産における費用とどのように関連づけるのかという点である。宮城・本部モデル⁵⁾や Bröcker モデル³⁾を含む多くの SCGE モデルでは氷解モデルを仮定し、交通

図-2 家計モデル

図-3 生産モデル

費用を生産から消費に至る過程でのマージンとして取り扱っている。また、宮城等²⁷⁾は、9地域間産業連データを用いて地域間輸送時間と輸送マージンの関係を統計的に推定する試みを行っている。空間経済を扱う上

で輸送部門を氷解モデルとして定式化するのが常套手段となっているが、しかし、氷解モデルは輸送部門を独立した産業部門として取り扱わない点で交通プロジェクトの便益計算に問題を残す。これを利用可能データ

と便益計算の両面から見てみよう。

一般に公開されている産業連関表は、商業マージンと輸送マージンをベースに複雑な調整過程を経て、商業部門と輸送部門を切り離し、これらを独立した部門として扱った生産価格ベースのデータであり、輸送部門も労働・資本の本源投入要素を組み入れている。こうした各都道府県別 IO 表を基準データとして利用する場合、地域間輸送マージンのデータは一般には得られず、一律の輸送マージンを利用するしか方法がない。このため、生産価格ベースで作成されている一般の産業連関表を利用する場合、輸送部門を除去し、場合によっては周辺分布に一致させるなどの調整計算を必要とする。

水解モデルにおける便益は、企業の生産に関わる輸送マージンの減少として計測されるが、輸送マージンの減少は輸送部門の生産額の減少を意味している。したがって、輸送改善による企業の享受する便益と引き換えに輸送部門はマージンの損失分をすべて受け持つことになる。このため、水解モデルを仮定する場合、通常、輸送部門は不在部門として扱われ、競争均衡の外に置かれる。輸送部門の投入・産出構造を全く無視した輸送部門の取扱い、明らかに非現実的である。

こうした煩雑な調整計算を避け、輸送部門を独自の投入産出構造をもつ通常の産業部門として取り扱う SCGE モデルは宮城⁶⁾によって提案された。以下に示す M-SCGE モデルにおける輸送部門モデルは水解モデルとの関連を明確にするため輸送マージンを導入した形で定式化を示すが、M-SCGE モデルは実質的にはゼロ輸送マージンのケースに相当することに留意する必要がある。

c) 地域間交易のモデル化

地域(あるいはゾーン)の集合を $R = \{1, \dots, r, s, \dots, N\}$ とおき、コモデティの集合を $C = \{1, \dots, i, j, \dots, n\}$ とおく。地域 $r \in R$ で生産されたコモデティ $i \in C$ の消費地 $s \in R$ での価格 $\{p_i^{rs}\}$ は生産地でのコモデティ i の生産価格 $\{p_i^r\}$ に従価的であり、次のように定義する。

$$p_i^{rs} = p_i^r(1 + \eta_i^{rs}) \quad (1)$$

ここに、 $\{\eta_i^{rs}\}$ は輸送マージン率である。ゾーン s での生産には自地域および他地域ゾーンで生産された財が投入されると考える。これらの投入財を異質財と考える Armington 仮定²⁸⁾を受け入れ、次の CES 生産関数を仮定する。

$$Z_i^s = \left[\sum_{r \in R} (\hat{\varphi}_i^{rs})^{\frac{1}{\sigma_i}} (x_i^{rs})^{\frac{\sigma_i-1}{\sigma_i}} \right]^{\frac{\sigma_i}{\sigma_i-1}} \quad (2)$$

ここに Z_i^s はゾーン s での財 i の産出レベル、 $\hat{\varphi}_i^{rs}$ はシェア・パラメータ、そして σ_i は輸送サービスの地域間代替弾力性である。 x_i^{rs} は地域 r から地域 s への投入量である。企業の短期的最適化行動は、一定の産出水準 z_i^s

のもとで輸送価格を含む投入費用を最小にするように交易量 x_i^{rs} を決定することである。すなわち、

$$\begin{aligned} Q_i^s(x) &= \min_{\{x_i^{rs}\}} \sum_{r \in R} x_i^{rs} p_i^{rs} \\ \text{s.t.} \quad &\left[\sum_{r \in R} (\hat{\varphi}_i^{rs})^{\frac{1}{\sigma_i}} (x_i^{rs})^{\frac{\sigma_i-1}{\sigma_i}} \right]^{\frac{\sigma_i}{\sigma_i-1}} = Z_i^s \\ &\sum_{r \in R} (\hat{\varphi}_i^{rs}) = 1 \end{aligned}$$

この最適化問題の解は次式で与えられる。

$$x_i^{rs} = \frac{\varphi_i^{rs} (p_i^{rs})^{-\sigma_i}}{\left[\sum_{r \in R} \varphi_i^{rs} (p_i^{rs})^{1-\sigma_i} \right]^{\frac{\sigma_i}{\sigma_i-1}}} \cdot Z_i^s \quad (3)$$

ただし、 $\varphi_i^{rs} = (\hat{\varphi}_i^{rs})^{1/\sigma_i}$ と置いている。また、単位費用関数は次式で与えられる。

$$q_i^s \equiv \frac{Q_i^s}{Z_i^s} = \left[\sum_{r \in R} \varphi_i^{rs} (p_i^{rs})^{1-\sigma_i} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_i}} \quad (4)$$

式(4)にシェパードの補題^{10),29)}を適用すると、地域 s で財 i を 1 単位生産するときの地域 r からの投入需要を求めることができ、次式を得る。

$$T_i^{rs} \equiv \frac{x_i^{rs}}{Z_i^s} = \frac{\varphi_i^{rs} (p_i^{rs})^{1-\sigma_i}}{\sum_{r \in R} \varphi_i^{rs} (p_i^{rs})^{1-\sigma_i}} \cdot \frac{q_i^s}{p_i^r} \quad (5)$$

式(5)の両辺に p_i^r を乗じ、両辺の地域ごとの和を求めることにより、次のような単位費用関数の別の表現形式を得ることができる。

$$q_i^s = \sum_{r \in R} p_i^r T_i^{rs} \quad (6)$$

このように式(4)あるいは式(6)で表される $\{q_i^s\}$ は、地域 s での財 i の購入価格を表し、購入先の価格 $\{p_i^r\}$ を需要で重みづけした平均価格あるいは価格指数になっている。この場合、地域 s の財 j の生産価格 $\{p_j^s\}$ は、中間投入係数 $\{a_{ij}^s\}$ と付加価値係数 $\{v_j^s\}$ を用いて次のように表せる。

$$\begin{aligned} p_j^s &= \sum_{i \in C} q_i^s a_{ij}^s + v_j^s \\ &= \sum_{i \in C} \left\{ \sum_{r \in R} p_i^r T_i^{rs} \right\} a_{ij}^s + \sum_{k \in K} w_k^s b_{kj}^s \end{aligned} \quad (7)$$

式(7)において $\{w_k^s\}$, $\{b_{kj}^s\}$ は、それぞれ本源要素集合 K の k 番目要素の価格および j 財を生産する場合の要素投入係数を表す。式(7)において中間投入要素 $\{i\}$ には輸送部門も含まれるので、各部門の生産価格は輸送費込みの価格である。一方、輸送部門 $\{j = T\}$ の価格は

$$p_T^s = \sum_{i \in C} q_i^s a_{iT}^s + v_T^s$$

で与えられるので、輸送価格には輸送部門で投入される資本・労働への支払い費用が含まれる。この点で輸送部門を取り除き、マージン率だけで輸送の影響を考慮する水解モデルとは大きく異なっている。

式(5)はチェネリー・モーゼス型の地域間交易係数を表している。チェネリー・モーゼス型の地域間交易係数の定義より、価値ベースの交易係数 $\{\tilde{T}_i^{rs}\}$ と量ベースの交易係数 $\{T_i^{rs}\}$ の関係は次式で与えられる。

$$\tilde{T}_i^{rs} = \frac{\tilde{x}_i^{rs} + \tilde{d}_i^{rs}}{\tilde{X}_i^s + \tilde{D}_i^s} = \frac{p_i^r}{q_i^s} \cdot \frac{X_i^{rs} + d_i^{rs}}{X_i^s + D_i^s} = \frac{p_i^r}{q_i^s} T_i^{rs}$$

上式において、価値ベースの変量はチルダーで区別している。また、 $\{\tilde{x}_i^{rs}\}$, $\{\tilde{d}_i^{rs}\}$ は地域 r から s への中間財と最終財の販売額、 $\{\tilde{X}_i^s\}$, $\{\tilde{D}_i^s\}$ は地域 s での中間財の総需要額と最終財の需要額である。したがって、価値ベースでの交易係数に対しては

$$\sum_{r \in R} \tilde{T}_i^{rs} = 1$$

が成立するが、量ベースの交易係数は基準化されないことに注意する。交易係数を用いて価値ベースの需給バランス式を書くと、

$$\begin{aligned} \tilde{X}_i^r &= \sum_{s \in S} \left(\sum_{j \in C} \tilde{x}_{ij}^{rs} + \tilde{d}_i^{rs} \right) = \sum_{s \in S} \tilde{T}_i^{rs} \left(\sum_{j \in C} \tilde{x}_{ij}^s + \tilde{D}_i^s \right) \\ &= \sum_{s \in S} T_i^{rs} \frac{p_i^r}{q_i^s} \left\{ \sum_{j \in C} \left(\frac{q_i^s}{p_j^s} a_{ij}^s \right) p_j^s X_j^s + q_i^s d_i^s \right\} \end{aligned}$$

であり、これより、よく知られた需給バランス式を得る。

$$X_i^r = \sum_{s \in S} T_i^{rs} \left(\sum_{j \in C} a_{ij}^s X_j^s + d_i^s \right) \quad (8)$$

国際貿易を考慮する場合には、輸出 $\{\tilde{E}_i^r\}$ 、輸入 $\{\tilde{M}_i^r\}$ を考慮し、次式で与える。

$$p_i^r X_i^r = \sum_{s \in S} p_i^r T_i^{rs} \left(\sum_{j \in C} a_{ij}^s X_j^s + d_i^s \right) + \tilde{E}_i^r - \tilde{M}_i^r \quad (9a)$$

一方、開放経済モデルでは、輸入率 $\{m_i^r\}$ を用いて次のような需給バランス式を用いる。

$$\begin{aligned} p_i^r X_i^r &= \sum_{s \in S} p_i^r T_i^{rs} \left(\sum_{j \in C} a_{ij}^s X_j^s + d_i^s \right) \\ &\quad - p_i^r m_i^r \left(\sum_{j \in C} a_{ij}^s X_j^s + d_i^s \right) + \tilde{E}_i^r \end{aligned} \quad (9b)$$

d) 空間相互作用モデルの導入

生産価格表示された産業連関表を利用すると仮定する。式(1)において $\eta_i^{rs} = 0$ とおく。キャリブレーションの段階ではすべての財価格を単位価格とおき、量ベースでのモデルのパラメータを求める。このとき、 T_i^{rs} は、 φ_i^{rs} に比例的になり、価格に依存しないシェア・パラメータによって決定される。地域間交易量のデータが得られる場合には、このシェア・パラメータをキュリブレションで決定することができる。しかし、一般には地域間交易のデータは利用できないので工夫が必要になる。M-SCGEモデルでは、以下のように $\{\varphi_i^{rs}\}$ を与える。すなわち、 φ_i^{rs} は財価格に依存しないパラメータであり、財 i の取引において地域 s に対する地域 r がもつ空間的

比較優位性を表すパラメータと解釈できる。式(5)は交易の相対的大きさは潜在的な空間優位性に加え、地域ごとの財の価格が影響することを表している。このパラメータを以下に示す重力モデルで求める。

$$\varphi_i^{rs} = \frac{\theta_i^r (X_i^r)^{\kappa} (t^{rs})^{-\mu_i}}{\sum_{r=1}^R \theta_i^r (X_i^r)^{\kappa} (t^{rs})^{-\mu_i}} \quad (10)$$

ここに、 X_i^r は地域 r の財 i の生産量、 t^{rs} は所要時間に代表される地域間輸送距離であり、また、 θ_i^r は新たに導入されたシェア・パラメータである。無論、 X_i^r を省略したモデル化を考えてもよい。シェア・パラメータ θ_i^r は1次元の空間次元に縮約されており、式(8)を用いてキャリブレーションすることができる。式(5)は次のようにも書ける。

$$T_i^{rs} = \varphi_i^{rs} (q_i^s / p_i^r)^{\sigma_i} \quad (11)$$

このように、交易係数は地域 s は購入地域 r が自地域より遠ければ遠いほど、また、地域 r の財価格が高ければ高いほど、その地域からの購入割合が低くなることを表している。

e) 自給率が与えられる場合

これまでの展開では、地域内財の投入割合も地域間交易モデルで表現できることを前提にしていた。しかし、自地域からの投入割合を与えることができる場合には、それを用いたほうがより信頼性の高い分析が行える。自地域財の投入率 β_i^s を用いた財の単位費用関数は次式で定義できる。

$$\begin{aligned} q_i^s &= \left[\beta_i^s (p_i^s)^{1-\sigma_i} + (1-\beta_i^s) (q_i^{*s})^{1-\sigma_i} \right]^{1/(1-\sigma_i)} \\ q_i^{*s} &= \left[\sum_{r \neq s} \varphi_i^{rs} (p_i^r)^{1-\sigma_i} \right]^{1/(1-\sigma_i)} \end{aligned}$$

ここで、「*」は他地域から地域 s への投入財であることを表す。このとき、次の地域間交易係数を得る。

$$\begin{aligned} T_i^{rs} &= (1-\beta_i^s) \varphi_i^{rs} (q_i^s / p_i^r)^{\sigma_i}, \quad r \neq s \\ T_i^{rs} &= \beta_i^s (q_i^s / p_i^r)^{\sigma_i}, \quad r = s \end{aligned}$$

地域における自給率の設定は、生産誘発に大きな影響を与えるため重要である。ただし、各地域の自給率(あるいは交易率)は地域間産業連関データがない場合には正確には分らない。県を細分化したゾーンの自給率は、県データを用いて推定するなどの作業が必要になる。

f) 労働市場と余暇時間

付加価値市場では、生産に応じた労働と資本の需要を求め、要素保有量とバランスするように要素価格が決定される。本研究では、労働サービスの供給を、プロジェクト実施に伴う余暇時間の増加を考慮した可変的労働供給モデルを設定する。すなわち、家計は効用を最大化すべく増加した自由時間を労働の供給や余暇

活動に割り当てると考え、労働供給量を求めることができる^{25), 26), 30)}。ただし、本研究では通常とは若干異なる労働-余暇モデルを用いる。ここでは基準年とアクセシビリティ改善後の交通節約時間が余暇に割り当てることができる最大値として定義する。まず、労働保有は次式で定義される。

$$E = \zeta f_L$$

ここに ζ は労働保有 E を労働サービス供給 f_L に回す割合の逆数であり、労働サービス供給係数と呼ぶことにする。労働サービス供給係数は労働時間と余暇時間より $\zeta = (\text{労働時間} + \text{余暇時間}) / (\text{労働時間})$ として定義できる²⁶⁾。基準年では余暇時間はゼロである。時間短縮の結果、余暇に割り当てられる時間が増加する。世帯は増加した余暇時間の一部を労働に供給することができる。すなわち、

$$f_L = f_{L0} \left(1 + \varepsilon \frac{t_0 - t}{T_L} \right) \quad (12)$$

ここで、 f_L は時間で測った各ゾーンでの労働サービス投入量、 t は各ゾーンの交通所要時間の平均値、「0」のサフィックスは基準年を表す。パラメータ ε は節約時間の何割を労働に充てるかを表すパラメータである。 ε をどのように決定するかについては定められた方法はない。労働時間調査などを参考に決定する方法が1つの方法である。しかし、費用便益分析の基本的な仮定は、節約走行時間を労働資源として用いるという考え方に基いて時間価値を求めている。この点を考えると、 $\varepsilon = 1$ を置くのが妥当であろう。拡張可処分所得 I は式(12)を賃金率で価値換算した値であり、世帯はこれを消費と投資に充てる。したがって、本研究の労働-余暇モデルでは余暇は実際には財として消費されない。

4. 東海環状道路の経済効果分析

東海環状道路は東海地域（愛知県、岐阜県、三重県）の中心都市、名古屋市を約30kmの半径で取り囲む、延長約160kmの自動車専用道路である。この環状道路は東海三県にまたがり、それらの県に含まれる主要な都市を連絡し、東海地域の生活・文化の交流と経済発展に寄与することが期待されている。現在までに東側部分73kmが完成している。この供用に伴う地域経済への波及効果をM-SCGEモデルを用いて算定する。

(1) 基準均衡データの準備

分析対象地域は日本全国である。東海三県については、東海環状道路が通過する地域のため、広域市町村圏をベースに各県を分割し、岐阜県を7ゾーン、愛知県を8ゾーン、三重県を2ゾーンに分割した。その他の中部圏の県は1県、1ゾーン、また、関東、近畿ブロッ

図-4 東海環状道路と東海三県のゾーン

クの都府県も1ゾーンとして扱っているが、東北、中国、四国、九州はブロック単位を1つのゾーンとして集計化した。その結果ゾーン数は44ゾーンとなった。東海環状自動車道と東海三県のゾーン分割図を図-4に示す。

基準均衡データとして利用するデータは平成12年度(2000年)の県別IO表である。分割された県の各ゾーンのIO表作成は、経済活動別市町村内総生産額に基づき、県の産業連関表と整合するよう調整計算を行っている。また、輸入・輸出を分離する作業も行っている。これらの基礎データは三菱UFJ総研が作成したデータを利用した。なお、産業部門は、表-1に示した15部門である。

(2) 重力モデルのパラメータ推定

式(10)で与えられる重力モデルの係数を推定するために、物流センサスデータおよびNTT通信データそして交通量配分より得られる地域間所要時間を利用してポアソン回帰モデルを作成、最尤法によってパラメータを推定した(手法の概要は付録2に示す)。結果を表-1に示す。

(3) キャリブレーションと基準均衡の計算

基準均衡データを得たあと、得られたデータを再現するように生産関数、需要関数、地域間交易関数などに含

表-1 産業部門別の重力モデルのパラメータおよび代替弾力性パラメータ

	AFF	FOOD	CHML	CERA	STEL	METL	GNLM	ELEM	TREQ	OTHR	CNS	EGW	COM	TRA	SER
κ	0.7615	1.119	0.8335	1.356	0.8764	0.9619	0.9368	0.7399	0.6105	0.6469	0.2976	0.2555	0.5357	0.6138	0.4987
μ	2.157	1.538	1.237	1.976	1.042	1.276	1.131	1.315	1.451	1.553	2.5532	2.5307	1.397	1.422	1.858
σ	0.22	1.12	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	0.96	1.4	1.37	1.68	1.61	1.34

AFF：農林水産，FOOD：食料品・たばこ，CHML：化学関連，CERA：窯業・土石，STEL：鉄鋼，METL：金属，GNLM：一般機械，ELEM：電気機械，TREQ：輸送用機械，OTHR：その他製造，CNS：建設，EGW：電気・ガス・水道，COM：商業，TRA：運輸，SER：サービス

まれる行動パラメータをキャリブレーションする。本源的投入要素間の代替性を表す CES 関数の代替弾力性パラメータ ($\sigma_j, j \in C$) は経済企画庁が日本版 ORANI モデル³¹⁾で利用した値を用いた (表-1 に σ として示す)。家計消費の弾力性 (σ^h) についても日本版 ORANI モデルの重み付け平均値をとり、 $\sigma^h = 1.06$ に設定した。労働と資本の代替弾力性パラメータはいくつかの値を想定し、感度分析を行ったが、得られた結果に大きな違いはなかった。キャリブレーションの結果は紙面の都合上割愛するが、実績値とキャリブレーション結果の相関係数は最終需要、中間投入、付加価値、生産額ともにほぼ 1.0 であり、完全にもとの基準均衡データを再現している。次に、仮設均衡計算を行い、価格を含めた均衡体系として機能するかのチェックを行い、これも問題がないことを確認して次のステップへ進む。

(4) 東海環状道路の経済効果

M-SCGE モデルの適用にあたっては、以下のようないくつかのオプションがある。

- (1) 域内自給率 $\{\beta_i\}$ を所与とするのか、所要時間データを与えて、地域間交易モデルによって推定するのか。
- (2) 輸入を固定するか、内生的に与えるか。

紙面の都合上、これらの詳細に言及することはできないが、以下の分析では、自給率、輸入・輸出を外生的に与え、そして式 (12) における ε を 1 と置いた分析例を紹介する。無論、 ε を小さくすると労働資源が減少するので、生産額や便益などは小さくなる。しかし、時間価値の通常の推定値は、節約時間をすべて労働時間に割り当てることを前提に産出されており、ここでもその仮定を踏襲した分析を行っている。

東海環状道路の有無による地域間の所要時間変化については道路センサスを用いた交通量配分によって推定した。以下に a) 地域の生産額、地域粗生産額 (Gross Regional Product: GRP)、b) 厚生指標 (便益) に関する with-without 分析結果を示す。なお、a)、b) の結果は交易係数の弾力性パラメータ σ_i によって変化する。a) および b) では 1.5 の結果を示し、c) に感度分析の結果を

表-2 $\sigma_i = 1.5, \varepsilon = 1$ のケース (単位: 億円)

GDP	TP	EV	CV
13 669	24 184	960	961

示す。

a) 生産額と GRP の変化

社会資本整備が所得の分配効果を持つことが知られている³²⁾。ここでは資本と労働を通してのマクロ的分配効果を見る。東海環状道路の部分的完成に伴う地域間所要時間の短縮により、企業は利潤を最大化すべく中間投入の仕入れ先を変化させる。同様に最終需要の財の購入先も変化する。より安価な中間投入財を購入できる地域の範囲が拡大するため生産コストは一般的には減少する。企業は中間財のみならず労働と資本の投入の調整を通して利潤最大化を図る。こうした変化は輸送産業にも生じる。輸送産業のサービス価格が低下すれば、農林水産業や製造業といった製品の地域間輸送に多くの輸送投入を必要とする産業の生産コストが減少する。それがまた他産業の投入コストを下げるという経済の循環機構が働く。もし、コストが下がり産出価格が下がるだけならば、国全体の生産額は減少することになる。製品コストが下がれば、経済の別の機能が働く。すなわち需要が増加するため、需要にバランスするように生産が増加し、その結果、産出価格が上昇し、最終的に経済は均衡する。その結果、価格減少によって生産が減少する産業や地域が存在する一方で生産額が増加する産業、地域も発生する。生産が増加する産業では労働投入が増加し、家計もより高い賃金率の産業へシフトする傾向が生じる。このような調整過程を経て所得の地域間および産業間での再分配が行われる。

表-2 に地域、粗生産額 (GRP)、生産額 (TP) そして等価変分 (EV)、補償変分 (CV) についての全国値を示した。

図-5、図-6 は、ゾーン別の生産額および GRP の値と変化率を示したものである。総額ベースでは東京や大阪といった大都市は大きな変化を示しているが変化率

図-5 地域別生産額の変化と変化率

図-6 地域別粗生産額 (GRP) の変化と変化率

で見るとプラスの成長率を示している地域は東海環状道路に隣接する東海三県に集中しており、主に製造業の産出増による。愛知県や岐阜県はいくつかのゾーンに分割されているため、値は小さく出ているが、集計化すると愛知の値は産出や総生産ともに東京を上回る。東京や大阪が大きな値を示しているが、この増加のほとんどはサービス産業の伸びによる。名古屋市の伸びもそのほとんどがサービス産業の伸びによる。愛知県の製造業の生産増に伴い、金融を含めたサービス取引の地域間連関による増加と考えられる。

b) 社会厚生水準の変化

プロジェクト評価における便益は Hicks の補償変分 (CV) と等価変分 (EV) で計測される。便益計測の基本原則は、プロジェクトによって正の便益を得る者が、負の便益を受ける者を補償しても余剰が出るならば、そのプロジェクトは実施するに値すると判断する基準である。しかし、この補償基準は、実際に補償することを要求するものではない。東海地域にプロジェクトがあると同様、九州や東北にもプロジェクトは存在し、これらのプロジェクトも同様に便益と費用を発生させる。このように SCGE モデルで計測される便益は当該プロ

(億円/年)

便益

図-7 EV で測った便益の地域間分布

ジェクトのみによって発生する効果を純粹に抽出したものである。同様なことは、前述の GRP や生産額にも当てはまり、SCGE モデルで得られる各ゾーンの値は現実の経済の予測値ではなく、あくまで仮設値である。表-2 に示すように CV と EV の差はほとんどない。世帯あたりに換算した便益は約 2 万 (円/世帯) であった。

c) 感度分析

本研究では、便益計測への影響を回避するため地域間交易のシェア・パラメータ $\{\varphi_i^s\}$ に交易の弾力性パラメータ σ_i を含むようにモデル化しているが、それでも、式 (12) のように価格比を通して交易の弾力性パラメータ交易係数に影響する。このパラメータの影響をみるため感度分析を行った。 σ_i を増加させると地域別の便益は減少する傾向が見られたが、ある値を超える ($\sigma_i > 3$) とその後はほとんど変化しなくなる。このことはシェア・パラメータ $\varphi_i^s = (\varphi_i^s)^{1-\sigma_i}$ が小さくなり、地域所要時間の変化に対し、取引先シェアの変化が起きにくくなるために生じると考えられる。また、GRP および産出額もほぼ同様の傾向を示した。 σ_i は価格データがないので統計的に推定することはできない。したがって、 σ_i の選択は諸指標が安定して得られるように水準に設定するしか方法がないであろう。

5. まとめ

本研究は、道路インフラ整備に伴うアクセシビリティ変化が地域経済に与えるインパクトを分析するための SCGE モデルの提案し、それをを用いた東海環状道路の経済効果分析を示したものである。SCGE モデルの発展の背景をレビューし、iceberg model を前提にした SCGE モデルの問題点を指摘すると同時に、この問題を解決

するための新しい視点、すなわち、輸送部門を独立した産業部門として SCGE モデルに組み込む方法を提案した。また、時間短縮効果を家計の効用関数を介在して組み入れる方法についても具体的なモデルを提示した。また、東海環状道路への経済効果分析のうち、1) 地域の生産額、総生産額 (GRP)、2) 厚生指標 (便益) についての計測結果を示すとともに、外生的に与えるパラメータの感度分析を行った結果を示したものである。その結果、モデル構造に関する以下のような課題も浮かび上がってきた。

- (1) 交易の地域間代替弾力性パラメータ σ_i は便益の値に影響を及ぼし、GDP や地域の生産額の推定に影響を及ぼすが、この値を決定する十分な情報あるいは理論的な根拠はない。現段階では需要の弾力性を参考に代替弾力性を推定するしか方法がないように思われるが、付録に示したように価格データがあれば σ_i を統計的に推定できる。
- (2) 本源的投入要素間の代替弾力性の影響は当初予想していたよりも小さい。これらの値は絶対値よりも相対的な大きさが効く傾向にあるが、その推定法に決定的なものは存在しない。
- (3) 本研究ではアクセシビリティ改善と企業の生産性向上の関係を具体的にモデル化していない。企業の中間投入に関していえば、輸送産業の価格とアクセシビリティ変化の関係を捉える必要がある。このためには、輸送産業をモード別に分解する必要がある。ネスティドモデルを用いればモード別の生産関数を作成するのは容易であるが、荷主と輸送産業の関係のモデル化、マルチ・モード・ネットワークの作成など、分析はかなり複雑になる。

(4) 本研究のアプローチでは労働と資本は地域間移転できない財として扱っている。アクセシビリティ変化によって生じる資本や労働の地域間移転の現実的なモデル化についても課題として残された。

経済モデルは多くの行動変数とパラメータを含み、多くの場合、パラメータの設定いかんで結果は大きく変わる。計量経済学的手法では多変数を用いてシステムを記述し、パラメータの信頼度を多量のデータに基づく統計的信頼度に求める。一方、CGEモデルやSCGEモデルでは比較的少ない変数とパラメータでシステムを記述し、パラメータの安定性を均衡解に求める。SCGEモデルに含まれる大部分の行動パラメータは均衡体系を実現するように求めることができる。しかし、それ

でも仮定しなければならない未知パラメータを含み、計算結果もそれに依存するところが多い。今回の分析でも十分なデータを得られないことから仮定せざるを得ないパラメータも存在した。SCGEモデルを利用するにあたってはこれらの限界もわきまえておく必要がある。

謝辞： 本研究は平成15年度・16年度科学研究費補助金（基盤研究(C)(1)）による研究成果の一部である。本研究で示した東海環状道路の経済効果分析は、三菱UFJ総研からデータを提供して頂いたが、本研究は著者が独自に行った分析結果を示したものであり、結果の責任はすべて著者にある。

付録1 M-SCGEモデルの方程式

	Equations
1. Prices	$p_j^s = \sum_{i \in C} q_i^s a_{ij}^s + \sum_{k \in K} w_k^s b_{kj}^s \quad (\text{production price})$ $q_i^s = \left[\beta_i^s (p_i^s)^{1-\sigma_i} + (1-\beta_i^s) \sum_{r \neq s} \varphi_i^{rs} (p_i^r)^{1-\sigma_i} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_i}} \quad (\text{purchase price})$
2. Intermediate-input coefficients	$a_{ij}^s = p_j^s \tilde{a}_{ij}^s / q_i^s \quad (\tilde{a}_{ij}^s : \text{value-based coefficient})$
3. Value-added coefficients	$\alpha_{0j}^s = 1 - \sum_i \alpha_{ij}^s \quad (\text{composite factor inputs})$ $b_{kj}^s = \alpha_{0j}^s \gamma_{kj}^s (w_k^s)^{-\sigma_j} \left[\sum_{k \in K} \gamma_{kj}^s (w_k^s)^{1-\sigma_j} \right]^{\frac{\sigma_j}{1-\sigma_j}}, \quad k \in K$
4. Trade coefficients	$T_i^{rs} = \varepsilon_i^s (1 - \beta_i^s) \varphi_i^{rs} (q_i^s / p_i^r)^{\sigma_i} \quad (r \neq s)$ $T_i^{rs} = \varepsilon_i^s \beta_i^s (q_i^s / p_i^r)^{\sigma_i} \quad (r = s)$
5. Potential function	$\varphi_i^{rs} = \theta_i^r (c^{rs})^{-\mu_i} \left/ \sum_{r \in R} (c^{rs})^{-\mu_i} \right.$
6. Factor requirements	$f_k^s = \sum_{j \in C} b_{kj}^s X_j^s, \quad k = K, L$
7. Factor markets	$f_K^s = f_{K0}^s \quad \text{for capital}$ $f_L^s = f_{L0}^s \left(1 + \varepsilon \frac{t_0^s - t^s}{T_L^s} \right) \quad \text{for labor}$
8. Regional incomes	$Y^s = \sum_{k \in K} w_k^s f_k^s, \quad w : \text{wage rate}$ $y^s = Y^s - I^s, \quad I^s = P_s^s S$
9. Final demands Consumption Investment	$d_i^s = \varepsilon_d^s \frac{\delta_i^s (q_i^s)^{1-\sigma^h} y^s}{\sum_{i \in C} \delta_i^s (q_i^s)^{1-\sigma^h} q_i^s}$ $g_i^s = \varepsilon_g^s \frac{\rho_i^s (q_i^s)^{1-\sigma^h} I^s}{\sum_{i \in C} \rho_i^s (q_i^s)^{1-\sigma^h} q_i^s}$
10. Utilities	$U^s = Y^s \left[\alpha (u^s)^{1-\sigma_s} + (1-\alpha) (P_s^s)^{1-\sigma_s} \right]^{\frac{1}{\sigma_s-1}}$ $u^s = \left[\sum_{i \in C} \delta_i^s (q_i^s)^{1-\sigma^h} \right]^{\frac{1}{\sigma^h-1}}, \quad P_s^s = \left[\sum_{i \in C} \rho_i^s (q_i^s)^{1-\sigma^h} \right]^{\frac{1}{\sigma^h-1}}$
11. Supply-demand	$p_i^r X_i^r = \sum_{s \in R} p_i^r T_i^{rs} \left[\sum_{j \in C} a_{ij}^s X_j^s + d_i^s \right] + p_i^r g_i^r + \tilde{E}_i^r - \tilde{M}_i^r$

付録2 ポアソン回帰によるパラメータ推定

重力型の地域間交易係数のパラメータを線形回帰によって推定する方法が通常用いられるが、モデルはパラメータに関し、本質的非線形なので推定パラメータは不偏推定量にはならない。ここでは、Maddala³⁴⁾を参考に交易係数のパラメータを最尤法の適用を考える。このとき、価格変数が与えられるならば、地域間相互作用モデルのパラメータのみならず、交易の弾力性パラメータ σ_i も求めることができる。今、地域間の交易量 x_i^{rs} を離散的な確率変数と考え、地域間交易係数 T_i^{rs} をパラメータとし、独立なポアソン分布に従うと仮定する。すなわち、

$$\Pr[x_i^{rs}] = \exp(-T_i^{rs}) \frac{(T_i^{rs})^{x_i^{rs}}}{x_i^{rs}!}$$

このとき、尤度関数は

$$L = \prod_r \prod_s \left\{ \exp(-T_i^{rs}) \frac{(T_i^{rs})^{x_i^{rs}}}{x_i^{rs}!} \right\}$$

したがって、

$$\begin{aligned} \ln L &= \sum_r \sum_s (-T_i^{rs} + x_i^{rs} \ln T_i^{rs} - \ln x_i^{rs}!) \\ &= -N + \sum_{rs} x_i^{rs} \ln T_i^{rs} - \sum_{rs} \ln x_i^{rs}! \end{aligned}$$

$T_i^{rs} = \varphi_i^{rs}(q_i^s/p_i^r)^{\sigma_i}$ より、 $\ln T_i^{rs} = \ln \varphi_i^{rs} + \sigma_i \ln(q_i^s/p_i^r)$ 。
キャリブレーションの段階では、 $(q_i^s/p_i^r) = 1$ を仮定するので、 σ_i を求めることはできない。まず、相互作用モデルのパラメータを求める。

$$\varphi_i^{rs} = \frac{\theta_i^{rs}(t^{rs})^{-\mu_i}}{\sum_{r \in R} (t^{rs})^{-\mu_i}}$$

とおくと、

$$\ln L \equiv \sum_{rs} x_i^{rs} \left[\ln \theta_i^{rs} - \mu_i \ln c^{rs} - \ln \sum_r (t^{rs})^{-\mu_i} \right]$$

これより、

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \mu_i} = \sum_{rs} x_i^{rs} \left[-\ln t^{rs} - \frac{\sum_r (t^{rs})^{-\mu_i} \ln t^{rs}}{\sum_r (t^{rs})^{-\mu_i}} \right]$$

一方、交易の弾力性パラメータは、

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \sigma_i} = \sum_{rs} x_i^{rs} \ln(q_i^s/p_i^r)$$

この場合、 σ_i を直接求めることはできないので、以下のように変形する。すなわち、

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln L}{\partial \sigma_i} &= \sum_{rs} x_i^{rs} \ln(q_i^s/p_i^r) \\ &= \sum_{rs} X_i T_i^{rs}(\sigma_i) \ln(q_i^s/p_i^r) = C_i \end{aligned}$$

を満足するように σ_i を求めればよい。 C_i は適当な統計量であるが、現実に利用できるデータを考えると財 i の総交易额を用いるのが実用的であろう。ただし、 σ_i を

推定するにあたっては、地域ごと、財の種類ごとの生産価格と購入価格データが必要になる。

参考文献

- 1) Roson, R.: Developing a multiregional network CGE model for freight transport analysis, A paper presented for the International Workshop on Transportation and Spatial CGE Models, University of Venice, 1993.
- 2) Friesz, T. L., Suo, Z.-G. and Westin, L.: Integration of freight network and computable general equilibrium models, Chapter 12 in *Network Infrastructure and the Urban Environment* (L. Lundqvist, L.-G. Mattsson and J. Kim eds.), Springer, 1998.
- 3) Bröcker, J.: Operational spatial computable general equilibrium modeling, *Ann. Reg. Sci.*, Vol.32, pp.367-387, 1998.
- 4) 宮城俊彦, 本部賢一: SCGE モデルによる地域間交易量の推定法に関する研究, 土木計画学研究講演集, No.16, (1)-2, pp.879-886, 1993.
- 5) 宮城俊彦, 本部賢一: 一般応用均衡分析を基礎にした地域間交易量モデルに関する研究, 土木学会論文集, No.530/IV-30, pp.31-40, 1996.
- 6) 宮城俊彦: 全国県間産業連関表をデータベースとした SCGE モデルの応用可能性に関する研究, 平成 15 年度・16 年度文部科学省科学研究費補助金 (基盤研究 (C)(1)) 研究成果報告書, 2005.
- 7) Enke, S.: Equilibrium among spatially separated markets solution by electric analogue, *Econometrica*, Vol. 19, pp. 40-48, 1951.
- 8) Samuelson, P. A.: Spatial Price Equilibrium and Linear Programming, *American Econ. Rev.*, Vol. 42, pp. 283-303, 1952.
- 9) Takayama, T. and Judge, G. G.: Equilibrium among spatially separated markets: A reformulation, *Econometrica*, Vol. 32, pp. 510-524, 1964.
- 10) Friedlaender, A. F. and Spady, R. H.: *Freight Transport Regulation: Equity, Efficiency and Competition in the Rail and Trucking Industries*, MIT Press, Cambridge, MA., 1981.
- 11) Harker, P. T.: *Predicting Intercity Freight Flows*, VNU Scientific Press, Utrecht, The Netherlands, 1987.
- 12) Nagurney, A.: *Network Economics: A Variational Inequality Approach*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, 1993.
- 13) Shoven, J. B. and Whalley, J.: On the computation of competitive equilibrium on international markets with tariffs, *Journal International Economics*, Vol. 4, pp. 341-354, 1974.
- 14) Shoven, J. B. and Whalley, J.: *Applying General Equilibrium*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.
- 15) Miyagi, T.: A Spatial Computable General Equilibrium Approach for Measuring Multiregional Impacts of Large Scale Transportation Projects. Chapter 13 in *Network Infrastructure and the Urban Environment: Advances in Spatial Systems Modelling* (L. Lundqvist, L.-G. Mattsson and T. F. Kim, eds.), Springer, pp. 224-244, 1998.
- 16) Mathiesen, L.: Computation of experience in solving equilibrium models by a sequence of linear complementarity problems, *Operations Research*, Vol. 33, pp. 1225-1250, 1985.
- 17) Gunn, H.: SCGE Models: Relevance and Accessibility for Use in the UK, with emphasis on Implications for Evaluation of Transport Investments, Final Report, RAND Europe Cambridge, 2004.
- 18) Haddad, E. A. and Hewings, G. J. D.: Transportation costs, increasing returns and regional growth: An interregional CGE analysis, Congress CD-ROM, the 44th Congress Euro-

- pean Regional Science Association, Porto, Portugal, 2004.
- 19) 宮城俊彦, 本部賢一, 大橋謙一: 高速道路整備に伴う岐阜県の地域間産業構造変化の分析, 計画行政, Vol. 20, No. 1, pp. 69-79, 1997.
 - 20) 宮城俊彦, 本部賢一, 水谷彰秀, 大橋健一: SCGE モデルによる東海北陸自動車道・東海環状自動車道の経済効果測定, 土木計画学研究・講演集, Vol. 19, No. 1, pp.189-192, 1996.
 - 21) Miyagi, T.: Economic appraisal for multi-regional impacts by a large scale expressway project -A computable general equilibrium approach-, Tinbergen Institute Discussion Papers, TI 2001-0066/3, 2001.
 - 22) 土屋 哲, 多納裕一, 岡田憲夫: 交通ネットワークを考慮した SCGE モデルによる地震被害の被害計量化の枠組み, 土木計画学研究・講演集, 30, CD-ROM, 2004.
 - 23) Ueda, T. and Koike, A.: Spatial CGE analysis for economic damage assessment of disasters: Application results and summary of issues, *Proc. of the 53rd North American Meeting of RSAI*, 2005.
 - 24) 伴 金美: 日本経済の多地域動学的応用一般均衡モデルの開発, RIETI Discussion Paper Series 07-J-043, 2007.
 - 25) Ballard, C. L., Fullerton, D., Shoven, J. B. and Whalley, J.: *A General Equilibrium Model for Tax Policy Evaluation*, Chicago University Press, 1985.
 - 26) 市岡 修: 応用一般均衡分析, 有斐閣, 1991.
 - 27) 宮城俊彦, 本部賢一, 井上恵介: 多地域応用一般均衡モデルに用いる交易係数について, 土木計画学論文集, No.15, pp.93-100, 1998.
 - 28) Armington, P. S.: The geographic pattern of trade and the effects of price changes, *IMF Staff Papers*, Vol.16, pp.176-199, 1969.
 - 29) Varian, H. R.: *Microeconomic Analysis* (3rd edition), Norton, New York, 1992.
 - 30) de Melo, J. and Tarr, D.: *A General Equilibrium Analysis of US Foreign Trade Policy*, The MIT Press, Cambridge, MA, 1992.
 - 31) 伴 金美, 大坪滋, 小野稔, 松谷萬太郎, 山口慎一: 規制改革による経済効果分析のための応用一般均衡モデルの開発, 経済企画庁経済研究所, 1996.
 - 32) 西垣泰幸: 社会資本と所得分配, 社会資本と経済発展 (奥野・焼田・八木 編著), pp.78-96, 名古屋大学出版会, 1994.
 - 33) 宮城俊彦: 氷解モデルを基礎とした地域間交易モデルの基本構造—応用一般均衡モデルによるアプローチ—, 応用地域学研究, Vol. 8, No. 2, pp. 15-31, 2003.
 - 34) Maddala, G. S.: *Limited-Dependent and Qualitative Variables in Econometrics*, Cambridge University Press, NY, US., 1983.

(2011. 2. 7 受付)

AN APPLICATION OF THE SCGE MODEL WITH INDEPENDENT TRANSPORT SECTOR TO HIGHWAY PROJECT EVALUATION

Toshihiko MIYAGI

This study aims to develop a spatial computable general equilibrium model for measuring the economic impacts arising from accessibility changes generated road infrastructure projects. After reviewing historical background of SCGE models, the paper pointed out the drawbacks of SCGE models with iceberg specification, from both viewpoints of the model calibration and the benefit calculation. To resolve these issues, the paper proposed a novel method to incorporate a transportation sector into a SCGE model as an independent industrial sector. The paper also showed a labour supply model relating the travel-time saving in household sector of each region with the level of labour service supply. The proposed model was applied to the economic impact analysis of the Tokai ring road. At the same time, the paper shows through the sensitivity analysis for the given two parameters, the substitution elasticity of trade and the ratio of labor endowment against the benchmark labor supply, that those have the critical effects in measuring economic benefits for accessibility-improvement.