

土木計画学における均衡概念と応用一般均衡 (AGE) 分析^{*}

Equilibria in the Context of Infrastructure Planning
and Applied General Equilibrium Analysis

安藤 朝夫^{**}・溝上 章志^{***}

By Asao ANDO and Shoshi MIZOKAMI

The concept of equilibria is relevant to infrastructure planning in helping us understand the nature of the problems. However, the perception of equilibria differs largely depending on the case, and thus, it may be far from consolidated. This article is to reconsider this with the specific reference to traffic assignments and land use. As for the economic market, the Walrasian equilibrium is theoretically important, but the applied general equilibrium (AGE) models have succeeded in identifying it numerically. As their construction may also be useful in the present context, we provide a brief introduction to the model and its solution procedure. In addition, we discuss three models on regional economies and/or interregional transactions, which have been developed under their influence.

1. はじめに

土木計画学が対象とする現象には、種々の要因が相互に影響を及ぼし合って、一定のバランスのとれた状態 (≡均衡状態) として現れていると見なすのが妥当なものが多く含まれる。これらの現象のモデル化に際しては、説明変数群と目的変数、それらより成る幾つかの因果関係式が独立であると考えすることは一般に適当ではない。すなわち、変数間の相互依存関係や、因果関係式相互間の従属関係を連立方程式体系の形で、陽表的に表現することがより適切であろうと考えられる。配分交通量を予測する際に導入されるflow-independentの仮定、つまり交通サービス水準は交通量に依存すると同時に、その交通量は交通サービスに依存するという関係は、まさにその一例である。

均衡は、経済学において、量や価格に代表される経済の状態を記述するための基本的な概念である。経済活動に由来する立地や交通現象などを具体的な研究対象とする土木計画学においても、均衡概念は現象の本質的な理解と、それに基づく分析フレームの構成に有用な指針を提供してくれるはずである。にも拘らず、その概念は先に述べた交通需要予測モデルの一部や、土地利用モデルにおける地価 (地代) と立地量の関係の記述など、部分的に利用されているに過ぎない。

本稿では、2章で土木計画学に関連して用いられる均衡概念を概観する。ところで、経済学的な文脈では、Walrasの一般均衡が市場における価格と財需給を記述するための基本的な枠組みを与える。しかしWalras法則は、均衡の満たすべき要件を指定するのみで、Walras均衡自体を建設的に求めることは困難とされてきており、Leontiefの産業連関表の経済学史的意義もまさにこの点にあったと言える。計算機の発達は、1980年代初頭に至って、複雑な非線形

^{*}「キーワード」：均衡分析，AGE/CGEモデル，多地域分析

^{**}正会員 Ph.D. 熊本大学助教授 工学部土木環境工学科
(〒880 熊本市黒髪2-39-1)

^{***}正会員 工博 九州東海大学助教授 工学部土木工学科
(〒882 熊本市渡鹿9-1-1)

の方程式体系によって記述されるシステムの求解をも可能にした。こうした背景の下で、より一般的な生産関数や需要関数によって記述される一般均衡を、具体的・実的に求めようとするモデルが開発されるようになったが、こうした一群の分析を計算可能一般均衡(Computable General Equilibrium=CGE)、或いは応用一般均衡(Applied General Equilibrium Analysis=AGE)分析と呼ぶ。そこで3章では、交換経済を例にして単純なAGEモデルの枠組みを示し、併せて均衡点をはじめとする不動点に関する、最も一般的な数値計算方法であるScarf アルゴリズムについても触れる。AGEモデルの応用は、1点経済における税制などの政策評価等にはほぼ限定されており、またその評価もWalras均衡の性質上、1時点における比較静学的なものに限定される。しかし、土木計画学の文脈では空間および時間の概念が重要であることは論を待たない。AGEの方法論と、多地域的・動学的な分析法との関連について、4章で論じるゆえんである。さらに5章で、厳密な意味でのAGEモデルではないが、その概念を意識し、かつ工学的実用性を考慮して構成された3つのモデルの概要を紹介する。

なお、本論の前半部分は Scarf and Shoven¹⁾、Shoven and Whalley²⁾、市岡³⁾らの貢献に多くを負っていることを断っておく。

2. 土木計画学における均衡

(1) 均衡概念

「均衡」という語は、複数の変数が一定の相互依存関係を満足する状態を表現するために用いられる。その対象とする現象は、例えば自然界における生物の個体数など、多岐にわたる。しかし土木計画学で論じられる均衡は、社会現象に関するものが殆どであって、その意味では経済学における均衡概念の援用に近いと見ることが出来よう。

「ある状態が均衡である」という場合には、主体が2つ以上存在して、それらが一定の制約の下に自己の目的の最適化を図った結果として到達した状態（分配）であることを意味している。従って、例えば独占企業の利潤最大化行動などで、限界収入を限界費用と等置するように財の価格と供給量を定めたとしても、均衡とは呼ばない。しかし競争が不完全

であっても、各主体が一定の自由度を保って行動した結果は均衡と呼ばれる。また「均衡」と「最適」は、それぞれ市場経済と計画経済を象徴する概念として、対立的に用いられる場合がある。この場合、「最適」とは、何らかの社会的目的関数（通常は社会的厚生）に照らして最適な分配を意味する。しかし上に見るように、均衡は個別的最適化の結果として表現されるのが普通であり、また外部性の介在しない場合には、均衡解を最適解として持つような問題の定式化が、一般に可能であることに注意する必要がある。

第2に、均衡が定義される時間、或いは期間の要素が重要である。全ての社会的活動は、時間の流れの中にあるから、動学的な選択に基づいて生じるはずである。しかし、基礎的な経済学のテキストをはじめ、下に述べる交通均衡モデルを含む、多くの均衡概念は静学的なものに留まる。その場合、均衡は一定期間内のフローに関して定義されるが、その期間は1単位の社会的活動が完結する程度に長く、また社会の基本的条件（ストック）が一定に保たれる程度に短くなければならない。ストック量の変更をも考慮する動学的な均衡を考えることも可能ではあるが、その場合には将来に対する予見の問題を避けて通ることが出来ず、予見に関する仮定によって均衡経路は大きく異なることになる。さらに、そのような均衡経路上の個々の時点では、静学的な均衡が達成されていることは稀である。その意味で、動学的均衡は静学的な均衡を連ねたものに他ならない。

本稿では主として静学的な均衡を論じるが、一般に均衡は変数間の相互依存関係を表現する連立方程式、或いは連立不等式の形で記述される。簡単な線形システムに関しては、これらを同時に満足するような解を求めることが可能であるが、一般には後に紹介するScarf アルゴリズムのような、逐次的な収束プロセスによって解を求めることになる。一方マクロ計量モデル等の実用的モデルでは、モデル全体が幾つかの同時方程式体系からなるブロックによって構成されるのが普通である。この場合も、モデルの解は逐次的に決定されるが、一般には静学的な意味での均衡解が得られる訳ではない。

静学的な均衡モデルにおいては、2変数 x 、 y の間に2つの関係式、 $y = f(x)$ と $x = g(y)$ が同時

に存在する必要があるのに対して、計量モデルでは時間の経過が重要である。すなわち、関係式 $y = f(x)$ における先決内生変数 x は、1期前の y_{-1} に関する関係式 $x = g(y_{-1})$ によって説明されれば十分であって、その方がむしろ現実のシステムにおける調整の遅れを表現していると考えられる。従って、求解の方法が同時的か逐次的か、という形式面のみによって均衡モデルか否かを判断することは不可能である。何れにしても、上のような因果序列を的確に関係式として表現することが、モデル構成のポイントとなることには変わりがない。

(2) 交通分析

交通分析、特に交通ネットワーク上の均衡フローの予測における均衡概念は、交通需要曲線と交通施設のパフォーマンス曲線との交点によって交通需要とコストの均衡値を得るというものであり、この状態では交通需要者は自分の効用をこれ以上増加させる行動選択の余地がない。これを需要－パフォーマンス均衡とよび、この概念は主に配分交通量予測モデルの構築に用いられる。経済分析では消費者と生産者の主体的最適経済行動結果から導かれる需要関数と供給関数との交点によって需要量と価格の均衡値が得られるのに対して、需要－パフォーマンス均衡では、主体は交通需要者だけであり、均衡は利用者個々の意志決定行動の集計結果として出現するという点で前者と異なる。その意味で利用者均衡ともよばれる。この均衡は、たとえ交通ネットワークの変更があっても、たかだか数週か数カ月という短い期間のうちに達成されるまでに静学的均衡である。

交通ネットワーク上における最も典型的な均衡の例について、以下にその定義を数学的に示そう。いま、地域 ij 間の交通需要曲線が $q_{ij} = D_{ij}(U_{ij}) \cdots (2.1)$ のように与えられるとする。ここで、 q_{ij} は ij 間交通需要量、 U_{ij} は地域 ij 間最小コスト経路上のコストである。 ij 間で利用可能な経路 k ($k=1, \dots, K$) の経路交通量を h_{ijk} とおくと、OD保存条件 $q_{ij} = \sum_k h_{ijk} \cdots (2.2)$ と非負条件 $h_{ijk} \geq 0 \cdots (2.3)$ が成立しなければならない。 ij 間第 k 番目経路のコストが U_{ijk} のとき、 $U_{ijk} = \sum_a \delta_{ijka} c_a \cdots (2.4)$ であり、これは U_{ij} より大きい、たかだか等しいので、 $U_{ijk} - U_{ij} \geq 0 \cdots (2.5)$ が成立する。ここで、 δ_{ijka} はリンク a が ij 間第 k 経路上に存在するとき

1、そうでないとき0となるダミー変数である。また、 c_a はリンク a のコストであり、これは先に述べたパフォーマンス曲線 $c_a = c_a(v_a) \cdots (2.6)$ より与えられる。 v_a はリンク a の交通需要であり、これにも保存条件 $v_a = \sum_i \sum_j \sum_k \delta_{ijka} h_{ijk} \cdots (2.7)$ が成立している。

Wardrop が提唱した「利用される経路のコストは需要関数上の均衡コスト(=最小コスト)に等しく、利用されない経路のコストはそれより大きい、たかだか等しい」という合理的な利用者均衡条件の数学的表現は、条件(2.2)～(2.7)のもとで

$$\text{もし } h_{ijk} > 0 \text{ ならば } U_{ijk} = D_{ij}^{-1} \quad (2.8a)$$

$$\text{もし } h_{ijk} = 0 \text{ ならば } U_{ijk} \geq D_{ij}^{-1} \quad (2.8b)$$

と表現できる。基本的にはこれらの連立方程式・不等式体系をリンク交通量について解けばよい。

この問題は、相補問題(Complementarity Problem = CP)や変分不等式問題(Variational Inequality Problem = VIP)を用いることによって、より一般的な状況、例えば、パフォーマンス関数や需要関数が単調性を持たない場合や、これらのJacobi行列が非対称の場合にも定式化と求解が可能である。

交通分析の主要な研究課題である都市圏を対象としたマクロな交通需要分析では、集計的、かつ1日程度のタイムスパンを想定し、利用者均衡を満足する需要予測モデルの構築とその解法の開発に力が注がれている。しかし、1日の内での交通変動や日々の変動が定常的に存在するのは、おそらくこれらがある均衡状態にあることを意味することから、本来なら時間軸を入れた動学的な均衡分析が必要なのであろう。また、それらの現象が利用者のいかなる自己最適行動規範により実現するかを明らかにする必要もあろう。一方で、交通分析の果たすべき重要な役割の一つは、厚生経済学的にみてPareto最適な交通施設や交通管理施策の計画策定にあるといえる。現在の社会・経済や交通を取り巻く情勢のもとで、例えばピーク料金制の導入とか、内部補助や再配分による所得移転の可能性を考慮した交通需要分析という、より広義の意味での経済学的均衡分析の必要性が高まっているといえる。

(3) 土地利用分析

土地利用は、経済活動の場を提供するものであるから、それが前提とする均衡概念は、基本的には経

済学におけるそれと同等である。ただし交通均衡が、現時点での経路選択が将来の経路選択と無関係であるという意味で、本質的に静的であるのに対して、土地利用における選択は、中長期的に将来の経済行動に影響を与え続けるという意味で、動学的なものとならざるを得ない。

土地利用分析の場合、理論的な分析と実証的なそれとの間には、まだ相当のギャップが存在することは否めない。前者の系譜は、1930年代に主としてドイツを中心に発達した立地論に求めることが出来るし、後者の系譜は60年代半ばの Lowryモデルまで遡ることが出来る。一般の均衡分析モデルが1点経済を扱うのに対して、土地利用モデルでは空間の概念が重要であり、これを時間と共に扱うことは分析を複雑化するため、理論面では幾つかの例外を除いては、静的な分析とならざるを得ない。しかし静学に限定したとしても、真の意味での一般均衡的な分析は、依然今後の課題であると言える。

WeberやHotellingに代表される初期の立地分析では、予め与えられた原料産地・消費地に対して、1企業の最適立地を定めようとするか、または数個の企業による市場の分割を論じようとするものであつて、主体としての消費者は、需要行動が考慮されていないと言う意味で、本質的に不在であると言える。

Lösch 型の空間需要分析では、不特定多数の供給者が導入されており、また消費者需要も価格に関し弾力的であるが、本質的に1財のみに関する部分均衡分析であつて、現実存在する多業種企業間での中間取引を考慮するには至っていない。特に、企業の立地と供給価格とは均衡において同時に定まるべきものであるが、各企業がNash的に行動する限りにおいては、立地均衡と価格均衡とを個別に論じる必要がある。

1970年代前半からの新都市経済学モデルは、住宅地における均衡立地と均衡地代の分析を主要課題として来た。そこでは世帯は連続的に分布するが、生産の側面に関しては、単一CBDなど極端に単純化されており、また土地以外の財の需給に関しても考慮していないため、やはり部分均衡的なものに留まっている。藤田・小川⁴⁾らは、CBDの存在を予め仮定せず、通勤交通と企業間アクセス費用に基づいて企業と世帯の立地を同時決定することを試みた

が、そこでも企業の生産する財に関する需給は考慮されておらず、最近になって藤田・Krugman⁵⁾で、全国規模における財需給バランスを考慮し得る枠組みを提案している。このように財に関する均衡を考慮する場合には、対象地域が財需給に関して閉じていることが前提となるため、単一都市レベルでの議論は不可能となることに注意する必要がある。

実用的な土地利用モデルは、特定のプロジェクトの効果分析などの必要に基づいて作成されてきたから、その構成は本来動学性を意図したものとなっている。しかし実際には、それらのモデルは2重の意味で「準動学的」である。第1には、一部の主体に関してのみ予見を考慮し、その他の主体は近視眼的に行動すると仮定する点であり、第2には、各期の結果が時間の遅れを伴って次の期の先決内生変数となる、という意味で逐次的な表現が採用される点である。後者に関しては既に触れたので省くが、前者に関しては以下の例が挙げられよう。今、住宅の建設者と入居世帯の行動を考える場合、後者は前者に比べて遙かに短い予見で行動すると考えられるから、分析の実行可能性に鑑み、前者に関してのみ予見を考慮する、などである。

例えば主体の立地配分に関しては、古くは各立地点のポテンシャルに基づくポテンシャル型モデル等の経験的モデルが用いられたが、近年は立地均衡との関連を意識して、各立地点の（間接）効用値に基づく、ランダム効用型モデル等が用いられる傾向にある。しかしその場合でも、予見に関する整合性に留意する必要がある。すなわち、世帯の総量を每期配分する形のモデルは、世帯の静的均衡を前提としているため、その効用関数は当該期に関する近視眼的なものであつて差し支えないが、住宅の建設量を配分する形のモデルでは、効用関数は長期的な予見を反映したものでなければならないからである。

3. AGEモデル

(1) 部分均衡とWalras均衡

一般均衡分析と部分均衡分析とは、すべての財やサービスの市場を通してそれらの相互関係を総括的にモデル化して均衡分析を行うか、あるいは一部の市場に範囲を限定し、その内部の相互関係だけを抽出してその他の市場を捨象するか、または与件とし

て均衡分析を行うのかによって区分される。一般均衡分析は、すべての市場において需給が同時に均衡している状態を追求するが、このような状態は理論上の想定であるとともに、きわめて静学的である。

この一般均衡分析はWalrasによって確立されたが、同じ時代に部分均衡分析を駆使した経済分析体系がMarshallによって展開されている。Marshallも最終的にはすべての市場における相互依存関係を分析することを意図しているが、まずはある特定の財の市場に限定し、その他は捨象して需給、および価格の関係を分析する。しかし、次の段階には捨象していた力を働かせ、それらの間の相互関係を分析していく体系を構成した。と同時に、一般均衡分析が静学的概念であるのに対して、部分均衡分析を短期、長期の均衡などのような実時間に沿った動学的な理論体系を構築するための予備的分析と位置付けている。一般均衡分析と部分均衡分析との関係については多くの研究が蓄積されつつあるが、これについては他の文献⁶⁾を参照されたい。

市場における需給均衡状態を市場均衡というが、そのなかで、各財・用役の需給が同時に均衡する状態を一般均衡、そのときの非負の価格ベクトルを一般均衡価格という。また、広義には、いずれの市場にも超過需要を生じさせないような非負の価格ベクトルを一般均衡価格という。これに対して、Walras法則はすべての財・用役の超過需要額の合計は恒等的にゼロに等しいとする。したがって広義の一般均衡価格のもとでは超過供給にある財や用役の価格はゼロでなければならない。さて、このような価格ベクトルを建設的にどのように求めるか、これに対してAGEは大きな貢献をした。

(2) AGEの標準的モデル

分析の対象とする経済的現象がWalrasの一般均衡で表現されるとき、関数式群による経済現象の抽象的な表現を、現実経済を分析できるような数値的表現に変換した一般均衡モデルのことをAGEモデルという。つまり、AGEモデルとは、現実の経済を反映したデータからモデル群のパラメータを決定することによって、数値的な政策評価を可能とした実証的一般均衡分析モデルといえる。

もちろん、従来の解析的な一般均衡モデルも、比較静学分析により、課税方式などの政策効果や主体

別帰属を明らかにすることは可能であった。しかし、例えば複数の政策の同時実施など、詳細で複雑な政策評価は現実的には不可能であった。これに対して、求解のための数値計算法とその実行を保証するコンピュータの性能向上により、AGEの有用性は飛躍的に向上している。

AGE分析の適用可能性を高めている他の理由の一つは以下にあると考えられる。我が国では国民経済に関する統計は新SNAを中心として量的にも質的にも整備が進んでいる。種々の要因が相互に影響し合っている経済現象をモデル化するという意味ではほぼ同様の分析目的を持つ計量経済モデルは、その多くの方程式群の特定化をこれらの整備されたデータに負っている。これに対して、地域経済やある限定された範囲の経済分析を行う際には、その対象範囲で整合的な統計が整備されていることは稀であり、計量経済モデルの構築は困難となる。このようなとき、AGEはその適用可能性を発揮する。なぜなら、ミクロ経済学の理論的枠組みに乗っ取って構築される少数の方程式のパラメータの特定化だけで分析は十分に実行可能だからである。事実、AGEは世界銀行を中心として経済統計の整備が遅れている発展途上国を対象に適用されている。

AGEモデルを具体的に概観するために、各財・用役の市場における一般均衡分析のうちで、I人の消費者がJ種の財を完全競争市場で交換するI人J財交換経済をモデル化する。各財j(j=1, ..., J)はすべて天賦であり、そのうち各消費者i(i=1, ..., I)は第j財を初期に W_{1j} だけ保有しているとする。これらの財は何らかの方法で各消費者に配分されるが、ここでは各消費者は初期保有量を市場価格 $\{p_j\}$ で評価した所得 $\sum_{j=1}^J p_j W_{1j}$ により、効用 U_i を最大にする財の組み合わせ $\{x_{ij}\}$ を需要するとする。効用関数としてCobb-Douglas型を採用すると、消費者iの行動は、

$$\max U_i = \prod_{j=1}^J (x_{ij})^{\alpha_{ij}} \quad (3.1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^J p_j x_{ij} = \sum_{j=1}^J p_j W_{1j} \quad (3.2)$$

で表現でき、この問題の解が財jの需要関数を与える。消費者iの財jの需要関数は、

$$x_{ij} = (\alpha_{ij}/p_j) \cdot \left(\sum_{j=1}^J p_j W_{1j} \right) \quad (3.3)$$

となり、財別に各消費者の需要を合計した集計需要関数 D_j は以下のようなになる。

$$D_j = \sum_{i=1}^I \{(\alpha_{ij}/p_j) \cdot (\sum_{j=1}^J p_j W_{ij})\} \quad (3.4)$$

一方, j 財の供給量 S_j は総賦存量に等しいから,

$$S_j = \sum_{i=1}^I W_{ij} \quad (3.5)$$

この経済の一般均衡は, これら J 種の財の超過需要 E_j が同時にゼロになるときに達成され, そのときの市場価格が均衡価格である。つまり,

$$E_j = \sum_{i=1}^I \{(\alpha_{ij}/p_j) \cdot (\sum_{j=1}^J p_j W_{ij})\} - \sum_{j=1}^J W_{ij} = 0 \quad (3.6)$$

なる J 本の非線形連立方程式の解が均衡価格となる。また, すべての財の超過需要額総計が恒等的にゼロに等しいというWalras法則,

$$\sum_{j=1}^J p_j E_j = 0 \quad (3.7)$$

が成立していなければならないので, これら J 本の方程式は互いに独立でなく, 例えば J 財に関する相対価格, p_j/p_j ($j=1, \dots, J-1$) について解けばよい。もちろん, 土木計画学で対象とする現象はこのように単純ではなく, モデル化の部分に各研究のオリジナリティが求められるわけである。

経済事象の数学的定式化に続けて, 数値的分析のために, AGE分析は以下のような手順で遂行される。①分析対象とする変数に関する正確なデータ, 適度に詳細に分類された財や生産要素, 経済主体の分類等の点で, ミクロ経済モデルと整合するデータセットの作成が必要となる。分析対象経済のモデル化は, 基準年においても一般均衡が達成されているという仮定の下でなされるから, これらのデータセットは基準均衡(benchmark equilibrium)のデータセットを与える。このとき例えば, すべての財の消費額=生産額, 家計の支出=可処分所得などのように, 一般均衡の基本的条件が満足されるように各データが調整されている必要がある。

さらに, ②モデルを構成する各関数の特定化パラメータ, 例えば先の I 人 J 財交換経済モデルでは効用関数を特定化する α_{ij} をあらかじめ正確に予測しておく必要がある。通常, AGE分析では, 回帰分析などの統計的推定法ではなく, 非確率的推定方法(Nonstochastic Calibration)により, 基準均衡データセット値に適合するようなパラメータの値を決定するようである。例えば, α_{ij} を推定する場合は, 均衡値として市場で実現している価格 p_j と需要量 D_j , および与件の W_{ij} を用いて式(3.4)より逆算するという手続きを用いる。

(3) 計算アルゴリズム

ここでは, Walrasの一般均衡経済モデルにおける均衡価格の存在は不動点の存在に他ならないことを示し, その不動点を探索するのに効果的なSarf による計算アルゴリズムについて概説する。

まず, 基本単体 S_n を想定する。(n-1)次元基本単体 S_n とは, n 次元ベクトル空間 R^n の n 個の単位ベクトル e^j を頂点とする

$$S_n = \{x \mid \sum_{j=1}^n x_j e^j = (x_1, \dots, x_n)^t \geq 0, \sum_{j=1}^n x_j = 1\}$$

のような点の集合をいう。 R^2 の場合の1次元基本単体 S_2 は直交する2つの軸の切片が1である直線で表される。基本単体 S_n 上で n 個の財の均衡価格を探索するために, 任意の非負 (すべての i に対して $p_i \geq 0$, かつ, ある j に対しては $p_j > 0$) の価格ベクトル p を,

$$q = p / (\sum_{j=1}^n p_j) \quad (3.8)$$

により変換した価格 q は $q \geq 0$, かつ $\sum_{j=1}^n q_j = 1$ を満足するから, 基本単体 S_n 上にある。また, 超過需要関数 $E_j(p)$ は0次同次より, $E_j(p) = E_j(q)$ となるから,

$$\sum_{j=1}^n q_j \cdot E_j(q) = 0 \quad (3.9)$$

というWalras法則はここでも成立している。次に, v_i を任意の正定数として S_n 上の任意の点 q に対して次のような写像 $f(q) = (f_1(q), \dots, f_n(q))$ を定義する。

$$f_j(q) = \frac{\{q_j + \max[0, v_j E_j(q)]\}}{\{1 + \sum_{j=1}^n \max[0, v_j E_j(q)]\}} \quad (3.10)$$

$E_j(q)$ と $\max[0, v_j E_j(q)]$ は連続であるから, この $f_j(q)$ も連続であり, また,

$$f(q) \geq 0 \quad \text{かつ} \quad \sum_{j=1}^n f_j(q) = 1 \quad (3.11)$$

を満足するから, $f(q)$ は基本単体 S_n 上にある。つまり, $f(q)$ は基本単体 S_n からそれ自身への連続写像である。ここで, 「基本単体からそれ自身への連続写像 f には $f(q^*) = q^*$ なる不動点 q^* が存在する」というBrouwerの不動点定理より,

$$\frac{\{q_j^* + \max[0, v_j E_j(q^*)]\}}{\{1 + \sum_{j=1}^n \max[0, v_j E_j(q^*)]\}} = q_j^* \quad (3.12)$$

となる不動点 $q^* \in S_n$ が存在する。この q^* が一般均衡価格ベクトルであることを以下で証明する。

いま, q^* が均衡価格ベクトルである仮定とすると, すべての j に対して $E_j(q^*) \leq 0$ が成立している。このとき, (3.10)より,

$$f_j(q^*) = \{q_j^* + 0\} / \{1 + \sum_{i=1}^n [0]\} = q_j^*$$

となり、 q^* は写像 f の不動点である。これで必要条件是証明された。

逆に、 q^* が写像 f の不動点であるとき、すべての j について、式(3.12)より、

$$\begin{aligned} q_j^* \cdot \left\{ \sum_{i=1}^n \max[0, v_i E_i(q^*)] \right\} \\ = \max[0, v_j E_j(q^*)] \end{aligned} \quad (3.13)$$

が得られる。いま、 $\sum_{i=1}^n \max[0, v_i E_i(q^*)] \neq 0$ と仮定すると、① $q_j^* = 0$ のとき、(3.13)より左辺 = 0 より、 $\max[0, v_j E_j(q^*)] = 0$ となり、正の定数 v_j に対して $E_j(q^*) \leq 0$ となる。一方、② $q_j^* > 0$ のとき、左辺 > 0 より $\max[0, v_j E_j(q^*)] > 0$ となり、 $E_j(q^*) > 0$ となる。このとき少なくとも一つの j に対して $q_j^* > 0$ より、 $\sum_{j=1}^n q_j^* \cdot E_j(q^*) > 0$ となるからWalras法則に矛盾する。よって、②の場合には $\sum_{i=1}^n \max[0, v_i E_i(q^*)] = 0$ でなければならない。したがって、すべての j について $E_j(q^*) \leq 0$ が成立する。これによって写像 f の不動点 q^* は均衡価格であるという十分条件も証明された。

以上より、一般均衡経済モデルにおける均衡価格を求めることは不動点を探索することに他ならないことが示された。Scarf はこの不動点を探索するのに効率的なアルゴリズムを開発した。簡単のため、2財の経済を想定し、これらの均衡価格 p_1, p_2 を式(3.8)により変換して S_2 上で探索する方法を直感的に説明する。

まず、この直線（基本単体 S_2 ）を等間隔に互いに重なり合わない幾つかの小単体に細かく分割（単体分割）する。例えば、(1,0) から出発して順次直線上の小単体に移行していくとき、その区間の両端を示す価格ベクトル (q_1, q_2) に対して、2つの財の超過需要 E_1, E_2 のうちで大きい方の財の番号を「ラベル」として付けていくことにする。最初の(1,0)では第2財の価格は0であるから、 $E_2 \gg E_1$ となり、その価格ベクトルのラベルは2になる。また、超過需要関数の連続性より、(1,0) 近傍の価格ベクトルのラベルは2が付けられるであろう。逆に(0,1)，およびその近傍では価格ベクトルのラベルは1となるであろう。したがって、(1,0) からスタートして順次左上へ移行を続ければ、この直線上のどこかでその両端の価格ベクトルのラベルが異なる

（ここでは1と2の）小単体に到達するはずである。単体分割が十分に細かいとき、異なるラベルの付いた両端の価格ベクトルが、2財の均衡価格ベクトルの近似値を与えることが直感的に想像できよう。

4. AGEモデルの展開と土木計画学への応用

(1) ダイナミズムの表現

一国経済の記述方法としては、AGEモデルの他にマクロ計量モデルによる方法がある。AGE分析は、基準時点における経済が均衡（基準均衡）にあることを前提に、それを再現するようにパラメータを定めることから始まる。しかし先に述べたように、AGEモデルが静学的均衡を前提としているのに対して、現実の社会を任意の1時点で切った状態は、長期的な均衡過程の中の1つの不均衡状態に他ならないと見ることが出来る。従って、基準均衡自体が現実に存在しない架空のものであるという考えが成り立つ。また、AGEモデルは1時点のみを対象としているため、当該均衡に含まれる変数に関する比較静学分析が、具体的な政策評価として可能となるのみで、前後の時点の均衡状態に関する示唆を与えるものではない。これに対してマクロ計量モデルは、当初から調整過程の時間的遅れを前提としており、厳密な変数間の均衡を要求していない。結果的にモデルは準動学性を持ち、将来の予測に用いることが可能である。

上のような観点から、AGEモデルに疑問を呈する向きもある。実際、労働や資本等の生産要素の市場をも内生化する場合、それらの配置が静学的に均衡していると想定することは経済のダイナミズムを否定することにも通じる。特に複数の地域を考える場合には、それらの配置こそがいわゆる土地利用モデルの中心課題であると言えるため、その部分を静学的に捉えることは、土木計画的な文脈では必ずしも適当ではない。しかしその一方で、均衡を想定することによって、モデル推定のためのデータ量を大幅に減じることが出来ることも事実であって、それによる分析対象範囲の拡大も無視できない。

ところで、生産要素以外の中間財及び消費財に関しては、その需給が各時点で均衡していると考えても、それほど的外れではない。そこで1つの実行可能な方法としては、中間財・消費財に関してはAG

Eモデルの枠組みを用い、これを生産要素に関する計量モデルと組み合わせることによって、データ量の削減と経済ダイナミズムの表現とを両立させることが考えられる。次章で紹介する溝上モデルや安藤・柴田モデルが生産要素を外生的に扱っているのは、まさにこの理由によるものであるが、その限りにおいては部分均衡的であり、2章(1)の第1の意味での準動学的な取扱いを意図していると言える。

(2) 多地域分析

経済学は、地域的に1地点における投資、雇用、物価、賃金、租税、およびそれらのシステムとしての働きの解明に重点を置き、空間を副次的に取り扱う。AGE分析でも、それがWalrasの一般均衡分析による抽象的表現から現実経済の数値的表現への変換という意味で、1地域（1国）における税や料金制度の政策評価を中心とした適用研究が主であった。しかし、土木計画学では、立地、輸送経路、交通ネットワーク、資源やインフラの空間的配置やこれらシステムの空間的相互依存関係、およびこれに依存する生産者や消費者、公的機関の行動が研究の対象であることから、空間を明示的に表しうる多地域分析が必要となる。

Takayama・Judge⁷⁾によって開発された空間価格均衡モデルは地域間交易分析に関する先駆的研究である。それ以後、種々の分析対象が想定されているものの、基本的には輸送費用を固定とした上で価格と交易量の一般均衡解を求めるものである。これに対して、Harker⁸⁾はこの枠組みの中に明示的に交通ネットワークを導入し、また行動主体として生産者（荷主）だけでなく輸送業者をも組み込むことによって、従来の空間価格均衡モデルをより一般化、かつ実用化した。交通ネットワーク理論と交通行動分析に関する土木計画学研究の蓄積をAGE分析と統合したという意味で、これは新たな研究の方向を示していると言える。

国際貿易論は、多地域の経済を分析する基本的枠組みを与える。しかし国際貿易論が、伝統的に複数の国家間の財生産に関わる比較優位の分析に片寄り、空間を捨象してきた点は否めない。実際、国家間の輸送費は一種の関税と見なすことが出来るから、差別的（2国間）関税によって空間を考慮することは可能である。ただし、現在の国際貿易が比較優位に

のみに起因すると考えることは、産業立地における地理的条件の意義が薄れたのと同様に適当でない。すなわち、都市の集積などの2次的条件に大きく左右されると共に、財の多様性選好に基づく交差交易が極めて重要である。その一方で、EC統合やNAFTA等の地域経済圏の形成によって、その圏内においては関税をはじめとして、労働や資本などの生産要素の移動を含めて、国家間の障壁が撤廃される傾向にある。その意味では、国際経済学は地域間の障壁の程度に応じて、地域経済学に包含される方向に進むものと考えられるし、逆に国際貿易論的な考え方は多地域間の財需給を表現する上で、重要な示唆を与えるものとなろう。

5. AGE的考え方の適用

本章では、わが国において土木計画学の研究分野に対してAGE的な考え方を適用した研究例を3例紹介する。もちろん、これらは理論的な経済モデルの実証研究ではないため、部分的に経済理論の整合性のある程度犠牲にして工学的で実用的なモデルになっているところがある。その許容される度合いは、研究の対象や利用可能データの精度などに依存して決定されるものであろう。以下では、モデルの適用対象とモデルの構成方法に視点を絞ってその特徴を概説する。

(1) 宮田モデル⁹⁾

地域経済においては、国民経済においてほど体系的、整合的な統計データの整備がなされていないため、理論的に整合のとれた実証モデルを構築することが困難な場合が多い。宮田は、CGE的モデルを適用して、北海道経済の構造モデルを構築し、数値的な比較静学シミュレーション分析を通じて各種の政策評価分析を行い、AGEの方法論としての有効性を検証した。土木計画学研究の中でAGEモデルを意識的に導入・適用したのはこの論文が最初であると思われ、その意味でも価値は高い。このモデルは北海道というポイント経済を対象にし、AGE分析の枠組みをきわめて忠実に適用しているのが特徴である。以下にモデルの構成を概説する。

①企業の行動：企業は与えられた技術のもとで費用最小とする中間投入財、および投入要素である労働と資本の最適投入量を決定する。企業の生産関数に

は、後で必要とする産業連関表とリンクさせるため、中間投入係数と付加価値率にはLeontief型を、資本と労働による生産についてはCES型を仮定する。このとき、企業の行動は以下で定式化できる。

$$\begin{aligned} \min_{(x, K_i, L_i)} \quad & \sum_{j=1}^J p_j \cdot x_{ji} + w_i \cdot L_i + r_i \cdot K_i \\ \text{s.t.} \quad & \min \left\{ \frac{f_i(L_i, K_i)}{a_{o1}} \cdot \frac{x_{ji}}{a_{ji}}; j=1, \dots, N \right\} = X_i \\ & f_i(L_i, K_i) = \Phi_i \left((d_i L_i)^{-m_i} + (1-d_i) K_i^{-m_i} \right)^{-1/m_i} \\ & m_i = (1-s_i)/s_i \end{aligned}$$

ここで、 p_j はj財の価格、 x_{ji} はj財のi産業への中間投入量、 w_i はi産業賃金率、 r_i はi資本収益率、 L_i はi産業労働投入量、 K_i はi産業資本ストック、 X_i はi産業総産出量、 Φ_i は f_i の測定単位、 d_i はCES型関数のウェイト、 s_i は代替弾力性値である。

この最適化問題の解より、労働と資本の需要関数が以下のように求められる。

$$\begin{aligned} LD_i &= \frac{1}{\Phi_i} a_{o1} X_i \left\{ d_i + (1-d_i) \left(\frac{d_i r_i}{(1-d_i) w_i} \right)^{(1-s_i)} \right\}^{1/m_i} \\ KD_i &= \frac{1}{\Phi_i} a_{o1} X_i \left\{ (1-d_i) + d_i \left(\frac{(1-d_i) w_i}{d_i r_i} \right)^{(1-s_i)} \right\}^{1/m_i} \end{aligned}$$

また、利潤はゼロという長期均衡の仮定より、すべてのi産業について次式が成立する。

$$p_i \cdot X_i - \left(\sum_{j=1}^J p_j \cdot x_{ji} + w_i \cdot L_i + r_i \cdot K_i \right) = 0$$

②家計の行動：家計は、所与の資産ストック、労働賦存量、価格体系のもとで、効用最大となる余暇需要(労働供給)、消費需要、貯蓄量を決定する。余暇需要をすべて労働供給としたときの所得を完全所得と定義するとき、可処分完全所得は、まず余暇需要、総消費、貯蓄に配分され、その後で総消費は費目別消費(飲食費、被服費、光熱費、家賃などの7費目)に配分される構造を仮定する。また、貯蓄額は所得の一定比率、効用関数は余暇と総消費に関するCES型を仮定すると、家計の行動は以下のように定式化できる。

$$\begin{aligned} \max \quad & \{ (1-b)^{1/\varepsilon} C^{(\varepsilon-1)/\varepsilon} + b^{1/\varepsilon} F^{(\varepsilon-1)/\varepsilon} \}^{\varepsilon/(\varepsilon-1)} \\ \text{s.t.} \quad & p \cdot C + w \cdot F = Y + a - SH \end{aligned}$$

ここで、 C は総消費、 p は消費財価格、 F は余暇(=生産年齢人口-就業人口)、 Y は完全所得(=完全労働所得+資本所得+財産所得)、 a は純移転支払い(=社会保障給付+家計経常移転-直接税-間接税)、 SH は家計貯蓄、 TH は直接税、 T は間接税、 b はCES関数のウェイト、 g は代替弾力性である。

このとき、最適な余暇需要(労働供給)、総消費需要関数は以下のように求められる。

$$F = b(Y + a - SH)/w\Omega$$

$$C = (1-b)(Y + a - SH)/p\Omega$$

ここで $\Omega = (1-b)p^{(\varepsilon-1)} + bw^{(\varepsilon-1)}$ であり、これらより費目kの最適消費需要 C_k は以下の最適化問題の解で与えられる。

$$\max \quad \sum_{k=1}^K \alpha_k \ln C_k$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k=1}^K C_k \cdot C_k = Y + a - w \cdot F - SH$$

ここで C_k は費目kの価格である。この解は財産所得をPrHとすると、

$$C_k = \alpha_k / c_k (w \cdot LS + r \cdot KS + PrH - SH + a)$$

となる。ここで、 LS 、 KS は家計全体による労働、資本の総供給量である。

③政府部門の行動：政府は以下の予算制約式のもとで政府消費支出を各産業別に一定の割合で配分すると仮定する。

$$T + TG + TrG = p \cdot CG + SwG + SG + PrG$$

ここで、 p が政府消費の価格であり、 T は間接税-補助金、 TG は直接税、 TrG は政府部門の経常移転、 PrG は政府部門の財産所得、 CG は政府消費支出である。 SwG は社会保障、 SG は政府部門貯蓄である。

④対外部門：対外部門についても以下の予算制約を設定する。

$$\sum_{i=1}^I p_i EM_i - \sum_{i=1}^I p_i EX_i - Tr0 - Pr0 - S0 = 0$$

ここで p_i はi産業生産物価格であり、 EM_i はi産業移入量、 EX_i はi産業移出量、 $S0$ は対外部門の貯蓄、 $Tr0$ は対外部門の経常移転、 $Pr0$ は対外部門の財産所得である。

⑤貯蓄と投資のバランス：マクロレベルで、貯蓄と投資はバランスしていることから、次式が得られる。

$$SH + SG + S0 - p \cdot I = 0$$

ここで、 p は投資財価格、 I は投資財需要である。

⑥Walras法則：以上においてWalras法則が成立している。

$$\begin{aligned} & p\{(X-A) \cdot X\} + EM - C - CG - I - EX\} + w(LS - LD) \\ & + r(KS - KD) + (PrH - PrG - Pr0) + (T - T) \\ & + (SwH - SwG) + (TrH + TrG - Tr0) + (TG - TH) = 0 \end{aligned}$$

⑦市場均衡条件：各市場において、以下のような需給均衡条件が成立しなければならない。

財市場について： $(I-A)X + EM = C + CG + EX$ 、労働市場に

ついて: $LS=LD$, 資本市場について: $KS=KD$

以上がモデル構造であるが, これらのうち CES 型生産関数, 費目別消費関数など, 幾つかのサブモデルについてはあらかじめそのパラメータを特定化しておく必要がある。しかし, データソースとなる道民経済計算データは体系的な整備が始められて日が浅く, 最小二乗法による推定が困難であるため, 過去のデータより実績値を再現するパラメータを設定するなど, 種々の適切かつ合理的な方法を用いてそれらの特定化を行っている。また, 基準年次の各変数の実績値再現性は十分に保証されることが確認されている。

(2) 溝上モデル¹⁰⁾

物流需要と生産価格均衡の分析フレームとして, 溝上は AGE 的考え方を導入した新たな物流需要予測モデルの試案を提案した。その中では地域ごとの生産価格の差異による生産物の産業間の空間的移動, 財の需給均衡を表現するために, Chenery-Moses 型地域間産業連関の分析フレームが導入されている。また, 生産価格の変化は需要地域における原材料の購入価格を変化させるから, 各産業業種の最適生産行動の結果である最適要素投入量が変化して地域投入係数が変化し, それと同時に地域間交易係数も変化する。これらによって各地域の総需要量が決まり, 生産価格は均衡条件である利潤ゼロになるように調整される。このメカニズムにより, 最終需要に応じた総生産量と生産価格の均衡値をすべての生産物に対して求める構造となっている。以下, モデルの構成と均衡解の計算手法を概説する。

①産業業種の行動と最適需要量: 産業業種 i の j に対する投入量は, 生産に要する投入要素 i に対する需要量と考えてよい。地域 r の産業業種 j は生産価格 $p=\{p_j^r\}$ と投入財の価格 $c=\{c_i^r\}$ が所与のとき, 均衡時の総生産量 $X=\{X_j^r\}$ を生産するという条件下で利潤最大となる i の最適投入量 $x=\{x_{ij}^r\}$ を決定する。この行動は Cobb-Douglas 型生産関数と線形費用関数を仮定したとき, 以下の最適化問題で表現できる。

$$\begin{aligned} \max \quad & \pi_j^r = p_j^r X_j^r - \sum_i c_i^r x_{ij}^r \\ \text{s.t.} \quad & \beta_{0j} \prod_i (x_{ij}^r)^{\beta_{ij}} = X_j^r \end{aligned}$$

この最適化問題を解くことにより, 投入要素 i の最適需要量 x_{ij}^r が得られる。

$$x_{ij}^r = \beta_{ij} \cdot (p_j^r / c_i^r) \cdot X_j^r$$

②地域投入係数: 地域 r における産業業種 j の 1 単位の生産に関わる投入係数 $a_{ij}^r = x_{ij}^r / X_j^r$ である。この値を Chenery-Moses 型地域間産業連関表における地域投入係数と考える。

③販売価格, および一般化販売価格: r 地域の i 産業業種の製品の需要地域 s における販売価格 c_i^{rs} は, 生産地域での生産価格 p_i^r と r, s 間輸送費 s_i^{rs} の和,

$$c_i^{rs} = p_i^r + s_i^{rs}$$

で表される。また, i の非価格的要素 u_i^{rs} , 例えば輸送時間などを含む一般化販売価格 $\bar{c}_i^{rs}$ は,

$$\bar{c}_i^{rs} = c_i^{rs} + \omega_i u_i^{rs} = p_i^r + s_i^{rs} + \omega_i u_i^{rs}$$

で表される。ここで ω_i は時間価値のような価格換算パラメータである。

④地域間交易係数: 地域 s で入荷する産業業種 i の生産物総量のうち r 地域から入荷する量 x_i^{rs} の比率 t_i^{rs} は, i の r, s 間の一般化販売価格 $\bar{c}_i^{rs}$, および地域 r に固有のポテンシャル, 例えば選択枝集計化法により地域単位で小ゾーンを集計化したことによって得られる地域ポテンシャル W_i^r などを効用関数の変数とする以下のロジットモデルで表される。

$$t_i^{rs} = \text{Prob}[x_i^{rs}] = \frac{(W_i^r)^{\delta_i} \exp\{-\lambda_i \bar{c}_i^{rs}\}}{\sum_s (W_i^s)^{\delta_i} \exp\{-\lambda_i \bar{c}_i^{rs}\}}$$

この値を Chenery-Moses 型地域間産業連関表における地域間交易係数と考える。

⑤平均購入価格: 地域 s における i の平均購入価格 c_i^s は, 地域間交易係数 t_i^{rs} を確率とする販売価格 c_i^{rs} の期待値,

$$c_i^s = \sum_r \{c_i^{rs} \cdot \text{Prob}[x_i^{rs}]\} = \sum_r \{c_i^{rs} \cdot t_i^{rs}\}$$

で表されるとする。

⑥総生産量: 需要地域 s の産業業種 i の生産物に対する最終需要 Y_i^s から成る列ベクトル $Y^s = (Y_1^s, \dots, Y_i^s, \dots, Y_I^s)^t$ を s 番目の区画とする地域別産業業種別最終需要列ベクトルを $Y^* = (Y^1, \dots, Y^s, \dots, Y^R)^t$ とする。いま, $X^r = (X_1^r, \dots, X_i^r, \dots, X_I^r)^t$ とすると, 発地域別発産業業種別総生産量の列ベクトル $X = (X^1, \dots, X^r, \dots, X^R)^t$ は,

$$X = [I - T^* A^*]^{-1} T^* Y^*$$

により求めることができる。ここで A^* は $\{a_{ij}^r\}$ で構成される小行列 A^r を r 番目対角ブロックに持つ地域投入係数行列である。 T^* は $\{t_i^{rs}\}$ で構成され

る小行列 T^{rs} をその (r,s) 要素ブロックに持つ地域間交易係数行列である。

⑦生産価格の調整：均衡状態では、発側 r のすべての産業業種 j で利潤がゼロ、つまり、

$$p_j^r = \sum_i (c_i^r \cdot X_{ij}^r) / X_j^r$$

となるように価格 p_j^r は調整され、その値に応じた生産量が決まる。本産業連関フレームの中では労働や土地などの投入要素を導入していないが、本来、生産価格はこれらの供給量 K_j^r と総需要量 X_j^r との相対的な比率にも依存すると考えられることから、

$$p_j^r = \sum_i (c_i^r \cdot X_{ij}^r) / X_j^r + \rho [K_j^r / X_j^r]$$

のような回帰モデルを用いて、その関係を予め推定しておく。

⑧地域間産業業種間物資流動量： r,s 地域間 i,j 産業業種間の物資流動量 x_{ij}^{rs} は、

$$x_{ij}^{rs} = t_{ij}^{rs} \cdot a_{ij}^s \cdot X_j^s$$

で与えられることになる。

生産関数や交易関数を特定化するために全国貨物純流動調査データを用い、既存統計データと有効に結合してモデル推定のためのデータベースを作成することを試みた。これを用いて部分モデルを特定化し、トータルテストを実行して提案モデルの実用可能性の検討を行っている。

(3) 安藤・柴田モデル¹¹⁾

わが国が最大の援助国として、他の途上国の開発に関与する機会は増加することが予想されるが、一方で限られた財源を有効に活用するために、開発プロジェクトの事前評価が慎重に行われる必要がある。特に、基幹的な交通施設整備は効果の地域的偏在と、国土の不均衡を助長するおそれがあるため、GDP等のマクロ指標のみによる評価は不十分であって、空間的な視点が不可欠である。しかし、実際には被援助国において地域経済統計が整備されている可能性は薄く、本格的な地域計量モデルの作成は困難であると考えられる。そこで安藤・柴田らは、中国を対象に、全国産業連関表と限られた地域統計とから、地域別連関表をノンサンペイ的に推定し、地域間の交通ネットワークから地域間の財需給をバランスさせる交易量と価格差を推定する方法を開発した。基準年は1985年であり、29の省及び直轄市を地域単位として採用する。また地域間の交通手段としては鉄道(チベットに関しては道路)のみを考慮している。

①地域別輸出入：地域 r の生産額 X_i^r と純需要 D_i^r (中間需要+純最終需要) を相手の変数と地域間時間距離 d^{rs} 、輸送容量 CP^{rs} と相対価格 p_i^s/p_i^r からなるポテンシャルによって説明する。

$$X_i^r = \alpha_{i0} \sum_s D_i^s (d^{rs})^{-\alpha_{i1}} (CP^{rs})^{\alpha_{i2}} (p_i^s/p_i^r)^{\alpha_{i3}}$$

$$D_i^s = \alpha_{i0} \sum_r X_i^r (d^{rs})^{-\alpha_{i1}} (CP^{rs})^{\alpha_{i2}} (p_i^s/p_i^r)^{\alpha_{i3}}$$

上で定めたパラメータ α_{ik} を用いて、全国表に与えられる輸出入額 F_i と M_i を以下の比により配分する。

$$F_i^r \propto \sum_p (X_i^r P_p)^{\beta_{F1}} (d^{rp})^{-\alpha_{i1}} (CP^{rp})^{\alpha_{i2}}$$

$$M_i^r \propto \sum_p (D_i^r P_p)^{\beta_{M1}} (d^{rp})^{-\alpha_{i1}} (CP^{rp})^{\alpha_{i2}}$$

ここに、 P_p は主要港湾 p の取扱高である。

②地域別移出入：地域間交易 T_{ij}^{rs} を、地域間一般化輸送費 t_{ij}^{rs} を用いて以下により推定する。

$$T_{ij}^{rs} = (X_i^r - F_i^r) \frac{D_i^s \exp \gamma_{F1} (p_i^s - t_{ij}^{rs} - p_i^r)}{\sum_s D_i^s \exp \gamma_{F1} (p_i^s - t_{ij}^{rs} - p_i^r)} \quad (5.1)$$

ただし、これから計算される地域別移出入 TF_i^r 、 TM_i^s は、最終需要と付加価値額の和に関する関係式、

$$TF^r - TM^r = V^r - Y^r - J^r - F^r + M^r$$

を満たさないため、調整計算が必要とされる。ここに V^r 、 Y^r 、 J^r は地域 r の付加価値額、純最終需要、在庫純増である。

③純最終需要と付加価値額：純最終需要項目 W_j^r としては個人消費、社会消費と固定資本形成を考えるが、その財構成が項目 j に固有であると考えれば、財別純最終需要 Y_i^r は最終需要コンバータ c_{ij}^r を用いて、 $Y_i^r = \sum_j c_{ij}^r W_j^r$ のように書けるが、その値は地域 r におけるバランス式を満たさないから、財別・項目別の最終需要 Y_{ij}^r がバランス式を満たすようにコンバータを地域別に修正し、 c_{ij}^r とする必要がある。さらに地域別付加価値額 V_i^r についても、同様の修正が必要とされる。

④地域別価格指数とデフレーター：価格指数 p_i^r は、基準年における全国での財1単位の平均的な価格に対する比として定義される。従って、1985年の全国表は名目表であり、同時に実質表であると仮定される。ところで地域 r の価格体系は、付加価値デフレーター w_j^r を所与とし、名目値を*で表して、

$$X_j^{r*} / p_j^r = \sum_i (x_{ij}^{r*} / p_i^r) + V_j^{r*} / w_j^r$$

と書ける。これを $(1/p_i^r)$ 及び (V_j^{r*}/w_j^r) からなる行ベ

クトルを P^r , V^r を用いて, ベクトル表示に改める。

$$P^r = V^r (\text{diag } X^{r*})^{-1} (I - (P^r)^{-1} A P^r)^{-1} \quad (5.2)$$

これと全国での財の価値に関する整合条件,

$$X_i = \sum_r (X_i^{r*} / p_i^r) \quad (5.3)$$

とから, p_i^r を定めることができる。地域別の付加価値デフレーター w_j^r も同様の手続きにより定められる。

⑤ ネットワーク価格均衡: 一般化輸送費は, 地域間時間距離と容量の関数,

$$t_i^{rs} = \lambda_i (d^{rs})^{\alpha_{11}} (C P^{rs})^{-\alpha_{12}} \quad (5.4)$$

として定まると仮定する。いま地域の価格は, その地域に流入する財の加重平均として定まると仮定すると, 以下の関係を得る。

$$p_i^r \sum_s T_i^{sr} = p_i^r T_i^{rr} + \sum_{s \neq r} (p_i^s + t_i^{sr}) T_i^{sr} \quad (5.5)$$

ここに地域間交易量 T_i^{rs} は式(5.1)により定まる。従って地域間交易が存在する場合には, 地域別価格指数は式(5.3)と式(5.5)を同時に満たすように改訂される必要がある。しかし改訂された p_i^r は式(5.2)を満たさなくなるので, 地域別の実質投入係数 a_{ij}^r を改訂することで式(5.2)との整合を図る。

このようにして得られた地域別価格指数と地域間交易量は, 特定のネットワークを前提としているから, 一種のネットワーク均衡を表現していると考えられる。工業国では, 交通施設整備は主として時間短縮便益として現れるが, 開発途上国では交易可能性の増大を通じて, 市場の構造をも変革する可能性があり, 従って国際貿易論に言う貿易利益に相当する便益が重要であると考えられる。また本モデルは, 生産要素を除く一般財の価格と需給とが, 多地域産業連関を通じて清算されるという意味で, AGE的な枠組みに準じるものである。本モデルを通じて, 交通施設整備の地域別インパクトを, 限られた地域統計によってノンサーベイ的に計測することが可能となる。しかし, 現在のところ生産要素に関する計量モデルが組み込まれていないため, その評価は比較静的な文脈に限定されることに注意されたい。

6. おわりに

均衡とは, 形式的には, 種々の要因が相互に影響し合って一定のバランスを保つこと, またはそのパ

ランスした状態といえる。しかし, 分析対象の種類, 均衡の定義されるタイムスパン, 均衡状態を同時, または逐次のいずれの方法で記述するかなど, その概念を規定すべき軸が多く存在するために, 明確な定義ができないばかりか, その概念を規定するフレームを明確にする必要性すら意識されずにいたのかも知れない。そのような中で, 本稿では, ①土木計画学で研究の対象とする現象の理解と分析フレームを提供する経済学における均衡の概念を再考し, 整理したつもりである。②また, 経済分析の代表的枠組みである一般均衡を, 具体的・数値的に求めることを可能にするAGE分析について, 利点や限界を含めてその内容を概説した。③ダイナミズムの表現, および多地域分析の必要性など, 土木計画学の研究分野に対してAGEを発展的に応用するにあたって考慮すべき点を挙げた。④AGE的な考え方を適用した研究例を3例紹介した。これらはそれぞれ, 分析の対象や一般均衡理論の整合性と工学的実用性のウェイトの程度に差があり, AGE的な分析フレームは土木計画学で研究対象とする現象の理解やモデル化にもきわめて有効であることが明らかにされた。

参考文献

- 1) Scarf, H.E. and J.B.Shoven: Applied General Equilibrium Analysis, Cambridge Univ. Press, 1984.
- 2) Shoven, J.B. and J.Whalley: Applied general-equilibrium models of taxation and international trade; an introduction and survey, JEL, vol.22, pp.1007-1051, 1987.
- 3) 市岡修: 応用一般均衡分析, 有斐閣, 1991.
- 4) Fujita, M. and H.Ogawa: Multiple equilibria and structural transition of nonmonocentric urban configuration, RSUE, vol.12, pp.181-198, 1982.
- 5) Fujita, M. and P.Krugman: Urban systems and regional development, Intl. Conf. on Reg. Sci. in Developing Countries, Beijing, Oct. 1993.
- 6) 経済学大事典, 東洋経済新報社, 1979.
- 7) Takayama, T. and G.G.Judge: Spatial and Temporal Price and Allocation Models, North-Holland, 1971.
- 8) Harker, P.T.: Predicting Intercity Freight Flows, VNU Science Press, 1987.
- 9) 宮田・佐藤・高橋・山崎: 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, 1989.
- 10) 清上章志: 地域間産業連関と価格均衡の分析フレームを用いた物流流動モデル, 土木計画学研究・講演集, no.15(1), pp.629-635, 1992.
- 11) Ando, A. and T.Shibata: A Multi-regional model of price and quantity equilibrium for developing economics; an application to evaluating the railroad improvements in China, Intl. Conf. on Reg. Sci. in Developing Countries, Beijing, Oct. 1993.