

多地域一般均衡モデルにおける iceberg 型輸送費用の特性と課題

石倉 智樹¹・小池 淳司²・山崎 雅人³・瀬木 俊輔⁴

¹正会員 首都大学東京准教授 都市環境学部 (〒 192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)
E-mail: iskr@tmu.ac.jp

²正会員 神戸大学大学院教授 工学研究科 (〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)
E-mail: koike@lion.kobe-u.ac.jp

³正会員 名古屋大学准教授 減災連携研究センター (〒 464-8601 名古屋市千種区不老町)
E-mail: yamazaki.masato@nagoya-u.ac.jp

⁴正会員 京都大学助教 工学研究科 (〒 615-8540 京都市西京区京都大学桂)
E-mail: segi.shunsuke.6e@kyoto-u.ac.jp

空間的応用一般均衡モデルを用いた分析において交通社会基盤整備による社会の変化をどのようにモデル化するかという点に関しては、統一的な方法論があるわけではなく、モデル構築者によって様々な手法が提案されている。モデル内での交通の表現方法が異なると、交通政策の効果、特に経済効果の空間的な特性が異なりうる。本研究は、既存のモデルで用いられてきたこれらの方法論を整理し、特に iceberg 型費用のモデルを中心に、それぞれの特徴、長短所について検討する。

Key Words: *iceberg transport cost concept, multiregional computable general equilibrium model, transport policy*

1. はじめに

交通社会基盤整備がもたらす本質的な効果は、人やモノの空間的移動に要する抵抗を軽減することである。道路整備や鉄道整備は、一般的には、これらのインフラストラクチャが構成するネットワークにおけるリンクの輸送抵抗低下に寄与する。つまり、整備対象となるリンクを輸送経路として利用する OD ペアに対して、直接的に輸送抵抗軽減がもたらされる。港湾整備や空港整備のように輸送ネットワークのノードに位置づけられる社会基盤整備においても、当該ノードを経路に含む OD ペアに対して、直接的な輸送抵抗軽減効果が生じると考えられる。四段階推定法に代表される交通需要予測手法など、交通システムの計画、運用、施策評価を目的とする多くの交通モデルでは、交通システムのネットワークとしての特性が明示的に扱われており、交通整備がもたらす直接的な効果の空間的な異質性も、自ずと考慮されている。

交通社会基盤整備が社会全体にもたらす効果は、直接的な輸送抵抗軽減にとどまらず、土地利用、産業活動、人口移動など、整備対象となる交通システムが直接的に関与しないところにも及ぶ。この点に着目し、交通社会基盤整備が交通市場“以外”に及ぼす間接的な影響を分析するための理論的枠組みの代表例が、一般均衡理論である。一般均衡理論は、ミクロ経済理論を駆

使して複数の市場が同時に均衡する価格体系を扱った“理論”であり、2市場のみのように実世界を極めて抽象的にモデル化したものから、多くの市場を考慮した複雑なモデルまで存在する。その中で、一般均衡理論に依拠し、産業連関表などの統計データと整合してキャリブレーションできるように設計され、均衡状態の変化を定量的に計算することを可能としたモデルが、一般的には、応用一般均衡 (CGE) モデルとして認識されている。特に、地理的な空間や多地域経済システムを扱ったモデルは、空間的応用一般均衡 (SCGE) モデルや多地域応用一般均衡モデルと呼ばれる。

先に述べたように、交通社会基盤整備は輸送抵抗という空間的な特性を変化させる政策であるので、空間的応用一般均衡モデルの交通社会基盤整備効果分析への適用例は国内外を通じて、数多く蓄積されてきた。ところが、空間的応用一般均衡モデルを用いた分析において交通社会基盤整備による社会の変化をどのようにモデル化するかという点に関しては、統一的な方法論があるわけではなく、モデル構築者によって様々な手法が提案されている。モデル内での交通の表現方法が異なると、交通政策の効果、特に経済効果の空間的な特性が異なりうる。交通分析を目的とした SCGE モデルにおいて輸送・交通を表現する方法論は、細部に関しては多様であるが、俯瞰的に見ると、(1)iceberg 型費用コンセプトに類する方法、(2)生産性向上で表現する

方法, (3) それ以外, というパターンに大別することができる。本稿は, 既存のモデルで用いられてきたこれらの方法論を整理し, 特に iceberg 型費用のモデルを中心に, それぞれの特徴, 長短所について検討する。

2. 既存の SCGE モデルにおける輸送・交通の取扱

(1) 交通整備効果評価への SCGE モデル適用の経緯

CGE モデルの多国・多地域モデルへの拡張は, 国際貿易の分野において先駆的に進められた¹⁾。貿易の分析においては, 輸出入税の影響が焦点となるものの, 財の空間的な輸送の費用は捨象されている。

多地域の CGE モデルにおいて地域間の輸送に要する輸送サービス・費用を SCGE モデルにおいて明示的に扱ったモデル化は, 交通整備評価への適用を目的とした Buckley²⁾ に始まる。以降, 運輸交通政策への SCGE 適用が活発に行われ, Bröcker and Mercenier³⁾ は SCGE モデルの発展や, 基本的な定式化について解説している。Ivanova⁴⁾ は, 交通政策評価への実務的適用に用いられた SCGE モデルについて詳細なレビューを整理している。わが国の土木計画学分野における, SCGE モデルによる交通プロジェクト評価に関する最近の研究に関しては, 小池ら⁵⁾ のレビューが参考となる。

交通プロジェクト評価への適用を目的とする SCGE モデルに共通する特徴としては, 多地域経済システムを明示的に考慮したという点, および何らかの形で交通整備を外生変数の変化として入力できるように設計されているという点である。しかし, モデルの中で地域間の輸送に要する費用を表現する方法, 交通整備プロジェクトによる輸送環境改善を表現する方法には, モデリング技術の相違点が見られる。これまでの SCGE モデルのレビューは, 適用対象, 地域分類や産業部門分類, 想定されている市場環境(完全競争 vs 不完全競争)などの視点による整理が中心である。これに対し本稿は, モデル分析における交通システムの改善の描写方法に着目して, 既存の SCGE モデルを整理する。

(2) iceberg 型輸送費用に基づく方法およびその類似型

Buckley²⁾ は, 完全競争市場と Armington 仮定に基づき生産地を差別化して地域間取引を扱う標準的なモデルであり, 地域間取引において Leontief 型関数により, 完全補完的に一定の輸送サービスが消費されるように想定されている。Buckley²⁾ の方法は, 生産地と需要地のペアに対して輸送投入需要が考慮されているという意味では, iceberg 型輸送費用コンセプトによるモデル化の原点と言える。

Bröcker⁶⁾ は, iceberg 型輸送費用コンセプトに基づき, 地域間取引に要する輸送費用削減政策を評価するための SCGE モデルの理論的枠組みの設計, および限られた利用可能なデータからのモデル設計法を解説し, 以降の氷塊型輸送費概念を利用した SCGE モデルの発展に大きな影響を与えた。わが国では, 宮城・本部⁷⁾, 宮城⁸⁾ によって iceberg 型輸送費用のタイプ¹⁾ による SCGE モデルが開発され, 土木計画分野においても導入が進んだ。

iceberg 型輸送費用コンセプトを基礎として構築された SCGE モデルは, 欧州における交通プロジェクト評価に適用において多く見られる。Bröcker⁹⁾ を発展させて構築された CGEurope モデル¹⁰⁾ は, TEN-T(汎欧州運輸ネットワーク) 構想のプロジェクト毎の効果を計測している。オランダの TNO によって開発された RAEM¹¹⁾ も, CGEurope モデルと類似した枠組みで輸送抵抗が扱われており, モデルのバージョンも更新され続けている^{12),4)}。RAEM は, オランダ国内の鉄道整備プロジェクト評価への適用に始まり, ベルギー, ノルウェー, ロシア, EU などの交通プロジェクトにも適用⁴⁾ された。欧州委員会(EC)では, 交通政策以外にも含む汎用的な政策評価を目的とした大規模な SCGE モデルである RHOMOLO を開発¹³⁾ している。RHOMOLO は CGEurope と同様の構造であるが, 産業部門をより細分化し労働移動を精緻に扱うことで, Cohesion(経済結合)政策の評価を指向したモデル化となっている。

わが国では, 小池・川本¹⁵⁾, 小池ら¹⁶⁾, Koike et al.¹⁷⁾ によって構築された RAEM-Light による地域交通政策評価の適用事例が蓄積^{18),19),20),21)} している。RAEM-Light は, 先述の RAEM の操作性を向上させ, 小規模の交通プロジェクトや短期的な影響評価への応用が容易となるように設計されたモデルである。石倉²²⁾ は, 日中地域間産業連関表を基準均衡データとして用い, 国際間輸送と国内地域間輸送に要する輸送費を明示的に考慮し, 港湾政策と国内交通政策を同時に評価可能な SCGE モデルを構築した。石倉, 吉川²³⁾ は, CGEurope や RAEM と同様に独占的競争を導入した SCGE モデルを構築し, 関東における市町村単位の地域分割単位で道路整備プロジェクトの評価を可能とする枠組みを提案している。

これらの iceberg 型輸送費用コンセプトの系統に含まれる SCGE モデルは, モデルが対象とする経済システムの空間的範囲内において, 局地的な交通プロジェクトの評価への適用を前提としていることで共通している。

¹⁾ 宮城・本部⁷⁾ は, 厳密には iceberg 型モデルではなく, 仮設的交易業者が設定する輸送マージンとして輸送費がモデル化されている。

(3) 交通改善を生産性向上として表現する方法

SCGE モデルにおいて交通整備効果分析を実施するもう一つの主要なアプローチとして、交通費用を明示せず、交通整備が産業部門の生産性向上に寄与することと考えて輸送システムの影響を表現するタイプがある。この類型に含まれる代表的な研究は、Kim et al. (2004)²⁵⁾、Kim and Hewings (2009)²⁸⁾、Haddad et al. (2015)³⁰⁾ などである。

Kim et al. (2004)²⁵⁾ と Kim and Hewings (2009)²⁸⁾ は、韓国における高速道路整備の効果を推定するため、交通費用を明示しない SCGE モデルと、SCGE モデルとは独立に構築された交通ネットワークモデルを組み合わせた分析手法を採用している。具体的には、ネットワーク配分モデルを含む交通需要モデルを用いて交通整備前後の交通条件（地域間所要時間や交通サービス水準）を算出し、これを地域人口による重み付けを考慮したアクセシビリティ指標の変化として換算することで、SCGE モデルにおける外生的な交通条件変化を表現している。アクセシビリティの向上は、地域産業の生産性向上に寄与するよう定式化されている。

Haddad et al. (2015)³⁰⁾ は、サンパウロにおける都市交通整備による広域的な経済効果を評価するために SCGE モデルを適用しており、交通モデルから算出した交通サービス水準の変化を当該都市の財生産効率性向上へと換算する手法を採用している。

Haddad and Hewings (2005)²⁶⁾ は、交通社会資本整備が輸送部門の生産効率性向上を通じて輸送価格を低下させるようモデル化し、ブラジルにおける交通整備の効果を SCGE モデルにより評価した。輸送部門の価格低下により、それを投入する財部門の生産費用も低下することで、波及的な効果が表現されている。この方法は、交通整備が直接的に財生産部門の生産性を変化させるのではなく、輸送部門の生産性向上を通じて他産業部門の費用構造へ影響するという点で、先述の生産性向上のタイプと異なる。

3. iceberg 型輸送費用モデルに対する批判と特徴の再考

(1) iceberg 型輸送費用モデルへの批判

前章では、SCGE モデルにおいて地域間交通整備を表現する方法の代表例として、iceberg 型輸送費用モデルと、生産性向上を考慮するモデルを挙げた。iceberg 型輸送費用コンセプトは、交易される財の生産地と需要地に対して外生的な輸送マージンを設定するものであり、物流の側面から見ると OD 間の輸送費用を外生条件と考えることに他ならない。1 章で述べたように、交通整備プロジェクトは、整備対象のリンクを含む OD

ペアの輸送抵抗（一般化費用）軽減に対して直接的に寄与するものであるため、iceberg 型輸送費用コンセプトは、交通整備による外的条件変化を（空間的な視点からは）妥当に捉えた表現方法と言える。

しかし、その一方で、輸送システムの表現方法としては、いくつかの批判がなされている。例えば、Tavasszy et al.³³⁾ は、“The iceberg approach implicitly assumes that the transport of goods is produced in the same way as the product transported.” と述べている。これは、輸送される財の生産費用構造と同一の費用構造で財の輸送サービスが提供されるということを指摘しており、すなわち財生産と財輸送の技術が等しく扱われていることを問題視²⁾している。

宮城³⁵⁾ も同様に、輸送部門の投入算出構造が無視される点を指摘しているが、加えて、“輸送マージンの減少は輸送部門の生産減少”を意味し、“輸送改善により企業が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”とも述べている。これに関連する批判として青木ら³⁶⁾ は、“どのようなメカニズムにより時間短縮が輸送に相当する財消費の節約につながるのかは説明されていない。運輸部門が明示化されていないため交通生産への影響も考慮されていない”と指摘している。これらの批判は、運輸部門が明示的に扱われないことにより、運輸部門の付加価値も捨象されていることを暗に問題視している。

(2) iceberg 型モデルの特徴

a) iceberg 型モデルの需要と価格

iceberg モデルと非 iceberg モデルに共通の前提条件を列挙しておく。

y_{sj} は、部門 j 地域 s の生産量、 x_{sj} は、部門 j 地域 s の合成中間投入量、 v_{sj} は、部門 j 地域 s の要素投入量を表す。

産業の生産関数は、

$$y_{sj} = f_{sj}(x_{sij}, v_{sj}) \quad (1)$$

$$x_{sij} = g_{sij}(x_{rsij}) \quad (2)$$

のようにモデル化される。

地域 r 産の財 i を地域 s で需要する際の、iceberg 輸送費用概念における輸送マージン率を $\hat{\tau}_{rs}^i$ と記述する。

地域 s 産業 j の費用関数 C_{sj} は、

$$C_{sj} = \tilde{f}_{sj}(\mathbf{P}_{sij}, w_s, y_{sj}) \quad (3)$$

であり、当該地域当該部門における合成中間投入財 i の価格指数 P_{sij} は、

$$P_{sij} = \tilde{g}_{sij}(\mathbf{p}_{rsi}) \quad (4)$$

²⁾ ただし、産業部門を分類しない 1 部門モデルならば、産業部門間の技術差が生じないので、理論上では問題がないとも指摘している。

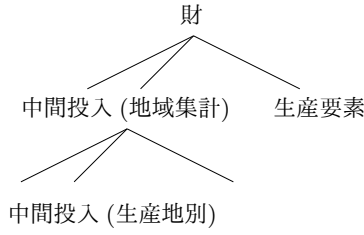


図-1 財の生産技術ツリー

と表される³。生産地価格 p_{ri} と需要地価格 p_{rsi} の関係は、

$$p_{rsi} = (1 + \hat{\tau}_{rsi}) p_{ri} \quad (5)$$

となる。シェパードの補題を適用し、iceberg 型輸送費コンセプトより輸送マージン分が消費されることを考慮すると、需要地における輸送消費込みの中間投入需要は、

$$\begin{aligned} x_{rsij} &= (1 + \hat{\tau}_{rsi}) \frac{\partial C_{sj}}{\partial p_{rsi}} = (1 + \hat{\tau}_{rsi}) \frac{\partial C_{sj}}{\partial P_{sij}} \frac{\partial P_{sij}}{\partial p_{rsi}} \\ &= \frac{\partial C_{sj}}{\partial P_{sij}} \frac{\partial P_{sij}}{\partial p_{ri}} \end{aligned} \quad (6)$$

となる。

家計消費需要についてもほぼ同様に考えられ、地域 s における家計の支出関数を E_s と表すと、

$$\begin{aligned} c_{rsi} &= (1 + \hat{\tau}_{rsi}) \frac{\partial E_s}{\partial p_{rsi}} \\ &= (1 + \hat{\tau}_{rsi}) \frac{\partial E_s}{\partial P_{si}} \frac{\partial P_{si}}{\partial p_{rsi}} \\ &= \frac{\partial E_s}{\partial P_{si}} \frac{\partial P_{si}}{\partial p_{ri}} \end{aligned} \quad (7)$$

となる。(P_{si} は s 地における財 i 消費の価格指数である。) このように、需要関数が式 (6) と同じ形になり、輸送費用が需要に及ぼす影響も同様であるため、以下の議論では消費需要への言及を省略する。

b) 非 iceberg モデルの需要と価格

次に、iceberg 型モデルとできるだけ類似した仮定を維持し、輸送費についてのみ iceberg 型ではなく明示的な輸送サービス消費を考慮したモデルを考える。具体的には、輸送サービスの価格が、被輸送財の生産技術とは独立の技術で決定され、地域間取引において被輸送財需要に対して補完的に輸送サービスが消費される枠組みを検討する。

地域 s 産業 j で生産される財 y_{sj}^t の生産技術ツリー構造を、

$$y_{sj}^t = f_{sj}^t(\mathbf{x}_{sij}^t, v_{sj}) \quad (8)$$

$$x_{sij}^t = g_{sij}^t(\mathbf{x}_{rsij}^t) \quad (9)$$

³ ボールド体はベクトル・行列を表し、ここでは $\mathbf{x}_{sij} = (x_{s1j}, \dots, x_{sIj})$, $\mathbf{x}_{rsij} = (x_{1sij}, \dots, x_{Rsj})$, $\mathbf{P}_{sij} = (P_{s1j}, \dots, P_{sIj})$, $\mathbf{P}_{rsi} = (p_{rsi}, \dots, p_{Rsi})$ である。

のように想定する。 x_{rsij}^t は、部門 j 地域 s の生産において投入される地域 r 産、部門 i の中間財投入である。

この生産技術は、上位階層では財部門別合成中間財投入と生産要素投入が合成されて財が生産され、下位階層では生産地ラベル別の中間財が投入されてそれぞれの部門別合成中間財が構成される、先の iceberg 費用型モデルと同様の想定である。

地域 s 産業 j の費用関数 C_{sj}^t は

$$C_{sj}^t = \tilde{f}_{sj}^t(\mathbf{P}_{sij}^t, w_s, y_{sj}^t) \quad (10)$$

であり、当該地域当該部門における合成中間投入財 i の価格指数 P_{sij}^t は、

$$P_{sij}^t = \tilde{g}_{sij}^t(\mathbf{p}_{rsi}^t) \quad (11)$$

である。ここでシェパードの補題を適用すると、生産地別の中間財投入需要は、

$$x_{rsij}^t = \frac{\partial C_{sj}^t}{\partial P_{sij}^t} \frac{\partial P_{sij}^t}{\partial p_{rsi}^t} \quad (12)$$

のように得られる。 p_{rsi}^t は、需要地地域 s における、 r 地域産 i 財の需要地価格である。

ここで、生産地別中間財の需要に際し、生産地と需要地の空間的關係に依存して、“非代替的に”輸送サービス消費が必要とされると考える。 t_{rsij} は、 x_{rsij}^t の合成中間財を構成するために投入される輸送サービス量を表し、

$$t_{rsij} = \tau_{rsi} x_{rsij}^t \quad (13)$$

の関係を仮定すると、 $\tau_{rsi} = \frac{t_{rsij}}{x_{rsij}^t}$ より、 τ_{rsi} は生産地別中間財需要における輸送サービスに関する投入係数として解釈できる。

需要地において中間財を需要するためには輸送サービスの消費が不可避であるので、1 単位の財を需要するにあたり、財価格に加えて単位財需要に必要な輸送サービスへの対価も支出する必要がある。したがって、中間財需要に要する支出額は、

$$p_{rsi}^t x_{rsi}^t = p_{ri} x_{rsi}^t + \pi t_{rsij} \quad (14)$$

であり、両辺を x_{rsi}^t で除すことにより、

$$\begin{aligned} p_{rsi}^t &= p_{ri} + \pi \frac{t_{rsij}}{x_{rsij}^t} \\ &= p_{ri} + \pi \tau_{rsi} \end{aligned} \quad (15)$$

の關係が得られる。すなわち、需要地価格は、生産地価格に輸送サービス消費に要する単位費用を加えた値として示される。ここで、 π は輸送サービス 1 単位の価格である。

ただし、 p_{ri} は中間財供給者へ支払われ、 π_{rsi} は輸送サービス供給者へ支払われる点に注意が必要である。

c) モデル間の比較

ここで、iceberg 型モデルの需要地価格 p_{rsi} (式 (5)) と非 iceberg 型モデルの需要地価格 p_{rsi}^t (式 (15)) を比較すると、輸送に要する費用に相当する部分の違い ($p_{ri} \hat{\tau}_{rsi}$

と $\pi\tau_{rsi}$) として表れることがわかる。もし、輸送マージン率と輸送サービス投入係数が等しい、すなわち $\tau_{rsi} = \hat{\tau}_{rsi}$ とおくと、需要地価格の差は 1 単位の需要に要する輸送サービスへの支出 (価格) の違いのみとなる。

生産地と需要地間の取引額に着目すると、iceberg 型モデルでは、式 (6) の両辺に p_{ri} を乗じることにより、

$$\begin{aligned} p_{ri}x_{rsij} &= p_{ri} \frac{\partial C_{sj}}{\partial P_{sij}} \frac{\partial P_{sij}}{\partial p_{ri}} \\ &= (p_{ri} + p_{ri}\hat{\tau}_{rsi}) \frac{\partial C_{sj}}{\partial P_{sij}} \frac{\partial P_{sij}}{\partial p_{rsi}} \quad (16) \end{aligned}$$

であり、非 iceberg 型モデルでは式 (12)(13)(14) より、

$$p_{rsi}^t x_{rsi}^t = (p_{ri} + \pi\tau_{rsi}) \frac{\partial C_{sj}^t}{\partial P_{sij}^t} \frac{\partial P_{sij}^t}{\partial p_{rsi}^t} \quad (17)$$

となる。

以上の比較より、地域間取引の表現において iceberg モデルが抱える問題の本質は、輸送サービスの費用構造として交易財 (被輸送財) の費用構造を用いていることのみに着目することが明確に理解できる。したがって、交通整備がこれらの費用構造に及ぼす影響に大きな差異がある場合には、iceberg 型輸送費用を用いるモデルの結果にも問題が生じる。つまり、輸送サービスを構成する技術と、輸送される財の生産技術を混同することの問題点は、理論的には的を得ている。

一方で、iceberg 型輸送費用コンセプトの解釈として、これを SCGE に導入した先駆的業績である Bröcker⁶⁾ では、“地域間取引に要する費用の多くは、財生産企業の副生産物のような性質であり、これらの費用は需要者が支払う財価格に内包されている”と述べている。モデルにおける表現からも明らかのように、輸送費用に相当する部分は、被輸送財生産企業の収益を形成している。したがって、財生産の付加価値には、生産された交易財に内包されている輸送サービスの (自家) 生産に対する付加価値も含まれる。このことは、“輸送部門を明示的に考慮しないことは輸送部門の付加価値を捨棄している”という指摘は本質的ではなく、誤解に基づいていることを意味する。

輸送部門を“適切に”モデル化すれば、前者の本質的問題は回避されるが、現実的には“適切な”モデル化は極めて困難である。その理由を、多地域経済モデルとして特に重要な 2 つの視点から挙げると、第 1 に、交易に要する輸送サービスがどの地域に存在する輸送部門により供給されるのか、正確に把握することが難しい。この仮定のおき方によって、輸送サービスの対価が、どの地域の輸送部門の収益 (および付加価値) になるのかが決定される。第 2 に、輸送サービスの需要者が誰であるのかを特定する必要があるが、これを交易財の供給者と見なすのか需要者と見なすのかによって、交通整備の便益の帰着先に影響が及ぶ。輸送部門を明示化したモデルを構築することは、これらの視点

について前提条件を設けることを意味し、その前提条件の妥当性如何によってモデルの信頼性が左右される。既存の SCGE モデル研究において、実証的な裏付けをもって、明示的に考慮された輸送部門の扱いに関する前提条件を示したものは、筆者の知る限り未だ存在しない。

輸送部門を明示しない iceberg 型輸送費のモデルは、交易財生産者の副産物として輸送サービス供給が解釈されるので、交易財の生産地において輸送サービスが供給および要素所得分配が行われ、輸送サービスの費用は財の需要地価格に含まれることとなり需要者が負担する枠組みとなっている。この仮定の是非には議論があるが、概念と解釈は明確である。

4. 交通整備効果を生産性向上により表現する手法の問題

交通整備による影響を、産業部門の生産性向上によって表現する方法として、Kim et al.²⁵⁾ や Kim and Hewings²⁸⁾ のように、アクセシビリティ向上が産業部門の全要素生産性 (TFP) 向上へ寄与するように見なすモデル化が標準的である。ただし、この手法では、全要素生産性の向上がなぜ交通整備 (アクセシビリティ向上) によってもたらされるかの説明がなくブラックボックス化されるため、ミクロ経済的基礎を欠くという課題がある。

交通整備による生産活動への影響としては、投入される時間資源の節約 (所要時間短縮) と純粋な全要素生産性向上の、両方の可能性が考えられるが、この手法では両者が混同して評価されることとなる。さらに、時間資源節約の効果に関しては、交通システムがネットワークという特徴を持つ以上、交通整備の影響は OD 単位で大きく異なる。にもかかわらず、これを生産性向上効果のみで捉える手法では、生産地という一点での集計値に置き換えられるため次元が低下し、OD 別の時間資源節約効果の情報が喪失することとなる。

特に、輸送時間短縮の変化率とヒックス中立型で定式化された全要素生産性向上率が等価と仮定する方法³⁶⁾ は、理論的には交通所要時間のみを生産要素とする生産技術を仮定していることと同義であり、注意が必要である。このように理論的にも実証的にも支持論拠がない ad-hoc な定式化は、空間的な便益分布の計測精度に問題があるばかりでなく、総便益も極めて過大に計測される恐れがある。

一方で、iceberg 型輸送費用コンセプトは、OD ペア毎の時間資源節約効果を便益の源泉として捉えるモデル化であり、便益の空間的分布に関しては、生産性向上型のモデル化よりも高精度で評価されることが期待

され、ただし、全要素生産性向上の効果は iceberg 型費用のモデルでは捉えられていないため、そのような効果が存在するならば、便益が過小評価されている可能性がある。

5. おわりに

本稿は、交通整備効果の評価に用いられる SCGE モデルにおいて、交通整備がどのように表現されるかに着目し、主たる方法である iceberg 型輸送費用のモデルと生産性向上型のモデルを取り上げて、特徴と問題を整理した。特に、iceberg 型輸送費用のモデルにおける輸送サービスの費用構造と輸送される財の費用構造が同一であるという問題の本質を、輸送サービスを明示した簡単な定式化との対比により示すとともに、一部の批判には誤解に基づく指摘があることも明確にした。

交通整備の効果を集計して産業の全要素生産性向上と見なす方法では、OD という二次元の情報が生産地という一次元の情報へと集計されることで、便益の空間分布に関する計測精度を低下させている。この点に関しては iceberg 型費用のモデル化の方が空間の情報を丁寧に扱っているが、iceberg 型費用のモデルでは全要素生産性向上の効果は計測されていないという課題がある。

このようにモデルの理論的枠組みから、各種のモデルの特徴や課題を指摘することは可能であるが、応用の場面では、理論的な問題がどれほど政策効果分析に対して影響するのか、定量的な検討も重要である。理論的な問題が現実的には無視できる程度のものであれば、過度に理論整合的なモデル化を目指すことは、本来の政策効果把握という目的に対しては必ずしも望ましくない場合もある。交通システムの整備状況と輸送サービスの関係を明示的に表し、輸送サービスの供給メカニズムも明示的にモデル化するためには、モデル構築に必要なデータへの要求も非常に高度になる。例えば、ある地域間の財取引に必要な輸送サービスが、どの地域の輸送部門から供給されたものか、輸送部門の要素所得はどの地域に分配されるのか、という情報を公表データから正確に与えることはほぼ不可能である。したがって、実際に交通整備効果の評価に SCGE モデルを適用するにあたり、輸送サービスの実態反映は不完全であっても“利用可能”な手法の中から選択せざるを得ない。その際に、手法選択者はモデル分析の本来目的に応じて、どのような特徴を重視すべきか（どのような問題に妥協するか）を判断することが求められる。こうした要求に応えられるよう、各タイプのモデル出力の特徴と課題について、工学的な知見蓄積が必要である。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金（課題番号 15H04059, 16K06542）による助成を受けたものである。ここに記して謝意を表したい。

参考文献

- 1) Shoven, J.B. and Whalley, J.: Applied general equilibrium models of taxation and international trade: an introduction and survey, *Journal of Economic Literature*, Vol.22, pp.1007-1051, 1984.
- 2) Buckley, P.H.: A transportation-oriented interregional computable general equilibrium model of the United States, *The Annals of Regional Science*, Vol.26, No.4, pp.331-348, 1992.
- 3) Bröcker, J. and Mercenier, J.: General equilibrium models for transportation economics, *A handbook of transport economics*, pp.21-45, 2011.
- 4) Ivanova, O.: Modelling Inter-Regional Freight Transport Demand with Input-Output, Gravity and SCGE Methodologies, in Tavasszy, L., De Jong, G. Eds., *Modelling Freight Transport*, Elsevier, 2014.
- 5) 小池淳司, 石倉智樹, 堤盛人: 特集『土木計画における経済均衡モデル研究の最新動向: 応用一般均衡モデルと応用都市経済モデル』, 土木学会論文集 D3, Vol.68, No.4, pp.285-290, 2012.
- 6) Bröcker, J.: Operational spatial computable general equilibrium modeling, *The Annals of Regional Science*, Vol.32, No.3, pp.367-387, 1998.
- 7) 宮城俊彦, 本部賢一: 応用一般均衡分析を基礎にした地域間交易モデルに関する研究, 土木学会論文集, Vol.530, (IV-30), pp.31-40, 1996.
- 8) 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.
- 9) Bröcker, J.: How would an EU-membership of the Visegrád- countries affect Europe 's economic geography?, *The Annals of Regional Science*, Vol.32, pp.91-114, 1998.
- 10) Bröcker, J., Korzhenevych, A., Schürmann, C.: Assessing spatial equity and efficiency impacts of transport infrastructure projects, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.44, No.7, pp.795-811, 2010.
- 11) Knaap, T. and Oosterhaven, J.: Measuring the welfare effects of infrastructure: A simple spatial equilibrium evaluation of Dutch railway proposals, *Research in Transportation Economics*, Vol.31, No.1, pp.19-28, 2011.
- 12) Thissen, M., Limtanakool, N. and Hilbers, H.: Road pricing and agglomeration economies: a new methodology to estimate indirect effects applied to the Netherlands, *The Annals of Regional Science*, Vol.47, No.3, pp.543-567, 2010.
- 13) Brandsma, A. and Kancs, D.: RHOMOLO: A Dynamic General Equilibrium Modelling Approach to the Evaluation of the European Union's R&D Policies, *Regional Studies*, Vol.49, No.8, pp.1340-1359, 2015.
- 14) Mun, S.: Transport Network and System of Cities, *Journal of Urban Economics*, Vol.42, pp.205-221, 1997.
- 15) 小池淳司, 川本信秀: 集積の経済性を考慮した準動学 SCGE モデルによる都市部交通渋滞の影響評価, 土木計画学研究・論文集, Vol.23, No.1, pp.179-186, 2006.
- 16) 小池淳司, 佐藤啓輔, 川本信秀: 帰着便益分析による道路

- ネットワーク評価～応用一般均衡分析モデル「RAEM-Light」による実務的アプローチ～, 土木計画学研究・論文集, Vol.26, pp.161-168, 2009.
- 17) Koike, A., Tavasszy, L., and Sato, K.: Spatial Equity Analysis on Expressway Network Development in Japan -Empirical Approach Using the Spatial Computable General Equilibrium Model RAEM-Light-, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol.2133, pp.46-55, 2009.
 - 18) 小池淳司, 川本信秀, 佐藤啓輔: 港湾取扱貨物量を明示化した道路ネットワーク評価モデルの構築～応用一般均衡モデル「RAEM-Light」を用いたアプローチ～, 土木計画学研究・論文集, Vol.26, pp.189-196, 2009.
 - 19) 小池淳司, 右近崇: 高速道路料金割引施策による経済効果の空間的帰着分析, *運輸政策研究*, Vol.16, No.2, pp.2-13, 2013.
 - 20) 佐藤啓輔, 小池淳司, 川本信秀: 空間的応用一般均衡モデル「RAEM-Light」を用いた道路・港湾整備の効果分析, *土木学会論文集 D3*, Vol.69, No.5, pp.L283-L295, 2013.
 - 21) 佐藤啓輔, 吉野大介, 小池淳司: 空間的応用一般均衡モデルを用いた中央アジア内陸国における道路整備の経済効果把握, *土木学会論文集 D3*, Vol.70, No.5, pp.L229-L240, 2014.
 - 22) 石倉智樹: 多国多地域型空間的応用一般均衡モデルによるコンテナ港湾整備政策の国別地域別効果分析, *運輸政策研究*, Vol.17, No.3, pp.15-26, 2014.
 - 23) 石倉智樹, 吉川光志: 大都市圏における交通整備評価のための空間的応用一般均衡モデル, *土木学会論文集 D3*, Vol.73, No.4, pp.228243, 2017.
 - 24) Kim, E. and Kim, K.: Impacts of the development of large cities on economic growth and income distribution in Korea: A multiregional CGE model, *Papers in Regional Science*, Vol.82, No.1, pp.101-122, 2003.
 - 25) Kim, E., Hewings, G.J.D. and Hong, C.: An Application of an Integrated Transport Network-Multiregional CGE Model: a Framework for the Economic Analysis of Highway Projects, *Economic Systems Research*, Vol.16, No.3, pp.235-258, 2004.
 - 26) Haddad, E.A. and Hewings, G.J.D.: Market imperfections in a spatial economy: some experimental results, *The Quarterly Review of Economics and Finance*, Vol.45, No.2-3, pp.476-496, 2005.
 - 27) Haddad, E.A., Bonet, J., Hewings, G.J.D., Perobelli, F.S.: Spatial aspects of trade liberalization in Colombia: A general equilibrium approach, *Papers in Regional Science*, Vol.88, No.4, pp.699-732, 2009.
 - 28) Kim, E. and Hewings, G.J.D.: An Application of an Integrated Transport Network - Multiregional CGE Model to the Calibration of Synergy Effects of Highway Investments, *Economic Systems Research*, Vol.21, No.4, pp.377-397, 2009.
 - 29) Haddad, E.A., Hewings, G.J.D., Perobelli, F.S. and dos Santos, R.A.C.: Regional Effects of Port Infrastructure: A Spatial CGE Application to Brazil, *International Regional Science Review*, Vol.33, No.3, pp.239-263, 2010.
 - 30) Haddad, E.A., Hewings, G.J.D., Porsse, A.A., Van Leeuwen, E.S., Vieira, R.S.: The underground economy: Tracking the higher-order economic impacts of the São Paulo Subway System, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol.73, pp.18-30, 2015.
 - 31) 小池淳司, 上田孝行, 宮下光宏: 旅客トリップを明示した SCGE モデルの構築とその応用, *土木計画学研究・論文集*, 17, pp.237-245, 2000.
 - 32) 宮下光宏, 小池淳司, 上田孝行: アジア高速鉄道整備の経済・環境影響の国際比較-旅客を考慮した SCGE モデルによる計量分析-, *土木学会論文集 D3*, 68, (4), pp.316-332, 2012.
 - 33) Tavasszy, L.A., Thissen, M.J.P.M. and Oosterhaven, J.: Challenges in the application of spatial computable general equilibrium models for transport appraisal, *Research in Transportation Economics*, Vol.31, No.1, pp.12-18, 2011.
 - 34) 青木優, 武藤慎一, 桐越信, 森杉壽芳: 大規模幹線道路の SCGE モデルによる整備効果の計測と便益帰着構成表による整理 -東海環状自動車道を例として-, *高速道路と自動車*, Vol.55, No.3, pp.27-34, 2012.
 - 35) 宮城俊彦: 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, *土木学会論文集 D3*, Vol.68, No.4, pp.291-304, 2012.
 - 36) 青木優, 森杉壽芳, 武藤慎一, 上泉俊雄, 河野達仁, 福田敦, 東山洋平: 高速道路ネットワーク 9142km の経済効果 -空間的応用一般均衡 (SCGE) アプローチ-, *高速道路と自動車*, Vol.58, No.3, pp.16-25, 2015.

(2018. ?. ? 受付)

ON THE ICEBERG TRANSPORT COST CONCEPT IN MULTI-REGIONAL GENERAL EQUILIBRIUM MODELS

Tomoki ISHIKURA, Atsushi KOIKE, Masato YAMAZAKI and Shunsuke SEGI

When spatial computable general equilibrium models is applied to transport policy appraisal, exogenous changes by the transport policy need to be explicitly represented. There exist several methodologies to express the changes. The difference of the expression may cause different results, in particular spatial distribution of benefit and other economic impacts. This paper review the methodologies for the modeling of transport cost in SCGE models, focussing on especially "iceberg transport cost concept", and summarizes the characteristics and issues of them.