

# 地域間取引における輸送サービス投入と 輸送サービス生産技術を明示した SCGE モデル

佐々木 武志<sup>1</sup>・石倉 智樹<sup>2</sup>

<sup>1</sup>非会員 首都大学東京 都市環境学部 (〒 192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)  
E-mail: sasaki-takeshi1@ed.tmu.ac.jp

<sup>2</sup>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

社会資本整備による経済効果を分析するにあたり、一般均衡理論に基づき分析を行う空間的応用一般均衡 (SCGE:Spatial Computable General Equilibrium) モデルの開発が進められている。交通整備評価に用いられる多くの SCGE モデルは、輸送費を iceberg 型で仮定する方法が採られている。しかし、この方法では輸送サービスの生産技術が被輸送財の生産技術と同一と仮定されているという問題点が指摘されている。本研究は、iceberg 型輸送費用概念に基づく SCGE モデルの利点を維持しつつ、従来指摘されていた問題点を改善することを目指し、輸送サービスの生産技術を交易財生産の技術と独立に扱い、かつ各 OD の輸送費の異質性が反映されるモデル化技法を開発する。

**Key Words:** SCGE, transport service, interregional trade, iceberg transport cost concept

## 1. はじめに

社会資本整備は国や各都道府県などが公共事業として行うものであり、適切な経済効果の分析を行った上で入念な計画を行う必要がある。この経済効果の分析手法として、事業による経済効果を定量的に評価することが可能な費用便益分析が広く用いられているが、部分均衡分析であるがゆえの課題も抱えている。

そこで現在、空間的応用一般均衡 (SCGE:Spatial Computable General Equilibrium) モデルの開発が進められている。部分均衡理論に基づいて分析を行う費用便益分析に対し、SCGE モデルでは一般均衡理論に基づいて分析を行うため、事業による間接的な効果や事業対象地域内部の経済効果を比較することが可能である。これは社会資本整備を計画する上で、便益以外のストック効果評価という観点から非常に大きな利点となる。

運輸交通政策の評価に SCGE モデルを用いる際には、政策がもたらす輸送技術・費用の変化を明示的に考慮する必要がある。その代表的な方法の一つに、iceberg 型輸送費用概念を用いる SCGE 構築手法があり、膨大な研究実績がある。Iceberg 型輸送費用概念は、モデルの取り扱いが容易であり、地域間の輸送費用変化をきめ細かに表現できるという利点がある一方、その仮定が分析結果にもたらしうる様々な問題点が指摘されている。

本研究は、iceberg 型輸送費用概念に基づく SCGE モ

デルの利点を維持しつつ、従来指摘されていた問題点を改善することを目指し、輸送サービスの生産技術を交易財生産の技術と独立に扱い、かつ各 OD の輸送費の異質性が反映されるモデル化技法を開発する。

## 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<sup>1)</sup>。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 Buckley<sup>2)</sup>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 Mercenier<sup>3)</sup>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。Ivanova<sup>4)</sup>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<sup>5)</sup>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

Buckley<sup>2)</sup> 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。Buckley<sup>2)</sup> 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。

Bröcker<sup>6)</sup> 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 iceberg 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<sup>7)</sup>、宮城<sup>8)</sup> によって iceberg 型輸送費用のタイプ<sup>1)</sup>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への適用において多く見られる。Bröcker<sup>9)</sup> を発展させて構築された CGEurope モデル<sup>10)</sup> 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 RAEM<sup>11)</sup> 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<sup>12),4)</sup>。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<sup>4)</sup>された。欧州委員会 (EC) では、交通政策以外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<sup>13)</sup>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、文<sup>14)</sup>を基に、小池・川本<sup>15)</sup>、小池ら<sup>16)</sup>、Koike et al.<sup>17)</sup> 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<sup>18),19),20),21)</sup>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<sup>22)</sup> 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<sup>23)</sup> 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。

## (3) 交通改善を生産性向上として表現する方法とその問題点

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)<sup>25)</sup>、Kim and Hewings (2009)<sup>28)</sup>、Haddad et al. (2015)<sup>30)</sup> などである。

Kim et al.<sup>25)</sup> と Kim and Hewings<sup>28)</sup> 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.<sup>30)</sup> 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<sup>26)</sup> 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

<sup>1)</sup> 宮城・本部<sup>7)</sup> 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。

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。

交通改善を生産性向上として表現する方法では、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<sup>33)</sup>  
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。

#### (4) iceberg 型輸送費用モデルに対する批判と特徴の 再考

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。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.<sup>31)</sup> 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<sup>2)</sup>している。

宮城<sup>32)</sup> 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<sup>33)</sup> 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。

しかし、最近の研究において山崎ら<sup>34)</sup> は、運輸部  
門の付加価値が明示的に分離されないこと自体は、帰  
着便益への影響がきわめて微小であることを示してい  
る。これは、iceberg 型輸送費用概念では、交易財部門  
の生産活動に運輸アクティビティが内包されており、被  
輸送財生産の付加価値に運輸部門の付加価値が含まれ  
るためであるが、上記の批判においては見落とされて  
いた特徴である。一方で、Tavasszy et al.<sup>31)</sup> が指摘す  
る、財生産と輸送サービス生産の技術を同一視するこ  
との問題については、財生産額変化に着目する場合に  
は無視できない影響が生じうることも示された。瀬木  
ら<sup>35)</sup> は、輸送サービスの生産と、地域間の財取引に要  
する輸送サービス需要を明示的に考慮する手法を提案  
し、iceberg 型輸送費用モデルとの挙動比較を行った。  
ここでも、iceberg 型輸送費用モデルを採用すること  
による地域別帰着便益への影響は小さいことが示され  
ているが、輸送産業の生産量や輸送産業への投入が多い  
（燃料など）部門の生産量の変化に着目する場合には、  
バイアスが大きいことを明らかにした。

また、瀬木ら<sup>35)</sup> は iceberg 型輸送費用モデルの問題  
を軽減しうる、輸送部門明示化モデルを提案している  
が、輸送費の負担者を仮定する必要があるなど、利用  
可能な実データから容易に構築できる枠組みとは言い難  
い。そこで本研究では、瀬木ら<sup>35)</sup> と類似した輸送サー  
ビス生産技術・需要構造を採用しつつ、最終的に利用  
される輸送サービスの単位費用を地域間で無差別化す  
ることにより、産業連関表から容易に得られる情報の

<sup>2)</sup> 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。

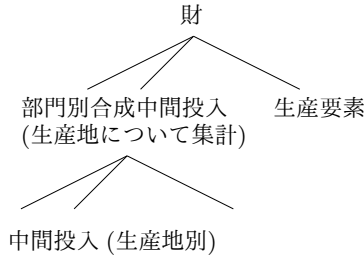


図-1 財生産技術の階層構造

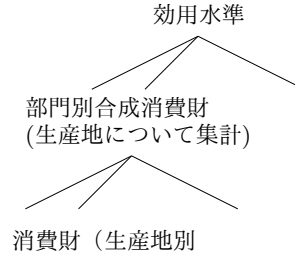


図-2 効用関数の階層構造

みで輸送サービス部門を明示化したモデルを構築する手法を検討する。

### 3. モデルの枠組み

#### (1) 財の生産

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

$$y_{sj} = f_{sj}^t(\mathbf{x}_{rsij}, v_{sj}) \quad (1)$$

$$x_{rsij} = g_{rsij}^t(\mathbf{x}_{rsij}) \quad (2)$$

のように想定する。ここで、 $x_{rsij}$  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<sup>3</sup>。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ことを想定したものである(図-1)。

地域  $s$  産業  $j$  の費用関数  $C_{sj}$  は

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

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  $P_{rsij}^t$  は、

$$P_{rsij}^t = \tilde{g}_{rsij}^t(\mathbf{P}_{rsi}^t) \quad (4)$$

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、

$$x_{rsij} = \frac{\partial C_{sj}}{\partial P_{rsij}^t} \frac{\partial P_{rsij}^t}{\partial p_{rsi}^t} \quad (5)$$

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、 $x_{rsij}$  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、

$$t_{rsij} = \tau_{rsi} x_{rsij} \quad (6)$$

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

の関係を仮定すると、 $\tau_{rsi} = \frac{t_{rsij}}{x_{rsij}}$  より、 $\tau_{rsi}$  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。 $\tau_{rsi}$  は、財  $i$  の地域  $rs$  間取引における輸送抵抗に依存するものであり、例えば、地域  $rs$  間一般化所要時間  $d_{rs}$  に対して、

$$\tau_{rsi} = \theta_i (\ln d_{rs})^{\phi_i} \quad (7)$$

のような関数形 ( $\theta_i, \phi_i$  は適当なパラメタ) が考えられる。この形式は、iceberg 型輸送費用概念のモデルにおいて想定される輸送マージンの関数形としても利用されるものである。

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、財の生産地価格  $p_{ri}$  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、

$$p_{rsi}^t x_{rsi} = p_{ri} x_{rsi} + \pi t_{rsij} \quad (8)$$

であり、両辺を  $x_{rsi}$  で除すことにより、

$$\begin{aligned} p_{rsi}^t &= p_{ri} + \pi \frac{t_{rsij}}{x_{rsij}} \\ &= p_{ri} + \pi \tau_{rsi} \end{aligned} \quad (9)$$

の關係が得られる。すなわち、需要地価格  $p_{rsi}^t$  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、 $\pi$  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、 $\pi \tau_{rsi}$  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。

生産地と需要地の間の取引額に着目すると、式 (5) (8) より、

$$p_{rsi}^t x_{rsi} = (p_{ri} + \pi \tau_{rsi}) \frac{\partial C_{sj}}{\partial P_{rsij}^t} \frac{\partial P_{rsij}^t}{\partial p_{rsi}^t} \quad (10)$$

となる。

#### (2) 家計の消費

家計の効用関数は、付加価値投入を除き生産技術と同様に、上位階層では財部門間代替、下位階層では同一部門財の生産地間代替表現される階層的な構造を想定する。

家計消費需要についても同様に、需要地  $s$  における  $r$  地域産財  $i$  の消費  $c_{rsi}$  のために輸送サービス  $t_{rsi}^c$  が必要とされ、その関係は

$$t_{rsi}^c = \tau_{rsi} c_{rsi} \quad (11)$$

と想定する。したがって、輸送サービス消費も含めた消費財の需要地価格は、

$$\begin{aligned} p_{rsi}^{c,t} &= p_{ri} + \pi \frac{t_{rsi}^c}{c_{rsi}} \\ &= p_{ri} + \pi \tau_{rsi} \\ &= p_{rsi}^t \end{aligned} \quad (12)$$

となり、中間投入における需要地価格形成と同様となる。

また、地域  $s$  における家計の支出関数を  $E_s$  と表すと、上位階層ヘシェパードの補題を適用すると、

$$c_{rsi} = \frac{\partial E_s}{\partial p_{rsi}^{c,t}} = \frac{\partial E_s}{\partial P_{si}^t} \frac{\partial P_{si}^t}{\partial p_{rsi}^{c,t}} \quad (13)$$

となる。ただし、 $P_{si}^t$  は地域  $s$  における部門  $i$  合成消費財の価格指数を表す。

### (3) 輸送サービスの生産

各地域  $r$  の輸送サービス要素部門の生産を集計して、全地域にわたって輸送サービスを供給する不在輸送サービス部門が総輸送サービスの集計量  $T$  を生産すると考える。

$$T = \tilde{h}(y_r^e) = \tilde{h}(y_r^e) \quad (14)$$

この例として、コブダグラス型技術を想定すると、

$$T = \tilde{\xi} \prod_r (y_r^e)^{\gamma_r} \quad (15)$$

であるので、総輸送サービス生産の費用最小化問題

$$\begin{aligned} \min_{y_r^e} \quad & C^T = \sum_r (p_r^e y_r^e) \\ \text{s.t.} \quad & \end{aligned} \quad (16)$$

$$T - \tilde{\xi} \prod_r (y_r^e)^{\gamma_r} = 0 \quad (17)$$

を解くと、輸送サービス要素の投入需要は、

$$y_r^e = \left\{ \frac{\gamma_r}{p_r^e} \xi \prod_s \left( \frac{p_s^e}{\gamma_s} \right)^{\gamma_s} \right\} T \quad (18)$$

であり、単位費用関数すなわち輸送サービスの価格は、

$$\pi = \xi \prod_s \left( \frac{p_s^e}{\gamma_s} \right)^{\gamma_s} \quad (19)$$

となる。

総輸送サービスの需給は、

$$T = \sum_i \sum_r \sum_s \left( \sum_j t_{rsij} + t_{rsi}^c \right) \quad (20)$$

のようにバランスする。

## (4) 財市場と要素市場の均衡

### a) 要素市場

各地域の生産要素賦存量は固定されている。費用関数にシェパードの補題を適用すると、地域別部門別生産要素需要が得られるので、その地域計と各地域の生産要素供給とのバランス式として、要素市場均衡が描写される。

$$\sum_j (v_{sj}) + v_s^e = \sum_j \left( \frac{\partial C_{sj}^e}{\partial w_s} \right) + \frac{\partial C_s^e}{\partial w_s} = L_s \quad \forall s \quad (21)$$

### b) 財市場

財市場の均衡は、中間投入需要と最終需要を産業部門および需要地について集計した総需要と、生産額とのバランスとして表される。ただし、議論の複雑化を避けるため、対象とする経済システムが閉鎖経済であり、域外との経済的取引が存在しないことと仮定<sup>4</sup>する。

$$p_{ri} y_{ri}^t = p_{ri} \sum_s \left\{ \left( \sum_j x_{rsij}^0 \right) + x_{rsi}^e + c_{rsi}^0 \right\} \quad (22)$$

$x_{rsi}^e$  は、地域  $s$  における輸送サービス要素供給部門による財  $i$  の中間投入を表す。

### c) 輸送サービス市場

価値タームでの需給均衡条件は、

$$\pi T = \pi \sum_i \sum_r \sum_s \left( \sum_j t_{rsij} + t_{rsi}^c \right) \quad (23)$$

であるが、 $t_{rsij}$  と  $t_{rsi}^c$  は式 (6) および式 (11) により与えられる。

各地域における輸送サービス要素の生産技術については、他の財と同様の技術（生産ツリー）を想定する。輸送サービス要素は、不在輸送サービス部門のみが必要するため、

$$\pi T = \sum_s (p_s^e y_s^e) \quad (24)$$

も成立する。

### d) 地域収支

各地域の要素所得と消費支出の差が地域収支となり、その全地域合計はゼロ（閉鎖経済なので）となる。

$$E_s = \sum_j (w_s v_{sj}) + w_s v_s^e - p_N N_s \quad (25)$$

$$p_N \sum_s N_s = 0 \quad (26)$$

ここで  $p_N$  はニューメレルとして選んだ財または要素の価格であり、モデル内の任意の価格変数を設定することができる。 $N_s$  は基準均衡においてニューメレル価格で測った域際収支差額の実質量であり、外生的に固定された値として扱う。

<sup>4</sup> 実データに適用するモデルにおいては域外経済との取引を表現することも可能である。

## 4. 数値実験

### (1) 仮想データによる iceberg 型モデルとの比較

#### a) 分析手法

- 表-1 のような 3 地域 1 産業の仮想データを作成する
- 3 地域は等間隔に位置しており、道路整備によって地域 1, 2 間の移動所要時間が半分に削減された場合を想定する
- 3. 章で構築したモデルと従来の iceberg 型輸送費用概念モデルの両方で分析を行い結果を比較する

#### b) 分析結果

本研究で提案したモデル、従来の iceberg 型モデルでの分析結果をそれぞれ表-3, 表-4 に示す。

本研究のモデルでは財の輸送への投入量は全地域で減少したが、iceberg 型モデルでは地域 1, 2 のみで減少し地域 3 は微増した。財の総需要量をみると非 iceberg 型である本研究モデルの方が増加率が大きいものの、家計消費量の増加率についてはどちらのモデルを用いてもおおよそ等しい値となった。

### (2) 実データを用いた分析

H17 年地域間産業連関表を用いて、仮想的な交通政策に対して数値実験を実施した。計算結果は講演時に示す。

### 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.I.283-I.295, 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.I.229-I.240, 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

表-1 産業連関表仮想データ

		1		2		3		1	2	3	T	Sum
		A	e	A	e	A	e	fd	fd	fd		
1	A	300	30	200	0	200	0	150	100	100	0	1080
	e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69.6	69.6
2	A	200	0	300	30	200	0	100	150	100	0	1080
	e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69.6	69.6
3	A	200	0	200	0	300	30	100	100	150	0	1080
	e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69.6	69.6
L	L1	334	39	0	0	0	0	0	0	0	0	1119
	L2	0	0	334	39	0	0	0	0	0	0	
	L3	0	0	0	0	334	39	0	0	0	0	
T	T1	6	0.6	20	0	20	0	3	10	10	0	208.8
	T2	20	0	6	0.6	20	0	10	3	10	0	
	T3	20	0	20	0	6	0.6	10	10	3	0	
Sum		1080	69.6	1080	69.6	1080	69.6	1119			208.8	

表-2  $\tau_{rsi}$  仮想データ

	地域 1	地域 2	地域 3
地域 1	0.02	0.1	0.1
地域 2	0.1	0.02	0.1
地域 3	0.1	0.1	0.02

表-3 財需要量変化率 (本研究のモデル)

	財への 中間投入	家計消費	輸送への 中間投入	総需要量
地域 1	+7.2%	+5.1%	-15.1%	+5.9% <sup>30)</sup>
地域 2	+7.2%	+5.1%	-15.1%	+5.9%
地域 3	+4.0%	+1.9%	-15.2%	+2.8%

表-4 財需要量変化率 (iceberg 型モデル)

	財への 中間投入	家計消費	財の 輸送消費	総需要量
地域 1	+5.1%	+5.1%	-27.5%	+3.1% <sup>32)</sup>
地域 2	+5.1%	+5.1%	-27.5%	+3.1%
地域 3	+1.7%	+1.7%	+1.7%	+1.7% <sup>33)</sup>

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 re-

sults, *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.
- 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) 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.
- 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.
- 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.
- 34) 山崎雅人, 瀬木俊輔, 石倉智樹, 小池淳司: Iceberg 型輸送費用モデルを採用した多部門 SCGE モデルにおける部門分類の問題, 土木学会論文集 D3, 掲載決定.
- 35) 瀬木俊輔, 山崎雅人, 石倉智樹, 小池淳司: 応用一般均衡モデルにおける貨物輸送費のモデル化に関する考察と

経済効果の関係性について，土木学会論文集 D3, 登載決定.