

Iceberg 型輸送費用モデルにおける 評価バイアスの定量評価

山崎 雅人¹・小池 淳司²・石倉 智樹³・瀬木 俊輔⁴

¹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.jp

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

³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

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

Iceberg 型輸送費用モデルは、財の輸送抵抗を表現するモデルとして、経済学の理論分析や空間応用一般均衡 (Spatial Computable General Equilibrium:SCGE) 分析において広く利用されている。しかし Iceberg 型輸送費用モデルは、輸送対象の財を生産する企業が、輸送対象の財と同じ生産技術によって輸送サービスも生産すると仮定しており、この仮定が交通投資の経済影響評価に 2 つの歪みをもたらす。1 つは輸送サービス需要の変動が輸送対象の財の需要に直接影響をもたらすことから生じる。輸送費用が低下した場合、輸送対象の財を生産する産業の活動水準が過小評価されてしまう。もう 1 つは輸送サービスの生産技術に由来する。輸送サービスへの需要の変動は、輸送サービス生産に投入される財の需給に影響を与える。しかし輸送サービスの生産技術が輸送対象と同じ場合は波及効果に歪みが生じる。本研究では、Iceberg 型輸送費用モデルを採用した SCGE モデルと、独立した輸送サービス業を設定した SCGE モデルをそれぞれ構築し、同じ交通投資の経済影響を比較する。本稿では特に前者の歪みについて定量的な評価を行う。

Key Words: *Iceberg trade cost, SCGE model, transportation investment*

1. 研究の背景と問題意識

Iceberg 型輸送費用モデルは、財をある地点から別の地点に輸送する事に伴い生じる抵抗 (以下「輸送抵抗」) を表現するモデルであり、Paul A. Samuelson によって提案された¹⁾。輸送される財は、その一部が輸送のために利用されるモデルであり、輸送抵抗の簡便なモデル化手法として理論分析のみならず空間応用一般均衡モデル (以下 SCGE モデル) とした政策評価のための数値シミュレーションモデルでも広く利用されている。特に交通政策の評価では、輸送抵抗の減少に起因する経済効果を評価するため Iceberg 型輸送費用モデルを採用した SCGE モデルが国内外で開発されている²⁾。Iceberg 型輸送費用モデルは、輸送抵抗を示すパラメータの計測可能性において優れているが、一方で輸送する財の生産技術と等しい技術を用いて輸送サービスも生産すると仮定しており、その点を批判する研究も存在する³⁾。特に輸送抵抗が何らかの要因で変化し、輸送サービスに対する需要が変化した場合に、その経済影響の評価が以下の 2 つの理由で本来の値から歪んでしまう。1 つは、輸送サービスに対

する需要の変化が、輸送対象の財に対する需要に直接的に影響を与える事である。交通投資により輸送抵抗が低下すると、輸送サービスへの需要が低下する。着地では輸送対象財の投入費用が低下し、輸送対象財への需要は増加する方向に働くが、輸送サービスに対する需要が減少すると、発地における当該生産部門の活動水準は過小評価される。これは根本的には輸送対象となる財の生産と輸送サービスの生産を同じ生産部門が担っており、かつ輸送対象となる財の一部が輸送サービスとなると仮定しているためである。本来であれば発地において生産物の生産とその輸送活動は分離されるべきである。輸送費用低下に伴う輸送対象財の需要増加と輸送サービスに対する需要減少が同一の生産部門の生産水準に影響を与える。2 つ目の歪みは輸送サービスの生産技術に由来する。輸送サービスに対する需要の変動は、輸送サービスの生産に用いられる財の需要に影響を与える。輸送対象となる財と同一技術で輸送サービスを生産していると仮定しているため、波及効果も歪む。こうした歪みが十分に小さいのであれば実務上ではモデルの簡便さや輸送抵抗に関するパラメータの計測可能性が優先されるべきで

あろう。しかし歪みが無視できないほど大きい場合には輸送サービス部門を独立させる等のモデルの改良が求められる。これまで Iceberg 型輸送費用モデルに対する理論的批判は具体的に定量化されてこなかった。本研究では比較対象として独立した輸送サービス部門を持つ SCGE モデルを基準として、Iceberg 型輸送費用モデルが本来的に持つ歪みの大きさを定量的に評価する。

2. 2 種類の SCGE モデルの構築

(1) Iceberg 型輸送費用モデル

以下では、SCGE モデルにおける Iceberg 型輸送費用モデルを定式化する。まず記号を定義する。 $Q_{i,r}^*$ は一定量のアーミントン合成財を示す。このアーミントン合成財の単位価格を $pq_{i,r}$ で示し初期値を 1 とする。 $q_{i,s,r}^*$ はアーミントン合成財の生産に投入される財の量を示し、 s 地域から r 地域への財の移入量もしくは自地域への販売量に相当する。 $q_{i,s,r}^*$ の単価を示す $py_{i,s}$ も初期値を 1 と設定する。ここで s 地域から r 地域へ輸送する場合の輸送抵抗を τ_{sr} で示す。ただし $0 \leq \tau_{sr} \leq 1$ とする。仮定より発地から 1 単位発送した財の量は着地では $(1 - \tau_{sr})$ となっている。 τ_{sr} の分は輸送サービスとして利用されたと考える事ができる。着地で 1 単位を生産に投入したい場合は $1/(1 - \tau_{sr})$ の財を購入する必要がある。 $1/(1 - \tau_{sr}) = (1 + t_{sr})$ と置いた場合は、 $t_{sr} = \tau_{sr} / (1 - \tau_{sr})$ として輸送マージンを表現することができ、その際の着地での実質的な投入単価は $(1 + t_{sr})$ であると表現する事ができる。

以上の設定で $Q_{i,r}^*$ のアーミントン合成財を生産する費用最小化問題を解き、価格関数および補償需要関数を導出する。式(1)は $Q_{i,r}^*$ のアーミントン合成財の生産関数である。式(1)の生産関数を制約として、式(2)の総コスト $C_{i,r}$ を最小化する問題を考える。ただし簡単化のため式(1)の生産関数内部のパラメータを式(3)の関係を用いて書き換え、式(4)に書き直す。

$$Q_{i,r}^* = \zeta_{i,r} \left[\sum_s \omega_{i,s,r} q_{i,s,r}^* \right]^{\frac{\sigma_i}{\sigma_i - 1}} \quad (1)$$

$$C_{i,r} = \sum_s (1 + t_{i,s,r}) py_{i,s} q_{i,s,r}^* \quad (2)$$

$$\theta_{i,s,r} = \zeta_{i,r}^{\frac{\sigma_i}{\sigma_i - 1}} \omega_{i,s,r} \quad (3)$$

$$Q_{i,r}^* = \left[\sum_s \theta_{i,s,r} q_{i,s,r}^* \right]^{\frac{\sigma_i}{\sigma_i - 1}} \quad (4)$$

$$pq_{i,r} = \left[\sum_s \theta_{i,s,r}^{\sigma_i} [(1 + t_{i,s,r}) py_{i,s}]^{1 - \sigma_i} \right]^{\frac{1}{1 - \sigma_i}} \quad (5)$$

$$q_{i,s,r}^* = \left[\frac{\theta_{i,s,r} pq_{i,r}}{(1 + t_{i,s,r}) py_{i,s}} \right]^{\sigma_i} Q_{i,r}^* \quad (6)$$

$$q'_{i,s,r} = (1 + t_{i,s,r}) \left[\frac{\theta_{i,s,r} pq_{i,r}}{(1 + t_{i,s,r}) py_{i,s}} \right]^{\sigma_i} Q_{i,r}^* \quad (7)$$

費用最小化問題を解き、単位生産費用と販売単価は等しいとするゼロ利潤を仮定することにより、投入単価と販売単価の関係式(5)を導く事ができる。式(5)はシェパードの補題より、式(6)の補償需要関数を導く。ただし、ここで示される需要量は、着地で実際に生産に投入される量である。輸送抵抗の存在を仮定しているため、輸送サービスに対する需要も考慮する必要がある。Iceberg 型輸送費用モデルでは輸送サービスに同じ財を利用するため、式(7)の通り、補償需要関数に $(1 + t_{sr})$ を乗じることで輸送サービスの分も加えた需要量が求められる。

続いて $\theta_{i,s,r}$ の値をカリブレーションによって求める。そのために式(7)の関係が現実の経済で成立しており、必要な変数の値は産業連関表に記述されているものとする。ただし生産に直接投入される物量は $q_{i,s,r}^*$ であり需要量の $q'_{i,s,r}$ ではない。産業連関表上の金額を価格と物量に分ける際、財の投入単価は $(1 + t_{sr})$ 倍されている。そのため産業連関表上の整合性を確保するため投入物量は記載金額の $1/(1 + t_{sr})$ 倍になる。すなわち $q'_{i,s,r}$ は産業連関表上に記載されている金額に $1/(1 + t_{sr})$ をかけた量に相当する。その上で $\theta_{i,s,r}$ の値のカリブレーションを行う。式(7)が現実で成立しているもとの、同式を $\theta_{i,s,r}$ について解くと以下の式(8)を得る。ただし $q_{i,s,r} = (1 + t_{sr}) q'_{i,s,r}$ である。

$$\theta_{i,s,r} = \frac{(1 + t_{i,s,r}) py_{i,s}}{pq_{i,r}} \left[\frac{q'_{i,s,r}}{(1 + t_{i,s,r}) Q_{i,r}^*} \right]^{\frac{1}{\sigma_i}} \quad (8)$$

(2) 輸送サービス部門独立型モデル

以下では独立した輸送部門を持つ空間応用一般均衡モデルについて説明する。本研究では、既存の輸送サービス部門の情報を利用せず、Iceberg 型輸送費用モデルを採用した場合に、輸送サービスに利用される財の価値を各地域ごとに集計し、新たに輸送サービス部門を設定する。

Iceberg 型モデルにおける式(7)が示す需要量は、第 i 財について、着地において実際に投入される財に加えて、輸送サービスとして利用される財も含む。全ての財について、発地において輸送サービスとして生産される価値総計を式(8)で示す通り TRV_s とする。 $py_{i,s}$ の基準均衡は 1

の値をとる。以下で py_{is}^0 , pq_{is}^0 , Q_{ir}^{0*} と右肩に 0 が付く値は、基準均衡の値とする。

$$TRV_s^0 = \sum_{i,r} t_{i,s,r} \left[\frac{\theta_{i,s,r} p q_{i,r}^0}{(1 + t_{i,s,r}) p y_{i,s}^0} \right]^{\sigma_i} Q_{i,r}^{0*} \quad (9)$$

TRV_s^0 は基準均衡における発地の輸送サービスの生産額計である。次章において詳述するが、本研究のシミュレーションでは、単純化のため製造業とサービス業、輸送サービス業の 3 部門のみ考える。式(8)の総価値を、当該地域のサービス業の投入係数で案分し、輸送サービス業の費用項目の金額を定める。ただし、以下で行うシミュレーションでは同一産業が輸送対象の財と輸送サービスを同じ生産技術で生産している仮定の歪みを測定するため、以下では輸送サービス産業の投入係数は同一地域の製造業の投入係数に等しいと仮定する。

シミュレーションでは製造業の製品を移出する場合のみ輸送抵抗が生じると仮定する。そのため新しく設定した輸送サービス業の各費用項目の金額は、同じ地域の製造業の対応する費用項目から差し引かれる。以上の計算により当該地域における各財への需要額および地域の付加価値額を変えずに輸送サービス業を当該地域に新設することができる。

輸送サービス業の生産する輸送サービスは着地の産業が需要する。着地の産業が財 1 単位を移入し、生産に投入する場合に発地の輸送サービスも必要となる。その金額は Iceberg 型輸送費用モデルの場合と同額である。式(10)の通り、着地の企業の生産関数に、中間投入と輸送サービスがレオンチェフ型生産関数で結合されている。ただし α_{isr} は、財の投入係数、 α_{isr}^T は輸送サービスの投入係数である。なお α_{isr}^T と t_{isr} の関係は式(11)の通りとなる。

$$q_{i,s,r}' = \text{Min} \left[\frac{q_{i,s,r}^*}{\alpha_{i,s,r}}, \frac{q_{i,s,r}^T}{\alpha_{i,s,r}^T} \right] \quad (10)$$

$$\alpha_{i,s,r}^T = \frac{t_{i,s,r}}{1 + t_{i,s,r}} \quad (11)$$

3. 産業連関表について

以下では本研究の SCGE モデルのパラメータのカリブレーションに用いる産業連関表について説明する。なお単純化のため経済産業省による平成 17 年版「地域間産業連関表」を、3 地域 2 部門表に集約した地域間産業連関表を用いる。地域は、関東地方以北の「東日本」、中部地方の「中日本」、近畿地方以西の「西日本」の 3 地域に分類する。産業分類は、「製造業」と「サービス業」

に分類する。独立輸送部門モデルの場合には、製造業から「輸送サービス業」を分離させ 3 部門モデルとする。

なお以下のシミュレーションでは、輸送サービス業の投入係数は同じ地域の製造業の投入係数と等しいと仮定する。

4. 数値シミュレーション

(1) シミュレーション分析の目的

以下では Iceberg 型輸送費用モデルと輸送サービス業独立型のそれぞれの SCGE モデルを構築し、同じ輸送抵抗の減少に関するシミュレーション分析を行う。

ここで改めてシミュレーション分析の問題意識を整理する。Iceberg 型輸送費用モデルを採用することで生じる歪みは 2 つ存在する。第一に、Iceberg 型輸送費用モデルは、輸送サービスを生産するにあたり、輸送する財と同じ生産技術を用いる。これは生産した財の一部を輸送に充てると解釈できる。シミュレーション分析では、輸送抵抗の減少により、財 1 単位の輸送に必要な輸送サービスの量が減少すると仮定する。輸送抵抗の減少が輸送サービスに対する需要減少につながると、Iceberg 型輸送費用モデルの場合、当該財を生産する産業の生産水準を引き下げる効果を持つ。輸送抵抗の減少により当該財の着地価格は下がり、需要が増大すると考えられるが、輸送サービスとして生産していた財の生産量は減るため、その産業の生産水準は過小に評価される。

第二に、輸送する財と同じ生産技術で輸送サービスを生産する場合と、輸送サービス部門を独立させて輸送サービス生産に特有の投入係数を用いる場合とでは、輸送サービスに対する需要が減少した場合の各産業に与える波及効果が異なる。一般に、製造業の投入係数は、製造業に対して大きな値を取る。そのため、輸送サービス需要の減少は、Iceberg 型輸送費用モデルにおいて、製造業の生産物に対する需要減少を、輸送サービス業独立型より過大に評価する可能性がある。

Iceberg 型輸送費用モデルは以上の 2 つの経路から、輸送対象となる財の生産量を過小評価する可能性があるが、それらが無視できるほど小さい値であれば、実務上の影響は小さい。本稿では特に第一の歪みについて定量的に評価したい。

(2) シミュレーション分析とその結果

シミュレーションでは、東日本と中日本の間の製造業製品の輸送抵抗をゼロとする。東日本および中日本と西日本の間の輸送抵抗は変わらないとする。以下でシミュレーションの結果を説明する。

図-1 は各地域の製造業の実質生産額の変化分である。

「Iceberg-M」はIceberg型輸送費用モデルにおける「製造業」を意味する。「Composite-M」は輸送サービス業独立型の「製造業」を意味する。輸送サービス業独立型は、輸送サービス業が提供するサービスと輸送対象の財をLeontief型関数で合成するため「Composite」としている。「Composite-T」は輸送サービス業独立型モデルにおける輸送サービス業を示す。

シミュレーション結果であるが、いずれのモデルでも生産への影響が最も大きい中日本の製造業に着目する。Iceberg型輸送費用モデルのSCGEモデルでは、輸送抵抗の低下に伴う実質生産額の増分は約8,780億円である。一方で、輸送サービス業独立型の中日本の製造業は生産額が約1兆5,384億円増加している。同じモデルにおける中日本の輸送サービス業の実質生産額は約6,604億円減少している。Iceberg型輸送費用モデルにおける約8,780億円の実質生産額の増加には、製造業が輸送する製品の生産額増加だけでなく、輸送サービスの生産額の減少額が含まれている。輸送サービス業独立型のモデルでは、輸送サービス生産の減少額は同産業の生産額低下として表現されるため、製造業の生産額増分は着地における投入価格の低下に伴う需要増を評価している。

図-2は、Iceberg型輸送費用モデルと輸送サービス業独立型のSCGEモデルにおける製造業の実質生産額の変化率である。中日本の場合、Iceberg型輸送費用モデルで1.46%、輸送サービス業独立型で2.68%であり、決して無視できるものではない。図-3は輸送サービス業独立型のSCGEモデルにおける輸送業の変化率である。今回、東日本と中日本の間の輸送に関して輸送費用が生じないとした。中日本は、製造業の生産額が全国で最も増加した様に、全国的に他地域との移出入が活発である。その分輸送サービス業も他地域に比べて規模が大きいが、これが大きく減少するという結果になっている。なお、西日本の製造業は0.16%下落し、これに比例して輸送サービス業も0.16%下落している。

6. まとめ

本稿では、SCGEモデルでIceberg型輸送費用モデルを採用した場合に生じる交通投資の経済影響評価の歪みについて定量的に検討した。特に輸送対象となる財とその輸送サービスを同一産業が同一技術により生産しているという仮定により、輸送抵抗減少の影響がその産業について過小評価されてしまう。定量評価ではその過小評価は無視できない場合がある事が示された。Iceberg型輸送費用モデルでは、輸送対象の財の生産量と、同じ技術で生産する輸送サービスの生産量を分離して評価できない。そのため輸送対象の財の生産水準について、交通投資による輸送抵抗減少の影響を正確に把握できない。この評

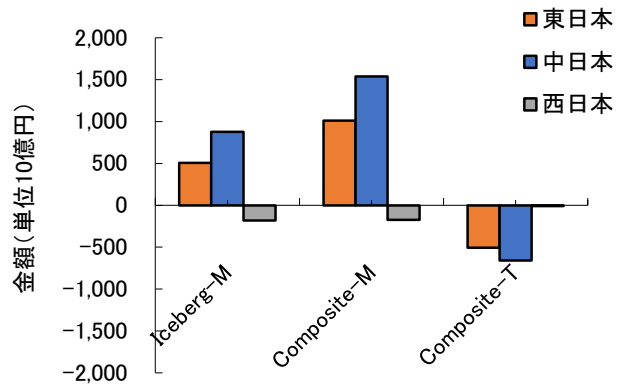


図-1 各地域製造業および輸送サービス業の実質生産額差分

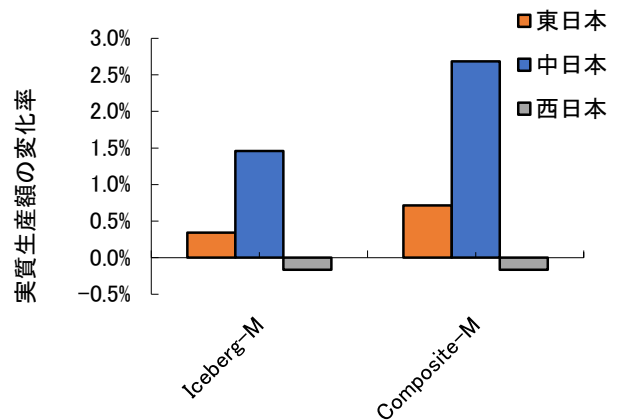


図-2 各地域製造業の実質生産額変化率

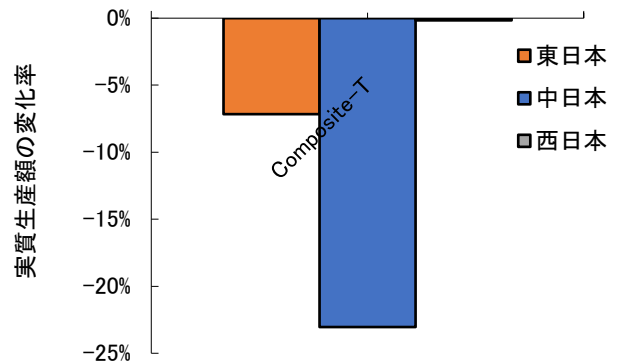


図-3 各地域の輸送業の実質生産額変化率

価の歪みを補正するためには、一定の仮定に基づき独立した輸送サービス生産部門を設定する等、輸送対象の財の生産活動と輸送サービスの生産活動を分離する必要がある。その際には輸送抵抗に関するパラメータ推定の容易さ等、Iceberg型輸送費用モデルの利点を損なわない様な方法が求められる。

参考文献

- 1) Armington, P.S. : A theory of demand for products distinguished by place of production. IMF Staff Pap., 16, 1969.
- 2) Robson, E., and Dixit, V., A Review of Computable General Equilibrium Modelling for Transport Appraisal, *presented at 33rd Conference of the Australian Institutes of Transport Research*, Melbourne, Australia. 12 - 13 February 2015.
- 3) Tavasszy, L., M. Thissen, J. Muskens, and J. Oosterhaven., Pitfalls and solutions in the application of spatial computable general equilibrium models for transport appraisal. In *ERSA conference papers*. European Regional Science Association, 2002.