交通生産内生型 SCGE モデルと Iceberg 型 SCGE モデルの輸送構造に関する比較分析

徐　芸昊[1]・武藤　慎一[2]・河野　達仁[3]

[1]学生会員　山梨大学　大学院医工農学総合教育部工学専攻土木環境工学コース
（〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11）
E-mail: g23tc009@yamanashi.ac.jp

[2]正会員　山梨大学　大学院総合研究部工学域土木環境工学系
（〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11）
E-mail: smutoh@yamanashi.ac.jp (Corresponding Author)

[4]正会員　東北大学　大学院情報科学研究科人間社会情報科学専攻
（〒980-0812 宮城県仙台市青葉区片平 2 丁目 1-1）
E-mail: kono@tohoku.ac.jp

これまで広く用いられてきた Iceberg 型 SCGE モデルは，交通サービスを生産する運輸企業が存在しないため，交通整備により交通生産の効率性が向上することの効果や，財価格，生産要素価格の変化がもたらす波及的影響が運輸サービス需要やその他の財需要に与える影響が評価できないという問題があった．これに対し，交通生産を内生化した SCGE モデルが開発され，Iceberg 型 SCGE モデルの有する問題は解決された．しかし，両モデルの輸送構造に関する厳密な比較分析はなされておらず，その差異は明確にはなっていなかった．本研究では，両モデルの輸送構造を比較し，その違いを理論的観点から明らかにした．さらに，数値計算によって便益の違いがモデルの何の差異によってもたらされるのかを示すことができた．

Key Words: *Japanese maglev, aviation market, SCGE analysis, welfare metrics*

1. はじめに

大規模交通整備の妥当性を評価する際，空間的応用一般均衡（SCGE：Spatial Computable General Equilibrium）モデルの適用が有効とされてきた．SCGE モデルとは，応用一般均衡（CGE）モデルを空間的（Spatial），すなわち地域の概念を取り込む形で拡張されたものである．そして CGE モデルとは，家計の消費行動や企業の生産行動を数学モデルで表現したものであり，それらから導出される需要と供給が一致するという市場均衡条件が成立するように価格調整がなされると想定される．CGE モデルの適用によって，交通整備による時間短縮が各経済主体の行動を変化させ，それが市場を介して様々な波及効果をもたらすといった様子が表現できる．さらに，CGE モデルを空間的に拡張した SCGE モデルの適用により，それらの効果が空間的に波及する様子まで把握できる．以上の効果や影響を最終的には家計の効用水準変化によって捉え，その効用水準変化を等価的偏差（EV：Equivalent Variation）などを用いて貨幣換算する．これにより，交通整備の効果や影響を便益によって，統一的に評価できる点も SCGE モデルの特徴の一つである．

これまでも SCGE モデルを用いて交通整備評価を行っている研究がいくつかある．例えば，小池 [1]は SCGE モデルを用いて，中国，近畿，中部地方の社会資本整備（道路整備）の地域経済にもたらす効果や道路料金の無料化政策の効果，影響分析などを行っている．檜垣ら [2]は，港湾政策や港湾整備に対して，SCGE モデルを適用している．

武藤ら [3]は，SCGE モデルを輸送構造や交通整備効果の捉え方の違いなどによって，大きく 3 つに分類している．①Accessibilriy 型 SCGE モデル，②Iceberg 型 SCGE モデル，③交通生産内生型 SCGE モデルである．このうち，①と②は，交通サービスを生産する運輸企業がモデル内に存在しないという点が，致命的な問題として指摘されている．それに加え，Iceberg 型 SCGE モデルには，理論的な観点から次の 3 つの問題があると指摘している．

１）交通整備が交通生産の効率性を変化させるメカニズムがモデルに反映されておらず，その効率性の向上によ

る便益が評価できない.
2）交通費用が輸送される財の価格によって評価されておりそのため，財価格変化に比例して交通費用が変化するため，交通費用変化による便益が正確に計測できない.
3）交通整備による財価格や賃金率，利子率変化のもたらす波及効果が運輸サービス需要に与える影響およびそれを介して他の財・サービス需要に与える影響が評価できない.

これらの問題を解消するために開発されたものが③の交通生産内生型 SCGE モデルである．交通生産内生型 SCGE モデルは，Iceberg 型 SCGE モデルなどとは異なり，運輸企業を独立した産業部門として考慮している．その運輸企業が，運輸サービスすなわち交通輸送サービスを提供する．この結果，交通整備が運輸企業の生産効率性を向上させるメカニズムが内生的に捉えられる.

しかし，武藤ら [3]でも，交通生産内生型 SCGE モデルと Iceberg 型 SCGE モデルとの輸送構造の厳密な差異までは明らかにされていなかった．武藤らは，上田 [4]で使用されている Iceberg 型 SCGE モデルによる計算結果との比較などは示されているものの，便益計測結果の違いがモデル構造のどのような差異によって生じるのかが明らかにできていなかった.

本研究では，交通生産内生型 SCGE モデルと Iceberg 型 SCGE モデルの輸送構造について，厳密に比較分析を行い，Iceberg 型 SCGE モデルの何が問題であるのかを明確にする．その上で，同一の整備設定の下での数値計算によって，交通生産内生型 SCGE モデルと Iceberg 型 SCGE モデルとで計測される便益計測結果の違いが，モデル構造のどのような差異に起因しているのかを明らかにする.

2. Iceberg 型 SCGE モデルと交通生産内生型 SCGE モデルの輸送構造の比較

2.1 Iceberg 型 SCGE モデルの概要

Iceberg 型 SCGE モデルは，サミュエルソンが提案したとされる Iceberg 型輸送モデルを SCGE モデルに組み込んだものであり，現在広く用いられている SCGE モデルである．Iceberg 型 SCGE モデルの最大の特徴は，交通サービスを生産する運輸企業が存在しない点である．そのため，そこでは中間財を投入するために必要な交通サービスを，その財の追加消費として表現している．すなわち，Iceberg 型 SCGE モデルでは，交通サービスは輸送される財を生産する企業によって供給されることになる.

Iceberg 型 SCGE モデルの企業の生産行動モデルツリーを示したものが図-3 である．まず，企業は m 財を生産するために合成中間財と合成生産要素の投入を決定する．次に，合成中間財に対し，投入先地域と個別財 n の投入量を決定する．また，合成生産要素に対しては，労働，資本の各生産要素の投入量を決定する.

しかし，そこでは交通すなわち輸送がどのように扱われているのかは示されていない．それは，Iceberg 型 SCGE モデルでは，交通サービスがその財の追加消費として表現されているため，ツリーの中に明示的には表現できないからである．図-3 において，輸送に相当するものは中間財投入を τ_n^{ij} 分だけ追加投入するという形で表現される．すなわち，図-3 の中間財 n の投入は以下のように表され，$p_n^i \tau_n^{ij} x_{nm}^{ij}$ が輸送に相当する支払額を表すと解釈するのである.

$$p_n^i\left(1+\tau_n^{ij}\right)x_{nm}^{ij} \tag{1}$$

ただし，x_{nm}^{ij}，p_n^i : j 地域 m 企業の中間投入財としての i 地域 n 財投入量とその価格，τ_n^{ij} : x_{nm}^{ij} を投入する際の輸送マージン率.

以上が Iceberg 型 SCGE モデルの輸送構造である．交通整備の評価にあたっては，この輸送マージン率 τ_n^{ij} を変化させる．すなわち，交通整備によって交通所要時間が削減されれば，それに応じて輸送マージン率 τ_n^{ij} も低減すると想定するのである．ただし，輸送マージン率 τ_n^{ij} をどのように変化させるのかは，確立された理論的方法はないようである．上田 [4]における小池らは，輸送マージン率 τ_n^{ij} が 10%から 9%に削減されたとして政策シミュレーションを計算している．しかし 9%に設定した根拠は示されていない．小池 [1]では，交易モデルの中で輸送マージン係数と交通所要時間を考慮し，輸送マージン係数等の推定を行っている．これにより，交通所要時間変化が交易に影響を与え効果を生み出す部分の評価ができているとされる．しかし，輸送マージン係数は整備ありでは固定とされており，本質的な課題は解消されていないものと思われる.

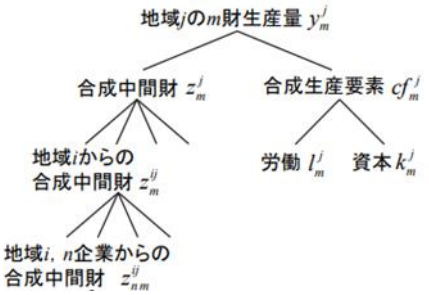


図-3 Iceberg 型 SCGE モデルの企業の生産行動モデルツリー

2.2 交通生産内生型 SCGE モデルの概要

交通生産内生型 SCGE モデルは，武藤ら [3]によって開

発されたものである．その開発経緯は武藤らに詳しい．交通生産内生型 SCGE モデルの最大の特徴は，Iceberg 型 SCGE モデルと異なり運輸企業が独立して存在する点にある．その結果，交通整備によって交通生産の効率性が向上するメカニズムを内生的に捉えられており，Iceberg 型 SCGE モデルの有する問題が解消できたといえる．

交通生産内生型 SCGE モデルの企業の生産行動モデルツリーを示したものが図-4 である．そのツリー構造は Iceberg 型 SCGE モデルと同様ではあるものの，中間財 n の投入に対しては交通サービス$x_{T_n m}^{ij}$の投入が必要であり，その交通サービスは運輸企業によって生産され，供給されるとしている点に Iceberg 型 SCGE モデルとの決定的な違いがある．その結果，中間財 n の投入モデルは以下のように表現される．

$$p_n^i x_{nm}^{ij} + p_T^{ij} x_{T_n m}^{ij} \tag{2}$$

ただし，x_{nm}^{ij}，p_n^i：Iceberg 型 SCGE モデルと同様，$x_{T_n m}^{ij}$，p_T^{ij}：x_{nm}^{ij}を投入する際の輸送サービス投入量とその運輸価格．

式(2)を，p_n^iおよびx_{nm}^{ij}で括ると以下のように表される．

$$p_n^i \left(1 + \frac{p_T^{ij} x_{T_n m}^{ij}}{p_n^i x_{nm}^{ij}}\right) x_{nm}^{ij} \tag{3}$$

以上が交通生産内生型 SCGE モデルの輸送構造である．交通整備の評価にあたっては，Iceberg 型 SCGE モデルとは異なり，交通所要時間が直接モデルに入力される．すなわち，運輸企業の生産行動モデルの生産要素投入において，労働，資本とともに交通所要時間も説明変数として考慮する．さらに，その労働，資本，交通所要時間に対し，ゼロ次同次性を仮定することにより，整備有無に対する交通所要時間比によって労働，資本の投入効率が向上することを表すことができる．詳細は，武藤らを参照されたい．

その結果，交通整備によって交通所要時間が削減されることにより，運輸企業の労働，資本の投入効率が向上し，運輸価格p_T^{ij}が低下する．これが，市場を介して波及効果をもたらすことになる．すなわち，市場での価格調整メカニズムを介して，他の財サービス価格や賃金率，利子率なども変化し，それらが運輸サービス需要や他の財・サービス需要にも影響をもたらす．この影響を最終的に，家計の効用水準変化として捉え，それより便益を計測して交通整備評価を行うものが交通生産内生型 SCGE モデルである．

2.4　両モデルの輸送構造の違い

式(1)が Iceberg 型 SCGE モデルの輸送構造，式(3)が交通生産内生型 SCGE モデルの輸送構造である．これらを比較すると，iceberg 型 SCGE モデルの輸送マージン率τ_n^{ij}は，交通生産内生型 SCGE モデルから導出される「輸送サービス額：$p_T^{ij} x_{T_n m}^{ij}$」と「輸送される財の投入額：$p_n^i x_{nm}^{ij}$」

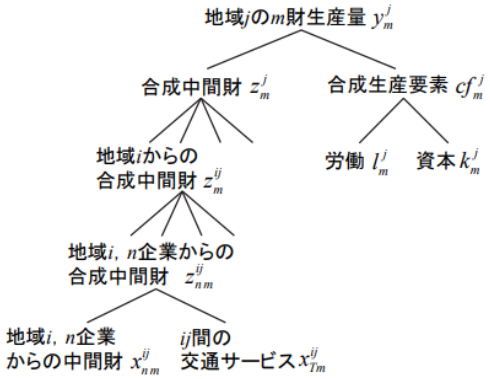


図 4　交通生産内生型 SCGE モデル

の比率になっていることがわかる．

$$\tau_n^{ij} = \frac{p_T^{ij} x_{T_n m}^{ij}}{p_n^i x_{nm}^{ij}} \tag{4}$$

これより，特に整備ありのτ_n^{ij}は，財・サービス価格やその需要，運輸価格やその需要の関数になっていることから，均衡計算の結果，それらが変化すればτ_n^{ij}も変化する．以上より，整備ありのτ_n^{ij}は，均衡計算による各種価格の変化によって内生的に変化するものであることがわかる．

ところが，一般的な Iceberg 型 SCGE モデルは，一旦，整備ありのτ_n^{ij}が設定されると，均衡計算の結果によって変化しない．すなわち，本来様々な価格や需要の変化によって内生的に変化すべきところが，外生的に設定されているのである．これか交通生産内生型 SCGE モデルと Iceberg 型 SCGE モデルの決定的な違いであり，Iceberg 型 SCGE モデルの根本的な問題である．

3.　交通生産内生型 SCGE モデルと iceberg 型 SCGE モデル比較計算

3.1　計算のためのデータセット

武藤ら [3]は，上田 [4]において小池らの用いていた地域間 IO データに基づき，交通生産内生型 SCGE モデルの数値計算を試みている．本研究でも，再度，交通生産内生型 SCGE モデルを計算するための地域間 SAM を作成し，式(4)の輸送マージン率が満たされていることを確認した上で，数値計算を行うことにする．

表-1 が Iceberg 型 SCGE モデルを計算するための地域間 IO（Input-Output Table）であり，これは上田にて小池らが

用いていたものである．これは，購入者価格表である．小池らは，この地域間 IO を基に，輸送マージン率すなわちτ_n^{ij}を 10%として，Iceberg 型 SCGE モデルにより数値計算を行っている．

ここでは，Iceberg 型 SCGE モデルとの正確な比較分析が行えるように，交通生産内生型 SCGE モデルの数値計算にあたり，表-1 の地域内 IO と整合的かつ運輸企業を独立させた地域間 IO および SAM を作成する．

まず，表-1 の IO を輸送マージン額と輸送される財そのものの投入額に分離する．それは記述の通り，輸送マージン率を 10%にして導出する．この輸送マージンは運輸企業が生産することから，その合計値より運輸企業の生産量が導出される．運輸企業はその生産を行うために，中間財および労働，資本を投入する．その投入割合のデータがないため，ここでは 3 次産業の投入係数および労働，資本係数を用いた．このようにして作成されたものが，表-2 の運輸企業を独立させた地域間 SAM である．

表-2 では，各企業の投入する輸送マージンは運輸企業から投入されるものとして，まとめて示されている．なお，このとき運輸企業が投入する中間財および労働，資本は，表-1 の中では各企業の投入部分に計上されている．そこで，各企業がどれだけ輸送のために中間財および労働，資本を投入していたのかを推計し，それを各企業の投入額からそれぞれ差し引き，運輸企業の中間財および労働，資本の投入額に移動させるという多少複雑な作業を経て，表-2 が作成されている．

表-1　Iceberg 型 SCGE モデル計算の地域間 IO

			近畿			その他地域			近畿	その他	
			1次	2次	3次	1次	2次	3次			
中間投入	近畿	1次	6.101063	52.83185	11.92786	1.004885	9.738827	1.985522	9.856459	1.076441	94.5229
		2次	9.222956	1456.072	650.6672	15.5792	1142.666	394.057	1972.143	860.4081	6500.815
		3次	11.6006	1219.658	2127.474	10.73298	411.1238	441.8771	4960.391	453.0724	9635.93
	その他	1次	3.22885	45.53212	11.48119	145.5584	753.1854	114.8604	22.56377	246.0358	1342.446
		2次	6.480834	1052.197	313.7089	224.7964	11861.76	4236.559	848.9301	13639.8	32184.23
		3次	3.069495	308.8527	411.8571	201.8363	6693.029	11495.26	766.3238	26250.47	46130.71
付加価値	労働		8.8916	1405.065	3229.543	118.6471	6610.351	16186.42			
	資本		45.9275	960.6058	2879.27	624.2907	4702.375	13259.69			
生産額			94.5229	6500.815	9635.93	1342.446	32184.23	46130.71	8580.208	41450.86	95888.65

表-2　交通生産内生型 SCGE モデル計算の地域間 SAM

		近畿							その他地域							
		1次	2次	3次	運輸	家計	労働	資本	1次	2次	3次	運輸	家計	労働	資本	生産額
近畿	1次	5.537	47.364	9.858	1.660	8.960			0.909	8.739	1.641	0.283	0.979			85.930
	2次	7.857	1,267.424	537.741	90.580	1,792.857			13.215	1,016.066	325.667	56.235	782.189			5,909.832
	3次	8.821	990.161	1,758.243	296.168	4,509.446			8.695	349.271	365.188	63.060	411.884			8,759.936
	運輸	2.222	232.485	230.594	38.841	631.128			2.282	137.308	69.250	11.958	119.505			1,475.570
	家計						4,643.500	3,885.804								8,529.303
	労働	6.012	1,206.994	2,935.948	494.547											4,643.500
	資本	43.360	784.017	2,617.518	440.909											3,885.804
その他	1次	2.926	40.753	9.488	1.598	20.513			132.050	678.091	94.926	16.392	223.669			1,220.405
	2次	5.637	928.052	259.264	43.672	771.755			194.171	10,539.139	3,501.288	604.594	12,399.815			29,258.387
	3次	2.457	257.812	340.376	57.335	696.658			155.841	5,421.766	9,500.219	1,640.475	23,864.067			41,937.006
	運輸	1.102	123.762	60.913	10.261	148.893			48.206	1,663.900	1,309.643	226.149	3,648.755			7,241.580
	家計													22,915.415	18,598.352	41,501.767
	労働								75.825	5,583.728	14,714.924	2,540.937				22,915.414
	資本								589.212	3,861.380	12,054.261	2,081.500				18,586.353
	生産額	85.930	5,909.832	8,759.936	1,475.570	8,560.209	4,643.500	3,885.804	1,220.405	29,258.387	41,937.006	7,241.580	41,450.863	22,915.415	18,598.352	195,950.787

3.2　計算の設定

Iceberg 型 SCGE モデルの計算にあたり，整備なしの輸送マージン率τ_n^{ij}は 10%に設定する．また，整備ありの輸送マージン率は，式(4)より求めることにした．ただし，Iceberg 型 SCGE モデルの計算は，交通生産内生型 SCGE モデルの計算と独立的に実施するものとし，交通生産内生型 SCGE モデルの均衡計算の結果得られる財・サービス価格や生産要素価格変化は得られていないものとする．

その結果，交通生産内生型 SCGE モデルの運輸企業の価格p_T^{ij}の所要時間のみによる変化しか考慮しないものとして，整備ありの輸送マージン率τ_n^{ij}を設定した．そして，整備ありのケースの数値計算を行い，便益の計測を行った．

そして，交通生産内生型 SCGE モデルの均衡計算を行い，便益計測を行った．

また，参考までに，交通生産内生型 SCGE モデルからは，整備ありの財・サービス価格やその需要，運輸価格やその需要が得られる．それらを式(4)に代入し，それより得られる輸送マージン率τ_n^{ij}を用いて Iceberg 型 SCGE モデルの計算も行った．

そして便益計測結果の違い，それがモデルのどの差異によって生じたものであるのかを明らかにする．その結果は，講演時に紹介する予定である．

4.　おわりに

本研究では，交通生産内生型 SCGE モデルと Iceberg 型 SCGE モデルの輸送構造に着目して比較分析を行った．Iceberg 型 SCGE モデルでは，運輸企業が考慮されていないため，時間短縮に伴う輸送構造にもたらす影響を十分には評価できていない可能性のあることを明らかにした．

それに対し，交通生産内生型 SCGE モデルは運輸企業を独立して考慮しており，生産財と輸送サービスをそれぞれの費用構造から計算することができる．これにより，正確な便益計測が可能になるといえる．

今後は，交通生産内生型 SCGE モデルと Iceberg 型 SCGE モデルの経済便益を数値計算によって示し，その違いについての考察を行う予定である．

REFERENCES

1) 小池淳司：社会資本整備の空間経済分析―汎用型空間的応用一般均衡モデル（RAEM-Light）による実証方法―，コロナ社，2019.
2) 檜垣史彦，水谷誠，土谷和之，小池淳司，上田孝行：準動学的 SCGE モデルによる国際物流需要予測および港湾整備の便益評価，運輸政策研究，Vol.10, No.4，pp.21-32，2008.
3) 武藤慎一，河野達仁，福田敦：交通政策の空間的応用一般均衡分析　～インフラ・料金・環境政策評価～，勁草書房，2022.

4) 上田孝行：Excel で学ぶ地域・都市経済分析，コロナ社，2010.
5) 武藤慎一，東山洋平，河野達仁，福田敦：交通内生型 SCGE モデルの開発，土木学会論文集，Vol.75, No.3，2019.