

独占的競争を考慮したSCGEモデル特性の 道路事業評価への影響 -Wider Economic Impactの実証に向けて-

片山 慎太郎¹・山崎 雅人²・仲 達哉³・小池 淳司⁴

¹正会員 (一社)システム科学研究所 (〒604-0013 京都市中京区新町通夷川下る二条新町717番地)

E-mail: katayama@issr-kyoto.or.jp

²正会員 応用地質株式会社 (〒101-8486 東京都千代田区神田美土代町7番地)

E-mail: yamazaki-masato@oyonet.oyo.co.jp

³学生会員 神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail: 227t128t@stu.kobe-u.ac.jp

⁴正会員 神戸大学大学院教授 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail: koike@lion.kobe-u.ac.jp

我が国における社会資本整備によるストック効果は、費用便益分析マニュアルで対象とする3便益(直接便益)に加え、算出された効果の空間的帰着状況を把握できることから、SCGEモデルによる帰着便益の計測も行われてきた。一方、その多くが完全競争市場を想定した効果計測アプローチであるが、英国運輸省で取り組まれている「広範な経済効果(Wider Economic Impact: WEI)」は、不完全競争市場を想定した効果計測アプローチであり、既存の費用便益分析では計測できない効果として注目されている。本稿では、WEIの効果項目の1つである集積の経済に着目し、独占的競争を考慮したSCGEモデルと完全競争を考慮したSCGEモデルの算出結果を対比することで、収穫増および多様性選好の仮定が輸送費用削減による便益どの程度影響するかを数値シミュレーションにより検証した。

Key Words : *spatial computable general equilibrium, monopolistic competition, wider economic impacts*

1. はじめに

我が国における社会資本整備によるストック効果は、「ストック効果の最大化に向けて」¹⁾で示されている様に、「安全・安心」、「生活の質の向上」、「生産性向上」といった多岐にわたる効果を、統計情報やビッグデータ等の幅広い情報を活用することで定量的に「見える化・見せる化」する取り組みが積極的に行われている。また、経済分析手法の活用に向けた検討として、効果の空間的帰着状況を把握できることから、空間的応用一般均衡(Spatial Computable General Equilibrium: 以降、SCGE)分析の活用についても触れられており、事業効果を高める地域活動を促す上で有効とされている。

以上の様に、多岐にわたるストック効果や計測手法について検討が進められている一方、事業評価における意思決定指標として計測される便益については、計測精度

や二重計測等の課題から、限定的な項目のみが対象とされている。例えば、道路事業における費用便益分析マニュアル²⁾で計測対象とされる便益(利用者便益)は、走行時間短縮便益・走行経費減少便益・交通事故減少便益の

項目名	日本	イギリス	ドイツ	フランス	オランダ	ベルギー	スウェーデン	オーストラリア	ニュージーランド	アメリカ PPI/PPI+TPI	カナダ PPI/PPI+TPI	韓国
走行時間短縮	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
走行経費減少	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
交通事故減少	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
騒音低減		○	○	○	○	○						
走行時間短縮向上		△	○	○	○							○
広域的な経済効果		△			○							
地域分析の軽減			○					○				
水質汚染の改善								○				
大気汚染の減少		○	○	○	○	○	○					○
先行投資性の向上				○								
健康の増進		○										
閉鎖効果の増加 (災害時等)		○		○			○					
観光促進			○									
景観						○		○				
観光地の維持		△										
環境影響の軽減											○	
政府の予算効果							○					
自然、文化遺産												
事業化における B/Cの値	B/C>1 *1	B/C>1の 程度なし *2	B/C>1	B/C>1の 程度なし *2	B/C>1	B/C>1の 程度なし *2	B/C>1	B/C>1の 程度なし *2	B/C>1	B/C>1	未確認	B/C>1

注: △(イギリス):追加で算出可能な便益項目 *1:東日本大震災を踏まえ防災機能の評価を実施 *2: B/Cの他の効果で判断

図-1 費用便益分析における便益項目の各国比較(道路事業)³⁾

3便益のみとなっているが、諸外国では、3便益以外の項目の計測も積極的に進められている(図-1)。中でも英国運輸省で取り組まれている「広範な経済効果(Wider Economic Impacts:以降, WEI)」は、不完全競争市場を想定した効果計測アプローチであり、既存の(完全競争市場を想定する)費用便益分析では計測できない便益項目として注目され、計測のためのマニュアル⁴⁾も策定されている。この英国運輸省でのマニュアルでは、後述の通り、非常に簡便な計測式によりWEIが計測されており、他国でも同様の計測方法がマニュアル⁵⁾で示されている。我が国でも、WEIに関する情報収集は進められている⁷⁾が、定量的計測方法の検討までには至っておらず、今後WEIをどのように計測していくべきか、あるいは利用者便益に対して、どの程度見込まれるものかを検証することは今後の事業評価を考えていく上で重要である。

そこで、本研究では、WEIの効果項目の1つである集積の経済に着目し、独占的競争を考慮したSCGEモデルと完全競争を考慮したSCGEモデルを構築し、両モデルから算出される便益を対比することで、収穫逓増および多様性選好の仮定が輸送費用削減による便益への程度影響するかを仮想数値シミュレーションを通じて検証した。

2. 集積の経済の計測アプローチ

道路整備による集積の経済の計量化に向け、様々な計測手法の試みが行われている。まず、英国運輸省で策定されているマニュアル⁴⁾では、図-2で示す通り、WEIの効果項目を「誘発投資」、「雇用効果」、「生産性効果」の3つに分類しており、この内、集積の経済は、経済活動の密度が高くなることで生産性が向上する効果として整理されている。さらに、土地利用変化の明示・非明示に応じて、WEIの効果項目を3つのレベルで整理しており、レベル1が土地利用固定での利用者便益、レベル2が土地利用変化を明示しない場合の不完全競争市場や生産性効果、レベル3が土地利用変化を明示し、従属開発や職業移動も伴う効果とされている。このレベルが上がるほど、より複雑なモデルが要求され、計測難度も上がると考え

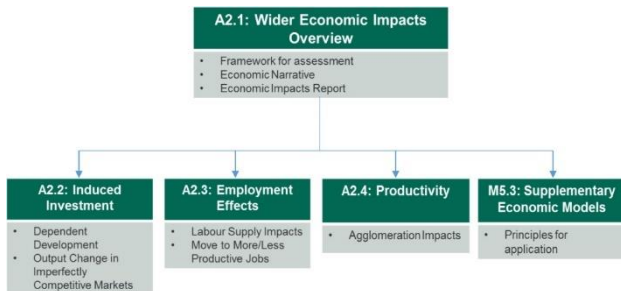


図-2 英国のWider Economic Impactsでの計測項目⁴⁾

	Level 1 (Initial BCR)	Level 2 (Adjusted BCR)	Level 3 (Indicative Monetised Impacts or Non-Monetised Impacts)
Fixed Land Use	User benefits		→
		Static Clustering	→
Implicit Land Use Change		Output Change in Imperfectly Competitive Markets	→
		Labour Supply Impacts	→
Explicit Land Use Change			Dependent Development
			Move to More/Less Productive Jobs
			Dynamic Clustering
			Supplementary Economic Modelling

図-3 各レベルで計測される項目⁴⁾

られる。この中で、集積の経済の算定式は、以下の簡便な計測式で定義されており、道路整備によるアクセシビリティの変化をEffective density (実効密度)により定量化し、整備前後の比率に集積パラメータをべき乗し、GDPを乗じることで算出可能となっている。なお、最新の更新レポート⁸⁾の中では、COVID-19の生活環境の変化(在宅勤務の増加等)により、労働者の生産性低下の可能性は低いものの、輸送に関する集積効果は再検討する必要があるとされている。

$$WI1^f = \sum_i \sum_k WI1_i^{k,f} \quad (1)$$

$$WI1_i^{k,f} = \left[\left(\frac{d_i^{A,k,f}}{d_i^{B,k,f}} \right)^{\rho^k} - 1 \right] GDPW_i^{S,k,f} E_i^{S,k,f} \quad (2)$$

$$d_i^{S,k,f} = \sum_j \sum_m \frac{E_j^{S,f}}{(g_{i,j}^{S,m,f})^{\alpha^k}} \quad (3)$$

ただし、 i : 地域、 k : 部門、 f : 予測年、 S : シナリオ、 $WI1^f$: 生産性効果の合計、 $WI1_i^{k,f}$: 集積効果、 $d_i^{k,f}$: 実効密度、 $GDPW_i^{k,f}$: 労働者当りGDP、 $E_j^{S,f}$: 雇用者数、 $g_{i,j}^{S,m,f}$: 地域間所要時間、 ρ^k : 集積パラメータ、 α^k : 減衰パラメータ

英国におけるWEIの計測事例として、ロンドンを東西に横断する都市鉄道路線(Crossrail)が挙げられる。表-1は、CrossrailのWEIの計測結果であるが、WEI全体では利用者便益に対して約44%、集積の経済は利用者便益に対して約19%となっており、事業規模にも依存するものの、我が国で計測されている利用者便益に対しても、その割合は非常に大きくなっていることが確認できる。

表-1 Crossrail での WEI の計測結果⁹⁾

計測項目	便益 (百万£)
利用者便益	16,093
WEI	7,161
集積の経済	3,094
不完全競争	486
労働移動による税収増	3,232
労働力の増大増加	349

一方、経済理論体系に基づく集積の経済の計測アプローチも、様々な取り組みが行われている。これまで、我が国における道路事業を対象とした実用型の SCGE モデルは、完全競争および収穫一定を想定したモデル¹⁰⁾が多かったが、近年では、規模の経済および多様性選好を考慮した Dixit-Stiglitz 型¹¹⁾の独占的競争モデルをベースとする SCGE モデルの開発・実証分析が精力的に行われている^{12,13)}。また、Dixon et al.¹⁴⁾や Oyamada¹⁵⁾では、完全競争を考慮した (Armington 型) SCGE モデルと、独占的競争を考慮した (Krugman 型 or Melitz 型) SCGE モデルを対比させ、それぞれのモデル特性の違いや、各貿易政策によるアウトプットの違いについて検証されている。ただし、これらのモデルでは貿易政策を扱っており輸送費の概念が考慮されていないため、道路などの交通整備による影響を捉えることはできない。

そこで本稿では、この Dixon et al.¹⁴⁾や Oyamada¹⁵⁾で構築されたモデルをベースとし、交通整備による影響を捉えられるよう輸送費の概念を組み込み、また自地域および他地域への生産財供給量をそれぞれ明示することで、地域内輸送・地域間輸送の影響を捉えられるように改良を行った。これらのモデルを用いて、(Armington 型) SCGE モデルと (Krugman 型) SCGE モデルを対比させ、輸送費用削減による便益に集積の経済がどの程度影響するかを検証する。

3. モデルの定式化

本稿では、Dixon et al.¹⁴⁾および Oyamada¹⁵⁾で定式化された SCGE モデルを参考に構築し、数値シミュレーションでは、架空の経済を想定する。地域は後述する想定ケースに応じて、2地域もしくは3地域の経済圏を設定し、各地域には3種類の産業を想定する。各産業の特徴としては、産業1および産業3は規模に関して収穫一定の生産技術、産業2は規模に関して収穫逓増の生産技術を仮定する。

各地域の各産業は、中間財と資本および労働を投入し生産を行い、各地域の代表的家計は予算制約下で各財を消費し効用最大化を行う。また、地域間では財の取引を行うものとし、各地域の産業および家計は、自地域で生産された財に加え、他地域で生産された財も中間投入や

最終消費が行えるものとする。ただし、産業2で生産される財については、産業および代表的家計が財の多様性から恩恵を受ける(多様性選好)、または独占的競争市場(参入企業は産業2に分類される企業であるが、互いに質的に異なる財を独占的に生産・販売)と仮定する。さらに、各地域では生産量に応じて間接税が徴収されるものと仮定するが、集められた間接税は消費者のみに移転され公共サービスの提供等は行わないと想定する。本稿で

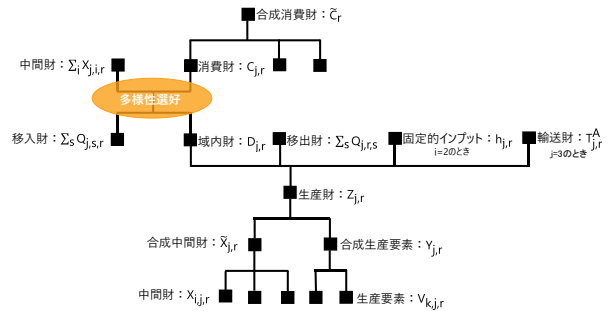


図-4 本稿で構築するモデルの全体構造

構築するモデルの全体構造は、図-4に示す通りであり、モデルの式内のサフィックスは、以下の通りである。

$$\begin{aligned} \text{地域: } R &\in \{1, 2, \dots, r, \dots, R\}, S \in \{1, 2, \dots, s, \dots, S\} \\ \text{産業: } I &\in \{1, 2, \dots, i, \dots, I\}, J \in \{1, 2, \dots, j, \dots, J\} \end{aligned}$$

(1) 企業の行動

地域 r に立地する産業 j は、合成中間財および合成生産要素を用いて図-5に示す生産構造により財を生産する。

企業の生産関数の第1段階をCES型技術と仮定し、以下の費用最小化行動で定式化する。

$$\min. p_{j,r}^X \bar{X}_{j,r} + p_{j,r}^Y Y_{j,r} \quad (4)$$

$$\text{s. t. } Z_{j,r} = \theta_{j,r}^Z \left\{ \alpha_{j,r}^Z Y_{j,r}^{\frac{\sigma_j^Z - 1}{\sigma_j^Z}} + (1 - \alpha_{j,r}^Z) \bar{X}_{j,r}^{\frac{\sigma_j^Z - 1}{\sigma_j^Z}} \right\}^{\frac{\sigma_j^Z}{\sigma_j^Z - 1}} \quad (5)$$

一階の最適化条件は以下の通りである。この時、式(6)の左辺は、合成中間財1単位の価格、右辺は合成中間財の限界生産性価値であり、式(7)の左辺は合成生産要素1単位の価格、右辺は合成生産要素の限界生産性価値である。

$$p_{j,r}^X = \frac{p_{j,r}^Z}{1 + \tau_{j,r}^Z} (1 - \alpha_{j,r}^Z) (\theta_{j,r}^Z)^{\frac{\sigma_j^Z}{\sigma_j^Z - 1}} \left(\frac{Z_{j,r}}{\bar{X}_{j,r}} \right)^{\frac{1}{\sigma_j^Z}} \quad (6)$$

$$p_{j,r}^Y = \frac{p_{j,r}^Z}{1 + \tau_{j,r}^Z} \alpha_{j,r}^Z (\theta_{j,r}^Z)^{\frac{\sigma_j^Z}{\sigma_j^Z - 1}} \left(\frac{Z_{j,r}}{Y_{j,r}} \right)^{\frac{1}{\sigma_j^Z}} \quad (7)$$

ただし、 $\bar{X}_{j,r}$: 地域 r 産業 j の合成中間財投入量, $Y_{j,r}$:

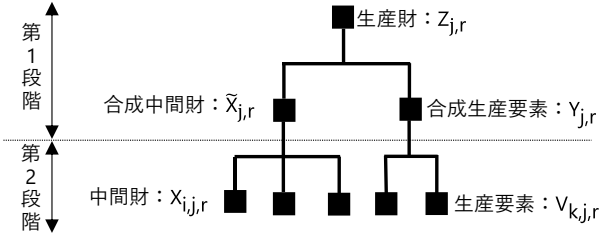


図5 企業の生産構造

地域 r 産業 j の合成生産要素投入量, $p_{j,r}^{\bar{X}}$: $\bar{X}_{j,r}$ 1単位の価格, $p_{j,r}^Y$: $Y_{j,r}$ 1単位の価格, $Z_{j,r}$: 地域 r 産業 j の生産財生産量, $\theta_{j,r}^Z$: 地域 r 産業 j の生産財生産関数の規模係数, $\alpha_{j,r}^Z$: 地域 r 産業 j 生産関数の $Y_{j,r}$ への投入割合係数, $\sigma_{j,r}^Z$: $\bar{X}_{j,r}$ と $Y_{j,r}$ 間の代替弾力性, $\tau_{j,r}^Z$: $Z_{j,r}$ に対する間接税率

次に、第2段階では、合成中間財に関する費用最小化行動を以下のように定式化する。

$$\min. \sum_i p_{i,r} X_{i,j,r} \quad (8)$$

$$\text{s.t. } \bar{X}_{j,r} = \theta_{j,r}^{\bar{X}} \left\{ \sum_i \alpha_{i,j,r}^{\bar{X}} X_{i,j,r} \frac{\sigma_{j,r}^{\bar{X}}}{\sigma_{j,r}^{\bar{X}} - 1} \right\}^{\frac{\sigma_{j,r}^{\bar{X}} - 1}{\sigma_{j,r}^{\bar{X}}}} \quad (9)$$

一階の最適化条件は以下の通りである。

$$p_{i,r} = p_{j,r}^{\bar{X}} \alpha_{i,j,r}^{\bar{X}} (\theta_{j,r}^{\bar{X}})^{\frac{1}{\sigma_{j,r}^{\bar{X}}}} \left(\frac{X_{i,j,r}}{\bar{X}_{j,r}} \right)^{\frac{1}{\sigma_{j,r}^{\bar{X}} - 1}} \quad (10)$$

ただし、 $X_{i,j,r}$: 地域 r 産業 j の中間財 i の投入量, $p_{i,r}$: 地域 r の第 i 財価格, $\theta_{j,r}^{\bar{X}}$: 地域 r 産業 j の合成中間財生産関数の規模係数, $\alpha_{i,j,r}^{\bar{X}}$: $X_{i,j,r}$ への投入割合係数, $\sigma_{j,r}^{\bar{X}}$: $X_{i,j,r}$ 間の代替弾力性

さらに、合成生産要素に関する費用最小化行動を以下のように定式化する。

$$\min. \sum_k w_{k,r} V_{k,j,r} \quad (11)$$

$$\text{s.t. } Y_{j,r} = \theta_{j,r}^Y \left\{ \sum_k \alpha_{k,j,r}^Y V_{k,j,r} \frac{\sigma_{j,r}^Y}{\sigma_{j,r}^Y - 1} \right\}^{\frac{\sigma_{j,r}^Y - 1}{\sigma_{j,r}^Y}} \quad (12)$$

一階の最適化条件は以下の通りである。

$$w_{k,r} = p_{j,r}^Y \alpha_{k,j,r}^Y (\theta_{j,r}^Y)^{\frac{1}{\sigma_{j,r}^Y}} \left(\frac{V_{k,j,r}}{Y_{j,r}} \right)^{\frac{1}{\sigma_{j,r}^Y - 1}} \quad (13)$$

ただし、 $V_{k,j,r}$: 地域 r 産業 j の生産要素 k 投入量, $w_{k,r}$: $V_{k,j,r}$ 1単位の価格, $\theta_{j,r}^Y$: 地域 r 産業 j の合成生産要素生産関数の規模係数, $\alpha_{k,j,r}^Y$: $V_{k,j,r}$ への投入割合係数, $\sigma_{j,r}^Y$: $V_{k,j,r}$ 間の代替弾力性

(2) 多様性選好のモデル化

ここでは、多様性選好および収穫逓増のモデル化について概説する。式(14)の左辺では地域 s 財 i の総需要量, 右辺では自地域および他地域の供給量を示したものである。この時、同じ財でも質の異なる財が多様に存在し、生産者および消費者の満足度を上げる（多様性選好）とし、本稿では産業2での生産財に対して多様性選好を設定する。多様性選好の程度を示すパラメータ β に対して、Oyamada¹⁹では、0から1の間で定義されているが、 $\beta = 0$ および $N = 1$ とした場合、完全競争市場を仮定したArmington型のSCGEモデルとなる。一方、 $\beta > 0$ および N を内生変数とした場合、多様性選好および収穫逓増を想定したSCGEモデルとなるが、 $\beta = 1$ とした場合、Krugman型のSCGEモデルとなる。

$$\sum_j X_{i,j,s} + C_{i,s} = \theta_{i,s}^T \left\{ \begin{aligned} & (1 - \sum_r \alpha_{i,r,s}^T) (N_{i,s}) \frac{\beta_{i,s} + \sigma_{i,s}^T - 1}{\sigma_{i,s}^T} (D_{i,s}) \frac{\sigma_{i,s}^T - 1}{\sigma_{i,s}^T} \frac{\sigma_{i,s}^T}{\sigma_{i,s}^T - 1} \\ & + \sum_r \alpha_{i,r,s}^T (N_{i,r}) \frac{\beta_{i,s} + \sigma_{i,s}^T - 1}{\sigma_{i,s}^T} (Q_{i,r,s}) \frac{\sigma_{i,s}^T - 1}{\sigma_{i,s}^T} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

ただし、 $D_{i,s}$: 地域 s 産業 i 企業1社の自地域への生産財供給量, $Q_{i,r,s}$: 地域 r 産業 i 企業1社の地域 s への生産財供給量, $X_{i,j,s}$: 地域 s 産業 j の中間財 i 投入量, $C_{i,s}$: 地域 s 代表的家計の消費財需要量, $\theta_{i,s}^T$: 地域 s の第 i 財生産関数の規模係数, $\alpha_{i,r,s}^T$: $Q_{i,r,s}$ への投入係数, $\sigma_{i,s}^T$: $D_{i,s}$ と $Q_{i,r,s}$ 間の代替弾力性, $N_{i,s}$: 地域 s 産業 i の企業数, $\beta_{i,s}$: 地域 s 代表的家計の多様性選好

式(14)では、参入企業数が増加するほど、すなわち財が多様化されるほど、中間投入量および最終消費量が増加する。これは、対称均衡 ($N_{i,s} = N_{i,r} = N_i$ かつ、 $D_{i,s} = Q_{i,r,s} = X_i$) を仮定すると、式変形した式(16)からも確認できる。

$$\sum_j X_{i,j,s} + C_{i,s} = \theta_{i,s}^T \left\{ \begin{aligned} & (1 - \sum_r \alpha_{i,r,s}^T) (N_i) \frac{\beta_{i,s} + \sigma_{i,s}^T - 1}{\sigma_{i,s}^T} (X_i) \frac{\sigma_{i,s}^T - 1}{\sigma_{i,s}^T} \frac{\sigma_{i,s}^T}{\sigma_{i,s}^T - 1} \\ & + \sum_r \alpha_{i,r,s}^T (N_i) \frac{\beta_{i,s} + \sigma_{i,s}^T - 1}{\sigma_{i,s}^T} (X_i) \frac{\sigma_{i,s}^T - 1}{\sigma_{i,s}^T} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

$$= \theta_{i,s}^T (N_i) \frac{\beta_{i,s}}{\sigma_{i,s}^T - 1} (N_i X_i) \quad (16)$$

自地域への生産財供給量 $D_{i,s}$ および、他地域への生産財供給量 $Q_{i,r,s}$ については、以下の費用最小化問題により

導出する.

$$\min. (1 + \tau_{i,s}^D) p_{i,s}^D D_{i,s} + (1 + \tau_{i,r,s}^T) p_{i,r,s}^Q Q_{i,r,s} \quad (17)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_j X_{i,j,s} + C_{i,s}$$

$$= \theta_{i,s}^T \left\{ \begin{array}{l} (1 - \sum_r \alpha_{i,r,s}^T) (N_{i,s}) \frac{\beta_{i,s} + \sigma_i^T - 1}{\sigma_i^T} (D_{i,s}) \frac{\sigma_i^T - 1}{\sigma_i^T} \\ + \sum_r \alpha_{i,r,s}^T (N_{i,r}) \frac{\beta_{i,s} + \sigma_i^T - 1}{\sigma_i^T} (Q_{i,r,s}) \frac{\sigma_i^T - 1}{\sigma_i^T} \end{array} \right\} \frac{\sigma_i^T}{\sigma_i^T - 1} \quad (18)$$

一階の最適化条件は以下の通りであり、本稿では、マークアップ率を産業2 ($i = 2$) の時のみ考慮する.

$$(1 + \tau_{i,s}^D) p_{i,s}^D = p_{i,s} (\theta_{i,s}^T) \frac{\sigma_i^T - 1}{\sigma_i^T} (1 - \sum_r \alpha_{i,r,s}^T) (N_{i,s}) \frac{\beta_{i,s} - 1}{\sigma_i^T} \left(\frac{\sum_j X_{i,j,s} + C_{i,s}}{D_{i,s}} \right) \frac{1}{\sigma_i^T} \quad (19)$$

$$(1 + \tau_{i,r,s}^T) p_{i,r,s}^Q = p_{i,s} (\theta_{i,s}^T) \frac{\sigma_i^T - 1}{\sigma_i^T} \alpha_{i,r,s}^T (N_{i,r}) \frac{\beta_{i,s} - 1}{\sigma_i^T} \left(\frac{\sum_j X_{i,j,s} + C_{i,s}}{Q_{i,r,s}} \right) \frac{1}{\sigma_i^T} \quad (20)$$

$$(1/1 + \eta) p_{i,r}^Z = p_{i,r,s}^Q \quad (21)$$

$$(1/1 + \eta) p_{i,r}^Z = p_{i,r}^D \quad (22)$$

ただし、 $p_{i,s}^D$: $D_{i,s}$ 1単位の価格、 $p_{i,r,s}^Q$: $Q_{i,r,s}$ 1単位の価格、 $\tau_{i,s}^D$: $D_{i,s}$ に対する輸送費率、 $\tau_{i,r,s}^T$: $Q_{i,r,s}$ に対する輸送費率、 $Z_{i,r}$: 地域 r 産業 i の生産財生産量、 $p_{i,r}^Z$: $Z_{i,r}$ 1単位の価格、 $-\eta$: マークアップ率($=1/\sigma_i^T$)

(3) 家計の行動

各地域には代表的な家計が存在し、自地域と他地域の財を消費すると仮定し、Nest構造の効用関数をもつと仮定する.

a) 第1段階

第1段階では、合成消費財の合成関数をCES型で定義し、以下の費用最小化問題で定式化する.

$$\min. \sum_i p_{i,r} C_{i,r} \quad (23)$$

$$\text{s.t.} \quad \tilde{C}_r = \theta_r^C \prod_i C_{i,r} \alpha_{i,r}^C \quad (24)$$

式(23)、(24)より一階の最適化条件は以下の通りである.

$$p_{i,r} = p_r^C \alpha_{i,r}^C \left(\frac{\tilde{C}_r}{C_{i,r}} \right) \quad (25)$$

ただし、 $p_{i,r}$: 地域 r の第 i 財価格、 $C_{i,r}$: 地域 r 代表的家

計の消費財需要量、 \tilde{C}_r : 地域 r 代表的家計の合成消費財需要量、 θ_r^C : 地域 r 代表的家計の効用関数の規模係数、 $\alpha_{i,r}^C$: $C_{i,r}$ に対する支出割合係数、 p_r^C : \tilde{C}_r 1単位の価格

b) 第2段階

第2段階では、家計の予算制約の下、以下の効用最大化問題で定式化する.

$$\max. \tilde{C}_r \quad (26)$$

$$\text{s.t.} \quad p_r^C \tilde{C}_r = \sum_{k,j} w_{k,r} V_{k,j,r} + \sum_j \frac{\tau_{j,r}^Z}{1 + \tau_{j,r}^Z} p_{j,r}^Z Z_{j,r} + S_r^F \quad (27)$$

式(26)、(27)より一階の最適化条件は以下の通りである.

$$1 = \lambda_r p_r^C \quad (28)$$

ただし、 \tilde{C}_r : 地域 r 代表的家計の合成消費財需要量 (効用)、 p_r^C : \tilde{C}_r 1単位の価格、 $V_{k,j,r}$: 地域 r 産業 j の生産要素 k 投入量、 $w_{k,r}$: $V_{k,j,r}$ 1単位の価格、 $Z_{j,r}$: 地域 r 産業 j の生産財生産量、 $p_{j,r}^Z$: $Z_{j,r}$ 1単位の価格、 $\tau_{j,r}^Z$: $Z_{j,r}$ に対する間接税率、 S_r^F : 地域 r の域外貯蓄額、 λ_r : 地域 r 代表的家計の所得の限界効用

(4) 市場均衡条件

a) 生産要素市場

生産要素市場は、以下の均衡条件が成立する.

$$\bar{V}_{k,r} = \sum_j V_{k,j,r} \quad (29)$$

ただし、 $\bar{V}_{k,r}$: 地域 r 生産要素 k の初期保有量、 $V_{k,j,r}$: 地域 r 産業 j の生産要素 k 投入量

b) 財市場

財市場の均衡条件のうち、式(24)右辺の第1項は、産業2のみ収穫増の技術を有すると仮定するため、 $i = 2$ の時のみ考慮する。次に、第2項は、本稿では輸送サービスを自地域の産業3が提供すると仮定するため $i = 3$ の時のみ考慮する。なお、第3項および第4項は、それぞれ域内および域外への生産財供給量である。

$$Z_{i,r} = N_{i,r} h_r + T_{i,r}^A + N_{i,r} D_{i,r} + \sum_s N_{i,r} Q_{i,r,s} \quad (30)$$

$$h_r p_{i,r}^Z = -\eta (p_{i,r}^D D_{i,r} + \sum_s p_{i,r,s}^Q Q_{i,r,s}) \quad (31)$$

$$T_{i,r}^A = \frac{\omega_r}{p_{i,r}^Z} \left(\sum_{ii,rr,s} \tau_{ii,rr,s}^T p_{ii,rr,s}^Q N_{ii,rr} Q_{ii,rr,s} + \sum_{ii,rr} \tau_{ii,rr}^D p_{ii,rr}^D N_{ii,rr} D_{ii,rr} \right) \quad (32)$$

ただし、 $Z_{i,r}$: 地域 r 産業 i の生産財生産量、 $p_{i,r}^Z$: $Z_{i,r}$ 1単位の価格、 $D_{i,s}$: 地域 s 産業 i 企業1社の自地域への生産財供給量、 $Q_{i,r,s}$: 地域 r 産業 i 企業1社の地域 s への生産財供給量、 $p_{i,s}^D$: $D_{i,s}$ 1単位の価格、 $p_{i,r,s}^Q$: $Q_{i,r,s}$ 1単位の価格、

$N_{i,r}$: 地域 r 産業 i の企業数, η : マークアップ率($=1/\sigma_i^T$),
 h_r : 地域 r 企業1社の固定的インプット, $T_{i,r}^A: Z_{i,r}(i=3)$ の
 うち輸送に用いられる量, ω_r : 地域 r の輸送費シェア

(5) 便益の定義

政策実施による効果を計測する便益を等価変分 (EV: Equivalent Variation) により以下のように定義する。

$$EV_r = p_r^{\zeta^0} (\tilde{C}_r^1 - \tilde{C}_r^0) \quad (33)$$

ただし, 0: 施策なし, 1: 施策あり, \tilde{C}_r^1 : 地域 r 代表的家計の合成消費財需要量, \tilde{C}_r^0 : 地域 r 代表的家計の合成消費財需要量, $p_r^{\zeta^0}$: \tilde{C}_r^0 1単位の価格

4. 数値シミュレーション分析

(1) ケース設定

本章では, 前章で定義した独占的競争を考慮したSCGEモデルによる仮想数値シミュレーションを実施し, 完全競争市場での結果 (Armington) と比較することで, 便益にどの程度乖離が生じるかを検討する. 数値シミュレーションの各ケースは, 表-2に整理する通りであり, 各シナリオでの経済規模・道路ネットワークに対して, 仮想政策 (輸送費削減) を実施し, 各地域の帰着便益を算出する. さらに, 各シナリオにおいては, 多様性選好・経済規模・地域間交易量をそれぞれ変化させた時の, 帰着便益の感度分析を行い, 完全競争市場および独占的競争市場を考慮したSCGEモデルの特性について考察を行う。

(2) Scenario1の結果

a) Case1-1の結果と考察

Case1-1では, 同一規模の2地域を想定し, 輸送費の減少も同程度を想定するため, 地域1および地域2で帰着する便益は同じとなる. 図-6において多様性選好に対する帰着便益の感度分析結果を示すが, 消費者の多様性選好の程度が大きいほど, 参入企業数も多くなり, 合成消費財の消費量が増加するため, 地域1および地域2の帰着便益が大きくなっている. 次に, 図-7において完全競争市場を仮定したArmington型 ($\beta = 0$) の便益 (EV_A) に対する変化率を示すが, 多様性選好の程度を大きくするほど地域全体での便益も増加し, 独占的競争市場を仮定したKrugman型 ($\beta = 1$) の便益は, Armington型の便益に対して約24%高くなっていることが分かる。

b) Case1-2の結果と考察

Case1-2では, 同一規模の2地域を想定するが, 輸送費の減少を地域1の内々輸送のみとするため, 地域1の帰着便益はプラス, 地域2の帰着便益はマイナスとなっている. 図-8において多様性選好に対する帰着便益の感度分析結

果を示すが, 消費者の多様性選好の程度が大きいほど, 輸送費が低下する地域1の帰着便益が大きくなり, 地域2の帰着便益は多様性選好の影響を受けずほぼ横ばいの結果となっている. 次に, 図-9において完全競争市場を仮定したArmington型 ($\beta = 0$) の便益 (EV_A) に対する変化率を示すが, 多様性選好の程度を大きくするほど地域1および地域全体での便益は増加するが, 地域2では $\beta = 0.6$ を境に減少していることが分かる. また, 独占的競争市

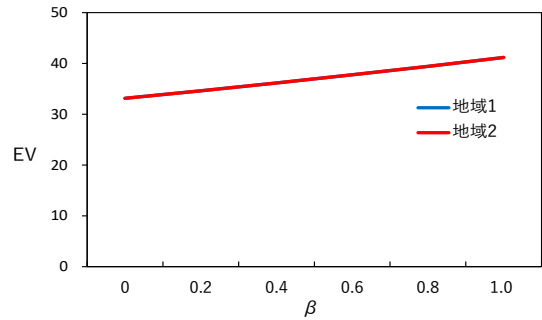


図-6 帰着便益の感度分析 (Case1-1)

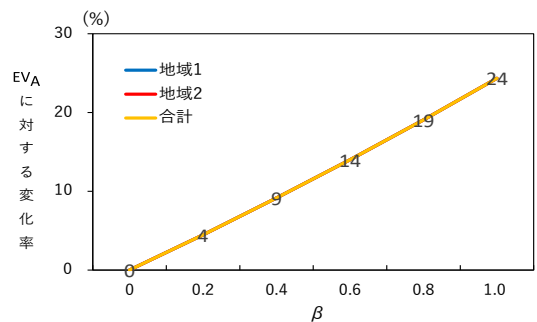


図-7 EV_A に対する変化率の感度分析 (Case1-1)

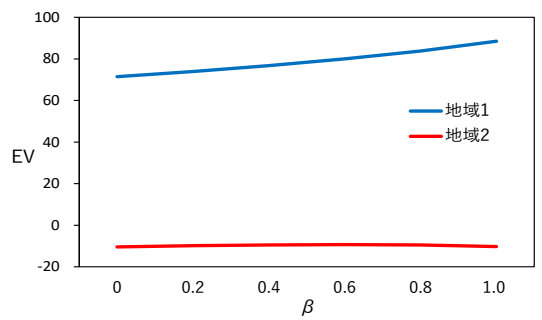


図-8 帰着便益の感度分析 (Case1-2)

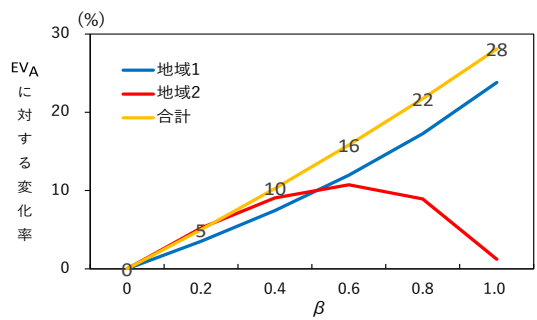
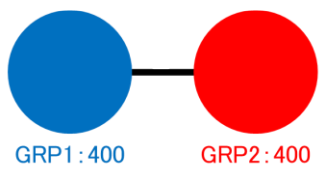
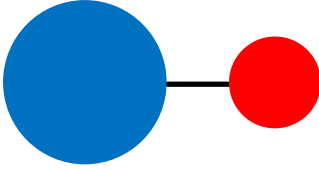
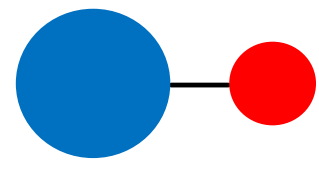
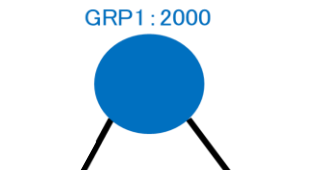


図-9 EV_A に対する変化率の感度分析 (Case1-2)

表-2 本稿での数値シミュレーションのケース設定

ScenarioNo	地域数	経済規模・道路ネットワーク	CaseNo	政策	感度分析
Scenario 1	2地域		Case1-1	地域1・2間の輸送費減少 ($\tau_{12}^T = \tau_{21}^T = 1.2 \rightarrow 0$)	多様性選好のパラメータ ($\beta_{i,s}$) に関する感度分析 (0~1)
			Case1-2	地域1の内々輸送費減少 ($\tau_{11}^D = 1.11 \rightarrow 0$)	
Scenario 2	2地域		Case2-1	地域1・2間の輸送費減少 ($\tau_{12}^T = \tau_{21}^T = 1.2 \rightarrow 0$)	地域2に対する地域1の経済規模 (GRP) に関する感度分析
			Case2-2	地域1の内々輸送費減少 ($\tau_{11}^D = 1.11 \rightarrow 0$)	
			Case2-3	地域2の内々輸送費減少 ($\tau_{22}^D = 1.11 \rightarrow 0$)	
Scenario 3	2地域		Case3-1	地域1・2間の輸送費減少 ($\tau_{12}^T = \tau_{21}^T = 1.2 \rightarrow 0$)	地域間交易量 ($Q_{12} \cdot Q_{21}$) に関する感度分析
			Case3-2	地域1の内々輸送費減少 ($\tau_{11}^D = 1.11 \rightarrow 0$)	
			Case3-3	地域2の内々輸送費減少 ($\tau_{22}^D = 1.11 \rightarrow 0$)	
Scenario 4	3地域		Case4-1	地域1・2間の輸送費減少 ($\tau_{12}^T = \tau_{21}^T = 1.11 \rightarrow 0$)	多様性選好のパラメータ ($\beta_{i,s}$) に関する感度分析 (0~1)
			Case4-2	地域1・3間の輸送費減少 ($\tau_{13}^T = \tau_{31}^T = 1.11 \rightarrow 0$)	
			Case4-3	地域2・3間の輸送費減少 ($\tau_{23}^T = \tau_{32}^T = 1.11 \rightarrow 0$)	

場を仮定したKrugman型 ($\beta = 1$) の便益は、Armington型の便益に対して約28%高くなっており、Case1-1と概ね同程度であることが分かる。

(3) Scenario2の結果

Scenario2では、異なる規模の2地域を想定し、地域間および地域内々の輸送費減少時の影響を確認する。感度分析は、一方の地域 (地域1) の経済規模 (GRP) を比例的に拡大させた時の便益への影響を確認する。ただし、経済規模に応じて、その他指標 (中間投入量・交易量等) も同様に拡大すると、同一規模 (Case1-1) で想定する一般均衡体系と不整合な社会会計表 (Social Accounting Matrix: SAM) が作成され、正しく便益比較ができなくなる。そのため、Scenario2において比例的に拡大させる指標は、生産要素の初期保有量 ($\bar{V}_{k,r}$) のみとし、その他の係数については、Case1-1で行ったキャリブレーション結果を使用する。これにより、Case1-1と整合的なSAMが作成され、経済規模の拡大と輸送費削減との影響が確認できる。

a) Case2-1の結果と考察

まず、図-10では、地域間の輸送費減少を想定し、地域2に対する地域1の経済規模 (GRP) を拡大した時の帰着便益の感度分析結果であるが、Armington型 ($\beta = 0$) では地域1の経済規模拡大に応じて両地域とも増加傾向であることが確認できる。一方、Krugman型 ($\beta = 1$) では地域1の経済規模拡大に応じて地域1では増加傾向、地域2では減少傾向となっており、両モデルで傾向が異なる結果が得られた。これは、集積の経済を考慮することで、経済規模の拡大に伴い、地域1での合成消費財の消費量が増加し、地域2での移出財をより多く消費するため、輸送費減少に伴う影響も地域1の方がより受けやすくなるためと考えられる。次に、図-11では、完全競争市場を仮定したArmington型 ($\beta = 0$) の便益 (EV_A) に対するKrugman型 ($\beta = 1$) の便益の変化率を示すが、経済規模を拡大させるほど地域1の変化率はプラス、地域2の変化率はマイナスに大きくなり、両地域の差は拡大していく傾向となっている。ただし、合計で見ると、独占的競争市場を仮

定したKrugman型 ($\beta = 1$) の便益は, Armington型の便益に対して約26%高くなっており, Scenario1での結果と概ね同程度であることが確認できる.

b) Case2-2の結果と考察

次に, 図-12では, 地域1の内々輸送費の減少を想定し, Case2-1と同様に, 地域2に対する地域1の経済規模 (GRP)

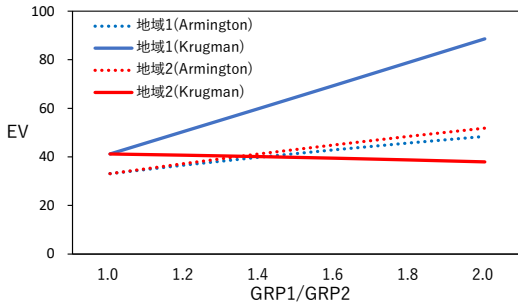


図-10 帰着便益の感度分析 (Case2-1)

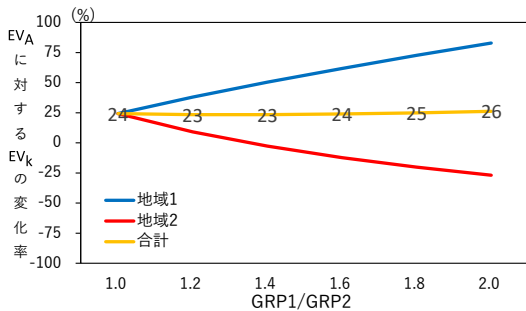


図-11 EV_A に対する EV_k の变化率の感度分析 (Case2-1)

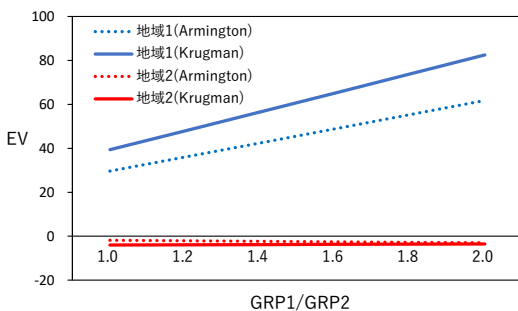


図-12 帰着便益の感度分析 (Case2-2)

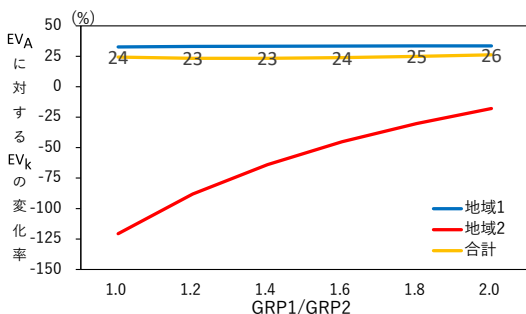


図-13 EV_A に対する EV_k の变化率の感度分析 (Case2-2)

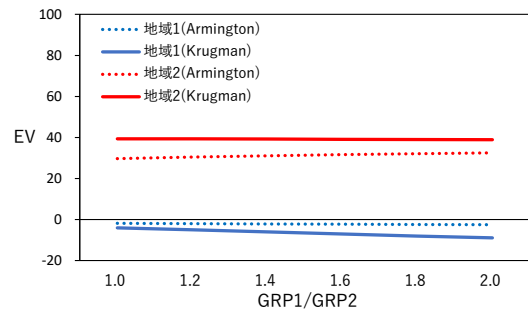


図-14 帰着便益の感度分析 (Case2-3)

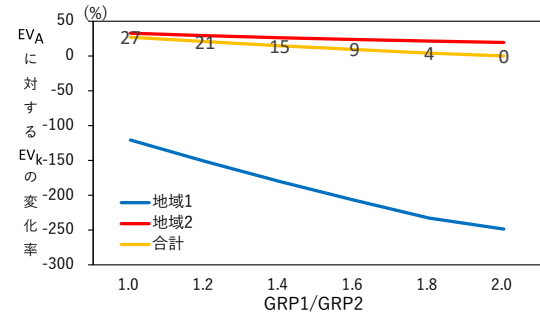


図-15 EV_A に対する EV_k の变化率の感度分析 (Case2-3)

を拡大した時の帰着便益の感度分析を行った. この場合, 輸送費減少の影響は, 地域1のみが受けることになるため, 帰着便益も地域1の方が多くなり, 経済規模拡大に応じて増加することが確認できる. また, 図-13では, 完全競争市場を仮定したArmington型 ($\beta = 0$) の便益 (EV_A) に対するKrugman型 ($\beta = 1$) の便益の变化率を示すが, 地域1では経済規模拡大に応じてほぼ変化なし, 地域2では経済規模拡大に応じてArmington型 ($\beta = 0$) とKrugman型 ($\beta = 1$) の差が徐々に小さくなる結果となった.

c) Case2-3の結果と考察

さらに, 図-14では, 経済規模を拡大させない地域2の内々輸送費の減少を想定し, 地域2に対する地域1の経済規模 (GRP) を拡大した時の帰着便益の感度分析を行った. この場合, 輸送費減少の影響は, 地域2のみが受けることになるため, 帰着便益も地域2の方が大きくなっているが, 経済規模に対する帰着便益の影響は, Case2-1およびCase2-2に比べて小さく, ほぼ変化なしであることが分かる. また, 図-15を見ると, 地域1では経済規模の拡大とともに, Krugman型 ($\beta = 1$) の便益がArmington型 ($\beta = 0$) の便益に対してより小さく計測され, 内々輸送費が減少する地域2でも地域1の経済規模の拡大とともにKrugman型 ($\beta = 1$) の便益がArmington型 ($\beta = 0$) の便益に対して小さく計測されていることが分かる. さらに, 合計で見た場合も, 他ケースでは約20~30%で推移していたが, 地域1の経済規模を2倍させた場合, Krugman型 ($\beta = 1$) の便益とArmington型の便益は概ね同値となる結果が得られた.

(3) Scenario3の結果

Scenario2と同様に、異なる規模の2地域（地域2に対して地域1のGRPが大）を想定し、地域間および地域内々の輸送費減少時の影響を確認するが、感度分析は、地域間交易量（ $Q_{12} \cdot Q_{21}$ ）の拡大を想定する。ただし、地域間交易量を比例的に増加させると、Scenario2と同様に、その他の指標も増加し、感度分析結果間での便益比較ができなくなる。そのため、Scenario3では、生産財に対する各地域の移出量の割合を変化させ、生産財に占める移出の割合が増えた時の便益への影響を確認する。なお、Scenario3の結果については、講演時に報告する。

(4) Scenario4の結果

Scenario4では、これまでの2地域モデルから3地域モデルへと拡大し、それぞれ異なる経済スケールを想定する。また、輸送費減少ケースも、異なる経済スケール間毎で想定し、それぞれのケース設定において、どの程度集積の経済へ影響するかを検証する。なお、感度分析は、Scenario1と同様、多様性選好のパラメータ（ β ）を変化させた時の帰着便益とする。

a) Case4-1の結果と考察

Case4-1では、最も経済規模の大きな地域1と、次に経済規模の大きな地域2の地域間輸送費減少を想定する。図-16では、多様性選好に対する帰着便益の感度分析結果を示すが、消費者の多様性選好の程度が大きいくほど、参入企業数も多くなり、合成消費財の消費量が増加するため、地域1および地域2の帰着便益が大きくなっていることが分かる。なお、経済規模の大きな地域1に対して、地域2の帰着便益が大きくなっているが、これは仮想の数値シミュレーションで作成したSAMの経済構造に依存した結果であるため、地域別の帰着便益の大小については、実データによる実証分析での検証を踏まえて考察が必要である。また、図-17では、Armington型（ $\beta = 0$ ）の便益（ EV_A ）に対する変化率を示すが、多様性選好の程度を大きくするほど地域全体での便益も増加し、独占的競争市場を仮定したKrugman型（ $\beta = 1$ ）の便益は、Armington型の便益に対して約27%高くなる結果となった。

b) Case4-2の結果と考察

次に、Case4-2では、最も経済規模の大きな地域1と、最も経済規模の小さな地域3の地域間輸送費減少を想定する。結果としては、消費者の多様性選好の程度が大きくなるほど、地域間輸送費が減少する地域の便益が大きくなっており、Case4-1と概ね同様の結果となった。また、Armington型（ $\beta = 0$ ）の便益に対するKrugman型（ $\beta = 1$ ）の便益は、地域全体で約23%高くなる結果となった。

c) Case4-3の結果と考察

さらに、Case4-3では、経済規模が中位の地域2と、最も経済規模が小さい地域3の地域間輸送費減少を想定する。結果としては、消費者の多様性選好の程度が大きくなるほど、地域間輸送費の減少地域の便益が大きくなっており、Case4-1およびCase4-2と概ね同様の結果となった。また、Armington型（ $\beta = 0$ ）の便益に対するKrugman型（ $\beta = 1$ ）の便益は、地域全体で約28%高くなる結果となった。

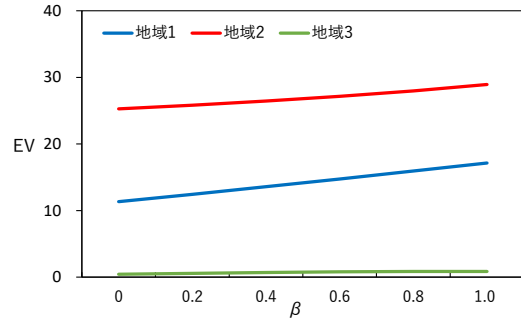


図-16 帰着便益の感度分析結果 (Case4-1)

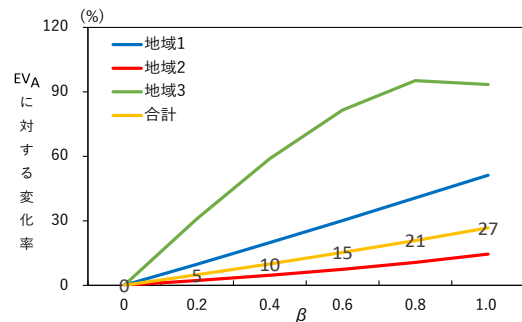


図-17 EV_A に対する変化率の感度分析結果 (Case4-1)

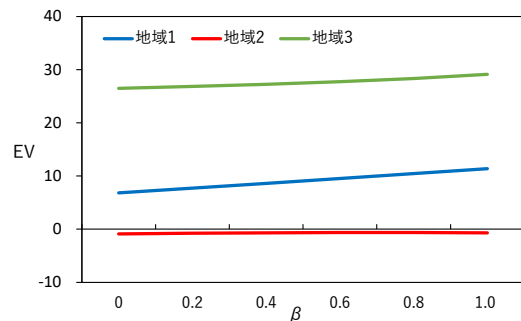


図-18 帰着便益の感度分析結果 (Case4-2)

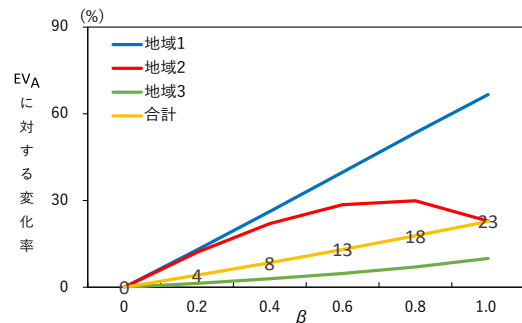


図-19 EV_A に対する変化率の感度分析結果 (Case4-2)

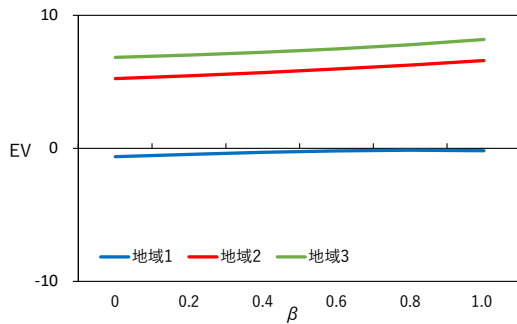


図-20 帰着便益の感度分析結果 (Case4-3)

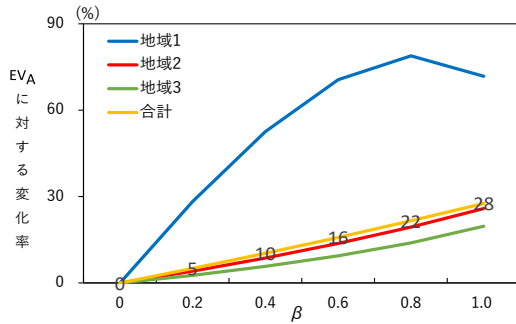


図-21 EVAに対する変化率の感度分析結果 (Case4-3)

5. まとめ

本稿では、完全競争市場を考慮したSCGEモデルと独占的競争市場を考慮したSCGEモデルを構築し、架空の地域を想定した数値シミュレーションを実施することで、双方のモデルから得られる便益を対比させ、様々な経済規模・道路ネットワークパターン下での集積の経済の程度を検証した。その結果、地域別に計測される集積の経済にはバラつきが見られるものの、収穫逓増と多様性選好、および独占的競争市場の仮定は、輸送費用削減による地域全体での便益の合計を、完全競争市場での計測結果よりも高く評価される結果となり、その程度は約20～30%であることが分かった。また、本稿での分析において、特にScenario4での結果では、これまでの集積の経済では、大都市と地方部を結ぶ道路が主に扱われていたのに対して、地方都市間を結ぶ道路も無視できない程度の集積の経済が見込まれる可能性を示唆している。ただし、本稿ではあくまでも仮想データに基づく数値シミュレーション結果であるため、今後は実データを用いた実証分析により、地域別（都道府県別）での集積の経済を計測し、地域別特徴や地域全体の便益に対する程度を検証していく必要がある。

謝辞：本研究は、国土交通省道路局が設置する新道路技術会議の技術研究開発制度により、国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究「権利と効率のストック効果に基づく社会的意思決定方法と実用的なストック効果計測手法の開発」で行われた成果の一部を活用している。

REFERENCES

- 1) 国土交通省: 社会資本整備審議会・交通政策審議会交通体系分科会計画部会専門小委員会「ストック効果の最大化に向けて～その具体的戦略の提言～」, http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/sogo08_sg_000220.html, 2016.
- 2) 国土交通省 道路局 都市局: 費用便益分析マニュアル, 2022.
- 3) 国土交通省: 令和2年度 第1回公共事業評価手法研究委員会, 資料2 事業評価を巡る論点, p.21, 2020.
- 4) Department for Transport: TAG UNIT 2.1 Wider Economic Impacts Appraisal, May 2019.
- 5) Waka Kotahi NZ Transport Agency: Monetised Benefits and costs manual Version 1.5, August 2021.
- 6) Infrastructure and Transport Ministers: Australian Transport Assessment and Planning Guidelines T3 Wider Economic Benefits, April 2022.
- 7) 小谷将之: 英国交通分析ガイダンスにおける広範な経済効果～3つの経済効果とその定量化, 国土交通政策研究所報, 第70号, 2018.
- 8) Department for Transport: Appraisal and Modeling Strategy TAG update report, May 2021.
- 9) Crossrail Ltd: Economic Appraisal of Crossrail, 2005.
- 10) 佐藤啓輔, 小池淳司: SCGEモデルを活用した道路整備のストック効果最大化検討, 土木計画学研究・論文集D3 (土木計画学), Vol.76No.2, pp.114-127, 2020.
- 11) Dixit, A. and Stiglitz, J.: Monopolistic competition and optimum product diversity, *American Economic Review*, Vol.67, No.3, pp.297-308, 1977.
- 12) 久武昌人, 山崎清: 独占的競争等を取り入れた多地域CGEモデルの構築, RIETI Discussion Paper Series 06- J-046, 2006.
- 13) 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 (土木計画学), Vol.73, No.4, 228-243, 2017.
- 14) Dixon, P. B., M. Jerie, and M. T. Rimmer.: Modern Trade Theory for CGE Modeling: the Armington, Krugman and Melitz Models, *Journal of Global Economic Analysis*, Vol.1(1), pp. 1-110, 2016.
- 15) Oyamada K.: Love of Variety in Trade Models with Product Differentiation, *Journal of Global Economic Analysis*, Vol. 5(2), pp.1-62, 2020.

(?)

THE IMPACT OF SCGE MODEL WITH MONOPOLISTIC COMPETITION
ON ROAD IMPROVEMENT EVALUATION
-TOWARD AN EMPIRICAL ANALYSIS OF WIDER ECONOMIC IMPACT-

Shintaro KATAYAMA, Masato YAMAZAKI, Tatsuya NAKA, and Atsushi KOIKE

In Japan, the stock effect of social infrastructure development is measured in terms of user benefits as defined in the Cost-Benefit Analysis Manual. Recently, the SCGE model has been used to measure the incidence of spatial benefits. On the other hand, most of the effect measurement approaches assume a perfectly competitive market. The UK Department for Transport measures the Wider Economic Impacts(WEI), which is a measurement approach that assumes an imperfectly competitive market, an effect that cannot be measured by conventional cost-benefit analysis. In this study, we focus on agglomeration benefits among the benefits defined in the WEI. We construct two models, one is the SCGE model considering perfect competition and the other is the SCGE model considering monopolistic competition, and compare the benefits calculated by each model. We then examine the extent to which the assumptions of increasing returns and diversity preference affect the benefits from reduced transportation costs.