

1. はじめに

高速道路の無料化や道路特定財源のための暫定税率廃止政策などを行うと、高速道路の利用促進や一般道路の渋滞緩和などの所要時間の低下や交通ネットワークの効率化による経済効果が期待されている。これは、道路交通費用の低下は輸送コストの低下をもたらし、特に、輸送部門との繋がりが強い製造業に多大な経済効果が期待されている。しかし、環境問題としての二酸化炭素排出量は、交通ネットワークの効率化により排出量が減少するのか、あるいは、高速道路の無料化が交通量の誘発、それによるさらなる渋滞悪化を引き起こし、排出量が増加するのかに関しては議論がわかれるところである。また、この経済効果と地球環境問題は、空間的にも影響が異なり、人口が集中している都市部とそれ以外の地方部では、発生する効果もその地域の産業構造・特性により異なる。そこで、本研究は道路交通費用が低下した場合に、所要時間が増加するあるいは減少するというシナリオを各地域に与え、その所要時間変化がマクロ経済・地球環境に与える影響を分析する。具体的には、わが国を大阪・近畿・その他の3地域に分割した地域間産業連関表を基準データとして、地域別に各種効果を測定できる空間的応用一般均衡モデル（Spatial Computable General Equilibrium Model 以下、SCGEモデル）を用いて、経済効果とCO2排出量の変化を定量的に分析する。

2. 道路交通費用を考慮したSCGEモデルの構築

(1) モデルの仮定

モデルの対象とする社会経済に対して、以下の仮定をおく。

- ・ 対象とする社会経済は S 個の地域に分割されている。
- ・ 各地域には J 種類の財が存在し、それぞれに代表的な企業がある。また、各地域には1つの代表的な家計が存在する。
- ・ 各地域の生産財は異なるものである（Armingtonの仮定）。
- ・ 財の輸送はIce-berg型輸送構造である。
- ・ 生産要素は労働と資本であり、それらの生産要素市場は各地域で閉じている。一方、どの財市場も地域間で開放されており、財の流入出は自由に行われる。
- ・ 全ての市場は完全競争的あり、長期的均衡状態にある。
- ・ すべての企業の生産技術は規模に関して収穫一定である。

以下のように地域と産業を表すラベル変数を設定した。

$r \in R = \{1, 2, \dots, R\}$: 財の発地(生産地)の地域を表すラベル
 $s \in S = \{1, 2, \dots, S\}$: 財の着地(消費地)の地域を表すラベル
 $i \in I = \{1, 2, \dots, I\}$: 生産地の財分類を表すラベル
 $j \in J = \{1, 2, \dots, J\}$: 消費地の産業分類を表すラベル

ただし、 $R = S$, $I = J$: それぞれ地域の総数および財・サービスの分類の総数を表している。

本研究におけるSCGEモデルの基準データとして、大阪府より公表されている平成12年大阪府地域間産業連関表13部門表を用いた。地域区分は大坂地域(大阪府)、近畿地域(福井県、滋賀県、京都府、兵庫県、奈良県、和歌山県)、その他地域(大阪府、近畿地域を除く40都道府県)の3地域である。

(2) 道路交通費用低下の扱い方

本研究では、財の輸送においてはIceberg型モデルの仮定を用いる。Iceberg型モデルとは、財の輸送に伴い、財の一部が溶けて、その価値が低下するモデルである。つまり、道路交通費用の低下より渋滞緩和すると交通抵抗が減少、逆に渋滞悪化すると交通抵抗が増加すると考える。

$$P_i^{rs} = (1 + t_i^{rs}) P_i^r \quad (1)$$

ただし、 P_i^{rs} : 地域 s の消費者が地域 r 産業 i の財を消費する際の価格(消費者価格)、 t_i^{rs} : 地域 r から地域 s へ輸送した際にかかる財 i の輸送マージン率(マークアップ率)、 P_i^r : 地域 r 産業 i の財の生産地価格

(3) モデルの定式化

a) 家計の行動モデル

消費地の地域 s には代表的な家計が存在し、自地域と他地域が生産する財 j を消費すると仮定し、またNested-CES型の効用関数構造を持つと仮定する。第1段階においては、財の消費合成財の代替関係をCES型で表現し、第2段階では、財の自地域の財と他地域の財の代替関係をCES型で表現する。第1段階は、所得制約条件の下で家計の効用最大化行動として定式化する。

$$\begin{aligned} \max_{f_i^s} \quad & U^s = \left(\sum_{i \in I} \gamma_i^s f_i^s \frac{\sigma_1 - 1}{\sigma_1} \right)^{\frac{\sigma_1}{\sigma_1 - 1}} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i \in I} P F_i^s f_i^s = w^s L^s + r^s K^s - NX^s \end{aligned} \quad (2)$$

ただし、 U^s : 直接効用関数、 γ_i^s : 効用関数の分配パラメータ、 f_i^s : 地域 s 産業 i の財の合成財消費量、 σ_1 : 消費合成財に関する代替弾力性、 $P F_i^s$: 地域 s の家計が消費する産業 i の財の消費合成財価格、 L^s : 地域 s の労働供給量、 K^s : 地域 s の資本保有量、 NX^s : 地域 s の所得移転(ただし、 $\sum_{s \in S} NX^s = 0$)

(2)式の効用最大化問題より、財 i の消費合成財の需要量 f_i^s を導出することができる。第2段階は、家計の費用最小化行動として以下のように定式化する。

$$\begin{aligned} \min_{f_i^s} \quad & \sum_{r \in R} (1 + t_i^{rs}) P_i^r f_i^{rs} \\ \text{s.t.} \quad & f_i^s = \psi_i^s \left(\sum_{r \in R} \gamma_i^{rs} f_i^{rs} \frac{\sigma_2 - 1}{\sigma_2} \right)^{\frac{\sigma_2}{\sigma_2 - 1}} \end{aligned} \quad (3)$$

ただし、 t_i^{rs} : 地域 r から地域 s へ輸送した際にかかる財 i の輸送マージン率、 P_i^r : 地域 r 産業 i の財の生産地価格、 ψ_i^s : 消費合成財の効率パラメータ、 γ_i^{rs} : 消費合成財の分配パラメータ、 f_i^{rs} : 地域 s の家計が消費する地域 r 産業 i の財消費量、 σ_2 : 消費財に関する代替弾力性

(3)式の費用最小化問題より、消費合成財一単位あたりの消費財需要量 cf_i^{rs} を導出する。

b) 企業の行動モデル

地域 s の財 j を生産する産業 j の生産構造をNested-CES型で仮定する。Armingtonの仮定に基づき、中間投入に用いられる財は、同じ分類の財でも各地域の区別により、別種の財であるとしてモデル化する。生産関数における第1段階はレオンチェフ型として以下のように定式化する。

$$X_j^s = \min \left(\frac{VA_j^s(l_j^s, k_j^s)}{a_{0j}^s}, \frac{x_{1j}^s}{a_{1j}^s}, \frac{x_{2j}^s}{a_{2j}^s}, \dots, \frac{x_{lj}^s}{a_{lj}^s} \right) \quad (4)$$

ただし、 X_j^s ：地域 s 産業 j の生産量、 VA_j^s ：地域 s 産業 j の付加価値、 l_j^s ：地域 s 産業 j の労働投入量、 k_j^s ：地域 s 産業 j の資本投入量、 x_{ij}^s ：産業 i から地域 s 産業 j へ投入される中間合成財、 a_{0j}^s ：付加価値比率、 a_{ij}^s ：投入係数（交通費用込み）

生産関数における第2段階は付加価値1単位を生産することを制約とした、コブ・ダグラス型で定式化すると以下のようになる。

$$\begin{aligned} \min_{l_j^s, k_j^s} \quad & w^s l_j^{\alpha_j^s} + r^s k_j^{1-\alpha_j^s} \\ \text{s.t.} \quad & VA_j^s = \eta_j^s l_j^{\alpha_j^s} k_j^{1-\alpha_j^s} = 1 \end{aligned} \quad (5)$$

ただし、 w^s ：地域 s の賃金率、 r^s ：地域 s の資本レント、 η_j^s ：効率パラメータ、 α_j^s ：労働の分配パラメータ、 $1-\alpha_j^s$ ：資本の分配パラメータ

(5)式を解くと、付加価値一単位あたりの労働と資本の要素需要量 D_{lj}^s, D_{kj}^s が求まる。

すべての財の代替弾力性は2.0と外生的に設定した。また、各地域の分配パラメータと効率パラメータについては、基準データである大阪府地域間産業連関表からキャリブレーションをして算出を行った。

c) 市場の均衡条件とワルラス法則

本モデルでは企業の生産関数として規模に関して収穫一定の形式を仮定しているため、産業は常に需要に見合うだけの生産を行うことになる。ただし、輸送マージン率をIce-berg型交通費用で仮定しているため、生産量の一定割合は輸送のための投入物として需要されていることになる。従って、以下の式が成立するように生産量を決定する。

$$X_i^r = \sum_{s \in S} \sum_{j \in J} (1+t_i^{rs}) x_{ij}^{rs} + \sum_{s \in S} (1+t_i^{rs}) f_i^{rs} \quad (6)$$

また、以下の生産要素市場の均衡条件のみが意味を持つ。

$$\begin{aligned} \sum_{j \in J} X_j^s D_{lj}^s(w^s, r^s) &= L^s \\ \sum_{j \in J} X_j^s D_{kj}^s(w^s, r^s) &= K^s \end{aligned} \quad (7)$$

本モデルでは、ワルラス型一般均衡モデルとして理論的に整合していることを確認するため、ワルラス法則成立の確認を行った。ワルラス法則とは、市場で取引される財・サービス、労働、資本の超過需要の価値の総和が常にゼロになるという法則である。

3. 産業別CO2排出原単位の算出

産業別CO2排出原単位を算出して、CO2排出量の推計方法について説明を行う。CO2排出原単位を求めるために、国立環境研究所より公表されている産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)の2000年度の生産者価格ベースのデータ（大分類：32部門）を用いた。まず、3EIDの産業分類である32部門を本研究で扱う産業分類13部門に集計した。表1は、本研究の産業分類と3EIDの産業分類の対応を示したものである。部門別の国内総生産額（百万円）と直接CO2排出量（t-C）を13部門に集計し、排出量から生産額を割って、産業別CO2排出原単位である部門別生産額当たりの直接CO2排出量（t-C/百万円）を求めた。

表1 本研究の産業13分類と3EIDの産業分類の対応表

産業部門	3EID
農林水産業	農林水産業
鉱業	鉱業
製造業	食料品、繊維製品、パルプ・紙・木製品、化学製品、石油・石炭製品、窯業・土石製品、鉄鋼、非鉄金属、金属製品、一般機械、電気機械、輸送機械、精密機械、その他の製造工業製品
建設	建設
電力・ガス・水道	電力・ガス・水道、水道・廃棄物処理
商業	商業
金融・保険	金融・保険
不動産	不動産
運輸	運輸
通信・放送	通信・放送
公務	公務
サービス	教育・研究、医療・保健・社会保障・介護、その他の公共サービス、対事業所サービス、対個人サービス、事務用品
分類不明	分類不明

図1は、部門別生産額百万円当たりの直接CO2排出量（t-CO2/百万円）を求めたものである。図1から単位生産額当たりの直接CO2排出量は、一番目に製造業、二番目に電気・ガス・水道、三番目に運輸の順に大きい。これより製造業の生産額の変化が、最もCO2排出量の変化に与える影響が大きいことが分かる。ここで求めた産業部門別生産額当たりのCO2排出量に、各産業の生産額の変化額を掛けることで直接CO2排出量を求めることが可能である。

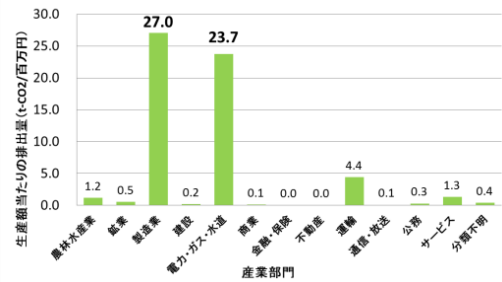


図1 部門別単位生産額百万円あたりの直接CO2排出量

4. 実証分析

まず、3地域の距離を考慮した道路交通費用である輸送マージン率を設定する。道路交通費用が低下した場合に、3地域の移動にかかる所要時間が変化したシナリオAとシナリオBの二つを与えて、産業の生産額の変化額とCO2排出量、総便益を定量的に計測する。

(1) 輸送マージン率 t_i^{rs} について

財を輸送する際にかかる費用の国内貨物運賃を輸送マージンとして産業別に求める。その割合である輸送マージン

率は国内貨物運賃を購入者価格で割ることにより求めた。輸送マージン率のデータは、独立行政法人統計センターの政府統計ポータルサイト「e-Stat」より公表されている平成17年産業連関表の購入者価格表(108部門)と国内貨物運賃表(108部門)を用いた。これらの表の産業部門は108部門であるため、本研究の産業部門の13部門へ統合し集計を行った。そして、この二つの表において中間投入と最終需要を合わせた国内需要合計の列データより、各産業部門の輸送マージン率を求めた。その結果を表2に示す。

表2 輸送マージン率

部門数	産業部門	輸送マージン率
01	農 林 水 産 業	4.00%
02	鉱 業	7.00%
03	製 造 業	3.00%
04	建 設	0.00%
05	電力・ガス・水道	0.00%
06	商 業	0.00%
07	金 融 ・ 保 険	0.00%
08	不 動 産	0.00%
09	運 輸	0.00%
10	通 信 ・ 放 送	0.00%
11	公 務	0.00%
12	サ ー ビ ス	0.00%
13	分 類 不 明	0.00%

(ただし、運輸：-36.77%、通信・放送：0.55%、分類不明：1.60%、と輸送マージン率を算出したが、これらは第三次産業のサービス業であるため輸送マージン率を0.00%と設定した。また、表2の輸送マージン率を地域内・地域間を考慮するため小数点第一位を四捨五入して簡略化したものである。)

表2から、地域内と地域間の距離による輸送マージン率の変化を考慮する。地域内の移動に関わる輸送マージン率は、表2よりも1%小さくし、地域間の移動に関わる輸送マージン率は、1%大きくした。その設定を以下の表3、表4、表5を以下に示す。

表3 大阪を輸送元とする輸送マージン率

発地	産業部門	大阪	近畿	その他
大阪	農林水産業	3.00%	4.00%	5.00%
	鉱業	6.00%	7.00%	8.00%
	製造業	2.00%	3.00%	4.00%

表4 近畿を輸送元とする輸送マージン率

発地	産業部門	大阪	近畿	その他
近畿	農林水産業	4.00%	3.00%	4.00%
	鉱業	7.00%	6.00%	7.00%
	製造業	3.00%	2.00%	3.00%

表5 その他を輸送元とする輸送マージン率

発地	産業部門	大阪	近畿	その他
その他	農林水産業	5.00%	4.00%	3.00%
	鉱業	8.00%	7.00%	6.00%
	製造業	4.00%	3.00%	2.00%

(ただし、産業部門の建設業～分類不明までの部門は0.00%であるため省く)

(2)シナリオの設定

表3 シナリオA

	大阪	近畿	その他
大阪	-10%	-10%	-10%
近畿	-10%	-10%	-10%
その他	-10%	-10%	-10%

表4 シナリオB

	大阪	近畿	その他
大阪	+10%	-10%	-10%
近畿	-10%	-10%	-10%
その他	-10%	-10%	-10%

本研究では、道路交通費用の低下に伴う都市部での渋滞悪化を所要時間の増加、地方部での渋滞緩和を所要時間の減少とした。シナリオAは、道路交通費用の低下に伴い、交通ネットワークが効率化し、全ての地域内、地域間で渋滞が緩和された場合である。具体的には大阪・近畿・その他の3地域の地域内、地域間のすべての所要時間が10%低下したと想定する。シナリオBは、道路交通費用の低下が交通量を増加させ、都市部の渋滞を引き起こしている場合である。具体的には、大阪の地域内で渋滞が発生し、それ以外の地域では、渋滞が緩和されたとする。それは、大阪

から大阪への地域内の所要時間のみが10%増加し、それ以外の地域内、地域間の所要時間が10%低下したと想定する。ここで、本研究における所要時間が10%で増減するという設定は、外生的な数値である。そのため、道路交通費用の低下により、実際に起こる所要時間の変化は各地域で異なる。

(3)分析結果

分析では、13部門ある各産業の生産額変化量を求めた。以下の図2、図3は特に製造業への影響を見るため13部門を、製造業を除いた12部門の製造業以外と製造業、その二つを合計した産業全体の生産額変化(単位:億円/年)の3つに集計した。それを地域別に表している。

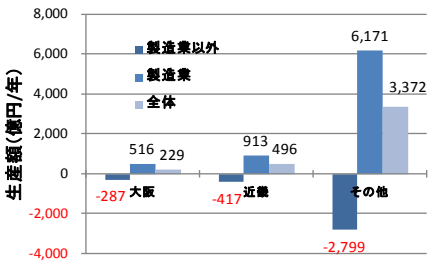


図2 シナリオAの産業の生産額変化量

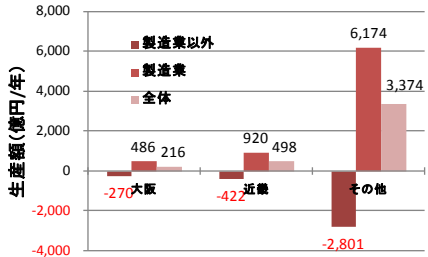


図3 シナリオBの産業の生産額変化量

図2はシナリオAでの産業の生産額の変化量を示したものである。シナリオAは、道路交通費用の低下による交通ネットワークの効率化によりすべての地域で産業全体の生産額は現状よりも増加した。産業別に変化を見てみると、製造業以外の産業はマイナスであるが、製造業ではプラスの変化になっている。また、製造業でのプラスの変化が他の産業でのマイナスよりも大きいので産業全体の生産額もプラスになった。

図3はシナリオBでの産業の生産額の変化量を示したものである。シナリオBもシナリオAと同様に、すべての地域で産業全体の生産額は増加した。また、大阪地域の製造業の生産額も増加した。これは、大阪の地域内の所要時間の増加に伴い、取引価格も上昇して、一般的に大阪の生産額は減少すると考えられる。しかし、大阪以外の地域間の所要時間が低下することや大阪地域の産業構造・特性があるため、大阪の製造業の生産額は増加したと考えられる。

図4は各シナリオの地域別CO2排出量の変化量を示したものである。このCO2排出量は各産業の生産額の変化量に依存しているため、シナリオAとB共に全ての地域でCO2排出量が増加した。これは、製造業以外の各産業に比べてCO2排出原単位が大きい製造業の生産額が、現状よりも増加したことにより、各地域のCO2排出量も増加した。

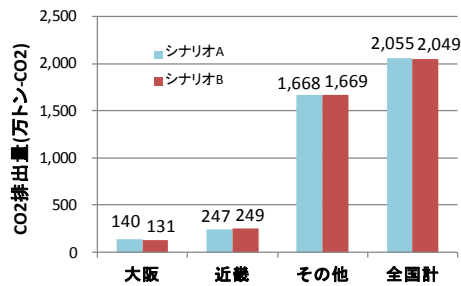


図4 CO2排出量の変化量

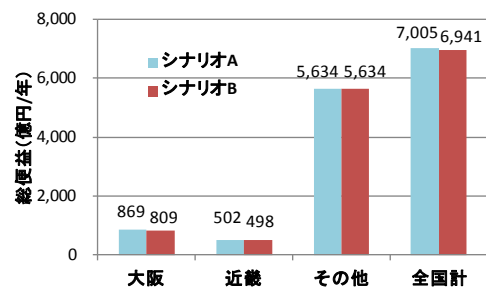


図7 CO2排出換算額を考慮した便益額

本研究での便益額は、EV（等価変分）により家計に帰する便益を計測した。図5はモデルにより計測した便益額の結果である。図6はCO2排出量の増加を経済的に損失として換算した額を表したものである。ここで、CO2排出量から金額換算に用いた単位変換係数は、-2,822(円/t-CO2)を用いた。図7は、モデルにより計測した便益額とCO2排出量による経済的換算額の二つを合計したCO2排出換算額を考慮した便益額である。図5の左がシナリオA、右がシナリオBである。それで、計測した各地域の便益額はシナリオA、B順に大阪地域で908億円、846億円、近畿地域で569億円、566億円、その他地域で6,093億円、6,094億円となり、日本全国計で7,571億円、7,505億円となった。CO2排出量の変化量に伴う、図6のCO2排出量による経済的換算額は、大阪地域で-39億円、-37億円、近畿地域で-67億円、-68億円、その他地域で-460億円、-460億円となり、日本全国計で-566億円、-564億円となった。図5と図6ともに各地域のシナリオ間に大きな差は見られなかった。しかし、図5の大阪地域には渋滞が増加したシナリオBにはシナリオAと比べて約60億円の減少した結果となった。図7でシナリオを比較すると、シナリオAとBに大きな差は見られなかった。

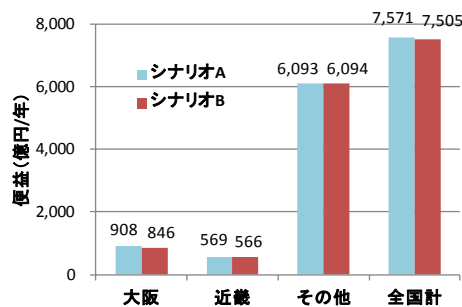


図5 モデルにより計測した便益額

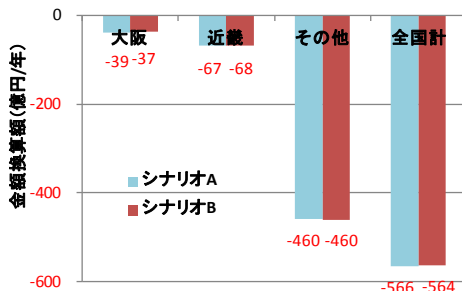


図6 CO2排出量による経済的換算額

5. おわりに

本研究は、道路交通費用の低下が所要時間に変化を与え、地域により移動時間が増加、減少するといったシナリオを各地域に設定することで、人口が集中している都市部とそれ以外の地方部において産業の規模が違う影響を考慮して分析を行った。特に、大阪の地域内の所要時間が現状より10%増加したシナリオBでもシナリオAと同様に、製造業の生産額は、地域間の所要時間が低下することや、中間投入や最終需要の産業同士の繋がりである産業連関構造があるために増加したという特徴が分かった。道路交通費用の低下は、製造業の生産額を増加させ、わが国の経済効果にプラスの影響を与える。しかし、製造業の生産額の増加は、現状よりもCO2排出量を増加させ、地球環境にはマイナスの影響を及ぼす。具体的には、大阪地域の経済効果はシナリオAに比べると小さいがシナリオBでも約800億円ある。一方で、CO2排出量はシナリオA、Bともに増加してしまうため、無料化の政策は他の環境政策と同時に進めることが必須となる。

本研究は、便宜上、大阪・近畿・その他の3地域区分での設定、道路交通費用の低下が各地域に10%の所要時間の増減を与えると想定、地域の移動を1%の差で考慮した輸送マージン率の設定、代替弾力性 σ をすべて2.0と外生的に与えた仮定の下で分析を行った。今後の課題は、東京・その他の地域区分で設定し分析を行うこと、その産業構造の特徴に本研究との差異が存在することの確認や所要時間、地域間を考慮した輸送マージン率、代替弾力性の数値を現実のデータから設定をすることでより精密な分析をすることである。

[参考文献]

- 1) 上田孝行編著：Excelで学ぶ地域・都市経済学，コロナ社，pp79-110，2010.
- 2) 国立環境研究所：温室効果ガスインベントリオフィス，日本の温室効果ガス排出量データ（1990～2007年度）確定値，掲載日2009.4.30.
- 3) 国立環境研究所：産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID），原単位データファイル，2000，大分類，内生部門32部門，生産者価格ベース，
- 4) 大阪府ホームページ：平成12年度大阪府地域間産業連関表
- 5) 小池淳司・細江宣裕・下村研一・片山慎太郎：独占的競争モデルによる災害の空間的応用一般均衡分析，国民経済雑誌，Vol.196，No.4，pp.1-18，2007.
- 6) 小池淳司・上田孝行・秋吉盛司，社会資本ストック崩壊による経済的被害の空間的把握—空間的応用一般均衡モデルによる計量厚生分析—，土木計画学研究・論文集，Vol.21，pp.367-374，2004.