



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

佐藤, 啓輔
小池, 淳司
川本, 信秀

(Citation)

土木学会論文集D3 (土木計画学), 69(5):I_283-I_295

(Issue Date)

2013

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

©2013 公益社団法人 土木学会

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90002813>



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

佐藤 啓輔¹・小池 淳司²・川本 信秀³

¹学生会員 復建調査設計株式会社 地域経済戦略チーム／神戸大学大学院工学研究科博士後期課程
(〒101-0032 東京都千代田区岩本町三丁目8-15)

E-mail: keisuke.sato@fukken.co.jp

²正会員 神戸大学大学院工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

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

³正会員 復建調査設計株式会社 地域経済戦略チーム (〒101-0032 東京都千代田区岩本町三丁目8-15)

E-mail: n.kawamoto@fukken.co.jp

これまで、空間的応用一般均衡モデルを活用した交通基盤整備の効果分析は多く行われてきたものの、分野別（例えば道路、港湾等）の効果計測が基本となっており、分野横断的な効果分析を可能とするモデル構築は行われてこなかった。本研究では、道路整備のみを分析対象としていた従来型の空間的応用一般均衡モデル（RAEM-Light）に対して、港湾整備を分析の対象として加えることで、同一のプラットフォームで分野横断的な事業の効果进行分析できる枠組みを構築した。本モデルの構築により、国土計画的観点からは交通基盤整備事業の優先度検討の基礎情報としての活用、整備される交通基盤の有効活用の観点からは各基礎自治体レベルの戦略的な産業政策検討のための基礎情報としての活用が期待される。

Key Words : *spatial computable general equilibrium model, road and port development effect*

1. はじめに

交通基盤整備は、道路整備に限ったものではなく、鉄道・空港・港湾整備など様々である。本来、このような経済・物流活動と密接にかかわる事業の整備にあたっては、その効果が地域経済活動へ与える影響を定量的に計測し事業の特性を把握した上で、分野横断的な整備優先順位、整備パッケージの検討、更には、そのような整備計画に対応した産業政策の検討等が行われるべきである。しかし、現状では、国土交通省が各担当局が策定する事業評価マニュアル^{1), 2), 3), 4)}は個別事業の評価に限定されており、分野横断的な事業効果の把握は十分に行われていない。

一方、空間的応用一般均衡モデル（Spatial Computable General Equilibrium；以下SCGEモデル）は、その成り立ちから、税制など料金施策の分析を得意としているが、モデリングを工夫することで様々な交通基盤整備の評価が可能である。これまでに、我が国では、道路整備ではMun⁵⁾、小池等⁶⁾など、鉄道整備では宮下・小池⁷⁾など、空港整備ではUeda, et al.⁸⁾など、港湾整備では石黒等⁹⁾、檜垣等¹⁰⁾など、各分野において取り組みが行われている。

しかし、同一のモデルの枠組みで分野横断的な整備効果を実証的に分析している事例は無い。

そこで、本研究ではSCGEモデルの枠組みを用いて、物流面での関係が深い道路と港湾に着目し、両交通基盤整備がなされた場合の地域経済へ与える効果を分析する。著者らは、これまで道路整備を対象とした汎用型のSCGEモデル「RAEM-Light」の開発（小池等⁶⁾等）を行ってきた。加えて、当該モデルをベースに、港湾取引の概念を考慮する改良を行った（小池等¹¹⁾）が、ここで構築したモデルは、港湾取扱い貨物の陸上輸送をモデル内に明示化することで、「道路整備とともに、仮に港湾取扱い貨物量が増加した際に道路整備による地域へ帰着効果がどの程度変化するのか」について計測を行っているにすぎない。つまり、分析対象とする事業は、あくまで道路整備であり、港湾施設内の物流コスト削減策（例えば、防波堤整備や多目的国際ターミナルの整備）による効果については計測可能な枠組みになっていない。本稿では、従来のRAEM-Lightで扱っていた陸上輸送コスト削減策としての道路整備に加えて、海上輸送コスト削減策としての港湾整備をインプット可能となるようにモデル構造を拡張するとともに、具体的な整備シナリオに基

づいた実証分析を行う。ただし、港湾施設を整備した場合の効果は多岐にわたり、また、その効果がどのようなメカニズムで発生するかに関して容易にモデル化できるとは言い難い。そこで本モデルでは、従来の RAEM-Light における企業行動および地域間交易行動モデルの概念をベースとした上で、統計制約をふまえて分析の対象地域内と地域外について、それぞれ異なるモデル構造を構築した。対象地域内との取引については、港湾整備により港湾施設を利用する物流の取引価格が低下し需要が変化する構造を取り入れた。一方、対象地域外との取引については、本来は、港湾取引の需要関数を推定しモデルに加える必要があるが、ここでは、それらに必要なデータが入手困難なことから、対象地域外との移輸出入の需要は変化しないものとして設定した。そのため、実証分析として、十分に港湾施設の整備効果を反映しているわけではないことに注意が必要である。ただし、これらのデータが入手可能であれば、移輸出入に関する需要関数を設定することで容易にモデル化が可能である。

2. 港湾整備効果計測のためのモデル構造

道路整備の効果を把握するためのモデルについては、小池等⁹⁾において既に構築していることから、本章では既存の道路整備効果計測モデルに対して追加する港湾整備効果計測のためのモデル構造を示す。

港湾を介した取引は、一般的に内貿（移入・移出）と外貿（輸入・輸出）に分けることができる。本稿では内外貿ともに分析の対象とするものの、データ制約の関係から分析の対象地域内と対象地域外で異なる効果計測の枠組みを構築する（図-1 参照）。

港湾整備による経済効果は、港湾を介した輸送コスト削減が各取引財の価格にその影響が転嫁され、結果的に生産能力の変化に影響を及ぼすことを意味する。そこで、本稿ではこのような影響が港湾背後地に立地する産業へ及ぼす影響に着目し図-2に示すような効果計測の波及状

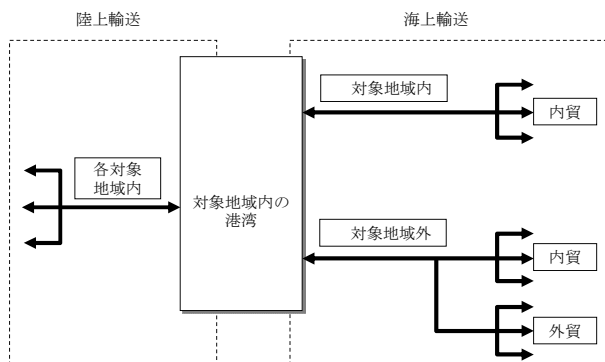


図-1 港湾を介した海上輸送の分類

況を想定する。

分析の対象地域内の取引については、取引の発着データを整理することで輸送コスト削減による財の購入先の変化を表現することが出来る。一方、外貿を含む対象地域外の取引については、取引の発着データが一部未整備であることから、輸送コスト削減による財の購入先の変化を考慮せず、購入先固定のもとでのコスト削減効果のみを考慮する。なお、対象地域内については、最終財および中間財の両方を対象とするが、対象地域外の財については、対象地域内企業を介して消費財として供給すると仮定し中間財として扱った。

以下に、分析の対象地域内、対象地域外別にモデル構造の詳細を示す。

(1) 分析の対象地域内（内貿）におけるモデル構造

分析の対象地域内（内貿）におけるモデル構造は、図-3の通りとする。従来の道路整備を対象とした陸上輸送コストの削減効果を計測するモデルに対して、港湾が立地する地区（図-3における広島地区・大阪地区）については、港湾立地地区間の海上輸送コストの削減による財の購入先（海上輸送取引）のシフトを考慮できるようモデル構築を行う。なお、本モデルでは陸上輸送と海上輸送のモード間の取引シェアは外生的に与えるものとしている。

港湾が立地する地区における輸送コストの表現は、式(1)で示すように財 m の地域 i から地域 j への財1単位当たりの総輸送コスト c_{ij}^m を財1単位当たりの海上輸送コスト ρ_{ij} と陸上輸送コスト ψ_{ij}^m に分けて定義する。このように各輸送モード別にコストを表現することで、それぞれの輸送コスト変化による財の購入先の変化を表現することが出来る。

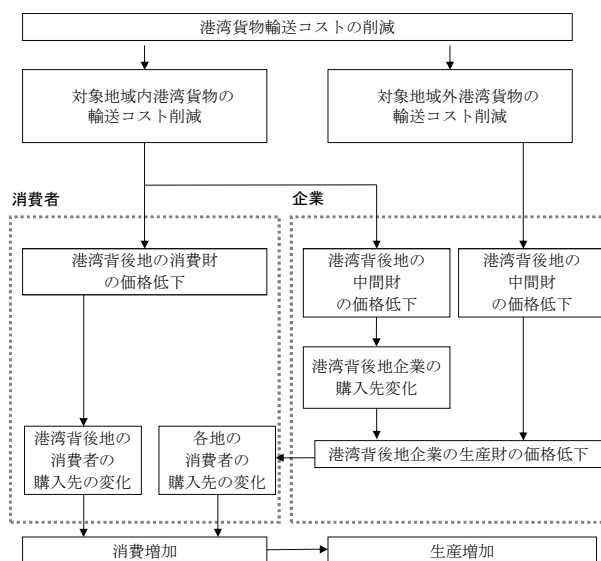


図-2 港湾貨物輸送のコスト削減効果の計測フロー

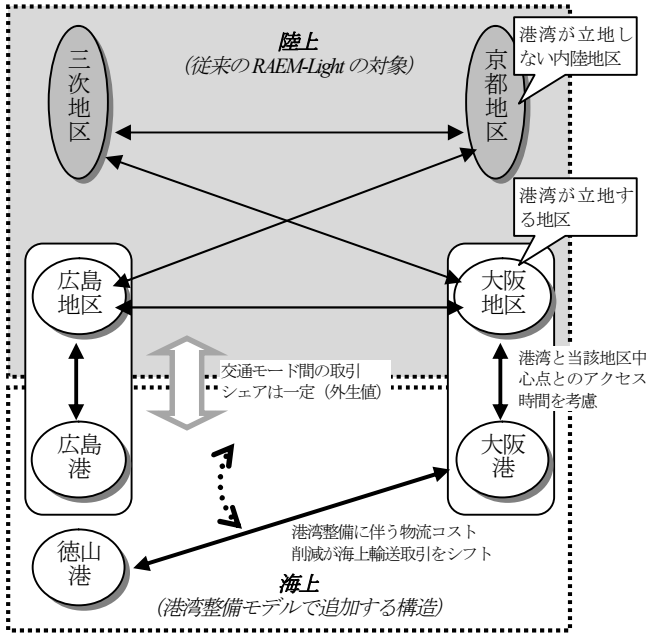


図-3 対象地域内のモデルイメージ

ここで、財1単位当たりの海上輸送コスト ρ_{ij} については、海上輸送単価が「港湾事業の費用対効果分析マニュアル（H16.6）」内で整理されていることから、当該マニュアルの単価を用いることで式(2)のように設定する。一方、財1単位当たりの陸上輸送コスト ψ_{ij}^m については、式(3)で示すように、既存のRAEM-Lightモデルにおける設定方法と同様に所要時間に時間価値を乗じたもので定義する（時間価値パラメータの推定方法は小池等⁶⁾ 参照）。なお、海上輸送シェア τ_{ij}^m については、物流センサスの品目別輸送量を用いて財別に与えるものとする。

$$c_{ij}^m = \tau_{ij}^m (1 + \rho_{ij}) + (1 - \tau_{ij}^m) (1 + \psi_{ij}^m) \quad (1)$$

c_{ij}^m : 財 m の地域 i から地域 j への財 1 単位当たりの総輸送コスト、 τ_{ij}^m : 財 m の地域 i から地域 j への海上輸送シェア、 ρ_{ij} : 地域 i から地域 j への財 1 単位当たりの海上輸送コスト、 ψ_{ij}^m : 財 m 地域 i から地域 j への財 1 単位当たりの陸上輸送コスト

財 1 単位当たりの海上輸送コストは、式(2)のように定義する。

$$\rho_{ij} = \frac{k_{ij}^m}{\mu z_{ij}^m} \quad (2)$$

k_{ij}^m : 財 m の地域 i の港湾から地域 j の港湾への港湾貨物輸送金額（円）、 μ : 1 トンあたり単価（円／トン）、 z_{ij}^m : 財 m の地域 i から地域 j への地域間交易量（トン）

財 1 単位当たりの陸上輸送コストについては、式(3)のように定義する。

$$\psi_{ij}^m = \phi_j^m t_{ij} \quad (3)$$

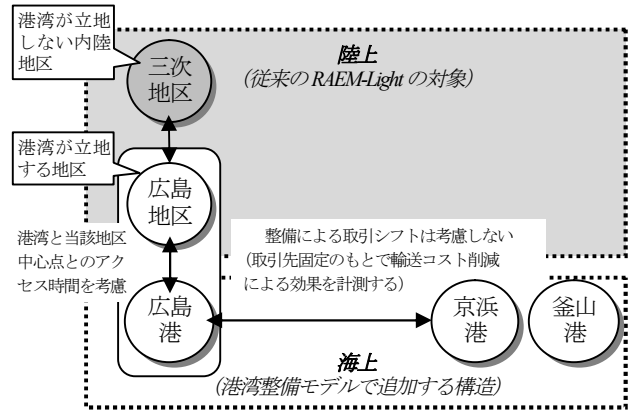


図-4 対象地域外のモデルイメージ

ϕ_j^m : 時間価値パラメータ、 t_{ij} : 地域 i から地域 j への陸上輸送による地域間所要時間

以上の構造では、例えば、広島港の港湾整備により広島港から大阪港への物流コスト削減が生じた場合、大阪港が既存の取引先である徳山港から広島港へ取引をシフトすることで、結果的に広島港が立地する広島地区における生産量が増加することになる。一方で、三次地区のように港湾が立地しない地区においては、このような広島地区での生産量の増加が広島地区と三次地区の取引を介して間接的に三次地区の生産活動に影響を与えることになる。本来、三次地区発の製品で広島港を経由して大阪港へ輸送している財については、港湾での取引コストの削減効果を三次地区は直接的に享受するはずであるが、港湾を介した陸上輸送と海上輸送を連続的に結ぶ純流動データは存在しないことから、このような表現は難しい。そのため、本稿では、内陸の地区については港湾立地地区における生産コスト削減効果を間接的に享受するような表現を行っている。ただし、仮に陸上輸送と海上輸送を連続的に結ぶ純流動データを入手することが出来れば、内陸地区についても海上輸送コストの直接的な削減効果を享受できるような構造に改善することが可能である。

(2) 対象地域外（内・外貿）におけるモデル構造

対象地域外の港湾（例えば京浜港や釜山港）との取引については、対象地域外の港湾関連データが取得できないため、図-4で示すように取引先を固定した上で輸送コスト削減による効果を算出する構造としている。

対象地域外の港湾との移輸入に伴う海上輸送コストは全て対象地域内の地区が負担するものとし、式(4)のように財の取引コストに対して、海上輸送コストを外生的にマークアップし表現する。なお、右辺第1項は既存のRAEM-Lightにおいて設定しているコブ・ダグラス型の企業行動の最適化問題から導出される財1単位当たりの生産コストであり、第2項はマークアップされる財1単位当たりの海上輸送コストである。

$$C_i^m(w_i, r) + M_i^m = \frac{w_i^{\alpha_i^m} r^{1-\alpha_i^m}}{A_i^m \alpha_i^m (1-\alpha_i^m)^{1-\alpha_i^m}} + \sum_{k \in I} \frac{k'_{ki}}{v_i^m} \quad (4)$$

w_i : 賃金率, r : 資本レント, α_i^m : 分配パラメータ, A_i^m : 効率パラメータ, C_i^m : 地域 i 財 m の1単位生産あたりの生産コスト, M_i^m : 対象地域外との財1単位当たりの海上輸送コスト, k'_{ki} : 地域 i が負担する港湾 k を介した対象地域外との海上輸送コスト, v_i^m : 地域 i における財 m の付加価値額

式(4)の地域 i が負担する港湾 k を介した対象地域外との海上輸送コスト k'_{ki} については, 式(5)のように定義する. 上述した通り, 港湾を介する純流動データは存在しないことから, 港湾 k において取引されている対象地域外の取引に関する海上輸送コストを港湾 k における地域 i からの搬入量 (トン) で案分することで, 地域 i が負担する港湾 k を介した対象地域外との海上輸送コスト k'_{ki} を表現する.

$$k'_{ki} = K_k pts_{ki} \quad (5)$$

K_k : 港湾 k と対象地域外との海上輸送コスト, pts_{ki} : 港湾 k の陸上地域からの全搬入量に対する地域 i (陸上地域) からの搬入シェア

なお, pts_{ki} については, 式(6)により定義する.

$$pts_{ki} = \frac{\sum_m ptp^m ptz_{ki}^m}{\sum_i \sum_m ptp^m ptz_{ki}^m} \quad (6)$$

ptz_{ki}^m : 財 m の港湾 k の地域 i (陸上地域) からの搬入トン数, ptp^m : 財 m の搬入量1トンあたり価値

3. 道路・港湾整備効果計測のためのRAEM-Lightモデルの全体構造

2章で示した港湾整備効果計測のためのモデル構造をふまえ道路・港湾整備の両交通基盤整備の効果を計測可能なRAEM-Lightモデルを以下のとおり構築する. なお, 社会経済に対して従来通り以下の前提条件を設定する.

- ・多地域多産業で構成された経済を想定する.
- ・財生産企業は, 家計から提供される生産要素 (資本・労働), 他の財生産企業が生産した生産物を投入して, 新たな生産財を生産する.
- ・家計は企業に生産要素 (資本・労働) を提供して所得を受け取る. そして, その所得をもとに財消費を行う.
- ・交通抵抗をIce-berg型で考慮する.

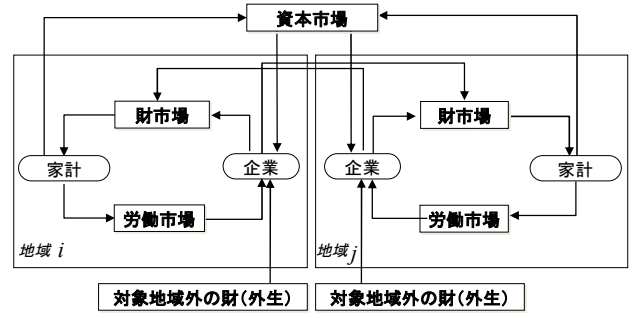


図-5 RAEM-Lightで設定する社会構造

- ・労働市場は地域で閉じているものの, 資本市場は全地域に開放されているものとする.

モデル式内のサフィックスは以下のとおりとする.

地域を表すサフィックス: $\mathbf{I} \in \{1, 2, \dots, i, \dots, I\}$

財を表すサフィックス: $\mathbf{M} \in \{1, 2, \dots, m, \dots, M\}$

モデル内で想定する社会構造は, 図-5に示す通りである. 対象地域外との移輸出入を外生的に追加する以外は, 全て価格をシグナルとした需給均衡のもとで取引量が内生的に決定される構造となっている.

(1) 企業行動モデル

各地域には生産財ごとに1つの企業が存在することを想定し, 地域 i において財 m を生産する企業の生産関数をレオンチェフ型で仮定すると以下ようになる.

$$Y_i^m = \min \left\{ \frac{v_i^m}{a_i^{0m}}, \frac{x_i^{lm}}{a_i^{lm}}, \dots, \frac{x_i^{nm}}{a_i^{nm}}, \dots, \frac{x_i^{Nm}}{a_i^{Nm}} \right\} \quad (7)$$

Y_i^m : 地域 i 財 m の生産量, v_i^m : 地域 i 財 m の付加価値, x_i^{nm} : 地域 i の産業 n から産業 m への中間投入, a_i^{nm} : 地域 i の産業 n から産業 m への投入係数, a_i^{0m} : 地域 i 財 m の付加価値比率

さらに, 付加価値関数をコブダグラス型で以下のように仮定する.

$$v_i^m = A_i^m (L_i^m)^{\alpha_i^m} (K_i^m)^{1-\alpha_i^m} \quad (8)$$

L_i^m : 地域 i 財 m の労働投入, K_i^m : 地域 i 財 m の資本投入, α_i^m : 分配パラメータ, A_i^m : 効率パラメータ

付加価値生産に関する最適化問題は以下のような費用最小化行動となる.

$$\begin{aligned} \min & \quad w_i L_i^m + r K_i^m \\ \text{s.t.} & \quad v_i^m = A_i^m (L_i^m)^{\alpha_i^m} (K_i^m)^{1-\alpha_i^m} \end{aligned} \quad (9)$$

α_i^m : 分配パラメータ, A_i^m : 効率パラメータ

上式より, 生産要素需要関数 L_i^m , K_i^m と生産者価格 q_i^m が超過利潤ゼロの条件から平均費用として得られる.

$$L_i^m = \frac{\alpha_i^m}{w_i} a_{oi}^m q_i^m Y_i^m \quad (10)$$

$$K_i^m = \frac{1 - \alpha_i^m}{r} a_{oi}^m q_i^m Y_i^m \quad (11)$$

$$q_i^m(w_i, r) = C_i^m(w_i, r) = \frac{w_i^{\alpha_i^m} r^{1-\alpha_i^m}}{A_i^m \alpha_i^{\alpha_i^m} (1 - \alpha_i^m)^{1-\alpha_i^m}} \quad (12)$$

C_i^m : 地域*i*財*m* の 1 単位生産あたりの生産コスト,
 q_i^m : 地域*i*財*m* の生産地価格

なお、港湾が立地する地区については、生産者価格に対して、対象地域外との港湾取引に関わる海上輸送コストを以下のようにマークアップする。

$$C_i^m(w_i, r) + M_i^m = \frac{w_i^{\alpha_i^m} r^{1-\alpha_i^m}}{A_i^m \alpha_i^{\alpha_i^m} (1 - \alpha_i^m)^{1-\alpha_i^m}} + \frac{\sum_{k \in I} (k'_{ki})}{v_i^m} \quad \text{再掲(4)}$$

M_i^m : 対象地域外との財1単位当たりの海上輸送コスト, k'_{ki} : 地域*i*が負担する港湾*k*を介した対象地域外との海上輸送コスト, v_i^m : 地域*i*における財*m* の付加価値額

式(4)の地域*i*が負担する港湾*k*を介した対象地域外との海上輸送コスト k'_{ki} については、式(5)のように定義する。上述した通り、港湾を介する純流動データ（生産地から消費地までの流動）は存在しないことから、港湾*k*において取引されている対象地域外の取引に関する海上輸送コストを港湾*k*における地域*i*から搬入量（トン）で案分することで、地域*i*が負担する港湾*k*を介した対象地域外との海上輸送コスト k'_{ki} を表現する。

$$k'_{ki} = K_k pts_{ki} \quad \text{再掲(5)}$$

K_k : 港湾*k* と対象地域外との海上輸送コスト, pts_{ki} : 港湾*k* の陸上地域からの全搬入量に対する地域*i*（陸上地域）からの搬入シェア

なお、 pts_{ki} については、式(6)により定義する。

$$pts_{ki} = \frac{\sum_m ptp^m ptz_{ki}^m}{\sum_i \sum_m ptp^m ptz_{ki}^m} \quad \text{再掲(6)}$$

ptz_{ki}^m : 財*m* の港湾*k*の地域*i*（陸上地域）からの搬入トン数, ptp^m : 財*m* の搬入量 1 トンあたり価値

(2) 家計行動モデル

各地域には家計が存在し、自己の効用が最大になるよう自地域と他地域からの財を消費するとする。このような家計行動が以下のような所得制約下での効用最大化問題として定式化できる。

$$\begin{aligned} \max. U_i(d_i^1, d_i^2, \dots, d_i^M) &= \sum_{m \in M} \beta_i^m \ln d_i^m \\ \text{s.t. } \bar{l}_i w_i + r \frac{\bar{K}}{T} &= \sum_{m \in M} p_i^m d_i^m \end{aligned} \quad (13)$$

U_i : 地域*i* の効用関数, d_i^m : 地域*i* 財*m* の消費水準,
 p_i^m : 地域*i* 財*m* の消費者価格, β_i^m : 財*m* の消費の分配パラメータ ($\sum \beta_i^m = 1$), \bar{K} : 資本保有量, \bar{l}_i : 一人当たりの労働投入量 $\bar{l}_i = \sum_{m \in M} L_i^m / N_i$, T : 総資本量

上式より、消費財の最終需要関数 d_i^m が得られる。

$$d_i^m = \beta_i^m \frac{1}{p_i^m} \left(\bar{l}_i w_i + r \frac{\bar{K}}{T} \right) \quad (14)$$

(3) 地域間交易モデル

Harker モデルに基づいて、各地域の需要者は消費者価格が最小となるような生産地の組み合わせを購入先として選ぶとする。地域*j*に住む需要者が生産地*i*を購入先として選択したとし、その誤差項がガンベル分布に従うと仮定すると、その選択確率は、次式の Logit モデルで表現できる。

$$s_{ij}^m = \frac{Y_i^m \exp[-\lambda_j^m q_i^m c_{ij}^m]}{\sum_{k \in I} Y_k^m \exp[-\lambda_j^m q_k^m c_{kj}^m]} \quad (15)$$

c_{ij}^m : 財*m* の地域*i*から地域*j*への財の生産地価格に対して付加される財 1 単位当たりの総輸送コスト, λ_j^m : 価格に関するパラメータ, Y_i^m : 地域*i*における財*m* の付加価値額

なお、生産地価格に対して付加される財 1 単位当たりの総輸送コスト c_{ij}^m は、海上輸送コストと陸上輸送コストを用い、以下の式により算出する。

$$c_{ij}^m = \tau_{ij}^m (1 + \rho_{ij}) + (1 - \tau_{ij}^m) (1 + \psi_{ij}^m) \quad \text{再掲(1)}$$

c_{ij}^m : 財*m* の地域*i*から地域*j*への財 1 単位当たりの総輸送コスト, τ_{ij}^m : 財*m* の地域*i*から地域*j*への海上輸送シェア, ρ_{ij} : 地域*i*から地域*j*への財 1 単位当たりの海上輸送コスト, ψ_{ij}^m : 財*m* 地域*i*から地域*j*への財 1 単位当たりの陸上輸送コスト

財 1 単位当たりの海上輸送コストを式(2)に示す。

$$\rho_{ij} = \frac{k_{ij}^m}{\mu z_{ij}^m} \quad \text{再掲(2)}$$

k_{ij}^m : 財*m* の地域*i*の港湾から地域*j*の港湾への港湾貨物輸送金額(円), μ : 1 トンあたり単価(円/トン), z_{ij}^m : 財*m* の地域*i*から地域*j*への地域間交易量(トン)

財 1 単位当たりの陸上輸送コストを式(3)に示す。

$$\psi_{ij}^m = \varphi_j^m t_{ij} \quad \text{再掲(3)}$$

φ_j^m : 時間価値パラメータ, t_{ij} : 地域*i* から地域*j* への陸上輸送による地域間所要時間

なお, 消費者価格は次の式を満たしている.

$$p_j^m = \sum_{i \in I} s_{ij}^m q_i^m c_{ij}^m \quad (16)$$

q_i^m : 地域*i* 財 *m* の生産者価格

(4) 市場均衡条件式

本モデルでは, 以下の市場均衡条件が成立する.

労働市場

$$\sum_{m \in M} L_i^m = \bar{L}_i \quad (17)$$

財市場

$$\begin{bmatrix} 1 - a_i^{11} & \cdots & 0 - a_i^{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 - a_i^{M1} & \cdots & 1 - a_i^{MN} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} N_i d_i^1 \\ \vdots \\ N_i d_i^M \\ N_i d_i^M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i^1 \\ \vdots \\ X_i^m \\ X_i^M \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$z_{ij}^m = X_j^m s_{ij}^m \quad (19)$$

$$Y_i^m = \sum_{j \in J} c_{ij}^m z_{ij}^m \quad (20)$$

z_{ij}^m : 財 *m* の地域*i* から地域*j* の交易量, X_j^m : 地域*i* 財 *m* の消費量, a_j^{mn} : 地域*j* の産業 *m* から産業 *n* への投入係数

生産者価格体系

$$q_j^n = a_{0j}^n c v_j^n + \sum_{m \in M} a_j^{mn} \sum_{i \in I} s_{ij}^m q_i^n c_{ij}^m \quad (21)$$

4. 実証分析

(1) パラメータ

本稿におけるパラメータ推定方法は表-1の通りである.

(2) 対象地域

対象地域は, 図-6の通り2府9県を対象とし, ゾーニングは中国地方内についてはH18時点の市町村, その他については2次生活圈とした.

(3) 対象事業

対象事業は, 図-7および表-2で示す道路事業および港

湾事業とする. 港湾事業については, 各港湾の事業評価資料内に記載されている整備事業(防波堤, 多目的国際ターミナル, 航路, 泊地)をそれぞれ対象とした.

(4) 産業分類

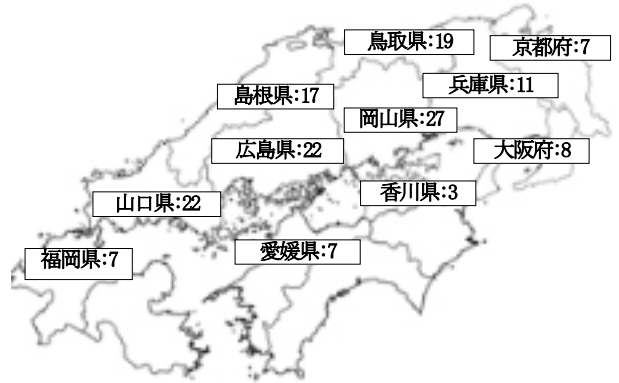
産業分類は, 表-3のとおり26分類とする. なお, 観光業については既存統計データが存在しないことから, 小池・佐藤⁶⁾を基に付加価値額を推定し設定した.

(5) 現況再現性の確認

本モデルにおける現況再現性(各地域の産業別付加価値額)を表-4に示す.

表-1 パラメータ

パラメータ	推定・設定方法
α_i^m : 分配パラメータ	$\alpha_i^m = \frac{w_i L_i^m}{w_i L_i^m + r K_i^m}$
A_i^m : 効率パラメータ	$A_i^m = \frac{y_i^m}{(L_i^m)^{\alpha_i^m} (K_i^m)^{1-\alpha_i^m}}$
β_i^m : 消費の分配パラメータ	最終需要額に占める各財のシェアと設定.
λ_i^m, φ_i^m : 地域間交易モデルのパラメータ	グリッドサーチ法により推定. なお, 各財の交通 OD は施設間流動データである H17 道路交通センサスの積載品目別 OD を活用している. しかし, 本来, 経済データと整合性のある交通データは純流動ベースのデータであることから, 本稿では内々率の補正として各県の産業連関表の産業別の自給率を各財の交通 OD の内々率におきかえることで交通 OD データを作成している. 本手法による推計は, 内々率が県内で一定となるため, より精度の高い交通 OD の推計方法については今後検討していく必要がある.
τ_{ij}^m : 海上輸送シェア	H17 物流センサスより設定



※県別の数値は各県内のゾーニング数

図-6 ゾーニング

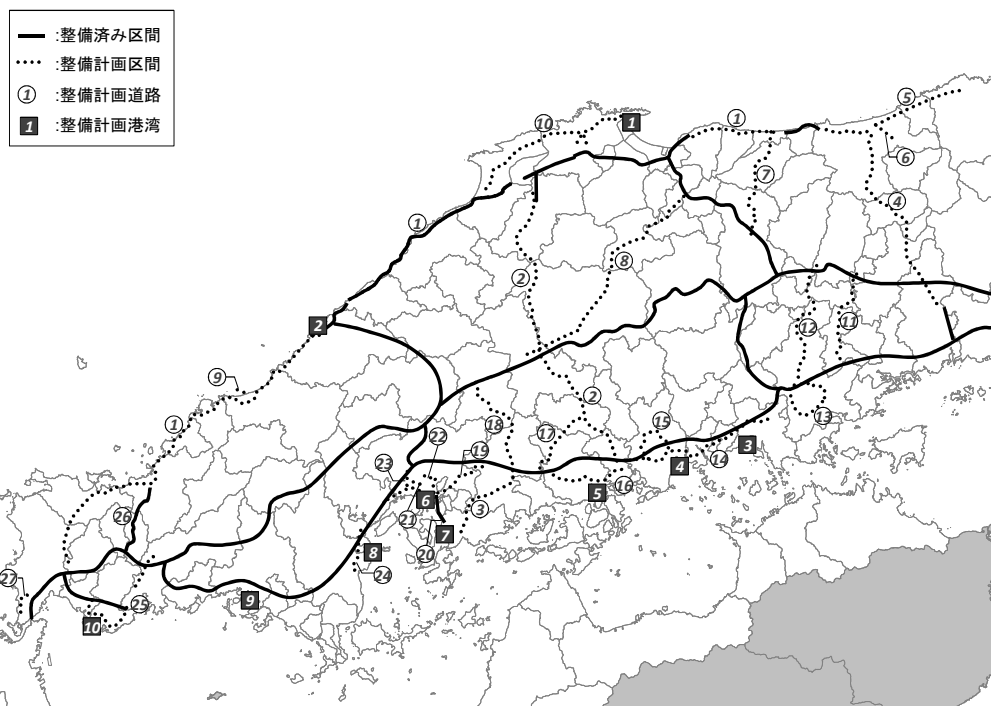


図-7 分析対象事業箇所

表-2 分析対象事業一覧

道路事業（○内の番号と対応）		
1	山陰道	15 福山環状道路
2	中国横断自動車道 尾道松江線	16 福山本郷道路
3	東広島・呉自動車道	17 広島中央フライトロード
4	中国横断自動車道 姫路鳥取線	18 東広島高田道路
5	鳥取豊岡宮津自動車道	19 東広島廿日市道路
6	鳥取環状道路	20 広島呉道路
7	北条湯原道路	21 広島西道路
8	江府三次道路	22 広島高速道路
9	石見空港道路	23 草津沼田道路
10	境港出雲道路	24 岩国大竹道路
11	美作岡山道路	25 山口宇部小野田連絡道路
12	空港津山道路	26 小郡萩道路
13	岡山環状道路	27 下関西道路
14	倉敷福山道路	

港湾事業（□内の番号と対応）	
1	境港
2	浜田港
3	水島港
4	福山港
5	尾道系崎港
6	広島港
7	呉港
8	徳山下松港
9	岩国港
10	宇部港

※表内の番号は、それぞれ図-7内の○と□内の番号に対応

※道路事業は全て新規供用路線を対象

表-3 産業分類

no	産業名
1	農林業
2	漁業
3	鉱業・採石業・砂利所得業
4	建設業
5	食料品製造業
6	飲料・たばこ・飼料製造業
7	繊維工業
8	パルプ・紙・紙加工品製造業
9	化学工業
10	石油製品・石炭製品製造業
11	プラスチック製品製造業
12	ゴム製品製造業
13	窯業・土石製品製造業
14	鉄鋼業
15	非鉄金属製造業
16	金属製品製造業
17	一般機械器具製造業
18	電子部品・デバイス・電子回路製造業
19	電気機械器具製造業
20	情報通信機械器具製造業
21	輸送用機械器具製造業
22	その他製造業
23	卸売業
24	小売業
25	観光業
26	その他サービス業

農林業等の産業規模の小さい産業については若干再現性が低下しているものの、産業全体でみると、再現性はある程度確保されている。

(6) 道路整備・港湾整備のインプット条件の整理

道路整備・港湾整備それぞれについて、RAEM-Lightにインプットする条件を整理する。道路整備については地域間の所要時間の算出を平成17年度道路交通センサス一般交通量調査（現況）のODデータをベースとした利用者均衡配分により算出した。算出条件は表-5の通りで

表-4 産業別付加価値額の現況再現性の結果一覧

no	産業名	相関係数	%RMS
1	農林業	0.71	24.40
2	漁業	0.95	0.96
3	鉱業・採石業・砂利所得業	0.84	16.97
4	建設業	0.93	6.96
5	食料品製造業	0.96	3.46
6	飲料・たばこ・飼料製造業	0.99	7.68
7	繊維工業	0.97	6.43
8	パルプ・紙・紙加工品製造業	0.98	9.85
9	化学工業	0.99	5.33
10	石油製品・石炭製品製造業	0.97	9.20
11	プラスチック製品製造業	0.95	6.85
12	ゴム製品製造業	0.99	2.38
13	窯業・土石製品製造業	0.86	18.45
14	鉄鋼業	0.99	0.82
15	非鉄金属製造業	0.99	10.61
16	金属製品製造業	0.94	5.00
17	一般機械器具製造業	0.99	2.42
18	電子部品・デバイス・電子回路製造業	0.99	0.74
19	電気機械器具製造業	0.93	7.41
20	情報通信機械器具製造業	0.97	7.81
21	輸送用機械器具製造業	0.98	2.37
22	その他製造業	0.98	1.35
23	卸売業	1.00	1.05
24	小売業	0.94	3.52
25	観光業	0.95	4.28
26	その他サービス業	1.00	3.09
27	GRP	1.00	0.00

表-5 利用者均衡配分条件

設定項目	設定内容
初期速度	センサスピーク時速度等を参考に設定
交通容量	平成17年度道路交通センサス一般交通量調査（現況）に基づいて設定。ただし、一般道路と高速道路の並行区間において、一般道路の自由流速度に高い値が与えられたため交通量配分結果に著しい問題が生じた場合など、不適切な設定と考えられる場合には適宜見直し
リンクパフォーマンス関数 ^{※1}	全道路種別共通 $\alpha=0.48, \beta=2.82$
時間評価値 ^{※2}	30円／分・台
収束条件	各収束ステップでのゾーン間のリンク交通量と1ステップ前の交通量との変化割合が0.001を切った段階（ゾーン間の全ルート所要時間がほぼ等しくなる状態）で計算を終了。
将来整備道路の速度	各道路の設計速度と設定

※1：リンクパフォーマンス関数のパラメータは、道路交通需要予測の理論と適用（土木学会）¹⁴⁾内の数値を使用。

※2：中国地方内でのアンケート調査結果¹⁵⁾をもとに設定。

ある。

次に、港湾整備については、各港湾事業の事業評価資料において整理されている貨物別の海上輸送コスト削減額（表-6参照）を使用した。

表-6で示すように中国地方内で計画されている港湾整備は、対象地域外との取引に対する海上輸送コスト削減を意図したものが多い。本稿では、対象地域外との取引

表-6 港湾別の海上輸送コスト削減額

港名	事業名	対象貨物	輸送コスト削減額 （百万円）
境港	防波堤	コンテナ（輸出）	83
		コンテナ（輸入）	73
浜田港	防波堤	完成自動車（輸出）	32
		原木（輸入）	361
		石炭（輸入）	111
水島港	多目的国際ターミナル （水深12m）	コンテナ（輸出入）	1,468
		コンテナ（輸出入）	1,220
		コンテナ（輸出入）	236
		飼料（輸入）	248
福山港	航路（水深16m）	鉄鉱石・石炭（輸入）	1,408
	多目的国際ターミナル （水深10m）	コンテナ（輸出・輸入）	568
		コンテナ（輸出・輸入）	73
		その他輸送機械（輸出）	339
尾道系崎港	多目的国際ターミナル （水深12m）	原木（輸入）	1,290
広島港	多目的国際ターミナル （水深11m, 12m）	建設機械（輸出）	2,211
		建設機械（移出）	3,330
徳山下松港	多目的国際ターミナル （水深12m）	石炭（輸入）	6,585
岩国港	多目的国際ターミナル （水深12m）	石炭（輸入）	499
		原木（輸入）	344
宇部港	航路・泊地 （水深13m）	林産品（輸入）	152
		工業原料鉱物（輸入）	226
		石炭（輸入）	72
		原塩（輸入）	152
		化学工業品（輸出）	804

については、2章の(2)で示したように海上輸送コスト削減額を各港湾の搬入シェアで地区別に案分し、地区別の海上輸送コスト削減額を算出している。図-8に按分した地区別の海上輸送コスト削減額を示す。この図からは、周南市地区や福山市地区などの港湾整備計画のある地区において海上輸送コスト削減額が大きくなっているものの、港湾整備計画のない地区においては海上輸送コストの直接的な削減は大きくは見込まれないことが分かる。一方、輸出入のうち、対象地域内の港湾から阪神港へのフィーダー輸送を介した取引については、対象地域内港湾の整備により、各港湾から阪神港へのフィーダー輸送の量が増えることが想定される（例えば整備港湾が未整備港湾から取引を奪取るケース等）。そのため、対象地域内から阪神港へのフィーダー輸送については、対象地域内取引としてモデル内で表現する。ただし、各港湾の取り扱い貨物のうちフィーダー輸送のシェアに関する情報を入手できなかったため、水島港、福山港、広島港の海上輸送コスト削減額の3割が阪神港へのフィーダー輸送を介した輸出入取引のコスト削減額であるものとした。

(7) 分析結果

港湾整備による地区別の付加価値額の変化であるGRP（Gross Regional Product）変化額を図-9に示す。対象地域外との海上輸送コスト削減額が対象地域内に対して大きいことから図-8で示した海上輸送コスト削減額の帰着地区を中心に整備効果が大きく発現する傾向となっている。ただし、本稿では施設間流動データである陸上出入貨

物調査結果を用いて港湾と背後圏地区との流動を設定していることから、純流動データに比べて背後圏の地区との流動は限定的となっており、その流動をもとに効果が帰着している点に留意する必要がある。現在、港湾統計整備の改正が行われ、背後圏の純流動データとして、外貨については「全国輸出入コンテナ貨物流動調査」、内貨については「内貨ユニットロード貨物流動調査」、パ

ルクについては「バルク貨物流動調査結果」などが整備されていることから、今後は、これらの流動データを活用した実証分析を行うことで背後圏への波及的影響を適切に反映することが可能である。

次に、道路整備と港湾整備をあわせた効果を図-10に示す。本稿で想定している道路整備への投資規模は港湾に対して非常に大きいことから、地域全体としては道路整備による影響が港湾整備による影響よりも大きく算出されている。また、式(4)で示した生産コストに対する海上輸送コストのマークアップの比率は、港湾統計資料から推計すると概ね10%程度となることから、対象地域外との海上輸送コスト削減が生産活動に与える影響が限定的である点も影響している。ただし、周南市地区および宇部市地区の2地区については、港湾整備による効果が道路整備よりも高くなる結果となっている。両地区の特徴として、両地区にとって陸上輸送取引が活発である関西方面、九州方面に対して時間短縮をもたらす道路整備が少ない一方で、海上輸送コストの削減額が大きいことから、港湾整備による効果が道路整備による効果よりも高くなっているものと考えられる。なお、周南市・宇部市地区ともに、現況の陸上輸送による関西方面への出荷割合（内々除く）は40%弱、九州方面への出荷は20%弱となっており、陸上輸送の大半が東西方向の取引となっている。一方、港湾における輸出入取引について、本稿では現況の需要を固定として分析を行っているが、海上輸送の需要については、東南アジアの経済発展と

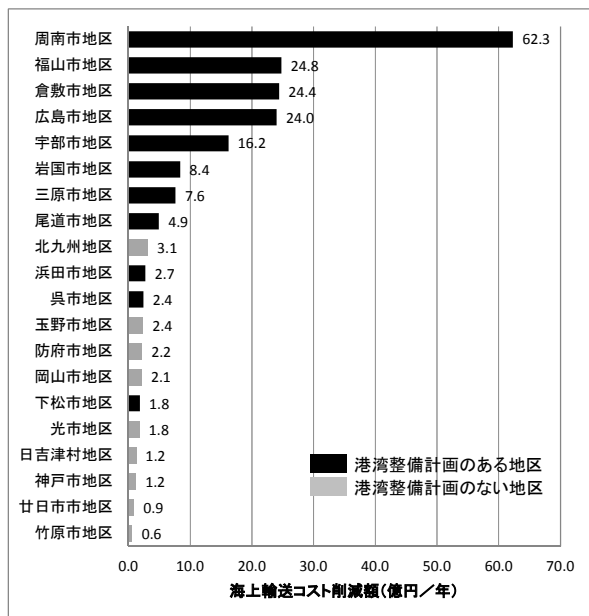


図-8 対象地域外取引に対する海上輸送コスト削減額の地区別の帰着額（上位20位）

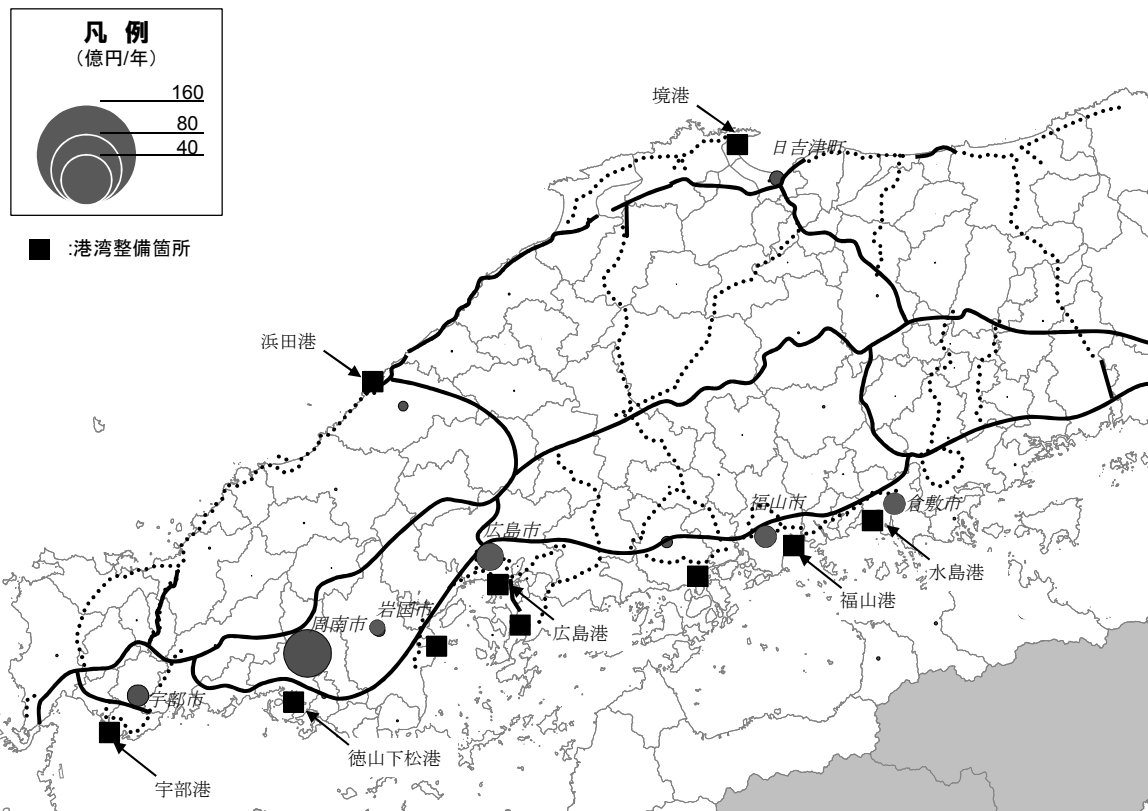
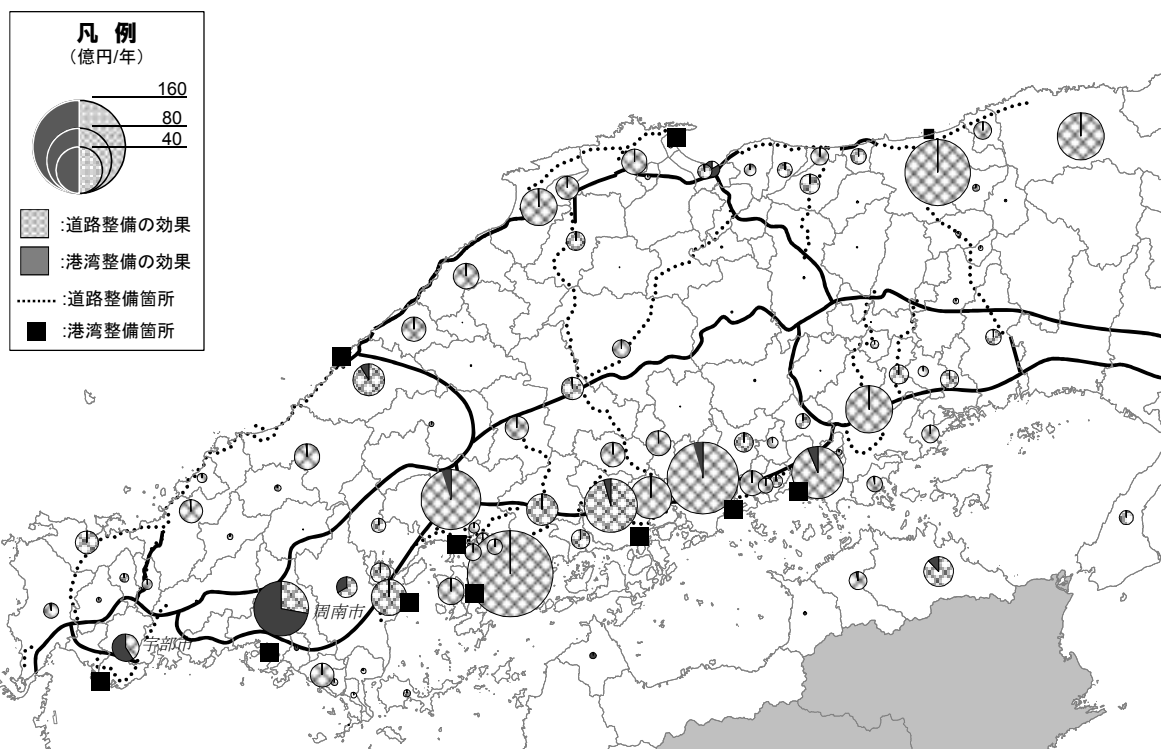


図-9 港湾整備によるGRP変化額（億円/年）



※円グラフ内の効果のシェアは、道路整備・港湾整備それぞれを単独に実施した場合の効果のシェアを示す。

図-10 道路整備・港湾整備によるGRP変化額（億円／年）

もに製造業の水平分業化などが進行し国際的な取引が増加することが予想される。本稿で構築したモデルでは需要を外生的に与える構造としていることから、今後は、将来の需要変動シナリオをふまえた分析を行うことで、社会情勢の変化の中で港湾が担う役割を明確化していく必要があると考える。

最後に、産業別の付加価値額変化について示す。図-11は、現況の中国地方内における県別・産業別の付加価値額を示したものである。製造業では化学工業、鉄鋼業、一般機械器具製造業、輸送用機械器具製造業などで高くなっており、サービス業では卸売・小売および観光業において高くなっている。

次に、本稿で分析した道路整備および港湾整備の産業別の付加価値額の変化量及び変化率を図-12及び図-13に示す。なお、道路整備の効果については、モデルの構造上、時間短縮が影響する地域間交通量が多く、時間価値の高い産業（輸送コスト削減による需要変動の感度の高い産業）において、効果が大きく帰着することになる。

図-12からは一般機械器具製造業、観光業、卸売業、食料品製造業、化学工業、卸売業などの産業において変化量が高くなっていることが分かる。これらの産業は中国地方内でも一定規模を有する産業であり、道路整備により一層集積度合いを高まることが期待される。一方で、変化率に着目すると現状の産業規模は小さいものの比較的広域に交易がおこなわれている農林業、漁業、電気機械系産業等において高い数値となっている。ただし、こ

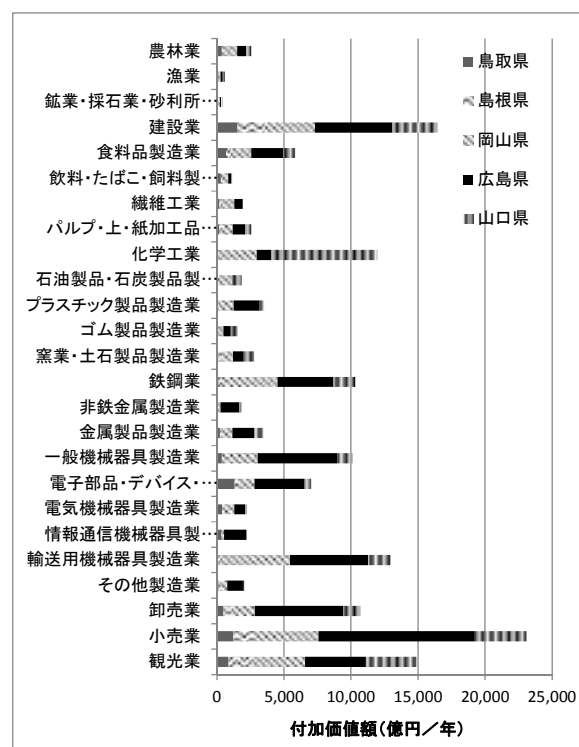


図-11 中国地方内の県別・産業別の付加価値額（H19）

れらの産業別の付加価値額変化については、地域間交通モデルにおける時間価値のパラメータに影響を受けることから、変化の妥当性については各産業の特性をふまえて検証を行う必要がある。

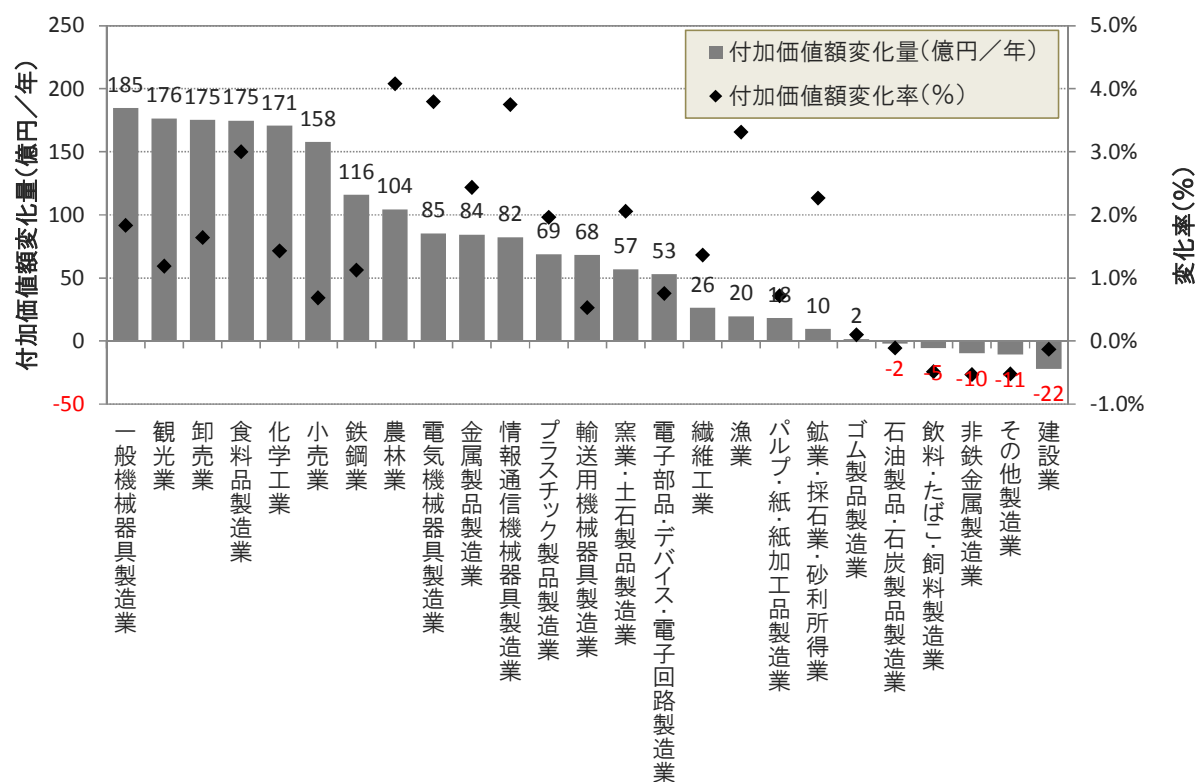


図-12 道路事業の産業別（その他サービス業除く）の付加価値額の変化量と変化率（中国地方全域）

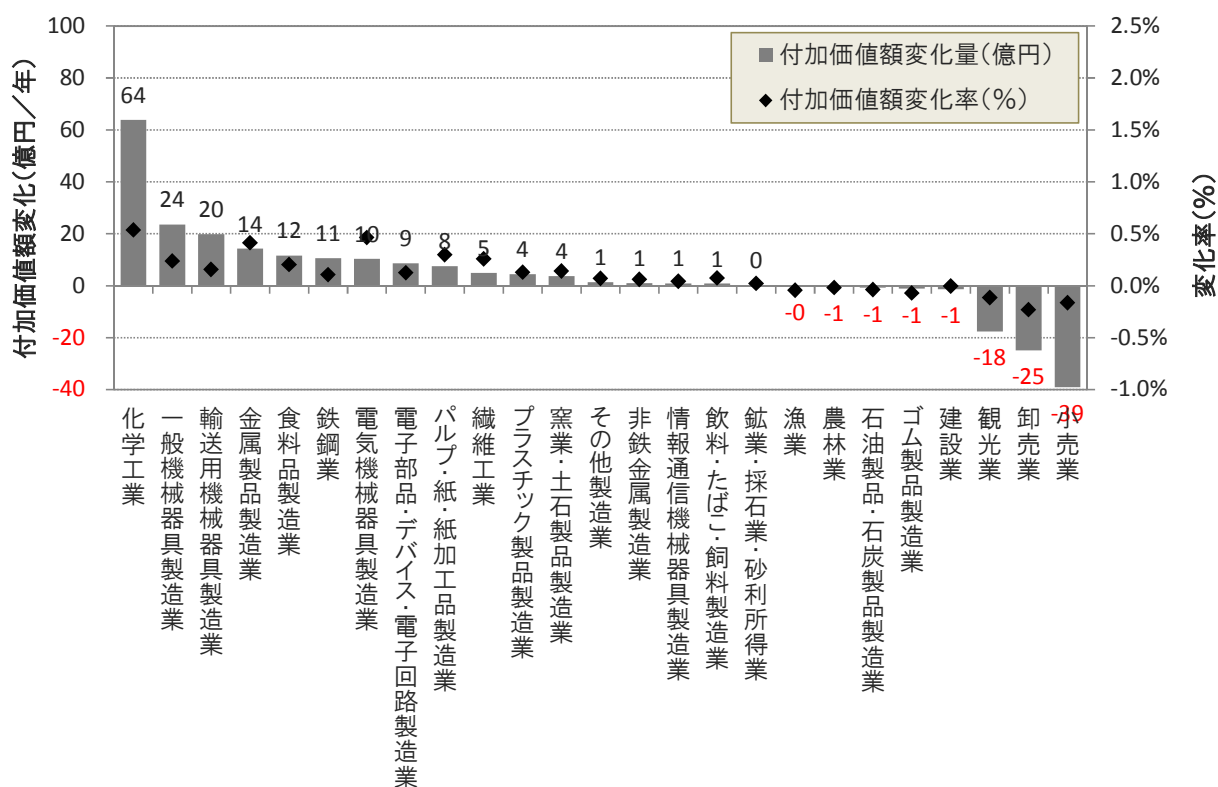


図-13 港湾事業の産業別（その他サービス業除く）の付加価値額の変化量と変化率（中国地方全域）

次に港湾整備の効果についてみると、中国地方内で計画されている港湾整備メニューの中心が石炭等の化学工業に対する海上輸送コストの削減であることから（表-6参照）、図-13に示すように化学工業において大きな効果が発現している。次いで、コンテナ輸送に対する海上輸送コスト削減および化学工業の生産増加による間接的な影響により、一般機械器具、輸送機械器具等の製造業においても効果が発現している。ただし、コンテナに関する海上輸送コスト削減効果については、上述した通り阪神港を経由したフィーダー輸送の実態に関する情報を入手することで、より精緻に算出することが可能である。

5. おわりに

本稿では、既往研究で構築した道路整備による時間短縮を政策変数とする空間的応用一般均衡モデルに対して、港湾整備による海上輸送コスト削減額を政策変数として扱うことが出来るようモデルを改良し実証的な分析を行った。従来のアプローチでは、道路整備と港湾整備の効果分析は異なる分析手法が採用されていたため効果の相対比較を行うことが困難であった。本稿で構築した分析フレームを活用することで、分野の異なる事業を統一的なフレームで効果比較することが可能となることから、ひとつの事業のみならず複数のさらには分野横断的な事業による地域経済効果を比較することが可能である。また、本稿のシナリオ分析では扱っていないが、対象地域外の港湾貨物需要を外生的に与えていることから、国際的な港湾貨物需要の増加に伴い、港湾整備の効果がどのように発現するのかについても把握することが可能である。さらに、海上輸送と陸上輸送のモード間の輸送シェアについても外生的に与えていることから、例えば環境政策の観点からモーダルシフトを推進した場合の産業面への影響についても把握可能である。

このような分野横断的な事業による効果・影響を把握することは、国土計画的観点からの事業間の優先度検討に資するだけでなく、当該政策が実施される地方自治体が社会インフラを活用した戦略的な産業育成・誘致政策等の検討を行う際に有効である。今後は、様々な政策シナリオ下でのモデルの挙動を確認するとともに、最新の港湾統計データ（特に、港湾背後圏への物流データ）を反映させることで、より実態に即したモデル構造へと改良を行う必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局・都市・地域整備局：費用便益分析マニュアル（平成20年11月）、2008。
- 2) 国土交通省鉄道局：鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル（2012年改訂版）、2012。
- 3) 国土交通省航空局：空港整備事業の費用対効果分析マニュアル Ver. 4（平成18年3月）、2006。
- 4) 国土交通省港湾局：港湾整備事業の費用対効果分析マニュアル（平成23年6月）、2011。
- 5) Mun, S. I.: Transport network and system of cities, *Journal of Urban Economic*, pp. 205-221, 1997。
- 6) 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整備の公平性評価－RAEM-Lightモデルを用いたアプローチ、高速道路と自動車、Vol. 51, No. 12, pp. 27-33, 2008。
- 7) 宮下光宏、小池淳司：空間的応用一般均衡モデルを用いたリニア中央エクスプレス整備の経済波及効果の計測、第14回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL2007)、2007。
- 8) Ueda, T., Koike, A., Yamaguchi, K. and Tsuchiya, K.: Spatial benefit incidence analysis of airport capacity expansion: application of SCGE model to the Haneda project, *Research in Transportation Economics*, Vol. 13, Global Competition in Transportation Markets: Analysis and Policy Making, pp. 165-196, Elsevier, 2005。
- 9) 石黒一彦、松木清徳、稲村肇：多地域応用一般均衡モデルによる海運政策の評価、土木計画学研究・論文集、Vol. 21, No. 3, pp. 745-750, 2004。
- 10) 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。
- 11) 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。
- 12) 土谷和之、小池淳司、上田孝行、牧浩太郎、檜垣史彦：準動学的 SCGE モデル・エントロピーモデルによる国際需要および産業立地に関する分析、応用地域学会（ARSC）第20回研究発表大会、2006。
- 13) 市村眞一、土井正幸：港湾と地域の経済学、多賀出版、2003。
- 14) 土木学会：道路交通需要予測の理論と適用、2003。
- 15) 渡辺奈緒子：利用者均衡配分について、中国幹線道路調査事務所、2005。
- 16) 小池淳司、佐藤啓輔：交通ネットワーク整備が観光産業の生産活動へ与える空間的影響の把握～鳥取・兵庫県の日本海地域における基礎自治体レベルの観光産業の付加価値推計をふまえた検討～、土木学会論文集 D3（土木計画学）、Vol. 68, No. 5（土木計画学研究・論文集第29巻）、pp. 1_349-361, 2012。

(2013.2.25 受付)

SPATIAL ECONOMIC EFFECT ANALYSIS ON THE ROAD AND PORT DEVELOPMENT BY THE RAEM-LIGHT MODEL

Keisuke SATO, Atsushi KOIKE and Nobuhide KAWAMOTO

The objective of this paper is to construct the SCGE (Spatial Computable General Equilibrium) model not only estimate the road development effect but also port development effect. This constructed model has the advantage which can estimate the differences of development effect and the synergetic effect among the road and the port policy at same analytical platform. Especially, this paper develops the empirical SCGE model based on the RAEM-Light model which can estimate the product change at subdivided regional area such as the municipalities. Therefore, these analytical information by the constructed model will contribute to the effective decision making on the project priority and combination of the project implementation at regional policy.