

都市圏レベルの応用一般均衡モデルの開発と応用

Computable General Equilibrium Model for Urban Area

小池淳司*, 河野貢**, 石川良文*** 上田孝行****

Atsushi KOIKE*, Yoshifumi ISHIKAWA**, Takayuki UEDA*** and Mitsugu KOUNO****

1. 研究の背景・目的

わが国の公共投資評価手法は実用レベルの段階となり、より精密化されつつある。その方向は、従来の発生便益評価から帰着便益評価へ、すなわち、経済学的視点からは、部分均衡分析から一般均衡分析へと応用されつつある。一般均衡分析を実証分析に適用するには、財政学の分野で発展した、応用一般均衡分析が有用であり、その手法を用いることで、理論モデルを実証分析に適用することが可能となってきた¹⁾。

しかし、下記の理由から、応用一般均衡分析は比較的大きな地域を対象とした分析に限定されている。

応用一般均衡分析の基準データセットは産業連関表であり、産業連関表の整備された地域にのみ適用可能である[産業連関データ整備状況への依存性]。

応用一般均衡モデルは、その背景にある社会経済に対して閉鎖経済(Closed Economy)を想定しているため、適用地域は比較的大きな地域であることが前提にある[対象地域の閉鎖性]。

一方、地方分権化の流れの中で、地方自治体は独自に公共投資を評価する必要性に迫られ、比較的小さい地域(本稿では、都市圏と呼ぶ)を対象とした応用一般均衡分析の適用可能性に関して議論されることがある。

そこで、本稿では、都市圏レベルの応用一般均衡モデルを構築し、このような社会的要請に答えることを目的としている。なお、上記に関しては、既に、石川・小池・上田(2001)²⁾にて報告済みである。そのため、本稿では、この問題を改善すべく、従来の応用一般均衡分析を拡張し、交通整備政策への適応事例を紹介する。

2. 対象地域と産業連関表

先にも述べたように、応用一般均衡分析はその基準データセットを産業連関表としている。すなわち、応用一般均衡分析では投資前後での産業連関表の各項目をモデル内で内生的に求めることができる。ただし、経済波及効果計測を目的とした産業連関分析との相違点は、各種生産財、生産要素財の価格を未知数として、方程式体系を解くことで、各価格変数が内生的に決まること、また、それらと整合する形で便益

キーワード：都市圏、応用一般均衡分析、政策評価

*正員 工博 鳥取大学工学部社会開発システム工学科、

**正員 工修 京都市役所

***正員 工博 富士常葉大学環境防災学部

****正員 工博 東京工業大学工学部開発システム工学科

(〒680-8552 鳥取市湖山町 4-101, e-mail: koike@sse.tottori-u.ac.jp)

評価に必要な効用水準を導出可能であるという点にある。

そこで、本モデルが対象としている社会経済範囲を明確化するために、地域間産業連関表の概念図を以下に示す。空間的応用一般均衡モデル(SCGE Model: Spatial Computable General Equilibrium Model)は、この非競争移入型産業連関用をすべて内生的に求めるモデルであると解釈することができる。

		地域1			地域2			最終需要		生産額
		産業1	産業2	産業3	産業1	産業2	産業3	地域1	地域2	
地域1	産業1	A11			A12			F11	F12	X1
	産業2									
	産業3									
地域2	産業1	A21			A22			F21	F22	X2
	産業2									
	産業3									
付加価値		V1			V2					
生産額		X1			X2					

図 - 1 地域間産業連関表

さて、地域1を対象地域(すなわち、対象都市圏)とする場合、都市圏レベル応用一般均衡モデルの対象としている経済とは、このうち、内生部門ではA11, A21を最終需要、付加価値部門ではF11, F21, V1を内生的に求めるモデルとして解釈することができる。この意味から、本モデルは、空間的応用一般均衡モデルの簡略版との位置付けが可能である。また、空間的応用一般均衡モデルは同じ財(goods)であっても、生産地域が違う財(products)を、まったく別のものとしてモデル化するという、いわゆる、Armington 仮説³⁾を用いている。本モデルも同様に Armington 仮説をモデルの前提条件としている。以下にモデルの概要を示す。

3. 社会経済モデルと仮定

図 - 2 の社会経済モデルを想定し、以下の仮定を設ける。

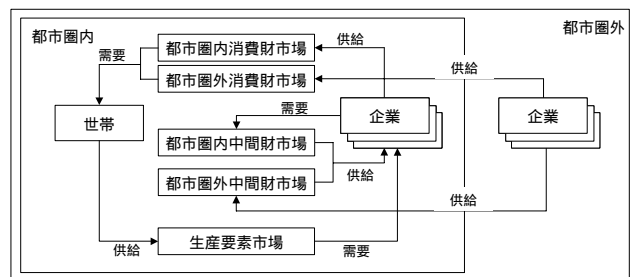


図 - 2 社会経済モデルの概略

- (1) 経済空間は当該地域(都市圏内)とそれ以外(都市圏外)に分割されている。
- (2) 都市圏内にはアクティビティベースの企業と世帯が存在し、都市圏外にもアクティビティベースの企業が存在する。
- (3) 市場は、都市圏内製品を扱う消費財・中間財市場と都市圏外製品を扱う消費財・中間財市場、都市内で閉じている生

産要素財市場を考慮する．

- (4)Armington 仮説に従い，都市圏内製品と都市圏外製品はまったく違う財(products)として取り扱う．
 (5)都市は地域外と比較して非常に小さく，地域外製品の価格は，都市内経済活動に影響されないものとする．
 (6)財はJ種類存在するものとする．
 (7)社会経済は長期的均衡状態にあるものとする．

4．企業の行動モデル

都市圏内にはアクティビティベースのJ個の企業が存在し，中間投入として都市圏内製品，都市圏外製品，生産要素として都市圏内労働，資本を投入し生産財を生産しているものとする．また，その行動は生産技術制約における費用最小化行動とする．ここで，Armington のアプローチに基づき，都市圏内外の中間投入財を区別し，下図のような構造の生産技術を仮定する．すなわち，生産関数の第1段階においては，付加価値と製造元を特定しない中間投入合成財の生産技術をレオンチェフ型で仮定し，第2段階においては，付加価値は労働と資本，中間投入合成財は都市圏内外の生産技術を CES 型で仮定する．

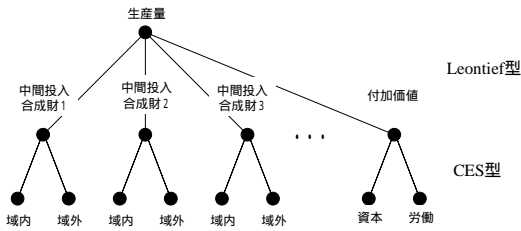


図 - 3 生産関数の階層的構造図

以下に，j 財を生産する企業の行動を定式化する．まず，第1段階においては，生産関数は以下のように定式化する．

$$Q_j = \min \left(\frac{VA_j}{a_{0j}}, \frac{x_{1j}}{a_{1j}}, \frac{x_{2j}}{a_{2j}}, \dots, \frac{x_{Jj}}{a_{Jj}} \right) \quad (1)$$

ただし， Q_j ：生産量， VA_j ：付加価値， $x_{j'j}$ ：中間投入合成財 j' ， $a_{j'j}$ ：投入係数， a_{0j} ：付加価値比率

次に，第2段階における付加価値に関する最適化問題は以下のように定式化する．

$$\min. \quad wl_j + rk_j \quad (2)$$

$$\text{s.t.} \quad 1 = VA_j = \phi_j \left[\delta_{1j} l_j^{\frac{\sigma_j-1}{\sigma_j}} + \delta_{2j} k_j^{\frac{\sigma_j-1}{\sigma_j}} \right]^{\frac{\sigma_j}{\sigma_j-1}}$$

ただし， w ：労働賃金， r ：資本レント， l_j ：労働投入量， k_j ：資本投入量， ϕ_j ：効率パラメータ， δ_{1j}, δ_{2j} 分配パラメータ ($\delta_{1j} + \delta_{2j} = 1$)， σ_j ：代替パラメータ

上式より，付加価値1単位あたりの生産要素需要 cl_j が得られる．同様に，第2段階における中間投入合成財に関する最適化問題は以下のように定式化する．

$$\min. \quad (1 + \alpha^{in}) P_j^{in} x_{j'j}^{in} + (1 + \alpha^{out}) P_j^{out} x_{j'j}^{out} \quad (3)$$

$$\text{s.t.} \quad x_{j'j} = \phi_{j'j} \left[\delta_{j'j}^{in} x_{j'j}^{in \frac{\sigma_{j'j}-1}{\sigma_{j'j}}} + \delta_{j'j}^{out} x_{j'j}^{out \frac{\sigma_{j'j}-1}{\sigma_{j'j}}} \right]^{\frac{\sigma_{j'j}}{\sigma_{j'j}-1}}$$

ただし， P_j^{in} ：j 財の都市圏内価格， P_j^{out} ：j 財の都市圏外価格(一定)， $\alpha^{in}, \alpha^{out}$ ：都市圏内外の取引抵抗(マークアップ率)， $x_{j'j}$ ：中間投入合成財 j' ， $x_{j'j}^{in}, x_{j'j}^{out}$ ：都市圏内・都市圏外からの中間投入財 j' ， $\phi_{j'j}$ ：効率パラメータ， $\delta_{j'j}^{in}, \delta_{j'j}^{out}$ 分配パラメータ ($\delta_{j'j}^{in} + \delta_{j'j}^{out} = 1$)， $\sigma_{j'j}$ ：代替パラメータ

上式より，中間投入合成財1単位あたりの都市圏内中間投入需要 $cx_{j'j}^{in}$ ，都市圏外中間投入需要 $cx_{j'j}^{out}$ が得られる．さらに，企業の生産関数が規模に関して収穫一定であるため，企業の提供する生産財の価格は単位生産量あたりの費用に等しい水準になる．すなわち，以下の式が成立する．

$$P_j^{in} = a_{0j} [wcl_j + rck_j] + \sum_{j' \in J} a_{j'j} [(1 + \alpha^{in}) P_j^{in} cx_{j'j}^{in} + (1 + \alpha^{out}) P_j^{out} cx_{j'j}^{out}] \quad (4)$$

5．家計の行動モデル

家計の行動も同様に Armington 仮説に基づき，消費財を都市圏内・都市圏外消費財にわけて消費行動を行うものと仮定し，下図のような構造の効用関数を仮定する．すなわち，第1段階においては各合成消費財の代替関係を CES 型で表現し，第2段階において合成消費財の都市圏内製品と都市圏外製品の代替関係を CES 型で仮定する．ここで，都市圏内製品と都市圏外製品の消費を合せて合成消費と呼ぶこととする．

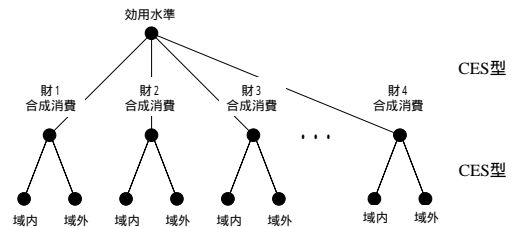


図 - 4 効用関数の階層的構造図

以下に，世帯の行動を所得制約条件下での効用最大化行動として定式化する．まず，第1段階における最適化行動は以下のように定式化する．

$$V = \max. \left[\sum_{j \in J} \lambda_j \frac{1}{\pi} X_j^{\frac{\pi-1}{\pi}} \right]^{\frac{\pi}{\pi-1}} \quad (5)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in J} P_j X_j = wL + rK$$

ただし， V ：間接効用水準， X_j ：合成消費財 j の消費水準， P_j ：合成消費財の価格， L, K ：労働と資本の保有量， λ_j ：消費の分配パラメータ， π ：消費の代替パラメータ

上式より，合成消費財の需要関数 X_j が得られる．次に，

第2段階では、合成消費財需要から都市圏内需要と都市圏外需要を求めるため、以下のような最適化行動を定式化する。

$$V' = \max. \left[\lambda_j^{\frac{1}{\pi}} X_j^{\frac{\pi-1}{\pi}} + \lambda_j^{\frac{1}{\pi}} X_j^{\frac{\pi-1}{\pi}} \right]^{\frac{\pi}{\pi-1}} \quad (6)$$

$$\text{s.t. } P_j X_j = (1 + \alpha^{\text{in}}) P_j^{\text{in}} X_j^{\text{in}} + (1 + \alpha^{\text{out}}) P_j^{\text{out}} X_j^{\text{out}}$$

ただし、 V' ：第2段階の間接効用水準、 $X_j^{\text{in}}, X_j^{\text{out}}$ ：都市圏内・都市圏外製品の消費水準、 $\lambda_j^{\text{in}}, \lambda_j^{\text{out}}$ ：消費地の分配パラメータ

上式より、都市圏内製品と都市圏外製品の需要シェア $X_j^{\text{in}}/X_j, X_j^{\text{out}}/X_j$ が得られる。さらに、合成財消費の価格は式(6)の最適化におけるラグランジュ未定乗数として、以下のようになる。

$$P_j = \left[\lambda_j^{\text{in}} \left\{ (1 + \alpha^{\text{in}}) P_j^{\text{in}} \right\}^{1-\pi} + \lambda_j^{\text{out}} \left\{ (1 + \alpha^{\text{out}}) P_j^{\text{out}} \right\}^{1-\pi} \right]^{\frac{1}{1-\pi}} \quad (7)$$

6. 交易企業の行動モデル

交易企業は、財の取引に関する抵抗、すなわち、交通費用や税を徴収し交易サービスを提供する行動をとる。このとき、交易企業は交易する財を投入し、交易サービスを生産していると考え、以下のような投入産出バランスが成立する。

$$X_j^{\text{tra}} = \alpha^{\text{in}} \sum_{j \in \mathcal{J}} P_j^{\text{in}} X_{j,j}^{\text{in}} + \alpha^{\text{out}} \sum_{j \in \mathcal{J}} P_j^{\text{out}} X_{j,j}^{\text{out}} \quad (8)$$

ここで、上式の左辺は交易企業の財投入量、右辺はサービス算出量を表している。ここでの交易企業は、財の交易抵抗を交通費用と解釈すると交通企業であり、交易抵抗を税と解釈すると地方政府と考えることができる。

7. 市場均衡条件式とパラメータキャリブレーション

全ての企業に対して、規模に関して収穫一定の仮定をおいているため、生産財市場および中間財市場は常に、需要量に応じた供給量が生産されることとなる。そのため、財市場における市場均衡条件は、常に、成立する。また、都市圏内の生産財価格は式(4)で示すように、単位費用として決定される。一方、生産財市場の需給均衡は、都市圏外企業と世帯における都市圏内製品の需要量を含めるため、以下のような関係式が成り立つ。ここで、都市圏外の需要は各財価格の変数として関数化してあるが、これらを正確に特定化するためには、都市圏内と同様に都市圏外世帯、企業を記述する必要がある。

$$Q_j = X_j^{\text{in}} + X_j^{\text{tra}} + \sum_{j \in \mathcal{J}} x_j^{\text{in}} + x_j^{\text{out}} (P_j^{\text{in}}, P_j^{\text{out}}) + X_j^{\text{out}} (P_j^{\text{in}}, P_j^{\text{out}}) \quad (9)$$

ただし、 $x_j^{\text{in}} (P_j^{\text{in}}, P_j^{\text{out}})$ ：都市圏外産業における都市圏内製品の中間需要、 $X_j^{\text{out}} (P_j^{\text{in}}, P_j^{\text{out}})$ ：都市圏外世帯における都市圏内製品の最終需要

次に、生産要素財市場は以下のようになる。

$$\sum_{j \in \mathcal{J}} l_j = L, \quad \sum_{j \in \mathcal{J}} k_j = K \quad (10.a.b)$$

本モデルにおける、一般均衡体系には2つの生産要素価格という未知数が存在し、上記の2つの方程式があり、ワルラス法則により解が一意に決定される。なお、上記の一般均衡体系は一次同時関数であるため、メリル・アルゴリズムにより、容易に解くことができる⁴⁾。

生産関数、効用関数におけるパラメータの推定法は、通常の応用一般均衡分析におけるパラメータキャリブレーションを応用することができる。すなわち、CES関数のシェアパラメータは各消費財の消費支出シェアから推定することができる。ただし、CES関数における代替パラメータに関しては実証分析を通じて推定方法を考察する必要がある。

8. 政策変数と便益定義

都市圏内における各種公共投資を分析するために政策変数を定義する必要がある。まず、各財生産財消費に関する交易係数の変化は、都市圏内交通整備 ($-\Delta \alpha^{\text{in}}$)、都市圏内外間交通整備 ($-\Delta \alpha^{\text{out}}$) などの交通施設整備の影響を分析することが可能である。さらに、交易係数を各財ごとに定義することで、環境税(補助金)などの地方税制の影響を分析することが可能である。同様に、モデルの拡張次第では、固定資産税、法人税、所得税、設備投資補助金、住宅補助などの地方税制を分析することが可能である。

本モデルの特徴として、地域間交易パターンの変化における政策分析を可能としている。例えば、産業施設の誘致政策による効果は、企業の間接財投入構造および世帯の消費構造を変化させる。このことは都市圏内製品と都市圏外製品の消費シェアの変化を政策変数とすることで、影響分析が可能であると考えられる。また、都市圏外における生産財価格の変化、生産財、中間財需要の変化など、外生変数として扱っている変数は政策変数として取り扱うことができる。

なお、各種政策による都市圏内便益は都市圏内世帯の効用変化として以下のように定義される⁵⁾。

$$EV^{\text{in}} = (w^0 L + r^0 K) \left(\frac{V^1 - V^0}{V^0} \right) \quad (11)$$

ただし、サフィックス 0,1：政策有り・無しを示す

9. 実証分析

次に、実証分析として、平成2年度東京都産業連関表⁶⁾を用いたシミュレーション分析結果を紹介する。東京都産業連関表は東京都地域および、その他地域を対象とした地域間産業連関表であり、表-1の通りである。なお、シミュレーション分析にあたって、部門を3部門(第1次、第2次、第3次産業)に、粗付加価値を資本と労働に集計した。シミュレーションに際して、パラメータをキャリブレーションした結果の詳細は紙面の都合上省略する。

表 - 1 東京都産業連関表(単位 100 億円)

	東京都地域			その他地域			最終需要		生産額
	第1産業	第2産業	第3産業	第1産業	第2産業	第3産業	東京都	その他	
東京都地域	0.24	4.60	4.22	1.51	1.59	0.15	7.89	0.22	10.14
第1産業	0.53	424.24	570.26	1.89	1140.19	176.48	1456.69	453.25	3921.84
第2産業	1.31	621.61	3145.02	19.59	1040.36	2222.24	4355.09	684.78	11858.94
第3産業	0.36	20.58	17.62	201.88	983.58	104.35	35.18	447.19	1583.44
その他地域	1.77	885.66	621.92	261.76	1693.63	4086.47	956.71	2060.55	41424.97
第1産業	0.31	168.02	800.71	204.78	6266.99	7846.80	266.09	25651.32	40538.50
第2産業	2.44	1355.15	4538.14	200.18	10085.80	16292.19			
第3産業	3.14	441.98	2161.06	691.85	4942.82	9809.84			
粗付加価値									
労働	2.44	1355.15	4538.14	200.18	10085.80	16292.19			
資本	3.14	441.98	2161.06	691.85	4942.82	9809.84			
生産額	10.11	3921.84	11858.94	1583.44	41424.97	40538.50			

*粗付加価値は労働(家計外消費支出+雇者所得+間接税+補助金)と資本(営業余剰+資本減耗引当)に集計した。

なお、世帯および企業の代替パラメータは既存研究⁵⁾の推定結果を用いている。また、地域内・地域間交易抵抗は既存研究⁷⁾の値を参考に0.1と設定した。なお、モデルの現況再現性は相関係数0.993と比較的高い値が得られている。上記のパラメータ設定の下で、一般均衡価格をメルル・アルゴリズムで計算し、各政策代替案に関してシミュレーション分析を行った。シミュレーション分析にあたっての政策代替案とシミュレーション結果は下表に示すとおりである。ここで、政策代替案として、地域内・地域間および地域内+地域間に、それぞれ、交易抵抗が20%減少(0.1→0.08)のケース(case 1, case 2, case 3)および交易抵抗が20%増加(0.1→0.12)のケース(case 4, case 5, case 6)の計6種類の政策シミュレーションを実施した。交易抵抗が減少するケースは地域内および地域間の交通整備政策などを想定し、交易抵抗が増加するケースは地域内および地域間の地方税増税などを想定している。

表 - 3 シミュレーション結果

	基準	case1	case2	case3	case4	case5	case6
地域内交易抵抗 in	0.1	0.08	0.1	0.08	0.12	0.1	0.12
地域間交易抵抗 out	0.1	0.1	0.08	0.08	0.1	0.12	0.12
都市圏内便益E _{Vin} (兆円)		2.41	0.35	2.79	-2.34	-0.35	-2.67
都市圏内生産額の変化(兆円)		0.64	-0.22	0.43	-0.54	0.24	-0.29
都市圏外生産額の変化(兆円)		0.55	0.27	0.83	-0.51	-0.26	-0.77

最終的には、費用便益分析などプロジェクト評価への応用として定量的評価に用いることが可能となるが、ここでは、政策変数を感度分析的に変化させた比較静的シミュレーション分析であるため、数値の値に関して政策的意味は無く、むしろ、値の大小および変化の方向に関して議論すべきである。

まず、道路整備などを想定したcase1-3の場合、都市圏内便益は全て正の値で計測されている。すなわち、どの政策、組み合わせも正の便益をえる結果となった。また、case 1と比較してcase 2が小さい値というも妥当な結果である。さらに、case1の便益とcase2の便益の合計と比較してcase 3の便益が大きい(2.41+0.35<2.79)という結果からは、交通整備を同時に行ったことによる相乗効果が計測されていることを意味していると考えられる。一方、都市圏内・都市圏外の変化に着目すると、case2の都市圏内生産額の変化のみ負の値となっている。この結果は一見不自然に思われるが、都市間交通整備により、都市圏外の製品価格が低下し、都市圏外製品の需要が増加する一方、都市圏内製品の需要が減少したことを意味している。これらは世帯の消費行動および企業の間接財投入構造を通じて顕在化したものと解

析することができる。つまり、それら都市圏内生産財需要の減少以上に世帯における可処分所得および企業における生産財需要の増加があれば、この都市圏内生産額は増加するものと考えられる。この現象を検証するには、政策シナリオのより大きな変化に対する感度分析を行う必要がある。

また、地方税増税を想定したcase4-6の場合、case1-3の計測結果と同様の結果が得られた。ここでも、case 5における都市圏内生産額の増加が計測されているが、これは国家間の問題として解釈すれば、セーフガードの発令により国内産業の生産性が増加したことと対応していると考えることが可能である。

10. おわりに

本稿では、まず、応用一般均衡分析を比較的小さな地域(都市圏)に適応するためのモデルの基本構造を示し、実証分析を通じて政策評価が可能であることを示した。本稿で示したモデルは、都市圏での各種公共投資政策、財政政策を評価することが可能であり、また、その他の政策を評価するため、容易にモデルを拡張することができる。このように応用一般均衡分析を政策評価に用いることの最大の特徴は、政策部門が異なる様々な政策を、同一のモデル(あるいは、プラットフォーム)で政策評価することができる点にある。このことは、政策部門ごとの政策代替案評価が可能となり、より透明な政策評価手段となりうる。

今後、地方分権化が進むわが国においては、地方政府による政府支出の政策部門別配分が可能となり、その妥当性を説明する必要がますます重要となるであろう。また一方で、応用一般均衡分析を利用することは便益の計測のみならず、各経済主体の生産構造変化が明示的に示されることにより、生産企業主体からの合意形成に役立つ可能性があると考えられる。なお、本研究は平成13年度科学研究費補助金基礎研究(B)(1)研究課題目「実用化に向けた社会資本整備評価システムの構築」(12555152)および平成14年度科学研究費補助金基礎研究(B)(1)研究課題目「都市圏産業連関表の作成と都市圏応用一般均衡モデルの開発」(14550534)から研究補助を受けた研究成果の一部である。

【参考文献】

- 1) 応用一般均衡モデルの公共投資評価への適用, 土木計画学ワンデーセミナーシリーズ15, 土木学会, 1998.
- 2) 石川良文・小池淳司・上田孝行: Non-Survey手法による都市圏産業連関表の作成, 第56回年次学術講演会講演概要集 CD-ROM, 土木学会, 2001.
- 3) Armington, P.S.: A Theory of Products Distinguished by Place of Production, IMF Staff Paper 16, 1969.
- 4) Shoven, J.B. and J. Whalley: Applying General Equilibrium, Cambridge University Press, 1992.
- 5) 市岡修: 応用一般均衡分析, 有斐閣, 1991.
- 6) 平成2年度東京都産業連関表, 東京都総務局統計部.
- 7) 宮城俊彦・本部賢一・井上恵介: 多地域応用一般均衡モデルに用いる交易係数について, 土木計画学研究・論文集, No.15, pp.93-99, 1998.