

1. はじめに

空港整備事業は、発着容量拡大、航空機運航の効率化、安全性や確実性の向上等、様々な形で航空輸送サービスの効率性向上に寄与する。サービス提供の効率性向上は、その供給者であるエアラインの実質的供給コスト低下（人員削減や設備費用低下など）をもたらすことが期待される。あるいは、運航頻度増加による利便性向上等により、利用者にとっての実質的な交通費用低下をもたらすことも考えられる。こうした航空輸送サービスの質的向上は、産業活動等の経済循環を通じて、広く国民に便益をもたらす。

一方、我が国の空港整備事業の財源は空港整備特別会計であるが、その絶対額の制約により事業の進行自体が制約を受けていることも事実である。特に、用地費等に莫大な費用を要する羽田空港再拡張や関西空港二期などの事業では、そのことが顕著となる。これらの大都市圏空港における空港整備の遅れは、日本全体として見た航空輸送サービスにおけるボトルネックとなり、著しく国益を損ねる危険性を孕んでいる。

空港整備特別会計における一般財源繰入額の割合は、平成13年度において約16%（国土交通省航空局（2002））である。すなわち、大半の負担は航空利用者からの徴収により賄われており、空港整備によって発生する金銭的外部効果を楽しむ主体によってフリーライド（ただ乗り）が行われている可能性が十分に高い。

このような問題を受け、空港整備における財源負担のあり方を検討するためには、空港整備効果として顕在化する産業活性化などの間接的影響を把握することが望まれる。また、空港整備による需要誘発効果を正確に把握するには、こうした間接効果が相乗的に航空需要を増加させるプロセスを明示的に考慮する必要がある。

これらの課題へ対処する手法として、国民経済における産業活動間の連関をモデル化した、応用一般均衡モデルを用いた経済分析が有効である。本稿は、空港整備財源のあり方を検討するための第一歩として、応用一般均衡分析アプローチにより、空港整備による国民経済への効果について定量分析を可能とする枠組みを構築し、航空需要への影響と経済効果についての試算を行う。

以下、第2章では、本稿の提案する手法の土台となる応用一般均衡モデルの概要と、我が国の交通計画への適用状況について整理する。第3章では、モデルの定式化を行い、理論的枠組みを構築する。第4章では、空港整備による航空輸送産業の生産性向上効果と航空輸送所要時間短縮効果に着目し、これらによる航空需要への影響および他産業に及ぼす経済的影響、さらに国民経済の享受する便益について分析する。第5章では、本論文の結びである。

2. 応用一般均衡モデルの概要と適用状況

本稿で用いる応用一般均衡（以下CGE）モデルは、ミクロ経済理論に立脚する手法であり、主に、財政政策、貿易政策、環境政策等の政策効果分析に適用されている。CGEモデルによる経済分析事例については、Shoven and Whalley（1992）が、詳細

なサーベイを行っている。

CGEモデルの全体像を簡潔に表すと、複数の財および生産要素市場における需給均衡状態を連立方程式体系により表現したものと言える。その背景には、財の生産において生産者の最適化行動理論が、財の消費において家計の最適化行動理論がある。与えられた価格体系のもとで、これらの両者が自己の目的を最適化するように生産量あるいは消費量を決定し、両者が均衡する点において均衡価格が定まる。

CGEモデルの理論的背景、構築方法、計算プロセスについては、Ginsburgh and Keyzer（1997）に詳しい。また、Ginsburgh and Keyzer（1997）は、不完全競争や非伸縮価格体系等の様々な経済状況に対応したモデルの応用についても述べている。我が国においても、黒田（1989）、市岡（1991）によって、モデル化の方法および経済分析事例が解説されている。さらに、土木学会（1998）は、土木計画分野における公共投資評価に焦点をおき、CGEモデルの利用方法や適用例をまとめている。

我が国の運輸分野へのCGEモデルの適用は、溝上（1994）や宮城・本部（1996）のような地域間物流解析が先駆けである。近年では、小池ら（2000）によって人流も対象とするCGE分析手法が開発された。小池ら（2000）の手法により、Koike and Ueda（2001）は新幹線整備による便益評価を、Ueda et al.（2002）は、羽田空港再拡張による便益評価を行った。

本稿で提案するモデルは、空港整備による需要変化及び経済分析を目的とするため、Ueda et al.（2002）と類似したアプローチとなっている。しかし、Ueda et al.（2002）が生産活動における交通投入を付加価値として扱っているのに対して、本モデルはSNA勘定体系に準拠し中間投入と見なしている点や、Ueda et al.（2002）は地域別帰着便益を対象としているのに対して、本研究は国民経済レベルにおける経済効果を対象としている点などについて相違点がある。しかし、経済システムをCGEモデルにより表現していることや、業務交通と非業務交通に対する考え方等の基本的フレームは両者に共通するものである。

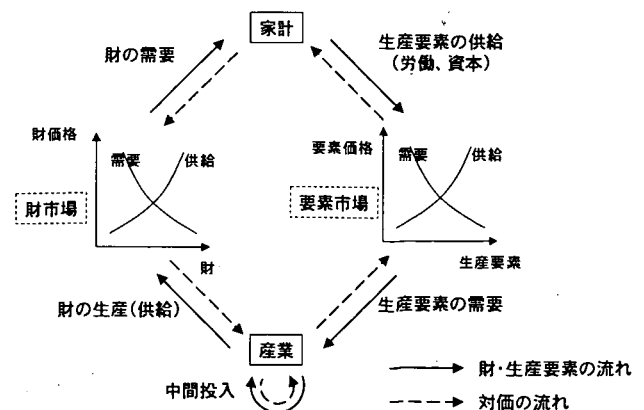


図-1 本研究におけるCGEモデル構造の概念

本稿におけるCGEモデルの概念を簡潔に表すと、図-1のように表現される。すなわち、家計は生産活動に必要な生産

要素（労働と資本の二つを想定）を保有しており、これを産業部門へ供給することにより、対価として所得を得る。また、得られた家計所得は、産業により生産された財の需要のために支出される。産業は、家計より供給された生産要素および産業自身により供給される中間財を投入し、財を生産・供給する。それぞれの生産要素と財について市場が存在し、価格調整によって全ての市場に置いて需給が均衡する（ワルラス的調整過程と呼ばれる）。この過程を定式化したものが CGE モデルである。

CGE モデルの利点は、あらゆる財・生産要素の市場を同時に考慮し、かつそれらの連関を明示的に扱うことにより、任意の一市場に生じたインパクトによる経済システム全体への影響を分析することが可能となる点にある。したがって、空港整備という航空市場に対する直接的ショックによって他産業の市場や家計に及ぼされる影響が、CGE モデルにより定量的に推計される。また、逆に他産業に生じた変化による航空輸送サービス需要への影響を推計することも可能である。

3. 航空と鉄道の代替関係を考慮した応用一般均衡モデルの構築

3.1 諸前提条件と航空需要の考え方

本章では、モデルの具体的な定式化を行う。モデルの構造が過度に複雑化することを避けるため、モデル全般にわたり次の仮定を設ける。

- モデル内での経済主体は、生産活動を行う産業部門と家計のみとする。
- 全ての財について完全競争下の市場均衡が成立しており、超過需要は存在しない。
- 全ての産業において、規模に対して収穫一定（Constant Return to Scale）の生産技術である。
- 生産要素は労働と資本の二つであり、産業部門間移動は可能である。したがって、産業部門間の要素価格が均等化される。

また、適用対象として日本国経済を想定していることに鑑み、上記の一般的な前提に加えて以下の仮定を付け加える。

- 日本の地域間交通の状況を踏まえ、航空輸送は他の交通機関と競合状態にある。ただし、競合交通機関として、鉄道輸送のみを想定する。
- 航空輸送部門の輸出入を国際航空輸送（輸出は邦人エアラインによる輸送、輸入は海外エアラインによる輸送）と見なす。

産業部門は、生産活動を行うために産業部門の生産財（中間財）と生産要素である労働と資本を投入する。本モデルは、中間財投入のうち、航空産業の生産物に相当する航空輸送への支出を業務航空需要と見なす（図-2）。なお、航空産業とは、日本標準産業分類の中分類「43 航空運輸業」の活動を範囲とするものと定義し、定期および不定期航空運送業者が含まれる。

企業活動における、商談の出張のための航空利用等が、産業活動における航空輸送の中間財投入にあたる。

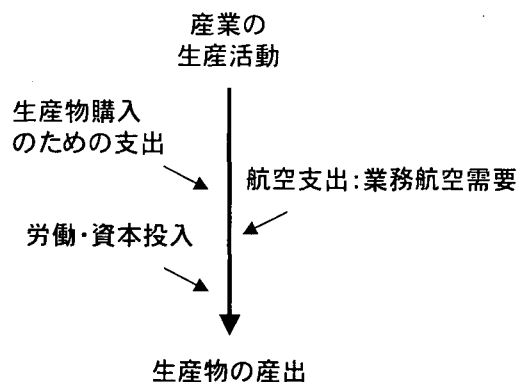


図-2 産業部門の生産活動

家計は、労働と資本を保有する主体であり、これら生産要素を産業部門へ提供することにより得られる所得をもとに、生産物を消費する。家計による需要は、生産活動に再投入される需要と区別して「最終需要」と呼ばれる。本稿は、最終需要のうち航空輸送に対する需要を非業務航空需要と見なす。一般家計による観光旅行のための航空利用等がこれに分類される。

3.2 モデルの定式化

(1) 産業部門の行動

モデルの数式的描写は、産業部門の行動と家計部門の行動により表される。ここでは、まず産業部門の行動についてモデル化する。

産業部門は、生産要素および中間投入財を投入し、財・サービスの生産を行う。産業部門の生産関数は、各中間投入財と生産要素の合成財について、Leontief型技術すなわち完全補完型技術と仮定する。航空需要に着目したモデル化を行うため、中間投入における地域間交通サービスを航空輸送と鉄道輸送の合成財（サービス）と考え、これらに間に代替関係を許容する。この代替関係はCES(Constant Elasticity of Substitution)型と仮定する。また、生産活動によって生み出される付加価値は、生産要素である労働と資本についての合成財として表され、その技術は生産容量関数として定義される。なお、生産容量関数についてもCES型関数を仮定する。これらの前提により、各産業部門の産出量水準 X_j は、以下の生産関数により定式化される。

$$X_j = \min \left(\frac{x_{ij}}{a_{ij}}, \frac{x_{zj}}{a_{zj}}, \frac{Y_j}{a_{Yj}} \right) \quad (1)$$

ただし、
$$\left(\sum_{j=1}^{N-1} a_{ij} \right) + a_{zj} + a_{Yj} = 1$$

$$Y_j = \theta_j \left[\alpha_{Lj} L_j^{\frac{\sigma_{Yj}-1}{\sigma_{Yj}}} + \alpha_{Kj} K_j^{\frac{\sigma_{Yj}-1}{\sigma_{Yj}}} \right]^{\frac{\sigma_{Yj}}{\sigma_{Yj}-1}} \quad \text{for all } j \quad (\alpha_{Lj} + \alpha_{Kj} = 1) \quad (2)$$

$$x_{Zj} = \eta_j \left[\alpha_{Aj} x_{Aj}^{\frac{\sigma_{Zj}-1}{\sigma_{Zj}}} + \alpha_{Rj} x_{Rj}^{\frac{\sigma_{Zj}-1}{\sigma_{Zj}}} \right]^{\frac{\sigma_{Zj}}{\sigma_{Zj}-1}} \quad \text{for all } j \quad (\alpha_{Aj} + \alpha_{Rj} = 1) \quad (3)$$

- i : 財を表すラベル ($i=1 \sim N-1$: 非交通財, $i=N$: 交通財)
 - j : 産業を表すラベル ($j=1 \sim N-1$: 非交通産業, $j=N$: 航空輸送産業, $j=N+1$: 鉄道輸送産業)
 - A : 航空輸送サービスを表すラベル
 - R : 鉄道輸送サービスを表すラベル
 - X_j : 産業 j の産出量
 - x_{ij} : 産業 j における財 i の中間投入
 - x_{Zj} : 産業 j における合成地域間交通サービスの中間投入
 - x_{Aj} : 産業 j における航空輸送サービス投入
 - x_{Rj} : 産業 j における鉄道輸送サービス投入
 - Y_j : 産業 j における生産容量 (付加価値)
 - L_j : 産業 j における労働投入
 - K_j : 産業 j における資本ストック投入
 - a_{ij}, a_{Zj}, a_{Yj} : それぞれ中間財投入, 交通財投入, 付加価値に対応する投入係数
 - σ_{Zj}, σ_{Yj} : 代替弾力性パラメータ
 - $\alpha_{Aj}, \alpha_{Rj}, \alpha_{Lj}, \alpha_{Kj}$: 代替パラメータ
 - θ_j, η_j : 生産効率性 (技術) パラメータ
- 生産技術構造は、図-3 のような階層構造として表すことができる。

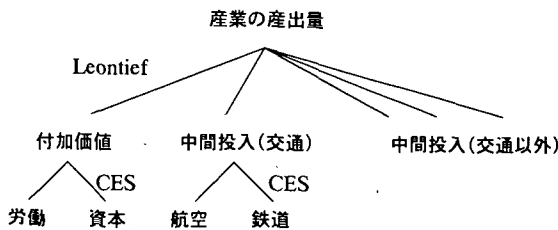


図-3 生産技術の階層構造

生産活動において、産業部門が価格受容者として行動を最適化するため、あらゆる投入量の水準は、費用最小化が達成されるように定まる。したがって、生産要素投入についての派生需要関数 (単位生産量あたり要素需要関数) は、式(4)で表される。付加価値1単位の生産という制約下における生産要素 (労働と

資本) の投入費用最小化問題を解くことにより得られる。

$$\begin{aligned} \min_{L_j, K_j} \quad & wL_j + rK_j \\ \text{s.t.} \quad & \theta_j \left[\alpha_{Lj} L_j^{\frac{\sigma_{Yj}-1}{\sigma_{Yj}}} + \alpha_{Kj} K_j^{\frac{\sigma_{Yj}-1}{\sigma_{Yj}}} \right]^{\frac{\sigma_{Yj}}{\sigma_{Yj}-1}} = 1 \end{aligned} \quad (4)$$

w : 労働賃金率

r : 資本費用

この問題について、次のように Lagrangian V を定式化し、その最小化条件を整理することにより、最適投入量である派生需要関数が導かれる。 λ は Lagrange 乗数である。

$$V = wL_j + rK_j + \lambda \left\{ 1 - \theta_j \left[\alpha_{Lj} L_j^{\frac{\sigma_{Yj}-1}{\sigma_{Yj}}} + \alpha_{Kj} K_j^{\frac{\sigma_{Yj}-1}{\sigma_{Yj}}} \right]^{\frac{\sigma_{Yj}}{\sigma_{Yj}-1}} \right\} \quad (5)$$

最小化の必要条件は次のとおりである。

$$\frac{\partial V}{\partial L_j} = 0, \quad \frac{\partial V}{\partial K_j} = 0, \quad \frac{\partial V}{\partial \lambda} = 0 \quad (6)$$

したがって、産業 j における労働投入派生需要関数 DL_j と産業 j における資本ストック投入派生需要関数 DK_j は、式(6)の解を整理することにより以下のように表される。

$$DL_j = \frac{1}{\theta_j} \left[\alpha_{Lj} + \alpha_{Kj} \left(\frac{r \cdot \alpha_{Lj}}{w \cdot \alpha_{Kj}} \right)^{1-\sigma_{Yj}} \right]^{\frac{\sigma_{Yj}}{1-\sigma_{Yj}}} \quad (7)$$

$$DK_j = \frac{1}{\theta_j} \left[\alpha_{Lj} \left(\frac{w \cdot \alpha_{Kj}}{r \cdot \alpha_{Lj}} \right)^{1-\sigma_{Yj}} + \alpha_{Kj} \right]^{\frac{\sigma_{Yj}}{1-\sigma_{Yj}}} \quad (8)$$

同様に、交通サービス合成財1単位を構成するために必要な、航空サービス需要と鉄道サービス需要は、それぞれ式(9)、式(10)ように得られる。ただし、交通投入に必要な費用は、時間費用も含む一般化費用の概念によって考える。したがって、機関分担においては輸送サービス価格に加えて所要時間も影響する。時間価値については、時間損失の機会費用は、同時間分の労働収入と等価であると想定し、労働賃金率を用いる。

$$ux_{Aj} = \frac{1}{\eta_j} \left\{ \alpha_{Aj} + \alpha_{Rj} \left[\frac{(p_R + w \cdot T_R) \cdot \alpha_{Aj}}{(p_A + w \cdot T_A) \cdot \alpha_{Rj}} \right]^{1-\sigma_{Zj}} \right\}^{\frac{\sigma_{Zj}}{1-\sigma_{Zj}}} \quad (9)$$

$$ux_{Rj} = \frac{1}{\eta_j} \left\{ \alpha_{Aj} \left[\frac{(p_A + w \cdot T_A) \cdot \alpha_{Rj}}{(p_R + w \cdot T_R) \cdot \alpha_{Aj}} \right]^{1-\sigma_{zj}} + \alpha_{Rj} \right\}^{1-\sigma_{zj}} \quad (10)$$

ux_{Aj} : 産業 j における交通サービス合成財 1 単位の投入量を構成するために必要な航空輸送サービス投入

ux_{Rj} : 産業 j における交通サービス合成財 1 単位の投入量を構成するために必要な鉄道輸送サービス投入

T_A : 航空輸送における所要時間指標

T_R : 鉄道輸送における所要時間指標

Leontief 型生産関数を仮定することにより、生産技術の一次同次性が前提とされているので、価格受容者である産業部門が直面する財価格は、単位産出量あたり生産費用に等しい水準となる。よって、次の式により財価格体系が表される。

$$\begin{aligned} p_j = & \left(\sum_i p_i a_{ij} \right) \\ & + a_{zj} (p_A \cdot ux_{Aj} + p_R \cdot ux_{Rj}) \\ & + a_{yj} (w \cdot DL_j + r \cdot DK_j) \\ & + \tau_j p_j \end{aligned} \quad (11)$$

p_j : 産業 j の生産物の価格 (財 j の価格)

τ_j : 産業 j における純間接税率

式(11)において、第一項は交通サービス投入以外の中間投入コストを、第二項は交通サービスの中間投入コストを、第三項は生産要素投入コストを、第四項は純間接税を、それぞれ表す。なお、純間接税(消費税)は、生産額に対して一定比率に課されるものとして扱う。政府により徴収された純間接税は本来ならば政府の歳入原資となるものであるが、本稿では航空輸送技術の変化による経済的影響に主眼を置くため、この点を簡略化し、全ての政府収入が家計への所得移転となるものと仮定する。

(2) 家計の行動

家計は、労働および資本を保有する主体であり、これらの要素所得が全て家計に分配されると考える。家計は、要素所得と政府からの純間接税還元額を合わせた総受取所得の下で、消費効用を最大化するように支出計画を決定する。なお、最終需要は全て消費需要として扱い、実物投資需要と消費財需要を区別しない。国民経済におけるマクロ的収支均衡を維持するための条件として、実物投資額は貯蓄額から海外への純投資額を控除したものに等しいと仮定する。海外への投資額は、貿易により生じた対外経常黒字と等価であると見なす。家計の効用関数を CES 型と仮定すれば、効用最大化問題は次のように記述される。

$$\begin{aligned} \max_{c_i} U = & \left[\sum_{i=1}^{N-1} (\beta_i)^{\frac{1}{\phi}} (c_i)^{\frac{\phi-1}{\phi}} + \sum_{z=A,R} (\beta_z)^{\frac{1}{\phi}} (c_z)^{\frac{\phi-1}{\phi}} \right] \\ \text{s.t.} \quad & \sum_i p_i c_i = I = wL + rK + \sum_j \tau_j p_j X_j - NI \end{aligned} \quad (12)$$

U : 家計の効用関数

c_i : 財 i の消費量

I : 家計の総受取所得

NI : 海外に対する純投資

β_i : 家計の選好パラメータ

ϕ : 消費財に関する代替弾力性

ただし、 $\sum_i (\beta_i) + \beta_A + \beta_R = 1$ と仮定する。

上の最適化問題は、Lagrange 未定乗数法を用いて解かれる。Lagrangian V を次のように定式化すると、

$$V = U + \lambda \left(I - \sum_i p_i c_i \right) \quad (13)$$

最適化の一階の必要条件は次のように表される。(λ は Lagrange 乗数)

$$\frac{\partial V}{\partial c_i} = 0, \quad \frac{\partial V}{\partial \lambda} = 0 \quad (\text{for all } i) \quad (14)$$

これを整理すると各財の消費量 c_i に関する需要関数が得られる。

$$c_i = \frac{\beta_i \cdot I}{(p_i)^{\phi} \cdot \left\{ \sum_j \left[\frac{\beta_j}{(p_j)^{\phi}} \right] \right\}} \quad (15)$$

本モデルでは、家計の選好において、交通機関分担への所要時間による影響は考慮していない。これは、家計行動における時間制約を明示的に扱っていないため、時間の限界効用が特定されないことによる。交通所要時間も含めた枠組みへの拡張は、今後の課題とする。

(3) 均衡条件

本モデルでは、規模に関して収穫一定の生産技術を仮定しており、各産業部門はそれぞれの需要量に見合うだけの供給を行うと見なされる。また、海外部門による財の需要である輸出と、自国による海外財に対する輸入は、国産財の国内需要とは区別する必要がある。本モデルは、競争輸入の考え方にに基づき、同一種の財であれば生産国を区別せず、需給バランスにおいて輸出入を併せて純輸出として見なす。したがって、各財の需給均

衡条件は、非交通産業については式(16)により、航空輸送産業については式(17)により、鉄道輸送産業については式(18)により、それぞれ表される。

$$X_i = \sum_{j=1}^{N-1} (a_{ij} X_j) + a_{iN} X_A + a_{iN+1} X_R + c_i + NX_i \quad (i=1 \sim N-1) \quad (16)$$

$$X_A = \sum_{j=1}^{N-1} (a_{Zj} \cdot ux_{Aj} \cdot X_j) + a_{ZN} \cdot ux_{AN} \cdot X_A + a_{ZN+1} \cdot ux_{AN+1} \cdot X_R + c_A + NX_A \quad (17)$$

$$X_R = \sum_{j=1}^{N-1} (a_{Zj} \cdot ux_{Rj} \cdot X_j) + a_{ZA} \cdot ux_{RA} \cdot X_A + a_{ZR} \cdot ux_{RR} \cdot X_R + c_R + NX_R \quad (18)$$

上記の式において、 NX_i は財*i*の純輸出を表し、 NX_A と NX_R についても同様に航空輸送と鉄道輸送の輸送サービス純輸出を表している。なお、純輸出財の需要は、価格に対して非弾力的と見なす。モデルにおいて国際収支バランスを維持するため、純輸出の存在により発生する対外収支不均衡は、国民経済からの対外純投資を発生させるものと仮定する。したがって、海外に対する純投資NIと財の純輸出額の和との間に、次の条件が常に成立することとなる。

$$NI = \sum_i (p_i NX_i) \quad (19)$$

交通財中間投入における航空輸送と鉄道輸送の比率は、それぞれの一般化費用によって変化する。すなわち、それぞれの交通財に関する投入係数は、価格変数の関数として表される可変投入係数の形で表現することができる。交通財の中間投入について、

$$a_{Aj}(p_A, p_R, w) = a_{Zj} \cdot ux_{Aj}(p_A, p_R, w) \quad (20)$$

$$a_{Rj}(p_A, p_R, w) = a_{Zj} \cdot ux_{Rj}(p_A, p_R, w) \quad (21)$$

と書き換え、投入係数行列を

$$A(p_A, p_R, w) = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1N-1} & a_{1N} & a_{1N+1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{i1} & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{iN-1} & a_{iN} & a_{iN+1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{N-1,1} & \cdots & a_{N-1j} & \cdots & a_{N-1N-1} & a_{N-1N} & a_{N-1N+1} \\ a_{A1} & \cdots & a_{Aj} & \cdots & a_{AN-1} & a_{AN} & a_{AN+1} \\ a_{R1} & \cdots & a_{Rj} & \cdots & a_{RN-1} & a_{RN} & a_{RN+1} \end{bmatrix} \quad (22)$$

(N+1)行×(N+1)列の正方行列(第N列は航空輸送業の、第N+1列は鉄道輸送業の中間投入技術)と表せば、式(16)~(18)の需給バランスは、次式のように行列形式により表現できる。

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_{N-1} \\ X_A \\ X_R \end{bmatrix} = [I - A(p_A, p_R, w)]^{-1} \begin{bmatrix} c_1 + NX_1 \\ \vdots \\ c_{N-1} + NX_{N-1} \\ c_A + NX_A \\ c_R + NX_R \end{bmatrix} \quad (23)$$

しかし、規模に対して収穫一定技術の下では、需要に見合うだけの生産が行われ、上記の財需給均衡条件は常に満足されることとなる。したがって、市場均衡を達成するために必要な、独立な条件は、生産要素市場の均衡のみとなる。生産要素である労働と資本の市場均衡条件は、それぞれの超過需要がゼロとなることであり、以下の条件式が成立することと等価である。

$$\sum_j^{N-1} (a_{Yj} DL_j X_j) + a_{YN} DL_N X_A + a_{YN+1} DL_{N+1} X_R - L = 0 \quad (24)$$

$$\sum_j^{N-1} (a_{Yj} DK_j X_j) + a_{YN} DK_N X_A + a_{YN+1} DK_{N+1} X_R - K = 0 \quad (25)$$

L: 労働の賦存量

K: 資本ストックの賦存量

本モデルにおける経済の均衡状態を求めることは、これらの2式を満足する生産要素価格比を求めるという問題に帰着する。

(4) 均衡状態における航空需要

本モデルは、航空輸送サービスの需要について、産業部門による中間投入としての需要を業務トリップ需要、家計による最終需要としての航空需要を非業務トリップの需要と見なしている。ここでは、均衡点におけるこれらの航空需要がどのように表されるかを整理する。

業務航空需要; $AIR_{BUSINESS}$ 、すなわち中間需要としての航空輸送サービス需要は、以下の式により表される。右辺第一項は交通以外の産業による航空需要を、第二項は航空輸送業自身による航空需要を、第三項は鉄道輸送業による航空需要を表して

いる。

$$\begin{aligned} AIR_{BUSINESS} = & \sum_{j=1}^{N-1} [a_{Zj} \cdot ux_{Aj}(p_A, p_R, w) \cdot X_j] \\ & + a_{ZN} \cdot ux_{AN}(p_A, p_R, w) \cdot X_A \quad (26) \\ & + a_{ZN+1} \cdot ux_{AN+1}(p_A, p_R, w) \cdot X_R \end{aligned}$$

各産業（航空、鉄道も含む）における、交通サービス合成財 1 単位を構成するために必要な航空輸送サービス投入である ux_{Aj} は、航空輸送サービス価格、鉄道輸送サービス価格、時間価値に相当する労働価格の関数であり、さらに外生パラメータとして交通所要時間を持つ。したがって、社会経済状態の変化によってこれらの数値に変化が生じると、業務トリップにおける航空輸送と鉄道輸送の分担率も弾力的に変化する。

非業務航空需要； $AIR_{PRIVATE}$ 、すなわち家計による最終需要としての航空需要は、以下の式により表される。

$$AIR_{PRIVATE} = c_A = \frac{\beta_A \cdot I}{p_A^\phi \cdot \left[\sum_{j=1}^{N-1} \left(\frac{\beta_j}{p_j^\phi} \right) + \frac{\beta_A}{p_A^\phi} + \frac{\beta_R}{p_R^\phi} \right]} \quad (27)$$

(5) 等価変分による便益の定義

空港整備事業等の政策、あるいは単に社会経済状況の変化等により、国民経済の一般均衡状態は変化する。事業の効率性を評価する際には、事業による便益を計測することが要求される。本モデルは、経済状態変化による社会的厚生の変化量を EV

(equivalent variation：等価変分) 基準を用いて定義し、ここではその計測手法を示す。

EV の概念は、経済の均衡状態に変化が生じたときに、効用の変化分を貨幣単位で表すというものである（森杉（1997））。さらに詳細には、経済状況変化前の状態において、変化後の効用水準を維持するという条件を満たす所得変化分と等価な貨幣価値として、等価変分 EV は次式のように定義される。

$$EV = EPD(p_{before}, U_{after}) - EPD(p_{before}, U_{before}) \quad (28)$$

EV：等価変分

$EPD(p, U)$ ：家計の支出関数

U_{before} ：状態変化前の家計効用

U_{after} ：状態変化後の家計効用

支出関数を導出するために、次の最適化問題を定式化する。

$$\begin{aligned} \min_{c_i} \quad EPD &= \sum_{i=1}^{N-1} (p_i c_i) + \sum_{z=A,R} (p_z c_z) \\ \text{s.t.} \quad & \left[\sum_{i=1}^{N-1} (\beta_i)^\frac{1}{\phi} (c_i)^\frac{\phi-1}{\phi} + \sum_{z=A,R} (\beta_z)^\frac{1}{\phi} (c_z)^\frac{\phi-1}{\phi} \right] = U \end{aligned} \quad (29)$$

この最適解が、(ヒックスの) 補償需要関数となる。

$$c_i^* = \frac{\beta_i \cdot U}{(p_i)^\phi \cdot \left[\sum_j \beta_j (p_j)^\phi \right]^\frac{\phi-1}{\phi}} \quad (30)$$

$$c_A^* = \frac{\beta_A \cdot U}{(p_A)^\phi \cdot \left[\sum_j \beta_j (p_j)^\phi \right]^\frac{\phi-1}{\phi}} \quad (31)$$

$$c_R^* = \frac{\beta_R \cdot U}{(p_R)^\phi \cdot \left[\sum_j \beta_j (p_j)^\phi \right]^\frac{\phi-1}{\phi}} \quad (32)$$

c_i^* 、 c_A^* 、 c_R^* ：財 i 、航空、鉄道に関する補償需要関数

これを式(29)の目的関数へ代入すると、支出関数 EPD が以下のように得られる。

$$EPD = U \cdot \left[\sum_i \beta_i (p_i)^{1-\phi} + \beta_A (p_A)^{1-\phi} + \beta_R (p_R)^{1-\phi} \right]^\frac{1}{1-\phi} \quad (33)$$

状態変化前の価格体系、変化前後の効用水準、および上記の定義式により、効用変化の貨幣換算値を計測することができる。状態変化として空港整備事業を取り上げれば、事業による改善を外生変数の変化として与えることにより、国民経済レベルでの便益を EV として推計することが可能である。

4. 空港整備による航空需要変化と経済効果の分析

4.1 概要

本章では、前章で開発したモデルを用いて、空港整備による航空需要への影響および便益の推計を行う。実際に行われる空港整備事業は、空港の新規建設、滑走路の増設、誘導路・エプロン・スポット・ターミナル等の拡張など様々である。しかし本モデルは、マクロな経済範囲を対象とするため、こうした具体的な空港整備プロジェクトを詳細に表現することはできない。したがって、一国レベルでの、航空輸送時間短縮あるいは航空輸送技術の効率化というマクロな航空環境変化のみが分析対象となり、この点が本モデル単体での限界と言える。

しかし、羽田再拡張、首都圏第三空港、関空二期、新福岡空港など、我が国の航空需要において大規模なウエイトを占める（あるいは占めるであろう）空港に関するプロジェクトの影響を考えるにあたり、国民経済レベルでの効果を分析することは重要な課題である。本章は、我が国全域において航空輸送環境

が変化した状況を想定し、その経済的効果と航空需要への影響を考察する。

モデルを我が国の現実経済へ適用するにあたり、幾つかの前提を設ける。具体的には、生産技術における航空輸送投入と鉄道輸送投入の代替性および労働と資本の代替性、そして家計の効用関数について、CES 関数と定式化されたものを全て、その特殊形である Cobb-Douglas 関数とする。Cobb-Douglas 関数は、CES 関数における代替弾力性を 1 とした場合の形態であり、計算が大幅に単純化されるという利点を持つ。この処理により、注記が必要となる部分は以下のとおりである。

航空輸送と鉄道輸送の技術的代替は次のように表される。

$$x_{Zj} = \eta_j (x_{Aj})^{\alpha_{Aj}} (x_{Rj})^{\alpha_{Rj}} \quad (\alpha_{Aj} + \alpha_{Rj} = 1) \quad (34)$$

また、労働と資本の技術的代替も以下のように書き改めることができる。

$$Y_j = \theta_j (L_j)^{\alpha_{Lj}} (K_j)^{\alpha_{Kj}} \quad (\alpha_{Lj} + \alpha_{Kj} = 1) \quad (35)$$

式(7)、(8)の派生需要関数および、式(9)、(10)の交通サービス合成財構成の単位交通投入量も、次のように変形される。

$$DL_j = \frac{1}{\theta_j} \left(\frac{r \cdot \alpha_{Lj}}{w \cdot \alpha_{Kj}} \right)^{\alpha_{Kj}} \quad (36)$$

$$DK_j = \frac{1}{\theta_j} \left(\frac{w \cdot \alpha_{Kj}}{r \cdot \alpha_{Lj}} \right)^{\alpha_{Lj}} \quad (37)$$

$$ux_{Aj} = \frac{1}{\eta_j} \left[\frac{(p_{Rj} + w \cdot T_R) \cdot \alpha_{Aj}}{(p_{Aj} + w \cdot T_A) \cdot \alpha_{Rj}} \right]^{\alpha_{Rj}} \quad (38)$$

$$ux_{Rj} = \frac{1}{\eta_j} \left[\frac{(p_{Aj} + w \cdot T_A) \cdot \alpha_{Rj}}{(p_{Rj} + w \cdot T_R) \cdot \alpha_{Aj}} \right]^{\alpha_{Aj}} \quad (39)$$

家計の効用最大化問題は、次のように書き換えられる。

$$\begin{aligned} \max_{c_i} \quad & U = \left[\prod_{i=1}^{N-1} (c_i)^{\beta_i} \right] \cdot (c_A)^{\beta_A} \cdot (c_R)^{\beta_R} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_i p_i c_i = I = wL + rK + \sum_j \tau_j p_j X_j - NI \end{aligned} \quad (40)$$

この解として得られる消費需要関数は以下のとおりである。

$$c_i = \frac{\beta_i}{P_i} I \quad i=1 \sim N-1 \quad (41)$$

$$c_A = \frac{\beta_A}{P_A} I \quad (42)$$

$$c_R = \frac{\beta_R}{P_R} I \quad (43)$$

また、EV の計測に用いる支出関数 EPD も、次式のように改められる。

$$EPD = U \cdot \left[\prod_{i=1}^{N-1} \left(\frac{P_i}{\beta_i} \right)^{\beta_i} \right] \left(\frac{P_A}{\beta_A} \right)^{\beta_A} \left(\frac{P_R}{\beta_R} \right)^{\beta_R} \quad (44)$$

4.2 データソースと基準時の需要

CGE モデルを用いて分析を行う際には、ある基準時点における経済状況が再現されるようにパラメータをキャリブレーションする必要がある。一般に、CGE モデルのキャリブレーションには産業連関表が用いられる。なぜならば、産業連関表は全ての産業の生産物について需給がバランスするように作成されているため、統計データの誤差調整等の加工を施す必要がないためである。したがって本稿においても、産業連関表を基礎として諸パラメータ値を与える。

日本の産業構造については、5 年間隔で発行されている産業連関表を参照することにより把握することができる。本章では、現在最新である 1995 年産業連関表を基に、産業の技術構造と家計の選好を設定し、モデルを構築した。表-1 は、1995 年における各産業の生産物についての、国内最終需要および中間財需要の値である。

表-1 の需要は金額ベースで示してあるが、以下に示すシナリオに関する分析を行うにあたり、物量としての単位を定義する必要がある。なぜなら、生産額は物量ベースの生産量と価格の積であるため、詳細な経済分析を行うためには、これらを個別に把握しなければならないからである。

生産物の計量単位について、例えば、自動車産業であれば台であり、輸送サービスであれば人キロやトンキロが用いられるなど様々であり、商業などの場合にはその定義すら困難である。しかし、経済的な分析においては全産業に対して統一的な物量単位ルールを与えることが求められるので、本稿では、産業連関モデルなどの計量的な経済モデルにおいてしばしば用いられる概念である円価値単位 (dollar worth) と呼ばれる考え方を採用する。これは、各産業における生産額 1 円分に相当する量を、各生産物の物量的な 1 生産単位と定義するものである。本稿は、基準時 (1995 年) における産業連関表から得られる生産額を用いて、各生産物の物量ベースでの産出量を定義した。

上記のルールに従い、表-1における航空輸送の需要値を見ると、最終需要として1兆2670億単位、中間需要として1兆8320億単位が利用されたことになる。これらがそれぞれ非業務航空需要と業務航空需要に相当する。航空利用実績と対応させるには、1995年次における有償人キロ実績や旅客数と合わせて、単位を調整すればよい。本稿では、これ以降需要変化に関する分析に焦点をおくため、これらの実績値への単位調整は行わず、全て円価値単位を利用する。

表-1 基準時（1995）における各産業の需要

産業部門	中間需要	国内最終需要計
農林水産業	13289	4864
鉱業	7448	34
製造業	193758	107605
建設	8120	80030
電力・ガス・水道	17348	9089
商業	36111	63267
金融・保険	28970	7814
不動産	10642	53543
通信・放送	9482	5308
公務	461	25756
サービス業	65581	128547
鉄道旅客輸送	2660	3502
航空輸送	1267	1832
運輸(除:航空・鉄道)	28673	10948
分類不明	8045	24

単位：10億円

4.3 空港整備による経済効果分析および航空需要変化分析

空港整備事業は、発着容量拡大、航空機運航の効率化、安全性や確実性の向上等を通じて、航空輸送のサービスレベル向上に寄与する。本モデルは、こうした空港整備による航空環境変化を、航空輸送事業の生産性向上および航空輸送の所要時間短縮という外生変化により表すことが可能である。以下では、まず航空輸送業の生産性変化による影響と、輸送時間短縮による影響を個別に分析し、次いでこれらの組合せによる効果を分析する。

(1) 航空輸送の生産性向上による影響分析

産業における生産性とは、一般に、産業の生み出す付加価値についての生産性を意味する。すなわち、生産要素である労働と資本の投入水準が同一でありながら産業活動によって生じる付加価値が増加するような変化が、生産性の向上である。生産性向上は、全要素生産性（Total Factor Productivity）の変化とも呼ばれる。空港整備事業は、施設整備等を通じて、航空輸送サービスの供給者であるエアラインの労働生産性や資本生産性向上に寄与することが期待される。ここでは、航空輸送業における生産性変化による、経済的影響と航空需要への影響について分析する。

本モデルでは、空港整備による航空輸送産業の生産性変化を、式(35)における効率性パラメータ θ_i の変化として表す。航空輸送産業の効率性パラメータを基準状態から変化させ、その価格

や需要等への影響を分析する。

いかなる空港整備事業が、どれほど生産性変化に寄与するかについて、定量的に把握することは困難である。そこで、基準状態からの生産性変化率を複数設定し、それに対してモデルのアウトプットの示す挙動について分析を行う。

まず、生産性向上による航空需要自体への影響について分析を行う。図-4は、航空輸送サービス産業の生産性向上率とそれによる航空需要増加率との関係を示している。なお、航空需要の増加率については、業務航空需要と非業務航空需要を個別に計測し、さらにこれらを合わせた全航空需要についても計測した。図-4より、非業務航空需要が業務航空需要よりも大きく増加するという結果が得られている。また、生産性向上率に対する需要増加率の大きさが逓減している、すなわち生産性向上による限界的需要誘発効果が逓減するという現象も確認できる。

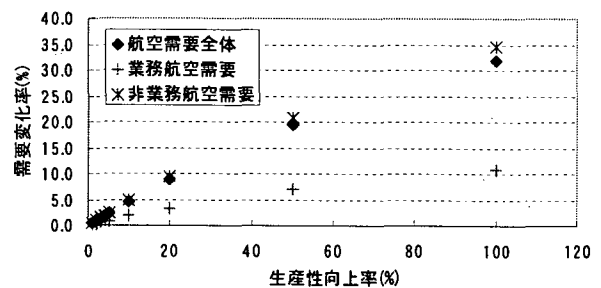


図-4 航空輸送産業の生産性向上と航空需要増加の関係

生産性向上は、生産性変化前の生産水準を達成するために必要となる生産要素（労働と資本）の量を減少させるため、航空輸送サービスをより低価格で供給することを可能とさせる。その結果、価格低下による最終需要増加、生産要素市場の需給バランス調整、財市場の需給均衡のための価格変化等が生じ、新たな均衡状態が達成される。産業の生産技術、特に中間投入に関する技術は、財価格変化に対して比較的安定と考えられる。一方、最終需要の財別構成比は、生産技術に比べると、価格変化に対して弾力的に変化することが期待される。こうした、需要の特性の異質性が、非業務航空需要と業務航空需要の増加率の差異に大きく影響している。

次に、航空輸送業の生産性変化が他産業に及ぼす影響を分析する。図-5は、航空輸送産業の生産性が10%向上した状態を想定したときにおける、基準状態からの財価格体系の変化を表している。航空輸送産業における価格低下率が突出していることは、容易に確認できる。金融・保険業と不動産業において価格上昇が見られる他は、各産業において価格低下をもたらしている。ここで得られた航空輸送と競合関係にある鉄道輸送業においても価格低下が生じるであろうという結果は、注目できる。

航空輸送における生産性向上が直接的に航空産業の価格低下に寄与することは言うまでもないが、航空輸送サービスの価格低下は、中間投入として航空輸送を需要する産業における生産コスト低下へも間接的に寄与する。価格体系の変化は、最終需要の構成比についての変動をもたらし、基準状態の需給バランスが崩れることになる。この需給調整のために、さらに財価

格調整が行われるため、基準状態より価格が上昇する産業部門も発生する可能性がある。図-5の価格体系変化は、こうした経緯を経た結果である。

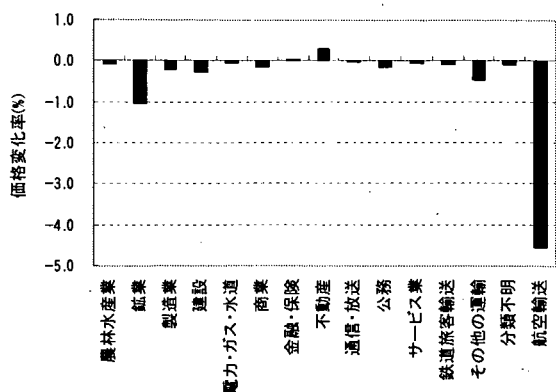


図-5 航空産業生産性 10%向上による価格体系への影響

価格体系の変化は、当然ながら需要の変化をもたらす。図-6は、航空輸送産業の生産性が10%向上した場合における均衡状態での、航空輸送業以外の産業についての総産出需要および最終需要の変化率を示したものである。

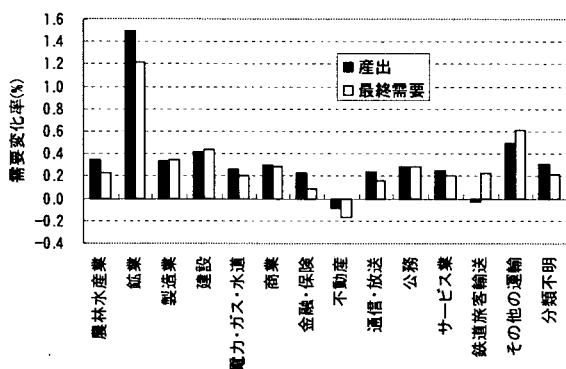


図-6 航空産業生産性 10%向上による需要への影響

財価格体系の変化と併せて結果を観察すると、価格低下率の大きかった鉱業において産出量増加率が大きく、価格上昇が見られた不動産における産出量低下が生じていることを確認できる。この中で、鉄道旅客輸送需要の結果については、興味深い挙動を示している。価格低下が生じたにもかかわらず産出量は減少しており、他方、最終需要は増加するという結果が見られる。この結果は次のように解釈できる。最終需要においては、価格低下の直接的影響として需要増加が生じることは直感的に理解可能である。しかし中間需要においては、航空と鉄道に関する合成交通財と他の中間財が Leontief 技術であり、航空と鉄道の間にのみ代替関係を仮定している。航空輸送の価格低下率が鉄道旅客輸送に比べて大きい場合、中間需要における交通機関分担において、航空輸送の占める割合が増加し、鉄道旅客輸送のシェアは減少する。この効果が最終需要の増加分を上回ったため、トータルとしての総需要が減少する結果が得られ

たものと考えられる。

航空輸送産業における技術変化がもたらす他産業の産出量変化は、経済循環を通じた、空港整備による波及効果と考えることができる。生産性 10%向上に対する産出量および最終需要の変化量については、参考のため付録に示す。

(2) 航空輸送の所要時間短縮による影響分析

続いて、航空輸送時間短縮による影響について分析を行う。混雑空港において容量増大に関わる空港整備を行うと、便数増加が期待される。その結果、平均的な運航間隔が減少することとなり、実質的な航空輸送時間短縮に寄与すると考えられる。我が国では、特に羽田、成田、福岡等の容量限界が危惧されている空港において、こうした拡張効果を期待することができる。これらの空港は我が国の基幹航空ネットワークを構成する空港であり、旅客需要の規模も大きい。したがって、こうした空港における運航頻度の増加は、国民経済レベルでの航空輸送時間短縮をもたらすと考えられる。また、リージョナルジェットの普及による多頻度化によっても、同様に実質的な航空所要時間短縮がもたらされると考えられる。ここでは、式(38)、(39)における T_A を基準状態から減少させることにより、航空輸送時間の短縮を表し、その影響を分析する。

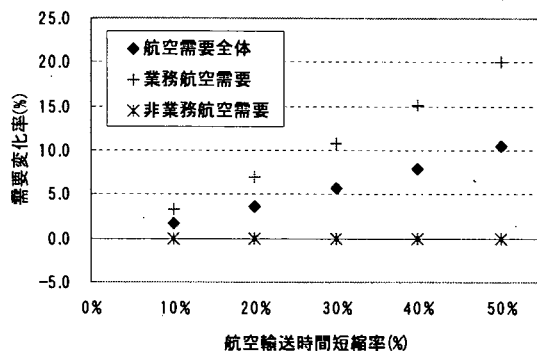


図-7 航空輸送時間の短縮と航空需要の関係

輸送時間短縮による航空需要への影響は、図-7に示すとおりである。なお、航空輸送時間の短縮率は、10%刻みに最大 50% までについてのケースを想定した。生産性変化と同様、定量的な時間短縮効果を把握することは困難であるので、以下では、輸送の時間短縮に伴う航空需要変化の特性・挙動について分析を行う。

結果を見ると、時間短縮による航空需要増加は、ほぼ業務航空需要のみについて表れていることがわかる。非業務航空需要への影響が見られないのは、家計の最終需要選択行動において、時間費用が含まれないことに起因すると考えられる。本モデルは、所得制約のみを考慮した効用最大化行動を仮定しているが、輸送時間をも家計行動に含めて考えるためには、時間制約も明示的に考慮する必要がある。この点に関するモデルの拡張は、機会を改めて報告したい。

業務航空需要については、交通投入において航空輸送と鉄道旅客輸送の代替を考慮しており、時間費用を含む一般化費用に

よって分担率が変化する。そのため、中間投入において鉄道需要から航空需要へのシフトが生じ、業務トリップにおいて航空輸送需要のシェアが増大すると考えられる。

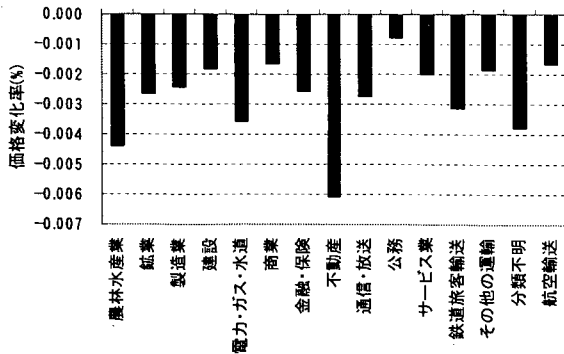


図-8 航空所要時間10%減少による価格体系への影響

図-8は、航空所要時間が10%短縮された場合に想定される財価格体系への影響を示している。所要時間短縮により、全産業において価格低下がもたらされるという結果が得られている。生産性変化の場合と比べると、航空輸送産業自体の価格変化の割合が小さく、全産業を通じて、変化率の値が小さい。時間短縮は、金銭費用の節減に直接寄与しないため、このように価格体系への影響が小さくなっているものと考えられる。

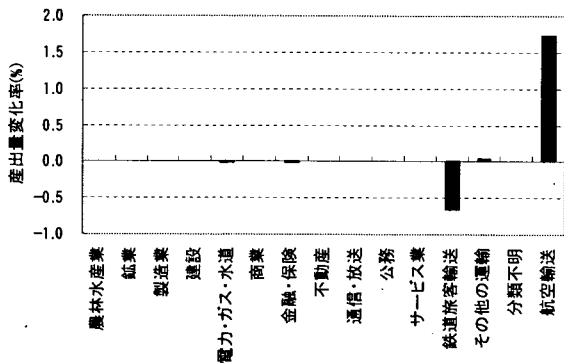


図-9 航空所要時間10%減少による産出量への影響

図-9は、航空所要時間が10%短縮された場合における、総産出量への影響を表している。図-9より、鉄道需要から航空需要へのシフトが顕著であることを確認することができる。価格体系に大きな変動がないため、航空輸送と鉄道旅客輸送以外の産業部門へ及ぶ効果は微小である。航空所要時間短縮による価格体系変化、産出量および最終需要変化についての結果は、参考のため付録に示す。

(3) 生産性向上と所要時間短縮の双方を考慮した空港整備効果分析

空港整備事業あるいは航空政策による効果として、航空輸送の生産性向上と所要時間短縮が同時に生じることが予想される。ここでは、空港整備等の政策により、航空輸送産業の生産

性が10%向上し航空所要時間が10%短縮されたという仮想的状況を想定し、これらの複合的効果の分析を行う。外生変化として与える10%という数値自体は、分析における目安としての役割を果たしている。

航空需要の変化は、表-2のような結果となった。先の分析結果と合わせて考察すると、生産性向上が非業務航空需要増加に寄与し、所要時間短縮が業務航空需要増加に寄与していると考えられる。

表-2 航空需要の変化率
(生産性+10%, 航空所要時間-10%)

需要変化率(%)	
航空需要全体	6.48
業務航空需要	5.23
非業務航空需要	4.92

表-3 価格と需要の変化およびEV
(生産性+10%, 航空所要時間-10%)

産業	価格		産出		最終需要	
	変化率(%)	変化量	変化率(%)	変化量	変化率(%)	変化量
1 農林水産業	-0.09	54,747	0.35	11,209	0.23	415
2 鉱業	-1.06	24,794	1.49	376,840	0.35	350,436
3 製造業	-0.21	1,036,210	0.33	18,784	0.44	18,784
4 建設	-0.29	364,103	0.41	181,140	0.29	7,369
5 電力・ガス・水道	-0.06	67,132	0.25	-86,288	-0.16	8,593
6 商業	-0.14	302,760	0.30	74,285	0.29	262,920
7 金融・保険	0.05	74,401	0.20	8,036	0.23	90,056
8 不動産	0.30	-54,904	-0.09	66,818	0.61	53
9 通信・放送	-0.02	36,568	0.25	53	0.22	53
10 公務	-0.15	75,727	0.29			
11 サービス業	-0.06	489,060	0.26			
12 鉄道旅客輸送	-0.09	-43,052	-0.71			
13 航空輸送	-4.55	156,340	6.48			
14 その他の運輸	-0.47	219,482	0.53			
15 分類不明	-0.08	23,607	0.31			
EV				1,368,000		

※変化量は百万円価値単位, EVの単位は百万円

また、価格、産出量、最終需要の変化、および厚生指標であるEVについての結果を表-3に示す。産出量に関して、鉄道旅客輸送での減少が見られるが、これは航空輸送時間短縮による影響と考えられる。総産出と最終需要について、変化率ではなく変化量ベースでの影響を見ると、産業規模の大きな製造業、サービス業、建設業、商業における需要ボリューム変化が大きいことがわかる。特に、製造業の産出量増加については、1兆円価値単位以上の波及効果もたらされるという結果となっている。EVの値を見ると、1兆3680億円の便益が生じるという結果が得られている。このように、空港整備による生産性向上や時間短縮は、産業振興という点からも、社会的厚生という点からも、国民経済に対して大きな効果をもたらすと考えられる。

5. おわりに

本稿は、CGE(応用一般均衡)モデルを利用し、航空と鉄道との機関分担を考慮した長距離交通需要推計も可能な経済分析手法を提案した。現時点において、本モデルは、非業務交通需要における交通所要時間による機関分担への影響が扱われていないこと、ミクロレベル(例えば路線毎や空港毎)の航空

需要との関連が示されていないこと、国内航空と国際航空の区別がされていないこと等の問題を抱えている。こうした点は今後の課題である。しかし本モデルでは、産業構造と航空需要の関わりという、従来の交通需要予測手法では見られない特性が考慮されている。また、経済理論と直接的にリンクする CGE モデルを利用することにより、帰着ベースでの費用便益分析手法との整合性が保たれるという利点を持つ。

現在の空港整備特別会計の財源は大部分を空港使用料収入や航空燃料税に頼っており、このことは、直接的に航空機に搭乗する旅客あるいは航空貨物運賃支払者が、財源の大半を負担していることに他ならない。しかし、4. に示す結果から明らかかなように、航空輸送サービスの発展は、直接利用者だけではなく間接的波及を通じて広く国民経済に効果を及ぼすものである。現在、空港整備財源は厳しい状況にあり、こうした金銭的理由のために我が国の空港整備のスピードは大きく低下している。整備の遅れによる空港容量不足等の影響は、航空輸送サービスレベルの停滞どころか、生産性の低下になりかねない。本稿は、空港というインフラは単なる移動のための施設ではなく、国民経済を支える基幹インフラであるという点を経済的波及効果に関する数値実験を通じて主張するものである。今後の空港整備における一般財源投入のウエイトのあり方について、こうした観点から慎重な議論がなされることを期待したい。

(2003年2月14日)

Ueda, T., Koike, A., Yamaguchi, K. and Tsuchiya, K. (2002) : Spatial Benefit Incident Analysis of Airport Capacity Expansion, Proceedings of International Symposium on Global Competition in Transportation Market

参考文献

- 市岡修 (1991) : 応用一般均衡分析, 有斐閣
- 黒田昌裕 (1989) : 一般均衡の数量分析, 岩波書店
- 小池淳司・上田孝行・宮下光宏 (2000) : 旅客トリップを明示した SCGE モデルの構築とその応用, 土木計画学研究・論文集, No.17
- 国土交通省航空局 (2002) : 数字で見る航空 2002
- 総務庁 (1999) : 平成7年産業連関表
- 土木学会 : 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, 1998
- 溝上章志 (1994) : 産業間の連関性と空間的な価格均衡を考慮した物資流動モデル構築の試み, 土木学会論文集, No.494 IV-24
- 宮城俊彦, 本部賢一 (1996) : 応用一般均衡分析を基礎にした地域間交易モデルに関する研究, 土木学会論文集, No.530 IV-30
- 森杉壽芳 (1997) : 社会資本整備の便益評価, 勁草書房
- Ginsburgh, V. and M. Keyzer (1997) : The Structure of Applied General Equilibrium Models, The MIT Press, Cambridge MA
- Koike, A. and Ueda, T. (2001) : Spatial Computable Equilibrium Model for Passenger Transport Investment -Evaluation of Japanese New Shinkansen Project-, Proceedings of 9th World Congress of Transport Research
- Shoven, J.B. and Whalley, J. (1992) : Applying General Equilibrium, Cambridge University Press, [小平裕 訳 (1993), 応用一般均衡分析, 東洋経済新聞社]

付録 計算結果

付表-1 生産性変化と航空需要増加の関係

航空輸送産業 生産性変化率	航空需要全体	業務航空需要	非業務航空需要
1%	0.490	0.192	0.513
2%	0.975	0.381	1.021
3%	1.454	0.567	1.525
4%	1.929	0.750	2.023
5%	2.398	0.931	2.517
10%	4.672	1.794	4.916
20%	8.885	3.349	9.392
50%	19.370	6.977	20.702
100%	31.975	10.928	34.581

数値は変化率(%)

付表-2 航空輸送産業生産性10%向上による各産業への影響（価格，総産出，最終需要）

	価格	産出		最終需要	
	変化率(%)	変化量	変化率(%)	変化量	変化率(%)
1 農林水産業	-0.08	54,361	0.34	11,104	0.23
2 鉱業	-1.05	24,813	1.50	414	1.21
3 製造業	-0.20	1,030,000	0.33	376,460	0.35
4 建設	-0.29	365,566	0.41	350,664	0.44
5 電力・ガス・水道	-0.06	69,361	0.26	18,658	0.21
6 商業	-0.14	301,750	0.29	181,307	0.29
7 金融・保険	0.05	81,399	0.22	7,336	0.09
8 不動産	0.31	-57,358	-0.09	-88,253	-0.16
9 通信・放送	-0.02	36,189	0.25	8,556	0.16
10 公務	-0.14	76,034	0.29	74,610	0.29
11 サービス業	-0.06	483,070	0.25	263,020	0.20
12 鉄道旅客輸送	-0.08	-1,972	-0.03	8,005	0.23
13 航空輸送	-4.55	112,798	4.67	90,063	4.92
14 その他の運輸	-0.46	204,941	0.49	66,848	0.61
15 分類不明	-0.07	23,306	0.31	52	0.22

※変化量は百万円価値単位

付表-3 航空輸送時間短縮と航空需要の関係

航空輸送の 時間短縮率	航空需要全体	業務航空需要	非業務航空需要
10%	1.729	3.296	-0.001
20%	3.615	6.892	-0.002
30%	5.684	10.836	-0.003
40%	7.964	15.184	-0.006
50%	10.494	20.009	-0.009

数値は変化率(%)

付表-4 航空所要時間10%減少による各産業への影響（価格，総産出，最終需要）

	価格	産出		最終需要	
	変化率(%)	変化量	変化率(%)	変化量	変化率(%)
1 農林水産業	-0.0044	338	0.0021	102	0.0021
2 鉱業	-0.0026	-40	-0.0024	0	0.0004
3 製造業	-0.0024	5,120	0.0016	140	0.0001
4 建設	-0.0018	-1,613	-0.0018	-383	-0.0005
5 電力・ガス・水道	-0.0036	-2,257	-0.0085	115	0.0013
6 商業	-0.0016	630	0.0006	-409	-0.0006
7 金融・保険	-0.0026	-7,007	-0.0193	20	0.0003
8 不動産	-0.0061	2,460	0.0038	2,027	0.0038
9 通信・放送	-0.0028	318	0.0022	25	0.0005
10 公務	-0.0008	-376	-0.0014	-392	-0.0015
11 サービス業	-0.0020	5,240	0.0027	-370	-0.0003
12 鉄道旅客輸送	-0.0031	-40,328	-0.6611	29	0.0008
13 航空輸送	-0.0016	41,743	1.7290	-12	-0.0006
14 その他の運輸	-0.0019	13,803	0.0332	-47	-0.0004
15 分類不明	-0.0038	264	0.0035	0	0.0015

※変化量は百万円価値単位