

# 多地域応用一般均衡モデルによる高速道路無料化政策の評価\*

## Evaluation of toll-free expressway policy by SCGE Model\*

内田賢悦\*\*・樋口靖典\*\*\*・杉木直\*\*\*\*・長岡修\*\*\*\*\*・加賀屋誠一\*\*\*\*\*

By Ken'etsu UCHIDA\*\*・Yasunori HIGUCHI\*\*\*・Nao SUGIKI\*\*\*\*・

Osamu NAGAOKA\*\*\*\*\*・Seiichi KAGAYA\*\*\*\*\*

### 1. はじめに

本研究では、多地域一般均衡モデルと利用者均衡配分モデルを用いて高速道路無料化政策による効果を推計する。高速道路無料化は、家計の支出を減少させる一方で、高速道路会社の収入も減少させ、それらは相殺される関係にある。そのため、高速道路無料化の効果は、家計の効用レベルの変化から、便益として推計することにする。

分析モデルにおける主要な仮定は、以下の通りである。

- ・ 家計の効用は、所得制約下での財の消費および住宅水準のみによって決定される。
- ・ 交通ネットワークは、道路ネットワークのみを考える。
- ・ 高速道路無料化による移動コストの減少は、新たな交通需要を喚起する。

最初の仮定は、家計の効用関数は、財の消費量、所得、住宅水準のみによって決定され、高速道路無料化による通勤や余暇による交通影響を考慮しないことを示している。次の仮定は、高速道路と競合関係にある鉄道、航空等への高速道路無料化による影響は考慮しないことを示している。

最後の仮定は、移動コストによって交通需要が決定されることを示している。

### 2. 多地域応用一般均衡モデル

#### (1) 記号

以下に本モデルで扱う主な記号を示す。

外生変数

- $I$  : 地域の数  
 $M$  : 産業部門の数  
 $\tilde{t}_{ij}$  : ネットワークにおける地域*i, j*間の最短一般化移動時間  
 $H_i$  : 地域*i*における宅地面積  
 $\bar{K}$  : 対象圏域の世帯が所有する資本の総量

\*キーワード 多地域一般均衡, 利用者均衡配分

\*\*正員 博 (工) 北海道大学大学院工学研究科  
(札幌市北区北13条西8丁目, Tel 011-706-6211, Fax 011-706-6211)

\*\*\*正員 修 (工) 札幌市

\*\*\*\*正員 修士 (情報科学) (株) ドーコン総合計画部

\*\*\*\*\*非員 修士 (工学) (株) ドーコン交通部

\*\*\*\*\*フェロー 学博 北海道大学大学院工学研究科

$\omega^m$  : 一単位の財  $m$  を単位時間輸送するために用いられる財の量

$\mu^m$  : 移輸入係数

$E_j^m$  : 地域  $j$  にある移輸出ノードから対象圏域の外に移輸出される財  $m$  の量

内生変数

$N_i$  : 地域  $i$  の人口

$y_i^m$  : 地域  $i$  における産業  $m$  の生産額

$L_i^m$  : 地域  $i$  における産業  $m$  の労働投入

$K_i^m$  : 地域  $i$  における産業  $m$  の資本投入

$q_i^m$  : 地域  $i$  における財  $m$  の出荷価格

$r$  : 資本の賃貸料

$x_i^m$  : 地域  $i$  に住む世帯による財  $m$  の消費量

$p_i^m$  : 地域  $i$  における財  $m$  の消費者価格

$z_{ij}^m$  : 地域  $i$  で生産され地域  $j$  で需要される財  $m$  の量、すなわち地域  $i, j$  間の財の交易量

$u^*$  : 均衡時に達成される世帯の効用水準

#### (2) モデルの概要

本研究では、Mun (1997), 文 (1997) による多地域応用一般均衡分析モデルを適用して、高速道路無料化による便益の推計を行う。このモデルは、世帯及び企業の立地行動と、財市場、資本市場、土地市場の均衡を記述する。その結果、空間的価格均衡を通じて、地域間の取引のパターンが決定される。以下では、モデル概要の説明を行うため、定式化の詳細については、Mun (1997), 文 (1997) を参照されたい。

以下にモデルの基本仮定を示す。

- ・ 対象圏域内の地域の数とそれぞれの位置は先決されており、すべての地域は交通ネットワークにより結ばれており、地域間で取引される財の輸送に用いられる。
- ・ 対象圏域の総人口は固定されている。
- ・ 土地は世帯の住宅のために用いられる。各地域によって利用可能な土地面積は限られており、外生的に与えられる。土地は同じ地域に住む世帯によって所有され、地代収入は地域内の各世帯に均等に分配される。
- ・ 生産のための投入要素は労働と資本である。
- ・ 対象圏域内の地域相互の交易財の輸送には、その財そ

のものを投入する。

- ・ 対象圏域に居住する世帯は、同量の資本を所有しており、各世帯は資本賃貸料の収入を所得として受け取ることができる。
- ・ 対象圏域の外（国内、国外とも）との間で資本及び財の流出入は自由であるが、圏域外との間で経常収支は均衡しているものとする。

### (3) 企業の行動

企業の生産関数を次のように一次同次のコブ・ダグラス型に特定化する。

$$y_i^m = \delta^m \cdot G^m(N_i) \cdot (L_i^m)^{a^m} \cdot (K_i^m)^{1-a^m} \quad (1)$$

ここで  $y_i^m, L_i^m, K_i^m$  は、それぞれ、地域  $i$  における産業  $m$  の生産額、労働投入、資本投入であり、 $a^m, \delta^m$  はパラメータである。 $G^m(N_i)$  は、集積の経済効果を表す関数であり、次のように特定化される。

$$G^m(N_i) = N_i^{\sigma^m} \quad (2)$$

ここで  $\sigma^m$  は、パラメータであり、 $0 \leq \sigma^m \leq 1$  の値をとる。このとき、企業の利潤最大化行動により、次のように各投入要素に対する需要が求められる。

$$L_i^m = \frac{a^m}{w_i} \cdot q_i^m \cdot y_i^m \quad (3)$$

$$K_i^m = \frac{1-a^m}{r} \cdot q_i^m \cdot y_i^m \quad (4)$$

ここで  $q_i^m$  は、地域  $i$  における財  $m$  の出荷価格（FOB）であり、 $w_i$  と  $r$  は、それぞれ、労働者の賃金と資本の賃貸料である。

### (4) 世帯の行動

各世帯は、財の消費と住宅水準に依存する効用を最大化するように行動する。世帯の効用関数は、次のように定式化される。

$$U(h_i, x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^M) = \alpha \cdot \ln h_i + \sum_{m=1}^M \beta^m \cdot \ln x_i^m \quad (5)$$

ここに  $x_i^m$  は地域  $i$  に住む一世帯による財  $m$  の消費量である。 $\alpha, \beta^m$  は非負パラメータであり、 $\alpha + \sum \beta^m = 1$  の関係を満たす。また世帯の所得制約は、次のようになる。

$$w_i + \frac{p_i^h \cdot H_i}{N_i} + \frac{r \cdot \bar{K}}{T} = \sum_{m=1}^M p_i^m \cdot x_i^m + p_i^h \cdot h_i \quad (6)$$

ここで  $p_i^m$  は、地域  $i$  における財  $m$  の消費者価格（CIF）であり、 $p_i^h$  は住宅地の地代である。効用最大化条件により、次の式が導かれる。

$$x_i^m = \frac{\beta^m}{1-\alpha} \cdot \frac{1}{p_i^m} \cdot (w_i + \frac{r \cdot \bar{K}}{T}) \quad (7)$$

$$h_i = \frac{\alpha}{1-\alpha} \cdot \frac{1}{p_i^h} \cdot (w_i + \frac{r \cdot \bar{K}}{T}) \quad (8)$$

### (5) 地域間の交易

地域間の交易パターンは、地域ごとの財価格と輸送費によって決定される。各地域の需要者は CIF 価格（生産地価格＋輸送費）が最小となる生産地を購入先として選ぶと考える。 $j$  に住む需要者が生産地  $i$  を財の購入先として選ぶ確率、 $s_{ij}^m$  は次式によって与えられる。

$$s_{ij}^m = \frac{y_i^m \cdot \exp[-\lambda^m \cdot q_i^m \cdot (1 + \omega^m \cdot \tilde{t}_{ij})]}{\sum_k y_k^m \cdot \exp[-\lambda^m \cdot q_k^m \cdot (1 + \omega^m \cdot \tilde{t}_{kj})]} \quad (9)$$

ここで  $\omega^m$  は、一単位の財  $m$  を単位時間輸送するために用いられる財の量、 $\tilde{t}_{ij}$  はネットワークにおける地域  $i, j$  間の最短一般化移動時間であり、次章に示す利用者均衡配分によって決定される。上記の確率を用いると、地域  $i, j$  間の財の交易量、すなわち地域  $i$  で生産され、地域  $j$  で需要される財  $m$  の量  $z_{ij}^m$  は次のように求められる。

$$z_{ij}^m = \{N_j \cdot x_j^m \cdot (1 - \mu^m) + E_j^m\} \cdot s_{ij}^m \quad (10)$$

ここで  $\mu^m$  は、外生的に与えられる移輸入係数（対象地域における総需要のうち、対象地域外及び、国外から移輸入する量の比率）であり、 $E_j^m$  は、地域  $j$  から対象圏域の外に移輸出される財  $m$  の量である。

### (6) 市場均衡

このモデルの経済システムの均衡条件は以下のように定義される。

$$\text{労働市場：} \quad \sum_{m=1}^M L_i = N_i \quad (11)$$

$$\text{財市場（需要地）：} \quad N_j \cdot x_j^m \cdot (1 - \mu^m) + E_j^m = \sum_{i=1}^I z_{ij}^m \quad (12)$$

$$\text{財市場（生産地）：} \quad y_i^m = \sum_{j=1}^I z_{ij}^m \cdot (1 + \omega^m \cdot t_{ij}) \quad (13)$$

経常収支均衡：

$$r \cdot \left( \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M K_i^m - \bar{K} \right) = \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M q_i^m \cdot E_i^m - \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \mu^m \cdot p_i^m \cdot N_i \cdot x_i^m \quad (14)$$

$$\text{世帯の立地均衡：} \quad U(h_i, x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^M) = u^* \quad (15)$$

## 3. 利用者均衡配分

ここでは、需要変動型利用者均衡配分の定式化を行う。交通ネットワークは、 $G(A, N)$  で表わされるものとする。ここで  $A, N$  は、それぞれネットワーク上のリンク集合、ノード集合である。 $f^{ij}$  が OD ペア  $i, j$  間の交通需要を表わすことにし、これは需要関数  $D_{ij}(\tilde{t}_{ij})$  によって与えられると考える。 $\tilde{t}_{ij}$  ( $\forall ij \in \Omega$ ) は、OD ペア  $i, j$  間の最小一般化時間であり、 $\Omega$  は OD ペアの集合である。ネットワーク上のそれぞれのリンク移動時間は、関数  $t_a(q_a)$  によって表現される。ここで  $q_a$  は、式(21)で与えられるリンク交通量で

ある。

$$q_a = \sum_{ij \in \Omega} \sum_{k \in K^{ij}} \delta_{ak}^{ij} \cdot f_k^{ij} \quad \forall a \in A \quad (16)$$

ここで  $f_k^{ij}$  は、OD ペア間の  $k$  番目経路、 $K^{ij}$  は、OD ペア間の経路集合、 $\delta_{ak}^{ij}$  はリンク  $a$  が  $k$  番目経路に含まれる場合に 1、それ以外の場合に 0 をとる変数である。  $t_{ij}^k$ 、 $\kappa_{ij}$  をそれぞれ、OD ペア  $i, j$  間の  $k$  番目経路の移動時間、その高速道路料金を表わすものとする。その場合、OD ペア  $i, j$  間の  $k$  番目経路の一般化時間は、式(17)で与えられる。

$$\tilde{t}_{ij}^k = t_{ij}^k + \frac{\kappa_{ij}}{\tau} \quad (17)$$

ここで  $\tau$  は、外生的に与えられる時間価値である。

ドライバーは、自己が経験する OD 間の一般化移動時間を最小化するように経路選択を行うことを仮定すると、この問題は、以下に示すように定式化される。

$$f_k^{ij} \cdot (\tilde{t}_{ij}^k - \tilde{t}_{ij}) = 0 \quad \forall ij \in \Omega, \forall k \in K^{ij} \quad (18)$$

$$\tilde{t}_{ij}^k - \tilde{t}_{ij} \geq 0 \quad \forall ijs \in \Omega, \forall k \in K^{ij} \quad (19)$$

$$f^{ij} = \sum_{k \in K^{ij}} f_k^{ij} \quad \forall ij \in \Omega \quad (20)$$

$$f_k^{ij} \geq 0 \quad \forall ij \in \Omega, \forall k \in K^{ij} \quad (21)$$

$$f^{ij} \cdot (\tilde{t}_{ij} - D_{ij}^{-1}(f^{ij})) = 0 \quad \forall ij \in \Omega, \forall k \in K^{ij} \quad (22)$$

$$\tilde{t}_{ij} - D_{ij}^{-1}(f^{ij}) \geq 0 \quad \forall ij \in \Omega \quad (23)$$

$$f^{ij} \geq 0 \quad \forall ij \in \Omega \quad (24)$$

一方、経路の一般化移動時間がリンク毎に分離可能な場合、上記の定式化は、以下に示す凸計画問題として表現される。

$$\min Z_d = \sum_{a \in A} \int_0^{q_a} \tilde{t}_a(w) dw - \sum_{ij \in \Omega} \int_0^{f^{ij}} D_{ij}^{-1}(x) dx, \quad (25)$$

s.t. (16), (20), (21) and (24).

ここで  $\tilde{t}_a(q_a)$  は、リンクの一般化移動時間であり、式(26)で与えられる。

$$\tilde{t}_a(q_a) = t_a(q_a) + \frac{\kappa_a}{\tau} = t_a^0 \cdot \left( 1 + \alpha \cdot \left( \frac{q_a}{c_a} \right)^\beta \right) + \frac{\kappa_a}{\tau} \quad (26)$$

ここで  $c_a$ 、 $\kappa_a$  は、それぞれリンクの交通容量、高速料金であり、 $\alpha$ 、 $\beta$  はパラメータである。この場合、経路の一般化移動時間は、式(27)で与えられる。

$$\tilde{t}_{ij}^k = \sum_{a \in A} \delta_{ak}^{ij} \cdot \tilde{t}_a(q_a) \quad \forall ij \in \Omega, \forall k \in K^{ij}. \quad (27)$$

#### 4. 北海道における多地域応用一般均衡モデルの構築

##### (1) ゾーン設定

本研究では、図-1に示すように、北海道を14のゾーン（支庁）に分けてモデルパラメータの推定を行うことにする。



図-1 対象圏域と地域区分

##### (2) 産業部門設定

産業部門は、文(1997)と同様に20部門と設定した。

##### (3) 分析用データベース

14支庁でのモデルパラメータ推定に必要なデータは、人口、宅地面積、就業者数、貸金率、生産額、移輸出額、地域間移動時間等であり、内容及びデータ出典については表-1に示す通りである。

表-1 分析用データ

データ	データ出典
人口	H17 年国勢調査
産業部門別 就業者数	H17 年国勢調査 H18 年事業所・企業統計調査
宅地面積	H17 年固定資産の価格等の概要調査
貸金率	H17 年課税対象所得（総務省）
産業部門別生産額・移輸出入額	H17 年全国地域間産業連関表
平均住宅地価	H17 年都道府県地価調査
産業部門別 地域間交易量	H17 物流センサス

##### (4) パラメータ推計

以上のデータベースおよび仮定に基づいて生産関数、効用関数、交易関数に関するパラメータ推計を行った。これらに加え、モデルの再現性に関する感度分析を行なうことによって、外生パラメータも推計した。

#### 5. 結果

ここでは、図-2に示す北海道の道路ネットワークを対象とし、高速道路料金無料化による効果の検討を行う。分析においては、短期的な影響に主眼を置くため、人口移動なしと仮定した。これに伴い、利用者均衡配分において、需要固定として得られる一般化移動時間を他地域一般均衡モ

デルで用いることにした。一方、企業の立地変化は、比較的短期間でも起こると想定できるため、モデル内で表現することにした。ここで示した仮定は、本研究で構築したモデルの制約を意味するものではないことに注意が必要である。すなわち、長期的な影響をみたい場合には、人口移動と交通需要変動を考慮した分析を行うことが可能である。

はじめに、モデルがどの程度現況を再現しているかの検証を行うことにする。現況を再現しているのは全線有料時の状態であるため、その賃金の推計値と実績値と比較することにする。図-3に賃金の推計値と実績値の散布図を示す。相関係数0.7となっており、あまり高くはない。これは一般均衡モデルであるため、賃金水準のスケールが実績値と一致していなく、推計値の方が過小になっているためである。しかしながら、推計値と実績値の傾向は概ね再現されていることがわかる。

図-4に高速道路全線無料化による支庁別の経済便益を示す。便益は、石狩支庁、後志支庁で負の値をとっているが、他の地域では正の値をとっている。石狩支庁の便益が他地域に比べて大きく負の値をとっている理由として、まずは人口が多い点が挙げられる。石狩支庁の人口一人当たりの単年便益はマイナス一万円程度となっており、この値は後志支庁と比べてもあまり変わらない。また、無料化によって輸送コストが下がることにより、需要者が石狩支庁を財の購入先として選ぶ確率が下がったことも影響している。これは、物流が活発になることによって、生産の拠点が石狩支庁から上川支庁や十勝支庁に移ったためである。財の消費者価格に対する賃金の割合が減少しているため財の消費量が減少し、石狩・後志支庁では負の便益が発生している。高速道路無料化による北海道全体の総経済便益は約312億円となった。

次に、全線無料化と同様に、北海道内の社会実験対象区間が無料化された場合についてシミュレーションを行なった。図-5に社会実験区間無料化による支庁別の経済便益を示す。便益は、全線無料化の場合には、石狩支庁で大きく負の値をとっていたが、社会実験区間無料化の際には正の値をとっている。社会実験区間無料化による便益は全地域において正の値をとっており、北海道全体の総経済便益は約412億円となった。この結果は、全線無料化の総経済便益約312億円と比べると、約100億円大きい値である。この主要な要因としては、石狩支庁の便益が負から正に転換したことが挙げられる。石狩支庁の人口一人当たりの経済便益をそれぞれ比較しても約一万円程度しか違いがないが、石狩支庁の人口の絶対量が大きいので、この変化が北海道全体に大きな影響を及ぼすということである。

以上の分析結果から、全線無料化よりも社会実験のように交通影響の少ない区間を対象とした部分的な無料化の方が高い経済便益をもたらすこと示された。



図-2 対象ネットワーク

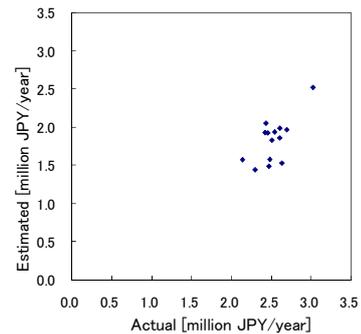


図-3 賃金の散布図（実績値－推計値）

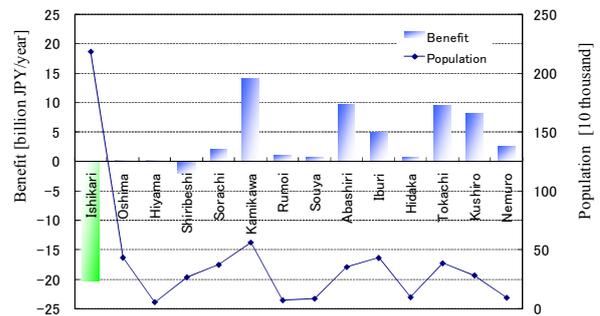


図-4 経済便益（全線無料化）

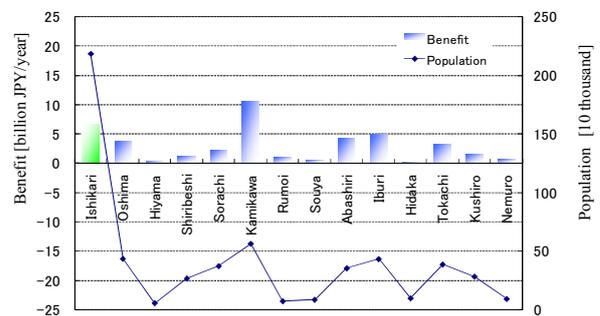


図-5 経済便益（社会実験区間）

#### 参考文献

- 1) Mun, S. (1997) Transport Network and System of Cities, JOURNAL OF URBAN ECONOMICS 42, pp.205-221.
- 2) 文世一（1997）地域間人口配分からみた交通ネットワークの評価，東北建設協会 建設事業の技術開発に関する助成研究成果報告書.