

# 多地域応用一般均衡モデルを用いた 高速道路無料化による経済効果に関する研究

A Study on the Economic Impact from Highway No Charge by Multi-Regional AGE Model

北海道大学大学院工学研究科	○学生員	樋口靖典	(Yasunori Higuchi)
北海道大学大学院工学研究科	正員	内田賢悦	(Ken'etsu Uchida)
北海道大学大学院工学研究科	フェロー	加賀屋誠一	(Seiichi Kagaya)
(株) ドーコン	正員	杉木直	(Nao Sugiki)
(株) ドーコン	非会員	長岡修	(Osamu Nagaoka)

## 1. 本研究の背景・目的

近年、高速交通体系を巡り、高速道路の無料化が検討されている。高速道路無料化には移動費用の低下に伴い、旅行・観光関連の消費増といった経済効果が期待されている。その一方で、道路交通の混雑や、物流への影響、環境への影響、等が懸念されている。他の交通機関である鉄道や航空への影響も無視できない問題である。

また、北海道は広大な土地となっており、都市間距離が長い。また積雪寒冷地域であるため、高速道路無料化による北海道への影響は、他地域と比べても大きいものであると推測される。

このような背景の中で現在、高速道路無料化の経済効果について正確な試算が必要とされている。これまで道路評価に関しては、費用便益分析マニュアルが用いられてきた。費用便益分析マニュアルでは、時間短縮便益に重点がおかれ、企業や世帯から見た便益を考慮していないというような問題点がある。直接的に道路利用者のみが便益を享受すると考える発生ベース便益ではなく、財の流通コスト低下を通じて、間接的に家計が便益を享受すると考える帰着ベース便益の考え方が、無料化効果を推計するにあたって、極めて重要である。そこで、直接効果だけではなく、間接効果で便益を推計するためには一般均衡分析を用いる必要がある。

本研究では、高速道路の無料化がもたらす北海道全体への影響を多地域応用一般均衡分析により表現し、定量的にその効果を把握することを目的とする。

## 2. 既存研究のレビュー

筆者<sup>1)</sup>は、北海道における高規格道路整備による効果を、多地域応用一般均衡モデルを用いて推計した。この際、対象として北海道全体という広い地域、手法として間接効果を求めるため一般均衡モデルを用いた。

特徴としては、時間効果ではなく間接的な経済効果で道路整備効果を測っている点が挙げられる。

問題点としては、自動車以外の他の交通機関について取り扱っていない点、地域ごとの人口の現状再現性がまだ不十分な点、などが挙げられる。また、北海道に適したパラメータの再推計が必要である。

本研究では、この既存研究を基にモデルの再構築を行っていく。

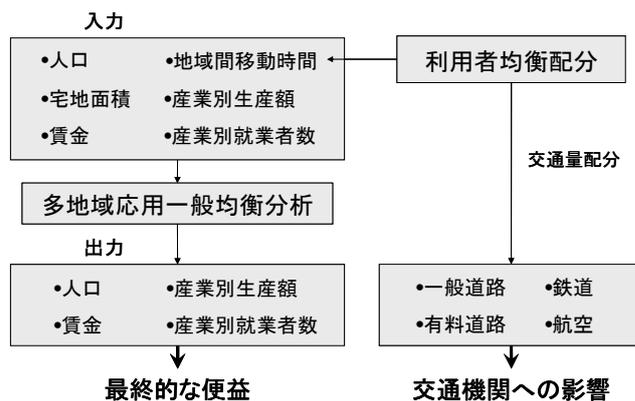


図-1 多地域応用一般均衡分析



図-2 対象圏域と地域区分

## 3. 研究の概要

本研究では、多くの財を含む市場全体における価格と需給・供給量の同時決定問題を扱うため、多地域一般均衡モデルを適用する。図-1に分析のフローを示す。まず、利用者均衡配分によって、交通量配分を行う。そこから求めた地域間移動時間と、人口等の実データを入力データとして、一般均衡分析を行う。また、交通量配分結果から各交通機関への影響も推計する。

対象圏域(図-2)は北海道地方全体とし、いくつかの小地域(本研究では14支庁)に分割する。

高速道路利用料金が有料時と無料時、それぞれ一般均衡分析を行い、それぞれの地域ごとに無料化前後の便益を求め、考察する。

#### 4. 多地域応用一般均衡モデル

##### 4.1 モデルの概要

多地域応用一般均衡分析<sup>2)</sup>では、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。そして、空間的価格均衡を通じて、地域的取引のパターンが決まる。モデルにおける基本仮定を以下に列挙する。

- ①すべての地域は交通ネットワークにより結ばれている。
- ②企業と労働者世帯は地域間を自由に、コストをかけずに移動できる。
- ③対象圏域（本研究では北海道全体）における総人口は固定されている。
- ④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いる。
- ⑤生産のための投入要素は労働と資本であり、中間投入は無視する。
- ⑥対象圏域内の地域相互の取引財の輸送にはその財そのものを投入する。すなわち、一単位の財を単位時間輸送するために、その財を一定量消費する。
- ⑦対象圏域に居住する世帯は、同量の資本を所有している。
- ⑧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。

##### 4.2 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。

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

ここに  $y_i^m, L_i^m, K_i^m$  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。

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

ここに  $\sigma^m$  はパラメータであり、 $0 \leq \sigma^m \leq 1$  の範囲にある。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。

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

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

ここに、 $q_i^m$  は地域  $i$  における財  $m$  の出荷価格 (f.o.b.) 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。資本は対象圏域内外を問わず自由に移動できると仮定する。したがって資本のコストは、どの地域においても等しくなる。

##### 4.3 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。

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

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。 $\alpha, \beta^m$  はパラメータである。また世帯の所得制約は、次のようになる。

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

ここに、 $p_i^m$  は、地域  $i$  における財  $m$  の消費者価格 (c.i.f.) であり、 $p_i^h$  は住宅地の地代である。左辺の第2項は、各世帯が地域内に所有する土地からの収入である。効用最大化の条件により、次の式が導かれる。

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

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

##### 4.4 地域間の取引

地域間の取引パターンは、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 c.i.f. 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。

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

ここに  $\omega^m$  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、 $t_{ij}$  はネットワークにおける地域  $i, j$  間の最短時間である。上の確率を用いると、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。

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

ここに、 $\mu^m$  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。

#### 4.5 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。

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

財市場（需要地）：

$$N_j x_j^m (1 - \mu^m) + E_j^m = \sum_{i=1}^I z_{ij}^m \quad (12)$$

財市場（生産地）：

$$y_i^m = \sum_{j=1}^I z_{ij}^m (1 + \omega^m t_{ij}) \quad (13)$$

経常収支均衡：

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

世帯の立地均衡：

$$U(h_i, x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^M) = u^* \quad (15)$$

外生変数

$I$ ：地域の数

$M$ ：産業部門の数

$t_{ij}$ ：ネットワークにおける地域  $i, j$  間の最短時間

$\underline{H}_i$ ：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

$\omega^m$ ：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 (*f.o.b.*)

$r$ ：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 (*c.i.f.*)

$z_{ij}^m$ ：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

#### 5. 利用者均衡配分

##### 5.1 利用者均衡配分の概要

多地域一般均衡分析では、地域間移動時間を推計する必要がある。ここでは、高速道路利用料金有料時、無料時、二つの分析条件について、利用者均衡配分を適用し、地域間移動時間の推計を行う。

また、利用者均衡配分とは、利用者が自己の経路選択行動を最適化した結果到達する均衡状態を表すものである。すべての利用者は常に走行時間最小化という同一の評価基準に基づいて行動し、かつその走行時間情報は完全に正しいということが前提である。すなわち、均衡状態においては、もはやどの利用者も経路を変更することによって自己の走行時間をそれ以上短縮することはできない、ということができる。

利用者均衡配分は以下のように定式化される

$$\min .Z_p = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(w) dw \quad (16)$$

$$\text{制約条件：} x_a = \sum_{k \in K_{rs}} \sum_{rs \in \Omega} \delta_{a,k}^{rs} f_k^{rs} \quad \forall a \in A \quad (17)$$

$$\sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} - Q_{rs} = 0 \quad \forall rs \in \Omega \quad (18)$$

$$f_k^{rs} \geq 0, \quad x_a \geq 0 \quad (19)$$

$t_a$ ：リンク  $a$  の走行時間

$x_a$ ：リンク  $a$  の交通量

$A$ ：リンクの集合  $\Omega$ ：OD ペアの集合

$K_{rs}$ ：OD ペア  $rs$  間の経路集合

$\delta_{a,k}^{rs}$ ：OD ペア  $rs$  間の  $k$  番目経路がリンク  $a$  を含むとき 1、それ以外るときに 0 をとる変数

$f_k^{rs}$ ：OD ペア  $rs$  間の  $k$  番目経路の経路交通量

$Q_{rs}$ ：OD ペア  $rs$  間の分布交通量

##### 5.2 料金考慮について

本研究では、有料リンク利用料金について、以下の式 (20) で走行時間を定義する。これはリンクの BPR 関数に基づいている。

$$t_a(x_a) = t_{a0} \left\{ 1 + \alpha \left( \frac{x_a}{c_a} \right)^\beta \right\} + \frac{T + p}{\tau} \quad (20)$$

$t_a$ ：リンク  $a$  の走行時間

$x_a$ ：リンク  $a$  の交通量

$t_{a0}$ ：リンク  $a$  の自由走行時間

$c_a$ ：リンク  $a$  の交通容量

$\alpha, \beta$ ：パラメータ

$T$ ：固定料金（ターミナルチャージ）

$p$ ：可変料金

$\tau$ ：時間価値

5.3 対象路線

図-3、図-4 に、利用者均衡配分の対象路線図を示す。まずは道路リンクのみで配分を行い、それを元に全リンク（道路リンク、鉄道リンク、航路リンク）において、配分を行う。全リンク数 7252、全ノード数 5829 となっている。

5.4 道路リンクのみの地域間移動時間

表-1、表-2 に無料化前後の地域間移動時間（道路リンクのみ）推計結果を示す。有料時に高速道路を利用する場合、実際には料金分の時間が差し引かれるため、表記の時間より早く地域間を移動できる。

6. 北海道地方を対象としたモデルの構築

本研究では、北海道地方を 14 支庁に分割し、それぞれの地域は、中心都市とその周辺市町村から成る都市圏として取り扱う。そして、各都市圏は日常生活圏として完結しており、一つの労働市場と、各種の財について一つの市場が形成されているものとする。

第 4 章では、モデルの理論的定式化の段階での仮定について述べたが、北海道地方のような実際の都市システムにモデルを適用するためには、さらにいくつかの応用上の仮定が必要となる。それらは次に述べるようなものである。

- (1) 農林水産業、鉱業は、土地や天然資源の存在に依存するので、それらの立地をモデルによって求めることはせず、地域別生産量は外生的に与えることとする。また公務についても、その立地は市場原理ではなく政策的に決定されるので、地域別生産量を外生的に与える。
- (2) 域外への移輸出は、関東以南、東北、国外という 3 方面に集約する。関東以南へは苫小牧、東北へは函館、国外へは千歳の各地域が、それぞれの移輸出ノードであると仮定する。
- (3) 各世帯の規模はすべて等しく、就業者が一人ずつ居るものと仮定する。したがって、各世帯の労働供給は世帯数と等しくなる。人口分布は各地域の就業者数（世帯数）を北海道地方の平均就業率で割ることにより求める。

7. 今後の課題

今後は、より具体的なモデル構築を進める。以下にその内容を示す。

- ・ 鉄道・航空も含めた利用者均衡配分
- ・ データの収集、パラメータ推定
- ・ 一般均衡モデルの改善
- ・ 無料化による便益を推計

参考文献

- 1) 樋口靖典ほか：多地域応用一般均衡モデルを用いた北海道における道路整備効果に関する研究，日本地域学会第 45 回学術発表論文集，2008
- 2) 文世一：地域間人口配分からみた交通ネットワークの評価，土木計画学研究・講演集 No.18(2)，pp665～668，1995

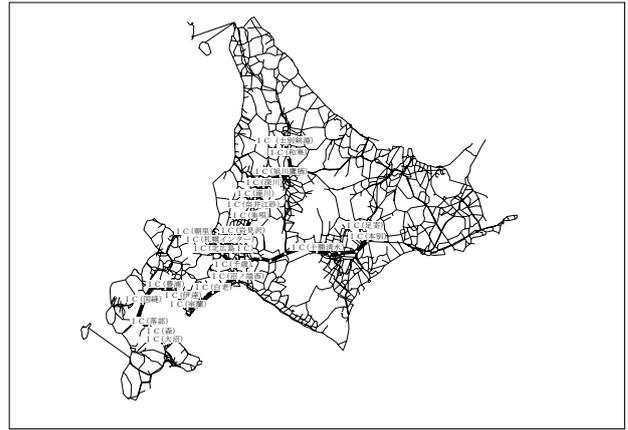


図-3 対象路線（道路リンク）

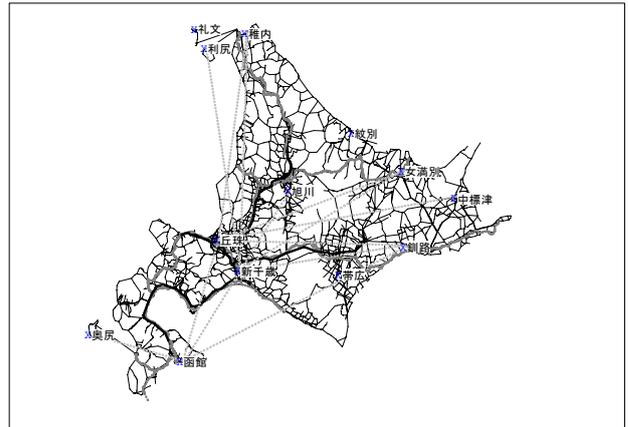


図-4 対象路線（全リンク）

表-1 有料時の地域間移動時間（道路リンクのみ）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	石狩	渡島	釧路	後志	空知	上川	留萌	宗谷	網走	胆振	日高	十勝	釧路	根室
1	30.0	327.5	305.6	128.5	60.6	178.2	166.7	373.5	399.5	166.4	205.8	273.5	427.2	569.9
2	327.5	30.0	91.0	226.1	386.3	502.5	485.8	692.8	723.4	239.3	454.5	537.1	689.8	833.6
3	305.6	91.0	30.0	205.3	365.4	483.2	465.0	672.0	702.5	218.4	433.7	516.3	669.0	812.7
4	128.5	226.1	205.3	30.0	186.4	301.7	274.0	481.0	524.3	115.8	267.2	349.8	502.5	646.2
5	60.6	386.3	365.4	186.4	30.0	126.6	126.6	329.3	345.9	191.3	214.7	230.7	382.8	513.8
6	178.2	502.5	483.2	301.7	126.6	30.0	94.3	282.8	234.5	312.1	316.8	219.3	329.4	410.5
7	166.7	485.8	465.0	274.0	126.6	94.3	30.0	207.0	319.3	312.1	335.4	277.5	414.1	495.3
8	373.5	692.8	672.0	481.0	329.3	282.8	207.0	30.0	379.4	514.8	538.1	446.6	524.6	575.1
9	399.5	723.4	702.5	524.3	345.9	234.5	319.3	379.4	30.0	513.8	349.1	221.4	175.8	206.4
10	166.4	239.3	218.4	115.8	191.3	312.1	312.1	514.8	513.8	30.0	236.9	319.5	472.2	616.0
11	205.8	454.5	433.7	267.2	214.7	316.8	335.4	538.1	349.1	236.9	30.0	166.0	240.0	385.1
12	273.5	537.1	516.3	349.8	230.7	219.3	277.5	446.6	221.4	319.5	166.0	30.0	156.0	301.2
13	427.2	689.8	669.0	502.5	382.8	329.4	414.1	524.6	175.8	472.2	240.0	156.0	30.0	145.1
14	569.9	833.6	812.7	646.2	513.8	410.5	495.3	575.1	206.4	616.0	385.1	301.2	145.1	30.0

表-2 無料時の地域間移動時間（道路リンクのみ）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	石狩	渡島	釧路	後志	空知	上川	留萌	宗谷	網走	胆振	日高	十勝	釧路	根室
1	30.0	257.2	242.3	120.8	38.2	106.8	120.4	323.1	312.3	103.3	183.1	227.1	365.7	488.3
2	257.2	30.0	91.0	188.3	271.6	339.0	353.7	556.5	545.4	182.6	352.1	410.8	548.8	679.0
3	242.3	91.0	30.0	174.4	257.7	326.1	339.8	542.5	531.5	168.7	338.1	396.9	534.9	665.1
4	120.8	188.3	174.4	30.0	147.2	215.8	229.2	432.0	420.9	104.3	253.5	312.3	450.2	580.4
5	38.2	271.6	257.7	147.2	30.0	79.4	93.1	295.9	284.8	117.4	197.5	204.1	342.0	460.8
6	106.8	339.0	326.1	215.8	79.4	30.0	87.6	262.5	227.8	186.0	266.1	194.2	322.6	403.8
7	120.4	353.7	339.8	229.2	93.1	87.6	30.0	206.7	292.9	199.6	279.7	243.3	381.2	469.0
8	323.1	556.5	542.5	432.0	295.9	262.5	206.7	30.0	379.3	402.3	482.4	431.2	524.5	575.1
9	312.3	545.4	531.5	420.9	284.8	227.8	292.9	379.3	30.0	391.4	329.8	195.2	175.8	206.4
10	103.3	182.6	168.7	104.3	117.4	186.0	199.6	402.3	391.4	30.0	198.2	256.9	394.9	525.1
11	183.1	352.1	338.1	253.5	197.5	266.1	279.7	482.4	329.8	198.2	30.0	165.8	238.8	384.0
12	227.1	410.8	396.9	312.3	204.1	194.2	243.3	431.2	195.2	256.9	165.8	30.0	152.6	297.8
13	365.7	548.8	534.9	450.2	342.0	322.6	381.2	524.5	175.8	394.9	238.8	152.6	30.0	145.1
14	488.3	679.0	665.1	580.4	460.8	403.8	469.0	575.1	206.4	525.1	384.0	297.8	145.1	30.0