

PRRI Review

2004年 夏季
国土交通省 国土交通政策研究所

目 次

国土交通政策研究所平成16年度研究課題

調査研究論文

首都圏における交通政策が経済及び環境に与える影響の分析—中間報告—

マルチモーダルな交通環境家計簿に関する研究

都市複合型携帯端末に関する研究開発

都市の活力を生み出す産業の立地選択と都市環境

地域に根ざした社会資本の整備のあり方に関する研究

社会資本運営における金融手法を用いた自然災害リスク平準化に関する研究

水素エネルギー社会におけるインフラ及び都市・住宅のあり方に関する研究

パースペクティブ

「モビリティ・マネジメント」

研究所の活動から

首都圏における交通政策が経済及び環境に与える影響の分析 - 中間報告 -

前主任研究官 栗田 まさ子
研究官 小池 剛史

概要

運輸部門からのCO₂排出量を定量的に推計できるモデルを構築し、首都圏において適用を試みた。このモデルは、立地行動モデルと交通行動モデルを統合し両者を均衡させる、世帯の効用関数や企業の利潤関数の中に交通消費を入れる、ことで誘発交通を考慮したCO₂排出量を推計する構造になっている。構築したモデルを用いて、首都圏における様々な交通政策を条件としてCO₂排出量や地域内総生産がどのように変化するかを推計した。ただし、モデルには様々な仮定・制約があり、今後改良を重ねていく必要がある。

はじめに

先進諸国の温室効果ガスの排出量削減を定めた京都議定書は2002年6月4日に我が国も批准し、ロシアが批准すれば発効する状況である。京都議定書において、我が国は、2008年から2012年の第1期約束期間に、CO₂等の温室効果ガスの排出量を1990年比で6%削減することを約束している。この削減約束を達成するために2002年3月19日に地球温暖化対策推進本部で決定された地球温暖化推進大綱によれば、運輸部門については2010年のCO₂排出量を1997年比17%増に抑制することとされているが、2002年度の運輸部門からの排出量は1990年比20.4%増であり、目標達成のためには何らかの追加対策が必要な状況である。

そこで本研究では、交通基盤整備等の施策をいくつか想定し、それらの施策を条件として運輸部門からのCO₂排出量や地域内総生産がどのように変化するかを、応用都市経済モデル(Computable Urban Economic model: CUEモデル)を構築して推計した。分析対象地域は、我が国の人口の4分の1以上、国内総生産の3割以上を占める首都圏(1都3県+茨城県南部)とした。本稿は、その中間報告である。

1. CO₂排出量の推計について

運輸部門からのCO₂排出量は、「交通量×CO₂排出原単位(速度等の活動状態に依存)」で推計する。CO₂排出原単位、特に自動車のCO₂排出原単位については、技術進歩や低公害車の普及によって大きく変わることも予測されるが、ここでは将来にわたって一定と考える。したがって、CO₂排出量の推計で重要になってくるのは、将来の交通量の予測、つまり交通需要予測である。

現在、交通需要予測において一般的に使われているのは「四段階推計法」と呼ばれる方法である。四段階推計法についての詳しい説明は省略するが、四段階推計法では、交通の発生に重要な影響を与えるゾーン毎の人口等の土地利用や生成交通量(総発生トリップ)等を外生的に与えるため、施策を実施することによって発生する新たな交通-誘発交通-について全てを考慮する事ができない。

そこで、本研究においては誘発交通を全て考慮するため、交通モデルと世帯分布及び企業分布を推計する立地モデルを統合したモデルである応用都市経済モデルをベースにモデルの構築を行った。

・誘発交通について

交通基盤整備等の交通施策を行うと新たな交通が発生する。この新たな交通は誘発交通と呼ばれるが、施策が交通行動のどの段階まで影響を及ぼすかによって発生する誘発交通は変わってくる。表1に交通行動の段階と誘発交通の種類を示す。

表1 交通行動の段階と誘発交通の種類

交通行動の段階	誘発交通の種類	内容
土地利用	立地変更(土地利用変化)	交通基盤整備により世帯、企業等の立地分布の変更に伴う交通の変化
交通発生	トリップ発生	移動頻度の増加や新たな移動の発生。1人当たりのトリップ数の変化
目的地選択	再分布(ODの変化)	新設交通基盤を使用して、より遠くのゾーンのセンターで買物をする等、交通の発生・集中地点の変更、OD交通量の変化
交通手段選択	交通手段変更(転移交通)	鉄道から道路への転換等、他交通手段からの転換
経路選択	再配分(転換交通)	より一般化交通費用の安い経路への転換であり、例えば、バイパス整備により、整備前本線交通量 < 整備後本線交通量 + バイパス交通量となる。

2. モデルの構築

(1) モデルの前提条件



対象地域

本研究の分析対象地域は東京都・神奈川県・埼玉県・千葉県及び茨城県南部とする。ゾーニングは、中心部及び東京近郊は市区町村単位で行い、周辺部は地方生活圏をベースに交通ネットワークを考慮して作成した。ゾーン数は169ゾーンである。

人口及び従業者数

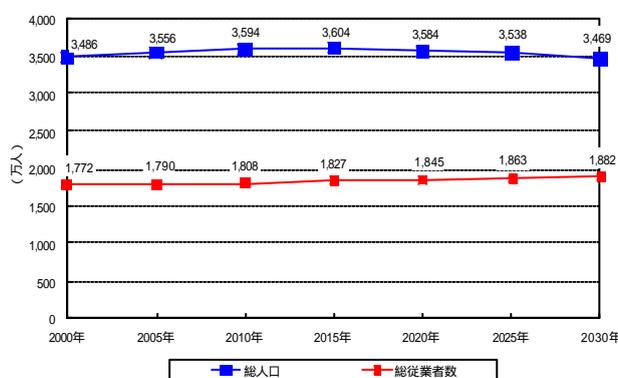


図1 首都圏総人口及び総従業者数

首都圏総人口及び首都圏総従業者数は外生的に与える。

総人口は人口問題研究所の「平成14年都道府県の将来推計人口」を用いた。総従業者数については、過年度の調査で別途推計したものをを用いた。

CO2 排出原単位

CO2 排出原単位は下図のとおりである。

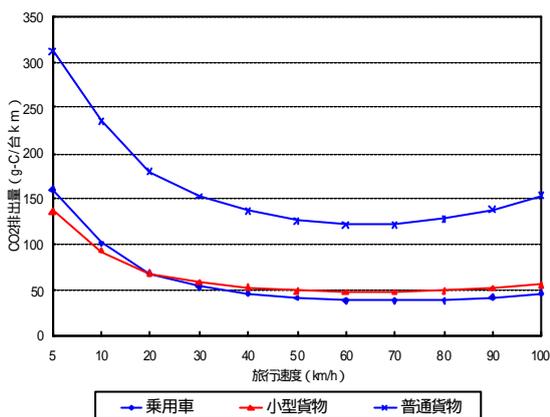


図2 自動車のCO2 排出原単位
(出所：道路投資に関する評価の指針)

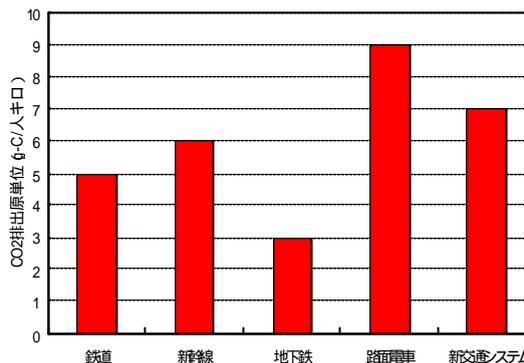


図3 鉄道のCO2 排出原単位
(出所：運輸関係エネルギー要覧)

(2) モデルの全体構造

モデルは、 応用都市経済モデル、 CO2 排出量推計モデルの2つのサブモデルから構成される(図4)。

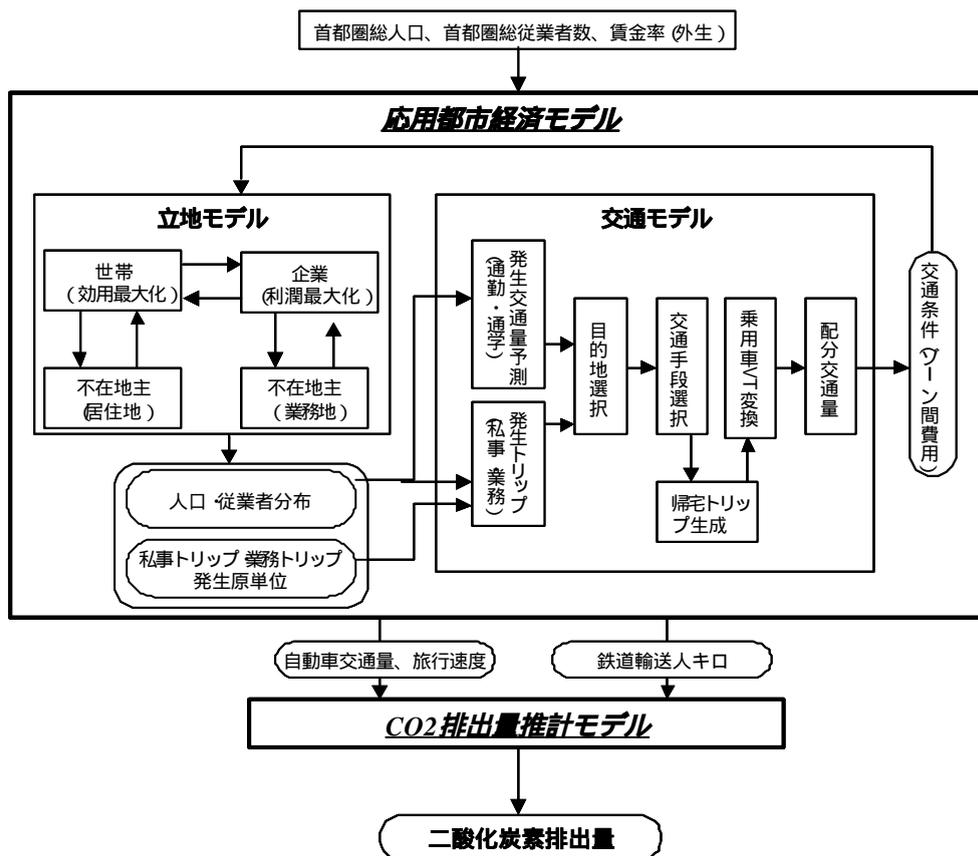


図4 モデルの全体構造

CUE モデルは、立地モデルと交通モデルから構成されており、立地モデルは人口・総従業者数・賃金率を外生変数として入力して、ゾーン毎の人口(世帯)と従業者数(企業)

私事トリップ消費量、業務トリップ消費量を推計するモデルである。世帯（家計）、企業、不在地主の3主体からなり、世帯及び企業はミクロ経済学に基づいた合理的行動を取る（つまり、所得などの制約条件のもとで効用・利潤最大化行動を取る）。

交通モデルは、立地モデルで推計された世帯・企業の立地分布及び私事・業務トリップ消費量（＝私事・業務トリップ発生原単位）を用いて発生トリップ量を推計し、トリップを交通ネットワーク上に配分していくモデルである。交通モデルで推計された交通条件（ゾーン間費用）は立地モデルへ戻され、立地モデルと交通モデルが均衡するまで繰り返し計算される。最終的には自動車交通量及び旅行速度並びに鉄道輸送量が推計される。

これらの推計値はCO2排出量モデルに入力され、最終的なCO2排出量が推計される。

（3）立地モデルの構造

世帯の行動モデル

世帯は生産要素（労働）を提供することで所得を得て、それを基に、自身の効用が最大化されるように合成財（住宅以外の財・サービス）、住宅、私事トリップ、余暇の消費を行う。また、世帯はこれらの消費の結果として得られる効用を指標に、居住地の選択を行う。効用関数は線形対数型で定式化した。

$$V_i^H = \max_{z_i, a_i, x_i^p, l_i} [a_z \ln z_i + a_a \ln a_i + a_x \ln x_i + a_l \ln l_i] \quad (1)$$

subject to. $z_i + r_i a_i + q_i^p x_i^p + w l_i = wT - q_i^w x_i^w - q_i^s x_i^s$

ただし、

V_i^H : 世帯の効用水準、 i : ゾーンを表す添え字

z_i : 価格を1とした合成財の消費量、 a_i : 住宅地消費量

x_i^p : 私事トリップ消費量（年間1人当たりトリップ数）、 l_i : 余暇消費量

w : 賃金率（外生）、 T : 総利用可能時間（固定）

r_i : 住宅地代、 q_i^p : 私事トリップの一般化価格（期待最大効用）

q_i^w : 通勤トリップの一般化価格、 x_i^w : 通勤トリップ消費量（年間1人当たりトリップ数）

q_i^s : 通学トリップの一般化価格、 x_i^s : 通学トリップ消費量（年間1人当たりトリップ数）

a_z, a_a, a_x, a_l : 分配パラメータ ($a_z + a_a + a_x + a_l = 1$)

私事トリップ消費量を効用関数に入れることにより、交通発生の誘発交通を考慮している。次に世帯は（1）式で求められたゾーン毎の効用水準を指標にして、居住地のゾーン選択を行う。ゾーン選択はエントロピーモデルにて定式化した。（エントロピーモデルを解くことにより、ロジットモデルが得られる。）

$$S^H = \max_{P_i^H} \left[\sum_i P_i^H V_i^H - \frac{1}{q^H} \sum_i \{P_i^H \ln P_i^H\} \right] \Rightarrow P_i^H = \frac{\exp q^H V_i^H}{\sum_i \exp q^H V_i^H} \quad (2)$$

st. $\sum_i P_i^H = 1$

ただし、 S^H : 世帯の居住地選択における期待最大効用

P_i^H : ゾーン i の居住地選択確率、 q^H : ロジットパラメータ

企業の行動モデル

企業は、業務用地と業務トリップ、労働を投入して、生産技術制約の下で利潤が最大となるように生産を行っているものとする。なお、ここでは生産関数をコブ・ダグラス型で定式化した。

$$\begin{aligned} \Pi_i^B &= \max_{A_i, X_i, L_i} [Z_i - R_i A_i - Q_i X_i - w L_i] \\ \text{st. } Z_i &= h_i A_i^{b_A} X_i^{b_X} L_i^{b_L} \end{aligned} \quad (4)$$

ただし、 Π_i^B : 企業の利潤、 Z_i : 合成財生産量、 A_i : 業務用土地投入量、
 X_i : 業務トリップ投入量、 L_i : 労働投入量、 R_i : 業務用地代、 Q_i : 業務トリップ一般化価格、
 w : 賃金率(外生)、 h_i : 生産効率パラメータ、 b_A, b_X, b_L : 分配パラメータ

注1) h_i は i ゾーンの生産効率パラメータであり、数値が大きい方が当該ゾーンに立地する企業の生産効率が高いことを表す。集積のメリットを表現するため、生産効率パラメータをアクセシビリティで説明できると仮定した。従業者数が多いゾーン(つまり企業が多く立地しているゾーン)やその周辺は生産効率が高くなる。

$$h_i = A \exp\left(B \left(\frac{1}{ACC_i}\right)\right) \quad ACC_i = \frac{\sum_j m_{ij} q_j E_j^V}{\sum_j E_j^V} \quad (5)$$

ただし、
 ACC_i : アクセシビリティ、 m_{ij} : ij 間の鉄道所要時間、 E_j^V : 従業者数の留保層
 A, B : パラメータ

注2) ACC_i (アクセシビリティ) は i ゾーン交通利便性を表す指標である。従業者数の多いゾーンへの所要時間が短いほど当該ゾーン交通利便性が良くなるように、従業者数で重み付けをした各ゾーンへの所要時間を全従業者数で割ったものを ACC とした。 ACC の数値が小さいほど交通利便性が高いことを表す。また、本調査の分析対象地域である首都圏では、オフィスワーカーの業務上の交通手段として鉄道が第1手段であると考えられるため、 ACC には鉄道の所要時間を用いた。

企業はゾーン毎の利潤を指標に業務地のゾーン選択を行う。世帯の場合同様、ゾーン選択はエントロピーモデルにて定式化し、ロジットモデルを導出した。

$$\begin{aligned} S^B &= \max_{P_i^B} \left[\sum_i P_i^B \Pi_i^B - \frac{1}{q^B} \sum_i \{P_i^B \ln P_i^B\} \right] \\ \text{st. } \sum_i P_i^B &= 1 \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad P_i^B = \frac{\exp q^B \Pi_i^B}{\sum_i \exp q^B \Pi_i^B} \quad (6)$$

ただし、 S^B : 企業の業務地選択における期待最大効用
 P_i^B : ゾーン i の業務地選択確率、 q^B : ロジットパラメータ

不在地主の行動モデル

不在地主は、家計、企業へ土地を供給し、地代収入による利潤を得る。その不在地主の土地供給関数を以下のように定式化した。

$$\begin{aligned} \text{居住用土地供給: } y_i^H &= \overline{y_i^H} \cdot \left(1 - \frac{s_i^H}{r_i}\right) \quad \text{業務用土地供給: } y_i^B = \overline{y_i^B} \cdot \left(1 - \frac{s_i^B}{R_i}\right) \\ \text{ただし、} \overline{y_i^H}, \overline{y_i^B} &: \text{土地供給可能面積、} s_i^H, s_i^B: \text{パラメータ} \end{aligned} \quad (7)$$

(4) 交通モデルの構造

交通発生モデル

私事及び業務トリップについては、立地モデルで求められたトリップ消費量を用いる。通勤・通学トリップについては、1人あたりのトリップ数が変化することはないと考えられるので、従来型の四段階推計法と同様に線形回帰モデルを用いた。

目的地及び交通手段選択モデル

目的地及び交通手段選択モデルは、目的地選択・交通手段選択が同時に決定されるネステッド・ロジットモデルを用いて、定式化した。

$$P_{ijm} = \frac{\exp[-q_1(C_{ijm} + q_{ijm})]}{\sum_m \exp[-q_1(C_{ijm} + q_{ijm})]} \quad P_{ij} = \frac{\exp[-q_2(C_{ij}^D + S_{ij}^D)]}{\sum_j \exp[-q_2(C_{ij}^D + S_{ij}^D)]} \quad (8)$$

ただし、 P_{ij} : 目的地 j の選択確率、 P_{ijm} : 交通手段 m の選択確率

q_{ijm} : 交通手段 m の一般化交通費用、 S_{ij}^D : 交通手段選択における期待最小費用

C_{ijm} : ij 間の手段 m に固有の費用(定数)、 C_{ij}^D : ij 間に固有の費用(定数)

q_1, q_2 : ロジットパラメータ

ここで期待最小費用は以下のように表される

$$S_{ij}^D = -\frac{1}{q_1} \ln \sum_m \exp[-q_1 \{q_{ijm} + C_{ij}^D\}]$$

経路選択行動

配分交通量モデルでは、確率的利用者均衡配分を用いる。確率的利用者均衡配分は「どの利用人も、自分が経路を変更しても自分の経路費用を減少させることができないと信じている状態」という定常状態を表現したものである。実際の計算は、A地点からB地点への経路が複数ある場合には、全ての経路の一般化費用が同じになるように、トライアルで交通量を配分する。

(5) パラメータの設定

パラメータはキャリブレーションという方法で推計する。キャリブレーションは基準年のデータセットをもとに、データセットを厳密に再現するようにパラメータを決定する方法である。統計的な検定はできないが、比較的容易にパラメータが決められるため、応用一般均衡モデル等でよく使われている。

本調査においては、2000年を基準年とし、「県民経済計算」「国民生活時間調査」「毎月勤労統計調査」「国勢調査」等を用いてデータセットを作成した。パラメータの推計結果は、紙面の都合上、割愛する。

3. シミュレーション

(1) シミュレーション実行ケース

シミュレーション実行ケースを以下に示す。シミュレーション期間は2000年から2030年とし、5年毎にモデルを実行した。また、評価施策は、2005年度以降に実施されたものとしてシミュレーションを行った。

表2 シミュレーション実行ケース

NO	ケース名	内容
1	BAU(無施策)	道路、鉄道整備水準が2000年の状態を維持。
2	道路整備	3環状9放射、第2湾岸を整備。その他はBAU
3	ロードプライシング	都心部(外堀通り内)にロードプライシングを実施。交通基盤整備はBAU
4	鉄道整備	運政審18号答申A1A2路線整備。その他はBAU
5	鉄道運賃変更(一律半額)	鉄道運賃を一律半額。整備水準はBAU
6	鉄道運賃変更(最低運賃に統一)	鉄道運賃を最低運賃。整備水準はBAU
7	鉄道運賃変更(初乗り運賃無し)	鉄道運賃を初乗り運賃無し。整備水準はBAU
8	都心部の土地利用可能面積増加	都心3区の土地利用可能面積増加、整備水準はBAU
9	パッケージ施策1	都心部土地利用可能面積増加。ロードプライシング。鉄道整備。鉄道運賃変更(一律50%低減&初乗り無し)を実施。道路整備水準は2000年水準を維持
10	パッケージ施策2	パッケージ1に道路整備を追加

(2) シミュレーション実行結果
CO2 排出量

表4 CO2 排出量の推移 (万トン/年)

	BAU	道路整備	R&P	鉄道整備	鉄道半額	鉄道最低	鉄道初乗	土地増加	パッケージ1	パッケージ2
2000年	996	996	996	996	996	996	996	996	996	996
2005年	1,008	1,021	1,007	1,014	1,003	1,009	1,003	1,013	1,010	1,019
2010年	1,021	1,041	1,022	1,027	1,016	1,021	1,018	1,022	1,021	1,042
2015年	1,031	1,055	1,027	1,034	1,024	1,028	1,027	1,030	1,032	1,053
2020年	1,033	1,065	1,033	1,042	1,033	1,032	1,032	1,037	1,035	1,068
2025年	1,036	1,071	1,034	1,041	1,031	1,030	1,030	1,036	1,036	1,067
2030年	1,031	1,069	1,031	1,039	1,028	1,031	1,030	1,033	1,035	1,067

表5 BAU からの変化率 (CO2)

	道路整備	R&P	鉄道整備	鉄道半額	鉄道最低	鉄道初乗	土地増加	パッケージ1	パッケージ2
2000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2005	1.29%	-0.14%	0.50%	-0.52%	0.02%	-0.52%	0.43%	0.10%	1.06%
2010	2.04%	0.12%	0.68%	-0.45%	0.01%	-0.26%	0.11%	0.01%	2.12%
2015	2.31%	-0.40%	0.31%	-0.67%	-0.30%	-0.36%	-0.15%	0.09%	2.12%
2020	3.13%	0.00%	0.92%	0.04%	-0.09%	-0.06%	0.37%	0.16%	3.36%
2025	3.36%	-0.19%	0.47%	-0.48%	-0.53%	-0.54%	0.07%	0.07%	3.04%
2030	3.67%	-0.02%	0.73%	-0.33%	0.00%	-0.17%	0.18%	0.34%	3.48%

地域内総生産

表6 地域内総生産の推移 (十億円/年)

	BAU	道路整備	R&P	鉄道整備	鉄道半額	鉄道最低	鉄道初乗	土地増加	パッケージ1	パッケージ2
2000年	172,062	172,062	172,062	172,053	172,077	172,061	172,060	172,601	172,624	172,624
2005年	172,140	172,297	172,124	176,148	172,172	172,143	172,169	172,901	176,939	177,064
2010年	172,209	172,537	172,203	177,026	172,249	172,233	172,253	173,166	178,033	178,344
2015年	172,309	172,701	172,266	178,763	172,338	172,319	172,334	173,401	179,985	180,377
2020年	172,368	172,904	172,334	179,114	172,414	172,377	172,389	173,619	180,517	181,070
2025年	172,467	173,439	172,425	180,396	172,512	172,473	172,489	173,867	181,965	183,006
2030年	172,545	173,561	172,533	180,745	172,567	172,558	172,576	174,032	182,486	183,549

表7 BAU からの変化率 (地域内総生産)

	道路整備	R&P	鉄道整備	鉄道半額	鉄道最低	鉄道初乗	土地増加	パッケージ1	パッケージ2
2000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2005	0.09%	-0.01%	2.33%	0.02%	0.00%	0.02%	0.44%	2.79%	2.86%
2010	0.19%	0.00%	2.80%	0.02%	0.01%	0.03%	0.56%	3.38%	3.56%
2015	0.23%	-0.03%	3.75%	0.02%	0.01%	0.01%	0.63%	4.45%	4.68%
2020	0.31%	-0.02%	3.91%	0.03%	0.01%	0.01%	0.73%	4.73%	5.05%
2025	0.56%	-0.02%	4.60%	0.03%	0.00%	0.01%	0.81%	5.51%	6.11%
2030	0.59%	-0.01%	4.75%	0.01%	0.01%	0.02%	0.86%	5.76%	6.38%

結果のまとめ

シミュレーション結果をまとめると以下のとおりである。

- ・交通基盤整備は地域内総生産を押し上げるものの、CO2 の排出量を増加させる。
- ・分析対象地域である東京圏におけるオフィスワーカーの移動（業務トリップ）は基本的には鉄道で行われていることから、鉄道整備により生産効率が向上し経済活動が活発化するという仮定を置いているため、地域内総生産に対する影響は道路整備に比べ鉄道整備の方が大きく出ている。
- ・ロードプライシングは、対象として都心部（外堀通り内）に限定したので、迂回交通が発生し、CO2 排出量削減効果は微少なものととどまる。また、地域内総生産にマイナスの効果を与える。

- ・鉄道運賃施策は僅かではあるが、CO₂ 排出量削減効果が見られる。
- ・パッケージ施策はそれぞれの施策を単独で実施した場合の合計よりも、CO₂ 増加率を抑え、地域内総生産を押し上げている。

今後の検討課題

(1) 誘発交通の計算

誘発交通は様々な要因に基づき発生しており、正確に推計するためには、より幅広い検討が必要である。

今回の推計結果は、誘発交通が過大に推計されている可能性がある。本研究で使用した応用都市経済モデルは、「世帯は所得制約の下、効用を最大化するように行動する。その際、他の財とともに交通も消費する。」「企業は生産技術制約の下、利潤を最大化させるように行動する。その際、生産要素として、労働や土地とともに交通も投入する。」という仮定を置き、誘発交通量を推計している。ここで、交通を含めた各財の支出割合（金額ベース）は将来に渡って一定と仮定したため、交通基盤整備等により交通一般化費用が減少した場合は、交通消費量が他の財に比べ大きく計算される。

(2) モデルの制約

また、モデルにおいては、産業区分を行っていない、財・サービスは一種類である、企業の交通は業務交通のみを考えている、道路網は都道府県道以上のみを考慮し、市町村道路は考慮していない、物流から発生する交通（トラック）や通過交通は外生的に与えている、ゾーン区分が市区町村単位で従来の交通需要予測に比べて粗い、などの様々な制約があり、モデルによる計算結果については、これらの影響を十分に考慮する必要がある。例えば、道路整備に関しては、上記、誘発交通の計算の問題に加え、市町村道から規格の高い道路へシフトすることによる CO₂ 排出量削減効果が勘案できないこと、物流から発生する交通が外生的に与えられていること、鉄道整備により生産効率が向上し経済活動が活発化するという仮定を置いていること等から本シミュレーション結果をもって直ちに政策判断の前提とすることを想定したものではない。

本稿は、研究途中にあるものを紹介したものであり、結果については、上述のようなモデルの仮定・制約を考慮しながら検討していく必要がある。

謝辞

本研究の実施にあたっては、「経済成長と交通環境負荷に関する研究会」を設置し、東京工業大学大学院 上田孝行助教授、芝浦工業大学 岩倉成志助教授、大阪工業大学 武藤慎一講師、計量計画研究所 佐藤徹治研究員にご指導を頂いた。また、データ分析に関しては、価値総合研究所 山崎清研究員から多大な貢献をいただいた。ここに感謝の意を表したい。