

19. CO₂排出削減目標設定下における 都市鉄道投資の便益計測 ～通勤交通を対象にして～

奥田 隆明^{1*}・三室 碧人²

¹名古屋大学エコトピア科学研究所 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

²名古屋大学大学院環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

* E-mail: okuda@nagoya-u.jp

CO₂排出量を削減するためには新しいライフスタイルを支えるインフラ投資が必要不可欠である。本研究では、こうしたインフラ投資の一つとして都市鉄道投資を取り上げ、その便益計測方法について考える。論文の前半では、現行の鉄道投資の便益計測に関する問題点を指摘し、バックキャスティングの考え方に基づき、将来に渡るCO₂排出削減目標が設定されている場合には、目標達成を前提とした影響の緩和効果により便益計測が可能であることを示す。また、現実の都市においてこうした便益評価を行うために、通勤交通を対象とした便益計測モデルを開発する。論文の後半では、この便益計測モデルを名古屋都市圏のデータを用いて作成し、名古屋地下鉄4号線を対象にした便益計測が行われる。分析の結果、CO₂排出削減目標が厳しくなるに従って都心部や鉄道サービス水準の高い地域に人口を集約させる必要があり、これに伴って名古屋地下鉄4号線のような都心部における鉄道投資の便益は次第に大きくなることが示される。

Key Words : cost benefit analysis, landuse-transport model, back casting, urban rail transit

1. はじめに

地球温暖化が深刻化する中、それぞれの都市には将来に渡る明確なCO₂排出削減目標を設定した上で、これを確実に達成するための具体的な取組みが求められている。しかし、こうした取組みの中には大幅なライフスタイルの変更を余儀なくさせるものも多く、これらの対策を実施するためには合わせてその影響を緩和するような対策を実施していく必要がある。特に、新しいライフスタイルへの移行を求めるためには、そのライフスタイルを支えるインフラストラクチャーへの投資が必要不可欠であるものと考えられる。

現代都市においては、従業地の空間分布と居住地の空間分布が大きく乖離し、これを繋ぐ通勤交通が多くのCO₂を排出している。また、都市化の過程において自動車普及した都市では、自動車利用を前提とした過度な郊外開発が進み、その結果としてCO₂排出量の多い都市構造が定着している¹⁾。こうしたCO₂排出量の多い都市構造から脱却し、CO₂排出量の少ない都市構造へと移行

するためには、鉄道のようなCO₂排出量の少ない交通手段への投資を積極的に進める必要があるものと考えられる²⁾。

他方で、鉄道投資をはじめとする公共投資の必要性を明らかにするために費用便益分析が行われている。後述するように、日本の鉄道投資に対する費用便益分析では利用者便益や供給者便益の他に環境改善便益等が計測される。ところが、CO₂排出削減による地球環境改善便益については、CO₂排出の被害費用に基づいてCO₂排出の貨幣換算が行われるが、この値が過少であるとの指摘も少なくない。他方で、先進国の都市やその部門では、バックキャスティングの考え方にに基づき、将来に渡るCO₂排出削減目標を定め、これを積極的に達成しようとする動きもある。こうした場合、鉄道投資は環境目標を達成するための有力な手段の一つとなるため、鉄道投資の便益計測もこうした取組みの中で行っていくことが望ましいものと考えられる。

そこで、本研究では、将来に渡るCO₂排出削減目標が設定されている場合、鉄道投資の便益計測をどのように

行えばよいのかについて考え、こうした便益計測を現実の都市で行うために、通勤交通を対象にした新しい便益計測モデルを開発することを目的とする。以下、2.では、現行の鉄道投資の便益計測の問題点について整理し、3.では、CO₂排出削減目標設定下における鉄道投資の便益計測を提案する。また、4.では、こうした鉄道投資の便益計測を行うために必要になる便益計測モデルを開発し、5.では、このモデルを名古屋都市圏において具体的に作成する。さらに、6.では、鉄道投資の例として名古屋地下鉄4号線を取り上げ、将来CO₂排出制約が厳しくなった状況でこの環状地下鉄の整備がどの程度の便益を発生させるのかについて分析を行った結果について述べる。

2. 従来の関連研究

(1) 鉄道投資の便益計測

鉄道投資の費用便益分析については、これまでも多くの研究が行われてきた。これらの研究成果を踏まえて、国土交通省鉄道局は「鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル 2005」を作成している。このマニュアルは1997年にはじめて公表され³⁾、その後、1999年と2005年にそれぞれ改定版が公表されている⁴⁾⁵⁾。このマニュアルの中では、鉄道投資の費用便益分析において計測すべき費用項目及び便益項目が整理され、それぞれの具体的な計測方法が提示されている。このとき、鉄道投資の便益としては、1)時間短縮便益や費用節減便益等によって構成される利用者便益、2)事業者収益によって計測される供給者便益、3)環境改善便益や道路交通事故削減便益等によって構成される環境等改善便益の3つの便益を計測することとされている。

(2) 環境投資としての便益計測

さらに、鉄道投資の環境改善便益としては、1)NO_x排出や騒音等の減少による局所的環境改善便益、2)CO₂排出の減少による地球環境改善便益の2つの便益を計測することが示されている。このとき、環境負荷排出の貨幣換算については、「道路投資の評価に関する指針(案)」⁶⁾の値を用いることとされている。この指針によると、NO_x及び騒音の貨幣換算については、欧米及び日本における被害費用に関する研究結果に基づき、その平均的な値が設定されている。また、CO₂排出の貨幣換算についても、諸外国における被害費用の研究結果に基づき、その平均的な値として2,300円/tCという値が用いられてきた。しかし、最近の研究蓄積から考える2,300円/tCという値は過少であるとの指摘から⁷⁾、「公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針」(平

成21年)では、この値を10,600円/tCに変更している。

(3) 本研究の位置づけ

もともと「道路投資の評価に関する指針(案)」の中でも、環境影響の貨幣換算については多くの問題点を抱えていることが指摘されてきた。特に、地球温暖化の影響については、現在もこれを明らかにするために多くの研究が進められているが、この被害費用を正確に把握するだけの科学的知見は十分に蓄積されているとは言えない。他方で、新しい科学的知見も踏まえながら、2050年までには全世界でCO₂排出量を半減させる、また、先進国やその都市ではさらに厳しいCO₂排出削減目標を設定して、これを積極的に達成しようとする動きもある⁸⁾。このようにバックキャストの考え方にに基づき、将来に渡るCO₂排出削減目標が設定されている場合、鉄道投資はこうした厳しい環境目標を達成するための有効な手段の一つになることが期待されるため、鉄道投資の便益計測もこうした取組みの中で評価していくことが望ましいものと考えられる。

3. CO₂排出削減目標設定下における鉄道投資の便益評価

(1) CO₂排出削減の影響

では、バックキャストに基づいて、将来に渡るCO₂排出削減目標が設定されている場合には、鉄道投資の便益計測をどのようにして行えばよいのであろうか？本研究では、厳しいCO₂排出削減が求められる状況で鉄道投資の便益計測を行うために、図-1に示すような2つのステップを考えることにする。まず、最初のステップでは、鉄道投資等を実施しなかった場合、CO₂排出削減

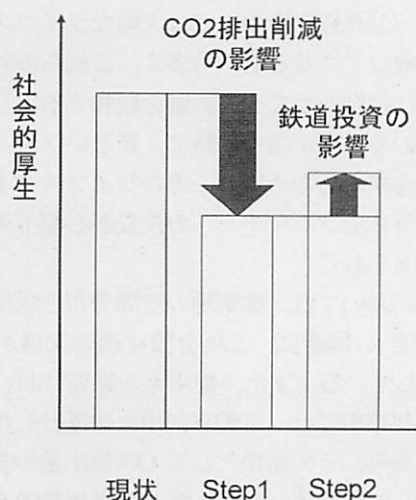


図-1 鉄道投資の便益計測

目標を達成するために、都市交通をどのように変更する必要があるのかについて考える。このとき、CO₂排出削減目標を達成する手段としては、汚染排出1単位に均一な課税を行うことを考えることにする。政策的に定めた環境目標を達成するために必要な環境税はボーモル・オート税と呼ばれ、これによって社会的最小費用で環境目標を達成することが明らかにされている^{9,10)}。そのため、本研究ではこのボーモル・オート税を都市交通部門に導入してCO₂排出削減目標を達成した場合、都市交通をどのように変更する必要があるのかについて考える。

(2) 鉄道投資の影響

次のステップでは、都市交通部門においてCO₂排出削減目標を達成することを前提とした場合、都市鉄道投資をはじめとする政策パッケージの実施がどのような便益を発生させるのかについて考えることにする。このとき、ボーモル・オート税が導入されるとCO₂排出量の多い自動車交通には多くの課税が行われるため、交通手段はCO₂排出量の少ない鉄道へと変更される。しかし、鉄道サービスが供給されない地域では、これによって交通条件が悪化することになる。また、遠距離交通には相対的に多くの課税が行われるため、これらの交通が多い地域でも交通条件が悪化する。このようにボーモル・オート税が導入されると多くの交通需要者にとって交通条件が悪化することになる。しかし、これらの地域においても鉄道投資によって排出量の少ない鉄道サービスの供給が行われれば、ボーモル・オート税の導入による影響を緩和することができる。つまり、こうした影響の緩和効果便益として計測すれば、上述したような鉄道投資の便益が計測できることになる。

4. 便益計測モデルの開発

(1) 基本的考え方

現在の状況ではCO₂排出を削減するために都市交通を大きく変更する必要はないが、将来、次第に厳しいCO₂排出削減が求められる状況になると、都市交通を大きく変更する必要が生じるものと予想される。また、都市交通には様々な交通が存在するが、通勤交通はその割合が高いばかりか、1.でも述べた通り、都市構造を規定する最も重要な交通であると言える。そのため、本研究では、こうした通勤交通を対象とした鉄道投資の便益計測について考えることにする。

従来、通勤交通を対象にした鉄道投資の便益計測を行うために、土木計画学の分野を中心にして多くの土地利

用モデルの開発が行われてきている^{11,12)}。こうした土地利用モデルは都市空間を幾つかのゾーンに分割し、それぞれのゾーンで働く従業者がどこに居住するのかを分析するものである。例えば、都心で働く従業者は都心の近くに居住すれば通勤には便利であるが、地価が高いため狭い住宅しか確保することができない。これに対して、郊外に居住すれば通勤には不便であるが地価が低いので広い住宅を確保することができる。つまり、通勤条件と居住条件を考慮して最適な居住地を選択することになる。

一方、都市鉄道が整備されると沿線地域の通勤条件が改善される。そのため、沿線地域では居住者が増加し、土地需要の増加によって地価が上昇することになる。そのため、都市鉄道投資は通勤者の効用を向上させると同時に、沿線の土地所有者の収入も増加させることになる。土地利用モデルでは、こうした通勤者に帰着する便益と土地所有者に帰着する便益を計量することを試みてきた。

本研究では、これまで都市鉄道の便益計測のために開発されてきた土地利用モデルをベースにしながら、CO₂排出削減目標設定下での便益計測を行う新しい土地利用モデルを開発することを試みる。この土地利用モデルでは、通勤者の居住地選択行動と消費行動を記述すると同時に、土地サービス市場で決定される価格を内生的に求める。また、ボーモル・オート税を組み込み、CO₂排出削減目標を達成するようにその税率を決定する。さらに、CO₂排出制約下での鉄道投資が通勤者と土地所有者に与える影響を把握し、これを貨幣換算することによって鉄道投資の社会的便益を評価することを試みる。

(2) 居住地選択と消費

これまで筆者らが開発してきたCES型土地利用モデルを用いると¹³⁾、従業地 j で働く通勤者の居住地選択行動と消費行動は、次のマクロな効用最大化問題と等価であることがわかっている。

$$U_j = \sum_i (\alpha_{ij})^{\frac{1}{\sigma_L}} (X_{ij})^{\frac{\sigma_L-1}{\sigma_L}} \rightarrow \max \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad X_{ij} = \sum_k (\alpha_{ij}^k)^{\frac{1}{\sigma_C}} (X_{ij}^k)^{\frac{\sigma_C-1}{\sigma_C}}$$

$$\sum_i \sum_k p_{ij}^k X_{ij}^k \leq Y_j$$

$$p_{ij}^k = \frac{p_i^k}{1 - c_{ij}\tau}$$

ここで、 i ：居住地、 j ：従業地、 k ：消費財の種類（ $k=L, N$ 、 L ：土地、 N ：その他の消費財）、 U_j ：効用、 X_{ij} ：消費合成財（居住地）の消費、 X_{ij}^k ：消費財の消費、 σ_L ：消費合成財の代替弾性値、 σ_C ：消費財

の代替弾性値, α_{ij} , α_{ij}^t : スケール・パラメータ, Y_j : 所得, p_{ij}^t : 通勤費用を考慮した消費財の価格, p_i^t : 消費財の価格, c_{ij} : 交通合成財の価格, τ : 所得1単位を得るために必要な交通合成財の消費

この最大化問題の一階の条件から次の連立方程式が得られる。

$$U_j = \frac{Y_j}{p_j} \quad (2)$$

$$X_{ij} = \alpha_{ij} \left(\frac{p_{ij}}{p_j} \right)^{-\sigma_i} U_j \quad (3)$$

$$X_{ij}^k = \alpha_{ij}^k \left(\frac{p_{ij}^k}{p_j} \right)^{-\sigma_c} X_{ij} \quad (4)$$

$$p_j = \left\{ \sum_i \alpha_{ij} (p_{ij})^{-\sigma_i} \right\}^{\frac{1}{1-\sigma_i}} \quad (5)$$

$$p_{ij} = \left\{ \sum_k \alpha_{ij}^k (p_{ij}^k)^{-\sigma_c} \right\}^{\frac{1}{1-\sigma_c}} \quad (6)$$

$$p_{ij}^k = \frac{p_i^k}{1 - c_{ij}\tau} \quad (7)$$

ここで, p_j : 消費合成財 (従業地) の価格, p_{ij} : 消費合成財 (居住地) の価格

このとき, 式(4)は土地サービスとその他の消費財の消費を表し, 式(3)は居住地選択 (居住地での合成財の消費) を表している。また, マクロな所得 Y_j は次式により定義できる。

$$Y_j = p_{ij} X_{ij} = y_j N_{ij} \quad (8)$$

ここで, N_{ij} : 通勤世帯数, y_j : 1世帯当たりの所得

(3) 通勤交通

また, 通勤交通には以下の費用最小化問題を解いて鉄道サービスとその他の交通サービスの消費が決まるものとする。

$$c_{ij} = \sum_l c_{ij}^l X_{ij}^l \rightarrow \min \quad (9)$$

$$\text{s.t.} \quad \tau Y_j = \sum_l (\alpha_{ij}^l)^{\frac{1}{\sigma_\tau}} (X_{ij}^l)^{\frac{\sigma_\tau-1}{\sigma_\tau}}$$

ここで, l : 交通サービスの種類 ($l = R, C$, R : 鉄道サービス, C : その他の交通サービス), X_{ij}^l : 交通サービスの消費, c_{ij} : 交通合成財の価格, c_{ij}^l : 交通サービスの価格, σ_τ : 交通サービスの代替弾性値, α_{ij}^l : ス

ケール・パラメータ

つまり, 鉄道サービスとその他の交通サービスの代替弾性値は σ_τ で一定であるものと仮定する。さらに, 交通サービスの価格としては, 次式で表される交通一般化費用 c_{ij}^l を用いる。

$$c_{ij}^l = w_j t_{ij}^l + f_{ij}^l + \omega e_{ij}^l \quad (10)$$

ここで, t_{ij}^l : 所要時間, w_j : 時間価値, f_{ij}^l : 時間費用以外の走行費用, e_{ij}^l : 1トリップ当りの CO_2 排出, ω : 税率

つまり, 交通費用は, 1) 時間費用 $w_j t_{ij}^l$, 2) その他の交通費用 f_{ij}^l , 3) CO_2 排出量に応じた税 ωe_{ij}^l から構成されるものとする。

この費用最小化問題の一階の条件から次の連立方程式が得られる。

$$X_{ij}^l = \alpha_{ij}^l \left(\frac{c_{ij}^l}{c_{ij}} \right)^{-\sigma_\tau} \tau Y_j \quad (11)$$

$$c_{ij} = \left\{ \sum_l \alpha_{ij}^l (c_{ij}^l)^{-\sigma_\tau} \right\}^{\frac{1}{1-\sigma_\tau}} \quad (12)$$

(4) 土地サービス市場

さらに, 土地サービスの供給が S_i であるとする, 土地サービス市場の需給均衡条件として次式が成り立つ。

$$\sum_j X_{ij}^L = S_i \quad (12)$$

このとき, 土地サービスの供給量は政策的に決定されるものとする。

(5) 税率の決定

政府は政策目標として定めた CO_2 排出量の上限を超えないように税率を決めるものとする。つまり,

$$\sum_i \sum_l \sum_j e_{ij}^l X_{ij}^l \leq (1-\alpha) \bar{E} \quad (13)$$

$$\bar{E} = \sum_i \sum_l \sum_j e_{ij}^l \bar{X}_{ij}^l \quad (14)$$

ここで, e_{ij}^l : 1トリップ当たりの CO_2 排出量, $\bar{E}$: 事前の CO_2 排出量, α : CO_2 排出削減率 (政策目標), $\bar{X}_{ij}^l$: 事前の交通需要

また, CO_2 排出に対して課税を行った場合, その税収の再分配を行う必要がある。本研究ではこの税収を所得に応じて再分配するものとする。つまり,

$$Y_j = \bar{Y}_j + T \frac{\bar{Y}_j}{\sum_j \bar{Y}_j} \quad (15)$$

$$T = \omega \sum_i \sum_j \sum_k e'_{ij} X'_{ij} \quad (16)$$

ここで, $\bar{Y}_j$: 事前の所得, T : 税金

(6) 均衡解の求め方

以上の連立方程式を整理すると, 図2のようになる。今, 所得 Y_j , 土地サービス価格 p_i^t , 税率 ω を任意に与えると, 式(10), 式(12), 式(7), 式(6), 式(5)からそれぞれの価格を決めることができる。また, 式(2), 式(3), 式(4), 式(5), 式(11)からそれぞれの需要, 式(16)から税金を求めることができる。そのため, 式(15), 式(12), 式(13)を満たすように, 所得 Y_j , 土地サービス価格 p_i^t , 税率 ω を決めることができれば, すべての連立方程式を満たす均衡解を求めることができることになる。

(7) 家計に帰着する便益

CES 型効用関数を用いた場合, その支出関数は次のようになる¹³⁾。

$$E_j = p_j U_j \quad (17)$$

この支出関数を用いると等価変分 EV_j は次式により求めることができる。

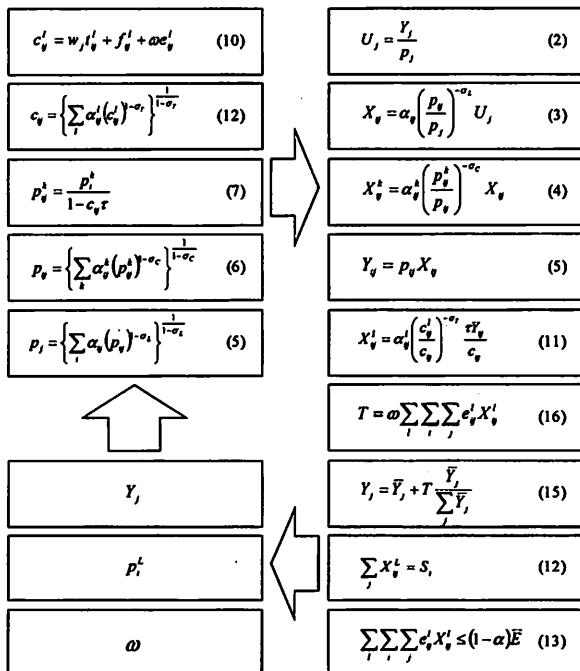


図2 均衡解の求め方

$$EV_j = \bar{p}_j U_j - \bar{p}_j \bar{U}_j$$

$$= \frac{U_j - \bar{U}_j}{\bar{U}_j} \bar{Y}_j \quad (18)$$

ここで, $\bar{U}_j$: 事前の効用, $\bar{p}_j$: 事前の消費合成財の価格, $\bar{Y}_j$: 事前の所得

(8) 土地所有者に帰着する便益

他方, 土地所有者の収入 R_i は次のようになる。

$$R_i = p_i^t S_i \quad (19)$$

ここで, p_i^t : 土地価格, S_i : 土地供給量

したがって, 土地所有者の収入の変化 ΔR_i は次のようになる。

$$\Delta R_i = (p_i^t - \bar{p}_i^t) S_i \quad (20)$$

ここで, $\bar{p}_i^t$: 事前の土地価格

5. 名古屋都市圏でのモデル推定

(1) 対象地域

名古屋都市圏において鉄道投資の便益計測を行うために, 4.で説明したモデルのパラメータを名古屋都市圏で推定した。このとき, 名古屋都市圏は概ね日常生活がの中で閉じている地域である。また, 交通需要の特性を踏まえ, 名古屋都市圏を図3に示した52ゾーンに

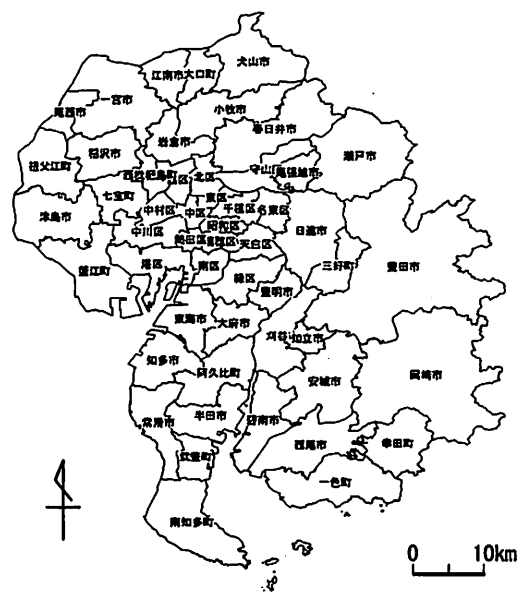


図3 対象地域

分割した。なお、このゾーニングは中京都市圏パーソントリップ調査の中ゾーンを参考にして複数の市町村をまとめて設定している¹³⁾。

(2) 基準時データセットの作成

土地利用モデルのキャリブレーションを行うために、表-1に示した基準時データセットを名古屋都市圏で作成した。まず、鉄道サービス及びその他の交通サービスの投入 M_{ij}^I ($I=R, C$) については、名古屋都市圏パーソントリップ調査から求めた交通手段別通勤交通 OD X_{ij}^I に名古屋都市圏の交通ネットワーク・データから求めた交通一般化費用 c_{ij}^I を乗じて求めた¹⁴⁾。このとき、各ゾーンにセントロイドを設定し、セントロイドを結ぶ交通ネットワークを中心にして交通一般化費用を求めた。また、土地サービスの投入 M_{ij}^L については、愛知県「土地に関する統計年報」の宅地面積（平成12年） X_{ij}^L に地価 p_i^L を乗じて求めた¹⁵⁾。このとき、地価は愛知県「地価調査」の宅地価格（平成12年）に地価・地代比率を乗じて求めた¹⁶⁾。さらに、その他の消費財の投入 M_{ij}^N については、上述した投入の合計を総支出 M_j から差し引くことによって求めた。このとき、総支出は愛知県の一人当たり可処分所得に各従業地の通勤者数を乗じることにより求めた¹⁷⁾。また、その他の消費財の価格については1に基準化した。

(3) 代替弾性値 σ_c の推計結果

表-2は消費モデルにおける代替弾性値 σ_c の推計結果を示したものである。このとき、式(4)より次式が得られる。

$$\ln \frac{X_{ij}^L}{X_{ij}^N} = \ln \frac{\alpha_{ij}^L}{\alpha_{ij}^N} - \sigma_c \ln \frac{p_i^L}{p^N} \quad (21)$$

表-1 基準時データセット

		…	従業員地 j	…
⋮			⋮	
居住地 i	鉄道サービス	…	$M_{ij}^R = c_{ij}^R X_{ij}^R$	…
	その他の 交通サービス	…	$M_{ij}^C = c_{ij}^C X_{ij}^C$	…
	土地サービス	…	$M_{ij}^L = p_i^L X_{ij}^L$	…
	その他の消費財	…	$M_{ij}^N = p_{ij}^N X_{ij}^N$	…
⋮			⋮	
総支出		…	$M_j^R = c_{ij}^R X_{ij}^R$	…

したがって、上式を用いて消費と価格の回帰分析を行えば、その係数として代替弾性値 σ_c を求めることができることになる。ここでは、(2)で作成した基準時データセットをクロスセクションデータとして用いてこの代替弾性値 σ_c の推計を行った。代替弾性値 σ_c を表す係数は1.12、定数項は2.25と推計され、何れもt値は高く、有意な変数となった。また、相関係数は0.969、決定係数は0.939と良好な値を示した。

(4) 代替弾性値 σ_T の推計結果

また、表-3は交通需要モデルにおける代替弾性値 σ_T の推計結果を示したものである。式(11)より次式が得られる。

$$\ln \frac{X_{ij}^R}{X_{ij}^C} = \ln \frac{\alpha_{ij}^R}{\alpha_{ij}^C} - \sigma_T \ln \frac{c_{ij}^R}{c_{ij}^C} \quad (22)$$

つまり、上式を用いて交通需要と交通一般化費用との回帰分析を行えば、その係数として代替弾性値 σ_T を推計することができることになる。ここでは、(2)で作成した基準時データセットを用いてこの回帰分析を行った。代替弾性値を表す係数は2.26、定数項は-0.336と推計された。また、それぞれのt値は25.5、6.54と高く、有意な変数となった。また、相関係数は0.703、決定係数は0.494となった。

表-2 代替弾性値 σ_c の推計結果

パラメータ	推定値	t 値
係数 (σ_c)	1.12	27.7
定数項	2.25	14.9
相関係数	0.969	
決定係数	0.939	

表-3 代替弾性値 σ_T の推計結果

パラメータ	推定値	t 値
係数 (σ_T)	2.26	25.5
定数項	-0.336	6.54
相関係数	0.703	
決定係数	0.494	

表4 代替弾性値 γ の推計結果

パラメータ	推定値	t 値
係数(γ)	6.20	98.0
地域定数	図-1	—
相関係数	0.876	
決定係数	0.768	

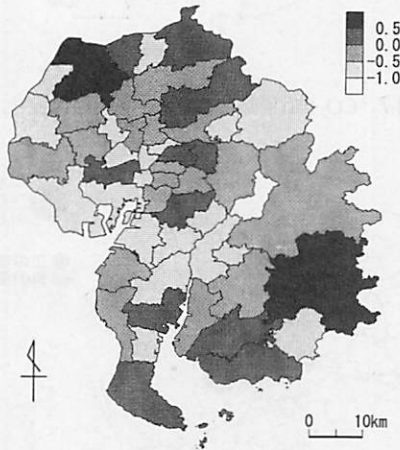


図4 地域定数の推計結果

(5) 代替弾性値 σ_L の推計結果

表4は代替弾性値 σ_L の推計結果を示したものである。このとき、式(3)の両辺に p_{ij} を乗じたものから、次式が得られる。

$$\ln \frac{p_{ij} X_{ij}}{p_{ij} X_{ij}} = \ln \frac{\alpha_{ij}}{\alpha_{ij}} - \gamma \ln \frac{p_{ij}}{p_{ij}} \quad (23)$$

ただし、 $\gamma = \sigma_L - 1$

さらに、式(8)より上式は次のようになる。

$$\ln \frac{N_{ij}}{N_{ij}} = \ln \frac{\alpha_{ij}}{\alpha_{ij}} - \gamma \ln \frac{p_{ij}}{p_{ij}} \quad (24)$$

つまり、上式を用いて通勤世帯数と合成財価格の回帰分析を行えば、その係数としてパラメータ γ を推計することができる。そして、パラメータ γ が推計できれば、代替弾性値 σ_L も求めることができる。ここでは、(2)で作成した基準時データセットを用いてこの回帰分析を行った。パラメータ γ を表す係数は6.20と推計され、t値も98.0と十分高く、有意な変数となった。また、この回帰分析には選択肢特性を表すために地域ダミー変数を用いた。図4はこの地域ダミー変数の係数の推計結果を示したものである。この係数は地域の大きさや消費以外の居

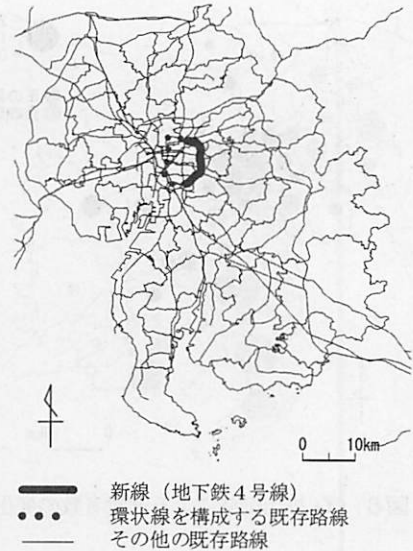


図5 対象路線

住要因を示すものであり、岡崎市や一宮市等、拠点性の高い地域で高い値が推計された。また、相関係数は0.876、決定係数は0.768となった。

6. 名古屋都市圏における鉄道投資の便益計測

(1) 対象路線

5で作成した便益計測モデルを用いて名古屋地下鉄4号線の便益計測を行った。名古屋地下鉄4号線は名古屋市内の大曽根～新瑞橋を結ぶ地下鉄で、既設の地下鉄と一体となって一周26.4km(所要時間48分)の環状地下鉄を構成している(図-5)¹⁸⁾。この地下鉄整備事業は既に完了し、2004年に供用開始されている。ここでは、将来、厳しいCO₂排出削減が求められる状況で、この地下鉄が如何なる便益を発生させるのかについて計量分析を行った。

(2) 人口分布の変化

まず、図-6は名古屋都市圏全体で通勤交通から排出されるCO₂を10%削減するためにボーモル・オート税が導入された場合、その人口分布をどのように変化させる必要があるのかについて分析を行ったものである。名古屋都市圏では、都心部を中心とした放射方向には鉄道整備が既に行われているため、都心部と都心部または都心部と郊外部を結ぶ鉄道サービス水準は高い。これに対して、郊外部と郊外部を結ぶ環状方向の鉄道整備は遅れが目立ち、その鉄道サービス水準は相対的に低い。そのため、ボーモル・オート税のようにCO₂排出に均一な税率の課税が行われると、鉄道サービス水準の低い地域では交通費用が上昇し、鉄道サービス水準の高い地域に人

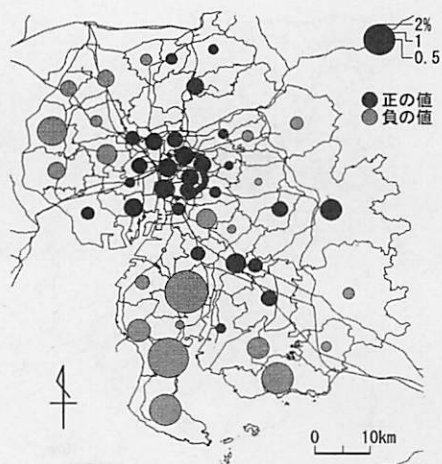


図-6 CO₂排出削減による通勤者数の変化

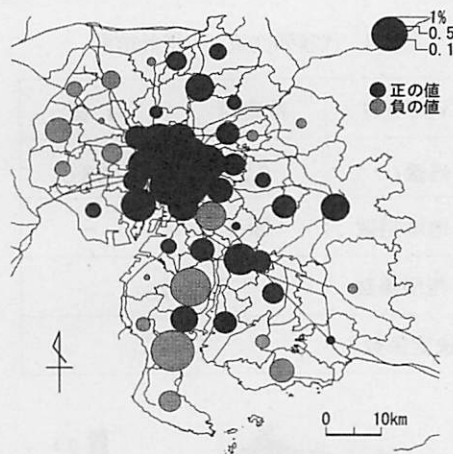


図-7 CO₂排出削減による土地価格の変化

口が集中することになる。他方で、名古屋都市圏の従業者分布を考えると、都心部は多くの従業者を抱えている。これらの従業者は現在、名古屋都市圏全域から通勤しているが、ボーモル・オーツ税が導入されると、都心部に近い地域あるいは都心部から鉄道で通勤できる地域に居住地を変更することになる。また、名古屋都市圏には豊田市や小牧市等のように郊外部にも比較的多くの従業者が分布しており、これらの地域でも人口を増加させる必要があることがわかる。

(3) 土地価格の変化

このようにボーモル・オーツ税が導入されると、居住地が変化し、これに伴って土地価格が変化する。図-7は、まず、ボーモル・オーツ税の導入によって土地価格がどのように変化するのかを示したものである。ボーモル・オーツ税が導入されると、都心部をはじめ、鉄道サービスが供給されている沿線地域、郊外部でも多くの従業者を抱える地域で土地価格が上昇する。これに対して、名古屋都市圏の西部や南部では居住数が減少し、これによって土地価格も低下することがわかる。

また、図-8はこうした状況において地下鉄4号線が土地価格にどのような影響を与えるのかを示したものである。地下鉄4号線の整備はその沿線に位置する千種区や昭和区、瑞穂区だけでなく、地下鉄1号線（東山線）の沿線に位置する名東区や地下鉄3号線（鶴舞線）の沿線に位置する天白区でも土地価格を上昇させることがわかる。他方で、都心部に位置する名古屋市西部地域や、守山区、緑区等、他の鉄道路線の沿線地域の土地価格を低下させることがわかる。本研究で提案している便益計測モデルは閉鎖系都市を仮定しているため、地下鉄4号線の沿線地域に人口が集中すると、その他の地域では人口が減少する。その結果、地下鉄4号線の沿線以外の地域では土地価格が僅かに低下することになる。

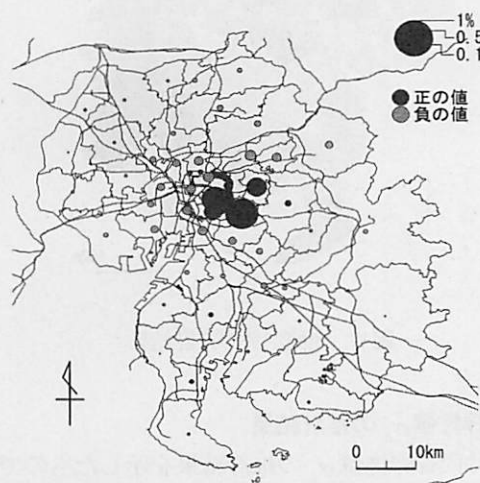


図-8 鉄道投資による土地価格の変化

(4) 効用の変化

また、図-9はボーモル・オーツ税の導入によって通勤者の効用がどのように変化するのかを従業地毎に示したものである。ボーモル・オーツ税が導入されると、通勤費用が増加すると同時に、都心部はもとより郊外部でも鉄道サービス水準の高い地域や多くの従業者を抱える地域では土地価格も上昇する。その結果、これらの地域では、通勤者の効用が大きく低下することになる。特に、都心部では土地価格上昇の影響を受けて通勤者の効用が大きく低下することがわかる。

これに対して、図-10はこうした状況において地下鉄4号線が通勤者の効用をどのように変化させるのかを示したものである。地下鉄4号線はその沿線に位置する千種区や昭和区、瑞穂区で従業する通勤者の効用を向上させることがわかる。また、地下鉄4号線と接続する地下鉄1号線（東山線）、地下鉄3号線（鶴舞線）の沿線地域、つまり、名東区、天白区、日進市等で従業する通勤者の効用も向上させることがわかる。これらの地域では

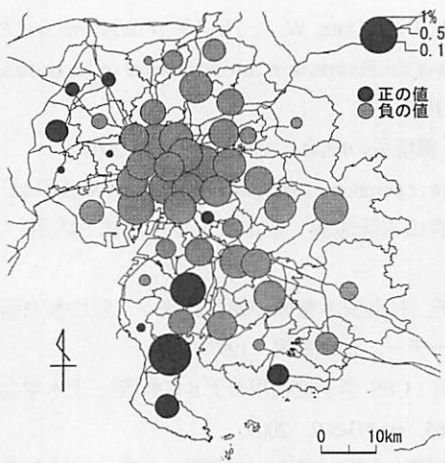


図-9 CO₂排出削減による効用の変化

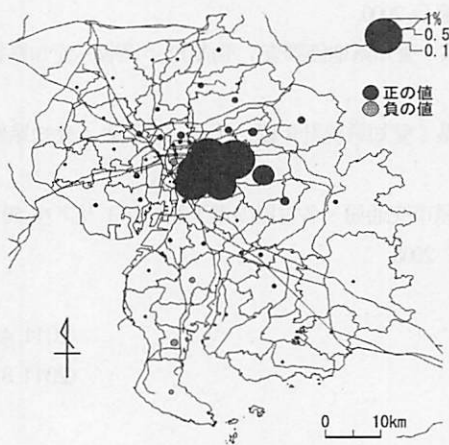


図-10 鉄道投資による効用の変化

ボーモル・オート税の導入によって低下した効用を上昇させることに役立つことがわかる。

(5) CO₂排出削減と鉄道投資の便益

このように地下鉄4号線は厳しいCO₂排出削減が求められる状況で通勤者の効用を向上させると同時に、沿線の土地所有者にも利益を与える。ここでは、通勤者の効用の変化を等価変分として表し、土地所有者の収入の変化と合わせて、鉄道投資の社会的便益を求めた。図-11はこの鉄道投資の社会的便益の大きさがCO₂排出削減量によりどのように変化するかを示したものである。CO₂排出削減が要求されない現状では、鉄道投資の社会的便益が年間260億円となる。これに対して、10%のCO₂排出削減を行う場合には、鉄道投資の社会的便益が280億円となり、さらに30%までCO₂排出削減を行う場合には、310億円にまで上昇することがわかる。これは、既に(2)でも説明した通り、CO₂排出量を削減するためには、都心部に人口を集約する必要があるが、都心部には土地という資源の制約があるために、土地価格が上昇す

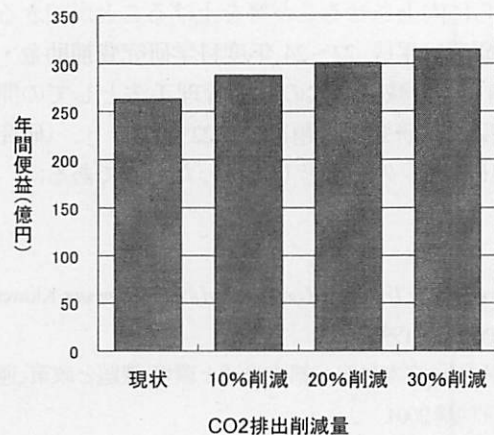


図-11 CO₂排出削減と鉄道投資の便益

る。しかし、都心部に鉄道投資を行えば、CO₂排出削減を行っても一定のモビリティを確保しながら、土地という空間制約を緩和できることになるため、高い社会的便益が計測できることになる。

7. おわりに

本研究では、バックキャストングの考え方にに基づき、将来に渡るCO₂排出削減目標が定められている場合には、目標達成を前提にした影響の緩和効果により鉄道投資の便益計測を行うことができることを示した。また、こうした便益計測を行うために、通勤交通を対象にした新しい便益計測モデルを開発した。そして、この便益計測モデルを名古屋都市圏で作成し、CO₂排出制約が厳しくなるに従って、地下鉄4号線の整備の便益がどのように変化するのかについて計量分析を行った。

そして、分析の結果、1) CO₂排出制約が厳しくなると、都心部等に人口を集約していく必要があること、2)こうした状況では都心部の地価が上昇するが、都心部に地下鉄整備を行えば、沿線の地価は上昇するものの、その他の地域では地価の上昇を抑制させることができること、3)その結果、沿線で働く従業者を中心に効用の低下を緩和できること、4)さらに、厳しいCO₂排出削減が求められるに従って、都心部における鉄道投資には高い社会的便益が発生すること等を明らかにした。

今後の課題としては、1)通勤交通以外の交通についても考慮した便益計測モデルを開発すること、2)従業者分布を変化させた便益計測モデルを開発すること、3)交通混雑を考慮した便益計測モデルを開発すること、4)ボーモル・オート税の再分配の方法によっては便益の帰着先が変化する可能性があるため、幾つかの税収の再分配方法について検討する必要があること、5)パラメータの推

計精度をさらに向上させること等を上げることができる。
 なお、本研究は平成 22～24 年度科学研究費補助金・基盤研究(C)「人口減少時代の環境管理手法としての開発権取引に関する研究(課題番号: 22560543)」(研究代表者: 奥田隆明)の一貫として行ったものである。

参考文献

- 1) Hayashi, Y. and Roy, J.: *Transport, Land-use and the Environment*, Kluwer Academic Publisher, 1996.
- 2) 中村英夫, 林良嗣, 宮本和明: 都市交通と環境-課題と政策, 運輸政策研究機構, 2004.
- 3) 運輸省鉄道局: 鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル 97, 運輸政策研究機構, 1997.
- 4) 運輸省鉄道局: 鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル 99, 運輸政策研究機構, 1999.
- 5) 国土交通省鉄道局: 鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル 2005, 運輸政策研究機構, 2005.
- 6) 道路投資の評価に関する指針検討委員会: 道路投資の評価に関する指針(案), 日本総合研究所, 1998.
- 7) 林山泰久, 前川秀和: CO₂の経済的評価, 森地茂, 金本良嗣: 道路投資の便益評価-理論と実践-, 東洋経済新報社, 2008.
- 8) 例えば, 竹内恒夫, 杉山範子: 名古屋における 2050 年 CO₂ マイナス 60%ロードマップの提案, 資源環境対策, Vol.44, No.4, pp.50-55, 2008. (2011.4.11 受付)
(2011.8.19 受理)
- 9) Baumol, W. J. and Oates, W. E.: *The Use of Standards and Prices for Protection of the Environment*, Swedish Journal of Economics, Vol.73, pp.42-54, 1971.
- 10) 諸富徹: 環境税の理論と実際, 有斐閣, 2005.
- 11) David Foot: *Operational Urban Models*, Methuen & Co., Ltd, London, 1981. (青山吉隆他訳: 都市モデル-手法と応用-, 丸善, 1984.)
- 12) 森杉壽芳: 社会資本整備の便益評価-一般均衡理論によるアプローチ-, 勁草書房, 1997.
- 13) 奥田隆明: CES 型土地利用モデルの開発, 土木学会論文集 D, Vol.65, pp.493-502, 2009.
- 14) 中京都市圏総合都市交通計画協議会: 第 4 回中京都市圏パーソントリップ調査報告書 実態調査の企画と実施, 2003.
- 15) 愛知県: 土地に関する統計年報, 平成 12 年度版, 愛知県統計協会, 2000.
- 16) 愛知県: 愛知県地価調査, 平成 12 年度版, 愛知県統計協会, 2000.
- 17) 愛知県: 愛知県統計年鑑, 平成 12 年版, 愛知県統計協会, 2000.
- 18) 名古屋市交通局: 名古屋の地下鉄-メモリアル 50-, 名古屋市, 2008.

Measurement of the benefit of urban railway investments under CO₂ reduction target toward low-carbon society

Takaaki OKUDA¹ and Aoto MIMURO³

¹EcoTopia Science Institute, Nagoya University

²Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

To realize reduction of CO₂ emission, investments to new infrastructures are necessary, which support new lifestyle in low-carbon society. In this paper, railway investments in a metropolitan region are picked up as one of the examples, and a method for the measurement of the benefits are proposed in land-use planning based on back-casting toward low-carbon society. In the half of this paper, some problems are pointed out in the measurement of benefits of railway investments, and new measurement of the benefits is proposed, which is conducted in land-use planning based on back-casting toward low-carbon society. And an operational urban model is proposed to measure the benefits of railway investments back-casting toward low-carbon society. In the latter half of this paper, the urban model is calibrated in Nagoya metropolitan region and it measured benefits of the subway No.4 in Nagoya city in land-use planning requiring reduction of CO₂ emission from commuter transport sector. In the results of this analysis, in the case that strict reduction of CO₂ emission will be required in commuter transport sector, population should be concentrated into the city center and the benefits of the subway No.4 in Nagoya city will be increased in such a situation.