

バックキャスティングに基づく都市鉄道投資の便益計測*

Measurement of the benefit of railway investments in a metropolitan region under back-casting toward low-carbon society*

奥田隆明**・三室碧人***

By Takaaki OKUDA**・Aoto MIMURO***

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するものも多く、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。さらに、都市化の過程において自動車が普及した都市では、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多い。他方で、先進国の都市や部門では、将来に渡る

CO₂ 排出削減目標を定めた上で、これを積極的に達成しようとする動きもあるため、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必要があるものと考えられる。

そこで、本研究では、通勤交通部門において将来に渡る CO₂ 排出削減目標を設定した上で、これを達成することを前提とした場合、鉄道投資の便益がどのように変化するかを明らかにする計量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、バックキャスティングに基づいた鉄道投資の便益計測を行うことを提案する。また、4. では、バックキャスティングに基づいた鉄道投資の便益計測を行うための計量モデルを提案し、5. では、このモデルを名古屋都市圏において作成し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

*キーワード：費用便益分析、土地利用交通モデル、

バックキャスティング、都市鉄道投資

**正員、博士(工)、名古屋大学エコトピア科学研究所

(名古屋市千種区不老町 F3-4(670)、

TEL:052-789-4289、E-mail:okuda@nagoya-u.jp)

***学生員、学士(工)、名古屋大学大学院環境学研究所

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)」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/t-Cという値が用いられている。これに対して、林山は最近の研究蓄積から考えると、この2,300円/t-Cという値は過少であり、ToIの研究やIPCCの指摘も踏まえると約10,000円/t-Cにすべきであると指摘している⁶⁾。

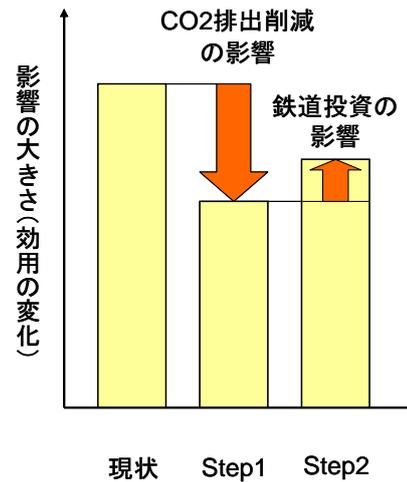


図-1 鉄道投資の便益計測

(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いる。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、こうした状況の中で、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排出削減目標を掲げ、これを積極的に達成しようとする動きもある。そこで、本研究ではこうした動きの中で通勤交通部門でも中長期的な視点から将来に渡るCO₂排出削減目標を定め、これを確実に達成することを前提とした場合、鉄道投資の便益評価は如何にあるべきかについて考えることにする。

3. バックキャストに基づく鉄道投資の便益評価

(1) バックキャスト

本研究ではバックキャストの考え方に基づいて鉄道投資の便益評価を行う方法を提案する⁷⁾。従来、鉄道投資の便益評価は現在の状況から将来の状況を考えるForecastingの考え方に基ついて行われてきた。しかし、今後、地球温暖化の深刻化によって、それぞれの都市や部門では将来に渡る明確なCO₂排出削減目標を定めた上で、これを積極的に達成することが求められるものと考えられる。このとき、鉄道は自動車に比べCO₂排出量が少なく、厳しいCO₂排出削減目標を達成しなければならない将来の状況において、さらに有効な交通手段になるものと予想される。そこで本研究では、通勤交通部門において将来に渡るCO₂排出削減目標を定め、これを達成するためには如何なる取組みが必要かというバック

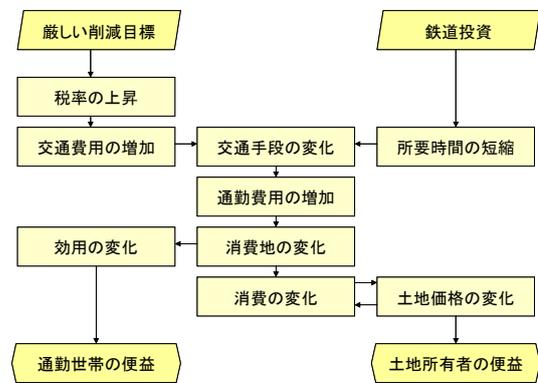


図-2 影響評価のフロー

キャストの考え方に基ついて都市鉄道の便益評価を行うことを考える。

(2) ボーモル・オーツ税の導入

バックキャストの考え方に基ついて鉄道投資の便益評価を行うために、本研究では図-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、通勤交通部門でCO₂排出削減目標を達成するために、通勤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多くの方法が考えられるが、環境経済学の成果として、汚染排出1単位に均一な課税(ボーモル・オーツ税)を行えば、社会的最小費用で目標を達成できることが明らかにされている。そのため、本研究ではこのボーモル・オーツ税を通勤交通部門に導入してCO₂排出削減目標を達成することを考えることにする⁸⁾⁻⁹⁾。

(3) 鉄道投資の便益計測

次のステップでは、通勤交通部門において CO₂ 排出削減目標を達成することを前提とした場合、都市鉄道への投資がどのような便益を発生させるかを考える。ポーモル・オーツ税が導入されると 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、通勤交通の手段は 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、これによって通勤条件が悪化することになる。また、遠距離通勤には相対的に多くの課税が行われるため、これらの地域でも通勤条件が悪化する。このようにポーモル・オーツ税が導入されると多くの通勤者にとって通勤条件は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、ポーモル・オーツ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を便益として計測すれば、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

これまでも都市鉄道投資の便益計測を目的として多くの土地利用モデルが開発されてきた。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¹⁰⁻¹²⁾。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ため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。その結果、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になる。

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 排出制約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及び消費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、ポーモル・オーツ税を組み込み、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できるものとする。

(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、従業地 j で働く通勤者の居住地選択行動及び消費行動をマクロな視点から考えると、次の効用最大化問題を定義することができる。

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

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

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

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

このとき、消費財の価格には通勤費用を考慮した価格 p_{ij}^k を用いる。

(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。

$$C_{ij} = \sum_l c_{ij}^l X_{ij}^l \rightarrow \min \quad (2)$$

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

つまり、鉄道サービスとそれ以外の交通サービスの代替弾性値は σ_T 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 を用いることにする。

$$c_{ij}^l = w_j t_{ij}^l + f_{ij}^l + \omega e_{ij}^l \quad (3)$$

つまり、交通費用は時間費用 $w_j t_{ij}^l$ とその他の交通費用 f_{ij}^l の他に CO₂ 排出量に応じた税 ωe_{ij}^l が課されることになる。

(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。

$$\sum_j X_{ij}^L = S_i \quad (4)$$

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 CO₂ 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、

$$\sum_l \sum_i \sum_j e_{ij}^l X_{ij}^l \leq (1-\alpha)\bar{E} \quad (5)$$

$$\bar{E} = \sum_l \sum_i \sum_j e_{ij}^l \bar{X}_{ij}^l \quad (6)$$

ここで、 \bar{E} : CO₂ 排出削減以前の CO₂ 排出量、 \bar{X}_{ij}^l : CO₂ 排出削減以前の交通需要、 α : CO₂ 排出削減率 (政策目標)

また、CO₂ 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、

$$Y_j = Y_j + T \frac{\bar{Y}_j}{\sum_j \bar{Y}_j} \quad (7)$$

$$T = \omega \sum_l \sum_i \sum_j e_{ij}^l X_{ij}^l \quad (8)$$

ここで、 T : 税収、 \bar{Y}_j : 課税前の所得

(6) 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。

$$E_j = p_j U_j \quad (8)$$

ここで、価格 p_j は式(A7)～(A10)で与えられる。

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。

$$\begin{aligned} EV_j &= p_j^A U_j^B - p_j^A U_j^A \\ &= \frac{U_j^B - U_j^A}{U_j^A} Y_j^A \end{aligned} \quad (9)$$

ここで、 U_j^A : 事前の効用、 U_j^B : 事後の効用、 p_j^A : 事前の価格、 Y_j^A : 事前の所得

(7) 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。

$$R_i = p_i^L S_i \quad (10)$$

ここで、 p_i^L : 土地サービスの価格、 S_i : 土地サービスの供給量

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。

$$\Delta R_i = (p_i^{L,B} - p_i^{L,A}) S_i \quad (11)$$

ここで、 $p_i^{L,A}$: 事前の土地サービス価格、 $p_i^{L,B}$: 事後の土地サービス価格

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、3. 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、名古屋都市圏は名古屋生活圏に概ね一致しており、日常的な生活がこ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}^l ($l=R, C$) 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 表 X_{ij}^l 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}^l を乗じて求めた¹³⁾。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 に地代 p_i^L を乗じて求めた¹⁴⁾。このとき、地代は愛知県「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¹⁵⁾。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員地の通勤者数を乗じることにより求めた¹⁶⁾。また、その他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、代替弾性値 σ_c の推計式として次式を用いた。

$$\ln \frac{X_{ij}^L}{X_{ij}^N} = \ln \frac{\alpha_{ij}^L}{\alpha_{ij}^N} - \sigma_c \ln \frac{p_i^L}{p_i^N} \quad (12)$$

つまり、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。



図-3 対象地域

表-1 基準時データセット

		...	従業地 j	...	価格
		⋮	⋮	⋮	⋮
居住地 i	鉄道サービス	$M_{ij}^R = c_{ij}^R X_{ij}^R$		c_{ij}^R	
	その他交通サービス	$M_{ij}^C = c_{ij}^C X_{ij}^C$		c_{ij}^C	
	土地サービス	$M_{ij}^L = p_i^L X_{ij}^L$		p_i^L	
	その他消費財	$M_{ij}^N = p_i^N X_{ij}^N$		p_i^N	
⋮		⋮	⋮	⋮	
	総支出	M_j			

(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。代替弾性値 σ_T の推計式としては以下の式を用いた。

$$\ln \frac{X_{ij}^R}{X_{ij}^C} = \ln \frac{\alpha_{ij}^R}{\alpha_{ij}^C} - \sigma_T \ln \frac{c_{ij}^R}{c_{ij}^C} \quad (15)$$

つまり、式(15)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。

(5) 代替弾性値 σ_L の推計結果

表-4は居住地選択モデルにおける代替弾性値 σ_L の推計結果を示したものである。このとき、代替弾性値 σ_L の推計式として次式を用いた。

$$\ln \frac{N_{ij}}{N_{ij}} = \ln \frac{\alpha_{ij}}{\alpha_{ij}} - \gamma \ln \frac{p_{ij}}{p_{ij}} \quad (13)$$

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	

ただし、 γ は次のように定義した。

$$\gamma = \sigma_L - 1 \quad (14)$$

つまり、式(13)を用いて通勤者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。また、パラメータ γ が推計できれば、式(14)を用いて代替弾性値 σ_L を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。この係数は地域の高さや消費以外の居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。

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	

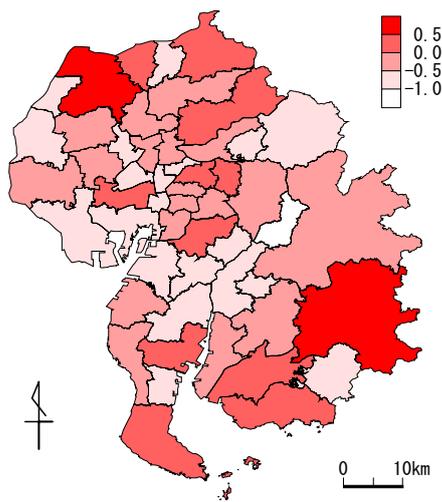


図-4 地域定数の推計結果

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) 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.
- 7) Holmberg, J. and Robert, K.H.: Back-casting from non-overlapping sustainability principles: a framework for strategic planning, International Journal of Sustainable Development and World Ecology, Vol.74, pp.291-308, 2000.
- 8) 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.
- 9) 細田衛士・横山彰: 環境経済学, 有斐閣, 2007.
- 10) Foot, D.: 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.)
- 11) 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.
- 12) 奥田隆明: 低炭素社会に向けた都市空間のマネジメント~通勤交通からのCO₂排出削減~, 地球環境研究論文集, Vol.16, pp.137-144, 2008.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) 愛知県: 愛知県地価調査, 平成12年度版, 愛知県統計協会, 2000.
- 16) 愛知県: 愛知県統計年鑑, 平成12年版, 愛知県統計協会, 2000.