

仙台地下鉄南北線を事例とする鉄道整備効果計測に関する一考察

A Study on the Measurement of Railway Development Effect in the Case of Sendai North-South Subway

樋野 誠一* 西山 良孝*

By Seiichi HINO and Yoshitaka NISHIYAMA

1. はじめに

近年の社会資本整備は、公共事業の効率性の視点から、事業前に整備効果の分析が求められており、道路整備では「道路投資の評価に関する指針(案)」¹⁾、鉄道整備では「鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル'99」²⁾ (以下、「鉄道マニュアル」と略)の費用便益マニュアルが整備されている。

交通施設は経済産業活動の基盤であることから、その整備効果は直接効果のみならず、波及的に発生する間接効果も存在するが、上記マニュアルでは貨幣換算計測の容易性と便益重複計測排除の困難性から、計測の対象は利用者便益(直接効果の一部)を

中心としている。(図-1の交通市場内効果部分)

一方、鉄道整備に伴う産業立地や、生産の拡大等の間接効果を含む全ての効果は、最終的に地価に帰着すると考えるヘドニック分析も、交通施設改善便益の測定手法としてよく知られる。

本論文では既設の仙台市営地下鉄南北線を事例に、ヘドニックモデルの構造推定を行い、南北線の便益の計測を行った。これを、既往調査³⁾で算定した「鉄道マニュアル」に基づく便益、及び応用一般均衡分析による間接効果から把握した便益との比較を行い、より簡便に計測が可能なヘドニック分析手法の適用性の評価を行うものである。

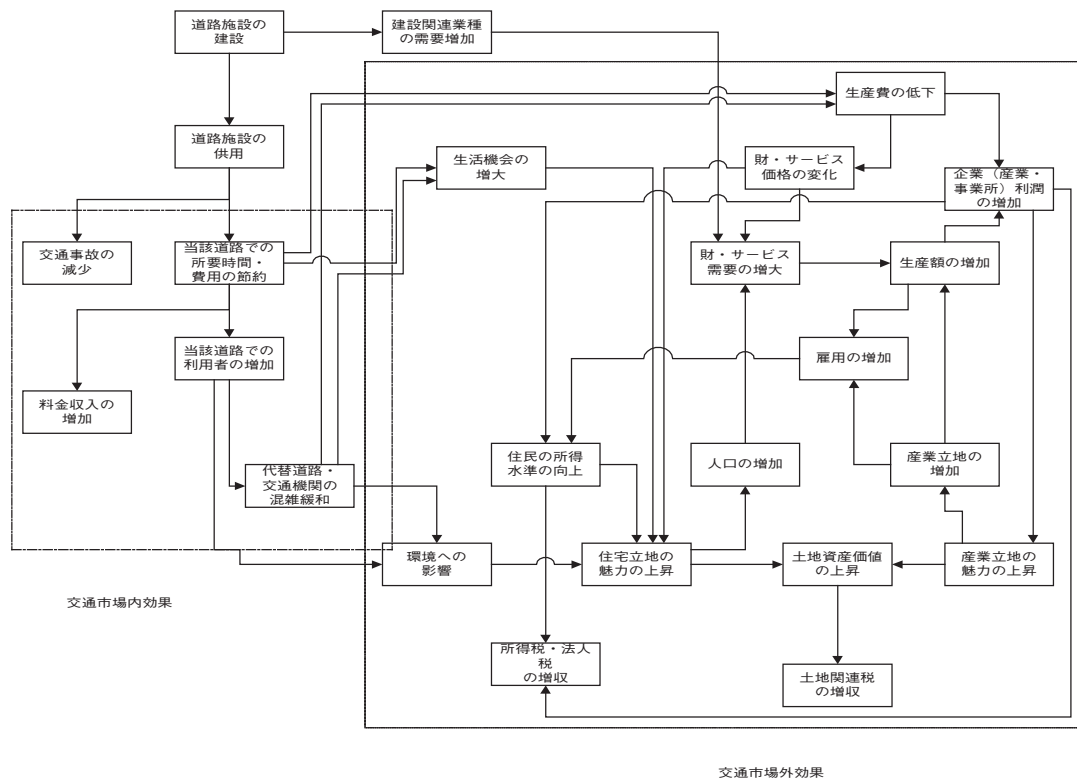


図-1 便益波及のフロー図¹⁾

* 東北事務所

2. 地下鉄南北線の概要

仙台市営地下鉄南北線は、仙台市北部の泉中央、その背後の住宅団地群、仙台都心部、及び仙台市南部の既存中心地である長町を結ぶ仙台市の南北方向の骨格軸として、昭和63年に開業し、これまで、都市成長に大きな役割を果たしてきた。



図-2 仙台地下鉄南北線の位置

3. ヘドニック分析による便益評価

本章では、ヘドニック・アプローチによる南北線の効果を計測する。この手法の考え方は次の通りである⁴⁾。社会資本整備により周辺の土地の利便性が増加する結果、その土地の資産価値は上昇する。キャピタリゼーション仮説の条件下 [(1) 仮定に示す] ではこの上昇分を社会資本整備の便益と見なせることが理論的に検証されている [(2) 基本モデルに示す]。ヘドニック分析は最終的な便益が資産価値に帰着することから、間接効果を含む計測手法であると言える。

(1) 仮定⁵⁾

ヘドニック分析で必要となる仮定は以下の通りである。特に、①Small条件と②Open条件の成立(キャピタリゼーション仮説)が重要である。

- a) ある地域でのプロジェクト実施は、全体の均衡効用水準に影響を与えない。つまり、プロジェクトの影響範囲は特定地域に限られ、その効果も小さい。(Small条件)
- b) 個人は、効用の高い地域へコストなく移動できる。(Open条件)

- c) 各地域に代表的企業が存在する。
- d) 労働者は住んでいる地域の中で働く。(職住一致の仮定)
- e) 各家計は1人の労働者が存在し、非弾力的に1単位の労働を供給し、賃金を得る(共働きは考えない)。
- f) 家計は合成財・土地・環境質から効用を得る。ここで合成財価格は1とする。
- g) 企業は労働と土地を生産要素とする。

(2) 基本モデル

効用最大化問題から間接効用関数は次のように導かれる。また地域間で効用水準は均等化する。均衡効用水準を V^* (定数) とすると次の関係式が成立する。

$$V^* = V(w, r, a) \quad (1)$$

ここで賃金 w 、地代 r 、環境質 a である。

利潤最大化行動から企業の利潤関数は次のようになる。このとき生産関数は一次同次であるため、利潤は0である。

$$\pi(w, r, a) = 0 \quad (2)$$

環境質 a はパラメータなので、(1)、(2)式より変数 w 、 r を陽表的に解くことができる。

$$w = w(a, V^*) \quad (3)$$

$$r = r(a, V^*) \quad (4)$$

賃金、地代は環境質の関数となることが分かる。

間接効用関数(1)の両辺を全微分する。

$$0 = V_w dw + V_r dr + V_a da \quad (5)$$

$$\text{ここで } V_x = \frac{\partial V}{\partial x} (x = w, r, a)$$

(5) 式の両辺を $V_a da$ で割る。また、Roy's Identity より $-\frac{V_r}{V_w} = h$ (住宅面積) を代入する。

$$\frac{V_a}{V_w} = h \frac{dr}{da} - \frac{dw}{da} \quad (6)$$

ここで(6)の左辺は、環境水準が変化したときに効用一定の下で、どの程度賃金を減らしてもいいかを表す。つまり、環境質に対していくら支払って良いかの支払い意志額 (Willingness To Pay; WTP) と意味付けることができる。

$$Pa = h \frac{dr}{da} - \frac{dw}{da} \quad (7)$$

本来は(7)式をもとに環境質を計測するのであるが、本分析が対象とする単一市内においては、賃金率が地点別に環境質の差を顕在化することは考えづらい。また、統計データ上の視点から、地点別の賃金データの収集も困難である。このため、本分析では補償賃金の影響は考えずに地代の変化のみで環境質を計測する。

$$\text{ゆえに、} Pa = h \frac{dr}{da} \quad (8)$$

(3) 変数データの検討

ここでは、(8)式を用いた便益計測のために先ず(4)式の地価関数の特定化を行う。以下の説明変数は、(4)式の土地の環境質 a に相応する。

a) 従属変数と説明変数について

従属変数となる地価データは次を用いる。

- ・ L PRICE 地価 [円/㎡] ; 公示地価 (H 11.1.1) の住宅地地価と県地価調査 (H 10.7.1) の住宅地地価データより。南北線整備により住環境が改善される地域はほぼ鉄道沿線の住宅地であることから、住宅地価データを採用した。

説明変数は以下を採用した。多くの説明変数を取り入れて推定を行うと多重共線性の問題を生じるので、代表的な説明変数の選定に注意が必要である。

- ・ NO_{x16} 二酸化窒素 [ppb] ; 自動車排出ガスによる環境の悪化を意味し、年平均 NO₂ 濃度である。250 m メッシュ毎のデータで拡散モデルによる推計である。NO_x 濃度データをそのまま推定式に当てはめると、地価と正の相関しか得られないため¹、閾値を設定する。閾値は計測データの平均値に近い 16.0 ppb を設定する。
- ・ TIMC (Time to Center) 仙台駅までの所要時間 [秒] ; 全国デジタル道路地図 (DRM) による道路網に基づき、自動車・鉄道を利用した場合の最短所要時間を計測した。例えば、各地価ポイントから、鉄道よりも自動車のほうが速く仙台駅に到着するなら、自動車を利用すると設定している。鉄道の待ち時間は考慮しない。この変数は都心までの近接性を意味する。鉄道整備により南北線沿線では所要時間が短縮されるので、地価が上昇すると考えられる。
- ・ DISS (Distance to Station) 最寄駅までの道路距離 [m] ; 道路距離は全国デジタル道路地図

(DRM) より測定した。各ポイントの利便性・近接性の代理変数である。鉄道整備により駅が建設されることで、最寄駅距離が変化する地価ポイントが現れる。

- ・ WIDTH 前面道路幅員 [m] ; 幹線道路に面していれば近接性が良く、地価にプラスの影響を与えると想定される。
- ・ DGAS 都市ガスの存在 (ダミー変数) ; あるとき 1、ないとき 0 である。郊外部では存在しない場合が多いので、各地価ポイントの利便性を意味する。
- ・ D4、D5、D6 用途地域指定 (ダミー変数) ; 用途指定の違いが地価水準に影響を与えると想定される。ダミー変数の定義は次の通りである。

基準変数：第一種低層住居専用地域

D4：第二種中高層住居専用地域

D5：第一種住居地域

D6：第二種住居地域

上で指定される以外の用途地域 (例えば、第一種中高層住居専用地域) についてはサンプル数が少数であるので、考慮しなかった。

b) 分析データ

対象地域、サンプル数は次のようになる。

- ・ 対象地域：仙台市の市街化区域で計測。市街化調整区域と都市計画区域外は除く。
- ・ サンプル数：上記対象地域のデータから、各変数の有効データとなる 364 サンプルを対象とする。

(4) 推定式の検討

以上の変数を用い構造推定を行うが、地価と仙台駅所要時間 (TIMC) ・最寄駅距離 (DISS) の散布図から、非線形の関係が見られる (図-3 参照)。

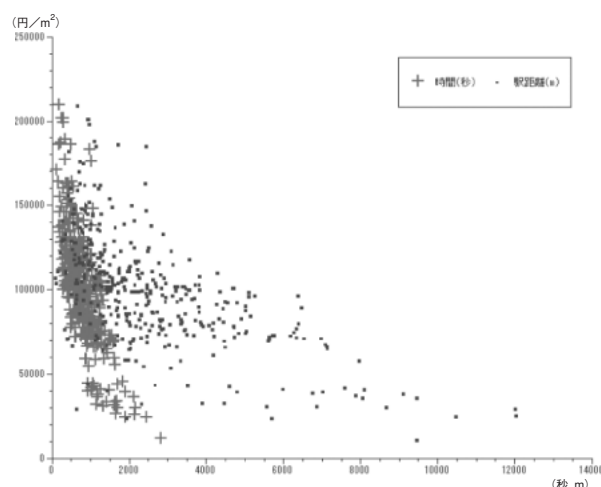


図-3 地価水準と最寄駅距離・所要時間の散布図

これら2変数について地価との柔軟な関係性を分析するために Box-Cox 変換をする。

また、被説明変数である地価については、各変数との関係性も非線形であると想定されるため、対数変換を行った。

(5) 推定

推定式は複数の関数形を試みた結果、符号条件や t 統計量から最も条件の良い次式を採択する。

$$\begin{aligned} \ln(L\ PRICE) = & b_0 + b_1 \cdot NOX_{16} \\ & + b_2 \cdot (TIMC^{it} - 1) / \lambda_t + b_3 \cdot (DISS^{id} - 1) / \lambda_d \\ & + b_4 \cdot WIDTH \\ & + b_5 \cdot DGAS + b_6 \cdot D4 + b_7 \cdot D5 + b_8 \cdot D6 \end{aligned} \quad (9)$$

被説明変数である地価データは平成11年時点であることから、被説明変数についても平成11年の条件（南北線有り）をもとにパラメータ推定を行った。TSPソフトウェアのMLコマンドの実行により最尤推定を行った。Newton-Raphson法による求解の過程（繰返し計算回数110回）は安定的であった。

推計結果は表-1の通りである。符号条件は全て満たされる。t値はNO_{x16}変数とBox-Cox変換した変数パラメータ、D5（第一種住居地域）について有意でない。複数の推定式を試みたが、どれも低い結果に終わった。

最終尤度と初期尤度の差から得られるLR検定は自由度10のカイ2乗分布に従うが、パラメータ全てが0となる帰無仮説を棄却する。R²は0.6839と有効な値が得られた。MAPE（絶対パーセンテージ平均誤差）指標により推定式は約86%の説明力を持つことが分かる。

(6) 地下鉄整備の便益計測

南北線整備の便益は「平成4年仙台都市圏総合都市交通体系調査」で設定した中ゾーン単位（仙台市内164ゾーン）で計測する。各ゾーンのゾーン中心の交通条件（TIMC、DISS）の変化により、ゾーンの平均地価/m²が増加する。この額に都市計画基礎調査より求められる市街化区域の中の（住宅用地+専用・併用商業・工業用地+運輸倉庫用地+公益施設用地+その他宅地空宅地）面積を乗ずることで、南北線整備のゾーン別便益が計測される。仙台市全体での総便益（Benefit）は次式で表される。

表-1 パラメータ推定結果

説明変数		value	t-value
年平均NO ₂ 濃度 [ppb]	NOX ₁₆	-7.399 E-4	-0.1521
仙台駅までの所要時間 [秒]	TIMC	-6.224 E-6	-0.4680
TIMCのBox-Coxパラメータ	λT	1.600	5.124
最寄駅までの道路距離 [m]	DISS	-5.252 E-3	-0.4735
DISSのBox-Coxパラメータ	λD	0.3804	1.327
前面道路幅員 [m]	WIDTH	3.872 E-2	4.713
都市ガスの存在 (ダミー変数)	DGAS	0.1521	4.503
第二種中高層住居専用地域	D4	7.841 E-2	2.623
第一種住居地域	D5	-1.561 E-2	-0.6564
第二種住居地域	D6	0.2118	6.779
定数項	Const	11.52	75.54
誤差の標準偏差	σ	0.1541	26.57
LR検定統計量		419.2 (χ _{0.01} ¹⁰ = 23.21)	
R _e		0.6839	
MAPE		0.1390	

$$Benefit = \sum_k [AREA_k \cdot (PRICE_k^w - PRICE_k^0)] \quad (10)$$

ここで各変数は次の通り。

AREA_k : 仙台市ゾーンkの市街化区域面積

PRICE_k^w : 鉄道整備有りのゾーンkの平均地価

PRICE_k⁰ : 鉄道整備無しのゾーンkの平均地価

m²当たりの地価上昇額のゾーン別分布は図-4で示される。(10)式での(P_k^w-P_k⁰)を示している。

(10)式から計算される南北線整備の便益総額は次

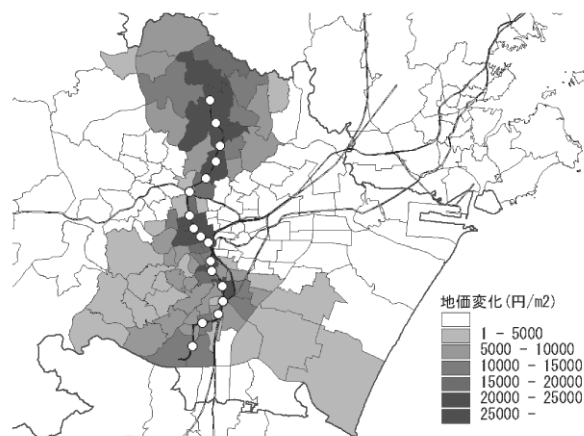


図-4 ゾーン別地価上昇の程度

の通りである。

鉄道整備総便益 = \sum (各ゾーン便益) = 5,531 億円

また、総便益額を南北線各駅に振り分け、どの駅で便益が大きいのか便益の構成を把握する。振り分けの方法は、ゾーン中心から最短道路距離として選定される駅毎に集計するものである。南北線駅別の便益額を図-5に示す。

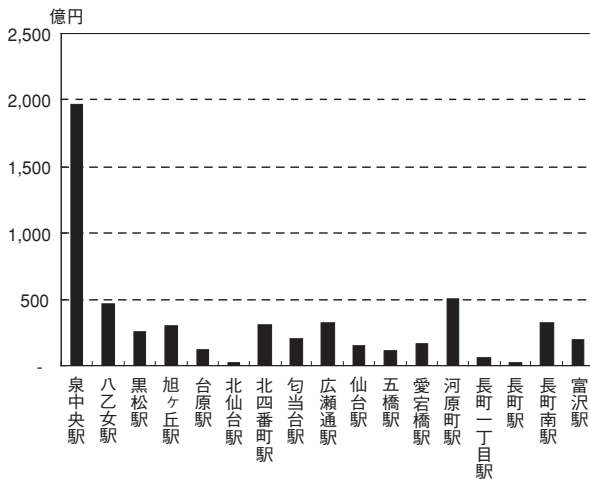


図-5 南北線駅別の便益額

以上の結果より得られる考察は以下にまとめられる。

- 図-4より、南北線の利用圏で地価が増加していることが分かる。特に北部地区の泉中央駅周辺で増加している。北部地区での交通条件の改善が大きいことが分かる。
- 図-5より、従来鉄道サービスが存在しなかった泉中央駅・北部地域では比較的大きな便益が発生している。しかし、北仙台・長町・長町一丁目駅ではほとんど便益が発生していない。この理由は、これら駅の利用圏では従来からJR仙山線北仙台駅、JR東北本線長町駅が存在し、最寄駅距離や仙台駅までの所要時間について変化が無いためである。これらの駅においては地下鉄整備による運行本数の増加や、複数路線が存在することによるアクセシビリティの上昇を記述する説明変数の導入が課題である。
- 説明変数の計測の過程から、南北線整備による便益は、主にDISS（最寄駅までの距離）の変化により発生していることが分かった。鉄道駅が身近にあることによる利便性の向上が、便益に大きく寄与することを意味している。

4. 便益計測手法の比較からの考察

表-2にヘドニック分析から得られた便益額、既往調査³⁾で行った「鉄道マニュアル」に基づく便益額、及び応用一般均衡分析による総所得増加額の算定値の比較を行った。本検討からの考察は次の通りである。

表-2 各手法による効果額の比較

計測手法	便益額
ヘドニック分析	仙台市：5,531 億円
鉄道マニュアル ^{3),7)}	都市圏：8,347 億円 (仙台市：5,565 億円) ²⁾
応用一般均衡分析(CGE) ³⁾	仙台市：6,306 億円 ³⁾

表-2にみるように、この3手法で得られた地下鉄南北線の効果額はほぼ同水準に納まっており、この結果は注目に値する。いずれの手法も鉄道整備の効果を計測するために用いた手法であるが、これら手法間での優劣は効果額の実績が不明である以上、評価しがたい。

効果便益に伴う作業では、「鉄道マニュアル」に基づく場合は交通需要予測が必要であるのに対し、ヘドニック分析では需要予測を必要とせず公示地価データを用いて推計が可能である。応用一般均衡分析では交通需要予測に加え、経済モデルの構築を伴い、その作業量は「鉄道マニュアル」適用をさらに上回る。

また、ヘドニック以外の分析で用いる需要予測では誤差を含むため、不確実な情報に依存しないヘドニック分析は有効な手法である。

現在、新たな鉄道施設整備計画では「鉄道マニュアル」に沿った便益の算定が義務づけられているが、その算定は種々の外生条件により変化することも経験的に知られており、簡便な手法であるヘドニック分析により比較検証を行うことは、効果算定の理解と算定精度向上にとって重要と考えられる。

5. おわりに

本稿では鉄道整備効果の算定について、ヘドニック分析による手法を用いた実証分析を行った。

「鉄道マニュアル」に基づく手法、応用一般均衡分析手法との比較から算定便益額の水準に差異はみ

られず、実務での適用性から総便益算定におけるヘドニック分析の有効性が確認された。

今回の3手法における便益額が同水準に収まった結果についてはその一般性は検証されたわけではない。今後、他の地域での実証分析を重ねていくことが必要と考えられる。

謝辞

本稿は、東北大学佐々木公明先生の指導による勉強会の成果の一部と平成12年度当研究所が受託した「仙台圏域における鉄道整備効果分析に関する調査」に基づく成果をとりまとめたものである。

ヘドニック・アプローチを用いた分析については東北大学佐々木公明先生に御指導頂いた。また平成12年度調査における分析では東北大学林山泰久先生に御指導頂いた。本稿の作成にあたっては、東北芸術工科大学吉田朗先生から貴重な御助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

- 1 この問題に対して、金本・中村・矢澤（1989）⁶⁾は次の方法で問題解決している。本分析は①の方法を参考にした。
 - ①大気汚染の程度は、ある閾値を超えないと、地価に対する負の影響は現れないと考えられる。NOxデータに関して平均値に近い9.5の閾値を与え、その値以上のデータのみに関して推定すると、地価とNOxデータに関して負の相関が得られる。
 - ②通常、大気汚染と地価の関係は、非線形の関係をもつと想定されている。他の文献では、大気汚染の

変数について、2乗の変換を行うのが最もフィッティングが良いと報告されている。

- 2 交通分析の対象地域は仙台都市圏（20市町村：約150万人）であり、ヘドニック分析の対象地域は仙台市（人口約100万人）である。直接効果を計測する「鉄道マニュアル」の便益はほぼ人口規模に依存するので、仙台都市圏で計測している便益額（約8,347億円）を仙台市分に変換する場合、人口比(2/3)を掛けることで約5,565億円となる。
- 3 効果額は総所得増加（＝労働所得＋地代収入）として捉えた。

参考文献

- 1) 道路投資の評価に関する指針検討委員会編：道路投資の評価に関する指針(案)，財団法人日本総合研究所，H10.6
- 2) 鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル'99，財団法人運輸政策研究機構，H11.6
- 3) 仙台圏域における鉄道整備効果分析に関する調査報告書，仙台市，H13.3，
(URL：<http://www.city.sendai.jp/toshi/kotsukeikaku/traffic-plan/>) で公表されている。
- 4) 肥田野登：環境と社会資本の経済評価，勁草書房，1997.10
- 5) 赤井伸郎：地域環境の評価—地域選択モデルによる比較静学分析— 大阪大学経済学 Vol.44 21-40，1994.6
- 6) 金本良嗣・中村良平・矢沢則彦：ヘドニック・アプローチによる環境の価値の測定，環境科学会誌 2(4)，1989
- 7) 仙台都市圏総合都市交通体系調査テクニカルノート，仙台都市圏総合都市交通計画協議会，H6.3