

都市構造変化を考慮した軌道系交通整備事業の世代会計\*

Generational Accounting for an Urban Rail-Transit Project with emphasis on the Spatial Structure of a City

鈴木温\*\*・北詰恵一\*\*\*・若山恭輔\*\*\*\*・宮本和明\*\*\*\*\*

By Atsushi SUZUKI, Keiichi KITADUME, Kyosuke WAKAYAMA and Kazuaki MIYAMOTO

1. はじめに

都市公共交通機関は、複数の世代にまたがって長期間利用され、時間短縮効果などの直接的な効果を及ぼすばかりではなく、経済循環システムを通じ広範囲に波及効果を及ぼすため、その事業も長期的なスパンで考える必要がある。地下鉄等の都市交通事業は、建設費が莫大であるために初期投資が大きい典型的な平均費用通減事業である。そのため開業当初は借入金の利払いが大きいいため、キャッシュフローベースでみた財務収支は大幅な赤字になることが一般的である。しかも、開業当初は利用者数も少ないが、沿線の土地利用の変化やアクセス利便性の向上などにより徐々に利用者の増大が見込まれる。したがって、プロジェクトを評価する際には、土地利用や都市集積といった空間的な要因を含めた長期的の評価が必要である。特に、地方都市では、地下鉄等の公共交通機関利用者数の伸び悩みと累積赤字の拡大が指摘されている。その原因として、都市の集積度合いが低く郊外に拡大していることから自由度の高い自動車等を選択する人が多いことがあげられる。著者らはこれまで世代会計手法<sup>1)</sup>を用い、事業に関わる受益者、負担者を時系列でみて、それぞれの受益額と負担額を算出する世代間評価モデルを構築した<sup>2),3)</sup>。本研究では、さらに不可逆な要因としての都市構造の変化を考慮することにより、長期的なプロジェクトの評価を行う。なお本研究でいう都市構造は、居住地の面積を意味している。

2. 研究の手順

既存の財務会計モデルにおける運賃を決定するための地下鉄の需要関数を、交通機関選択のロジットモデルから得られる地下鉄利用の選択確率より求める。選択確率は駅からの距離も変数に含むため、駅からの距離の関数として需要関数が求まる。地下鉄利用者数は運賃と都市の人口によって決定する。運賃はある期間で累積収支が0となるような、平均費用価格形成にしたがい決定する。各世代の地下鉄から受ける便益は、発生ベースの直接利用効果で計測するため消費者余剰アプローチを採用する。都市構造のシナリオとして構造一定の場合と変化する場合に分け、各世代が地下鉄から受ける受益から負担額を引いた純受益額の比較を行う。

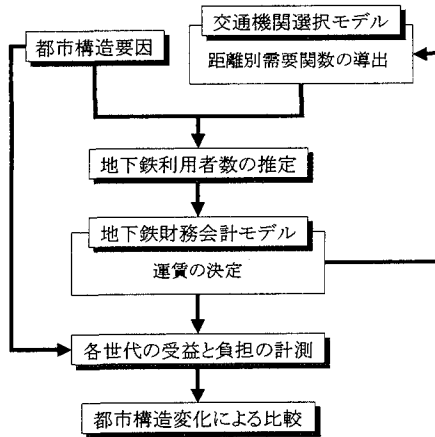


図1 研究のフロー

3. 都市構造の仮定

ここでは、居住地と就業地が一つずつあり、居住地と就業地の間に地下鉄が一本ある都市を仮定する。居住地は同心円に広がっている。都市の住民は、同心円の居住地に一樣の人口密度で居住する。都市の

\* キーワーズ：公共事業評価法，財源・制度論，世代会計  
 \*\* 学生員，情報修，東北大学大学院工学研究科  
 \*\*\* 正員，工修，東北大学東北アジア研究センター  
 \*\*\*\* 学生員，東北大学大学院情報科学研究所  
 \*\*\*\*\* フェロー，工博，東北大学東北アジア研究センター  
 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06  
 TEL 022-217-7478, FAX 022-217-7477  
 E-mail: asuzuki@plan.civil.tohoku.ac.jp

構造は同心円の半径を変数として外生的に変化させる。

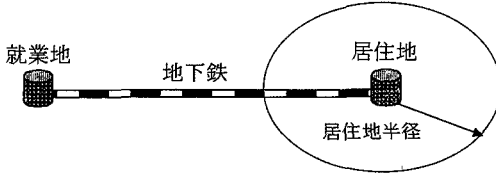


図2 都市の仮定

#### 4. モデルの定式化

##### (1) 交通機関選択モデル

住民が地下鉄から受ける直接便益は、地下鉄を利用するか否かによって異なる。よって、就業地までの交通機関選択をモデル化することによって、住民が地下鉄を選択する確率を算出し、地下鉄の利用しやすさを考慮した需要関数を求める必要がある。

全ての住民は、就業地までの交通機関として、地下鉄と自動車の2つの選択肢を持つものとする。住民は交通機関を、地下鉄の乗車料金、居住地から地下鉄駅までのアクセス距離により決定するものとする。アクセス距離を考慮することで、居住地の面積を表現するものである。自動車のサービス水準は一定であるとする。

ここでは、ロジット型の選択モデル<sup>4)</sup>を採用する。地下鉄の効用関数を

$$V_{sub} = a_1 p + a_2 x + a_3 \quad (1)$$

$V_{sub}$ : 地下鉄の効用関数  
 $a$ : パラメーターベクトル  
 $p$ : 地下鉄の乗車料金 (円)  
 $x$ : 居住地から地下鉄駅までの距離 (m)

とし、自動車の効用関数を

$$V_{car} = 0 \quad (2)$$

$V_{car}$ : 自動車の効用関数

とすると、地下鉄を選択する確率は

$$P_{sub} = \frac{e^{V_{sub}}}{e^{V_{sub}} + e^{V_{car}}} \quad (3)$$

$P_{sub}$ : 地下鉄の選択確率

と表すことができる。

本来、パラメーターベクトルは実際の行動データを基に推定すべきであるが、今回は適当と思われる値を設定する。

##### (2) 需要関数の決定

式(3)で求めた地下鉄の選択確率に、住民一人あたりの年間平均の就業地へのトリップ数を乗じたものが $x$ の地点に居住する住民の地下鉄の需要量となる。すなわち地下鉄の逆需要関数は、

$$D(x, p) = P_{sub} \times Tr \quad (4)$$

$D(x, p)$ :  $x$ の地点に居住する住民の地下鉄の年間需要量 (回/年・人)

$Tr$ : 一人当たりの居住地-就業地間平均年間トリップ数 (回/年・人)

地下鉄の運賃を $p$ としたときの総需要(全利用者数) $D(p)$ は、

$$D(p) = \int_0^r 2\pi\rho D(x, p) x dx \quad (5)$$

$\rho = \text{POP} / \pi r^2$ : 人口密度  
 $\text{POP}$ : 都市の全人口  
 $r$ : 居住地半径

となる。なお全人口は将来にわたり一定とする。

##### (3) 地下鉄財務計算モデル

地下鉄事業者は営利目的ではなく、適切な原価のもと長期的に収支が均衡するように運賃を設定する。地下鉄事業者は、政府からの資本金(自己資本)と補助金により地下鉄を建設する。資金が不足する分は企業債を発行し資金を借り入れる。地下鉄事業の定式化は、基本的に既存の財務会計手法に則って行う。収支計算は、各事業年度の利益を計算する損益計算書と各年度の資産繰りを計算する貸借対照表により行う。損益計算書による計算は、 $i$ 年度の収入=支出+純利益を表す。

$$I_i = p_i D(p)_i = H_i + F_i + M_i + G_i + R_i + SR_i + NP_i = E_i + NP_i \quad (6)$$

貸借対照表による計算は、 $i$ 年度の資産=資本+負債+純利益を表す。

$$A_i + CA_i = CP_i + S_i + L_i + SL_i + NP_i \quad (7)$$

$I$ : 収入,  $E$ : 支出,  $p$ : 運賃,  $D(p)$ : 地下鉄利用者数/年,  
 $K$ : 建設費,  $H$ : 変動費,  $F$ : 固定費,  $M$ : 維持管理費,  $G$ : 減価償却費,  $R$ : 支払利息,  $A$ : 固定資産,  $CA$ : 流動資産,  
 $NP$ : 純利益,  $CP$ : 資本金,  $S$ : 補助金,  $L$ : 長期借入金,  $SL$ : 短期借入金

平均費用価格形成にしたがって運賃を設定すると運賃は $N$ 年間で累積収支が0となるように決定す

るから

$$\sum_{i=1}^N NP_i = 0, \quad p = \frac{\sum_{i=1}^N E_i}{\sum_{i=1}^N X_i} \quad (8)$$

となる。

政府は都市住民から税金を徴収し、地下鉄事業に還元する。政府はその年の税金はその年に使い切る単年度収支均衡条件を仮定する。基本モデルでは、地下鉄整備事業のみを考えるため、都市住民が支払う税金のうち地下鉄事業分を政府の税収とし、地下鉄事業の資本金、補助金に充てる。本モデルでは、補助金の全額を都市住民が負担するものとして計算した。

#### (4) 各世代の受益額と負担額の計測

住民の受ける便益は、利用者の直接効果を計測しやすい消費者余剰アプローチを採用する。したがって、都市住民の地下鉄事業に対する受益と負担は、受益：CS（消費者余剰）、負担：Z（税支払いのうち地下鉄整備関連分）とする。

各世代の生涯の受益と負担は、各期の年齢別受益額と負担額を斜めに足し合わせることによって求まる。受益から負担を引いたものが純受益となる。

### 5. シミュレーション

都市構造が変化した場合の地下鉄事業の財務への影響と各世代の純受益額の変化を検討するため仮想的な数値の下でシミュレーションを行う。

#### (1) 都市構造変化のシナリオ

都市には、地下鉄開業当初半径 10km の中に 100 万人が均等に居住しているものとする。都市の構造変化は都市半径の変化で表現する。都市構造の変化は、各経済主体の自由な立地選択の結果、ダイナミックに変化するものであるので本来モデルの中で内生的に決定すべきであるが、本研究では都市構造の変化を外生的に与える。地下鉄開業時の半径 10km が 20 年後に市街化区域の拡大などの政策的な外生要因によって居住地半径が 12km になったとする。都市人口は 100 万人で一定とするため人口密度は 3183 人/km<sup>2</sup> から 2210 人/km<sup>2</sup> へ変化する。

#### (2) 仮定数値と世代の前提

各世代の地下鉄からの受益額と負担額を計算するために財務会計モデルの数値（表 1）と機関選択

表 1 財務会計の仮定数値

建設費	3,000(億円)
資本金	600(億円)
補助金(額)	1,680(億円)
補助金交付期間	10(年)
長期借入金	720(億円)
長期借入金金利	4%
短期借入金金利	6%
償還期間	10(年)
変動費係数	50(円/利用者数)
固定費係数	0.1%
維持管理費係数	1.0%
減価償却(方法)	定額法
減価償却(残存)	10%
減価償却(期間)	60(年)
累積収支均衡	40年
社会的割引率	4%

表 2 ロジットモデルのパラメーター

$a_1$	$a_2$	$a_3$
-0.004	-0.0003	1.3

年齢	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
利用																	
税金																	

図 3 都市住民の仮定

モデルのパラメーターを仮定する（表 2）。補助率等の財務会計数値は現行の制度に則って設定した。機関選択モデルのパラメーターは、パーソントリップ等のデータから推定できるが本稿では外生的に与えた。地下鉄の建設費は 3000 億円とし補助率は自己資本を引いた 70%とする。また 40 年で累積収支が 0 となるように運賃を決定する。

世代は 5 歳刻みとし、寿命を全員 80 歳とする。各年齢階級の人口は同一とする。世代は地下鉄開業年時に 80 歳の世代から 10 年後に生まれうる世代までの 18 階級とする。地下鉄は 10 歳以上が利用し、税金は 20~60 歳が支払う（図 3）。年齢による利用度の違いを表現するため、総務庁「社会生活基本調査」<sup>5)</sup>の年齢別移動時間より重みづけした。

#### (3) 各世代の受益と負担の計測

機関選択確率にトリップ数をかけると地下鉄駅からの距離に応じた逆需要関数が得られる（図 4）。財務会計モデルから運賃が決まると消費者余剰アプローチより受益額が年齢と駅からの距離の関数として求まる。住民が負担する費用は建設費のうち補助金の 1680 億円と自己資本金の 600 億円とする。

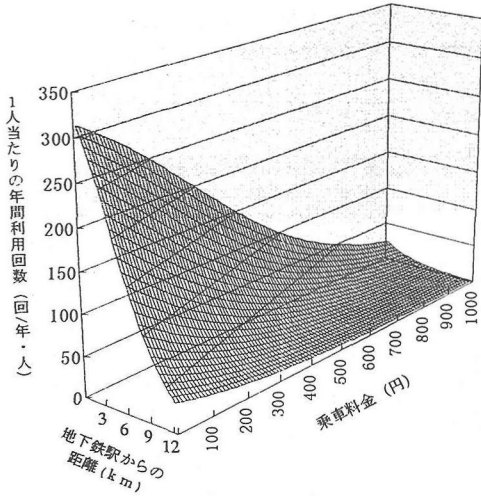


図4 地下鉄の逆需要関数

年齢別の受益額と負担額を斜めに足し合わせると世代の受益額と負担額が求まる。受益額から負担額を引いた各世代の生涯の純受益額を図5に示す。

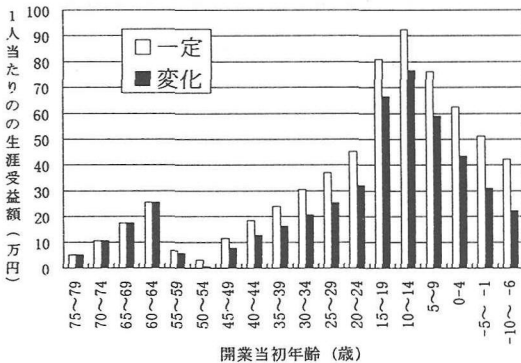


図5 各世代の純受益額の比較

図5の白棒線は、都市構造が居住半径 10km で一定のケースを示す。黒棒線は 20 年後に 12km に拡大した場合の純受益額である。半径一定のケースでは 40 年で累積収支が均衡する運賃が 197 円であるのに対し、半径が拡大するケースでは 20 年後以降 305 円に値上げする。これは、居住半径の拡大により都市が郊外に広がり、地下鉄から自動車に転換する人が増えるため地下鉄の利用者数が減少したので、経常収入を維持するためには運賃を値上げせざるを得ないためである。したがって半径一定の場合より変化する場合の方が純受益は小さくなり、その差は、20 年後にも利用している 60 歳よりも若

い世代から徐々に開きはじめ、後の世代ほど都市構造変化の影響は大きくなる。なお当初の生産年齢世代は、建設費の負担のため他の世代よりも純受益額は少なくなっている。全世代の純受益額に世代の人口をかけた値は半径一定のケースで 3598 億円、変化する場合で 2643 億円となっている。

## 6. 結論

市街化区域の拡大など、外部的な要因により都市が郊外に分散すると、都心部へのトリップで地下鉄を利用していただた人の一部が自動車に転換し地下鉄利用者数が減少する。そのため、事業の採算をとるためには運賃を引き上げねばならず、都市構造が変化しない場合に比べ、後の世代ほど純受益額の減少は大きくなる。また総純受益額も小さくなる。

## 7. 今後の課題

本モデルでは、都市構造の変化を外生的に与えたが、今後は、各個人の立地選択行動に基づき都市構造の変化を内生化したモデルに発展させる予定である。立地選択行動は地下鉄の駅からの距離などの便益発生側の影響だけではなく、地価や地代の帰着側の影響も説明選数として大きいと考えられる。そのために地下鉄整備の帰着側の効果を取り込んだ地価（または地代）を明示的に扱う必要がある。しかし地下鉄等の社会資本を整備した場合の帰着便益がどのくらいの時間をかけて土地に帰着していくのかはまだ解明されていない。

また各年齢の属性を機関選択や立地選択に取り込むことにより、年齢別の選択行動から世代の純受益を論じることができると考えている。

## 《参考文献》

- 1) ローレンス・コトリコフ、香西泰監訳：世代の経済学、日本経済新聞社、1993
- 2) 鈴木温・北詰恵一・宮本和明：都市交通整備事業における世代会計に着目した受益と負担の計測、土木学会第 5 4 回年次学術講演会概要集第 4 部、1999
- 3) 鈴木温・北詰恵一・宮本和明：都市公共交通事業への世代会計分析、土木学会第 5 3 回年次学術講演会概要集第 4 部 pp404-405、1998
- 4) 土木学会：非集計行動モデルの理論と実際、土木学会、1995
- 5) 総務庁：社会生活基本調査、1998