

パレート改善を制約とした自動車利用者への公共交通機関整備の費用配分問題

A cost allocation problem for urban transit system including automobile users

Restricted with pareto improvement

鈴木崇児\* 宮城俊彦\*\*

Takaji SUZUKI Toshihiko MIYAGI

1.はじめに

地球温暖化問題に対する認識が深まり、自動車を含めた都市交通全体のエネルギー消費や環境負荷に対して厳しい制約が課されようとしている。大都市を除けば、既に日本の多くの都市は自動車依存型の都市交通体系に移行している。何らかの政策転換によって環境負荷が小さくなるように交通体系を改編していく必要があるが、これらの都市では、LRT などの中量軌道系の輸送機関の整備は、過去には主として採算性の問題から導入が進んでいなかった。しかしながら、上述の理由により、厳しい環境制約のもとで持続可能な都市交通体系を実現するための方策として中量軌道系輸送機関の整備が再び注目されている。

この問題に対して、鈴木・宮城 1)2)は、自動車利用者にも、競合する鉄道の整備費用の一部を負担させることによって、軌道系輸送機関の採算基準を満足させ自動車利用による外部不経済の損失を含めた社会的総余剰を最大化する整備費用負担の方法を道路混雑の影響を考慮した次善価格形成の枠組みから導出した。

さらに、この費用負担問題では軌道系輸送機関に作用する規模の経済と自動車交通に作用する規模の不経済が存在するときに、自動車利用者にも費用負担を求め、軌道系輸送機関を整備した場合にすべての交通利用者が交通費用を節約できる場合があることを示した。このケースでは、すべての費用負担者の交通費用が少なくとも現状以上に節約されるパレート改善が達成されている。この費用負担の変化を

前提とすれば、自動車利用者を含めた全て交通利用者の整備費用負担に対する合意形成が得られやすいという意味で、現状の都市交通体系と費用負担を前提として、軌道系輸送機関整備の実行可能性を保証する費用負担方法になっている。ただし、このケースは、次善料金形成によって生じる特殊ケースであり、自動車利用者の費用負担が常に整備後に減少する保証はない。そこで本研究では、整備前後での利用者負担のパレート改善を費用負担問題の制約として組み込んだ公共輸送機関に対する次善料金形成の枠組みを検討する。

2. パレート改善制約付き整備費用配分負担モデル

本研究で扱うモデルは、既存の自動車交通との競合を考慮した都市鉄道の次善料金形成モデル 3)にパレート改善制約を加えて拡張したモデルである。なお、以下では、3. の例題計算で用いる図1に示す簡略的なネットワークに対する定式化を示す。図1のネットワークでは、セントロイド1と2からセントロイド3へそれぞれ20000tripの移動があるものと仮定する。ODペア13は自動車の2経路で接続されており、ODペア23は自動車と公共輸送機関の2経路で接続されている。LRT がリンク4に整備される前にはBUSが運行しているものとする。また、リンク3では、両ODペア間を移動する自動車交通が同一リンク上を走行するため、ODペア23間の交通整備の影響が、フローの相互作用によってODペア13間の交通利用者の行動にも影響を与える。

パレート改善 次善料金形成 公共交通整備財源 MPEC

正員 中京大学経済学部 (名古屋市昭和区八事本町 101-2 T052-832-2151)

\* 正員 岐阜大学地域科学部(岐阜市柳戸 1-1 T058-293-2442)

$$Max.SW(\mathbf{p}) \tag{1}$$

$$s. t. p_m f_a - FC - VC(f_a(\mathbf{p})) + G \geq 0 \tag{2}$$

$$C_k(\mathbf{p}) - C_{ok} \geq 0, \quad \forall k \in 1,2,3,4 \tag{3}$$

$$C_1 = C_2 \quad (4-a)$$

$$C_3 = C_4 + \theta \ln \frac{f_1}{f_3} \quad (4-b)$$

$$q_{13} = f_1 + f_2 \quad (5-a)$$

$$q_{23} = f_3 + f_4 \quad (5-b)$$

where

$$SW(\mathbf{p}) = CS(\mathbf{p}) + PS(\mathbf{p}) \quad (6)$$

$$CS = CS_{13} + CS_{23} - DIS \quad (7-a)$$

$$CS_{13} = q_{13}(y - C_2) \quad (7-b)$$

$$CS_{23} = q_{23} \left( y - \theta \ln \sum_{s=3,4} \exp(-C_s / \theta) \right) \quad (7-c)$$

$$DIS = \sum_{s=1,2,3} \int_0^{f_s} (MC(t) - AC(t)) dt \quad (7-d)$$

$$\cong \sum_{s=1,2,3} \frac{\alpha \beta t_{os}}{2K_s} x_s^{\beta+1}$$

$$PS = p_m f_4 - FC - VC(f_4(\mathbf{p})) + G \quad (8)$$

$$G = p_a (f_1 + f_2 + f_3) \quad (9)$$

$$C_1 = c_1 + c_3, C_2 = c_2, C_3 = c_3, C_4 = c_4 \quad (10)$$

$$x_1 = f_1, x_2 = f_2, x_3 = f_1 + f_3, x_4 = f_4 \quad (11)$$

$$c_s = p_a + \alpha t_{os} (1 + \alpha (x_s / K_s)^\beta), s \in 1, 2, 3 \quad (12-a)$$

$$c_4 = p_m + \alpha t_{o4} \quad (12-b)$$

$SW(\mathbf{p})$  : 社会的総余剰 [円/日]

$p_m$  : マストラの料金 [円/trip]

$p_a$  : 都市交通税 (自動車の料金) [円/trip]

$FC$  : マストラの建設費用 (償還分) [円/日]

$VC$  : マストラの運営費用 [円/日]

$G$  : 政府からの補助金 [円/日]

$C_k(\mathbf{p})$  : 経路  $k$  の費用 [円/trip]

$C_{ok}$  : マストラ整備前の経路  $k$  の費用 [円/trip]

$\theta$  : ロジットモデルの分散パラメータ

$q_{ij}$  : ODペア  $ij$  間の交通需要量 [trip/日]

$CS(\mathbf{p})$  : 消費者余剰 [円/日]

$PS(\mathbf{p})$  : 生産者余剰 [円/日]

$CS_{ij}$  : ODペア  $ij$  間の消費者余剰 [円/日]

$DIS$  : 道路混雑による外部不経済 [円/日]

$y$  : 利用者の平均所得 [円/日]

$MC(x_s)$  : リンク  $s$  を通過する際の限界費用 [円/trip]

$AC(x_s)$  : リンク  $s$  を通過する際の平均費用 [円/trip]

$\alpha, \beta$  : リンクパフォーマンス関数のパラメータ

$c_s$  : リンク  $s$  の旅行費用 [円/trip]

$x_s$  : リンク  $s$  の交通量 [trip/日]

$f_k$  : 経路  $k$  の交通量注 [trip/日]

$K_s$  : リンク  $s$  の交通容量 [trip/日]

$\omega$  : 時間価値 [円/時間]

$t_{os}$  : リンク  $s$  のゼロフロー所要時間 [時間]

交通計画者の目的は、(1)～(5)式に示されるように各種の交通計画に対する制約の中で社会的総余剰を最大化するマストラと自動車の料金 (以下では都市交通税と呼ぶ) を設定することにある。目的関数である社会総余剰は(6)式に示されるように消費者余剰と生産者余剰の和からなる。(2)式は交通企業に赤字が生じない範囲で料金を設定するための制約である。交通企業は料金収入と政府からの建設補助を受け、建設費用と運営費用を賄っている。(3)式はパレート改善制約であり、LRT整備前の各経路の利用者の交通費用を整備後に超えない範囲で費用負担が実現されるための条件である。(4)式はネットワーク上の均衡条件式であり、ODペア

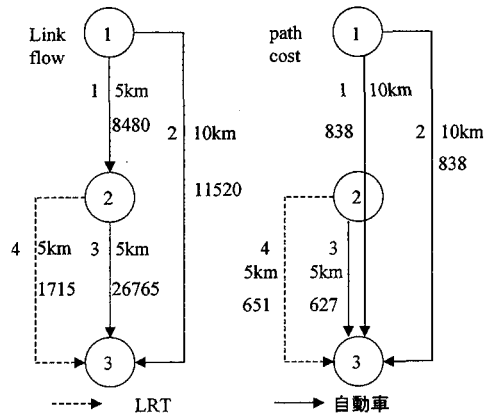


図1 対象ネットワークと LRT 整備前の均衡状態

1 3 間は利用者均衡状態、ODペア 2 3 間はロジットモデルによる確立的均衡状態が成立するものとする。(5) 式は、フロー保存条件式である。(7) 式は、各利用者の消費者余剰を表している。(7-d) 式は、利用者によって負担されない道路混雑による外部不経済を表しており、各リンクごとに計算され、各 OD ペア間の利用者ごとには定義していない。

(8) 式は交通企業の生産者余剰を示す。(9) 式は政府の補助金の財源が都市交通税であり、自動車利用者からの都市交通税収が全て LRT の整備に対する補助として交通企業に与えられることを示す。(10)~(12) 式はネットワーク上で定義される経路・リンク費用および交通量とそれらの相互関係を示している。簡便化のため(12-b) 式に示すようにマストラには混雑による所要時間の増加がないものと仮定した。

### 3. 例題計算

#### (1) 例題設定

ゼロフロー時のリンク所要時間 [分] とリンク容量 [trip/日] については(13) (14) 式のように設定した。また各種のパラメータについては(15) 式のように設定した。

$$\{t_{01}, t_{02}, t_{03}, t_{04}\} = \{3, 8, 3, 10\} \quad (13)$$

$$\{K_1, K_2, K_3\} = \{4000, 6000, 4000\} \quad (14)$$

$$\{\alpha, \beta, \omega, \theta\} = \{1, 2, 1800, 10\} \quad (15)$$

また、交通企業は建設費：FC = 60 × 5 [億円] を 20 年で償還するものとした。なお、簡単化のため利息は考慮しなかった。交通企業の運営費用につい

ては(16) 式に示す線形の費用関数を仮定した。

$$VC = 200 f_4 \quad (16)$$

図 1 に LRT 整備前にバスが運行していた均衡状態の費用と交通量を示す。料金設定は次善料金形成(企業に赤字が生じない状況での社会的総余剰の最大化) で設定されているものとし、自動車利用者に対しては都市交通税を課していない。バスの料金は 201 円に設定された。交通状況からは、リンク 3 の交通量が多く、混雑の影響により、OD ペア 1 3 間の旅行費用が、OD ペア 2 3 間の費用よりも移動距離に対して相対的に大きいことが分かる。

#### (2) 次善料金設定のケース

次に、LRT が整備された後の均衡状態を示す。このケースでは自動車利用者には都市交通税が課されており、政府の補助を通じて自動車利用者も LRT の整備費用の一部を負担している。料金設定は次善料金設定で実施されたものとする。すなわち、2. の定式化の中で、(3) 式を除いた問題を解いたケースである。次善料金は、LRT が 124 円、都市交通税が 117 円となった。このケースでは、図 2 に示すように LRT の導入による時間短縮効果と都市交通税の賦課により、自動車利用者の転換が生じ OD ペア 2 3 間の旅行費用が大きく減少した。ただし、都市交通税の賦課によって自動車利用者の金銭的な費用負担は増加し、特に OD ペア 1 3 間の利用者にとっては、旅行費用全体も増加した。表 1 に次善料金形成を行った場合の LRT の整備効果を便益帰着構成表としてまとめた。交通企業についてはゼロ利潤制約(2) 式によって準便益が発生していないことが確認できる。また LRT 整備によって削減される道路混雑緩和による外部不経済の削減便益は全体の約 18% となった。都市交通体系全体としては LRT の整備は 977 万円/日の社会的余剰の増加となった。ただし、OD ペア 1 3 間の交通利用者にとっては 3 列目の合計の変化が示すように負担の増加となっている。

#### (3) パレート改善制約を付加したケース

パレート改善制約を付加したケースでは、パレート改善制約によって OD ペア 1 3 間の交通費用が、都市交通税を含めて LRT 導入以前よりも増加しな

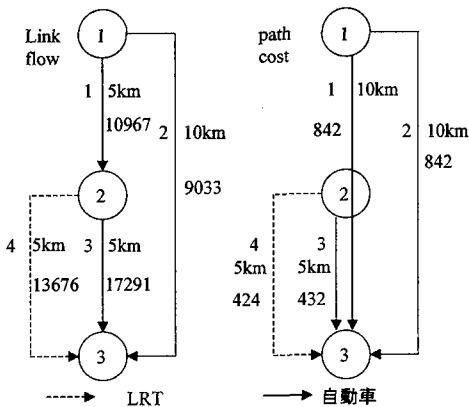


図 2 次善料金形成時の均衡状態

い範囲に設定されるように費用負担が調整される。このため図3に示すようにLRTへの転換は、次善料金設定をした場合よりも少なくなり、ODペア23間の交通利用者の負担は相対的に増加することになる。また、逆にいえば自動車利用者が多くなるため、道路混雑による外部不経済も大きくなる。これらの費用負担の調整は、表1と表2の比較によって説明できる。すなわち、右下の社会的総余剰の変化を比較すると、都市交通システム全体の効率性を若干犠牲にして、LRTの正の整備効果を整備前の費用負担を前提として利用者に配分したことが分かる。この方法によって、表2の最下行の各経済主体ごとの純便益の項目を全て正にする費用配分が実現しているのである。

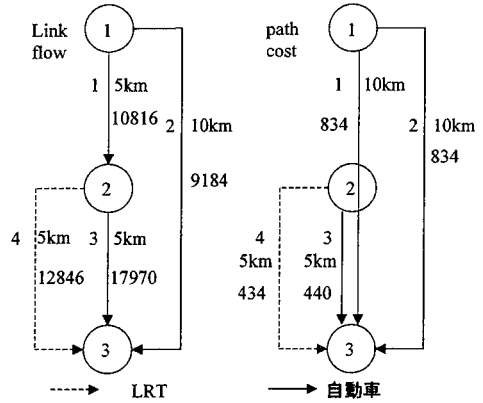


図3 パレート改善制約を付加した時の均衡状態

#### 4. おわりに

本研究では、主として自動車利用者への課金の実行可能性という観点から、軌道系輸送機関の整備以前と比較して全ての利用者の費用負担が改善される費用配分原理を次善価格形成理論を拡張することでモデル化した。なお、本研究で扱った枠組みは、あくまでも費用配分の調整方法であり、都市交通の状況によって、LRTの導入効果が負の場合や通常の次善料金形成によって、LRT整備後にパレート改善が達成されるケースが当然のように存在する。本研究の費用負担調整は軌道系輸送機関導入のための採算基準を満たすための財源確保を可能にする工夫であり、この方法によってより有利な条件で導入の可能性を検討することが可能となる。本研究は、中京大学経済研究所プロジェクトの一部であり、研究の遂行の一部に関しては文部省科学研究費奨励研究として助成を受けている。ここに謝意を示す。

#### 参考文献

- 1) 鈴木、官城：道路混雑現象を内生化したラムゼイ価格基準に基づく公共交通整備の費用負担分析、応用地域学研究, No. 3, pp.165-761, 1998.
- 2) Suzuki, T. Miyagi, T. : The second best pricing for urban transit with environmental constraint, Urban transport and environment, V, pp.13-22, 1999.
- 3) 鈴木：自動車交通との競合を考慮した都市鉄道の次善料金形成に関する研究, 岐阜大学工学部博士論文, 2000.

表1 次善料金形成時のLRTの整備効果

	交通企業	交通利用者		政府	計
		OD13 自動車	OD23 公共交通 自動車		
建設費用	-411				-411
可変費用	-478				-478
料金収入	271				271
都市交通税		-470	-148	618	0
利用者便益		451	972		1423
外部不経済			178		172
補助	618			-618	0
計	0	-19	824	172	977

表2 パレート改善制約を付加した時のLRTの整備効果

	交通企業	交通利用者		政府	計
		OD13 自動車	OD23 公共交通 自動車		
建設費用	-411				-411
可変費用	-445				-445
料金収入	275				275
都市交通税		-428	-153	581	0
利用者便益		443	942		1385
外部不経済			164		164
補助	581			-581	0
計	0	15	789	164	967