

軌道系路面公共交通システム代替案の事業性簡易評価手法に関する研究*

Simple Model for Viability Assessment of Alternative Guided Surface Transit Systems*

遠藤玲**・竹田敏昭***・古賀一人****・高山純*****

By Akira ENDO**・Toshiaki TAKEDA***・Kazuhiro KOGA****・Jun-ichi TAKAYAMA*****

1. はじめに

近年、低コストの軌道系公共交通システムとして路面を走行するLRT(Light Rail Transit)への期待が高まっている。LRTは路線のわかりやすさなどのサービス情報の周知しやすさや存在感においてバスより際立っており、低床式車両採用、走行時の乗り心地・安定性・静穏性、高い正着性により高齢社会にふさわしい移動手段でもある。また、中心市街地の活性化や環境問題への対応の面でも大きな役割が期待されている。

一方、近年ではLRTにも様々な工夫を加えた新しいシステムが開発され、また、バスをベースとしたよりコストの安いシステムも開発されてきており、それらを含めた軌道系路面公共交通システムの実用化が期待されるところである。

しかしながら、わが国では、これまで、本格的な新設LRTの事例はなく、また、新しいシステムもイベント会場における期間を限った試験的な導入にとどまっている。その原因としては導入空間の制約、バス路線再編の困難性、事業採算の不透明性、新システムにおける評価の未確立等があげられる。

このうち、事業採算性については、より広い社会的経済的な効果・便益も十分考慮して検討を行い、いわゆる「都市の装置」として必要と判断されれば公共的な支援を行い導入することが考えられるが、その場合でも、公共的な支援がどの程度の規模になるのか、どの交通機関

*キーワードズ：公共交通計画、新交通システム計画、LRT

** 正員、国土交通省政策統括官付政策調整官

(〒100-8918 東京都千代田区霞ヶ関2-1-3, TEL:03-5253-8793, E-mail:endo-a2fn@mlit.go.jp)

*** 工修、パシフィックコンサルタンツ株式会社

(〒163-0730 東京都新宿区西新宿2-7-1, TEL:03-3344-1560, E-mail:Toshiaki.Takeda@tk.pacific.co.jp)

**** 株式会社メッツ研究所

(〒164-0003 東京都中野区東中野3-9-21, TEL:03-3371-6241, E-mail:koga@mets-ri.co.jp)

*****正員、工博、金沢大学大学院自然科学研究科

(〒920-1192 金沢市角間町, TEL076-234-4613, FAX076-234-4632)

であればどの程度の支援が必要なのかといった情報が政策的判断にとって重要となる。

従来の事業性の検討においては、特定の軌道系路面公共交通システムを選択肢として選定した上で候補路線、建設・運行コスト、運賃、需要、財務諸表等の検討を行い、長期間にわたる事業性について個別の計画に基づくある程度詳細な検討を行っているものが多い。しかしながら、それには多大な費用がかかることから、多くの都市、特に中規模以下の地方都市においては、軌道系路面公共交通システムが選択肢になり得るのかどうかについてさえ情報が整理されていないのが実情である。そこで、検討対象とする代替案を決定する段階でLRT等の各種システムの事業性を比較検討することができる簡易な(手軽に適用することができる)手法が求められていると言える。一方、その手法により、どのような条件の都市であれば事業性が高いかわかれば、そのような条件に適合する都市で更に詳細な検討が進み、軌道系路面公共交通システムの導入に弾みがつくことも期待される。

そのような研究としては、乗車人員とサービス水準を先決した仮定のいくつかのケースについて採算性を検討したものや¹⁾²⁾、サービス水準の変化によるコストの変化に着目した理論的研究の報告事例が少数存在するが³⁾、サービス水準や都市構造が需要に及ぼす影響やコストと需要との相互作用を明示的かつ総合的に示した検討事例はほとんど見られない。また、単純なモデル路線を設定して運行採算性からLRTの沿線人口を論じているものもあるが⁴⁾、需要想定が単純であり軌道の建設コストを考慮していないなど現実を十分に反映したものとはなっていない。

本研究では、軌道系路面公共交通システムの事業性に影響する重要な要因を漏れなく把握するとともに事業性決定のメカニズムをモデル化して簡易評価手法を提案することを目的とする。まず、軌道系路面公共交通システムのコストを総運行本数やピーク時間帯における必要車両編成数等を介して需要と表定速度の関数として捉えモデル化し、それを単純化した帯状のモデル地域に適用することにより、事業性評価の簡易的なモデルを構築する。次に、LRTを例にとって既往の交通調査で使われている交通手段選択モデルを適用して運行頻度等のサービス

水準と都市の人口密度の関数として需要を試算した時の事業性について検討する。更に、この事業性簡易評価手法の応用例として軌道系路面公共交通システム代替案のコスト構造の違いを分析し、最後にこの簡易評価手法の適用性について検討する。

2. 事業性分析の枠組み

(1) 交通回廊地域モデル

本研究では、軌道系路面公共交通システム沿線地域を帯状の交通回廊地域としてモデル化し計算を行った(図-1)。軌道系路面公共交通システムの延長を6km(停留所間隔は1km)とし、その沿線両側2kmずつ、また、両端の駅から1kmの地域を含む、総面積32km²の地域を対象とし16ゾーンで構成した。ゾーンの大きさは本論文の後段でLRTの事業性を試算する際に使用した交通手段選択モデルが推定された熊本市圏の路面電車サービス地域におけるパーソントリップ調査「小ゾーン」の規模を参考とした。

軌道系路面公共交通システムと並行して幹線道路があると想定し、ゾーン重心から停留所及び幹線道路までの距離をアクセス、イグレスとも同じ距離(図-1の破線:500m)として所要時間を設定している。

路面電車が運行している東京以外の16都市のうち半数以上がDID人口密度60人/ha以上であることから、より市街化の程度が高いと考えられるLRT沿線地域平均人口密度を約70人/haとし、ドーナツ化現象を考慮して、都心で人口密度が低く都心隣接地で最も高くなる人口密度分布とした。総人口は21万6千人である。

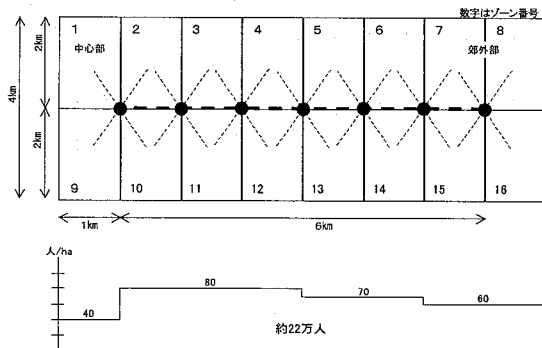


図-1 交通回廊地域モデル

(2) 事業性検討の流れ

事業性検討のフローを図-2に示す。軌道系路面公共交通事業のコストは、初期投資である軌道・車両基地等の建設費と車両費、及び経常的経費である運行経費・軌道維持管理費と一般管理費からなる。本研究では、計算

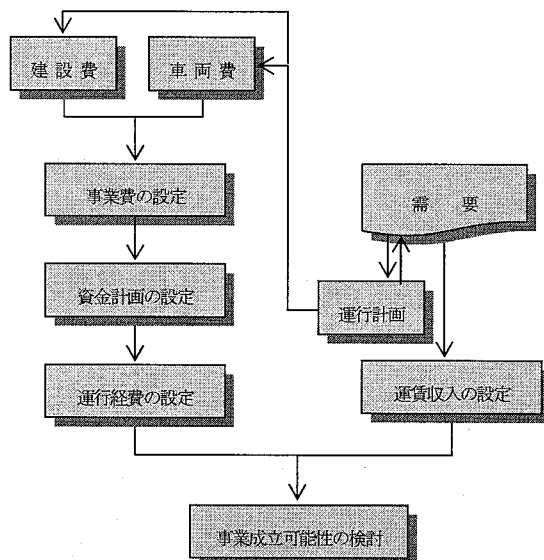


図-2 事業性検討フロー

の簡略化のため、軌道維持管理費と一般管理費は運行経費に含め、運行経費を鉄道統計の営業費相当として扱う。

人口密度の増加はピーク時の乗客数と運行頻度を増加させ、必要車両数を増加させる。必要車両数の増加は、車両基地建設費と車両費の増加をもたらす。また、全日の運行本数が増加することから、運行経費が増加する。

一方、ピーク時における表定速度の上昇は必要車両数を減少させ初期投資を低減させる。また、全日にわたる表定速度の向上は運転士の運行効率を向上させ、運行経費の削減につながる。

本研究における運賃や運行経費の条件設定は平成13年度鉄道統計年報⁵⁾記載の軌道路線のうち、営業費が過小に計上されていると考えられる東京都三ノ輪早稲田軌道線と他の軌道線に比べ乗車密度に大きな差がある東急世田谷軌道線を除く16路線^[注1]の分析に基づき平均値や回帰分析結果により設定した。

(a) 収入の算定

対象16路線の定期外旅客の乗車1kmあたり平均運賃収入額は約50円である。後述するLRT需要算定による駅間ODの計算結果からLRTの平均乗車距離は約3kmであることから、平均乗車距離あたりの平均運賃収入額約150円を通常使われる実収率0.8で割戻し端数を切り捨てることにより運賃を180円均一に設定した。1日当たり乗客数を年換算して運賃と実収率を適用することにより、年間の旅客収入額を算定した。平休日の別は考えておらず、平日1日の乗客数を365倍したものを年間乗客数とした。営業雑収は路線ごとにばらつきがあり、平均的には旅客収入の1割程度であるが、安全側の想定として旅客収入の5%を見込んだ。

(b) コストの算定

① 軌道等建設費

軌道等建設費は道路事業者が行う走行路（路面・路盤・架線柱、電停等）の整備費と交通事業者が行うレール敷設、架線、変電設備、通信設備、車両基地等の費用に分けられる。採算性の検討には交通事業者の費用のみを算入している。算定根拠としては最近の事業構想における試算結果を使用した。車両基地建設費は必要車両数によって決まるため、人口密度と表定速度の変化により需要が増減すると必要車両数も変化し、車両基地建設費も変化する。

② 必要車両数

運行路線の延長が短く、折り返してきた車両がピーク時間帯で利用できることから、必要車両数は、ピーク時間帯の往復運行の所要時間（端末待ち時間を含む）における最混雑区間乗客数（片道）を1編成の最大許容乗客数で割った数字を切り上げ、予備車両1編成を加えた数とした。最大許容乗客数としては需要の日変動を考慮して余裕を持たせ、一編成の定員の数値を使用した。

③ 運行経費

運行経費については車両走行キロあたりの単価を設定して推計した。

3. LRT事業性検討の条件設定

(1) コストの設定

① 軌道等建設費

LRT事業者負担分の軌道等建設費の単位コストは既往調査報告書⁶⁾の「LRT整備関連概算事業費詳細表」を加工して単位コストを作成し以下の通り設定した。本「詳細表」はそれ以前における一連の調査において概略設計に基づき積み上げて算定された事業費をとりまとめて表に整理したものである。

- ・レール、分岐器：0.8億円/km
- ・電力・通信線路：2億円/km
- ・変電所：5億円/箇所（2箇所設置）
- ・車両基地：0.8億円/車両1編成当り

このうち、車両基地については、都市規模を考慮し2連接程度の車両を使用することとしたことから、多連接型の車両を想定している上記「詳細表」の車両基地単価の1/2の単価を使用した。

② 車両費

超低床式LRT車両は1編成の定員が車両により異なり、その価格にも幅がある。本研究では一編成の定員は65人とするが、近年導入された新潟鉄工とアルナ工機製（社名はいずれも導入当時）の定員65人程度の車両は2.2億～2.3億とされていることから、国と地方公共団体が合わせて1/2の補助をおこなうこととしL

表-1 車両走行キロあたり営業費の平均給与との

回帰分析結果

回帰係数	t 値	定数項	相関係数	決定係数
0.001998	5.80315	-165.65	0.840449	0.706355

RT事業者が負担する車両費単価は1.1億円/編成とする。なお、減価償却費は事業者の保有資産がベースとなるので、補助金を含む総資産額（2.2億円/編成）にかかるものとする。

③ 運行経費

分析対象16路線の車両走行キロあたり営業費（諸税・減価償却前）を1人1ヶ月平均給与で説明する回帰分析を行った結果、表-1の結果が得られた。民営軌道並みの営業費で運行することとし、分析対象民営軌道の平均1人1ヶ月給与430,000円を回帰式に代入し、12km/hで運行する場合の運行経費単価を700円/車両・キロと設定した。24km/hのケースでは、1往復に要する時間の短縮（約70分が約40分に短縮）による運行効率向上分だけ運転費が低減すると想定し、営業費に占める運転費の比率が16路線平均で約1/2であることから、運行経費単価を（350×4/7+350）=550円/車両・キロとした。

④ 減価償却費・借入金返済等

初期投資である軌道等を30年、車両を20年で償却（定額法、残存価値なし）するものとした。軌道等については、LRTの事業性を検討した既往調査報告書で38年とするものもあるが、LRT事業者が保有する部分は変電所など耐用年数の短い施設の比重が大きいため30年とした。また、車両については、使用実態を考慮し、法定耐用年数の13年より長い20年とした。

借入金については、類似調査の事例や検討時の市場の借入れ条件から事業者負担分事業費の80%を年利3%で借入れ、20年後に元本を一括返済することとし、単年度のコストとしては利子のみを計上した。

(2) 需要推計モデル

本研究では、既往調査で推定された路面電車を含む交通需要推計モデルから説明力の高いモデルで本研究の目的に適合したものを選定し、そのモデルを使用して分析を行った。

選定されたモデルは、熊本都市圏のパーソントリップ調査⁷⁾により推定されたモデルであり、その構造は以下の通り3段階のステップで、機関分担を推定している（図-3）。

最終ステップでの機関分担には、都市交通の中心手段について、多くの説明変数を取り込み、その効果が直接的に反映できるマルチタイプの集計ロジットモデルが採用されている（表-2）。

説明変数のうち、運行本数は、通勤目的の手段選択についてはピーク1時間の運行本数を、私用目的については全日の運行本数を使用している。

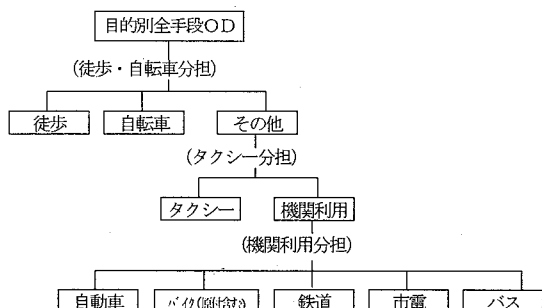


図-3 機関分担の構造

表-2 モデル式のパラメータ (路面電車)

		乗換・OD (回)	t値	運行本数 (本)	t値	所要時間 (分)	t値	運賃/ 距離 (円/km)	t値	65才以上 人口比率 (%)	t値
通勤	市電	-0.405	2.67	0.024	2.67	-0.031	5.74	-0.0002	5.40	0.062	2.39
私用Ⅰ	市電	-0.823	3.03	0.005	2.21	-0.008	1.01	-0.0001	2.00	0.033	0.74
私用Ⅱ	市電	-0.490	2.52	0.004	2.03	-0.009	1.40	-0.0001	3.37	0.039	1.24

注) 私用Ⅰは、買物、社交・娯楽等
私用Ⅱは、その他私用

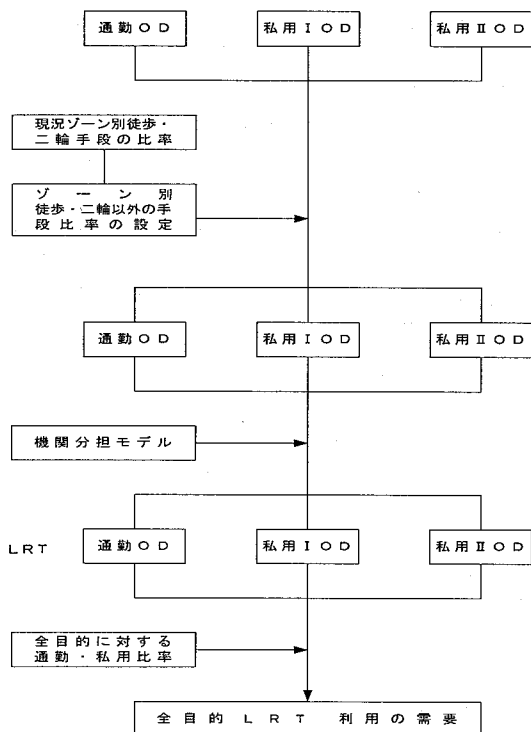


図-4 LRT需要推計フロー

通勤と私用以外の通学、帰宅等の目的を含むLRTの全利用者については、熊本都市圏の「全目的路面電車利用者」に対する「通勤と私用目的路面電車利用者」の比率を用いて換算し推計している。フローチャートを図-4に示す。なお、単純化のため平日、休日の区別は考えておらず、すべて平日として年間の乗客数を算定している。

ゾーンごとの目的別発生集中交通量は熊本都市圏パーソンとリップ調査の発生集中モデル (表-3) により通勤、私用Ⅰ、私用Ⅱの3目的ごとに算定した。なお、総従業人口と第3次産業従業人口はパーソンリップ調査の「中ゾーン」ごとの現況データを参考にして算定した。都心ゾーンについては総従業人口は夜間人口の5倍、都心周辺ゾーンと郊外ゾーンではそれぞれ、1倍、0.5倍とした。従業人口のうち、第3次産業従業人口の比率は都心ゾーン、都心周辺ゾーン、郊外ゾーンでそれぞれ95%、80%、90%とした。

ゾーン間の目的別OD交通量は上記中ゾーン間の目的別ODパターンを初期値とし、ゾーンごとの発生集中交通量に合わせてフレータ法で調整することにより設定した。

表-3 発生集中モデル

		夜間人口 (人)	総従業人口 (人)	第3次産業 従業人口 (人)	定数項 (人)	重相関係数
通勤	発生	0.3615	—	—	-129	0.987
	集中	—	0.6454	—	-7	0.962
私用Ⅰ	発生	0.1970	—	0.2189	-136	0.956
	集中	—	—	0.5282	303	0.862
私用Ⅱ	発生	0.2256	—	—	12	0.913
	集中	0.1608	—	0.2039	-52	0.886

4. LRT需要の推計

(1) 検討ケースの設定

人口密度については、前述の交通回廊地域モデルの人口密度を標準として、+10%、-10%、-20%、-30%を加え全5ケース (標準ケースを含む)、LRTの表定速度については、熊本都市圏路面電車のピーク時間帯表定速度である12km/hと専用空間確保等によりその改善を想定した24km/hの2ケースについて検討した (検討ケースは全部で10ケース)。なお、ケース設定において、異なった人口密度を設定したのは、都市圏人口規模の違いなどにより土地利用 (人口密度) が異なる場合が想定されるためである。各ケースでの交通量の算定にあたっては、発生集中量は標準ケースをベースとして人口密度に比例して変化することとし、OD交通量の算定においては標

準ケースのODパターンと変わらないものと仮定した。

(2) サービス水準の設定

熊本都市圏の現況データを参考として、LRT、バス、自動車、バイクのサービス水準を表-4のように設定した。なお、手段選択モデルの主体属性変数データについても熊本都市圏の現況データを参考に設定した。

表-4 サービス水準

サービス水準	LRT	運行本数をピーク時間帯最混雑区間の乗客数に応じて設定（オフピーク時は最低4本/時を確保） 速度：12 km/h 又は 24 km/h、運賃：180 円均一。
	バス	運行本数を 96 本/日（ピーク時は 12 本）、 速度を 15 km/h、運賃を 220 円均一。
	自動車	速度を 20 km/h、免許保有率は 60%
	バイク	速度を 15 km/h。

LRTのピーク時間帯運行本数はピーク時間帯の最混雑区間乗客数（片道）に応じて決定することとし、1編成の定員を65人と計算し、定員以下の乗客数での運行を基本として必要運行本数を設定した。また、最混雑区間乗客数については、通勤者の半数がピーク1時間に集中すると仮定し、通勤者の電停間ODから通勤者の最混雑区間乗客数を算定し、それに通勤者以外の乗客（通勤者の半数と仮定）を加えて算定した。

(3) 各ケースの需要推計

検討した10ケースについて推計した需要は表-5の通りである。なお、標準の人口密度で表定速度12km/hのケースについては、熊本都市圏の状況と同様であり、

表-5 LRT需要推計結果（単位：人）

		人口密度				
		+10%	標準	-10%	-20%	-30%
表定速度 12km	ピーク時最混雑区間乗客数（片道）	623	555	491	429	369
	ピーク時運行本数（片道）	10	9	8	7	6
	全日運行本数（片道）	100	96	92	88	84
	乗客数（一日）	9800	8800	7800	6900	5900
表定速度 24km	ピーク時最混雑区間乗客数（片道）	815	731	636	557	478
	ピーク時運行本数（片道）	13	12	10	9	8
	全日運行本数（片道）	112	108	100	96	92
	乗客数（一日）	12000	10700	9300	8200	7100

表-6 LRT事業採算性検討結果

単位（億円）

表定速度	人口密度	年間収入	年間支出				年間収支
			減価償却費	借入金利息	金運賃費	支出計	
12 km/h	+10%	5.41	2.53	1.19	3.07	6.79	-1.38
	標準	4.86	2.40	1.14	2.94	6.48	-1.63
	-10%	4.30	2.26	1.10	2.82	6.18	-1.88
	-20%	3.81	2.12	1.05	2.70	5.88	-2.07
	-30%	3.26	1.99	1.01	2.58	5.57	-2.31
24 km/h	+10%	6.62	2.26	1.10	2.70	6.06	0.57
	標準	5.91	2.12	1.05	2.60	5.78	0.13
	-10%	5.13	1.99	1.01	2.41	5.40	-0.27
	-20%	4.53	1.85	0.96	2.31	5.13	-0.60
	-30%	3.92	1.71	0.92	2.22	4.85	-0.93

熊本都市圏の路面電車需要との比較によりモデルの現況再現性の検証を行い、良好な結果を得た。

表-5より以下の点が明らかとなった。

- ・人口密度が低下すると運行本数も減少することから、LRTの分担率が下がり、人口密度低下割合以上の需要減少が見られる。
- ・表定速度が上昇すると、機関分担が変化し、LRTの需要が増え、ピーク時運行頻度が増えることが更に機関分担に影響し、需要を増加させる。

(4) 採算性の検討

その結果、単年度の損益は表-6の通りとなった。これによると、表定速度を24 km/hに上げた場合で人口密度が標準と10%増の場合に採算がとれることとなった。主要な結論は以下の通り。

- ・表定速度12km/hのケースでは、収入が運営経費をカバーできるが、全体では年間収支が大幅な赤字となる。
- ・表定速度24km/hのケースでは、年間収支は大幅に改善される。人口密度の高い都市では黒字に転じる。
- ・人口密度が低くなると、需要に応じて必要車両数も減るが、人口の低下割合よりも需要低下・収入低下が大きく、一方、固定費である初期投資は減らないため、採算性は大幅に悪化する。
- ・今回使用した需要推計モデルを前提とすると、70人/ha以上の人口密度の都市で専用軌道空間を確保し24 km/hで運行した場合、事業が成立する。

5. 簡易評価手法の応用例ー軌道系路面公共交通システムコスト構造の比較分析ー

新しいシステムを含め、軌道系路面公共交通システム代替案の事業性を評価する場合には、需要の増加に対し

て単位需要当りのコストがどのように変化するかを分析することが有効である。ここでは、そのような需要との関係で区分したコスト項目の構成をコスト構造と呼ぶ。

簡易評価手法の応用としてこのコスト構造の分析を試みる。代替案のLRTとのコスト比較の条件は、新しいシステムでコスト自体がまだ明確でないこともあり本手法の適用可能性を示すために必要となる範囲で想定した。

(1) コスト構造比較のためのコスト区分

需要が変化した場合のコスト変化はコスト項目により異なり、その点に着目して以下のように区分する。

(a) 固定コスト

需要の変化に関わりなく一定のコストであり、単位需要あたりのコストは需要に反比例して低下する。固定コストとしては、軌道建設費、電力・通信設備設置費が該当する。

(b) 変動コスト（総需要）（全体的な需要レベルに応じて増加するコスト）

運行コスト（運転士人件費、車両維持管理、動力費を含む）が該当し、オフピークの最低運行回数が決まっていることから最低運行コストが需要に関わりなく必要で、需要が一定のレベルを超えると増大する。最低運行回数以上の運行回数は需要に応じて決まるので、上下方向別のバランスが需要の変化によって変わらなければ、単位需要あたりのコストは運行条件が一定である限り需要が増えるにつれて一定値に漸近する。

(c) 変動コスト（ピーク需要）（ピーク時の需要に応じて決まるコスト）

車両費、車両基地建設費及び車両の定期保守点検関係のコストが該当する。必要車両数算定方法は「3. LRT事業性検討の条件設定」で記述したとおりである。

需要が増大してもピーク時最混雑区間乗客数の1日全乗客数に対する比率が変化しないとすると、ピーク需要は全需要に比例するから、需要が極端に低い場合を除き、単位需要あたりの車両数は需要に関わらず一定レベルとなる。ただし、車両数は整数値しかとらないため、車両関係の全体コストと単位需要当りコストは不連続となる。

(2) LRTのコスト構造

単位需要あたりのコスト構造が需要に応じてどのように変化するか、4章までに提示したモデルについて上記の3区分により開業初年度のコストを分析した。

路線長が6kmと短い均一制を適用している運賃との比較を考え、単位需要としては、乗車キロではなく1乗車を単位とした。LRT需要が変化するとき競合交通機関との機関分担が変化しているのでLRT乗客のODパターンは微妙に変化するが、今回の分析ではその変化は大きくないものと考え捨象した。

表-7 LRTのコスト区分別単位需要コストの試算

単位需要当りコスト(円)	運行 速度 12 km/h	需要(人/日)	5900	6900	7800	8800	9800
		固定コスト	41.5	35.5	31.4	27.8	25.0
		変動コスト(総需要)	119.6	107.1	99.1	91.6	85.7
		変動コスト(ピーク需要)	50.8	48.8	48.0	46.8	45.8
		支払い利息	46.8	41.8	38.6	35.6	33.3
		総コスト	258.7	233.3	217.1	201.9	189.8
	運行 速度 24 km/h	需要(人/日)	7100	8200	9300	10700	12000
		固定コスト	34.5	29.8	26.3	22.9	20.4
		変動コスト(総需要)	85.5	77.3	71.0	66.6	61.6
		変動コスト(ピーク需要)	31.6	32.0	32.2	31.5	31.2
		支払い利息	35.4	32.2	29.7	27.0	25.1
		総コスト	187.0	171.2	159.2	148.0	138.3

コスト算定の条件は「3. LRT事業性検討の条件設定」で記述したとおりである。また、コスト構造の分析で設定する需要は前章での10ケースの算定結果を使用した。

(3) 新システムのコスト構造

(a) 新システムの分類

現在開発中のシステム（一部、海外では既に実用化されている）をコスト構造への影響に着目して大別すると、以下のように分類できる。

i) 架線レス・トラム：車両に高性能のバッテリーを搭載し駅での停車時と車両基地で充電して運行するか、あるいは燃料電池を動力源とすることにより、現在と同等の運動性能と排気ガスなしのクリーンな運行を保ちながら架線、架線柱等を不要とするもの

ii) ゴムタイヤトラム：ゴムタイヤを使用することにより荷重を支えるレールを不要とし、レールは案内のみの役割とするもので、カーブでの必要強度低減等とあいまってレール敷設コストと軌道路盤コストを削減するもの

iii) 非接触案内技術：路面に設置した磁気的あるいは光学的なマーキングを読み取って車両を案内することにより、物理的な案内の機能を果たすレールを不要とし、その結果ゴムタイヤでフィーダー路線の一般道路と幹線を乗り換えなしで運行できるもの

iv) 列車（隊列）運行技術：物理的な車両連結により列車として、あるいは車車間通信により隊列を組んで幹線区間を運行し、2両目以降の運転士を不要とすることで単車での運行と比べ運転士の人件費削減が可能となるもの

(b) コスト構造の定性的比較

i) 架線レス・トラム

基本的に現在の路面電車車両の設計思想で動力系を変

更するものである。バッテリー搭載の場合、充電電圧は高圧ではないと考えられ、専用の変電施設は不要と考えられるので、架線・架線柱・変電施設のコストが削減され、そのかわり、車両基地と駅部での充電施設のコストが必要となる。車両コストはバッテリー等の機能が付加される分だけ高くなる。

LRTの場合架線・架線柱・変電施設のコストは初期投資のほぼ1/4であるが、車両コストは減価償却費全体の3割を占める。夏季の冷房対応の必要性なども考えると車両がかなり高価なものになることも考えられ、コスト削減が可能かどうかは不透明である。需要が少なく、電力施設の負担が重荷になる場合や景観的な配慮が必要な場合には検討に値すると考えられる。

ii) ゴムタイヤトラム

車両は連接バスがベースとなっているものとトラムがベースになっているものがある。技術的トラブルもあり、正確な評価は難しいが、車両コストは通常の車両と同じかむしろ安くなり、軌道コストが縮減されることから全体ではコスト縮減となると考えられる。

iii) 非接触案内技術

光学式、磁気式とも、車両はバスをベースにしている。海外で開発された光学式システムは連接バスをベースとしており、コスト的にも連接バスとそれほど変わらないものと考えられる。磁気式システムは国内で開発されたもので、上記iv)の機能を併せ持っていることから連接バスではないが車両は通常のバスよりも相当高いものと考えられる。しかしながら、許容最大乗客数一人当たりのバスとLRTのコストを比較すると大きな開きがあり、上記iv)の機能を含めてもLRTの車両と比較すると大差ないと考えられる。軌道部分のコストは、路面のペイント、または、磁気マーカーループアンテナだけであり、大幅なコスト削減になる。

iv) 列車(隊列)運行技術

列車(隊列)運行により、幹線部分の運行コストが削減できる。しかしながら、需要が同じであれば、列車(隊列)運行すると運行頻度が減少することになり現実的でない。この技術については、以下で需要喚起効果と併せて検討する。

(c) 需要喚起効果と併せたコスト構造の比較

ゴムタイヤで、かつ電力供給に依存しないで長距離走行できるシステムであればフィーダーと幹線を乗り継ぎなしで運行できる。サービスエリアを拡大して乗客を増やすことはできるが、フィーダーを運行した車両がそのまま幹線を運行することになり、幹線区間の運行本数が増え運行コストが増加する。逆に、需要に応じて幹線区間の運行本数を決めると、分岐するフィーダー区間の運行本数が最低運行本数を下回り、フィーダーとしての魅力が減少する。フィーダーの運行本数を確保しながら、

幹線の運行本数と運行コストを抑える技術が列車(隊列)運行である。以下では、フィーダーの運行本数を最低運行本数とした場合に列車(隊列)運行を導入した場合としない場合のコスト比較を行う。

i) 前提条件

6kmの幹線路線の中間点から1.5kmのフィーダー路線を直角に2方向に設定した。幹線路線の運行速度は24km/h、フィーダー路線の運行速度は12km/hとする。幹線もフィーダー経由の路線も車両のサイクル時間は同じとする。

ii) 需要の増加

LRTでの試算では幹線路線の郊外側3駅を利用する乗客数が全乗客数の約半分であることから、フィーダー路線の長さを考慮し、フィーダー路線1路線で幹線路線全乗客数の1/4を集客すると仮定し、2路線で乗客数が1/2増加すると仮定する。

iii) 必要車両数と車両関連コスト

ピーク時最混雑区間対応の必要車両数は需要に比例するので、1.5倍となる。一方、オフピークで4本/時の最低運行本数を確保するにはサイクルタイムが40分であるから、1路線当り3両、3路線で9両必要である。今回試算のケースではピーク対応必要車両数がオフピーク必要車両数以上であり、車両関連コストは単純に1.5倍となる。ただし、一般道路を走行でき、バス車庫のような形式で駐車できるため、車両基地コストは大幅に低減される。

iv) 運行本数と運行コスト

列車(隊列)運行をしない場合は12本/時以上の運行となり、12km/hの区間は700円/km、24km/hの区間は550円/kmとして算定した。列車(隊列)運行をする場合は幹線部分の運行頻度はフィーダー路線がない場合と変わらないものとし、フィーダー運行に伴う追加的運行コストとしてはフィーダー区間の運行コストのみを計上した。フィーダー区間の需要は最低運行頻度の輸送力を超えないものと想定した。

v) 軌道、電力・通信施設、車両単価

単純化のため、レールなどの軌道施設、架線・架線柱・変電施設、通信施設は必要ないものとし、車両単価はLRTと同じとした。

vi) 試算結果と評価

試算結果は表-8、表-9のとおりである。表-7と比較すると、軌道部分の投資が必要ない分、固定コストと支払利息が減少し、コストが低くなっている。大胆な仮定をしているため、割り引いて考える必要があるが、非接触案内方式でレールや電気設備が不要なゴムタイヤ式のシステムは検討に値すると考えられる。

しかしながら、フィーダーから幹線区間へ直通運行する場合、列車(隊列)運行をしない表-8のケースでは

乗客一人当たりの運行コスト（変動コスト（総需要））がフィーダー運行のないLRTのケースよりも高くなり非効率となっていることがわかる。

また、列車（隊列）運行により運行コストが削減できるが、列車（隊列）運行を可能にするための装置を搭載することによる車両価格上昇を本分析では捨象しており、それと運行コスト削減との関係を今後精査する必要がある。

表－8 フィーダー運行時のコスト構造

単位需要当りコスト(円):ゴムタイヤ方式、フィーダーと直通、幹線区間での列車(隊列)運行なし

需要(人/日)	10650	12300	13950	16050	18000
固定コスト	0	0	0	0	0
変動コスト(総需要)	124.2	110.7	100.5	92.3	84.5
変動コスト(ピーク需要)	27.5	27.8	28.0	27.4	27.1
支払い利息	5.6	5.6	5.7	5.5	5.5
単位需要当り総コスト	157.3	144.2	134.1	125.2	117.1

表－9 隊列運行によるコスト削減

単位需要当りコスト(円):ゴムタイヤ方式、フィーダーと直通、幹線区間での列車(隊列)運行あり

需要(人/日)	10650	12300	13950	16050	18000
固定コスト	0	0	0	0	0
変動コスト(総需要)	96.9	87.1	79.7	74.2	68.3
変動コスト(ピーク需要)	27.5	27.8	28.0	27.4	27.1
支払い利息	5.6	5.6	5.7	5.5	5.5
単位需要当り総コスト	130.0	120.5	113.3	107.1	101.0

6. おわりに

本研究では、軌道系路面公共交通システムの収入と費用の要因をモデル化し、単純化した交通回廊地域に適用することにより、事業性を比較的簡易に評価するモデルを提案し、既往調査の交通手段選択モデルを使用して試算した需要に基づき、人口密度と表定速度の変化がLRTの事業性に与える影響を検討した。また、このモデルにより、近年開発の進んでいる新しい軌道系路面公共交通システムのコスト構造の違いを分析した。その結果、今回使用した需要推計モデルを前提とすると70人/ha以上の人口密度の都市で専用走行空間確保により24km/hで運行した場合には事業が成立することを示すことができた。また、運行形態の違いも勘案していくつかの新しい公共交通システムのコスト構造の違い等がわかりやすく評価できた。

この簡易評価手法では軌道系路面公共交通システムの需要と収支に影響する重要な要因とその相互関係を把握することにより事業性決定のメカニズムを捉えることができ、事業性を概略評価できたことから、今後、更に改良を進めることにより、交通手段代替案を選定する予

備段階での事業性評価の検討ツールとして有望であると考えられる。

ただし、今回想定した交通回廊地域モデル（図－1）は、非常に単純化した仮想都市モデル（都心部と郊外部を結ぶ一路線のみ）であり、需要も1時点の需要であって時間の経過とともに変化するモデルとはなっていない。従って、（1）導入路線が複数の場合、（2）長期的に土地利用が変化し、交通需要が大きく変動するような場合、（3）人口構成比率が大きく変化し、交通機関分担モデルの構造等が変化するような場合には、それに対応したモデルの改良が必要となる。

しかしながら、現在わが国でLRTの導入を具体的に検討している地方都市においては、ほとんどの場合、一路線のみの導入計画であり、路線長や沿線人口密度をある程度調整すれば、「予備段階での検討に利用する」ことを前提に、本提案モデルの有用性は十分に高いものといえる。また、人口減少時代に入り、右肩上がりの需要増加が見込めないことから、一時点での需要による評価でも予備段階の評価としては有用であると考えられる。一方、熟度の高い開発計画が存在し、その実現に合わせてLRTを建設する場合には、開発による人口や従業員の増加を考慮したケース設定を行うことにより対応が可能である。しかしながら、事業性を評価する期間において需要やコストが大きく変動する場合に本モデルを適用する際には、複数時点において本モデルを適用して得られた結果を補間・総合する必要がある。

今後の課題としては、コスト構造の精緻化、異なった交通手段選択モデルを使用した場合との比較、軸状開発など異なった業務地分布の場合との比較があげられる。

さらに、本研究で提案したモデルが扱う事業性は社会的・経済的評価を含む軌道系路面公共交通システム導入の総合的検討プロセスの一環として位置付けられるものである。具体的な検討においては、対象都市圏の条件を設定して、考える限りの軌道系路面公共交通システムの事業性を本モデルにより検討し、それにより得られる結果と社会的な便益・費用を総合的に比較検討したうえで更に詳細な検討を行う代替案を決定していくこととなる。そのような総合的比較検討プロセスで求められる情報への対応のための本モデルの拡張なども課題として考えられる。

また、本研究で使用した需要推計モデルは都市圏交通計画で通常用いられている集計モデルであるが、LRTレベルの中規模の公共交通機関では電停からの距離などのミクロな要因が需要に大きく影響すると考えられ、よりきめ細かな需要推計が重要であることから、需要推計モデル自体の問題として、統合GISと統計データベースのリンクにより非集計モデルをより詳細かつ合理的に区分されたゾーン（例えば、競合交通機関との効用差が

一定の範囲であるゾーン)に適用することにより、より説明力のあるモデルが構築できると期待される。そのようなモデルの発展により、本研究で提示した簡易評価手法の一般性、信頼性の向上も可能となることから、そのような需要推計モデルの研究と簡易評価手法へのフィードバックも今後の大きな課題である。

[注1]

16路線は公営路線として、札幌市一条・山鼻軌道線、函館市軌道線、熊本市軌道線、鹿児島市軌道線、民営路線として名鉄軌道線(岐阜市内・美濃町計)、加越能鉄道、豊橋鉄道豊橋市内軌道線、富山地鉄富山市内軌道線、京阪大津軌道線、阪堺電気鉄道、京福嵐山軌道線、岡山電気軌道、広電広島市内軌道線、土佐電気鉄道、伊予鉄道松山市内軌道線、長崎電気軌道である。

参考文献

- 1) 日本開発銀行：LRTと路面電車の活性化について、1998.3
- 2) 日本政策投資銀行地域企画部：LRTと路面電車の現状について、地域企画ノート、2000.9
- 3) 石田東生ほか：交通機関の競合を考慮した公共交通の成立性に関する基礎的研究、土木計画学研究・講演集 No.21(1)、1998.11
- 4) 野村和宏、森本章倫、古池弘隆：運行採算性からみたLRT沿線人口の上限・下限、第25回交通工学研究

発表会論文報告集、2005年10月

- 5) 平成13年度鉄道統計年報、国土交通省鉄道局監修
- 6) 新しい交通システム検討調査報告書、金沢市、2002.3
- 7) 熊本市圏総合都市交通計画協議会：平成10年度熊本市圏総合都市交通体系調査報告書、1999.
- 8) 自動車に依存しない都市内交通のあり方に関する調査(まちづくりと路面電車を骨格とした交通システムのあり方)報告書、(財)国土技術研究センター、2001.3.
- 9) 遠藤玲、竹田敏昭、古賀一人：サービス水準変化がLRTの事業性に与える影響に関する研究、土木計画学研究・講演集 No.28、309、2003.
- 10) 遠藤玲、竹田敏昭、古賀一人：人口密度と表定速度がLRTの事業性に与える影響に関する研究、土木計画学研究・講演集 No.30、322、2004.
- 11) 遠藤玲：軌道系路面公共交通システムコスト構造の比較分析の試み、土木計画学研究・講演集 No.31、156、2005
- 12) 平成2年度LRT導入可能性に関する調査・研究(資料編)
- 13) 定期研究会講演“まちづくりとLRT” 都市地下空間活用研究 No.38 1998.4
- 14) 欧州都市交通調査団報告書 平成10年8月 (社)日本交通計画協会 Jane's URBAN TRANSPORT SYSTEMS 1998-99.
- 15) 運輸省・建設省：路面電車活用方策検討調査、1998.

軌道系路面公共交通システム代替案の事業性簡易評価手法に関する研究*

遠藤玲**・竹田敏昭***・古賀一人****・高山純一*****

近年、LRT等の低コストの軌道系路面公共交通システムへの期待が高まっているが、わが国では本格的な新設の事例はまだなく、事業性が不透明な点もその一因となっている。本研究では、まず、本格的な事業性検討を行う前の段階で軌道系路面公共交通システムを政策手段の選択肢として選定しやすくするため、軌道系路面公共交通システムの収入と費用に影響する要因を分析して単純な交通回廊地域に適用することにより、事業性を比較的簡易に評価できるモデルを提案した。そのモデルに基づき、既往調査の交通手段選択モデルを使用して需要を推定し、人口密度と表定速度がLRTの事業性に及ぼす影響を検討した。また、近年開発が進んでいる新たな軌道系路面公共交通システムのコスト構造の比較を行った。その結果、今後更に改良を加えることにより政策手段選択肢の検討ツールとして有望であると評価された。

Simple Model for Viability Assessment of Alternative Guided Surface Transit Systems*

By Akira ENDO**・Toshiaki TAKEDA***・Kazuhito KOGA****・Jun-ichi TAKAYAMA

Recently, low-cost guided surface transit systems (GSTSs) such as LRT (Light Rail Transit) have gained high expectations on their potentials. Yet in Japan, there has not been a new construction of GSTSs. One of the reasons is the obscurity in its viability. This paper proposes a simple model for assessing viability of GSTS projects to be used at the stage of screening alternatives for further studies. This model incorporates essential cost and revenue factors and interrelations among factors of GSTSs. A simple corridor model is adopted to represent urban-transit space. Case analysis is made to examine the effects of increased population density and LRT operating speed on LRT viability based on an existing modal choice model estimated for a regional core city metropolitan region. Comparative analyses of cost structures of GSTSs under development are also made. The results of these analyses indicate the prospects of this model, with further improvements, as an analytical tool at the stage of screening alternatives.