

## ライフサイクル環境負荷を考慮した LRT 整備の評価に関する研究\*

A Study on the Evaluation of LRT Construction Considering Life Cycle Environmental Load

山口 耕平\*\*, 青山 吉隆\*\*\*, 中川 大\*\*\*\*, 松中 亮治\*\*\*\*\*, 西尾 健司\*\*\*\*\*

By Kohei YAMAGUCHI, Yoshitaka AOYAMA, Dai NAKAGAWA, Ryoji MATSUNAKA, Kenji NISHIO

### 1. はじめに

近年、地球環境問題の深刻化に伴い、運輸部門においても、その環境負荷推計が行われている。それらは、各種統計に基づいて、公共交通機関は自動車交通に比べ環境に対する負荷が少ない交通機関であると結論付けている<sup>1),2)</sup>。しかし、それらはあくまで、現在運行している公共交通機関の環境負荷が自動車交通による環境負荷と比較して少ないことを明らかにしたに過ぎず、今後、新たに公共交通機関を導入する際には、その導入による環境負荷をも考慮に入れた分析が不可欠である。

そこで、本研究では、我が国でも環境に優しい交通機関として導入の機運が高まりつつある LRT (Light Rail Transit) を対象に、LRT 整備による環境への影響について、ライフサイクルにわたる評価を行い、環境改善を目的とした LRT 整備の妥当性を検証することを目的とする。

各種交通施設整備についてライフサイクルにわたる環境負荷を推計した研究は、既に多数の蓄積があるが、車両走行時の二酸化炭素 (以下、CO<sub>2</sub> と記す) 排出量の推計を行う際に、仮定を設けたり、対象を限定したりするなど、簡便に行っているものがほとんどである<sup>3),4),5)</sup>。一方、藤井ら<sup>6)</sup>は、マイクロシミュレーションを用いて CO<sub>2</sub> 排出量削減効果を詳細に推計しているが、ライフサイクルという概念は、導入されていない。

しかし、交通施設整備の CO<sub>2</sub> 排出量を正確に評価するためには、以下の点を全て考慮する必要がある。

- ・ライフサイクルにわたる評価

- ・道路混雑度の変化による影響
- ・交通施設整備による機関分担の変化による影響
- ・都市全体のネットワークを考慮した評価

そこで、本研究では、以上の点を全て考慮した環境評価を行うために、京都市を対象地域として、交通機関分担モデルを動的交通量配分モデル<sup>7),8)</sup>に組み込んだシステムを構築し、逐次得られる各リンクの走行台数と車種別の走行速度を用いて CO<sub>2</sub> 排出量を推計し、ライフサイクル環境負荷を評価する。

### 2. 本研究の概要

本研究では、図 1 に示す評価フローに従い、環境改善を目的とした LRT 整備の妥当性を検証する。

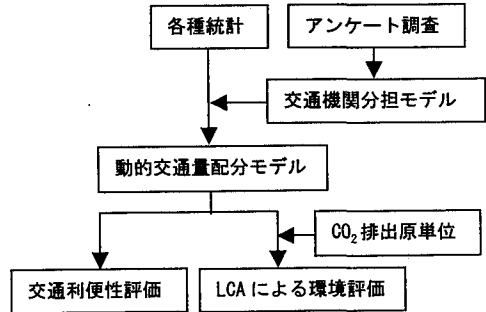


図 1 本研究の評価フロー

まず、都市交通における乗車時間、乗車外時間などの意識価値を計測するアンケートを実施し、その結果から LRT 整備後の転換需要を算定する交通機関分担モデルを構築する。そして、この交通機関分担モデルを動的交通量配分モデルに組み込み、LRT 整備が都市の交通利便性に及ぼす効果を明らかにするとともに、車両走行時の CO<sub>2</sub> 排出量を推計する。さらに、LRT の整備及び維持の過程で生じる環境負荷を推計するために、近年、環境評価手法として注目されている LCA (Life Cycle Assessment) を適用し、LRT 整備のライフサイクルにわたる評価を行う。

\*Key words : 公共交通計画, 地球環境問題, LCA  
 \*\*学生員, 京都大学大学院工学研究科  
 (京都市左京区吉田本町 TEL&FAX 075-753-5759)  
 \*\*\*フェロー, 工博, 京都大学大学院工学研究科  
 \*\*\*\*正会員, 工博, 京都大学大学院工学研究科  
 \*\*\*\*\*正会員, 工修, 京都大学大学院工学研究科  
 \*\*\*\*\*正会員, 工修, 名古屋大

### 3. 交通機関分担モデルの構築

LRT 整備後の転換需要を算定するには、交通機関分担モデルを構築する必要がある。そこで、本研究では、都市交通における乗車時間、乗車外時間などの意識価値に関して、コンジョイント分析を用いて計測すべく、平成 11 年 11 月に京都市全域を対象地域としてアンケート調査を行った。回収率は、19.4% (1,165/6,000) であった。

交通機関の種類(自動車と鉄道(公共交通機関))、乗車時間、乗車外時間、費用、駅の位置の 5 つを属性値とし、その中から、通勤・通学目的と買い物などの自由目的別に、望ましいプロファイルを順に 2 つ選択してもらうこととした。移動目的別に効用関数のパラメータを推定し、算出した時間価値を表 1 に示す。

表 1 アンケートで算出した時間価値

移動目的	時間の種類	時間価値
通勤・通学	乗車時間	6.39 円/分
	乗車外時間	17.11 円/分
自由	自動車乗車時間	3.49 円/分
	鉄道乗車時間	6.95 円/分
	乗車外時間	21.91 円/分

算出した時間価値は、やや低い値となった。これは、アンケートにおいて設定した 10 分程度の短縮時間では大きな価値を見出すことができないといったことが起因していると考えられる。

得られたパラメータ値と時間価値を用いると、自動車が選択される確率  $P_{ij}^C$  は、移動目的別に次式のように表される。ただし、自動車の効用  $V_{ij}^C$  を構成する変数としては、後述する動的交通量配分モデルでの計測が可能な自動車乗車時間と燃料費(燃料効率×走行距離)のみを用いた。

$$P_{ij}^C = \frac{1}{1 + \exp(-\Delta V_{ij})} \quad (式 1)$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{ij} &= (\text{自動車の効用} - \text{公共交通機関の効用}) \\ &= V_{ij}^C - V_{ij}^M \\ &= b(\lambda^{T,C} T_{ij}^C + F_{ij}) - b(\lambda^{T,M} T_{ij}^M + \lambda^W W_{ij} + P_{ij}) + R_{ij} \quad (式 2) \end{aligned}$$

ただし、

$T_{ij}^C, T_{ij}^M$  : 自動車、公共交通の乗車時間(分)

$F_{ij}$  : 自動車の燃料費(円)

$W_{ij}$  : 公共交通乗車外時間(待ち時間+乗り換え時間)(分)

$P_{ij}$  : 公共交通の運賃(円)

$R_{ij}$  : ゾーン  $ij$  間の特質を表す項(ゾーン単位: 区)

$\lambda^{T,C}, \lambda^{T,M}, \lambda^W$  : 自動車乗車時間, 公共交通乗車時間, 公共交通乗車外時間の時間価値(円/分)

$b$  : コンジョイント分析で推定した費用のパラメータ

### 4. 動的交通量配分モデルの概要

本研究では、京都市を対象として、前章で構築した交通機関分担モデルと動的交通量配分モデルを適用し、LRT 整備の評価を行った。図 2 に対象とした道路と鉄道のネットワークを示す。

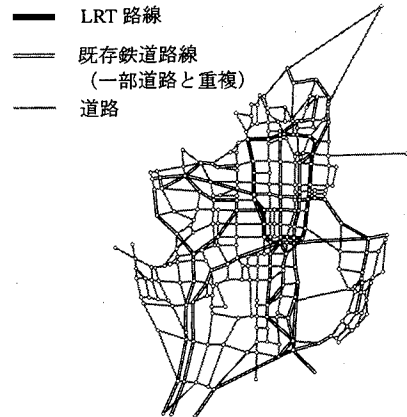


図 2 本研究で対象としたネットワーク

道路ネットワークは、288 ノードと 956 リンクによって構成され、公共交通は、鉄道 14 路線と平成 9 年 2 月現在の京都市交通局、京都バス、京阪バスのバス路線(90 路線)で構成される。評価対象となる LRT 路線は、バス路線 206 号系統を LRT 路線に置き換える都市部環状線を設定した。この路線にある幹線道路は、LRT 整備に伴い、全て 1 車線減少するものとした。なお、ゾーン区分については、平成 2 年の第 3 回京阪神都市圏パーソントリップ調査の小ゾーンを用いた。

動的交通量配分モデルでは、自動車は車両ユニット、公共交通利用者は乗客ユニットとして扱い、車両ユニットは、所要時間が最短になるように、乗客ユニットは、一般化費用が最小になるように経路を選択して行動する。なお、自動車とバスは、シミュレートによるリンク速度にしたがって走行させるが、バスについては最短経路探索の対象とせず、設定した路線を走行させる。また、鉄道は路線をダイヤにしたがって運行させる。

CO<sub>2</sub> 排出量の推計にあたっては、本モデルによって逐次得られる各リンクの走行台数、車種別の走行

速度を考慮した以下の燃料消費量推計式<sup>9)</sup>を用い、CO<sub>2</sub> 排出量係数<sup>10)</sup> (自動車; 0.656kgC/l, バス; 0.732kgC/l) を乗じることにより、リンク速度と車種の違いを考慮した CO<sub>2</sub> 排出量を推計した。

$$\text{自動車: } Y = \frac{356.9}{V} - 1.706V + 0.0128V^2 + 105.2 \quad (\text{式 3})$$

$$\text{バス: } Y = \frac{716.4}{V} - 13.00V + 0.1008V^2 + 611.7 \quad (\text{式 4})$$

ただし、

Y: 燃料消費量(cc/km)

V: 車両走行速度(km/h)

また、LRT・鉄道の走行時の CO<sub>2</sub> 排出量は、国立環境研究所で推計された  $E(I-(I-M)A)^{-1}$  型の CO<sub>2</sub> 排出原単位<sup>10)</sup> (事業用電力; 6,184kgC/百万円) と、鉄道統計年報<sup>11)</sup> のデータを用いて推計した燃費 (42.96 円/km) を用いて推計した。

## 5. LRT 整備の評価

本研究で LRT の整備効果を計測するためのケース設定を表 2 に示す。なお、地下鉄-バスを乗り継ぐ場合、現在実施されている 60 円の割引を設定した。

表 2 LRT 整備モデルケースの設定

LRT の運賃設定	速度	
	LRT の表定速度	
	20km/h	25km/h
バスと同様の運賃体系 1 回乗車する度に 220 円	ケース 1	ケース 2
地下鉄と同様の運賃体系 3km 以内 200 円 以後 4km 毎に 30 円加算	ケース 3	ケース 4

### (1) 交通利便性評価

本節では、LRT 整備が交通利便性に及ぼす効果の計測を行う。

時間価値の設定については、「鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル 99」<sup>12)</sup> では、原則的に節約された時間を所得機会に充当することを前提とし、単位時間あたりの所得から求める「所得接近法」(京都府; 44.45 円/分) を用いるとされているが、3. で算出した時間価値を用いる「選好接近法」を用いる場合には、両手法を用いることを推奨しているため、本ケーススタディにおいて両者の結果を比較することとした。ここで、各ケースの分析結果を表 3 に示す。なお、便益を現在価値に換算する際には、社会的割引率 4%、評価期間 40 年とした。

表 3 LRT 整備各ケースにおける分析結果

ケース	1	2	3	4	
LRT の運賃設定	バス 運賃	バス 運賃	地下鉄 運賃	地下鉄 運賃	
LRT の表定速度	20km/h	25km/h	20km/h	25km/h	
LRT 建設費 (億円)	325.50	325.50	325.50	325.50	
事業者の収入増加 (億円/年)	7.68	10.98	2.35	4.15	
事業者の支出減少 (億円/年)	-4.18	-2.65	-4.18	-2.65	
供給者便益 (億円/年)	3.50	8.33	-1.83	1.50	
選好接近法	消費者余剰 (億円/年)	-0.26	4.69	4.28	10.05
	便益合計(億円/年)	3.24	13.03	2.46	11.55
	便益現在価値 (億円)	66.68	268.20	50.63	237.80
	費用便益比 (B/C)	0.205	0.824	0.156	0.731
所得接近法	消費者余剰 (億円/年)	11.79	33.75	12.43	43.72
	便益合計(億円/年)	15.29	42.09	10.61	45.23
	便益現在価値 (億円)	314.77	866.34	218.32	930.94
	費用便益比 (B/C)	0.967	2.662	0.671	2.860
走行時 CO <sub>2</sub> 排出量削減割合 (%)	0.488	0.826	0.524	0.739	

LRT 運賃としてバスの運賃体系を設定したケース 1,2 は、消費者余剰の増分については小さいものの、事業者の収入増加が大きく、需要の価格弾力性があまり高くない本モデルにおいて、運賃水準の高さが事業者にも有利に働いているものと思われる。

時間価値の算出方法の違いによる影響については、全てのケースにおいて所要時間は短縮されているため、値が大きい所得接近法による時間価値を用いた方が、消費者余剰も大きく推計される結果となった。

表定速度が速く、時間短縮効果が所得接近法によって評価される限りにおいて、本ケーススタディで設定した LRT 整備は経済的妥当性を有する事業であると言える。

### (2) 環境評価

#### (a) LCA

ここでは、LRT の整備及び維持の過程で生じる環境負荷 (CO<sub>2</sub> 排出量) を LCA によって評価する。

本研究では、組み合わせ法を用いて、各交通機関のライフサイクルにわたる CO<sub>2</sub> 排出量を推計する。本研究で使用した CO<sub>2</sub> 排出原単位を表 4 に示す。CO<sub>2</sub> 排出原単位は国立環境研究所で推計された  $E(I-(I-M)A)^{-1}$  型の値<sup>10)</sup> を用いることとした。た

だし、これらの原単位のいくつかは、複数データの合成によって作成した。

表4 本研究で使用したCO<sub>2</sub>排出原単位

原単位利用項目		原単位	出典
車両製造※1	自動車	512.7kgC/百万円	10)
	バス	591.2kgC/百万円	10)
	LRT(鉄道)	1,068kgC/百万円	10)
修理	自動車	4.683gC/km	10),13)
	バス	15.071gC/km	10),13)
	LRT(鉄道)	1,155kgC/百万円	10)
道路関係 公共事業	自動車, バス共通	10.445gC/km	10),13),14)
道路輸送施設 提供	自動車	1.046gC/km	10),13),14)
	バス	2.394gC/km	10),13),14)
鉄道軌道建設		1,025kgC/百万円	10)
取替補修工事 建設補修	LRT(鉄道)	1,025kgC/百万円	10)
		736kgC/百万円	10)

※1 流通・販売含む

動的交通量配分モデルの各交通機関の全ユニットを対象にライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量を推計し、LRT建設時に排出されるCO<sub>2</sub>排出量が回収される、すなわちCO<sub>2</sub>排出量が償還されるまでの期間を推計した結果を表5に示す。

表5 CO<sub>2</sub>排出量償還年

			ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
LRT整備によるCO <sub>2</sub> 排出量(kgC)			33,354,871	33,354,871	33,354,871	33,354,871
削減量	製造(kgC/年)	自動車	153,958	181,064	196,431	237,977
		公共交通	-132,868	-172,007	-132,868	-172,007
	走行時(kgC/年)	自動車	1,022,102	1,730,278	1,098,111	1,547,872
		公共交通	-524,063	-496,615	-524,063	-496,615
CO <sub>2</sub> 排出量償還年(年)			46.05	20.66	40.43	23.35

最も早く償還されるのはケース2の場合であり、整備後約21年で償還される。CO<sub>2</sub>排出量だけを見ると、LRT建設時に排出されるCO<sub>2</sub>排出量は無視できないほど大きい、長期的に見ればLRT整備によって環境改善に向かうことがわかる。

### (b) 環境を考慮した費用便益分析

走行時間短縮、走行費用減少、環境改善などの多様な評価指標を同一単位で比較するためには、環境負荷を貨幣換算し、評価指標として取り入れる必要がある。道路投資の評価に関する指針(案)<sup>15)</sup>では2,300円/tCというCO<sub>2</sub>貨幣換算原単位が示されている。この値を用いて、表5で示したCO<sub>2</sub>排出量削減量を貨幣換算したところ、最もCO<sub>2</sub>排出量削減効果が大きいケース2においても、約398万円/年と表3

に示す消費者余剰の1%にも満たない値となった。

つまり、現在用いられているCO<sub>2</sub>の貨幣換算原単位では、LRT整備による環境への影響の貨幣換算値は無視できる程度の大きさにしか過ぎないと言える。

## 6. まとめ

本研究では、交通利便性向上の観点から、LRT整備が経済的妥当性を有する事業であることを示した。さらに、LCAの適用により、LRT建設時に排出されるCO<sub>2</sub>排出量が無視できないほど大きいことを示し、ライフサイクル評価の必要性を確認した。そして、長期的に見ればLRT整備によって環境改善に向かうことを示した。

### 【参考文献】

- 1) 運輸省：平成11年度版 運輸白書，1999。
- 2) 運輸省運輸政策局情報管理部編：運輸関係エネルギー要覧 平成11年版，大蔵省印刷局，2000。
- 3) 岩淵 省，四宮明宣，中嶋芳紀，松本 亨，井村秀文：地下鉄整備のライフサイクル環境負荷に関する研究，環境システム研究 Vol.25，pp.209-216，1997。
- 4) 加藤博和，大浦雅幸：新規鉄道整備によるCO<sub>2</sub>排出量変化のライフ・サイクル・アセスメント，土木計画学研究・講演集 No.22(2)，pp.805-808，1999。
- 5) 中村英樹，加藤博和，丸田浩史，二村 達：都市間高速道路の横断面構成の相違によるCO<sub>2</sub>排出量のライフサイクル評価，環境システム研究 Vol.26，pp.261-270，1998。
- 6) 藤井 聡，菊池 輝，北村隆一，山本俊行，藤井宏明，阿部昌幸：マイクロシミュレーションアプローチによるTDM・TCM政策の効果分析：京都市における交通政策による地球環境問題への対策の検討，土木計画学研究・講演集 No.21(2)，pp.301-304，1998。
- 7) 中川 大，西尾健司，松中亮治，伊藤 雅：共通運賃制度の導入による所要時間短縮効果に関する研究，土木計画学研究・論文集16，pp.667-674，1999。
- 8) 中川 大，伊藤 雅，小出泰弘：公共交通と自動車交通を統合した都市交通シミュレーションシステムの構築，土木情報システム論文集 Vol.7，pp.97-104，1998。
- 9) 建設省道路局，三菱総合研究所：道路整備による効果の推計に関する調査報告書，1992。
- 10) 近藤美則，森口祐一編著：産業連関表による二酸化炭素排出原単位，環境庁 国立環境研究所 地球環境研究センター，1997。
- 11) 運輸省鉄道局監修：平成2年度 鉄道統計年報，政府資料等普及調査会，1992。
- 12) 運輸省鉄道局監修：鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル99，(財)運輸政策研究機構，1999。
- 13) 運輸省運輸政策局情報管理部編：運輸経済統計要覧(平成4年版)，運輸経済研究センター，1992。
- 14) 総務庁：平成2年(1990年)産業連関表，全国統計協会連合会，1994。
- 15) 道路投資の評価に関する指針検討委員会：道路投資の評価に関する指針(案)，(財)日本総合研究所，1998。