

## 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、その環境負荷の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うことを目的とする。

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),6)</sup>。一方、藤井ら<sup>7)</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、ライフサイクルにわたる評価は行っていない。

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 CO<sub>2</sub> 排出量
- ・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
- ・交通ネットワーク全体を対象とすること

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、交通機関選択モデルを都市内交通シミュレーションモデル<sup>8),9)</sup>に組み込んだシステムを構築する。そして、そのシミュレー

ションモデルから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車両走行時の CO<sub>2</sub> 排出量を推計するとともに、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環境評価を行う。

#### 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、LRT 整備のライフサイクルにわたる環境評価を行う。

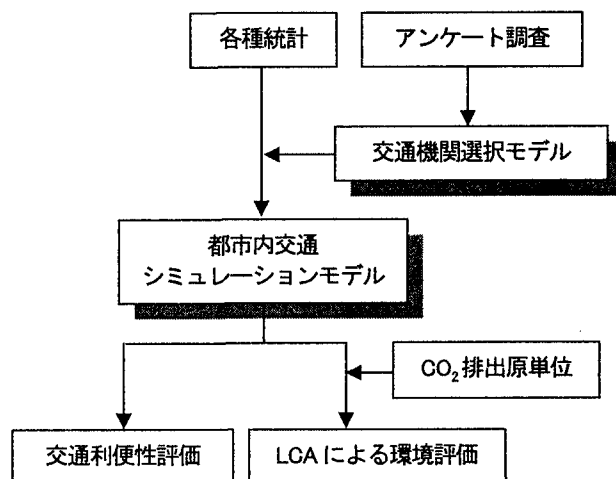


図1 本研究の評価フロー

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選択モデルを構築する。そして、この交通機関選択モデルを都市内交通シミュレーションモデルに組み込み、LRT 整備が都市の交通利便性に及ぼす影響の評価を行うとともに、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、LCA を適用し、LRT 整備のライフサイクルにわたる環境評価を行う。

本研究の構成は以下の通りである。3.では都市内交通シミュレーションモデルの概要を述べ、4.ではアンケート調査による交通機関選択モデルの構築を行う。そして、5.では交通機関選択モデルを都市内交通シミュレーションモデルに組み込んだシステムによって、LRT 整備の

\*Key words : 公共交通計画, 交通計画評価, 地球環境問題

\*\*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, 名古屋市

交通利便性と環境負荷を考慮した評価を行い、6.において結論を述べる。

3. 都市内交通シミュレーションモデルの概要

(1)モデルの特徴

本研究で用いる都市内シミュレーションモデルは、道路ネットワークシミュレーションに公共交通の経路とダイヤを組み込んで、自動車利用者と公共交通利用者の動きを逐次、再現するものである<sup>8)9)</sup>。その特徴を以下に示す。

- ① 自動車とバスの走行が相互に関係しており、バスの走行速度が道路混雑の影響を受けるというバスの特徴を表現可能である
- ② CO<sub>2</sub> 排出量の推計に不可欠な各リンクの車両走行速度と走行台数を逐次、算出できる
- ③ 目的別、乗車時間・乗車外時間（待ち時間・乗り換え時間）別の時間価値の違いを考慮した評価が可能である

(2)モデルの概要

都市内交通シミュレーションモデルの概要を図2に示す。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う。

車両ユニットは現在走行しているリンクの他に、速度、走行位置といった情報を持っており、以下の式によって時刻ごとにその情報が更新される。

$$v_i(t) = v_f \cdot e^{-1/2(k/k_0)^2}$$
 式 (1)

$$x_i(t + \Delta t) = x_i(t) + v_i(t) \cdot \Delta t$$
 式 (2)

ただし、

- $v_i(t)$  : 時刻  $t$  でのユニット  $i$  の速度
- $x_i(t)$  : 時刻  $t$  でのユニット  $i$  の走行位置
- $v_f$  : リンクの自由走行速度
- $k$  : リンクの交通密度
- $k_0$  : リンクの臨界密度
- $\Delta t$  : スキャニングインターバル (1分)

そして、道路ネットワーク上の車両ユニットは、5 分ごとに更新される最短所要時間経路を選択して走行する。  
一方、乗客ユニットは、式 (3) で定義する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。

$$GC = \lambda_T T + \lambda_W W + P$$
 式 (3)

ただし、

- $GC$  : 乗客の一般化費用 (円)
- $\lambda_T$  : 乗車時間の時間価値 (円/分)
- $T$  : 乗車時間 (分)
- $\lambda_W$  : 乗車外時間の時間価値 (円/分)
- $W$  : 乗車外時間(待ち時間+乗り換え時間) (分)

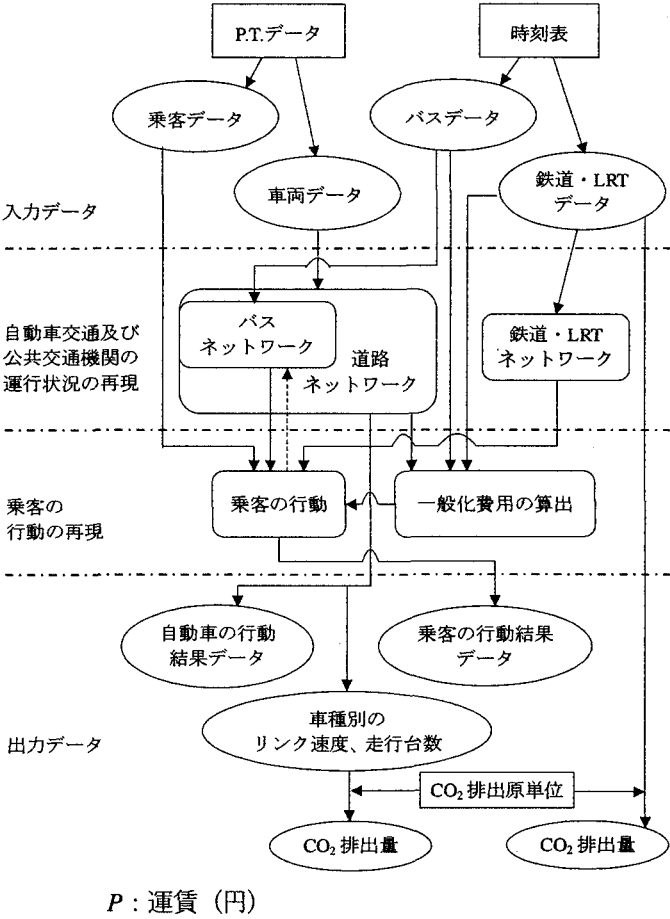


図2 都市内交通シミュレーションモデルの概要

なお、ここで用いる時間価値は、次章で構築する交通機関選択モデルのパラメータから算出する。

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、バスはノードをバス停として、乗客の乗降を行うが、このとき、バスの停車時間を乗降人数に応じて変化させることとし、次式<sup>10)</sup>で求められる乗車に要する時間と降車に要する時間のうち、大きい方をバスの停車時間として計算する。

乗車に要する時間(秒) = 1.86 × 乗車人数(人) + 4.96  
降車に要する時間(秒) = 2.06 × 降車人数(人) + 3.07

これに対し、鉄道及びLRTは、路線をダイヤにしたがって運行される鉄道ユニットとして表現する。ただし、ノードにおいて、乗客の乗降を行うことはバスユニットと同様である。

(3)CO<sub>2</sub>排出量の推計方法

車両走行時の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>11)</sup>を用い、燃料の流通・販売によるCO<sub>2</sub>排出量を考慮したCO<sub>2</sub>排出量係数(自動車; 0.656kgC/l, バス; 0.732kgC/l)<sup>12)</sup>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。

自動車：

$$Y = \frac{356.9}{V} - 1.706V + 0.0128V^2 + 105.2 \quad \text{式 (4)}$$

バス：

$$Y = \frac{716.4}{V} - 13.00V + 0.1008V^2 + 611.7 \quad \text{式 (5)}$$

ただし、

$Y$ ：燃料消費量 (cc/km)

$V$ ：車両走行速度 (km/h)

また、鉄道及び LRT 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>12)</sup> (事業用電力；6,184kgC/百万円) と、鉄道統計年報<sup>13)</sup> のデータから推計した燃費 (42.96 円/km) を用いて推計した。

4. 交通機関選択モデルの構築

LRT 整備後の転換需要を算定するには、交通機関選択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ついて、プロファイルの作成において様々な属性とその値の組合せを考慮できるコンジョイント分析を用いて計測すべく、京都市全域を対象地域としてアンケート調査を行った。その概要を表 1 に、作成したプロファイル例を表 2 に示す。

表 1 アンケート調査の概要

|        |                                |
|--------|--------------------------------|
| 実施期間   | 平成 11 年 11 月 12 日～11 月 30 日    |
| 調査対象区域 | 京都市全域                          |
| 調査対象   | 平成 11 年 10 月 1 日現在、京都市内に居住する世帯 |
| 配布方法   | 京都市内の各学区の世帯数比で配分し、投函によるランダム配布  |
| 回収方法   | 郵送回収                           |
| 回収率    | 19.4% (1,165/6,000)            |
| 抽出率    | 0.080% (1,165/1,459,715 人)     |

交通機関の種類は、プロファイル①と②は自動車、プロファイル③と④は鉄道（公共交通機関）である。交通機関の種類、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、時間制約の強い通勤・通学目的と比較的時間制約の弱い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。なお、駅の位置は乗車駅を想定している。効用の確定項  $V$  を式 (6) のように仮定し、移動目的別に効用関数のパラメータを最尤推定法によって推定した結果を表 3 に示す。アンケートではランキング型デー

タを採用しているが、このデータを選択型で分析することも可能であるため、ここでは推定結果の良い分析法を採用している。なお、変数については、アンケートの設問との整合や符号条件を考慮して設定した。

$$V = \sum_{i=1}^{k-1} a_i X_i + bM \quad \text{式 (6)}$$

ただし、

$X_i$ ：貨幣単位で表されていない属性  $i$

$M$ ：貨幣単位で表されている属性（ここでは費用）

$a_i, b$ ：パラメータ

また、推定したパラメータから算出した時間価値を表 4 に示す。

表 2 コンジョイント分析のプロファイル例

| 経路 No. | 交通機関 | 乗車時間 | 乗車外時間                        | 費用             | 駅の位置               |
|--------|------|------|------------------------------|----------------|--------------------|
|        | 自動車  | 乗車時間 | 歩く時間<br>(家→駐車場)<br>(駐車場→目的地) | ガソリン代<br>や駐車料金 | 関係なし               |
|        | 鉄道   | 乗車時間 | 歩く時間<br>待ち時間                 | 運賃             | 駅の位置<br>(地下あるいは掘割) |
| ①      | 自動車  | 20分  | 10分                          | 200円           |                    |
| ②      | 自動車  | 10分  | 5分                           | 500円           |                    |
| ③      | 鉄道   | 20分  | 5分                           | 300円           | 掘割<br>             |
| ④      | 鉄道   | 10分  | 10分                          | 400円           | 地下<br>             |

表 3 パラメータ推定結果

| 目的                      | 通勤・通学目的 |        | 自由目的    |       |
|-------------------------|---------|--------|---------|-------|
| データ型                    | ランキング型用 |        | ランキング型用 |       |
| 分析法                     | ランキング型  |        | 選択型     |       |
|                         | 係数      | t 値    | 係数      | t 値   |
| 乗車時間 (分)                | -0.0222 | -0.87  | —       | —     |
| 自動車ダミー<br>(自動車=1, 鉄道=0) | -1.0427 | -11.68 | —       | —     |
| 自動車乗車時間 (分)             | —       | —      | -0.0266 | -0.52 |
| 鉄道乗車時間 (分)              | —       | —      | -0.0530 | -0.92 |
| 乗車外時間 (分)               | -0.0595 | -1.69  | -0.1670 | -2.03 |
| 駅の位置<br>(地下=1, 掘割=0)    | -0.3497 | -5.47  | -0.2005 | -1.40 |
| 費用 (円)                  | -0.0035 | -2.80  | -0.0076 | -2.71 |
| 尤度比                     | 0.115   |        | 0.092   |       |
| サンプル数                   | 986     |        | 1,031   |       |

表 4 時間価値の算出結果

| 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 分程度の所要時間の違いに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。また、乗車外時間の時間価値が、乗車時間の時間価値の 3 倍程度となっており、公共交通機関を待つことや乗り換えることへの抵抗が大きいことがわかる。

得られたパラメータの  $t$  値は必ずしも高くないものの、その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、移動目的別に式 (7) のように表され表される。ただし、自動車の効用  $V_{ij}^c$  を構成する変数としては、都市内交通シミュレーション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。

$$P_{ij}^c = \frac{1}{1 + \exp(-\Delta V_{ij})} \quad \text{式 (7)}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{ij} &= (\text{自動車の効用}) - (\text{公共交通機関の効用}) \\ &= V_{ij}^c - V_{ij}^M \\ &= (a_T^c T_{ij}^c + b F_{ij}) - (a_T^M T_{ij}^M + a_w W_{ij} + b U_{ij}) + R_{ij} \\ &= b(\lambda_T^c T_{ij}^c + F_{ij}) - b(\lambda_T^M T_{ij}^M + \lambda_w W_{ij} + U_{ij}) + R_{ij} \quad \text{式 (8)} \end{aligned}$$

ただし、

$ij$ : ゾーン

$T_{ij}^c$ : 自動車の乗車時間 (分)

$T_{ij}^M$ : 公共交通の乗車時間 (分)

$W_{ij}$ : 公共交通の乗車外時間

(待ち時間+乗り換え時間) (分)

$F_{ij}$ : 自動車の燃料費 (円)

$U_{ij}$ : 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)

$\lambda_T^c$ : 自動車乗車時間の時間価値 (円/分)

$\lambda_T^M$ : 公共交通乗車時間の時間価値 (円/分)

$\lambda_w$ : 公共交通乗車外時間の時間価値 (円/分)

$a_T^c, a_T^M, a_w$ : コンジョイント分析で推定した自動車の乗車時間、公共交通の乗車時間、公共交通の乗車外時間のパラメータ (式 (6))

$b$ : コンジョイント分析で推定した

費用のパラメータ (式 (6))

ここで、 $R_{ij}$  の算出方法について述べる。交通施設整備を実施しなかった場合 (Without ケース) の自動車の所要時間・走行距離と乗客の一般化費用など、シミュレーションのアウトプットを代入すると、式 (8) は、 $R_{ij}$  と  $\Delta V_{ij}$  の関係式となる。Without ケースの機関分担率は既知であるため、式 (7) と式 (8) よりゾーン  $ij$  間 (区単位) の  $R_{ij}$  が求められる。本シミュレーションにおいては、ゾーン区分として、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るため、小ゾーンに適用する際には、各小ゾーンが属する区の値を用いることとした。

なお、本研究では、転換の対象は市内トリップに限定し、転換前後で自動車利用者と乗客を合わせた総トリップ数は変化しないものとする。

ここで求めた  $P_{ij}^c$  を用いてゾーン  $ij$  間 (小ゾーン単位) で分担交通量を求め、シミュレーションのインプットデータとして用いる。なお、 $P_{ij}^c$  は現況の分担率のもとでのシミュレート結果を用いて算出しており、繰り返し計算は行っていない。

## 5. LRT 整備の評価

本章では、LRT 整備が都市の交通利便性に及ぼす影響の評価を行うとともに、LCA (Life Cycle Assessment) を適用し、LRT 整備のライフサイクルにわたる環境評価を行う。

### (1) ネットワークの概要

本研究では、京都市を対象として、3.と 4.で構築した都市内交通シミュレーションモデルと交通機関選択モデルを適用し、LRT 整備の評価を行った。図 2 に対象とした道路と鉄道路線、及び LRT 路線のネットワークを示す。

道路ネットワークは、主要交差点をほぼ網羅した 288 ノードと国道をはじめ府道、主要地方道を含む 956 リンクによって構成される。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。また、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。

### (2) 入力データの概要

自動車と乗客の流動データは、平成 2 年の第 3 回京阪神都市圏パーソントリップ調査を用いて、貨物車については、第 2 回京阪神都市圏物資流動調査等を用いて作成

した。その際、市内トリップのみならず、流入・流出トリップも考慮し、それぞれのデータをユニットとして表現した。

自動車と乗客の発生・集中ノードの設定にあたっては、パーソントリップ調査の最小単位のゾーン内に複数のノードがある場合には、乱数によって各ノードに同じ確率でトリップが分配されるようにした。本来は、実際に利用されるノードを用いるべきことは当然であるが、このような細かいゾーニングに対応した調査データがないためこの方法を採用した。

車両ユニット・乗客ユニットは、発生・集中ノードと発生時刻、ユニットの大きさ、移動目的を情報として持っている。時間価値は、4.で算出した移動目的別の時間価値を用いた。車両ユニットは、乗車人数をパーソントリップ調査の平均値である1.18人/台として作成した。ただし、車両ユニット・乗客ユニットとして、ひとまとめにできるのは、それぞれ3台、3人以内とする。また、どちらのユニットも発生時刻を情報として持っているが、パーソントリップ調査のデータは拡大によってトリップの発生時刻が集中している場合があるため、原データの発生時刻の前後15分に一樣分布で発生しているものとした。

同一発生時刻、同一ODのトリップを、1ユニットとして取り扱った結果、計算対象となった乗客ユニット、車両ユニットの総数は、1日で延べ約40万ユニットずつ、合わせて約80万ユニットとなった。

### (3) LRT 整備評価のケース設定

本研究で LRT 整備の評価を行うためのケース設定を表5に示す。

表5 LRT 整備評価のケース設定

| LRT の運賃設定                                | LRT の表定速度 |        |
|------------------------------------------|-----------|--------|
|                                          | 20km/h    | 25km/h |
| バスと同様の運賃体系<br>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<br>3km以内200円<br>以後4km毎に30円加算 | ケース3      | ケース4   |

バスのように均一制の運賃制度を採れば、現状と運賃面での差異はない。これに対し、運賃面で地下鉄と同様に扱えば、3km内の近距離を除けば利用者の負担増となるものの、本シミュレーションモデルでは、地下鉄ーバス、もしくはバスー地下鉄を乗り継ぐ場合、現在実施されている60円の割引を設定しているため、乗り換えの利用者にとっての負担は軽減される。なお、LRTの表定速度によって、LRTの運行本数は変化しないものとする。

### (4) 交通利便性評価

本節では、LRT 整備が交通利便性に及ぼす影響の評価を行う。

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>14)</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<sup>15)</sup>)を用いるとされているが、4.のように「選好接近法」によって時間価値を求めた場合は、両手法によって得られる時間価値をそれぞれ用いて評価す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6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。また、LRT車両の耐用年数は、鉄道統計年報に記載されている車両生産実績、車両保有数を用いて、自動車ならびにバスの耐用年数については、運輸経済統計要覧の新車登録台数、自動車保有台数などのデータを用いて推計した。

表6 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<br>運賃 | バス<br>運賃 | 地下鉄<br>運賃 | 地下鉄<br>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) (a)                  |                     | 3.50     | 8.33     | -1.83     | 1.50      |
| 選好接近法                             | 消費者余剰 (億円/年) (b)    | -0.26    | 4.69     | 4.28      | 10.05     |
|                                   | 便益合計 (億円/年) (a)+(b) | 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) (c)    | 11.79    | 33.75    | 12.43     | 43.72     |
|                                   | 便益合計 (億円/年) (a)+(c) | 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     |
| 自動車から公共交通への転換人数 (人)               |                     | 6,381    | 7,396    | 8,289     | 10,681    |
| 車両走行時のCO <sub>2</sub> 排出量削減割合 (%) |                     | 0.22     | 0.66     | 0.37      | 0.61      |

注) 一日当たりの便益額を365倍し年間便益とした。

OD 交通量は40年間一定とした。

事業者の収支の変化としては、自動車からの転換による収入の増加とバスと LRT の維持費の違いによる変化が考えられる。このうち、自動車からの転換による収入の増加は、乗客の費用の増加と等しく、一般化費用の変化と同時に計測される。また、バスと LRT の維持費の違いによる変化については、統計データ<sup>13),16),17)</sup>から人件費、車両の製造・修理の費用、走行燃料費、道路・軌道の維持に必要な費用を考慮して算出した。なお、本研究では、事業者として全ての都市内公共交通事業者を考慮している。

分析結果を見ると、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、運賃水準の高さが事業者に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。

また、車両走行時の CO<sub>2</sub> 排出量は自動車交通からのものが大半であるが、自動車から公共交通への転換人数はケース 4 が最大であるにも関わらず、ケース 2 の削減割合が最大になっている。この理由として、ケース 2 ではケース 4 と比較して、長距離の移動において、公共交通への転換が発生していることが考えられる。すなわち、表 5 に示したように、長距離の移動においては、LRT の運賃体系をバスと同様にしたケースの方が利用者の負担が小さくなるため、公共交通への転換が大きく、自動車の総走行距離も短くなるためである。

(5)環境評価

(a)LCA による評価

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) を推計するために、LCA を適用し、LRT 整備のライフサイクルにわたる環境評価を行う。

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 7 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>12)</sup>を用いることとした。ただし、表 7 に示した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。

LRT を整備することにより、建設時には環境負荷が発生するが、供用後は、LRT 整備による自動車交通の抑制効果によって、CO<sub>2</sub> 排出量が削減される。LRT を整備した年次を 0 とし、建設・供用にわたる累積 CO<sub>2</sub> 排出量を示したものを図 3 に示す。

本研究では、都市内交通シミュレーションモデルの各交通機関を対象にライフサイクルにわたる CO<sub>2</sub> 排出量を

推計し、図 3 に示す LRT 整備を行わなかった場合 (Without ケース) の累積 CO<sub>2</sub> 排出量と、LRT を整備した場合 (With ケース) の累積 CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなる期間、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。その期間が短ければ、削減効果が大きいことを示している。なお、CO<sub>2</sub> 排出量償還年を推計する際には、将来にわたって OD 交通量、及び CO<sub>2</sub> 排出原単位は不変とした。推計結果を表 8 に示す。

表 8 に示した製造の減少による CO<sub>2</sub> 排出削減量の推計

表 7 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 <sup>※1</sup> | 自動車          | 512.7kgC/百万円 | 13)         |
|                    | バス           | 591.2kgC/百万円 | 13)         |
|                    | LRT(鉄道)      | 1,068kgC/百万円 | 13)         |
| 修理                 | 自動車          | 4.683gC/km   | 13),17)     |
|                    | バス           | 15.071gC/km  | 13),17)     |
|                    | LRT(鉄道)      | 1,155kgC/百万円 | 13)         |
| 道路関係<br>公共事業       | 自動車,<br>バス共通 | 10.445gC/km  | 13),17),18) |
| 道路輸送<br>施設提供       | 自動車          | 1.046gC/km   | 13),17),18) |
|                    | バス           | 2.394gC/km   | 13),17),18) |
| 鉄道軌道建設             |              | 1,025kgC/百万円 | 13)         |
| 取替補修工事             | LRT(鉄道)      | 1,025kgC/百万円 | 13)         |
| 建設補修               |              | 736kgC/百万円   | 13)         |

※1 流通・販売含む

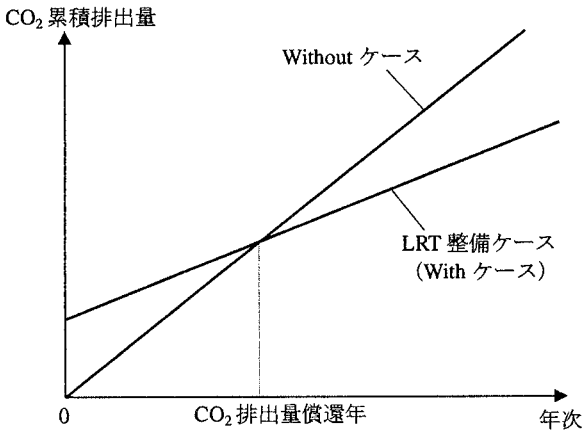


図 3 整備・供用にわたる累積 CO<sub>2</sub> 排出量

表 8 CO<sub>2</sub> 排出量償還年の推計結果

|                                    |                 |      | 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 (tC) |                 |      | 33,355 | 33,355 | 33,355 | 33,355 |
| 削減量                                | 製造<br>(tC/年)    | 自動車  | 154    | 181    | 196    | 238    |
|                                    |                 | 公共交通 | -133   | -99    | -133   | -99    |
|                                    | 走行時 (tC/年)      |      | 296    | 881    | 493    | 817    |
|                                    | 修理+道路<br>(tC/年) | 自動車  | 205    | 372    | 227    | 311    |
|                                    |                 | 公共交通 | -329   | -302   | -329   | -302   |
| CO <sub>2</sub> 排出量償還年 (年)         |                 |      | 172.53 | 32.28  | 73.41  | 34.56  |

については、自動車から公共交通への転換によって自動車の購入台数が減少するものと仮定し、自動車の製造も減少するものとした。また、「修理+道路」による CO<sub>2</sub> 排出削減量とは、車両の修理による CO<sub>2</sub> 排出量と道路、及び鉄道軌道・鉄道施設の建設、維持補修による CO<sub>2</sub> 排出量の LRT 整備前後における差である。

算出結果を見ると、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 32 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ですが、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。

次に、約 32 年という CO<sub>2</sub> 排出量償還年が得られたケース 2 について、CO<sub>2</sub> 排出量の現在価値が経年変化するものとして償還年を算出した。その算出結果を図 4 に示

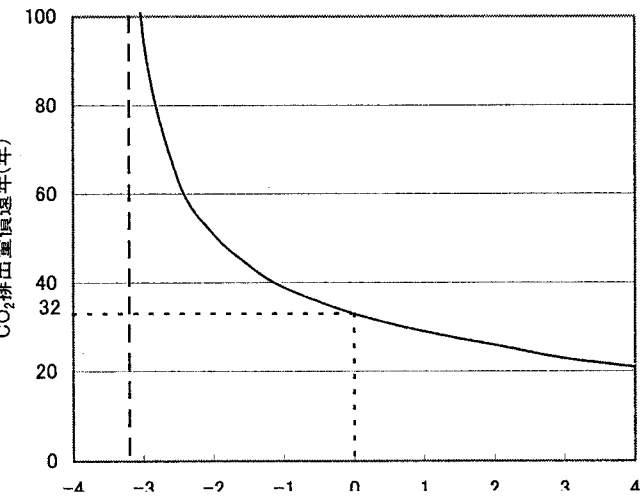


図 4 CO<sub>2</sub> 排出量現在価値の経年変化に伴う償還への影響

す。将来の CO<sub>2</sub> 排出量の価値を高く見積もった場合、CO<sub>2</sub> 排出量の現在価値上昇率はプラスになり、逆に低く見積もった場合、マイナスになる。

図 4 で示した曲線は、現在価値上昇率 -3.20% (減少率 3.20%) を示す直線に漸近する形となっており、これ以上の CO<sub>2</sub> 排出量現在価値の減少が起こるならば、LRT 建設時の CO<sub>2</sub> 排出量による損失は、LRT 整備による CO<sub>2</sub> 排出量削減効果のみでは何年経っても補填し得ないことになる。

しかしながら、道路投資の評価に関する指針 (案)<sup>19)</sup> に挙げられている単位 CO<sub>2</sub> 排出量あたりの温暖化被害費用の推計例では、研究によって値は異なるものの、今後 30 年で 1~2.49 倍 (年間上昇率 0~3.09%) と被害費用は上昇もしくは横ばいになるとされており、一般に CO<sub>2</sub> 排出量の現在価値は上昇すると見る向きが強い。したがって、現在価値に換算した CO<sub>2</sub> 排出量の償還年は 20 年余りとなり、量で評価したときよりも早く償還される。

(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) 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 8 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 238 万円/年と表 6 に示す消費者余剰の 1%にも満たない値となった。

6. まとめ

本研究では、交通機関選択モデルを都市内交通シミュレーションモデルに組み込み、交通施設整備の CO<sub>2</sub> 排出量を評価できるシステムを構築した。そのシステムを適用して、LRT 整備が都市の交通利便性に及ぼす影響の評価を行うとともに、LCA を適用し、LRT 整備のライフサイクルにわたる環境評価を行った。

その結果、交通機関選択モデルには改良の余地があるものの、LRT 整備の経済的妥当性や LRT 建設時に排出される CO<sub>2</sub> 排出量の大きさなど、ライフサイクルにわたる環境への評価を示し、このシステムを活用することによって LRT 整備による長期的な環境改善を評価できることを示した。

【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) 蛭川陽一，稲村 肇：東北新幹線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.21 (2)，1998.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.



- 10) 加島大地：バスサービス改善策の効果計測のためのシミュレーション分析，京都大学修士論文，1995.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) 労働大臣官房政策調査部：毎月勤労統計調査，1999.
- 16) 運輸省自動車局：平成2年度版自動車運送事業経営指標，1990.
- 17) 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.
- 18) 総務庁：平成2年(1990年)産業連関表，全国統計協会連合会，1994.
- 19) 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.

---

## 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

山口 耕平，青山 吉隆，中川 大，松中 亮治，西尾 健司

従来から、公共交通機関は自動車交通と比較して、環境に対する負荷が少ない交通機関であるとされているが、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。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、交通評価手法であるネットワークシミュレーションを用いて、都市内の自動車並びに公共交通の運行状況を逐次再現し、LRT 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> 排出量を推計した。さらに、LCA (Life Cycle Assessment) を適用し、LRT 整備のライフサイクルにわたる環境評価を行った。

---

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

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

Introduction of a new public transportation system can contribute the reduction of CO<sub>2</sub> emission. However, CO<sub>2</sub> is emitted with construction and maintenance of the system. So the life-cycle analysis should be applied to evaluate the environmental load of the system. In this study, we evaluated the socioeconomic value of LRT(Light Rail Transit) considering life-cycle environmental load. We measured not only the traffic effect of LRT by a dynamic transport simulation model which can calculate the route choice behavior of drivers and mass transit's passengers, but also the life-cycle environmental load of LRT by applying the concept of LCA(Life Cycle Assessment).

---