

京都大学工学部 学生員 ○齋藤 文典

京都大学大学院工学研究科 正会員 中川 大

京都大学大学院工学研究科 フェロー 青山 吉隆

京都大学大学院工学研究科 正会員 柄谷 友香

京都大学大学院工学研究科 武田 健太郎

1. 研究の背景と目的

公共交通機関の利用促進を目的として新規LRT整備事業を考えたとき、LRT等の鉄軌道は自動車と比較してCO₂排出量が少ないといわれている。しかし、それはあくまで現在運行されているLRT等の鉄軌道によるCO₂排出量が、自動車によるCO₂排出量より少ないことを示しているに過ぎず、新規に整備を行う場合は供用段階だけでなくその整備段階を含めて、つまりライフサイクルにわたってCO₂排出量を評価する必要がある。そこで本研究は、CO₂排出量をライフサイクルにわたって評価することの出来る手法であるLCAの評価範囲を拡張することによって波及効果分まで評価することを可能にしたELCEL概念を用いて、新規LRT整備事業によるCO₂排出削減効果を分析する。

2. ELCEL概念

LCA とは、評価対象とする製品やサービスの「原材料採取→生産→流通→使用（→リサイクル）→廃棄」というライフサイクルにわたる資源やエネルギーの流れと排出する環境負荷を定量的に推定・評価し、それに伴う環境への影響を評価する手法である。インベントリ分析には産業連関分析法と積み上げ法の2つの手法があるが、実際にLCAを実行する場合積み上げ法によってすべてのデータを把握することは困難である。特に交通インフラのような多くの製品によって構成されているサービスに対してLCAを適用する場合、積み上げ法では限界があり、過小評価となってしまう恐れがあるので、本研究では、その2つを併用した組み合わせ法を適用する。ここで、通常交通インフラへのLCAの適用ではインフラそのものの評価にとどまっており、インフラ整備による波及効果の評価にまでは至っていない。しかし、実際はインフラ整備による波及効果まで評価しなければ、それによる環境影響を評価したことにはならない。そこで本研究ではLCAのシステム境界をインフラ整備によって波及的に生じる環境負荷にまで拡張した、加藤らのELC

ELの概念を用いる。本研究では都市内交通すべてをELCELの評価範囲とするので、新規LRT整備・バス・既存鉄道・自動車の4つの交通モードに対してELCELを適用する。具体的には、従来のILCAの評価範囲として新規LRT整備によるCO₂排出を、波及効果の評価範囲として既存鉄道、バス、自動車の需要変化によるCO₂排出の変化を想定する。また、組み合わせ法の中の産業連関分析法については、国立環境研究所による研究で、産業連関分析法によりCO₂排出量原単位が推計されており、この値を用いることにする。

3. CO₂排出量関数の推定方法

a) システム境界の設定

まず、対象とする交通モードとそれぞれの評価範囲について表-1のように設定する。

表-1 各交通モードの評価項目

	車両製造	インフラ建設	車両維持	インフラ維持	車両走行
LRT	○	○	○	○	○
既存鉄道	×	×	○	○	○
バス	○	×	○	×	○
自動車	×	×	×	×	○

b) インベントリ分析

これらをふまえて、それぞれの交通モードにおいて各交通機関の需要を変数としたCO₂排出量関数を作成する。推定方法について以下に示す。

(1)建設・製造

インフラ建設及び車両製造に投じた資金に、対応するCO₂排出量原単位を乗じることでCO₂排出量を計算している。以下に式を示す。

$$CO_{2\text{manufacture}} = \sum Cap_n \cdot X_n \quad (1)$$

Cap_n : 各々の建設・製造に投入した資金

X_n : 各々のCO₂排出量原単位

(2)維持管理

i)車両維持

車両維持費用を車両走行^{*}で割ったものを車両維持費用原単位とし、本研究では各鉄道事業者の車両維持費用

原単位を平均化したものを使用する。この車両維持費用原単位にCO₂排出量原単位とサービス水準データである車両走行^{*}を乗じることでCO₂排出量を計算している。以下に式を示す。

$$CO_2 = Cost_{vm} \cdot X_{vm} \cdot D$$

$Cost_{vm}$: 車両維持費用原単位

X_{vm} : CO₂排出量原単位 D : 各交通モードの需要量

ii) 線路・電路維持

線路・電路維持費用を営業^{*}で割ったものを線路・電路維持費用原単位とし、本研究では各鉄道事業者の線路・電路維持費用原単位を平均化したものを使用する。この線路・電路維持費用にCO₂排出量原単位と営業^{*}を乗じることで、CO₂排出量を計算している。以下に式を示す。

$$CO_2 = (Cost_{rm} \cdot X_{rm} + Cost_{em} \cdot X_{em}) \cdot L \quad (2)$$

$Cost_{rm}$: 線路維持費用原単位

$Cost_{em}$: 電路維持費用原単位

$X_{rm} \cdot X_{em}$: CO₂排出量原単位

L : 営業^{*}

i) ii) を合計したものを維持管理部門のCO₂排出量とする。以下に式を示す。

$$CO_{2maintain} = Cost_{vm} \cdot X_{vm} \cdot D + (Cost_{rm} \cdot X_{rm} + Cost_{em} \cdot X_{em}) \cdot L \quad (3)$$

(3) 車両走行

車両走行によって消費した電力(燃料)にCO₂排出量原単位を乗じることによってCO₂排出量を計算する。各交通モードの電力(燃料)消費量は、交通モードごとの需要及びサービス水準によって決定されと考えられる。そこで、電力(燃料)消費量データを需要関連データ及びサービス水準データによって重回帰分析することにより、電力(燃料)消費量を需要及びサービス水準によって説明するモデル式を構築する。自動車については旧建設省道路局・三菱総合研究所による燃料消費量推計式を適用し、それにCO₂排出量原単位を乗じることでCO₂排出量を計算する。以上の説明を表した式を式(4)~(7)に、重回帰分析によって求めた電力(燃料)消費量のパラメータ推計結果を表-2に示す。

$$CO_{2Lran} = (\alpha_L \cdot D_L + \beta_{L1} \cdot R_L + \beta_{L2} \cdot L_L + \gamma_L) \cdot X_{Lran} \quad (4)$$

$$CO_{2Tran} = (\alpha_T \cdot D_T + \beta_T \cdot R_T + \gamma_T) \cdot X_{Tran} \quad (5)$$

$$CO_{2Bran} = (\alpha_B \cdot D_B + \beta_B \cdot R_B + \gamma_B) \cdot X_{Bran} \quad (6)$$

$$CO_{2Cran} = f(V) \cdot R_C \cdot X_{Cran} \quad (7)$$

$\alpha_L, \alpha_T, \alpha_B, \beta_{L1}, \beta_{L2}, \beta_T$: 係数

$\gamma_L, \gamma_T, \gamma_B$: 定数項

V : 自動車の平均速度

D_L, D_T : LRT, 既存鉄道の輸送密度 (人/日)

D_B : バスの平均乗車人数 (人)

R_L, R_T, R_B : LRT, 既存鉄道, バスの車両走行^{*} (千^{*})

R_C : 自動車の車両走行^{*} (km)

L_L : LRT の営業^{*} (km)

CO_{2Lran}, CO_{2Tran} : LRT, 既存鉄道の走行 CO₂ (t - C)

CO_{2Bran}, CO_{2Cran} : バス, 自動車の走行 CO₂ (t - C)

$X_{Lran}, X_{Tran}, X_{Bran}, X_{Cran}$: CO₂排出量原単位

表-2 パラメータ推計結果

説明変数	路面電車		既存鉄道		バス	
	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値
総輸送トン・ [*] [千・ [*]]	41.43	6.40				
他モード混入ダミー	4334000	3.36				
輸送密度			185.47	2.10		
車両走行 [*]			2587.1	32.1		
平均乗車人数[人]					2533.8	1.81
車両走行 [*] [千・ [*]]					28.729	65.9
定数項	2702000	4.34	-2450100	-0.232	-15197	-1.3
自由度修正済み決定係数	0.911		0.972		0.995	
サンプル数	11		35		35	

4. CO₂排出量関数の推定結果

以上より推定された新規LRT整備・既存鉄道・バスのCO₂排出量関数のパラメータを表-3~表-5に示す。また、自動車のCO₂排出量関数については式(8)に示す。

表-3 CO₂排出量関数のパラメータ(新規LRT整備)

		総輸送トン・ [*] [千・ [*]]	車両走行 [*] [千・ [*]]	営業 [*] [km]	車両数 [両]	電停数 [ヶ所]	定数項
LRT	車両走行	0.004598					300.0
	車両維持		0.02942				
	施設維持			4.159			
	車両製造				15.00		
	施設建設			52.53		0.4979	
	計	0.004598	0.02942	56.69	15.00	0.4979	300.0

表-4 CO₂排出量関数のパラメータ(既存鉄道)

		輸送密度 [人/日]	車両走行 [*] [千・ [*]]	営業 [*] [km]	定数項
既存鉄道	車両走行	0.02059	0.2872		-272.0
	車両維持		0.02582		
	施設維持			21.92	
	計	0.02059	0.3130	21.92	-272.0

表-5 CO₂排出量関数のパラメータ(バス)

		平均乗車人数 [人]	車両走行 [*] [千・ [*]]	車両台数 [台]	定数項
バス	車両走行	22.84	0.2589		-137.0
	車両維持		0.007317		
	車両製造			0.8843	
	計	22.84	0.2662	0.8843	-137.0

$$CO_{2car} = \left(\frac{231.7}{V} - 1.108 \cdot V + 0.00832 \cdot V^2 + 68.29 \right) \cdot 10^{-3} \cdot D_C \quad (8)$$

これらのCO₂排出量関数を用いて京都市を対象に新規LRT整備のケーススタディを行い、CO₂排出削減効果があるかどうかを検証する。その詳細については発表にて述べる。