ＬＣＡを適用した中量旅客輸送システムの環境負荷評価*

Evaluating Environmental Load of a Medium Capacity Passenger Transport System Using the LCA Method *

長田基広**・渡辺由紀子**・柴原尚希***・加藤博和****
By Motohiro OSADA**・Yukiko WATANABE**・Naoki SHIBAHARA***・Hirokazu KATO****

１．はじめに

鉄軌道と路線バスのいずれでも対応し難い中間的な需要に適した公共旅客輸送機関として、モノレール、HSST(High Speed Surface Transport)、AGT(Automated Guideway Transit)、LRT(Light Rail Transit)、ガイドウェイバス(GWB:GuideWay Bus)等の中量旅客輸送機関が開発され、日本はもとより世界中で多くの路線が営業されている。

通常、旅客輸送機関の選択は主に運行時の需要や採算性の観点から検討される。しかしながら、公共交通整備に対して「環境へのやさしさ」を期待される近年の潮流を踏まえると、旅客輸送機関に関しても環境負荷の面から評価を行うことは意味がある。

輸送機関の「環境へのやさしさ」は、輸送人キロあたりの走行起源CO_2排出量で評価されることが多いが、新規整備に際しては、関連施設の建設や車両製造に伴う環境負荷も無視できない。このため、施設や車両の資材調達、資材輸送、建設・製造、運用、更新などの各ライフステージの環境負荷を把握し、それらが人間や生態系に及ぼす影響を定量評価する手法であるLife Cycle Assessment(LCA)の導入が必要である。中量旅客輸送機関の場合、輸送力が低いことから建設段階の環境負荷が相対的に大きくなると予想され、LCAの導入が特に求められると言える。

そこで本研究では、中量旅客輸送機関の環境負荷をLCAによって推計・評価し、比較を行うことを目的とする。推計はCO_2を含めた複数環境負荷について実施し、それらの統合化を行う。また、需要量による感度分析を実施し、需要量ごとにライフサイクル環境負荷を最小とする輸送機関を見出す。

*キーワード：地球環境問題
**　学生会員、名古屋大学大学院 博士課程前期課程 環境学研究科都市環境学専攻
（〒464-8603 名古屋市千種区不老町、
TEL:052-789-3828、FAX:052-789-3837
E-mail:mosada@urban.env.nagoya-u.ac.jp)
*** 正会員、修（環境）、三重交通(株)経理部会計担当
****正会員、博（工）、名古屋大学大学院
環境学研究科 都市環境学専攻 助教授

２．旅客輸送システムへのLCA適用の方法

（１）目的及び調査範囲の設定(Goal and scope definition)

a)比較対象とする旅客輸送機関

本研究では、鉄道、AGT、LRT、GWB、基幹バスの5つの輸送機関について、名古屋市周辺の実例を取り上げてデータ収集を行っている。ただしLRTについては仮想の事例を設定している[1)]。各対象路線の概要を**表－1**に示す。

b）システム境界の設定

輸送機関は本体、付帯構造物、車両の3つの要素から構成されているシステムであり、それらシステム全体としてのライフサイクル環境負荷(System Life Cycle Environment Load: SyLCEL)で評価する必要がある。各要素のライフサイクルは大きく、建設･製造、供用、廃棄の3つのステージに分けられるが、廃棄分は微小であるため、本研究では各要素の建設・製造、供用段階を対象にSyLCELを求める。

c）推計対象とする環境負荷

地球温暖化に寄与する二酸化炭素(CO_2)、および酸性化や大気汚染に寄与する硫黄酸化物(SO_X)と窒素酸化物(NO_X)の3種類とする。

（２）インベントリ分析(Inventory analysis)

環境負荷原単位には日本建築学会作成のものを使用する[2)]。これは内包環境負荷が考慮され、かつ、物量ベースに換算されており、分類が約500と細かい上に、運搬車両や施工機械といった建設分野にとって使い勝手の良い分類となっているためである。

表－１　評価対象とした輸送機関の概要

路線			鉄道	AGT	LRT	GWB	基幹バス
			名古屋臨海高速鉄道（あおなみ線）	桃花台新交通（ピーチライナー）	名古屋都心部での新規整備を想定[1]	名古屋ガイドウェイバス志段味線（ゆとりーとライン）	基幹バス新出来町線
延長			15.4	7.7	10	6.7	10.5
インフラ構造形式割合	高架橋	コンクリート橋	74%	33%	ー	57%	ー
		鋼橋	ー	52%	ー	43%	ー
	盛土		26%	ー	ー	ー	ー
	隧道		ー	5%	ー	ー	ー
	擁壁		ー	9%	ー	ー	ー
車両走行原単位			2.5 kwh/車両 km	0.996 kwh/車両 km	1.5 kwh/車両 km	0.33 l/台 km	0.43 l/台 km
表定速度(km/時)			38	27	12	30	18
輸送力(片道)[人/時]			23,400	7,200	5,040	3,700	3,700
定員[人/編成]			520	200	140	74	74
集中率			0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
輸送量(往復)[人/日]			187,200	57,600	40,320	29,600	29,600

a）本体構造物

①建設段階：本来は実際の資材投入量やエネルギー消費量から求める必要があるが、これらを得ることが困難なため、著者らが既に開発している鉄道の簡略LCA手法[3]を援用して推計を行う。

②運用段階：鉄道、AGT、LRT、GWBのレールについては、取替サイクルを考慮した日本鉄道建設公団の原単位データ[4]を使用している。

b）付帯構造物

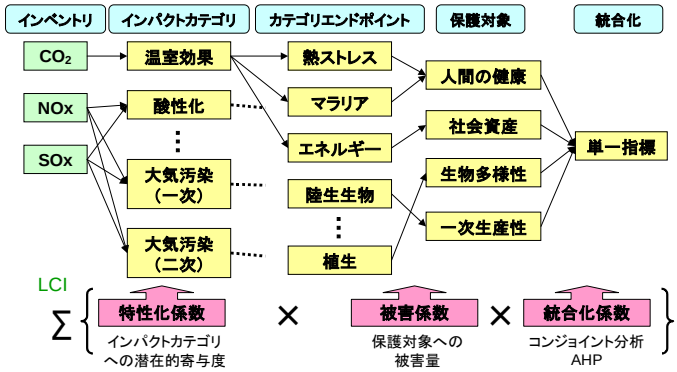
①建設段階：駅施設に関しては、柴原ら[3]によって算出された都市近郊鉄道における駅の延床面積あたり原単位を用いる。基幹バスでは停留所(シェルター)を対象とし、詳細設計図により推計を行う。

②運用段階：駅施設や管理センターの消費電力を対象とする。

c）車両

①製造段階：鉄道車両やバス車両の製造における資材投入量、及び組立におけるエネルギー消費量が対象となる。鉄道車両については、都市近郊型鉄道ステンレス車両の値[5]を用い、バス車両については、乗用車製造の環境負荷を用いて、車両重量に比例すると仮定する。乗用車製造の環境負荷はLCAデータベースのインベントリデータ[6]に記載されている資材投入量及びエネルギー消費量より求める。

②走行段階：各輸送機関の単位走行距離での消費電力・燃料消費量に走行距離を乗じ、さらに消費量あたりの環境負荷原単位を用いて推計する。



図－１　日本版被害算定型影響評価手法(LIME)[5]のうち本研究へ適用する因果パス

（３）インパクト評価(Impact assessment)

インベントリ分析で求められた各環境負荷発生量を基に、地球温暖化・大気汚染・酸性雨といった各環境影響カテゴリへの影響の大きさ、及びそれらを統合化した値を求める（**図－１**参照）。

統合化指標としては、日本版被害算定型影響評価手法「LIME:Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling」の統合化係数Version１の値を用いる[6]。これによって算出される統合化指標は貨幣(円)単位である。

３．LCA適用結果

（１）インベントリ分析

a）インフラ建設：CO_2はGWBが8,470[t-CO_2/km]、AGTが9,940[t-CO_2/km]、鉄道が11,800[t-CO_2/km]と

なる。鉄道では高架橋よりも環境負荷が小さい盛土区間が約25%を占め、高架区間も鋼製インフラより環境負荷が小さいコンクリート橋が大部分を占める。これに対して、GWBやAGTはほぼ高架橋であり、さらに、鋼製インフラの占める割合が大きいにも関わらず、軌道の幅員が小さいため、建設段階における環境負荷は鉄道より小さい。

b）SyLCEL：各輸送機関についてSyLCELを推計し、それを人キロあたりに換算した結果を**図－２**に示す。ただし、混雑率はデータ収集を行った各輸送機関で異なる値をとるため、比較にあたって各輸送機関の混雑率を名古屋ガイドウェイバスの2003年の実績値(11.5%)と設定し、それを満たす運行本数になるとして、走行キロや必要車両数を推計する。

CO_2を見ると、GWBはバス走行が環境負荷を多く発生する上にインフラ建設が輸送量に比べて過大であるため、大きな値となっている。LRT、基幹バスはインフラ建設の環境負荷が小さく、SyLCELのほとんどを走行段階が占める。基幹バスとGWBを比較すると、GWBの方が加減速が少ないため燃費が良く、走行段階での環境負荷は小さい。一方、GWBは建設段階における環境負荷が大きく、ライフサイクル全体では燃費向上による環境負荷が打ち消されてしまう。

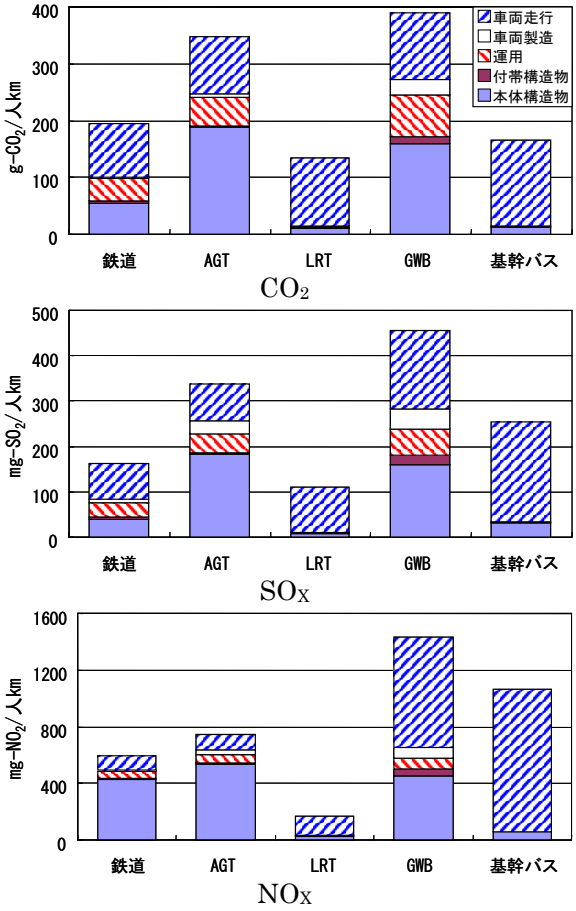
SO_Xについては、GWB、AGTが比較的大きい。これは、他輸送機関のインフラは主にコンクリートやアスファルトが材料であるのに対して、SO_X排出が多い鋼製インフラを使用する割合が大きいためである。

NO_Xについては、GWB、基幹バスで、走行段階の排出が大きくなっている。これはバス走行が軽油を燃料として走行していることに起因している。

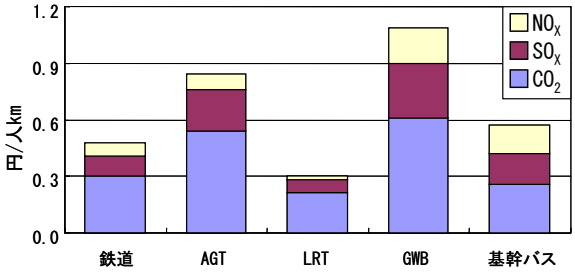
（２）インパクト評価

3種類の環境負荷を統合化した結果を**図-３**に示す。最も大きいGWBは最も小さいLRTの3倍以上となっている。また、排出量が圧倒的に大きいCO_2は半分程度の割合にとどまっている。これは主にSO_X、NO_Xの大気汚染によるものである。特に、バス走行におけるNO_X排出源は線源であるため、単位量当たりの環境への影響も大きくなっている。なお、この統合化評価値は運行経費(数十円/人kmのオーダー)に比べて数十分の一の値に相当する。

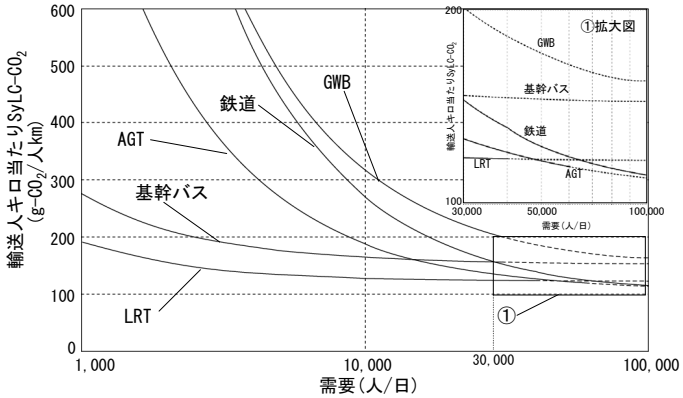
以上の推計結果は**表－１**の構造形式を想定した



図－２　各輸送機関の人キロあたり SyLCEL 推計結果



図－３　各輸送機関の人キロあたり
ライフサイクル環境負荷(統合化指標での貨幣換算値)



図－４　需要の感度分析による
他の輸送機関との LC - CO_2 の比較

もので、各輸送機関における一般的な結果ではない。

４．需要量変化に関する感度分析

（１）需要量に伴うSyLCELの変化

混雑率を11.5%に固定した上で需要量[人/日]が変化した場合のSyLC-CO_2(CO_2をSyLCELで評価した値)変化を推計した結果を**図－４**に示す。約5万[人/日]以下はLRTが最も小さく、それ以上ではAGTが、さらに、約10万[人/日]を超えると鉄道が最も小さくなる。

いずれの輸送機関も輸送需要量の増加によって人キロあたりSyLC-CO_2は減少するが、ある程度まで増加すると一定値に収束する。これは走行以外の環境負荷分が人キロあたりでほぼゼロとなるためである。このときの環境負荷は、車両走行原単位と車両の定員、平均混雑率に依存する。

GWB、AGT、鉄道では、需要量が約2万[人/日]に達するまで、需要量の増加による人キロあたりSyLC-CO_2の減少傾向が顕著に見られる。**図－３**の統合化結果では最も環境負荷が大きいGWBも、需要量が増えていけば減少が期待できる。一方、LRT、基幹バスの環境負荷はほぼ車両走行に起因するため、需要量が増加しても人キロあたりSyLC-CO_2はほとんど減少しない。

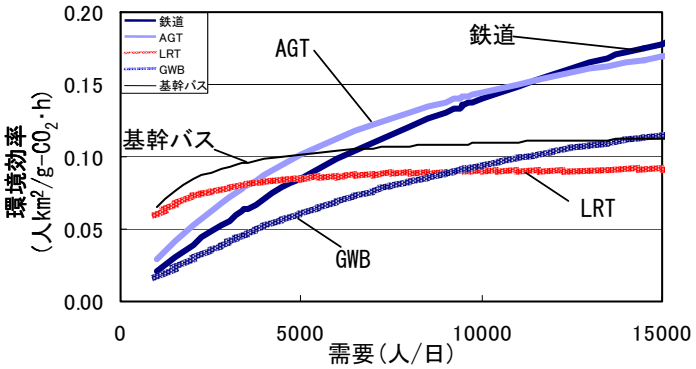
（２）環境効率による評価

環境効率は、提供される製品やサービスの効果や性能を環境負荷で除したものと定義され、性能の異なる代替案の比較に有用である。辻村ら[7]による新幹線車両の環境効率指標を参考に、本研究では性能として表定速度、生涯の輸送人キロを考え、式(1)のように定式化している。

$$\text{環境効率} = \frac{\text{生涯の輸送人キロ}}{\text{生涯の環境負荷}} \times \text{表定速度} \quad \cdots\cdots (1)$$

SyLC-CO_2推計値を式(1)に適用して環境効率を求めた結果を**図－５**に示す。

環境効率が最も高い輸送機関は、需要量が4千[人/日]以下では基幹バス、4千[人/日]から1万2千[人/日]ではAGT、それ以上では鉄道となっている。GWBの環境効率は、需要量がいかなる値でもAGTや鉄道と比べて低くなっている。人キロあたりSyLC-CO_2でGWBと基幹バスの順位が入れ替わる需要量は約15万[人/日]であったのに対して、環境効率で見ると1万4千[人/日]と低くなっている。これは、GWBの表定速度は基幹バスの1.67倍であるため、GWBの人キロあたりSyLCEL推計値が基幹バスの1.67倍となる1万4千[人/日]が転換点となるためである。また、人キロあたりSyLC-CO_2が最も小さいLRTは、表定速度が遅いために環境効率は低くなっている。AGTと鉄道とを比較すると、人キロあたりSyLC-CO_2は約10万[人/日]が分岐点となるが、環境効率では1万2千[人/日]になる。



図－５　各輸送機関の環境効率

5. 結論

本研究では、中量旅客輸送機関であるAGT、LRT、GWB、基幹バスにLCAを適用して環境負荷を推計するとともに、鉄道との比較を行った。この結果、需要に対して人キロあたりライフサイクル環境負荷が最小となる輸送機関を明らかにした。インパクト評価では、排出量が圧倒的に大きいCO_2のみならず、SO_X、NO_Xも大きな影響を示すことが分かった。また、速度・輸送量性能を考慮した環境効率による評価を行った結果、大量・高速輸送機関が有利となった。

参考文献

1）渡辺由紀子, 金原宏, 長田基広, 加藤博和：LRTへのライフサイクルアセスメントの適用, 土木学会中部支部平成16年度研究発表会講演概要集, pp393-394, 2005
2）日本建築学会：LCAデータベース1995年産業連関分析データ版, Ver. 2. 2, 1995.
3）柴原尚希, 加藤博和, 狩野弘治：LCAに基づく標準化原単位を用いた鉄軌道システムの環境性能評価手法, 第31回環境システム研究論文発表会・講演集, pp. 167-172, 2003.
4）日本鉄道建設公団関東支社：平成13年度「環境からみた鉄道整備効果に関する調査報告書, 2002.
5）日本資源協会, 日本鉄道車輌工業会, 鉄道車輌ライフサイクルエネルギーLCE検討委員会：鉄道車両に投入されるエネルギー量検討報告書, 1996.
6）産業環境管理協会：LCA試験公開データベース, 2003年12月7日付.
7）辻村太郎, 宮内瞳凪, 永友貴史, 橋本淳：新幹線電車のLCAケーススタディと環境効率, 鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp. 601-604, 1998.