

新規鉄道整備による CO₂ 排出量変化のライフ・サイクル・アセスメント Life Cycle Assessment of the Change in CO₂ Emission due to Railway Construction

加藤 博和* · 大浦 雅幸**

By Hirokazu KATO and Masayuki OHURA

1 はじめに

自動車から鉄道へのモーダルシフト施策を「地球環境への負荷削減」の観点から理由づけるデータとして、運輸関係エネルギー要覧の人キロ・トンキロあたりエネルギー消費量・CO₂ 排出量原単位がしばしば利用される。しかし、これは運行実績に基づくデータであり、新規鉄道整備によって CO₂ 排出が削減されることを必ずしも保証するものではない。新規鉄道整備の評価にあたっては、1)運行効率による CO₂ 排出量原単位の違い、2)鉄道の建設や維持管理に伴って生じる CO₂ の考慮、が必要である。まず、1)整備された鉄道において輸送力のわりに利用者が少なければ、その CO₂ 排出量原単位は既存鉄道に比べて高くなってしまふ。したがって、自動車から新規鉄道にどれだけのトリップが転換するかや、鉄道事業者がどの程度の輸送力を提供するかを明らかにした上で CO₂ 排出量原単位を求めることが必要である。一方、2)鉄道整備自体もインフラ建設・維持管理および車両製造等に伴って多くの環境負荷を生じる活動であることも忘れてはならない。これらの環境負荷も、鉄道整備の計画段階でどの程度の輸送力を想定するかによって変化するものである。

そこで本研究では、上記の観点を踏まえ、新規鉄道整備の計画段階において、想定される利用・運行状況の違いを考慮した CO₂ 排出量評価手法を構築することを目的とする。手法の構築にあたっては、特に上記 2)の推計を可能とするために、環境負荷評価手法の中でも近年注目されている Life Cycle Assessment (LCA)を応用する。

2 LCA とその交通インフラ評価への適用の考え方 —ELCEL 概念の導入—

LCA は、評価対象がその製造から維持管理を経て廃棄までのライフサイクル全体で発生する環境負荷を評価する方法である。しかし、LCA の適用対象はもともと工業製品であったことから、標準的な LCA (ISO-LCA) では、計量する環境負荷を、a)評価対象自体、b)その原材料、および c)製造機械等から発生する分と想定することが一般的である。しかし、この想定評価範囲を新規鉄道整備にそのまま適用すると、可能な評価は原材料や施工法の検討のみにとどまってしまう。この問題は新規鉄道整備にとどまらず、交通インフラへの LCA 適用にあたって一般的に生じる問題であり、インフラ LCA 研究における課題として常に位置づけられてきた。

そこで著者らは、LCA の交通インフラへの適用にあたって、評価範囲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「ELCEL (Extended Life Cycle Environmental Load : 拡張ライフサイクル環境負荷)」の考え方を提案し、道路整備の環境負荷評価への適用を試みている^{1),2)}。本研究では、ELCEL の概念を新規鉄道整備に応用し、整備による ELC-CO₂ (Extended Life Cycle CO₂)を推計する手法を構築する。これを用いて、新規鉄道整備が CO₂ 排出削減策たりうるか否かを検討する。

なお、LCA には、単に CO₂ 排出量を求めるのみならず、あらゆる環境負荷を網羅的に算出しそれらを統合評価することまでが含まれる。しかし本研究においては、CO₂ 排出量 (ELC-CO₂) の推計に限定して LCA の考え方を利用することとする。

3 ELCEL に基づく環境負荷評価指標の定義

新規鉄道整備による ELC-CO₂ の増減としては、i)

keywords: 地球環境問題, 環境計画, ライフ・サイクル・アセスメント

* 正会員 博(工) 名古屋大学大学院助手 地圏環境工学専攻
〒464-8603 名古屋市千種区不老町
TEL: 052-789-2773, FAX: 052-789-3837
E-Mail: kato@genv.nagoya-u.ac.jp

** 学生会員 名古屋大学大学院 博士前期課程

鉄道による新規発生分、ii)道路交通の減少分、の2点を考慮する必要がある。本研究では、i)、ii)で取り扱う範囲を以下のように設定する。

- i) 新規鉄道整備によって発生する ELC-CO₂

- ・線路、駅等のインフラ建設 (E_i)
- ・鉄道車両製造 (E_v)
- ・鉄道サービス供給＜維持管理＞ (E_s)

- ii) 道路交通量の減少に伴う ELC-CO
- ₂
- の減少 (
- ΔE^c_d
-)

以上より、新規鉄道整備に伴う ELC-CO₂ の変化は (1) 式で表される。

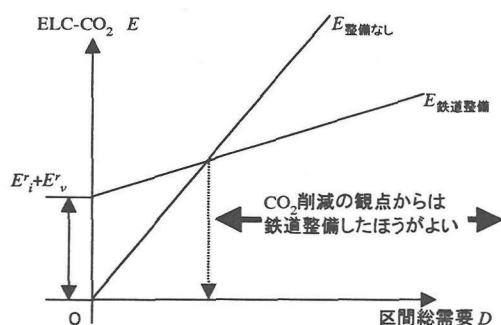
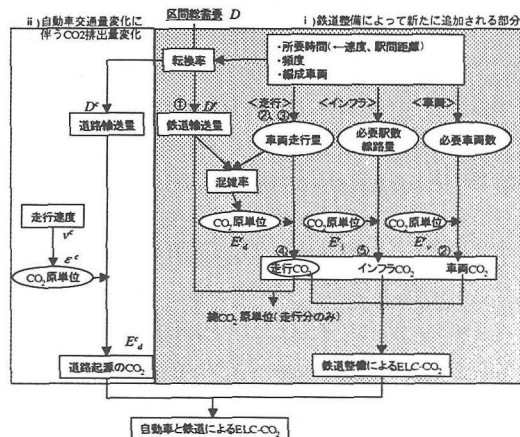
$$E_{\text{铁道整備}} - E_{\text{整備なし}} = E'_i + E'_u + E'_d - \Delta E_d^c \quad (1)$$

$E_{\text{整備なし}}$ と $E_{\text{鉄道整備}}$ は多くの要因によって変化するが、特に整備区間の（全交通機関の）総輸送需要 D に大きく影響され、図 1 に示すように変化すると考えられる。区間需要がほとんどない場合には、鉄道整備自体による CO_2 増加 ($E_i + E_v$) が非常に大きくなるため、 $E_{\text{鉄道整備}}$ が大きい。しかし、 D が増加すればするほど、鉄道が存在する場合は鉄道の輸送分担によって $E_{\text{鉄道整備}}$ の増加が小さくなる。そして、 D がある値を越えると両者の値は逆転する。このような D の値を求めることが、 CO_2 削減の観点から鉄道整備を評価するにあたって参考になる。

なお、(1) 式の定義では、道路インフラ建設段階や自動車製造段階の CO₂ 排出は含まれていない。これは、鉄道整備の際に道路の新設・改良を伴わないことや、周辺地域の自動車保有台数が変化しないことが仮定できる場合に成立する。また本研究では、鉄道供用後の道路混雑緩和や区間の利便性向上に伴う誘発交通が生じるケースは扱っていない。これが大きく見込まれる場合には、各交通機関の輸送量変化に組み込む必要がある。

本研究とはほぼ同様の考え方で、松橋ら³⁾は路面電車整備によるCO₂の変化をLCA的に評価している。しかし、この研究では幾つかの整備ケースについて試算を行っているものの、新規鉄道の需要や整備状況の違いを考慮可能な一般的定式化を行うには至っていない。本研究ではそれを可能とする方法を構築するものである。

4 ELC-CO₂推計モデルにおける想定と考え方

図1 区間総需要と ELC-CO₂との関係図2 ELC-CO₂推計のフローチャート

ELC-CO₂ の推計は、図 2 に示すフローチャートに従って行われる。基本的な考え方は、CO₂ 排出の原因となる各活動の量を推計し、それに CO₂ 排出量原単位を乗じて合計をとる積み上げ法である。ただし、各 CO₂ 排出量原単位には、既往のインフラ LCA 研究でも一般的に用いられている内包原単位を利用する。内包原単位とは、単に対象とする製品の製造時のみならず、製品の原材料や製造機械等の投入物による CO₂ 排出も含めた原単位のことである。これは産業連関表を用いて計算することができ、CO₂ に関してはデータ整備も進んでいる。本研究でも既整備の内包原単位データ⁴⁾を利用して推計を行う。

ある 2 地点間について、従来は交通手段が道路のみであり、交通需要 D がすべて道路を利用していたのが、鉄道整備後に鉄道に D' だけ転換したと仮定する。なお、乗客数は全断面・両方向で一定であると仮定し、誘発需要は生じないものとする。

建設される鉄道は、簡単のため、複線電化で勾配はなく、駅間距離はすべて等しいと仮定する。

鉄道が整備されない場合の ELC-CO₂ 推計は図 2 のハッチがかかっていない部分のみとなる。自動車の走行に伴う CO₂ 排出量は、総輸送需要（人ベース）を自動車 1 台あたり平均乗車人員（1.3 人を仮定）で除して台ベースに変換し、それに区間距離と CO₂ 排出量原単位を乗じて CO₂ 排出量を推計する。

一方、鉄道が整備されると輸送需要の一部が鉄道に転換するとともに、鉄道インフラや車両の建設・維持管理が発生するために、新たに図 2 のハッチの部分を推計する必要が出てくる。鉄道の場合問題となるのは、鉄道事業者が輸送力（運行頻度・編成両数・車両定員等）を決定するため、輸送需要から実際の鉄道運行キロや運行効率（混雑率）を直接決定できないという点である。本モデルでは、以下に説明するモデル化によって、これら輸送力を規定する変数を政策変数として与えることが可能となっている。

1)鉄道の運行本数・必要車両数の決定：これにあたっては交通需要が時間的に変動することを考慮する必要がある。そこで、全交通需要は 1 日のうち 6 時から 24 時までの間に発生すると仮定し、鉄道もその時間帯で運行されることを想定する。さらに時間帯を、7 時～9 時の朝ラッシュ時、17 時～20 時のタラッシュ時、およびそれ以外の平常時の 3 つに分けて考える（図 2①）。車両数は、需要が最も多い朝ラッシュ時における必要車両数から決定する。これにより、車両製造および維持管理に伴う CO₂ 排出量を推計できる。（図 2②）

また、需要の時間変動を考慮して時間帯別の混雑率を設定し、1 日の総運行本数（本研究では平行ダイヤを仮定）が決定できる（図 2③）。

2)鉄道運行による電力消費量の推計：さらに、需要（混雑率）の時間変動によって車両重量が変動し、電力消費量が変動する。これを積み上げる形で 1 日の総電力消費量が得られ、電力消費あたり CO₂ 排出量原単位を乗じることで、運行による CO₂ 排出量が求められる（図 2④）。この計算において、電力は鉄道車両の加速および定速走行時に消費されと考え、それぞれについて車両重量によって変化する必要牽引力から推計する。また、加速および定速走行の時間は、車両の加減速性能や駅間距離から求めること

ができる。以上の方法をとることによって、加減速性能や駅間距離、所要時間の設定が CO₂ 排出量に及ぼす影響を分析することも可能である。

3)鉄道インフラ整備量の決定：鉄道インフラ建設においては駅間距離や路線延長等から、駅数・線路量・車庫といったインフラの整備量が決定でき、そこから発生する CO₂ が推計される（図 2⑤）。

4)ライフタイムの設定：LCA においては対象のライフタイム（使用年数）の設定が必要である。本研究では鉄道のライフタイムとして駅や線路等のインフラ施設の耐用年数（60 年）を用いる。車両の耐用年数（20 年）はこれより短いため、60/20=3 回の車両更新を考慮する必要がある。

なお、2 地点間の鉄道整備を例とした推計モデルの具体的な定式化については、既報⁹⁾で詳細に示しているので、そちらを参照されたい。

4 モデルを用いた新規鉄道整備による ELC-CO₂ 変化の分析

本モデルにより、新規鉄道整備における以下の変数が検討可能である。

a)交通需要：区間総需要／鉄道への転換率／ピーク率

b)車両性能・仕様：耐用年数／加減速性能／定員

c)鉄道整備計画：駅間距離

d)運行計画：所要時間／頻度／混雑率

本論文では、ある区間（道路距離 8km）に並行して距離 6.2km、中間駅数 5 の地下鉄を建設した場合を想定し、区間総需要および鉄道への転換率に関する試算結果を示す。鉄道施設や車両の建設・維持管理費用、混雑率や運行頻度等については、名古屋市営地下鉄のデータを参考に設定している。

まず図 3 は、区間の総輸送需要が（全断面を通して）20 万人/(日・片道)あり、鉄道建設によってその 30%（6 万人/(日・片道)）が鉄道に転換する場合の、ELC-CO₂ 変化の試算結果である。建設しない場合（without）に比べ建設する場合（with）の方が、ライフタイムで約 12%削減されていることが分かる。鉄道施設や車両の建設・維持管理分を除いた場合（つまり自動車走行＋鉄道走行分のみ）には、削減率は約 23%となることを考えると、施設や車両起源の部分が無視できない値であることが分かる。なお、鉄

道整備した場合の鉄道起源の ELC-CO₂ は、全体の約 2 割を占めている。

次に図 4 は、対象区間の総輸送需要を 10 万人/日、20 万人/日、30 万人/日（いずれも片道）と変化させ、鉄道への転換率をいずれも 30%とした場合の ELC-CO₂ 増減を試算したものである。この結果から、1)総輸送需要が大きいくほど ELC-CO₂ の減少量が大きいこと、2)総需要輸送が小さい場合、鉄道整備による自動車走行 CO₂ の減少は鉄道起源 CO₂ の増加分と拮抗すること、3)鉄道起源分の中で大きいのは鉄道走行と鉄道インフラ建設による分であること、が分かる（なお、施設建設・維持管理分は、整備するインフラがいずれの場合も同じであるため変化しない）。

さらに図 5 は、区間総輸送需要と ELC-CO₂ 削減率との関係を、鉄道への転換率（10%、20%、30%、40%）ごとに試算したものである。これを見ると、1)区間需要が少ないと、転換率が大きくても ELC-CO₂ が削減されないことや、2)区間需要が増加するにつれ削減率は増加するものの、しだいに頭打ちになる傾向があることが分かる。なおこの結果から、ELC-CO₂ 削減率がゼロとなる鉄道輸送量は、25,000～30,000 人/日・片道程度であることが分かる。日本の 3 大都市圏の地下鉄では大部分がこの値を上回っているものの、一部路線や末端区間では下回るところもある。

5 まとめ

本研究では、新規鉄道整備に伴う CO₂ 排出量変化の評価を、従来の LCA における評価範囲を拡張した ELCEL（走行+車両+インフラ）で行うためのモデルを構築した。検討可能な変数の大多数は計画段階で予測・想定されるものであり、さまざまな側面からの分析が可能となっている。

モデルによる区間需要や鉄道への転換率に関する分析の結果、鉄道整備による ELC-CO₂ 減少は鉄道の走行やインフラ建設によって相殺され、その量は無視できないことが分かった。また、地下鉄整備の場合、ELC-CO₂ が減少するためにはおおむね 30,000 人/日・片道以上が鉄道に転換することが必要であると推計された。

今後は、地上鉄道や新幹線、新交通システム等により本研究のモデルを適用し、これらの整備に伴う CO₂

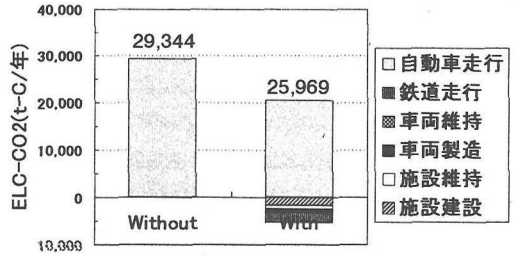


図 3 鉄道整備前後での ELC-CO₂ 変化の試算結果
(区間総需要 20 万人/日、鉄道への転換率 30%)

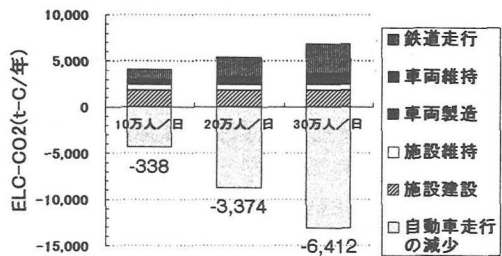


図 4 鉄道整備前後での ELC-CO₂ 増減とその内訳
(鉄道への転換率 30%)

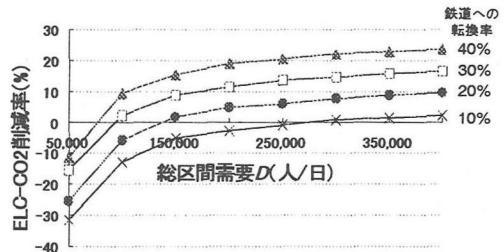


図 5 区間総需要・鉄道への転換率と
ELC-CO₂ 削減率との関係

削減効果の定量的評価を行う予定である。

参考文献

- 1) 加藤：交通整備による環境インパクト計測手法としてのライフ・サイクル・アセスメント、交通工学 Vol.33 No.3, pp.81-86, 1998.
- 2) 中村・加藤・丸田・二村：都市間高速道路の横断面構成の相違による CO₂ 排出量のライフサイクル評価、環境システム研究 No.26, pp.261-270, 1998.
- 3) 松橋・森口・近藤：都市内交通手段としての路面電車に関するライフサイクル評価、第 14 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.67-72, 1998.
- 4) 近藤・森口：産業連関表による二酸化炭素排出原単位、国立環境研究所地球環境研究センターレポート, 1997.
- 5) 加藤・大浦：ライフ・サイクル・アセスメントの考え方に基づく新規鉄道整備による環境負荷変化の評価手法の開発、鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp.609-612, 1998.