

# 交通カーボンフットプリントのための鉄道CO<sub>2</sub>排出量原単位の整備\*

## CO<sub>2</sub> Emission Factor of Railways for Carbon Footprint of Transportation Systems\*

伊藤友佳\*\*・柴原尚希\*\*\*・加藤博和\*\*\*\*・森本涼子\*\*\*\*\*

By Yuka ITO\*\*・Naoki SHIBAHARA\*\*\*・Hirokazu KATO\*\*\*\*・Ryoko MORIMOTO\*\*\*\*\*

### 1. はじめに

近年、CO<sub>2</sub>排出量削減のための様々な方策が提案される中で、カーボンフットプリントのような、製品やサービスのCO<sub>2</sub>排出量を計測し表示するラベリングの取組みが増加している。何もしなければ実感できないCO<sub>2</sub>排出を「見える化」することで、企業、消費者双方がCO<sub>2</sub>排出削減を考えるための基礎情報を提供するような取組みは重要であり、今後も拡大していくであろう。

交通分野においてもこのような取組みは例外ではない。人kmあたりのCO<sub>2</sub>排出量を具体的にラベリングし、地球にやさしい交通機関であるというPRに使用されている例は多い。モビリティ・マネジメントにおいても、ラベリングが根拠に用いられている。しかし、ここで使用されるCO<sub>2</sub>排出量は国土交通省が提示する全国平均値<sup>1)</sup>を利用したものが多く、輸送効率などの個々の路線状況によりCO<sub>2</sub>排出量は異なるため、平均値による提示が妥当であるとは一概には言えない点が問題である。交通分野に限らずCO<sub>2</sub>排出量のラベリングを行う場合には、個々の製品・サービス(交通の場合は路線や区間・ODなど)の状況に即したCO<sub>2</sub>排出量値を算定し、提示すべきである。そのためには、CO<sub>2</sub>排出量算定に使用できるツールの整備が必要であり、特に簡便な実用法としては、単位移動量あたりのCO<sub>2</sub>排出量原単位を整備しておくことが必要である。

本研究では、鉄道のCO<sub>2</sub>排出量原単位(以下、「原単位」と略す)の整備を行う。鉄道のCO<sub>2</sub>排出量には、地域特性や乗客数、運行状況などが大きな影響を及ぼすことから、それらに対応できる原単位の算出を試みる。さらに、この結果をふまえ、実データが得られない場合の原単位の簡易推計方法を提案する。

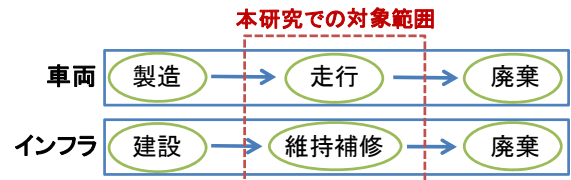


図-1 鉄道による環境負荷発生システムの境界

### 2. 鉄道の原単位に関する留意点

#### (1)システム境界の設定

まず、Life Cycle Assessment(LCA)の考え方にに基づき、鉄道による環境負荷発生システムの境界を検討する。図-1に示すように、鉄道のライフサイクルは、建設・供用・廃棄の3つのライフステージで構成される。本研究ではそのうち供用のステージとして、鉄道車両の走行とインフラの維持補修を考慮する。建設・廃棄については、その環境負荷排出量を、原単位として人kmあたりに配分する必要があるが、そのためには生涯の総人kmを求めるために供用期間(ライフタイム)を設定しなければならない。鉄道システムのような、寿命が不定のものはライフタイムの設定が困難であり、恣意性のおそれがあることから、本研究では考慮しない。ただし、建設に関しては、著者らはすでに原単位を整備しており<sup>2)</sup>、ライフタイムの設定ができれば、含めることは可能である。

#### (2)鉄道車両走行時のCO<sub>2</sub>排出

鉄道車両走行時の原単位には、大きく分けて、1)国土交通省が提示した全国平均値<sup>1)</sup>、2)統計書等の既存データから算出したもの、3)シミュレーションを行い算出したもの、の3つがある。このうち、1)国土交通省の値は、一般に広く用いられているが、使用電気・燃料の違いを考慮せず、全国の旅客鉄道のエネルギー量を輸送人kmで除するという単純な方法で算出されたものである。目的に応じて算出方法を選択する必要があるが、データ制約やシミュレーションモデル構築の技術面などの問題から、容易に使用可能な国土交通省の原単位を用いることも少なくない。しかし、本来ならば原単位は、都市と地方の違いや、動力の違いなど、鉄道会社、路線、使用車

\*キーワード：地球環境問題, LCA

\*\*学(工), 名古屋大学大学院環境学研究科 博士前期課程  
(〒464-8603 名古屋市千種区不老町 C1-2(651))

E-mail : y.ito@urban.env.nagoya-u.ac.jp

TEL : 052-789-2773, FAX : 052-789-1454

\*\*\*正会員, 博(環境), 名古屋大学大学院環境学研究科 助教

\*\*\*\*正会員, 博(工), 名古屋大学大学院環境学研究科 准教授

\*\*\*\*\*学生会員, 修(環境), 名古屋大学大学院環境学研究科  
研究生

両により変化する要因がそれぞれ考慮されたものを用いるべきである。これは地域特性などにより異なる鉄道・路線ごとの運行状態や車両、または時間帯によって増減する乗車人数が影響を及ぼすためである。

そこで、次章において鉄道・路線別、および時間帯別の原単位の整備を行う。

### 3. 路線・時間帯別原単位の算出

#### (1) 鉄道・路線別の原単位

鉄道の原単位は、主に使用する電力の地域特性や車両性能、1両あたりの乗車人数に影響を受ける。そこで、平成19年度鉄道統計年報<sup>3)</sup>のデータを用い、各鉄道の運行に伴う電力および軽油使用量に各環境負荷原単位を乗じ、各鉄道・路線に配分する。インフラの維持補修の原単位は、狩野ら<sup>2)</sup>より用いる。算出式を式(1)に示す。

$$E_r = \frac{E}{P_l} \cdot e + \sum_i \frac{V_i}{P_l} \cdot e_i \quad (1)$$

$E_r$  : 各路線の人kmあたり原単位[g-CO<sub>2</sub>/人km]

$E$  : 各路線で使用された電力量[kwh]／軽油量[l]

$P_l$  : 各路線の人km[人km]

$V_i$  : 各路線の車両km[車両km]

$e$  : 電力の原単位[kg-CO<sub>2</sub>/kwh]／  
軽油の原単位[kg-CO<sub>2</sub>/l]

$e_i$  : 各インフラの維持補修(レール、架線、パンタ  
シユール、ブレーキシユール、車輪)の原単位[g-  
CO<sub>2</sub>/車両km]

算出に用いた電力および軽油の使用に伴う原単位は環境省<sup>4),5)</sup>の値を使用する。電力使用時のCO<sub>2</sub>排出量原単位については、各地域の電力会社の値を使用し、運行時の使用電力量および軽油量が把握できない場合は路線の車両kmに合わせ按分した。

まず図-2に、各路線分類別の原単位推計結果を示す。全国平均値の算出の際に、上記の運行とインフラの維持補修を対象とした原単位と、運行のみの原単位を比較すると、ほとんど差はなく、維持補修の影響は小さいことが明らかになった。また、全国平均値でJR各社、観光鉄道を除く全路線の平均値は21.9[g-CO<sub>2</sub>/人km]であり、国土交通省が提示した19.0[g-CO<sub>2</sub>/人km]とほぼ同じ値となった。この誤差は、式(1)で算出した全国平均値は地域ごとの電力CO<sub>2</sub>排出原単位を使用するなど詳細に算出しているためである。

一方、都市鉄道と地方鉄道に分類し平均値を算出したところ、地方鉄道の原単位は都市鉄道と比較して約3.5倍となった。これは、乗車人数の差が大きな要因と考えられる。また、電化鉄道路線は非電化鉄道路線の約

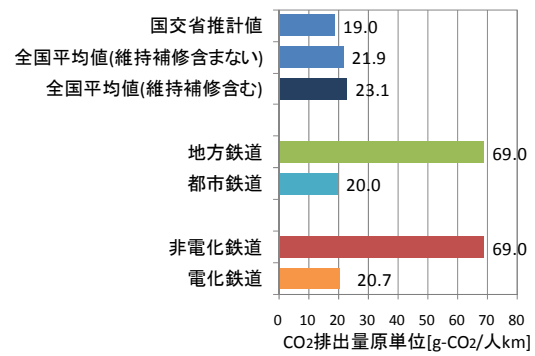


図-2 分類別の平均原単位

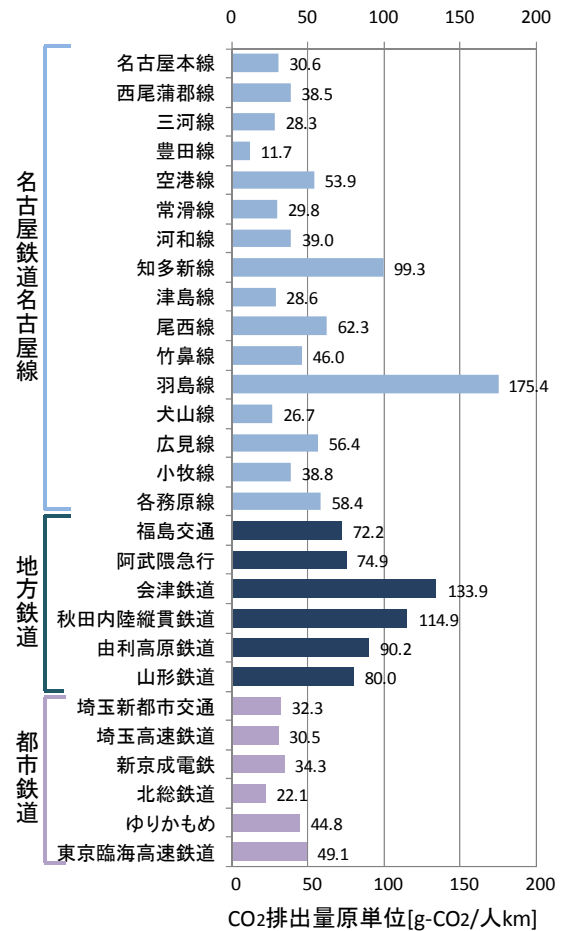


図-3 鉄道・路線別のCO<sub>2</sub>排出量原単位

3.2倍の値となった。これは、電化路線で使用する電力と非電化路線で使用する軽油の原単位の差によるものである。以上から、国土交通省の提示する原単位は都市部の電化鉄道のみであれば使用しても差が少ない。

次に、鉄道・路線別の原単位の算出結果の一例を図-3に示す。名古屋鉄道名古屋線の路線の中でも路線ごとに原単位の値は大きく異なり、最大で15倍の差となっている。また、平成19年度鉄道統計年報<sup>3)</sup>の機能別分類に基づく、地方鉄道と都市鉄道とで大きな差があることが読み取れる。このように、鉄道・路線の特徴によって原単位は大きく変化する。

## (2) 時間帯別の原単位

まず、各乗客に配分されるCO<sub>2</sub>排出量が最も小さくなると思われる最混雑時について、その1時間の1駅間データ<sup>9</sup>を用いて(1)と同様の方法で原単位を算出し、(1)で求めた1日の平均値である鉄道・路線の原単位との差異を把握する。結果と各鉄道・路線との比較の一例を図-4に示す。最混雑時の原単位は1日平均の原単位の1/2～1/5になることが見て取れる。つまり、時間帯によって原単位の値が大きく変わることが確認できる。

CO<sub>2</sub>排出量算出時に任意の乗車時刻を考慮したい場合には、各鉄道・路線別の原単位を把握した上で時間帯の要素を組み込む必要がある。それにあたっては、時間帯別の乗降者数が必要であるが、一般に公開されていないなどのデータ制約がある。

ここでは、データを手入できる西武鉄道池袋線の時間帯別の乗降者数<sup>7</sup>を代表的な変動の傾向とし、1)1日の乗降者数に占める各時間帯の乗降者数の割合を用い、CO<sub>2</sub>排出量を各時間帯に配分する方法、2)1日の車両kmに占める各時間帯の車両kmの割合を用い、車両の混雑率を考慮しCO<sub>2</sub>排出量を各時間帯に配分する方法、の2種類で時間帯別原単位を概算する。ただし、乗車人数の変化による車体の重さが燃料効率に影響を与えることはないとし、1日の車両kmは平成19年度鉄道統計年報の値を日平均して使用している。

時間帯別の原単位を算出した結果を図-5に示す。この路線の日平均の原単位である19.6[g-CO<sub>2</sub>/人km]より小さい値になるのは、通勤・通学時間にあたる7:00～9:00、16:00～20:00および終電間のみであり、1日の多くは日平均の原単位より大きいことがわかる。なお、ここで採用した時間帯による乗降者数の割合は、乗降者数の混雑時が通勤・通学時の朝と夕、閑散時が昼間というように変動しており、例えば観光客の移動を主とする鉄道路線の場合には傾向が異なるものと考えられる。

## 4. 原単位の簡易推計方法

前章までの、路線や時間帯の違いを考慮した原単位の推計では、必要となるデータが多く、それが得られない場合には、推計に仮定を多く含む必要が生じるため、正確かつ容易に原単位を算出することは困難な場合がある。そこで、入手が比較的容易な数値を用いて、鉄道・路線や時間帯に関わらず、その状況に応じた原単位を算出することが可能な推計方法を提案する。特に原単位を決定づけるのは乗車率であり、1両に多く人が乗れば乗るほど、原単位は小さくなる。この特徴を考慮した、原単位を求める式の考え方を式(2)に示す。

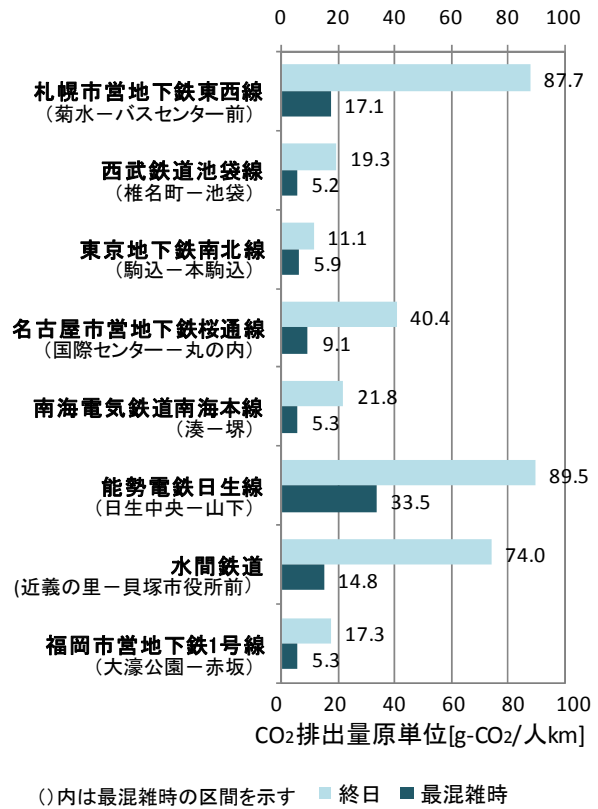


図-4 各鉄道路線と最混雑時のCO<sub>2</sub>排出量原単位の比較

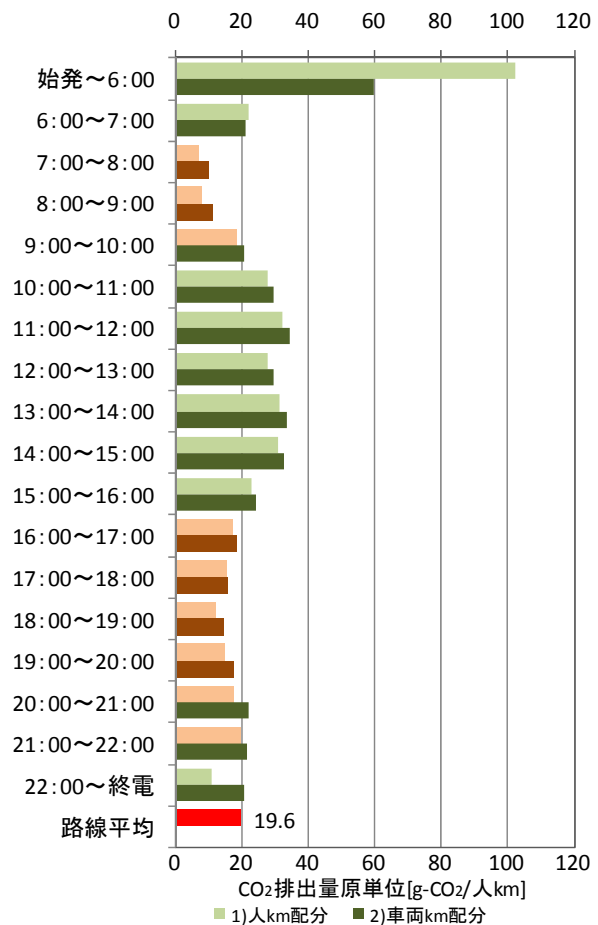


図-5 西武鉄道池袋線の時間帯別CO<sub>2</sub>排出原単位

$$\begin{aligned}
 E_r &= \frac{E_l}{P_l} \cdot e_e + \sum_i \frac{V_l}{P_l} \cdot e_i \\
 &= \frac{E_l}{V_l} \cdot \frac{V_l}{P_l} \cdot e_e + \sum_i \frac{V_l}{P_l} \cdot e_i \\
 &= \frac{E_l}{V_l} \cdot \frac{1}{\underline{P}} \cdot e_e + \sum_i \frac{V_l}{P_l} \cdot e_i
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

┌───┐ ┌───┐  
定数 変数      微小

$V_l$ : 各路線の車両km[車両km]  
 $P$ : 1編成あたりの乗車人数[人]  
 $n$ : 1編成あたりの車両数[両]

定数の部分は車両kmあたりの電力・軽油消費量を表しており、平成19年度鉄道統計年報<sup>3)</sup>より算出する。その相関関係を図-6に示す。グラフの傾きがこの定数にあたる。また、インフラ維持補修の部分は非常に小さい値となるため省略する。以上により、鉄道の原単位は式(3)で表現できる。

$$E_r = \begin{cases} 2.69 \cdot \frac{1}{x} \cdot e_e & (\text{電気使用}) \\ 0.613 \cdot \frac{1}{x} \cdot e_{lo} & (\text{軽油使用}) \end{cases}
 \tag{3}$$

$$x = \frac{P}{n}$$

式(3)を用いた場合の鉄道の原単位の変化を図-7に示す。国土交通省が提示する自家用乗用車のCO<sub>2</sub>排出原単位は173[g-CO<sub>2</sub>/人km]であり、鉄道に1車両あたり9人以上乗車する場合、自動車よりもCO<sub>2</sub>排出量が少ないといえる。この式を用いるのに必要となるデータは車両の種類と輸送人員のみである。いずれも実データの入手は容易であり、データ制約がある場合でも利用が可能である。ただし、係数および各原単位の部分は車両の種類やエネルギー技術のレベルで変化するため注意が必要である。

## 5. おわりに

本研究では、鉄道のCO<sub>2</sub>排出量原単位に関して、本来であれば考慮されるべき決定要因について整理し、それらを考慮できる原単位の整備を行った。その結果、各鉄道・路線ごとに原単位は大きな差があることを明らかにし、計算時にはその鉄道路線の特徴を考慮した原単位を使用することが望ましいことを示した。その上で、入手が容易であるデータを用いて簡易的に原単位を推計する方法を提案した。

鉄道のCO<sub>2</sub>排出量を推計する際には、目的に応じた原

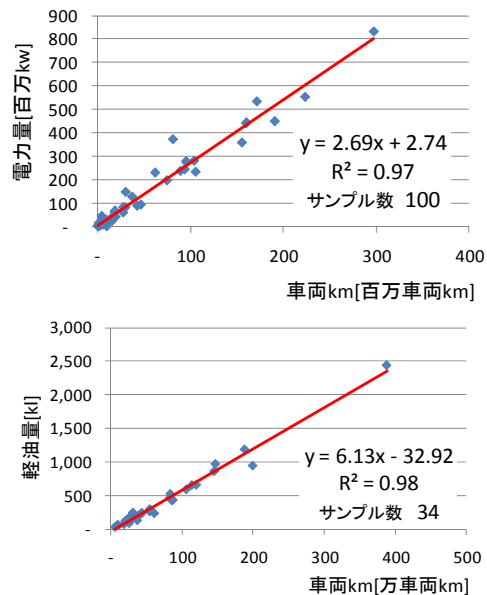


図-6 電力・軽油と車両 km の相関関係

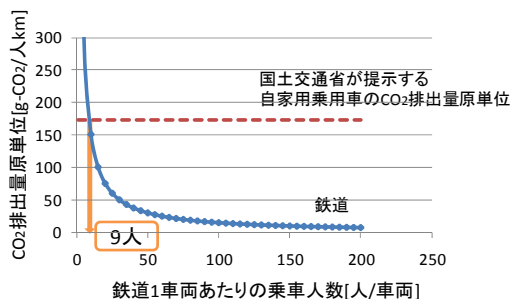


図-7 鉄道の CO<sub>2</sub> 排出量原単位の変化

単位の選択が必要である。各鉄道路線のCO<sub>2</sub>排出量をラベリングするためには3章(1)で示した各路線の原単位を、各時間帯のCO<sub>2</sub>排出量をラベリングするには3章(2)で示した方法を使用することが望ましい。また、データ制約がある場合には4章の簡易推計式を用いることで原単位を概算することが可能である。

### 参考文献

- 1) 交通エコロジー・モビリティ財団：「運輸・交通と環境2007年版」, p.13, 2007.
- 2) 狩野ら：「鉄道整備におけるLCAの原単位」, pp.203-208, 2004.
- 3) 国土交通省鉄道局：「平成19年度鉄道統計年報」, CD-ROM, 2007.
- 4) 環境省：「電気事業者別のCO<sub>2</sub>排出係数(2008年度実績)」, 環境省HP, 2009.
- 5) 環境省：「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」, 環境省HP, 2010.
- 6) 運輸政策研究機構：「数字でみる鉄道2008」, pp.30-34, 2008.
- 7) 小平市：「平成20年版統計資料：交通・通信」, 小平市HP, 2008.