

3213 鉄道における環境負荷定量化の試み

正 [機] ○大野 寛之 (交通安全環境研究所)

正 [電] 水間 毅 (交通安全環境研究所)

正 [機] 林田 守正 (交通安全環境研究所)

日岐 喜治 (交通安全環境研究所)

正 [土] 千島 美智男 (交通安全環境研究所)

Study on Environmental Load Analysis of Railway System

Hiroyuki OHNO, National Traffic Safety & Environment Laboratory (NTSEL), 7-42-27, Jindaiji-Higashimachi, Chofu City

Takeshi MIZUMA, Morimasa HAYASHIDA, Yoshiharu HIKI, Michio CHISHIMA, NTSEL

It is said that railway is an energy saving transportation system in comparison with other transportation systems. On the other side, several new automobile systems - for examples, hybrid automobile, electric car and fuel cell automobile - are developing for energy saving. In these circumstances, establishment of a unified index for evaluating environmental load is expected. Therefore, we investigated several running energies by our proposed running pattern on actual railway lines for several railway vehicles and tried to estimate the environmental load of railway.

Keywords:: Railway, Environmental load, Energy consumption, Assessment index

1. はじめに

二酸化炭素 (CO₂) を中心とする温室効果ガスが地球環境へ影響を及ぼしていることはほぼ確定的となり¹⁾, その削減は世界的な急務となっている。2008 年からは「京都議定書」に定められた温室効果ガス排出削減の約束期間に入っており、CO₂ 排出削減は国際公約実現のための急務となっている。

我が国の CO₂ 排出量の内、約 2 割が運輸部門からの排出であり、そのおよそ半分が自家用自動車からの排出と見られている²⁾。一方で、鉄道をはじめとする公共交通機関は自家用車と比べて CO₂ 排出量は少なく (Fig.1), 自家用交通から公共交通へのモーダルシフトが CO₂ 排出削減に役立つものと考えられている。

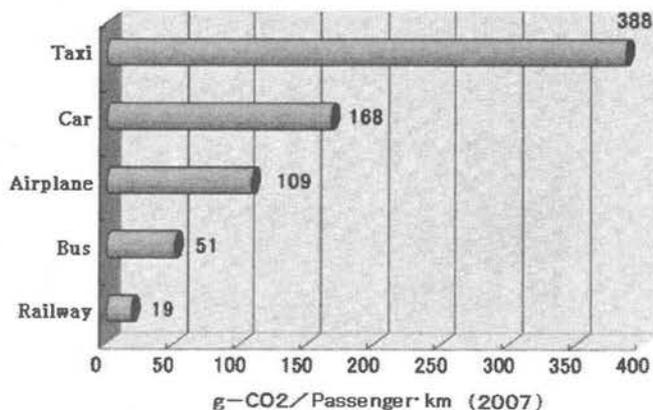


Fig.1 CO₂ from Passenger Transportation²⁾

その一方で、ハイブリッドカーや電気自動車のような低排出ガスの自家用自動車次々と開発され市場に投入されてきている。また、地方の鉄道路線では乗客数の減

少が続いており、重量の大きなディーゼルカーにほとんど乗客がいない状況ではかえって環境に悪いのではないかという意見もある。

こうした様々な議論がある中、本稿では鉄道の環境負荷を客観的に評価する手法を検討することとして、鉄道の走行エネルギーを測定し、得られたデータより鉄道の環境負荷に関する定量的な指標を考察することとした。

2. 交通システムの環境負荷に関する指標

2.1 自動車における指標

自動車については主にエネルギー消費の観点から燃料消費率が用いられている。乗用車等の小型車両については Fig.2 に示すようにシャシダイナモメータ上で所定の運転モードで走行することにより評価される。またバスやトラックのようにシャシダイナモメータによる試験が困難な重量車についてはエンジン単体でのモード試験とシミュレーションとにより評価を行う。



Fig.2 Test on Chassis Dynamometer

燃費性能をシャシダイナモータ上で測定する際の運転モードは、10・15モード (Fig.3 上) が用いられており、測定条件は以下の通り定められている。

- ・ 3,000km 慣らし走行後の車両
- ・ 完全暖機状態 60km/h 15分暖機後モード測定
- ・ 走行抵抗設定 車両重量+110kg (2名乗車分)
- ・ 搭載電気機器 OFF 状態 ・ エアコン OFF

10・15モードのような折線形のような速度パターンによる評価では、カタログ数値と実際の使用下での数字の差が大きいと言われていることから、平成23年度からはより実際の走行に近いJC08モード (Fig.3 下) に変更されることが定められている。JC08モードの測定条件は、コールドスタートで最高速度は80km/hにする他、加速速のパターンも実走行を模したものとなり、より実走行パターンに近い測定法とされている。

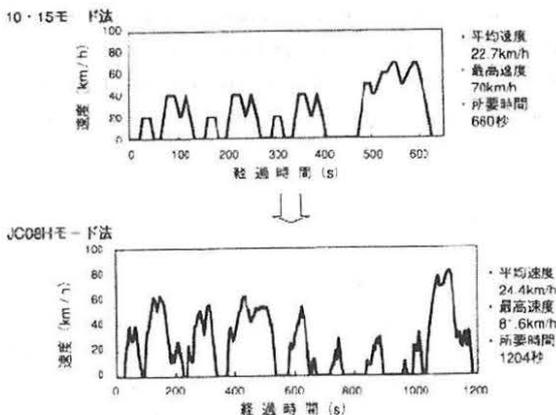


Fig.3 Driving Pattern for Chassis Dynamometer Test

2.2 各種交通システムの環境負荷指標

自動車においては燃料消費率の測定方法が確立している。しかし、自動車以外の交通モードでは鉄道も含めて統一的な環境指標となしうるものは存在していない。

船舶においては現在、日本発の国際基準の提案として「海の10モード」と名付けた環境指標を、国際海事機関 (IMO) に提出する検討を始めている³⁾。これは運行状態での船の燃費、省エネ性能を設計段階で評価できる指標として、1tの貨物を1mile運搬する際のCO₂排出量を用いるものである。

航空機では座席数が旅客定員であることから、1座席1mile当たりの燃料消費量 (ガロン) を指標としてカタログ等に掲載している。しかし、これは自動車のモード運転のような定められた方法により計測された値ではなく、統一的な基準とはなっていない。

様々な種類の交通モードについて環境負荷を比較するには、何らかの共通的な指標を設ける必要がある。地球温暖化が喫緊の課題である今日では、旅客輸送の人・km当たり、あるいは貨物の輸送t・km当たりのCO₂排出量を比較することが最も妥当なものだと考えられる。

2.3 鉄道の環境負荷指標

鉄道における環境負荷を上記のようなCO₂排出量で議論する場合、電気鉄道とディーゼル鉄道では計算方法が異なることに留意する必要がある。

Fig.4に示すように、電気鉄道の場合は一次エネルギーを電力に変換した上で走行に用いている。発電に用いる一次エネルギー源は原油以外にも、石炭、天然ガス、原子力、

さらには水力等の自然エネルギーも含め様々な形態が用いられている。そのため走行に伴うCO₂排出量を算出するには、車両が走行する際に消費した電力量を求めた後、その電力を供給する電力会社のCO₂排出係数 (kg-CO₂/kWh) を掛けて求める必要がある。したがって、電気鉄道の場合はその地域における電力会社の発電方式の構成に大きく影響を受ける。例えば、平成19年度における各社のCO₂排出係数で、最小は0.366 (kg-CO₂/kWh: 関西電力) で、最大は0.677 (kg-CO₂/kWh: 中国電力) と、1.8倍程度の開きがある。すなわち、電気鉄道では消費電力量自体が同じであっても、地域によって1.8倍の差となる可能性がある。

それに対しディーゼル鉄道では、バスと同様に車両が走行する際に消費した軽油量を求めた後、軽油のCO₂排出係数 (2,620g-CO₂/l) を掛けて求めれば良い。

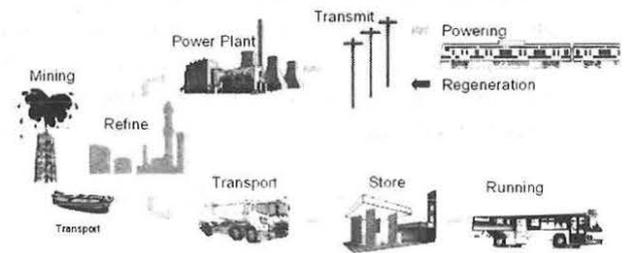


Fig.4 Energy Flow of Transportation Systems

3. 鉄道における環境負荷測定

3.1 測定方法

各種交通システムの環境負荷の比較として Fig.1 に示されているようなデータは統計的なデータで、個別の事業者のデータをまとめて得られたものである。しかし、同じ事業者においても様々な制御方式の車両があり、また、走行線区によっても環境負荷は大きく異なる。

したがって、鉄道の環境負荷を統一的な走行方法によって得ることができれば、自動車で示されているような燃費表示が可能となり、鉄道の標準負荷と言ったものが示される可能性がある。

そこで我々は、標準的な走行パターン (Fig.5) を想定して実車両による走行を行い、その電力量 (または軽油消費量) を測定することにより、鉄道車両の標準的な環境負荷を評価することとした。

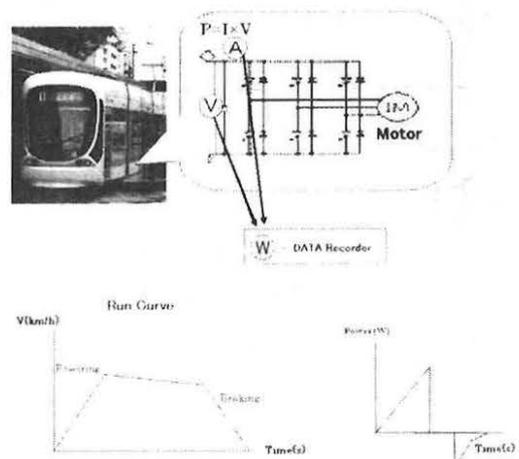


Fig.5 Measuring Method and Running Pattern

測定に当たっては条件を統一することが望ましいが、我が国には鉄道車両の走行試験を行う実験線がないため実路線を用いる他はなく、線路条件や列車の運用条件の実情に合わせて以下に示す方法により測定を行った。

- a) 全線または一部区間を試運転列車(空車)で走行し、全走行距離における車両(ユニット単位)での消費電力量を測定した。測定項目は、架線電圧、主回路電流と補機電流である。空調はOFFを基本とした。
- b) 乗客の重量も含めた車両重量が既知の列車の走行において、平均的な駅間(都市内ならば1km程度、都市間ならば5km以上)で平坦な区間を通常の運転(加速、惰行、場合によっては再力行、ブレーキ)で走行した場合の消費電力量を測定した。空調、照明はONである。
- c) 事業者の有しているデータから、比消費電力量を算定する。正確な電力消費量、乗車人数は把握できないため、1人当たりの環境負荷を算定する時は推定が入る。

3.2 鉄道のエネルギー消費量測定結果

① 都市内交通システム

都市内交通システムの平均的な駅間距離は1km以内であり、その間の最適な省エネルギー走行は、最大加速→惰行→最大減速であることが知られている。したがって、そのような条件での走行が可能な線区・車両において走行を行い、電力消費量測定を行った。

Fig.6 に各種都市内交通システムで測定した走行消費電力量について、車両性能を評価するための指標として適していると考えられる Wh/t・km で比較した結果を示す。普通鉄道の消費電力が最も小さな値となっているが、これは他のシステムと比べ惰行区間を長く取れることが影響しているものと考えられる。一方、同じ鉄輪-鉄レールとで走行する路面電車や LRV が普通鉄道や地下鉄と比べて消費電力量が多くなっているが、この原因は短い編成に様々な機器類を搭載するために重量効率が悪くなることと、惰行区間を長く取れないことが原因だと考えられる。

また、Fig.7 は Fig.6 で与えられた電力消費量原単位(Wh/t・km)に、空車重量と定員乗車重量の合計値をかけて求めた乗客込みの消費電力量を乗車定員で除して求めた値である。

これによると、乗車定員が多く大量輸送が可能な地下鉄、都市内民鉄ほど消費電力量が小さいことがわかる。

② 都市近郊交通システム

都市近郊交通システムの場合は、駅間距離が1km～数kmと幅広いので、最適な走行パターンは一意に決まらないが、惰行区間を多く取る走行方法で消費電力量を測定した。その結果を Fig.8, Fig.9 に示す。

都市近郊交通においても、鉄輪-鉄レールのシステムの電力消費量の小ささが確認される。とりわけ惰行区間を長くとることのできる急行運転での効率の良さが際立ち、乗車定員が大きいことと併せて単位輸送量当たりの電力消費量を小さく抑える結果をもたらしている。

ゴムタイヤで走行するモノレールは普通鉄道と比べて電力消費量が大きくなっているが、モノレールは普通鉄道では走行困難な勾配区間を走行できる特性を持っており、実際にそのような丘陵地帯に適用されていることから、エネルギー効率だけを以て評価することは適切ではなく、路線の特性も含めた形で総合的な評価を行うことが望まれる。

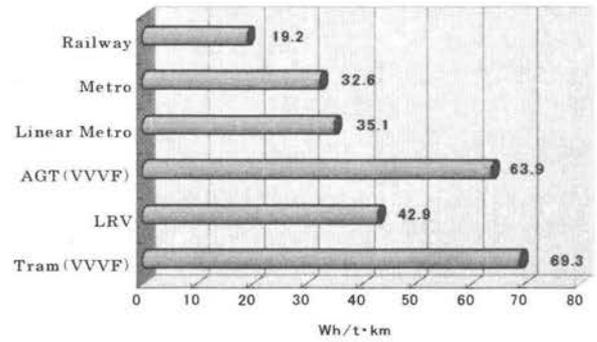


Fig.6 Energy Consumption of Urban Transportation Systems (Wh/t・km)

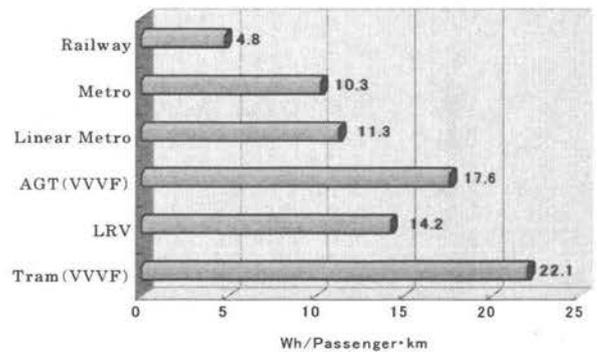


Fig.7 Energy Consumption of Urban Transportation Systems (Wh/Passenger・km)

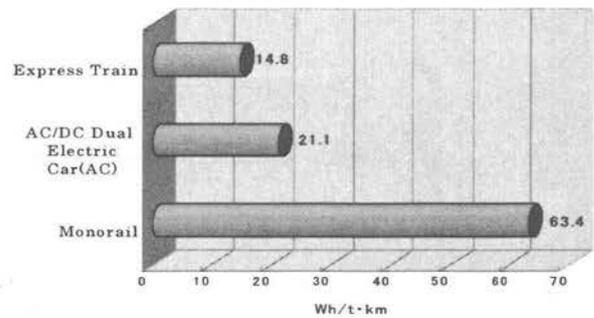


Fig.8 Energy Consumption of Sub-Urban Transportation Systems (Wh/t・km)

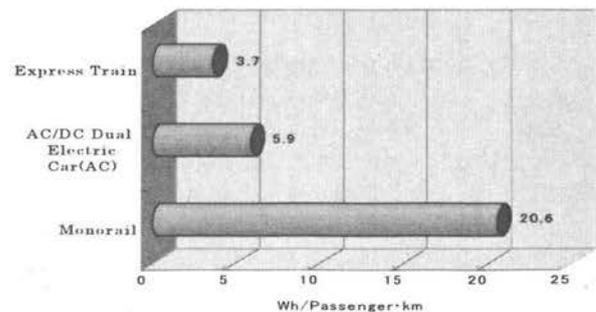


Fig.9 Energy Consumption of Sub-Urban Transportation Systems (Wh/Passenger・km)

4. 鉄道の環境負荷の評価

前節で示した走行に係る電力消費量に当該電力を供給する電力会社の二酸化炭素排出係数を掛けることにより、二酸化炭素排出量が求められ、他の交通システムとの間で環境負荷の比較が可能となる。

Fig.10 に、都市内交通において定員乗車を仮定した場合の1人・1km当たりのCO₂排出量を、都市内を走行しているバスのデータと比較した結果を示す。都市内交通では、鉄道の環境負荷がバスに比べて圧倒的に小さいことが確認される。

Fig.11には都市近郊交通および地方交通で主に使われているディーゼル列車におけるCO₂排出量を示す。近郊交通では、モノレール、交直流電車、都市優等列車のようなシステムの環境負荷は小さいものの、地方路線を走行しているディーゼル車両では、標準走行、定員乗車を仮定しても、同様な地域を走行しているバスのデータとほぼ同程度となっていることがわかる。

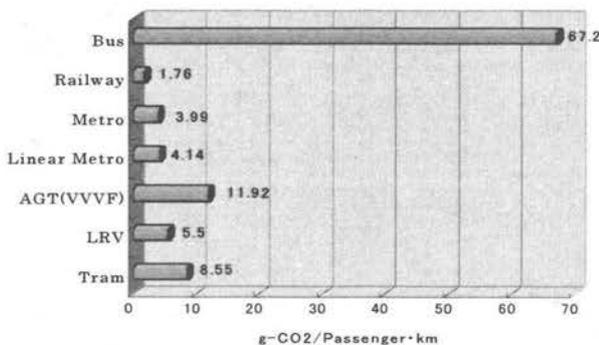


Fig.10 CO₂ from Urban Transportation Systems

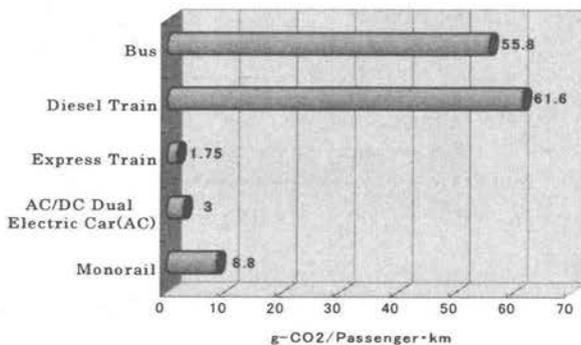


Fig.11 CO₂ from Sub-Urban Transportation Systems

5. システム選択のための環境負荷評価指標の提案

旅客数の少ない地方鉄道等において、鉄道を存続するかバスに置き換えるかという議論が起きた際に、一つの指標として環境負荷を比較することが考えられる。例えば、鉄道で得られた比燃料消費量と乗車人数が既知のディーゼル自動車、バスの実測で得られているデータ（1人1km走行させるのに必要な燃料）を比較して、鉄道車両に何人以上乗車すれば、1人あたりの燃料が同程度となるかを計算する。本報ではこれを「省エネ係数」と定義し、地方鉄道においてディーゼル車とバスや自動車との環境比較を行う。

例えば、地方鉄道（ディーゼル車）と自動車（ディーゼル）を比較する場合は以下のような計算となる。

（計算例）

・自動車：2人乗車で、平均燃費が15km/lとする。

1人を1km走行させるのに必要な軽油量：

$$33\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{km}\dots\dots(1)$$

・気動車：走行燃費（測定結果）16.00 m³/t·km
空車重量 27.5t

X人乗車した場合の、1人を1km走行させるのに必要な軽油量（ただし、人1人を60kgとする）

$$16.00 \times (27.5 + 0.06 \times X) / X \quad (2)$$

鉄道が省エネとなる分岐点

$$(2) < (1)$$

これにより、

$$X > 13.7 \text{ (人)} \text{ となる。}$$

ここで、省エネ係数14と定義する。

同様に、バスとの比較を行った結果も含めたディーゼル鉄道の省エネ係数をTable 1に示す。ディーゼル鉄道は地方バスに対して、22人以上乗車しないと省エネルギーとはならないが、市内中心部を走るバスに対しては18人以上乗車すれば省エネルギーとなる結果が得られた。これは、地方バスでは渋滞も少なく、1人当たりの燃費が鉄道に近くなるためであり、鉄道としての省エネルギー特性を発揮するためには、ある程度の人数が乗車しなければならないことを定量的に示しているものである。ただし、この例で示した鉄道車両の場合は定員が125名であるので、省エネルギーを達成する乗車人数には十分な余裕がある。逆に、ピーク時であっても乗車人数が22人に満たないような場合には、バスへの転換を議論する必要があると言える。

Table 1 Sample of Energy Saving Index

比較対象	対自動車 (33m ³ /人·km)	対地方バス (21.3m ³ /人·km)	対市内バス (25.6m ³ /人·km)
ディーゼル車	14	22	18

6. おわりに

以上、鉄道の環境負荷を測定し、それを評価する指標について検討した。大都市内および近郊区間を走行する鉄道システムは、環境負荷が非常に小さいことが確認された。しかし、地方鉄道では単なる走行エネルギー量で見ただけでは、環境負荷が小さいとは限らない。

今後、鉄道の環境負荷を議論する場合には、自動車やバスの分野で実施されている燃費（10・15モード、JC08モード等）測定法のような標準的な測定法を検討する必要があると思われる。測定法の標準化を考えるに当たり、特に電気鉄道の場合は再生エネルギーの取扱いについても検討が必要になるものと考えられる。

参考文献

- 1) 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第4次評価報告書, 2007
- 2) 国土交通省ホームページ (<http://www.mlit.go.jp/>), 2009年公表資料。
- 3) 独立行政法人 海上技術安全研究所ホームページ (<http://www.nmri.go.jp/>)