

LCAを用いた地域間高速鉄道整備代替案の環境効率比較*

Life Cycle Assessment of an Alternative Inter-regional High-speed Railway Projects by an Eco-Efficiency Index*

柴原 尚希**・加藤 博和***・渡辺 由紀子****

By Naoki SHIBAHARA**・Hirokazu KATO***・Yukiko Watanabe****

1. はじめに

地球温暖化防止のための対応は、CO₂排出量シェアが増加傾向にある運輸交通分野においてとりわけ重要である。従来、交通システムのCO₂排出量は、輸送人キロあたりの走行時CO₂排出量で評価されることが一般的であった¹⁾。これは、インフラ建設・製造から廃棄に至るまでを包括的に評価する手法であるLCA (Life Cycle Assessment) を適用することによって見直す必要があり、著者らが中心となって研究を進めてきたところである。その結果、長距離・高速走行で多需要の機関ほど、走行(運用)段階が卓越する傾向があることなどが示されている²⁾。しかし、今後整備が検討されている地域間交通システムの多くは、既存路線ほどの需要は見込めない。また建設工事の規模が大きい山岳部等にルートが計画されることも多く、建設段階の環境負荷の割合が大きくなることも十分予想される。したがって、走行面でのみの評価で環境へのやさしさを結論づけるのは早計であり、LCAの適用が有効であると考えられる。

しかしながら、LCAを交通機関のような多数のインフラとそれを利用して行われる活動から構成される社会システムに適用するには様々な課題が存在する(図-1)³⁾。ため、標準的な推計法の確立や、代替案の比較検討のための指標化へは踏み込めていないのが現状である。

そこで本稿では、既報⁴⁾にてLCAを実施した整備新幹線(北陸新幹線)プロジェクトについて、図-1に示す課題のうち、システム境界の設定法と環境効率指標の定義について追加的に検討を加えた上で、東京 - 大阪間での代替交通機関との比較を行う。

各代替案のInventory AnalysisやImpact Assessmentの結果を比較・検討する際、その絶対値を単純に比較するだ

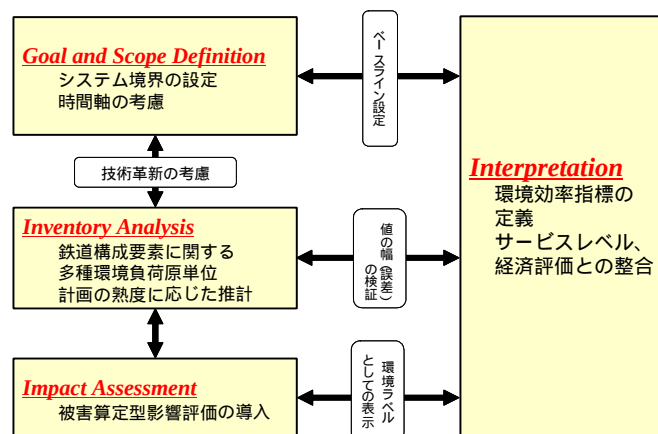


図-1 交通システムに関するLCA研究の
理論・手法面の課題

けでは、対象が持つ様々な機能のうち、環境の側面での評価となってしまうことから、Interpretationでは、「機能単位」での評価が規定されている。製品のLCAでは、近年各企業が開示する環境報告書において「環境効率」での評価の普及が急速に進んでいる。(製品の)環境効率は一般的に、

$$\text{環境効率} = \frac{\text{性能}}{\text{生涯の環境負荷}} = \frac{\text{製品の寿命} \times \text{製品の機能}}{\text{生涯の環境負荷}} \quad (1)$$

で表される。しかしながら、交通システム等の社会システムの場合、何をもって「機能」と設定するかには議論の余地がある。本稿でも式(1)を基礎とした評価指標を提案するが、その際に、機能の考え方によって3種類の指標を定義し、適用結果を比較考察する。

2. ケーススタディの概要とLCAの手順・諸仮定

ケーススタディとして取り上げる北陸新幹線は、東京都を起点とし、上越新幹線高崎駅で分岐して、長野市、富山市、小浜市付近を通過し、大阪市を終点とする延長約700kmの路線である。うち、東京～高崎間(109km)は東北・上越新幹線との共用である。高崎～長野間(117km)は1997年に開業している。長野～敦賀間のルートは確定しており、金沢までは工事が着工しているが、敦賀以西のルートについては未定である。山間部が多いために建設段階での環境負荷が多くなる一方で、東海道

*キーワード：環境計画、地球環境問題、交通計画評価

**正会員、修(環境)、名古屋大学大学院 環境学研究所
大学院研究生(E-mail: nshiba@urban.env.nagoya-u.ac.jp)

***正会員、博(工)、名古屋大学大学院 環境学研究所
助教授(〒464-8603 名古屋市千種区不老町、

:052-789-5104、E-mail: kato@genv.nagoya-u.ac.jp)

****学生会員、学(工)、名古屋大学大学院 環境学研究所
博士前期課程(E-mail: ywata@urban.env.nagoya-u.ac.jp)

新幹線ほどの需要は見込めず、供用後発生する環境負荷は相対的に少なくなることから、インフラ部分も考慮に入れたLCAの適用が有効であることが予想される。

著者らは既報⁴⁾で5種類の環境負荷(CO₂、NO_x、SO_x、CH₄、N₂O)についてLCIを実施している。本稿では、紙幅の都合上CO₂のみを対象とする。

ライフタイムは、インフラを60年、車両を20年と仮定し、北陸新幹線をシステム全体として見た場合は60年とする。未開業区間のインフラの構造種別は、着工区間については決定しており、パンフレット等で公開されている。未着工区間については、各県と(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構北陸新幹線第二建設局へのヒヤリングによると、トンネル/明かりの区別のみが決定されている段階であるため、明かり区間の構造の詳細(高架橋、橋梁、土工)は、着工区間における各構造の比率と地形を参考に本研究で独自に設定している。

車両数・運行本数については、北陸新幹線建設促進同盟会⁵⁾により想定されている輸送密度(約32,000[人km/km日・往復])を基に決定する。新幹線の場合、既開業区間や東北新幹線・九州新幹線の例を見ても明らかのように、地下鉄や都市近郊鉄道と異なり、特定時刻のダイヤが他と比べ著しく密になるというわけではないことから、ピーク時も1~2本多い程度と考えて、需要を各時間帯へ割り振る。また、北陸新幹線の輸送密度は末端部に向けて漸減するような傾向とはならないと予想されることから、簡略化ため各断面の運行本数を一定(全線直通運転)と仮定する。さらに、車両を10両1編成(定員815人)として、ライフタイムにわたり輸送密度が変化せず、運行本数を70[本/日・往復](最大3[本/h])と設定する。これによる必要車両数は23[編成]と計算される。

3．北陸新幹線のLCA結果と代替交通機関との比較

図-2に北陸新幹線システム全体でのLC-CO₂の推計結果を示す。同様に代替案として、東海道新幹線²⁾と超伝導磁気浮上式鉄道⁶⁾の結果も示す。総排出量は約23.8[Mt-CO₂/60年]で、東海道新幹線の約半分、超伝導磁気浮上式鉄道の約4分の1となっている。インフラ建設段階の割合が約43%を占める一方、走行・運用段階の割合は約56%であり、これは東海道新幹線、超伝導磁気浮上式鉄道の半分程度にとどまっている。このことから、整備新幹線のライフサイクル環境負荷低減においてはインフラ建設時の検討がより重要であることが確認できる。

さらに、LC-CO₂を人kmベースに換算した結果で見ると、北陸新幹線はCO₂排出総量では東海道新幹線の半分程度であるものの、逆に人kmベースで比較すると倍以上、超伝導磁気浮上式鉄道と同程度となる。この差は主に輸送人kmの違いによって生じるものであるが、建設

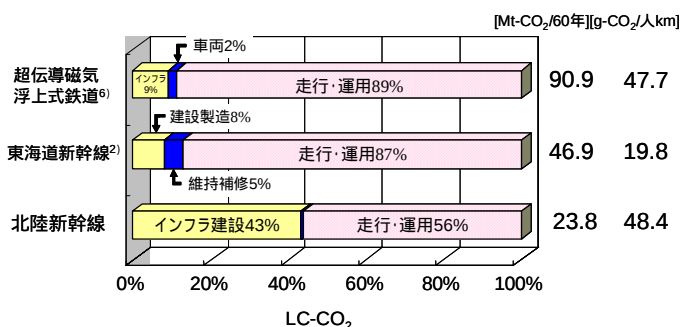


図2 北陸新幹線と東海道新幹線・超伝導磁気浮上式鉄道とのLC-CO₂比較

段階のCO₂排出量の多さも一因となっている。このことから、既設新幹線による輸送人kmあたりの走行段階CO₂排出量原単位で北陸新幹線を評価することは適当でないことが分かる。

4．北陸新幹線整備により波及的に生じたCO₂排出量変化の推計

本章では、評価範囲を社会資本整備によって波及的に生じる環境負荷にまで拡張するELCEL⁷⁾を導入した分析を行う。その際、需要と機関分担変化の予測結果の存在が不可欠である。しかし、大都市間交通の場合、代替手段が多数存在することに加え、誘発需要は交通以外の要因にも左右されることが多く、将来の経済成長率や人口増加率など、予測の難しい要素が多く含まれているため、整備後の利用状況変化を精度よく把握するのは難しい。そこで、本稿では、北陸新幹線がなくてもすでに存在している需要からの転換分のみを考えることとし、以下の4つを対象とする。

A) 在来線特急利用からの転換

整備新幹線開業後は、並行在来線は第3セクター会社によって経営が分離されることになっている。そのため、既存特急列車が全廃されることで、新幹線へ転換が図られることは確実である。そこで、JTB時刻表に基づき、現在の特急列車の走行kmを算出し、平均混雑率を設定して割り出した輸送人kmを転換分として計上する。

B) 航空機利用からの転換

代替路線として富山・石川～東京、新潟・長野～大阪便が考えられる。いずれの距離も500km前後であるため、秋田や山形にミニ新幹線が直通した例や幹線旅客純流動調査による距離帯別分担率曲線⁸⁾を見ても明らかに、航空機の大幅減便は必至である。同じくJTB時刻表のダイヤを参考に、減便数シナリオを設定して感度分析を行う。

C) 自動車利用からの転換

高速道路からの転換分のみを対象とする。平成11年

度道路交通センサスから、並行高速道路(関越道新潟線、関越道上越線、北陸道、名神高速)の道路交通量を抽出する。

D) 経路変更

東海道新幹線経由よりも速くなる群馬・長野・新潟・埼玉北部から関西以西への鉄道利用者がこれに該当し、中川ら⁸⁾によれば7,376[人/日]と想定されている。

以上より、北陸新幹線の需要 $D_{北陸}$ を、式(2)のように表現する。

$$D_{北陸} = \Delta D_{特急} + \Delta D_{航空} + \Delta D_{高速道} + \Delta D_{変更} \quad (2)$$

ここで、 ΔD_j : j から北陸新幹線へ転換した需要である。

よって、ELCELとして考慮すべき走行減少分である $\Delta E_{波及}$ は、

$$\Delta E_{波及} = \Delta E_{特急} + \Delta E_{航空} + \Delta E_{高速道} \quad (3)$$

となる。ここで、 ΔE_k : k の走行減少による環境負荷変化である。ただし、経路変更による、既存鉄道の減少分は考慮していない。

北陸新幹線の輸送密度が想定32,000人を達成し、在来型特急・対象航空路線が全廃された場合の推計結果を図-3に示す。他交通機関のCO₂排出原単位については、在来型特急列車1.36[kg-CO₂/両km]、航空機102[g-CO₂/座席km]、自動車117[g-CO₂/台km]を用いる⁹⁾。このとき、高速道路からの転換は約2,400人である。この仮定では、北陸新幹線を整備しない場合と比べて、整備した場合の方が、ライフタイムで約10.2[Mt-CO₂/60年]削減されることになる。ここで、北陸新幹線の走行分だけで削減量を考えると、約23.7[Mt-CO₂/60年]となり、削減量を2倍以上過大に見積もってしまうことになる。このことから、インフラの部分は無視できず、LCA適用の必要性が示される。

また、確実に削減が期待できる在来線特急列車の走行削減分では、北陸新幹線整備による排出分を相殺できない。そのため、北陸新幹線整備が環境面で優位となるためには、航空機と高速道路の飛行・走行分をいかに削減・転換できるかが鍵となる。

5. 環境効率による代替交通機関との比較

(1) 3種類の環境効率の提案

東京 - 大阪間における代替高速交通機関の評価指標には環境効率の考え方を導入する。交通分野では、辻村⁹⁾がこの考え方を応用し、新幹線車両に対して式(4)に示すように適用している。

$$\text{新幹線車両の環境効率} = \frac{\text{性能}}{\text{生涯の環境負荷}} = \frac{\frac{\text{座席数} \times \text{生涯走行距離}}{\text{所要時間}}}{\text{生涯の環境負荷}} \quad (4)$$

変形すると、

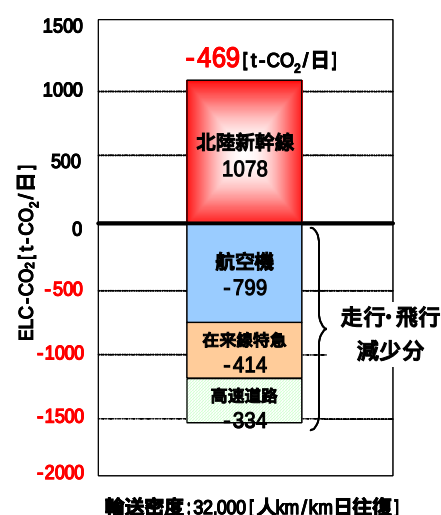


図-3 北陸新幹線整備後のELC-CO₂変化
(並行在来特急・航空路線全廃、
高速道路からの転換約 2,400 人/日)

$$\text{性能} = \frac{[\text{座席/列車} \cdot \text{回}] \times [\text{列車km}]}{[\text{h/回}]} = \frac{[\text{座席km}]}{[\text{h}]} \quad (5)$$

$$= [\text{座席}] \times [\text{km/h}] \quad (\text{輸送力} \times \text{速度})$$

である。これを環境効率の定義式(1)と照らし合わせると、寿命を生涯走行距離、機能を所要時間あたり座席数に対応させているが、変形した結果は輸送力と速度に比例する形になる。辻村は、「車両」そのものの環境効率を評価しているため、性能は「輸送力」「速度」で問題はない。しかし、本稿は交通“システム”を評価対象としている。分母の生涯環境負荷は、一般に平均的な利用状況(混雑率)を与えて推計されるため、座席数ではなく実際の輸送人員を適用するのが正しいように思われる。なぜなら、空っぽの鉄道は明らかに環境効率が悪いはずだからである。一方、鉄道、道路、空路といった代替交通機関を比較する場合には、たとえ現状はそれほど利用されていないとしても、本来有する性能(座席数)が、比較すべき提供されているサービスレベルであるとも考えられる。

そのため本研究では、交通システムの環境効率として以下の3種類を提案する。

A) 顕在(輸送量)型

$$\text{環境効率顕在(輸送量)型} = \frac{\text{輸送人員} \times \text{生涯の走行距離}}{\text{生涯の環境負荷} \times \text{所要時間}} \quad (6)$$

交通システムの実状としての環境効率を表す指標。

B) 潜在(輸送力)型

$$\text{環境効率潜在(輸送力)型} = \frac{\text{定員} \times \text{生涯の走行距離}}{\text{生涯の環境負荷} \times \text{所要時間}} \quad (7)$$

交通システムが現状のダイヤのままで提供できるサービスレベルでの環境効率を表す指標。ここでは、優等(特急)列車を扱っているため、座席数=定員である。

C)限界型

$$\text{環境効率限界型} = \frac{\text{定員} \times \text{生涯の可能な走行距離}}{\text{生涯の環境負荷} \times \text{所要時間}} \quad (8)$$

交通システムが提供できうる限界までダイヤを密にした時の環境効率を表す指標。当然、生涯走行距離(分子)が大きくなるが、生涯環境負荷(分母)も大きくなる。

(2) 東京 - 大阪間代替交通機関の環境効率での比較

東京 - 大阪間における代替高速交通機関で環境効率を比較したものを図-4に示す。北陸新幹線、東海道新幹線、超伝導磁気浮上式鉄道のLC-CO₂については3章ですでに述べた。航空機に関しては、羽田 - 伊丹・関西間を対象路線とする。総飛行距離は、JTB時刻表に掲載されているダイヤ(41[本/日・片道])から算出する。

顕在型で比較すると、北陸新幹線の環境効率は東海道新幹線や超伝導磁気浮上式鉄道と比べ、3分の1程度であり、航空機とほぼ等しい。東海道新幹線のLC-CO₂は北陸新幹線よりも2倍ほど大きい、輸送量が3倍近く大きいことが要因である。超伝導磁気浮上式鉄道もLC-CO₂では北陸新幹線よりも4倍程度大きい、輸送量が多く、所要時間が3分の1であることから東海道新幹線にほぼ匹敵する環境効率を達成している。航空機は、所要時間で磁気浮上式超高速鉄道と等しいものの、LC-CO₂が東海道新幹線よりも大きく、輸送量も3分の1程度であることから、最も低い値にとどまっている。

顕在型での比較では、実績値としての意味はあるものの、それぞれの交通システムで異なった乗車率(混雑率)で比較されてしまうことから、各交通システムが提供でき得る環境効率のポテンシャルで考えられておらず、フェアではない。そこで、次に潜在型の環境効率(現状ダイヤの100%乗車)で比較する。北陸新幹線は、顕在型では混雑率55%に設定されていたことから、潜在型では2倍近く環境効率は大きくなるものの、東海道新幹線や磁気浮上式超高速鉄道の顕在型環境効率に及ばない。

ところが、現状の東海道新幹線や磁気浮上式超高速鉄道、航空機は線路(空路)容量がほぼ限界であるが、北陸新幹線には余裕がある(ただし、東京 - 大宮間での東北・上越新幹線との共用関係を考慮しない場合)。そこで、北陸新幹線のダイヤを5分間隔(=12[本/h])と設定した限界型の環境効率で比較する。もちろんLC-CO₂も大幅に増加するものの、環境効率は206[座席km/Mt-CO₂/h]に達し、顕在型の東海道新幹線や磁気浮上式超高速鉄道の環境効率を上回る。この時の輸送密度は約295,000[人km/km日・往復]であり、顕在型で想定されている需要量の約9倍に相当する。車両の増結等も考慮に入れば、さらに環境効率が上昇する可能性も十分にある。

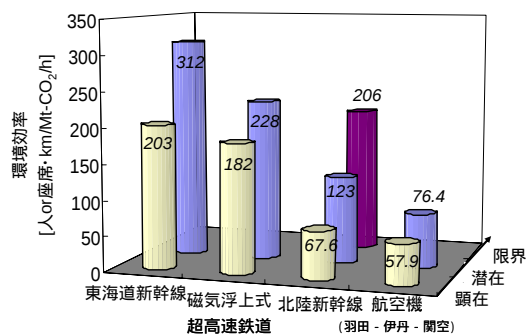


図-4 各交通機関の顕在/潜在/限界型別環境効率の比較

6. おわりに

本研究では、北陸新幹線を対象にLCAを適用した結果、需要量が少なくインフラ建設のボリュームが大きい場合には、走行面のみならず、ライフサイクルでの評価が重要となることを定量的に示した。さらに、3種類の環境効率指標を定義して代替案比較を行い、真に環境にやさしい交通システムを語る上では、潜在型環境効率での評価も重要であることも察せられた。すなわち、交通システムの持つ潜在の環境効率で評価することで、環境面からみた距離や輸送密度に応じた最適な役割分担が示されると考えられる。

謝辞

本研究は、(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構鉄道建設本部東京支社からの助成を受けて行った。ここに記し、謝意を表するものである。

参考文献

- 1) 例えば、「国土交通白書」。
- 2) 例えば、相原直樹・辻村太郎：東海道新幹線のLCA手法による環境負荷の基礎的検討，鉄道総研報告Vol.10，No.10，pp.13-18，2002。
- 3) 加藤博和・柴原尚希：都市・社会資本・交通を対象としたライフサイクルアセスメント研究の現状と課題，土木計画学研究・講演集，Vol.33，CD-ROM(34)，2006。
- 4) 加藤博和・柴原尚希：被害算定型影響評価手法を適用した地域間高速鉄道整備のライフサイクルアセスメント，土木計画学研究・講演集，Vol.30，CD-ROM(166)，2004。
- 5) 北陸新幹線建設促進同盟会：北陸新幹線の需要予測等に関する調査報告書，p.55，1998。
- 6) 加藤博和・柴原尚希：公共交通整備計画評価へのLCA適用 - 超伝導磁気浮上式鉄道を例として - ，Journal of Life Cycle Assessment, Japan, Vol.2 No.2, pp.166-175, 2006。
- 7) 例えば、加藤博和・大浦雅幸：新規鉄軌道整備によるCO₂排出量変化のライフ・サイクル評価手法の開発、土木計画学研究・論文集、No.17、pp.471-479、2000。
- 8) 中川大・波床正敏：整備新幹線評価論 先入観にとらわれず科学的に評価しよう、ピーテック出版部、79p、2001。
- 9) 辻村太郎：新幹線 - 0系 / 300系、LCA調査結果のインタープリテーションセミナー資料、pp.29-32、2001