

地域間超高速旅客・貨物輸送システムのLCAを用いた評価*

Applying LCA to Inter-regional Ultra-High-Speed Passenger and Freight Transport System*

服部 有里**・森本 涼子***・柴原 尚希****・加藤 博和*****・伊藤 友佳*****

By Yuri HATTORI**・Ryoko MORIMOTO***・Naoki SHIBAHARA****・Hirokazu KATO*****・Yuka ITO*****

1. はじめに

社会資本整備においては、整備に伴う大規模なインフラ建設のみならず、それを利用した活動の変化が生じる。例えば道路整備を行った場合、交通需要の変化やそれに伴う周辺道路の利用状況が変化すると考えられる。環境評価においてもシステム境界(評価範囲)にそれらを含めるのが適切である。環境評価については、原材料の製造・建設・維持補修・運用といったライフサイクルを考慮する Life Cycle Assessment(LCA)の考え方がある。著者ら¹⁾は、インフラを対象とする LCA の評価範囲を、インフラとそれを用いる活動を含めた交通システム自体のライフサイクル環境負荷(System Life Cycle Environmental Load : SyLCEL)にとどまらず、そのインフラを用いていないが波及効果が及ぶ活動分まで拡張した Extended Life Cycle Environmental Load(ELCEL)で推計する概念を提案している。

ELCEL での評価を行うことで、建設時に排出した環境負荷を供用時の活動の変化により削減する「先行投資」の構造が評価できるほか、システムの外部を含めた統合的な施策の検討が可能になる。ただし、範囲を空間・時間的に広げるにつれて評価結果の不確実性が増し、信頼性が下がってしまうことがある。そこで、実務的には評価範囲をある程度割り切り、その設定により分析可能な施策や解釈の限界を明示することが必要である。

本研究では新規に旅客輸送システムを整備する事業をケーススタディとし、貨物輸送システムに与える影響までを評価範囲に含めた LCA を実施する。旅客・貨物輸送システムは相互に影響を及ぼすため、ELCEL 評価を行うことで、評価範囲設定による評価結果の違いや、システム外部を包括した施策検討を試みる。

*キーワード：地球環境問題，物流計画，鉄道計画

**修(環境)，名古屋大学大学院環境学研究科 事務補佐員

(〒464-8603 名古屋市千種区不老町 C1-2(651)

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

***正会員，修(環境)，名古屋大学大学院環境学研究科 研究生

****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

(E-mail : kato@genv.nagoya-u.ac.jp)

*****学(工)，名古屋大学大学院環境学研究科 博士前期課程

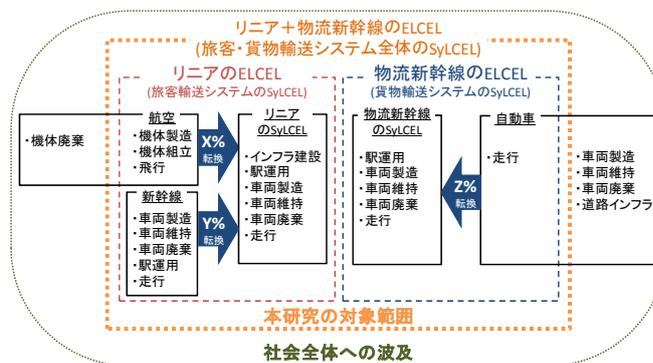


図-1 対象輸送機関の環境負荷評価範囲

2. ケーススタディの概要と分析方法

(1) 旅客・貨物輸送システムが相互に与える影響

地域間旅客輸送システムの革新として、リニア中央新幹線(以下「リニア」)の開業が現実的となっている。リニアには新幹線と航空からの需要転換が予想される。著者らは先行研究²⁾で、リニア整備により環境負荷総量が増加することを明らかにしている。しかし、旅客のモーダルシフトに伴い、新幹線の運行に余裕が生じることで、貨物の自動車から新幹線への転換が可能となれば、環境負荷増加分をオフセットできる可能性がある。

このように、旅客輸送と貨物輸送は時には同じインフラを利用し、同じ輸送機関を利用する場合がある。したがって、相互に与える影響を考慮し、環境評価を実施すべきである。ところが、従来の研究では旅客・貨物システムそれぞれを別々に分析する研究がほとんどであった。

そこで本研究では、リニアの新設と、新幹線の高速貨物輸送としての利用を想定し、旅客と貨物を合わせた地域間輸送システム全体の CO₂ 排出量変化を定量的に明らかにする。

(2) 評価範囲の設定

本研究で対象とする輸送機関と環境負荷評価範囲を図-1 に示す。リニア新設により、新幹線と航空からリニアへ旅客需要が転換し、新幹線の運行に余裕が生じる。

そのインフラを利用し、物流新幹線を運行させる。物流新幹線へは自動車から貨物需要が転換すると仮定する。評価区間は東京—大阪間を想定する。旅客輸送については、リニアの SyLCEL を推計するとともに、リニア新設によって生じる新幹線・航空からの需要転換(転換率をそれぞれ X[%]、Y[%]<いずれも人 km ベース>とする)を含めたリニアの ELCEL を推計する。貨物輸送については、物流新幹線の SyLCEL を推計するとともに、自動車からの転換(転換率を Z[%]<t-km ベース>とする)を含めた物流新幹線の ELCEL を推計する。

さらに、新幹線の輸送量減少は物流新幹線の走行に影響を及ぼすため、リニアと物流新幹線の ELCEL を合計した輸送システム全体の CO₂ 排出量変化を推計する。なお、ELCEL で評価した CO₂ を ELC-CO₂、SyLCEL で評価した CO₂ を SyLC-CO₂ と呼ぶ。

貨物自動車は、物流新幹線への転換後も利用されると考え、車両とインフラは評価対象外とする。航空では微小なため機体廃棄も対象外とする。

(3) 推計に用いるデータ設定

表-1 に示す輸送機関ごとの CO₂ 排出量原単位を積み上げて CO₂ 排出量を推計する。評価期間は、新幹線インフラのライフタイムである 60[年]とする。

a) リニア

インフラおよび走行起源 CO₂ 排出量原単位については先行研究²⁾の仮定を用いる。区間距離 438[km]⁹⁾、駅 9[箇所]を想定し、運用電力は新幹線と同じとする。車両定員 1,036[人]⁶⁾、ライフタイム 13[年]⁹⁾とする。車両製造・維持補修・廃棄による CO₂ 排出量は新幹線車両との価格比⁹⁾を用いて配分する。乗車率は新幹線と同様に 65[%]とする。

b) 新幹線

走行起源 CO₂ 排出量原単位は運行会社提供データを用いる。区間距離 515.4[km]²⁾、駅 6[箇所]とする。車両定員 1,323[人]、ライフタイム 13[年]⁹⁾、乗車率 65[%]とする。リニア転換前輸送量は現在の新幹線の運行本数と乗車率から 175,430[人/日]とする。

c) 航空

飛行起源 CO₂ は離着陸時の排出割合が大きいいため、排出量原単位は飛行距離が長くなるほど減少する⁷⁾。これを表現するため、定期航空協会提供のデータをもとに、実際の飛行距離とジェット燃料消費量から、飛行 1km あたり CO₂ 排出量の回帰式を算出する。その結果、飛行距離 450.6[km]では、B777 型機 42.1[kg-CO₂/(飛行 km)]、B767 型機 31.1[kg-CO₂/(飛行 km)]となる。リニア転換前輸送量は、旅客地域流動調査⁸⁾より 20,616[人/日]とする。

d) 物流新幹線

既存の新幹線インフラを利用して走行すると仮定す

表-1 輸送機関別原単位

	リニア	新幹線	航空	物流新幹線	自動車
高架橋 [t-CO ₂ /km]	7,550 ²⁾	-	-	-	-
トンネル [t-CO ₂ /km]	4,160 ²⁾	-	-	-	-
軌道 [t-CO ₂ /km]	700 ²⁾	-	-	-	-
駅建設 [t-CO ₂ /駅]	8,111 ²⁾	-	-	-	-
運用駅電力 [t-C/駅/年]	245	245 ²⁾	-	245 ²⁾	-
車両製造 [t-CO ₂ /両]	480	150 ²⁾	-	87	-
車両維持補修 [t-CO ₂ /両/ライフタイム]	304	95 ²⁾	-	55.1	-
車両廃棄 [t-CO ₂ /両]	1.98	0.62 ²⁾	-	-	-
機体素材製造 [g-CO ₂ /(人km)]	-	-	0.25 ³⁾	-	-
機体組立 [g-CO ₂ /(人km)]	-	-	1.34 ³⁾	-	-
走行/飛行 [kg-CO ₂ /☆]	37.62 ²⁾	12.3	42.1(B777) 31.1(B767)	0.02 ⁴⁾	0.18 ⁴⁾
☆	人km	人km	飛行km	t-km	t-km

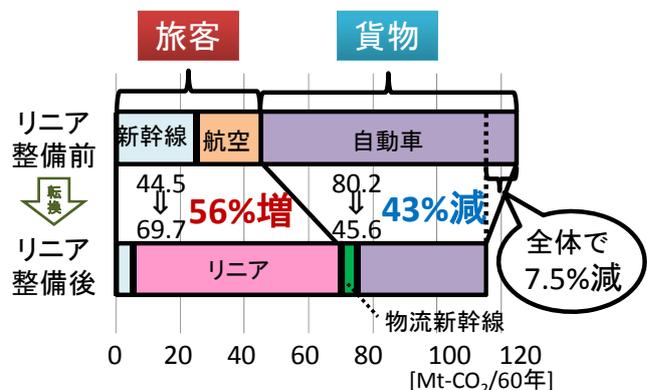


図-2 リニア整備前後の CO₂ 排出量推計結果
(新幹線からリニアへの転換率 X=80[%]、航空からの転換率 Y=100[%]、
自動車から物流新幹線への転換率 Z=50[%])

る。区間距離 515.4[km]²⁾、貨物駅は東京・名古屋・大阪の 3 駅とし、既存の駅を利用する。駅運用電力は新幹線と同じとする。車両は現状の高速コンテナ貨物車両と同等とする。輸送可能量は 31ft コンテナの最大積載量から 204.4[t/編成]とする。車両製造・維持補修・廃棄による CO₂ 排出量は新幹線車両の重量に比例すると仮定する。ライフタイムは 13[年]とする。

e) 自動車

区間距離は高速道路の東京—吹田間 514.7[km]とする。車両は 10t トラックとし、自動車輸送統計⁹⁾を参考に積載率は 50[%]と仮定する。東京—大阪間の 1 日あたり自動車輸送量は貨物地域流動調査⁸⁾より算出し、上下線の合計 39,917[t/日]とする。東京—愛知間と愛知—大阪間は同時に輸送するわけではないため、輸送量の多い愛知—大阪間と東京—大阪間のデータを合計する。上りは 21,125[t/日]、下りは 18,792[t/日]となる。

3. リニア整備前後の CO₂ 排出量推計結果の比較

新幹線からリニアへの転換率 $X=80\%$ 、航空からの転換率 $Y=100\%$ 、自動車から物流新幹線への転換率 $Z=50\%$ を考える。リニア整備前と整備による輸送量転換後の CO₂ 排出量を図-2 に示す。

(1) 旅客輸送システム

リニア整備後の新幹線需要をまかなうためには、往復合計 41[本/日]の新幹線の運行が必要である。整備前の新幹線・航空 SyLC-CO₂ は 44.5[Mt-CO₂/60 年]と推計される。新幹線からリニアへ転換することで、新幹線 SyLC-CO₂ は整備前の 21%に減少する。しかし、リニア SyLC-CO₂ は 64.3[Mt-CO₂/60 年]、ELC-CO₂ は 69.7[Mt-CO₂/60 年]となり、整備前より 25.2[Mt-CO₂/60 年](56%) 増加する。リニアの走行段階以外の CO₂ 排出量は 6.0[Mt-CO₂/60 年]であり、SyLC-CO₂ の 9%を占める。

航空による排出量はゼロになるものの、新幹線からリニアへ転換することで、旅客輸送システム ELC-CO₂ は増加することがわかる。

(2) 貨物輸送システム

現状の自動車の LC-CO₂ は 80.2[Mt-CO₂/60 年]と推計される。自動車からの転換輸送量(19,958[t/日])は物流新幹線往復 79[本/日]で輸送可能であると推計される。これにより、物流新幹線 SyLC-CO₂ は 5.5[Mt-CO₂/60 年]と推計される。物流新幹線 ELC-CO₂ は 45.6[Mt-CO₂/60 年]となり、現状より 34.6[Mt-CO₂/60 年](43%)の削減となる。

貨物輸送システムのみでの評価では、物流新幹線の利用によって ELC-CO₂ が減少することがわかる。

(3) 旅客・貨物輸送システム全体

(1)・(2)の推計結果を合計すると、リニア整備前と比べて SyLC-CO₂ は 9.4[Mt-CO₂/60 年](7.5%)減となる。

つまり、リニア整備に伴う旅客輸送システムの CO₂ 排出増分を貨物輸送システムでオフセット可能であることが明らかとなる。しかし、以上の分析は、あくまで各輸送機関の転換率を本章冒頭で設定した値に固定した場合の結果である。設定如何によって CO₂ 排出量は大きく変化する。そこで、次章では転換率による感度分析を行い、CO₂ 排出量増減の分岐点を見出す。

4. 転換率による感度分析結果

(1) 新幹線からリニアへの転換率によるリニア ELC-CO₂

航空からリニアへの転換率 $Y=100\%$ に固定し、新幹線からの転換率 X によるリニア ELC-CO₂ の感度分析を行う。推計結果を図-3 に示す。

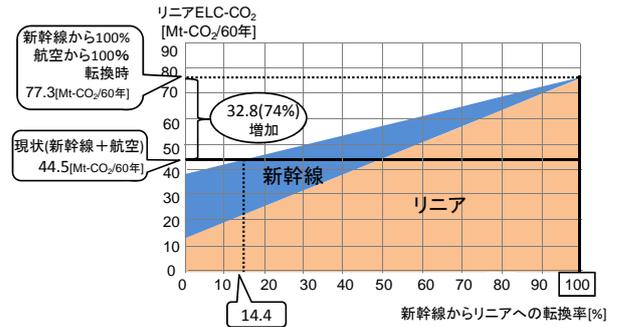


図-3 新幹線からリニアへの転換率によるリニア ELC-CO₂ の感度分析

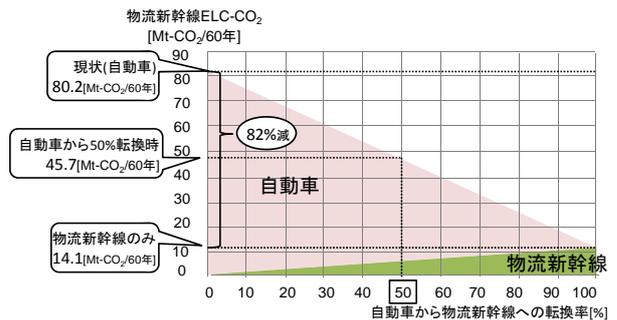


図-4 自動車から物流新幹線への転換率による物流新幹線 ELC-CO₂ の感度分析

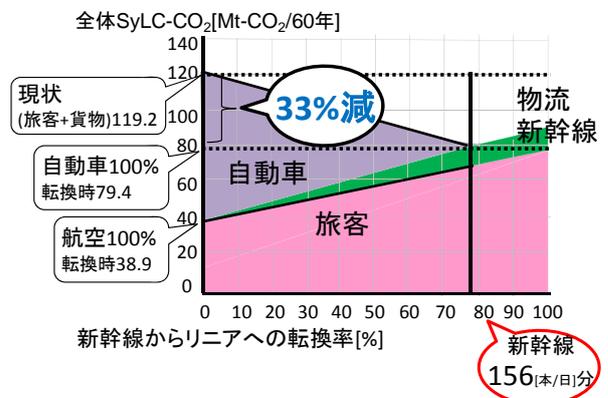


図-5 新幹線からリニアへの転換率による輸送システム全体 SyLC-CO₂ 感度分析

$X=0-14.4\%$ では、リニアによる CO₂ 増分よりも航空による削減分が上回るため、リニア ELC-CO₂ は現状の 44.5[Mt-CO₂/60 年]を下回る。 $X>14.4\%$ では、 X が大きくなるに従い、現状との差が広がり、新幹線の乗客がリニアへ乗り移るほど CO₂ 排出量が大きくなることわかる。 $X=100\%$ の場合、リニア ELC-CO₂ は 77.3[Mt-CO₂/60 年]となり、現状の 1.7 倍となる。

(2) 自動車から物流新幹線への転換率による物流新幹線 ELC-CO₂

自動車から物流新幹線への転換率 Z による物流新幹

線 ELC-CO₂ の感度分析を行う。推計結果を図-4 に示す。
Z=100[%]の場合、貨物 ELC-CO₂ は現状と比べ 82%減少する。

自動車の LC-CO₂ の減少と比べ、転換に伴う物流新幹線の LC-CO₂ の増加分は大きくないことから、自動車から物流新幹線への転換を促すほど、物流新幹線 ELC-CO₂ 削減につながる事が明らかとなる。

(3) 新幹線からリニアへの転換率による全体 SyLC-CO₂

新幹線からリニアへの転換率 X による、輸送システム全体 SyLC-CO₂ の感度分析を行う。推計結果を図-5 に示す。航空からリニアへの転換率 Y=100[%]とし、新幹線削減本数分を物流新幹線が走行すると仮定する。

現状の自動車輸送量は、物流新幹線を往復 156[本/日] 走行させることで全て輸送可能である。このときの新幹線からリニアへの転換率 X=78.5[%]であり、全体 SyLC-CO₂ は現状と比べ 39.9[Mt-CO₂/60 年](33%)減少する。自動車から物流新幹線への転換率 Z>0 であれば、リニアによる増加分をオフセット可能であることがわかる。

ただし、この分析では、新幹線の運行本数削減分を全て物流新幹線に置き換えている。次節で、物流新幹線の走行本数に応じた感度分析を実施し、オフセット可能かどうか検証する。

(4) 新幹線からリニアへの転換率による物流新幹線の運行本数

本研究では、物流新幹線として現状の高速貨物コンテナ(最高速度 130[km/h])を新幹線インフラで運行することを想定している。新幹線(最高速度 270[km/h])と比べて低速であることから、この異なる 2 種類の車両を同時に同じ線路を走らせるためには、それぞれの輸送可能時間帯を設定しなければならない。物流新幹線の走行を増やすためには、現行 6 時から 23 時までの新幹線走行時間帯を短くするか、夜間の走行も想定することが必要となる。一方で、現在夜間に行われている保線の時間を考慮する必要もある。あるいは、新幹線と同等の速度で運行できる高速コンテナ貨物車両やシステムの開発が必要となる。

ここでは、新幹線からリニアへの転換率 X ごとに、整備前から増加する ELC-CO₂ をオフセットするために必要な物流新幹線の運行本数を推計する(図-6)。

X が大きくなるほど、オフセットに必要な物流新幹線本数は増加する。X=100[%]の場合、74[本/日]でリニア ELC-CO₂ の増加分をオフセット可能である。このとき、新幹線インフラ上は物流新幹線のみでの走行となるが、現状の新幹線運行本数が 204[本/日]であることから考えると、74[本/日]は走行可能な本数と言える。

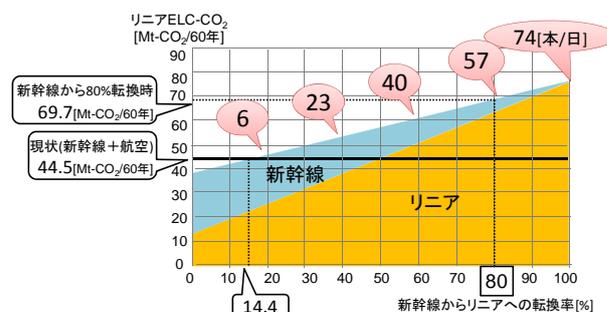


図-6 新幹線からリニアへの転換率による物流新幹線の運行本数感度分析

5. おわりに

本研究では、リニア中央新幹線新設によって容量に余裕が生まれる新幹線インフラを貨物輸送に活用することで、CO₂ 排出量がどの程度変化するか LCA を用いて評価した。その結果、以下の知見を得た。

- 旅客輸送システムのみでの評価では、新幹線からリニアへ転換するほど、リニア ELC-CO₂ は増加
- 貨物輸送システムのみでの評価では、物流新幹線利用は物流新幹線 ELC-CO₂ を減少させ、自動車から物流新幹線への転換率が大きくなるほど減少幅大
- リニア・物流新幹線 ELC-CO₂ を合わせて評価することで、自動車から物流新幹線へ貨物輸送量を転換することによって、リニア整備に伴う全体 SyLC-CO₂ 増加分のオフセットが可能
- 新幹線からリニアへ旅客輸送量が転換した場合、可能な範囲で物流新幹線の運行本数を増やすことで、リニア ELC-CO₂ 増加分がオフセットされ、輸送システム全体 SyLC-CO₂ の減少が可能

参考文献

- 1) 加藤博和, 柴原尚希: ELCEL 概念による Social/Dynamic LCA への挑戦, 日本 LCA 学会誌, Vol.5 No.1, pp.12-19, 2009.
- 2) 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—, 日本 LCA 学会誌, Vol.2 No.2, pp.166-175, 2006.
- 3) 東レ株式会社: 炭素繊維活用による環境改善効果の定量化, p.11, 2009.
- 4) CREST 安井チーム: LCA に使える原単位, LCA お役立ち情報, 入手先<http://www.yasuienv.net/CREST/lca-thinking/useful/gentanni_co2_trans.htm>, 参照 2010.1.7.
- 5) 東海旅客鉄道株式会社: 中央新幹線東京・大阪間のデータ, pp.1-13, 2009.
- 6) 山本克也, 田川直人, 上妻雄一, 保坂史郎, 角田裕樹: リニア車両の車両特性改善について, 鉄道総研報告, Vol.17 No.5, pp.9-14, 2003.
- 7) 柴原尚希, 服部有里, 森本涼子, 加藤博和, 林良嗣: LCA を用いた航空と新幹線の CO₂ 排出量の比較, 第 17 回地球環境シンポジウム講演集, pp.19-25, 2009.
- 8) 国土交通省総合政策局情報政策本部 編: 平成 19 年度貨物地域流動調査・旅客地域流動調査, 2008.
- 9) 国土交通省: 自動車輸送統計年報(平成 20 年度分), Vol.46 No.13, pp.26-27.