

地域間高速交通機関整備の地球環境負荷からみた優位性評価手法*

Evaluating a Superior Mode in Inter-regional Transport System by Considering Global Environmental Impacts *

柴原 尚希**・加藤 博和***

By Naoki SHIBAHARA**・Hirokazu KATO***

1. はじめに

2005 年における日本の旅客交通起源 CO₂ 発生量は総発生量の約 12%である。そのうち航空は 1990 年比で 55%増加するなど、長距離旅客輸送に伴う CO₂ の増加は著しく、その削減は重要課題である。中でも、長距離の地域間に大量の需要が存在する区間は CO₂ 排出量も非常に大きくなる。欧州では、地球温暖化防止策を重視した地域間交通政策が実施に移されつつあり、日本においても環境性能の視点から導入・充実すべき輸送モードを選択する時代に入ってきている。さらに、鉄道線路や空港の建設・維持管理に伴う CO₂ 発生量も膨大となるため、その考慮も必要である。

本稿では、代表的な地域間高速交通機関である新幹線鉄道と航空を対象に、LCA の考え方をを用いて環境負荷量や環境効率を評価する。さらに、輸送量による感度分析を実施し、実際の都道府県間の距離と輸送量データを当てはめ、各都道府県を発着地とする OD ペアについて、環境面で優位となる高速交通機関をマトリクスで示す。

2. 地域間高速交通機関への LCA 適用及び感度分析の必要性

交通システムの CO₂ 排出量を一般に議論する際、走行起源分の CO₂ 排出量の全国平均値(図-1)を根拠とすることが多いが、この指標をそのまま用いることには問題がある。鉄道は走行に伴う人 km あたり CO₂ 排出量は少ないが、全線にわたってインフラを敷設する必要がある。一方、航空は飛行に伴う人 km あたり CO₂ 排出量は大きいものの、インフラ整備は発着地となる空港や管制施設のみでよい。さらに、走行・飛行に伴う CO₂ 排出量はインフラや車両・機材の技術水準、ルート上の輸送距離、輸送量、乗車・搭乗率などによって異なるが、全

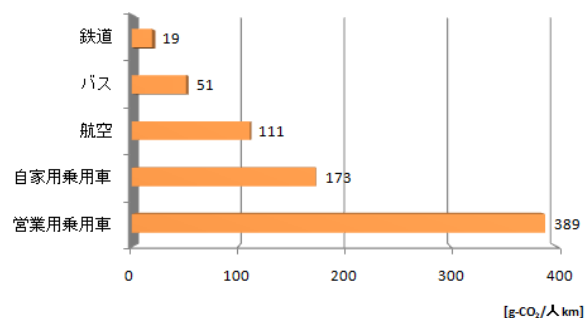


図-1 旅客輸送機関別の CO₂ 排出原単位 (2005 年度)¹⁾

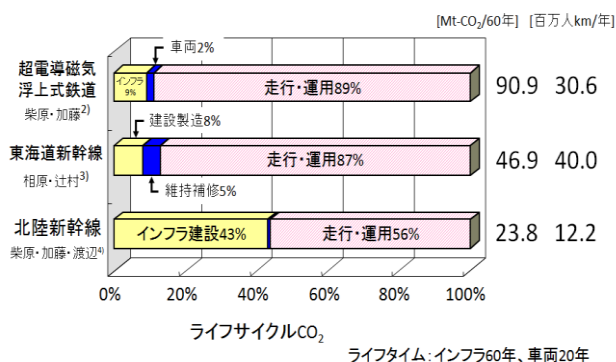


図-2 地域間高速旅客輸送機関(東京-大阪間)の LC-CO₂ 算出結果^{2),3),4)}

国平均値ではその違いが捨象されてしまう。これらの問題に対応するためには、インフラの建設、車両や機体の製造、これらの維持管理、運行、廃棄などの全過程を含めた LC-CO₂ (ライフサイクル CO₂) の値によって比較評価する必要がある。

著者らは既報^{2),3)}で、東京-大阪間を対象に航空及び高速鉄道システムの LC-CO₂ を算出し、需要量・輸送頻度の大小が、人 km あたり LC-CO₂ に与える影響を分析している(図-2,3)。しかし、ここでの推計は輸送状況について現状値や単一の想定を用いており、地域間高速交通機関を一般的に比較するものとはなっていない。

そこで本稿では、輸送密度(輸送人 km/輸送 km)による感度分析を施すことで、需要の違いに対応した分析を行う。

*キーワード: 地球環境問題、環境計画

**正会員、修(環境)、名古屋大学大学院環境学研究科
(名古屋市千種区不老町 C1-2(651)、TEL: 052-789-2773、
FAX: 052-789-1454、E-mail: shibahara@nagoya-u.jp)

***正会員、博(工)、名古屋大学大学院環境学研究科
(TEL: 052-789-5104、E-mail: kato@genv.nagoya-u.ac.jp)

3. 仮想2地点間におけるLCIの設定及び分析の方法

(1) 前提条件

日本では、空港は35都道府県において存在するが、新幹線は23都府県に駅が存在するに過ぎない(図-4)。一方で、全国新幹線鉄道整備法に基づき、国が1973年に整備計画を決定して建設を進めている路線(いわゆる整備新幹線)や未だ計画段階の路線も存在している(図-4の破線)。

本稿では、2地点間の航空路線と新幹線鉄道を比較する際、空港はすでに存在する(つまり空港インフラ分は計上しない)として評価する。したがって、航空に関しては飛行起源分のみを、新幹線に関してはインフラ建設及び車両走行分を評価対象範囲と設定する(図-5)。空港及び駅へのアクセス・イグレス分については考慮しない。また、同じ2地点間を比較する場合であっても、空路を点(空港)で結ぶ航空と陸路を線でつなぐ新幹線では必然的に路線長が異なるため、実際の(あるいは想定されている)空港・駅間距離を別々に設定する。

(2) LC-CO₂の推計方法

航空・新幹線それぞれのシステムについて以下の各構成要素を考え、ライフタイム(60年)にわたりCO₂発生量の推計値を積み上げる。

a) 航空

飛行起源CO₂発生原単位を、羽田ー伊丹・関空間の運行会社の環境報告書等を参考に、111.37[kg-CO₂/飛行km]と算出している。定員を569人とし、搭乗率が最大65%となる便数を設定している。表定速度は450[km/h]とする。機体については、評価範囲としない。

b) 新幹線

走行：文献4)における700系新幹線車両のシミュレーション結果である12.25[kg-CO₂/走行km]を用いる。実績値を参考に、1編成あたり1,323座席、乗車率50%とする。表定速度は225[km/h]とする。

車両：文献7)で算出されている、製造段階：150[t-CO₂/両]、維持補修段階：95[t-CO₂/両・ライフタイム]を用いる。ライフタイムは20年とする。

インフラ本体構造物：文献4)の原単位を利用し、高架橋(7,550[t-CO₂/km])とトンネル(4,160[t-CO₂/km])の割合が半半ずつと仮定する。

インフラ付帯構造物：文献2)の原単位を利用し、駅を50kmごとに設置する(駅付帯設備分：1,500[t-CO₂/駅])。軌道はバラスト軌道とする(507[t-CO₂/km・複線])。

(3) 環境効率指標の定義

地域間交通の場合、輸送力(最大輸送量)とともに速度(=距離/所要時間)や快適性といったサービスレベ

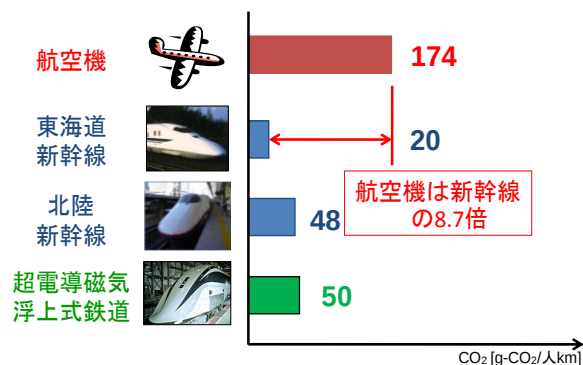


図-3 地域間高速交通機関(東京ー大阪間)の人kmあたりLC-CO₂の比較^{2),3),4)}

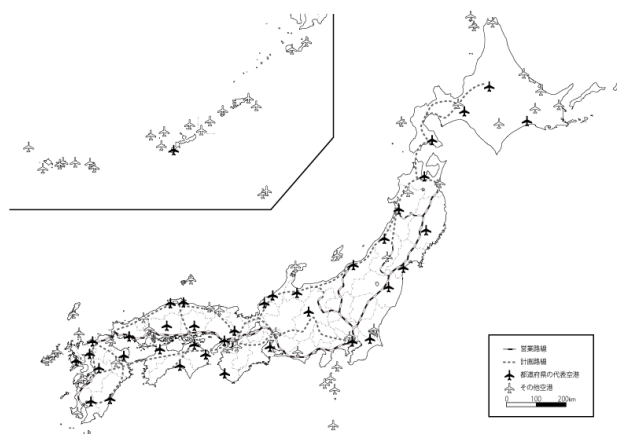


図-4 日本の空港立地と高速鉄道ネットワーク(文献5),6)より作成)

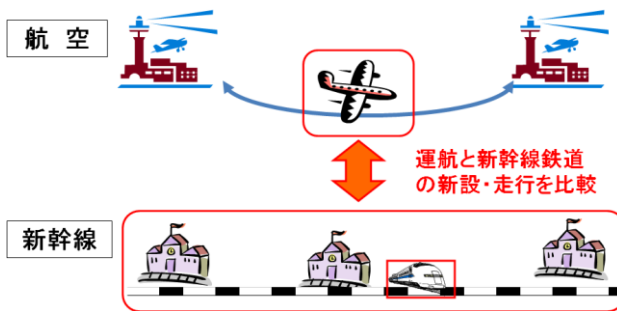


図-5 比較評価対象範囲の設定

ルも性能指標として重要であり、合わせて評価する必要がある。本稿では、辻村ら⁷⁾が新幹線車両の環境効率として提案している指標を参考に、速度を考慮に入れた式(1)で評価する。

$$\text{[環境効率]} = \frac{\text{[製品の性能]}}{\text{[生涯の環境負荷]}} = \frac{\text{[輸送人員]} \times \text{[生涯走行距離]}}{\text{[生涯の環境負荷]} \times \text{[所要時間]}} \quad (1)$$

(4) 感度分析から得られた結果と考察

3(2)節の手順で輸送人kmあたりLC-CO₂を輸送密度ごとに推計した結果を図-6に示す。新幹線は、輸送密

度が大きくなるほど、乗客に配分されるインフラ起源CO₂が小さくなるため、両者の間にはほぼ反比例の関係が成立する。一方、航空は起終点間のインフラが存在しないため、輸送密度に対してほぼ一定である。ただし、便数は整数であるため、輸送密度が小さい領域では、のこぎり状に漸減し一定値に収束していく形をとる。その結果、約1,200[人/日]で値の大小が入れ替わる。

次に、環境効率と輸送密度との関係を推計した結果を図-7に示す。航空の所要時間は新幹線の約2分の1であるため、航空の方が有利となり、両者の値が等しくなる点は約2,000[人/日]へシフトする。

いずれにしても、整備新幹線の区間で想定される輸送密度(4~32[千人/日]程度)では、航空よりも新幹線の方が環境面で有利であり、それ未満の輸送密度の区間では新幹線を新設するよりも、航空による輸送の方が有利と言える。

4. 都道府県間におけるLCIの設定及び分析の方法

3章の分析の考え方を実際の都道府県間の距離と輸送人員のデータに当てはめる。

(1) 前提条件

a) 輸送人員

平成17年度旅客地域流動調査⁸⁾では、全国の旅客輸送量が50地域(都道府県基準、北海道のみ4区分)を発着地として集計されている。本稿では、航空による輸送量を対象とし、新幹線で代替した場合の環境負荷量・環境効率と比較する。ただし、これらの地域のうち新幹線駅(予定も含む)が存在する33地域を対象とする。空港が地域内に複数存在する場合は、文献5)より利用者数の多い方で全需要を代表させる。同様に、新幹線駅は速達列車停車駅や分岐点を考慮し設定する。

b) 地域間距離

航空の運航経路は空港間を最短で結ぶルートとする。新幹線の駅間距離は、既存の路線については文献6)の値を用いる。計画段階の路線については、JR時刻表⁹⁾を用いて、並行在来線の路線長を算出し代用する。

(2) 推計方法

a) 航空

航空機は上昇時におけるエネルギー消費が大きいいため、長距離の運行になるほど、飛行kmあたり排出量は小さくなると考えられる。IPCCガイドライン¹⁰⁾でも、ジェット機についてはLTO(Land and Take Off: 離発着)サイクル部分と巡航部分を区分して環境負荷を算定することが望ましいとされている。そこで、3(2)節で用いた一定値の原単位を用いるのではなく、航続距離Rに応じ

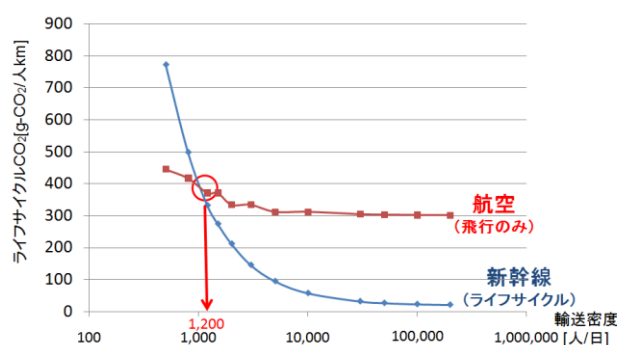


図-6 人kmあたりLC-CO₂と輸送密度との関係

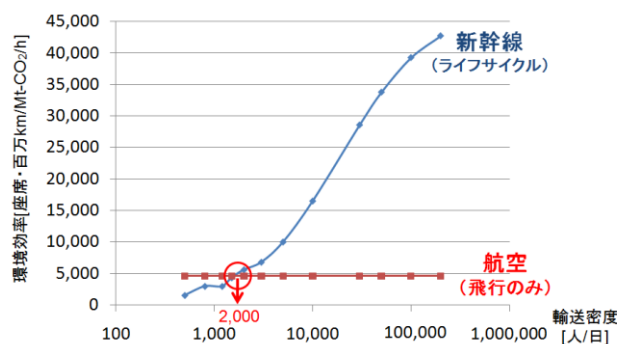


図-7 環境効率と輸送密度との関係

たCO₂排出量の推計を行う。Rの算出式(2)¹¹⁾から逆算して、運航距離に応じて燃料消費量W_fを求め、ジェット燃料のCO₂換算係数3.15[t-CO₂/t of Fuel]を用いてCO₂排出量を推計する。

$$R = \frac{V}{C} \cdot \frac{L}{D} \cdot \ln \left(\frac{W}{W - W_f} \right) \quad (2)$$

ここで、V: 巡航速度 (=450[km/h])、C: 燃料消費率 (=0.75[kg/kgf/h])、L/D: 揚抗比 (=18)、W: 離陸重量 (=272.2[t])とする。

LTOにおける排出量は、文献10)より2.68[t-CO₂/LTO]を採用する。

b) 新幹線

3(2)節と同様の手順でLC-CO₂及び環境効率を推計する。ただし、2地点間の新幹線インフラは新規建設が必要となる区間分のみを計上する。また、車両は既存のものでやりくりし、新規製造は行わないと仮定する。

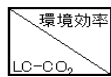
(3) 推計結果

3(1),3(2)節の手順による推計結果を表-1に示す。現状の航空機の運航によるLC-CO₂・環境効率と新幹線で代替した場合の差を求めている。航空が優位な場合をAで、新幹線が優位な場合をSで表現している。

LC-CO₂に関しては、東京を起終点とするODペアは需要量が大きいため、すべて新幹線が優位という結果となっている。同じ大都市圏であっても、愛知や福岡の場

表－１ OD ごとの LC-CO₂・環境効率比較結果 (A：航空優位、S：新幹線優位)

	道北	道央	道南	青森	岩手	宮城	秋田	山形	福島	東京	新潟	富山	石川	長野	愛知	大阪	兵庫	鳥取	島根	岡山	広島	山口	徳島	香川	愛媛	高知	福岡	佐賀	長崎	熊本	大分	宮崎	鹿児島
道北		AA	AA	A					A	A					A	A					A												A
道央	A		AA	AA	A	A	A	A	A	S	A	A	A	A	A	S	A		A	A			A	A			A					A	A
道南	AA	A							S						A	S								A			A						
青森		AA							S						SS	SS		A	A			A			A			SS			A		
岩手	AA	AA													SS	SS	SS			SS	SS					SS							
宮城		A	A						A			A			A	SS	SS			SS	SS		A			SS							A
秋田		A													A	SS	SS																
山形		AA							SS						SS	SS											SS						A
福島		AA													SS	SS																	
東京	SS	SS	SS	SS			A	S			S	S			SS	SS	SS	A	A	SS	SS	SS	S	S	S	SS	S	S	S	S	S	S	S
新潟		AA							S						A	A											A						
富山		A							S																		A						
石川		A							SS																		A						
長野		A													AA												A						
愛知	AA	SS	A	S	S	AA	AA	S	S		AA						SS						AA		A	AA	SS		A	A	A	A	A
大阪	A	SS	S	AA	S	SS	AA	S	S	SS	AA			AA			SS		AA					A	AA	SS	A	AA	SS	A	A	S	A
兵庫									S	AA					S																		
鳥取				S					S					A																			
島根				S					S																								
岡山		A				S			SS							S																	
広島	A	A			S	S	AA		SS																								
山口	A	A							SS																								
徳島		A							SS					A																			
香川	A	A				S	AA		SS						A	S																	
愛媛		A							SS						A	A																	
高知		SS		AA	S	SS			S	SS	AA	AA	AA	AA	SS	SS		AA					A	A	A	AA							
福岡									S						S																		
佐賀									SS						S																		
長崎	A								SS						S	S																	
熊本	A	A							SS						S	S	S																
大分									SS						A	A																	
宮崎		AA							SS						A	A																	
鹿児島	A	A				S		S	SS					S	SS	A		AA	A	A				A	A								



謝辞

本研究は科学研究費・萌芽研究(19651016)の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 国土交通省総合政策局環境・海洋課監修：運輸・交通と環境 2007 年度版，交通エコロジー・モビリティ財団，2007.
- 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.
- 柴原尚希，加藤博和，渡辺由紀子：LCA を用いた地域間高速鉄道整備代替案の環境効率比較，土木計画学研究・講演集，Vol.34, CD-ROM(101), 2006.
- 財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道総研報告，2002.
- 財団法人運輸政策研究機構：平成 18 年度版地域交通年報，2007.
- 国土交通省鉄道局監修：数字でみる鉄道 2007，財団法人運輸政策研究機構，2007.
- 辻村太郎，宮内瞳，永友貴史，橋本淳：新幹線電車の LCA ケーススタディと環境効率，平成 10 年鉄道技術連合シンポジウム講演論文集，pp.601-604, 1998.
- 国土交通省総合政策局情報管理部編：平成 17 年度旅客地域流動調査，財団法人運輸政策研究機構，2007.
- JR-GROUP：JR 時刻表 2007 年 12 月号，株式会社交通新聞社，2007.
- Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas inventories: Reference Manual (Volume 3).
- 藤田喜久雄，赤木新介，石川真央：製品系列統合化設計問題の構造と航空機系列同時計画における様相，第 15 回設計シンポジウム講演論文集，pp.83-89, 1997.

合、既存路線を利用できる OD の場合は、新幹線の方が優位となるが、例えば、四国地方や北陸地方など、新幹線未成の地とのペアの場合、インフラ建設による環境負荷量が発生するため、航空の方が優位となる。また、新幹線存在区間であっても、例えば、大阪－岩手のように、航空機の運航距離の方が顕著に短い場合は、航空と新幹線との差は縮まる。

環境効率に関しては、CO₂ 排出量と同様の傾向を示すが、航空が優位となる OD ペアが増加する。特に、愛知・大阪から四国・九州地方というペアなどで優位となる傾向が読み取れる。

いずれにしても、北海道や北陸・九州北部と東京周辺を起終点とした OD ペアについては新幹線優位となっており、整備計画の存在する新幹線路線のうち、整備新幹線程度までは航空に対して環境面で優位であることが示唆される。

5. おわりに

本稿では、路線設定等について概略的な仮定を置いて、輸送密度に応じた航空と新幹線の LC-CO₂ を推計し、比較を試みた。さらに、都道府県間の実際の航空輸送量データを用いて、運航による環境負荷量と新幹線によって代替した場合とを比較した。その結果、環境面で優位となる交通機関を OD ペアごとに示すことができた。