

幹線交通における環境改善便益の計測手法に関する研究

Study on the Measurement Methods of Environmental Improvement Benefit in Trunk Traffic

吉舖幸太郎** 金山洋一*** 依田淳一****

by Kotaro YOSHISHIKI, Yoichi KANAYAMA, Junichi YORITA

1. 背景と目的

近年の地球環境への意識の高まりの中、運輸部門において環境負荷の少ない交通体系の形成が求められている。運輸部門における地球環境改善効果については、現在様々な検討が行われている段階であり、その計測手法については、幅広い観点から研究を行う必要がある。

このような背景をふまえ、本研究は 時間的（後世まで影響）・空間的（地球規模）な影響があること、その負荷削減が国際公約となっている、という2つの観点により CO₂ を検討対象とし、幹線交通整備が地球環境に与える効果の計測手法を確立することを目的とする。なお、幹線交通整備に伴う各交通機関の需要の変化が環境に与える影響に着目し、供用中を計測対象とする。

2. 欧州と我が国における環境政策と交通政策の動向

欧州では、社会活動による環境への影響について、幅広い項目で、貨幣化（外部費用の評価）により評価を行っている¹⁾。例えば、1995年のヨーロッパ諸国における運輸部門から生じる環境上および健康上のコストは、5,300億ユーロ（68兆9,000億円）という試算結果がある。これはヨーロッパ諸国のGDPの7.8%に相当する。その内訳を見ると、事故、大気汚染、気候変動（CO₂）が、合わせて4分の3以上を占めている（図-1）。

近年、欧州の交通状況は、輸送機関の不均衡な発展（道路輸送の増大・鉄道の停滞）、幹線道路・鉄道・空港等

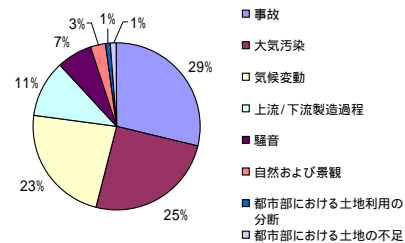


図-1 ヨーロッパ諸国運輸部門のモード別外部費用¹⁾

での混雑問題、環境への悪影響等の問題が発生している。これをふまえ2001年共通運輸政策白書では、1992年白書が提唱した持続可能なモビリティを継承し、さらに環境問題への取組み姿勢を強めている。

このように欧州では、持続発展可能な重要施策として「輸送機関の均衡の移動」を位置づけている。その中で道路から鉄道へのシフトが重要な施策を担っており、具体的には鉄道活性化のための取り組み（料金施策等）やTEN-T（Trans-European Transport Network）において鉄道プロジェクトを優先的に進めている。

我が国は2002年3月に京都議定書における国際公約を達成するため「新たな地球温暖化対策推進大綱」（以下、新大綱）を策定した。新大綱では、運輸部門において1990年度比でCO₂排出量を17%増（ほぼ95年の水準）に抑制することを目標とし、これを達成するための各対策のCO₂排出削減の見込み量を示している（表-1）。平成14年度国土交通白書によれば、新大綱を受けCO₂排出量の増大を続ける自家用乗用車からの排出の削減をはじめとする自動車交通対策、モーダルシフト・物流の効率化や公共交通機関の利用促進等による環境負荷の小さい交通体系の構築を柱として取り組むとしているが、具体的な対策の実施までには至っていない。なお、京都議定書は現在108カ国及び欧州共同体が締結し総排出量が43.9%となっているが、発効条件の55.0%に満たず、未発効となっている。（H15.5時点）

表 1 運輸部門におけるCO₂排出抑制対策と削減見込み量

自動車交通対策 (約2,950万t)	・低公害車の開発・普及等 (約2,060t) ・交通流対策 (約890万t)
環境負荷の小さな交通体系の構築 (約1,580万t)	・モーダルシフト・物流の効率化等 (約910万t) ・公共交通機関の利用促進 (約670万t)

* キーワード：整備効果計測法

** 正会員 工修 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部 東京支社 計画部 調査課

*** 正会員 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部 計画部 調査課 総務補佐

**** 正会員 工修 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 北陸管区建設局 飯山鉄道建設所長

(東京都豊島区西池袋1-1-1 1st floor リンクアップビル TEL:03-5954-5225 FAX:03-5954-

5237 E-mail kot.yoshishiki@jrtr.jp)

3. 環境改善効果の計測手法の検討

EU における動向を鑑みれば、環境にやさしい幹線交通の利用拡大を進める必要があり、我が国においても、幹線交通の利用拡大が期待される。その実現のためには、環境に対する計測手法が検討され、評価される必要がある。しかし、我が国の「鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル'99（運輸省鉄道局監修（財）運輸政策研究機構 平成 11 年）」では、自動車交通量の削減に伴う CO₂ 排出量のみを考慮した評価、計測を行っている。鉄道整備によって分担率が変化するのは自動車だけでなく、航空機や高速バスの分担率も変化することが考えられるため、鉄道を含む自動車以外の交通機関からの CO₂ 排出量を算定し、地球的環境改善便益を算出する必要がある。

(1) CO₂ 排出原単位の算出

従来の CO₂ 排出原単位は、総量に対する総交通量にて原単位を作成している。しかし、このマクロ的な手法では、乗車状況や車両（機材）の運用方法を考慮できない。そこで、より交通特性を反映したよりミクロ的な手法として、幹線とアクセス部分毎に、車両ベースの CO₂ 排出原単位の設定、ロードファクター（乗車効率）の設定、の 2 つに分け検討を行った。

(a) 車両ベースでの CO₂ 排出原単位の設定

車両ベースの CO₂ 排出量の計測については、各種統計数値・事業者ヒアリング・実験式からの原単位（ランカーブ・ノッチ曲線からの推定）・カタログスペックからの原単位等の値を整理した（表 2、3）。なお、車両（機材）の運行に伴うエネルギー消費（燃料消費）から車両（機材）の運行に伴う CO₂ 排出量の算定する際には、「温室効果ガス排出量算定に関する検討結果」（環境省 H12.9 及び H14.8）の単位燃料当りの CO₂ 排出原単位を用いている。

(b) ロードファクターの設定

ロードファクターの設定については、各種統計値から原単位、ヒアリングより実績数値からの原単位、需要予測等からの原単位等の値について整理を行った（表 - 2、3）。

(c) 算出された原単位の考察とケーススタディ

CO₂ 排出原単位については、基本的には鉄道が有利であることが示された。本検討による値と既存の値とを

表 2 幹線部分における排出原単位

交通機関	車両ベースでの原単位		ロードファクター		人ベースの CO ₂ 排出原単位 (g CO ₂ /人km)	
	CO ₂ 排出原単位	単位	乗車人員	単位		
鉄道	新幹線(平均)	1,063	g-CO ₂ /車両・km	48.0	人/車両	22.1
	新幹線(カーブ試算値)	1,002	g-CO ₂ /車両・km	48.0	人/車両	20.9
航空機	幹線	54 ~ 108	g-CO ₂ /座席・km	66.6	%	82.0 ~ 162.3
	ローカル線			61.7	%	88.5 ~ 175.2
自動車	自家用乗用車	167	g-CO ₂ /台・km	1.7	人/台	98.2
バス	高速バス	800	g-CO ₂ /台・km	17.9 ~ 30.8	人/台	26.0 ~ 44.7

表 3 アクセス・ゲリラに係る排出原単位

交通機関		CO ₂ 排出原単位 (g-CO ₂ /台・km)	ロードファクター	人ベースの CO ₂ 排出原単位 (g-CO ₂ /人km)	
鉄道	JR東日本	電力	51.0 人/車両	15.0	
		軽油	51.0 人/車両	35.0	
	地下鉄	554	52.0 人/車両 (全国)	10.7	
			78.0 人/車両 (首都圏)	7.1	
	モノレール	973	37.0 人/車両	26.3	
自動車	自家用自動車	15 ~ 25km/h	1.5 人/台	160.5	
		60 ~ 80km/h	1.5 人/台	107.4	
		全国平均	1.5 人/台	184.6 (ガソリン乗用車)	
	277 (ガソリン乗用車)	193.3 (軽油自動車)			
	290 (軽油自動車)	138.7 (軽乗用車)			
	路線バス	15 ~ 25km/h	616	9.0 人/台	68.4
		60 ~ 80km/h	461	9.0 人/台	51.2
871		9.0 人/台 (全国)	96.8		
		28.0 人/台 (首都圏)	31.1		

比較すれば、ほぼ一致した値となっており妥当な結果であると考えている（表 - 4）。

ケーススタディ（モード間比較）として、千代田区～秋田市間（代表的経路として千代田区大手町～秋田市秋田県庁を設定）で試算を行った（表 - 5）。距離の上で鉄道が若干不利であるにも関わらず、1人当たりの排出原単位では航空機や自動車の半分以下の数値となっている。これは、車両ベースでの原単位の優秀さに加え、航空機では空港から秋田県庁での排出量等の影響があることによる。

また、総排出量はロードファクターの関数となることから、鉄道は1車両当たりのロードファクターを連続的に変化させて、航空は座席利用率 63.7%を固定し、鉄道と航空のロードファクターと CO₂ 総排出量の関係と比較した（図 - 2）。この結果、鉄道はロードファクターが 11 人両程度を下回ると競合する航空機に対する優位性が無くなる。

ケーススタディ（事業効果）として、秋田新幹線における直通運転化の with/without を事例として試算を行った。これは秋田新幹線開業の首都圏対秋田県間交通機関別分担率データで、東京都千代田区～秋田市の往復・合算交通量を用いた。

結果、対象区間の需要量は約 109%に増大しているものの、鉄道への転換等から CO₂ 排出量は逆に約 19%減少することが示唆された（図 - 3、4）。

表 - 4 既存のCO₂排出原単位との比較

	環境と運輸・交通 (平成6年)	高速交通時代の環境を考える (平成9年)	地球温暖化問題への国内対策に関する関係審議会合同会議資料 (平成9年)	国土交通白書 (平成12年度)	交通関係エネルギー要覧 (平成12年度)	道路投資の評価に関する指針 (案) (平成10年)/鉄道'99(案)	本検討の原単位	
	g-CO ₂ /人km	g-CO ₂ /人km	g-CO ₂ /人km	g-CO ₂ /人km	g-CO ₂ /人km	g-CO ₂ /台km	g-CO ₂ /台km等	g-CO ₂ /人km
JR	-	-	-	-	18.2	-	電力: 728 ~ 1,180 軽油: 1,803 ~ 4,670	電力: 15 ~ 37 軽油: 29 ~ 72
地下鉄	-	-	11.0	16.0	-	-	554	ave.19 (大都市7~9)
新交通システム	-	-	25.7	27.0	-	-	モノレール: 973 AGT: 614	モノレール: 26 AGT: 36
新幹線	20.5	-	22.0	-	-	-	ave.1063 (942 ~ 1241)	ave.22 (17 ~ 31)
営業用乗合バス	71.1	-	69.7	94.0	-	-	高速バス: 800 路線バス: 743 (速度別461 ~ 959)	高速バス: 26 ~ 45 路線バス: ave. 97 (速度別: 51 ~ 107)
自家用乗用車	163.5	100.7(試験車) 117.2 ~ 169(70推計)	165.0	188.0	186.9	小型車 143 ~ 363	161 ~ 427 高速: 167	107 ~ 284 高速: 98
航空(国内線)	110.7	108.7 ~ 195.5	110.0	111.0	111.0	-	54.6 ~ 108.1	幹線: 82 ~ 162 ローカル線: 86 ~ 175
備考	(C CO ₂)		出典: 交通関係11冊キ要覧(2000) (C CO ₂)	注) 自家用自動車、自家用軽自動車は乗用者、貨物車の計	輸送機関別国内11冊キ要覧 - 消費量、輸送量(人・t)より11冊キ要覧 - 消費原単位(KJ/人・t)を算出し、CO ₂ 換算	走行速度別の環境への影響の算定式 (C CO ₂)	台kmあたりのCO ₂ 原単位を算出し、ロードファクターより人km原単位を算出	

表 - 5 千代田区 ~ 秋田市の試算例

モード	距離 (km)	車両別の原単位 (g-CO ₂ /km台等)	CO ₂ 排出量 (g CO ₂ /台等)	ロードファクター (人/台等)	CO ₂ 排出量 (g-CO ₂ /人)	データ出所		
						原単位	乗車状況	
【鉄道】								
大手町 東京	地下鉄	0.6	554	332	78.0	4	地下鉄実績値	首都圏地下鉄実績値
東京 秋田	新幹線	662.6	1,000	662,600	42.0	15,776	新幹線実績値	東北新幹線実績値
秋田 秋田県庁	タクシー	2.0	241	482	1.0	482	旅行速度20km	仮定
合計		665.2		663,414		16,262		
【航空】								
大手町 東京	地下鉄	0.6	554	332	78.0	4	地下鉄実績値	首都圏地下鉄実績値
東京 浜松町	電車	3.1	766	2,375	109.0	22	JR東日本実績値	首都交通圏JR実績値
浜松町 羽田	モノレール	16.9	812	13,723	37.0	371	東京モノレール実績値	モノレール実績値
羽田 秋田	A300-600ER	555.0	65	36,131	0.6	56,720	B300-600ER平均値	秋田線実績値
秋田空港 秋田県庁	路線バス	25.0	616	15,393	9.0	1,710	旅行速度20km	全国実績値
合計		600.6		67,953		58,827		
【高速バス】								
大手町 秋田駅	高速バス	595.5	800	476,400	22.0	21,655	暫定的平均値	実績値
秋田駅 秋田県庁	路線バス	9.0	616	5,541	9.0	616	旅行速度20km	全国実績値
合計		604.5		481,941		22,270		
【自動車】								
大手町 秋田県庁	自動車	603.5	167	100,785	1.7	59,285	旅行速度40 ~ 80km	仮定
合計		603.5		100,785		59,285		

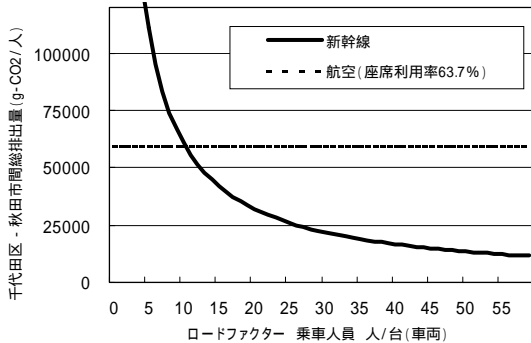


図 - 2 ロードファクターとCO₂総排出量の関係(鉄道 VS 航空)

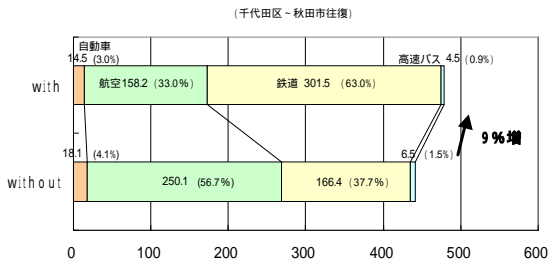


図 - 3 直通運転化 with/without の交通機関別需要量

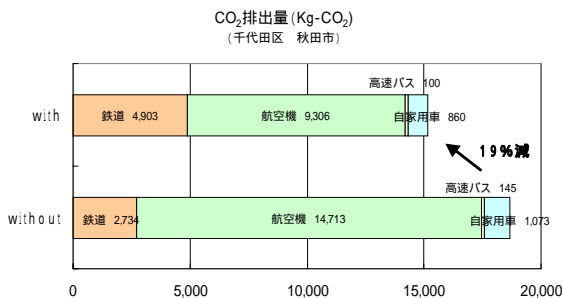


図 - 4 各交通機関からの総排出量

(2) CO₂の貨幣換算原単位と社会的割引率の検討

現時点での京都議定書は、発効要件を満たしておらず、地球温暖化問題への対応に関する議論は進められているが、切迫感の高まりは限定されたものとも言え、将来的なさらなる高まりも視野に入れた検討が必要と考えられる。

以上をふまえ、CO₂の貨幣換算原単位・社会的割引率の設定方法に関する検討を行った。

(a) 貨幣化原単位の設定

貨幣換算の考え方は、大別して 被害額アプローチ、排出権取引アプローチ、対策費用アプローチの3つがあり、それぞれ得失を持ち統一的な見解は存在しない(表 - 6)。

そうした中で 被害額アプローチを用いるのであれば、これまでのマニュアル'99で採用されてきた数値(2,300円/t-C)が一つの候補となる。排出権取引アプローチは、現時点で、我が国の国内市場や国際市場が開発されていないことから、国土交通省の事業評価法検討部会においても、「開設された場合、検討をする」としている。対策費用アプローチは、運輸部門あるいはさらに限定された幹線交通分野に対して、排出量削減の割り当てや削減に対する法的拘束力を持つ罰則

規定が無い場合、幹線交通ネットワーク全体で社会的費用が少ない方法で実施した場合の費用をもって対策費用と考えるべきであり、そうした観点から「表 - 7」の数値を適用することが考えられる。現時点では、排出権取引については市場が未開設で、また、価格水準が制度に依存する点や、現実の経済は不完全市場であること等から、(a) の対策費用の平均値 (39,660 円/t-C) を用いることが考えられる。

表 - 6 各アプローチの主な特徴

考え方	メリット	留意事項
被害額	・事業実施に伴う社会的便益と社会的費用を比較する費用便益分析において経済理論と整合。 ・直接的であり理解しやすい。	・CO2と温暖化の関係、温暖化とさまざまな影響の関係、その貨幣化というプロセスが複雑かつ評価困難。
排出権取引	・現代の市場原理に則った考え方	・市場原理が将来的な超長期的不可逆の影響を合理的に評価できるか。 ・将来世代において対応が困難となつてから、価格が高騰することも考えられ、適切な対応の機会を失う可能性がある。
対策費用	・設定が決まれば計算過程は明瞭 ・環境目的の政策の比較・評価としては理解しやすい	・国・主体の状況によって対策費用が異なる。 ・設定の客観性の確保 ・将来の技術革新等によって変動する可能性

表 - 7 対策費用アプローチの事例

(a) 排出権取引を行わない場合	11,640 ~ 77,400円/t-C (中央値 39,660円/t-C)
(b) 排出権取引を認めた場合	5,520 ~ 16,200円/t-C (中央値 8,400円/t-C)

出典：IPCC 地球温暖化第 3 次レポート (2002)

注 1：数値は、IPCC の「エネルギー・フォーラム (EMF) の研究に参加した 9 つのエネルギーチームによる予測結果の最大値、最小値、中央値を表す。

注 2：1US\$ = 120円 で換算

(b) 社会的割引率の設定

社会的割引率の設定については、資本の機会費用に基づき設定する方法、社会的時間選好に基づき設定する方法がある。現在、国土交通省所管のすべての公共事業においては、この方法に基づき、市場利子率 (国債等) を参考に社会的割引率 4% が設定している。これは「温室効果ガスの排出を削減するための投資は、どの範囲で他の投資に取って代わるのか」という観点から事業を評価するという立場をとることを意味する。一方、地球温暖化問題は、超長期性・不可逆性等といった特徴をもっており、将来世代への影響に配慮した評価を行うことが重要という観点で、この方法に基づき、低率の社会的割引率を適用すべきという考えもある。これは、「将来の世代への影響はどのように (倫理的には) 価値づけられるべきなのか」という観点から事業を評価する立場をとることを意味する。

また、幹線交通プロジェクトの評価において計算期間

は 30~50 年である。長期的な地球温暖化対策という面での評価では、インフラ整備には最初に高い費用が必要となるが、いったん整備されると、長期的に機能する (例えば 100 年オーダー) ことから、地球温暖化の次世代への影響に配慮した評価を実施するという観点で、評価の対象期間は 30 年よりも 50 年が合理的である。また、割引率は、CO₂ 固有の長期蓄積性から、より低率の例えば 2%、もしくは、Green-Book²⁾ において提案されている逡減型割引率 (表 - 8) を適用した場合の評価もあわせて行うことが考えられる。

表 - 8 Green-Book²⁾ における長期間の割引率

時点	0 ~ 30年	31 ~ 75年	76 ~ 125年	126 ~ 200年	201 ~ 300年	301年以降
社会的割引率	3.5%	3.0%	2.5%	2.0%	1.5%	1.0%

4. おわりに

本研究では、運輸・交通部門と環境に係る既存の動向を整理し、CO₂ を対象に幹線交通の特性に応じた環境改善便益の計測手法の検討を行った。CO₂ 排出原単位では、幹線とアクセス・グレイ部分に区別し全交通機関に対して車両ベースの排出量の計測とロードファクターの設定により、ミクロな計測手法を提案した。また、既存のマクロの値とミクロの値では排出原単位に大きな差異が認められず、マクロ的に環境改善便益を計測する場合に、既存原単位の設定方法の有意性が確認できた。貨幣化原単位と現在価値化手法については、現時点での整理を行うことで今後の示唆をした。

我が国の鉄道交通プロジェクトは、地球環境の視点からは必ずしも十分に検討されてこなかった。しかし、持続可能な国土・社会を形成するために、EU では地球環境への対応が大きな政策の 1 つとなっており、その施策として鉄道の利便性を高める投資が進められている。我が国においても、地球環境への意識の高まりから、より有用な計測手法が必要となる。本研究は、それに貢献できるものと考えている。

最後に、本研究に際しては、石田東生筑波大学教授をはじめ関係各位に多大なご指導・ご協力を頂いた。ここに謹んで感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) INFRAS/IWW, "External Cost of Transport : Accident, Environmental and Congestion Costs in Western Europe" (2000), 2
- 2) The Green Book Appraisal and Evaluation in Central Government, H.M. Treasury, 2003.1