

東北新幹線のライフサイクルアセスメント*

Life Cycle Assessment of Tohoku Bullet Train

蛭川 陽一**, 稲村 肇***

By Yoichi NINAGAWA and Hajime INAMURA

1. はじめに

交通に起因する CO₂ 排出量は我が国の総排出量の約 23% を占めており、大きな問題となっている。その排出抑制策として、自動車から鉄道へのモータリシフトの推進などが打ち出されている。この考えは、鉄道における走行エネルギーの効率性が非常に高いことを根拠としている。しかし実際には車両の製造、施設の建設・維持、さらには廃棄以降の処理段階においてもエネルギーは投入されているのである。それにも関わらず、このような交通システムの全ライフサイクルを考慮した研究は行われていないのが現状である。そこで本研究では、大規模な社会インフラを必要とする東北新幹線を対象としてライフサイクルアセスメント(LCA)を行うことを目的とする。

2. 分析方法

従来の LCA はプロセスを一つずつ廻り、環境負荷を積み上げるプロセス分析法が用いられてきた。しかしこの方法では膨大なデータが必要であり、またプロセスをどこまで廻るかというシステムバウンダリーを設定しなければならない。そのため関連の薄いプロセスは考慮されず、分析結果が過小評価になるという問題点があった。この問題点を解決する方法として近年、産業連関表を用いた分析手法が開発された¹⁾。この手法を用いることにより、比較的容易に、さらにシステムバウンダリーを設定せずに分析を行うことができる。特に鉄道システムは多種多様な製品で構成されており、産業連関表分析が適している。そこで本研究では

1990 年取引基本表(列 411×行 527)の行数と列数を 405 部門に統一し、この表を用いて分析を行う。

分析の流れとして、大きく 2 つのステップに分けることができる。まず最初のステップでは各段階に対してライフサイクルコスト(LCC)を求める。次のステップでは、LCC を以下の I-O モデルに代入して各段階での CO₂ 排出量を求めた。

$$q_i = (I - A)^{-1} f_i$$

ここで q_i は部門別生産額ベクトル、 f_i は最終需要ベクトル、 I は単位行列、 A は産業連関表のマトリックス成分 x_{ij} を q_i で除した投入係数行列である。上式により、ある産業に最終需要が生じたときの各産業の生産額増加分を分析することができ、その値に電力中央研究所によって求められた部門別排出係数を乗じることにより CO₂ 排出量を求める。

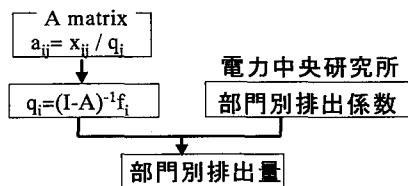


図1 分析フロー

3. 各段階における LCC の推計

(1) 建設・製造段階

東北新幹線の各施設の建設費用、耐用年数を表 1 に示す。これより、全ての施設は耐用年数 60 年以下であることがわかる。したがって 60 年という期間に全ての施設はそれぞれ少なくとも 1 サイクルは終えており、システム全体としても 1 サイクルを終えていると考えることができる。そこで鉄道システム全体の耐用年数を 60 年とし、耐用年数を越えると施設を新設すると仮定して、各施設の新設回数に乗じることによりライフサイクル建設コスト(LCCC)を求める。ここで工事用建物費、工

*Key Words : LCA, 地球環境問題

** 学生員 東北大学大学院 情報科学研究科

*** F 会員 工博 東北大学大学院教授 情報科学研究科
(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉
TEL 022-217-7497 FAX 022-217-7494)

事用機械費、工事付帯については工事期間にのみ使用が限定されており、更に建物や機械はリース代と考えることができる。したがってこれらの費用はライフサイクルにつき一回分かかるとした。以上のことから LCCC は表 1 のように推計される。ここで用地費については、仲介手数料 6% を乗じた値を不動産仲介・管理部門の最終需要に与えた。

表 1 項目別建設費用

項目	建設費用 (百万円)	耐用年数 (年)	LCCC (百万円)
用地*1	411441	-	411441
路盤*2	32637	57	34355
橋梁*2	683706	50	820447
隧道*2	229327	60	229327
軌道*2	137633	25	330319
停車場*2	405274	45	540365
車庫・検査修繕施設*2	91095	20	273285
諸建物*2	72525	45	96700
電灯・電力線路*2	20566	30	41132
通信線路*2	38442	35	65901
運転保安設備*2	42949	12	214745
防護設備*2	2410	15	9640
電車線路*2	39451	45	52601
発電所・変電所*2	94330	45	125773
工事用建物*3	3377	-	3377
工事用機械*4	5739	-	5739
工事付帯*5	347216	-	347216
車両*6	141372	20	424116
合計	2799490		4026480

注) 各項目の産業連関表対応部門は以下の通りである。

- * 1 不動産仲介・管理
- * 2 鉄道軌道建設
- * 3 非木造非住宅
- * 4 鉱山・土木建設機械
- * 5 その他の土木建設
- * 6 鉄道車両

(2) 運用・維持段階

運用・維持段階の費用は各社ごとであり、路線別のデータは公表されていない。また実際には、業務費などは複数の路線にまたがるため、東北新幹線のための運行費用を求める場合には何らかの仮定をおき、推計を行わなければならない。そこで JR6 社、大手民鉄 15 社のデータを用いて推計を行った。推計に用いたデータとそれらとの相関係数を表 2 に示す。

表 2 推計に用いたデータ

項目	推計に用いたデータ	相関係数
(a)施設修繕費	線路延長	0.9029
(b)車両修理費	車両数	0.8886
(c)業務費	旅客人キロ	0.9246
(d)動力費	旅客人キロ	0.8745

(a) 施設修繕費

施設修繕費については、表 2 より線路延長と高い相関があることが分かった。このことから表 3 の①、②のデータを用いて東北新幹線の施設修理費を求めた。

(b) 車両修理費

表 2 より車両修理費と車両数の間には高い相関があり、車両数のデータを用いて東北新幹線の車両修理費を推計する。しかし新幹線と普通電車ではその修理費は大きく異なると考えられる。そこで本研究では、新幹線車両数が全車両数の約 3 分の 2 をしめる JR 東海の車両修理費を基に推計を行った。また資料より、JR 東日本の保有する新幹線車両数のうち、東北新幹線に関わる車両数は約半分であることが分かった。これらのことから表 3 の③、④のデータを用いて東北新幹線の車両修理費を求めた。

(c) 業務費

業務費については表 2 より旅客人キロとの相関が高いので、表 3 の⑤、⑥のデータを用いて推計を行った。ここで業務費に対応する産業連関表項目は最終需要の中の家計外消費支出部門であり、通常の方法では分析を行うことができない。そこで本研究ではコンバータにより分析を行う。つまり業務費を直接最終需要に与えるのではなく、家計外消費支出の投入比率に従って各部門へ分割し、それぞれの最終需要に投入した。

(d) 動力費

動力費に関しても旅客人キロとの高い相関が見られる。しかしながら普通電車と新幹線では、同じ旅客人キロでもそのエネルギー消費量は異なると考えられる。財団法人運輸経済研究センターの報告によると、新幹線の単位輸送量あたりのエネルギー消費量は普通電車の 1.23 倍である²⁾。そこで本研究では表 3 の⑦、⑧のデータによって推計された動力費に、1.23 を乗じた値を東北新幹線の動力費として用いる。またここで電力による CO₂ 排出量は、その発電方法によって大きく異なるはずである。しかし産業連関表において電力は、事業用電力と自家発電の二つにしか分かれていない。そこで本研究では、図 2 のように発電方法別にそれぞれの CO₂ 排出量を推計した。まず動力費を産業連関表の鉄道旅客輸送の投入比率に従い、事業

用電力と自家発電に分割する。自家発電、さらに事業用発電による他の部門への生産誘発に伴う排出量は、建設段階と同様にして求める。事業用電力自身への誘発額を発電施設別シェアに従って石炭火力、石油火力、LNG 火力、原子力、水力に分ける。ここで吉岡らによって、発電施設別の電力百万円あたりの CO₂ 排出量は求められており³⁾、本研究ではその値を用いる。ただし水力発電に関しては求められていない。しかしその電力百万円あたりの CO₂ 排出量は非常に小さいと考えられるので、本研究では無視できるものとした。

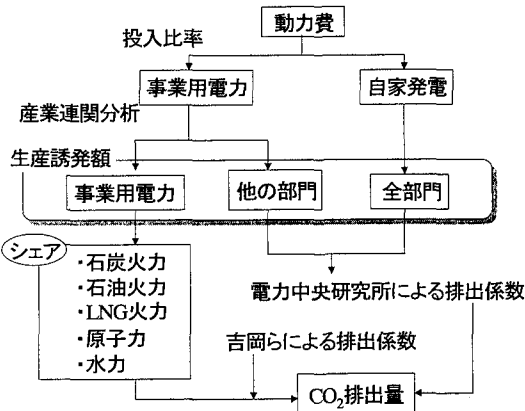


図2 動力に伴う排出の分析フロー

表3 運用・維持段階データ

番号	項目	東北新幹線	上越新幹線	JR東日本	JR東海
①	線路延長(km)	1066	-	12696	-
②	施設修繕費(百万円)	(1)	-	216379	-
③	車両数(両)	877	-	-	3609
④	車両修繕費(百万円)	(2)	-	-	38645
⑤	旅客人キロ(百万人キロ)	12165	-	128599	-
⑥	業務費(百万円)	(3)	-	160887	-
⑦	動力費(百万円)	(4)	-	52664	-

表4 運用・維持段階コストの推計結果

項目	金額(百万円)	産業連関表対応項目
(a)施設修繕費	18174	鉄道軌道建設
(b)車両修繕費	4695	鉄道車両修理
(c)業務費	15219	家計外消費支出
(d)動力費	6127	事業用電力、自家発電

このようにして求まる値は年間あたりの排出量であり、鉄道システムの耐用年数 60 年を乗じて運用・維持段階での排出量とする。

(3) 廃棄段階

鉄道総合研究所により上越新幹線の施設における材料別質量構成が推計されている⁴⁾。

上越新幹線と東北新幹線が同じ施設構成、材料構成を持つものとする、それぞれの営業キロの比率を乗じることにより東北新幹線の材料別構成を推計することができる。その結果を表5に示す。ここで体積はコンクリートの密度を 2.3t/m³、土の密度を 1.8 t/m³、その他の材料の密度はコンクリートと土の平均を取って 2.05 t/m³として計算した。

表5 東北新幹線の材料別構成

	上越新幹線	東北新幹線
営業キロ(km)	304	535
施設重量(万t)	1017	1794
材料別構成(万t)		
コンクリート	511	902
土	412	726
その他	94	166
材料別構成(万m ³)		
コンクリート	-	392
土	-	403
その他	-	81

表6に東北新幹線の通る1都5県における廃棄物処理単価と県内距離を示す。それらの値は財団法人経済調査会の施行単価資料によるものである。ここで東北新幹線の施設重量を県内距離によって配分し、原則的に県内での廃棄物はその県で処理すると仮定した。また取り壊し費用については大型ブレーカーによる費用を用いた。収集・運搬費用については10 tトラックで片道 25 kmを往復で運んだ場合の費用を用いた。中間処理はコンクリート塊のみを対象とした。最終処分に関しては安定型処分場の費用を用いたが、東京都と埼玉県に処分場は存在しないため、中間処理後もっとも近い栃木県まで運び、そこで最終処分すると仮定した。その際の運搬費は、東京は3倍、埼玉は2倍かかるとした。また福島、宮城、岩手の収集・運搬、中間処理、最終処分に関するデータは廃棄物処理業者へのヒアリングにより求めた。

表5、表6より廃棄段階での費用を求め、その結果を表7に示す。求められた費用のうち、取り壊し費用は鉄道軌道建設部門に、その他の費用は廃棄物処理部門の最終需要に投入する。

表6 県別処理単価

	東京	埼玉	栃木	福島	宮城	岩手
県内距離(km)	17.5	52.6	114.9	109.5	136.8	104
取り壊し費用(円/m ³)						
土構造物	6150	6150	6150	6100	6100	6100
コンクリート構造物	13300	13300	13300	13100	13100	13100
収集・運搬(円/10t)	15600	14150	16000	15500	15750	14000
中間処理(円/t)						
コンクリート塊	4430	2180	1650	1500	2000	1600
最終処分(円/m ³)	-	-	5400	4500	5500	4800

表7 廃棄処分費用の推計結果(百万円)

	東京	埼玉	栃木	福島	宮城	岩手	合計
取り壊し費用							81254
土構造物	974	2928	6395	6045	7552	5742	
コンクリート構造物	1704	5122	11190	10503	13122	9976	
収集・運搬	2745	4988	6161	5688	7220	4879	31681
中間処理							16606
コンクリート塊	1306	1931	3193	2766	4608	2802	
最終処分	1547	4651	10159	8068	12319	8173	44916

4. 分析結果と考察

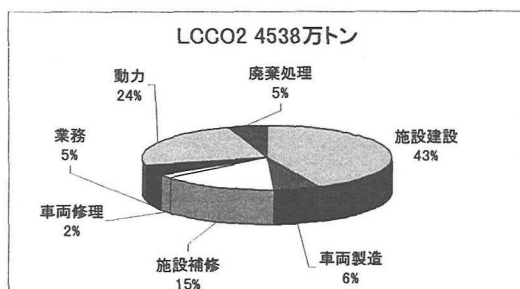
図3 東北新幹線のライフサイクル CO₂ 排出量

図3は各段階における CO₂ 排出量の割合を示している。東北新幹線がライフサイクルに排出する CO₂ (LCCO₂) は 4538 万トンである。これは、一年間に東北自動車道を走行する乗用車からの直接排出量^{注1)}の約 140 倍であり、莫大な量である。

段階別の排出量割合は建設・製造段階が 49%、運用・維持段階が 46%、廃棄段階が 5%であった。また施設の建設、補修における排出量は 58%と大きな割合を占めている。それに対してモーダルシフト推進政策の根拠となっている動力による排出量は全体の 24%であった。これより交通システムの環境負担性を議論する場合には走行エネルギーだけではなく、そのライフサイクル、特に施設の建設、維持に伴う排出を考慮する必要があることが確認された。

次に各段階ごとの詳細について述べる。施設建

設に伴う排出量のうち、約 70%が建設活動自体によるもので、セメントの製造が約 12%、鉄筋の製造が約 4%であった。車両の製造についても、ほとんどが製造活動自体によるもので、素材の製造による排出量は 10%程度であった。これらのことより建設・製造段階では素材製造プロセス以上に、それらの素材を用いて建設、あるいは組み立てを行うプロセスでのエネルギー削減が有効であることが分かった。運用・維持段階では特に動力の比率が高い。その動力に伴う排出量の内訳は事業用電力 64%、自家発電 36%であった。事業用電力の LCC は自家発電の LCC の約 13 倍であるが、自家発電は効率が悪く、その排出係数は非常に大きいために CO₂ 排出量は非常に大きくなるのである。この自家発電を全て事業用電力に切り替えた場合、約 330 万トンもの CO₂ を削減できることが分かった^{注2)}。廃棄処理に関しては取り壊し費用が 23%、収集・運搬が 26%、中間処理が 14%、最終処分が 37%という結果であり、リサイクルによって CO₂ 排出量を削減できるのではないかと考えられる。

注1) 平成6年度道路交通センサス、財団法人運輸経済研究センターによって求められた排出原単位より推計した。
注2) 自家発電への投入額を事業用発電の最終需要に与えた場合と現状の排出量の差をとることにより求めた。

5. おわりに

本研究では産業連関表を用いて LCA を行うことにより、東北新幹線のライフサイクルでの排出量を求めることができた。また段階別の排出割合を示すことにより、改善すべき点を示した。今後は推計結果の精度を高めると共に整備新幹線など他の交通システムについても分析を行う予定である。

参考文献

- 1) 電力中央研究所：産業連関表による財・サービス生産時のエネルギー消費量とCO₂排出量，1996
- 2) 財団法人運輸経済研究センター：環境と運輸・交通，1994
- 3) 吉岡完治，内山洋司，菅幹雄，本藤祐樹：環境分析用産業連関表の応用(5)，イノベーション&I-O テクニク，Vol.5 No.1，1994
- 4) 辻村太郎，鈴木康文：車両は軽量、長寿命化でエコロジカル，RRR，Vol.53 No.11，1996
- 5) 総務庁：平成2年産業連関表，全国統計協会連合会
- 6) 運輸省：平成7年度鉄道統計年報，政府資料等普及調査会
- 7) 財団法人経済調査会：施行単価資料，1996
- 8) JR東日本資料