

低炭素社会に向けた幹線旅客交通ネットワークにおける サービス供給に関するシナリオ分析*

An Analysis on Service Supply Planning of Inter-Regional Transport Network towards Low-Carbon Society*

奥ノ坊直樹**・柴田宗典***・内山久雄****・寺部慎太郎*****

By Naoki OKUNOBO**・Munenori SHIBATA***・Hisao UCHIYAMA****・Shintaro TERABE*****

1. はじめに

近年、地球温暖化が世界規模で問題となっており、特に地球温暖化の主要因とされているCO₂の排出量の抑制が課題となっている。我が国では、2002年に京都議定書を批准し、2012年までに1990年比でCO₂排出量を6%削減することを目標として掲げているが、環境省が公表しているデータによると、2006年度のCO₂排出量は1990年比で11.3%増加している。従って、エネルギー起源のCO₂排出量の約2割を占める運輸部門にとっても、CO₂排出量の削減が大きな課題であるといえる。

一般的に交通機関の環境負荷を表す指標として、人キロあたりのCO₂排出量が用いられている。しかし、人キロあたりのCO₂排出量は、CO₂の総排出量と総輸送人員から求めた値であるため、各交通機関の車両編成や利用者数の差を考慮することができていない。そこで本研究では、鉄道、航空、バス、自動車を対象に需要予測を行い、運行頻度と1両1キロ当たりの原単位からCO₂排出量を算出すること、更に、利便性を確保したままCO₂排出量を少なくする幹線旅客交通ネットワークのサービス供給方法について検討することを目的としている。

これまでも幹線旅客交通の最適ネットワークに関する研究は行なわれているものの、それらは利便性の向上を目的としており、環境面からのアプローチはされていなかった。本研究では利便性だけではなく、同時にCO₂排出量という指標を用いて評価を行っている点が特徴にあげられる。

また、交通機関の環境負荷に関する研究としては、Life Cycle Assessment (LCA) の分野において車両1両あたりのCO₂排出原単位が用いられている。これらは磁気浮上式

*キーワード：幹線旅客交通、CO₂排出量、シナリオ分析

**学生員，学(工)，東京理科大学大学院理工学研究科
土木工学専攻(千葉県野田市山崎2641
TEL04-7124-1501(EXT4058)
j7609605@ed.noda.tus.ac.jp)

***正員，修(工)，東京理科大学大学院理工学研究科
土木工学専攻

****フェロー員，工博，東京理科大学理工学部土木工学科

*****正員，博(工)，東京理科大学理工学部土木工学科

鉄道や整備新幹線など新線建設によるCO₂排出量削減効果を検証したものが多く、本研究では運行頻度などのサービスレベルを変化させた場合のCO₂排出量削減効果を評価している点が特徴である。

2. 使用データと分析対象地域

(1) 使用データについて

本研究では、2005年に行なわれた第4回全国幹線旅客純流動調査(以下、純流動調査)から得られたトリップデータと207生活圏流動表を用いて、交通機関選択モデルと分布交通量モデルの構築を行なうことにより分析を行なう。

交通機関選択モデルを構築するには、出発地から目的地まで移動する際の複数の交通機関のサービス水準を変数に用いる必要がある。本研究では、複数の交通機関の発地・着地を統一してデータの整備を行なうため、次のように発地・着地を定める。

発地・着地は、トリップデータの共通項目である自治省コードから、出発地・目的地の市区町村を調べ、その市区役所・町村役場の半径2km以内にある役所から最も近い駅(以下、最寄駅)とする。最寄駅を調べる際には、「昭文社 Super Mapple Digital Ver.7」を用いて、市区役所・町村役場から半径2km以内の駅を検索し、最も上位に検索された駅を採用した。また、半径2km以内に駅が存在しない場合には、発地・着地は「なし」とした。

(2) 分析対象地域

本研究では沖縄県を除いた九州地方を対象に分析を行なう。九州地方を取り上げた理由は2つあり、交通機関ごとのトリップ長に大きな差がないこと、バスと鉄道の競合路線が多いことの2点である。

純流動調査の207生活圏ゾーンによると、九州地方での生活圏ゾーンは32ゾーンあるが、本研究では鉄道、バスを対象交通機関に含めているため、島しょは分析対象から除外し26ゾーンを分析対象とした。

以上より、発地・着地が判明しており、対象ゾーンをODとするトリップデータからランダムにデータを抽出することによって分析を行なう。

3. モデルの構築

(1) モデル構築の目的

先述したように、本研究の目的は運行頻度から1両1キロあたりの原単位を用いてCO₂排出量を算出することである。しかし、鉄道、航空、バスについては運行頻度を用いてCO₂排出量を算出することができるが、乗用車は運行頻度を設定することができない。そのため本研究では分布交通量から乗用車によるCO₂排出量を算出する。交通機関別のCO₂排出量算出の流れを図-1に示す。

本研究では、まず非集計ロジットモデルを用いて交通機関選択モデルを構築する。そして得られたパラメータからOD間のLogsum変数を求め、OD人口とともに変数に加えることによって、分布交通量モデルを構築することにより分析を行なう。

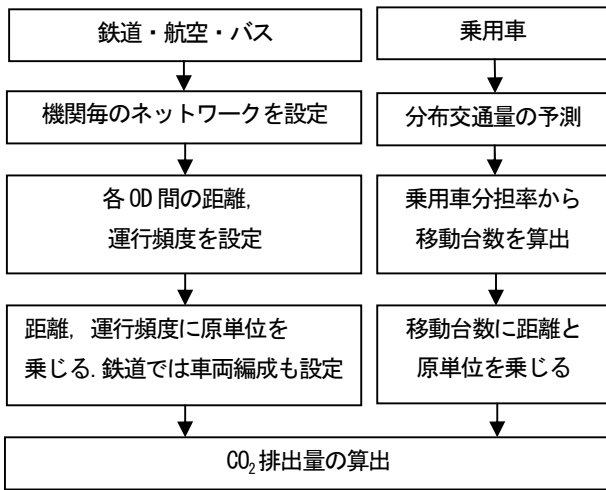


図-1 CO₂排出量算出の流れ

(2) 交通機関選択モデルの構築

対象とする交通機関が鉄道、航空、バス、乗用車の4種類であるため、パラメータの推定には Multinomial Logit モデルを採用する。本研究で用いるロジットモデル、および、各交通機関の効用は式(1)、(2)で表される。

$$P_{in} = \frac{\exp(V_{in})}{\sum \exp(V_{in})} \quad (1)$$

$$V_{in} = \beta^t T_{in} + \beta^c C_{in} + \beta^f F_{in} + \beta^i \quad (2)$$

ここで、 P_{in} はサンプル n が交通機関 i を選択する確率であり、 V_{in} は効用の確定項を表す。また、 T 、 C 、 F はそれぞれ、所要時間、費用、運行頻度であり、 β はパラメータである。ただし対象が4交通機関であるため、乗用車を除いた、3機関に選択肢固有ダミー変数を設定する。

変数に用いるサービスレベルはそれぞれ、鉄道・航空は「駅すばあと全国版2005」、バスは「高速バス時刻表2005年夏・秋号」、乗用車は「昭文社 Super Mapple Digital Ver.7」を用いてデータの整備を行なった。また、運行頻

度に関しては、便数が少ない場合の1本の差と多い場合の1本の差は異なるものと考え、対数型とした。

今回対象とした九州地方では、乗用車の実績分担率が大きくパラメータ推定に大きな影響を与えてしまうため、尤度関数式に母集団シェアとサンプル内シェアの比で表される重みを付けた WEMSL 推定量を用いる。

表-1に推定結果を示す。パラメータの符号に矛盾は見られず、また尤度比も0.39と十分な値を示している。有意水準から見ても、全て有意な値となっていることから、本モデルは機関分担を高い精度で表現し得ていると判断できる。

表-1 交通機関選択モデルの推定結果

| パラメータ | 推定値 | t値 |
|------------------|----------|----------|
| 所要時間[時間] | -0.58 ** | (-16.29) |
| 費用[万円] | -0.71 ** | (-8.09) |
| 運行頻度[log10(本/日)] | 0.18 * | (-1.96) |
| 鉄道固有ダミー | -1.23 ** | (-9.54) |
| 航空固有ダミー | -1.75 ** | (-8.20) |
| バス固有ダミー | -1.53 ** | (-9.79) |
| 尤度比 | 0.39 | |
| 時間価値[円/分] | 203 | |

* : 5%有意, ** : 1%有意

(3) 分布交通量モデルの構築

本研究において分布交通量モデルとしてグラビティモデルを用いる。本研究で用いるグラビティモデルを式(3)に示す。

$$T_{OD} = \exp(\beta_0) \cdot (N_o)^{\beta_1} \cdot (N_D)^{\beta_2} \cdot \exp(\beta_3 \cdot \Lambda_{OD}) \quad (3)$$

ここで、 N_o 、 N_D はそれぞれ発ゾーン人口(万人)、着ゾーン人口(万人)を表し、 β_0 、 β_1 、 β_2 、 β_3 はパラメータである。また Λ_{OD} は効用のLogsum変数であり、OD間の「移動のしやすさ」を表す。

$$\Lambda_{OD} = \ln \left\{ \sum \exp(V_i) \right\} \quad (4)$$

以上よりパラメータの推定を行なった結果を表-2に示す。全てのパラメータの符号に矛盾は見られず、有意な値となったことから、本モデルは分布交通量を高い精度で表現し得ていると判断できる。

表-2 分布交通量モデルの推定結果

| パラメータ | 推定値 | t値 |
|------------|-----------|-----------|
| 定数項 | -12.93 ** | (-501.77) |
| 発ゾーン人口[万人] | 1.45 ** | (544.83) |
| 着ゾーン人口[万人] | 1.20 ** | (445.43) |
| Logsum変数 | 0.77 ** | (280.60) |
| 決定係数 | 0.92 | |

* : 5%有意, ** : 1%有意

4. CO₂排出量の予測とシナリオ分析

(1) 原単位を用いた CO₂ 排出量算出方法

本研究では以下の式 (5) を用いて、各交通機関の 1 両 1km 当たりの原単位と OD 間トリップ長、運行頻度、分布交通量から CO₂ 排出量の予測を行なった。また、公共交通機関については、それぞれ運行経路に合わせてネットワークを設定した。

$$Q_{iOD} = k_i \cdot L_{iOD} \cdot F_{iOD} \quad (5)$$

ここで、 Q_{iOD} は交通機関 i の CO₂ 排出量、 k 、 L 、 F はそれぞれ原単位、トリップ長、運行頻度を表す。また、乗用車による CO₂ 排出量を算出する際には、運行頻度ではなく OD 間交通量を用いる。

算出には文献 4), 5), 6), 10) より、表-3 のように原単位を定めた。

表-3 CO₂ 排出原単位

| | CO ₂ 排出原単位 [kg-CO ₂ /km・台] |
|-----------|---|
| 乗用車 | 0.29 |
| バス | 0.85 |
| 航空機 | 111.37 |
| 在来線特急 | 1.36 |
| 新幹線(700系) | 0.77 |

(2) CO₂ 排出量の比較とシナリオ

式 (5) を用いて、純流動調査が行なわれた 2005 年における幹線旅客交通による九州内の CO₂ 排出量を算出する。また、2011 年に九州新幹線が全線開通する予定であることから、2020 年におけるサービス水準を公表されている博多～鹿児島中央間の予想所要時間¹¹⁾と将来推計人口⁹⁾を用いて、同様に CO₂ 排出量の算出を行なった。その結果を表-4 に示す。

表-4 2005 と 2020 年の CO₂ 排出量

| | CO ₂ 排出量 [t] |
|-------|-------------------------|
| 2005年 | 7858 |
| 2020年 | 7662 |

表-4 より、2020 年において 2005 年と比較して CO₂ 排出量が 5%減少していることがわかる。ここで本研究では、さらに CO₂ 排出量を削減するために、次のようなシナリオを設定し評価を行なう。また Logsum 変数から移動利便性を表す一般化費用を算出し、CO₂ 排出量と合わせて評価に用いる。一般化費用では、流動量の増減も考慮に入れるため、人キロあたりの一般化費用を用いる。一般化費用は式 (6) を用いて算出する。

$$GC_{OD} = \frac{\Lambda_{OD}}{\beta^c \cdot L_{OD} \cdot T_{OD}} \quad (6)$$

ここで GC_{OD} 、 Λ_{OD} 、 L_{OD} 、 T_{OD} はそれぞれ OD 間の一般化費用、Logsum 変数、トリップ長、分布交通量とし、 β^c は交通機関選択モデルから求めた費用のパラメータである。

シナリオ①：CO₂ サーチャージ制度の導入

本シナリオは CO₂ サーチャージ制度を設けるものである。CO₂ 排出量 1kg 当たりの課金額を排出量取引価格¹³⁾を参考にして設定することによって、環境負荷の大きな交通機関から小さな交通機関へ需要がシフトし、CO₂ 排出量が減少すると考えられる。

シナリオ②：九州新幹線の車両編成の短縮

九州新幹線は 2005 年において 6 両編成で 34 往復運行されている。本シナリオは鉄道の車両編成を短縮し、運行頻度を増やすものである。鉄道の CO₂ 排出量は車両編成と運行頻度から算出するため、このシナリオによって鉄道の CO₂ 排出量を増加させずに、サービスレベルを向上させることができると考えられる。

(3) 各シナリオの CO₂ 排出量予測結果

a) シナリオ①の予測結果

シナリオ①では、さまざまな課金額を設定して CO₂ 排出量の予測を行なった結果、課金額によって大きく CO₂ 排出量を削減する効果があるが、同時に一般化費用も増加するという結果が得られた (図-2)。

b) シナリオ②の予測結果

シナリオ②では、九州新幹線を 6 両編成で 34 本/日から 1 両編成で運行頻度を 100 本/日に変化させたところ、CO₂ 排出量、一般化費用ともに減少するという結果が得られた (図-3)。これは利便性を向上させ、さらに CO₂ 排出量も減少させることを表わしている。

c) シナリオの比較

以上の結果より、CO₂ 排出量を大きく減少させるシナリオ①と、シナリオ①と比べて CO₂ 排出量の減少は小さいが一般化費用を減少させるシナリオ②を組み合わせることにより、利便性を確保しながら CO₂ 排出量を削減する可能性があると考え、これをシナリオ③として同様に CO₂ 排出量の予測を行なった。

d) シナリオ③の予測結果

シナリオを設定しない場合と、シナリオ③において九州新幹線を 2 両編成で運行頻度を 100 本/日とし、CO₂ サーチャージを 1t あたり 1000 円とした場合の比較を行なった結果、CO₂ 排出量は 23t 減少しながら、一般化費用は 21 円/人キロの増加という結果が得られた (図-4)。一般化費用の差がわずかであることから利便性は確保されていると判断できる。

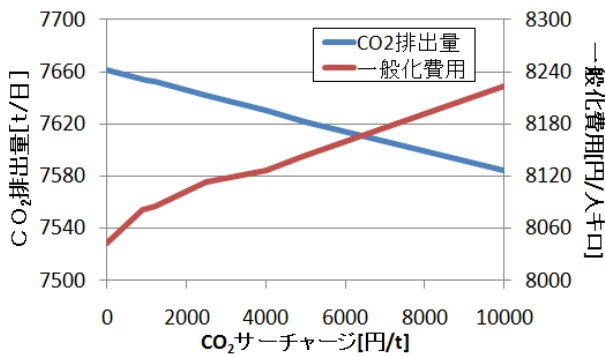


図-2 CO₂排出量の予測結果（シナリオ①）

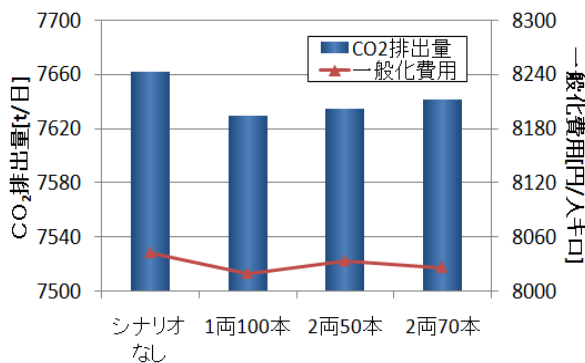


図-3 CO₂排出量の予測結果（シナリオ②）

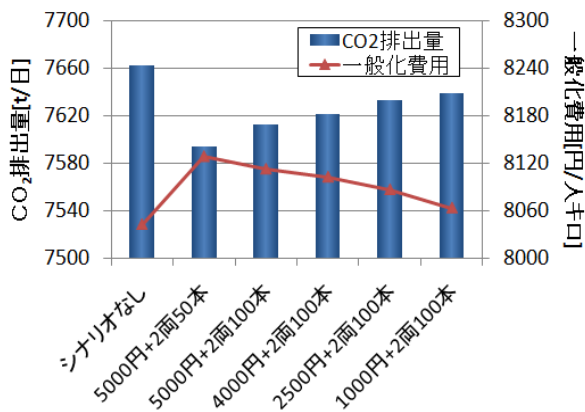


図-4 CO₂排出量の予測結果（シナリオ③）

5. おわりに

本研究では、需要予測モデルを構築し運行頻度を用いてCO₂排出量を算出し、シナリオごとのCO₂排出量を予測することにより、幹線旅客交通ネットワークのサービス供給に関するシナリオ分析を行なった。鉄道の編成長を短縮し運行頻度を増加させるシナリオと、CO₂サーチャージを組み合わせることにより、利便性を確保しながら、CO₂排出量を減少させる可能性を示すことができた。

またCO₂排出量の算出に1両あたりの原単位を用いているため、電気自動車のような燃費性能が向上した交通

機関でもCO₂排出量の算出が可能となる。現在は電気自動車の普及率は低いものの、2020年において新車販売の50%を電気自動車とすることが目標とされている¹²⁾ことから、普及率を50%としたケースについてもシナリオ分析を行なう必要があると考えられる。

本研究ではゾーン間トリップのみを対象に分析を行なったが、運輸部門におけるCO₂排出量は内々トリップによる割合が大きい。今後の課題として、京都議定書の削減目標達成のため、内々トリップを対象に分析を行なうことも必要だと考えられる。

参考文献

- 1) 柘本淳平・塚井誠人・奥村誠：複数経路を考慮した鉄道・航空ネットワークの評価，土木計画学研究・論文集，No.20，p.255-260，2003。
- 2) 波床正敏・中川大：21世紀の幹線鉄道網の構築方針に関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol.37，No.136，2008。
- 3) 中川大・波床正敏：利用者便益を考慮した整備新幹線の評価に関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol.27，No.242，2003。
- 4) 柴原尚希・加藤博和：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，土木計画学研究・講演集，Vol.37，No.20，2008。
- 5) 長田基広・渡辺由紀子・柴原尚希・加藤博和：LCAを適用した中量旅客輸送機関の環境負荷評価，土木計画学研究・論文集，Vol.23，No.2，pp.355-363，2006。
- 6) 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，No.101，2006。
- 7) 統計局：平成17年国勢調査 全国・都道府県・市区町村別人口（要計表による人口），
<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2005/youkei/hyodai.htm>
- 8) 環境省：自主参加型国内排出量取引制度について，報道発表資料，<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=8779>
- 9) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の市区町村別将来推計人口（平成20年12月推計），
<http://www.ipss.go.jp/pp-shicyoson/j/shicyoson08/t-page.asp>
- 10) 旭川市：まちづくり推進課ホームページ，
http://www.city.asahikawa.hokkaido.jp/files/machizukuri/bus/pc_result/keikaku22-23.htm
- 11) 国土交通省：新幹線整備後の距離と概算所要時間，
http://www.mlit.go.jp/tetudo/shinkansen/shinkansen6_3.html
- 12) 環境省：第21回地球温暖化e対策推進本部の開催結果と低炭素社会づくり行動計画の閣議決定について，報道発表資料，
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=10025>
- 13) 環境省：自主参加型国内排出量取引制度（第1期）の排出削減実績と取引結果について，報道発表資料，
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=8779>