

航空との補完的サービスを考慮した最適鉄道運行計画*

Optimal Railroad Operations Considering the Complementary Service with Domestic Flights*

村上直樹**・竹内太郎***・奥村 誠****・塚井誠人*****

By Naoki MURAKAMI・Taro TAKEUCI・Makoto OKUMURA・Makoto TSUKAI

1. はじめに

近年、鉄道を利用した都市間旅客は減少しており、今後の日本の人口減により鉄道の需要獲得は更に難しくなると考えられる。奥村¹⁾らが指摘するように、都市間交通では運行頻度と需要の間に正のフィードバックが強く働くため、事業者は運行コストに直結する運行頻度の設定を戦略的に考える必要がある。

筆者²⁾らは、既往研究において全国鉄道ネットワーク上のリンク毎の運行頻度を最適化するモデルを構築している。しかし、このモデルでは航空サービスのレベルが鉄道の需要に与える影響が考慮されていない。

長距離の航空サービスが充実して来ている現状を踏まえれば、JR北海道やJR九州が取り組んでいるように空港への中距離アクセス機能を充実させることが、今後の鉄道需要の増加に有効である³⁾可能性もあるため、航空との機関分担を考慮して鉄道の運行頻度の設定問題を考えることが望ましい。

本研究では、既存のモデル²⁾を機関分担を含めて拡張し、所与の航空サービスの下で鉄道運行頻度を設定するモデルを構築して、航空との補完的なサービスの可能性に関する分析を行う。

2. 都市間鉄道の利便性の評価方法

本研究では、都市間鉄道の利便性の評価指標として、都道府県間の旅客の利便性をあらかず消費者余剰を求め、それを全国的に集計したものをを用いる。

*キーワード：都市間鉄道、運行頻度、機関分担

、*学生員、広島大学大学院工学研究科

(東広島市鏡山1-4-1、TEL・FAX 082-424-7827)

****正員、博(工)、広島大学大学院工学研究科

*****正員、博(工)、立命館大学理工学部都市システム工学科

その前提として、各都道府県の県庁所在地をノードとするOD毎に、式(1)のような対数線形型の重力モデルを作成しておく。

$$\log(T_{OD}) = \log(\Lambda) + \alpha \log(N_1) + \beta \log(N_2) + \phi \log(LOS_{OD}) \quad (1)$$

T_{OD} : 分布交通量(万人)

N_1 : 都道府県の人口[大](万人)

N_2 : 都道府県の人口[小](万人)

LOS_{OD} : OD間の交通サービス水準

$\Lambda, \alpha, \beta, \phi$: 各パラメータ

1995年幹線旅客純流動調査の個票データから、都道府県間の流動数を集計した上で上記のモデルを推定した結果を表-1に示す。このモデルの説明変数であるOD間のLOS(サービス水準)は、ロジット型の3経路選択モデルを構築し、経路の効用のLogsum変数を求めたものである。経路選択モデルでは鉄道最短経路と航空利用2経路の3経路間の選択を扱い、運行頻度、所要時間や運賃を説明変数とする線形型効用関数を仮定するが、航空最短経路と航空第2経路に距離帯毎の定数項を設定した。1995年の幹線旅客純流動個票データを用いた推定結果を表-2に示す。

OD間で利用される経路として、航空を利用する経路を2経路、鉄道のみ利用する経路の1経路を、第K経路探索法⁴⁾により探索する。鉄道の最短所要時間経路の1.5倍の所要時間以内に航空利用経路が2経路以上探索できた884のODを、以下の最適化の計算対象とし、鉄道最短経路と航空利用2経路の3経路のサービスレベルを考慮する。このことから、実用的な航空経路が存在する中距離以上のODペアを計算の対象としていることとなる。

各リンクの運行頻度が変化した際の消費者余剰の変化分を算出して、その総和を鉄道ネットワークの

全国評価値とする。すなわち評価値は、以下の式(2)で与えられる⁶⁾。

$$\Delta H = \frac{1}{\phi\beta_F} \sum_{OD} [T_{OD2} - T_{OD1}]$$

$$= \sum_{OD} \Delta E_{OD} \quad (2)$$

ΔH : 全国評価値の変化分

ΔE_{OD} : OD間の消費者余剰の変化分

T_{OD2} : 運行頻度変更後の分布交通量(万人)

T_{OD1} : 運行頻度変更前の分布交通量(万人)

F : 経路選択モデルにおける運行頻度のパラメータ

実際に最大化を行う際には、事前の T_{OD1} は一定であるため、次の式(3)を目的関数として用いることができる。

$$H_2 = \frac{1}{\phi\beta_F} \sum_{OD} T_{OD2} \quad (3)$$

このように3経路選択モデルを用いることによって航空-鉄道間のシェアの変化を考察できる点、航空利用経路の中のアクセス手段として鉄道が考慮されている点が、本モデルの大きな特徴である。

3. 各鉄道リンクの運行本数の設定モデル

3.1 問題の設定

本研究では航空ネットワークのサービスを所与として、都市間旅客の利便性を最大化するような鉄道の運行頻度を求める問題を考える。

つまり、鉄道の運行コストは鉄道リンクの距離と一日の運行頻度の積を総和した総列車距離に比例して増加すると考え、総列車距離の制約条件の下で、目的関数である式(2)を最大にする各鉄道リンクの列車距離を求める。ただし、各経路の所要時間や運賃は一定であると仮定する。

3.2 求解方法

本研究ではGA⁵⁾を用いて上記の問題を解く。個体

表-1 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	0.86 **	2.85
人口[大](万人)	1.19 **	24.90
人口[小](万人)	1.03 **	14.21
LOS_{OD}	0.39 **	16.22
決定係数	0.6959	
修正決定係数	0.6949	
サンプル数	884	

** : 1%有意

表-2 経路選択モデルの推定結果

パラメータ	推定値	t値
運行頻度(本/日)	0.06 **	28.56
所要時間(100分)	-0.59 **	-19.23
運賃(万円)	-0.93 **	-15.88
0-800	0.75 **	13.12
定数項 800-1000	0.89 **	11.08
(航空最短) 1000-1200	0.53 **	5.19
1200-(km)	1.32 **	11.78
0-800	-0.17 **	-2.97
定数項 800-1000	-0.37 **	-4.04
(航空第2) 1000-1200	-0.11	-1.07
1200-(km)	0.01	0.15
初期尤度	-15535	
最終尤度	-12536	
自由度調整済み尤度比	0.193	
サンプル数	14141	

** : 1%有意

は各鉄道リンクへの列車距離の配分案である。遺伝子はある鉄道リンクを基準としたときの各鉄道リンクへの列車距離の配分比を256段階で表した8ビットの数字とする。ここで用いるネットワークは航空180リンク、空港アクセス46リンクと鉄道275リンクの合計501リンクから成るため、1つの染色体は274個の遺伝子からなる。

まず、ランダムに総列車距離の配分率を設定した配分案を60個用意し初期配分案集合を設定する。次に各配分案の評価を行う。各鉄道リンクの列車距離をもとに、各経路の運行頻度を計算する。ここでは計算を容易にするため、経路毎の運行頻度はそれを構成するリンクの運行頻度のうちの最小値に等しいと考える。Logsum変数を用いて各ODの LOS を求め、重力モデルを介して式(2)に基づき全国評価値を求める。この配分案の評価値に基づいて、適者生存、交叉、突然変異の操作を行うことで新しい配分案集合を作成(世代交代)する。交叉は一点交叉、突

然変異率は0.02である。また、評価値の高い上位6個の個体はそのまま次世代に残している。新しく作成した配分案を評価し、世代交代を繰り返すことで、より評価値の高い配分案を探索する。

以上の手順は配分案集合の平均評価値の増分が0に近づいた時に終了する。実際には、6万回の世代交代が終了した時点で計算を打ち切り、そのときの配分案集合の中で最も高い評価値を与えた配分案を実用解とした。

4. 計算結果と考察

航空リンクのサービスレベルとして2000年と1970年の実績値を与え、3.で示したモデルにより鉄道リンクへの列車距離の配分案を求めた。総列車距離の制約値は、2000年の実績値である297,025列車km/日を用いる。

以下では航空サービスに2000年の実績値を与えた下での鉄道の配分をケース1、航空サービスに1970年の状況を与えた下での配分をケース2と表す。両ケースの全国評価値はそれぞれ85.3兆円/年、78.5兆円/年であり航空サービスが充実したケース1のほうが約8%高い。図-1、図-2は両ケースのリンク別運行頻度を表している。図-3は、両ケースのリンク別運行頻度の差を示しており、正の値はケース1のほうが鉄道の頻度が大きいことを意味する。図-3中の棒グラフは各空港に設定されている羽田便の便数(便/日)である。

図-1,2,3から、東北-関東、東北-北陸、北陸-関西などといった地域間をつなぐリンクの運行頻度においてケース1よりもケース2のほうが高く設定されている。また、全体的に見るとケース2のほうが頻度の高いリンクの数は多い。一方、ケース1では、東北、関東、中部、四国、九州といった地域内のリンクの頻度が高く設定されている。

これは、ケース1では航空サービスが充実しているため、それらと補完的に鉄道を用いることにより長距離帯のODの評価を上げようとするが、ケース2では航空のサービスレベルが充実していないため、長距離帯のOD間のサービスも鉄道のみで高く保持しようとする力が働いたためであると考えられる。

次に、2つのケースにおける各ODの3経路の最小

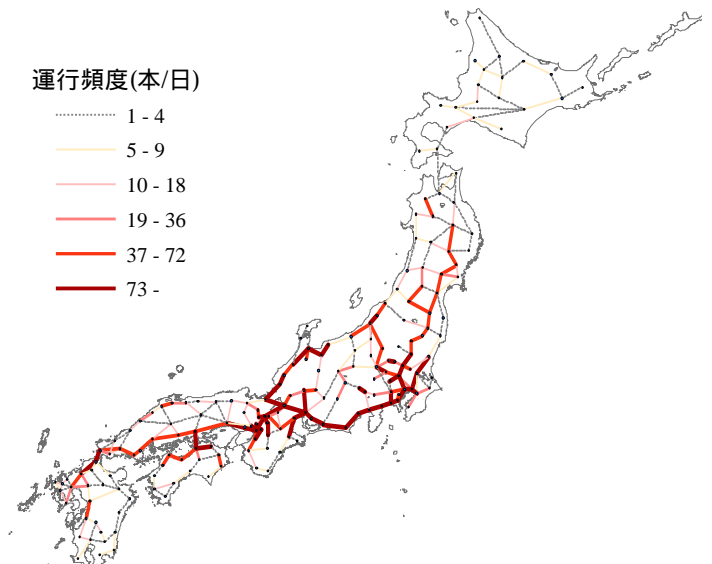


図-1 リンク別運行頻度(case1 航空 2000 年サービス下)

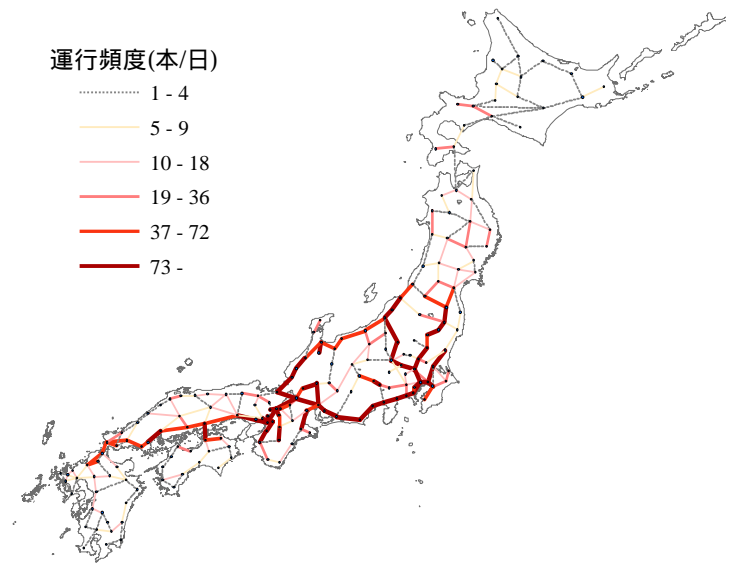


図-2 リンク別運行頻度(case2 航空 1970 年サービス下)

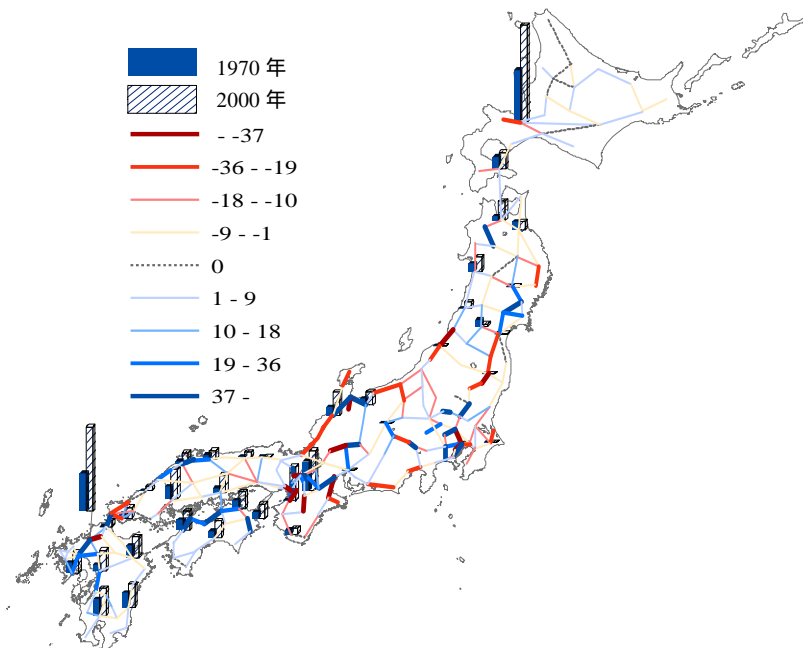


図-3 リンク別運行頻度の差異(case1-case2)

運行頻度を求めて経路分担率を計算した。図-4は、鉄道経路の距離帯毎にODを分類した上でOD分担率の平均値を集計した結果である。図-4より、距離帯が長くなるほど航空を用いた経路の分担率が高くなるが、鉄道利用経路のシェアは400km以下といった近距離帯のODではケース1のほうが高く、長距離帯ではケース2の方が高いことがわかる。また、800km以上の長距離帯では32%から27%に減少し鉄道の輸送量は直感的には約84%となるように見える。ケース1での鉄道、空港アクセス、航空の各リンクでの輸送量について、ケース2との比率を示した表-3によると、鉄道の輸送量の約90%に留まっている。これは、ODのサービスレベル上昇による分布交通量の増大分(+4%)と、航空利用経路内に含まれている鉄道リンクの利用部分の増加に起因するものである。

5. おわりに

本稿では、鉄道-航空間の機関分担を考慮した運行頻度の設定モデルを提案した。また、このモデルを用いた計算結果から、長距離帯の航空サービスが充実していれば、鉄道は空港までのアクセスといった近中距離帯のサービスを分担してこれを補完し、全国評価値を高めることができることを示した。現在、CO₂の排出量削減問題と関連して、物流のマルチモーダル化が注目されているが、本研究の結果は旅客交通分野におけるマルチモーダル利用の重要性を示していると考えられる。

今後の研究課題を以下に示す。(1)評価関数に用いた各交通行動モデルは1995年のデータにより推定したものであるが、2000年の旅客純流動データにより再推定することが望ましい。(2)鉄道の運行頻度の設定モデルでは、新幹線リンクと在来線リンクを分けずに総列車距離を配分した。今後、規格によってリンクを分類した上で分類毎の総列車距離の配分問題を複合的に解くことにより、より実現性の高い配分案を求めることができる。(3)また、本モデルではリンク毎の車両数の違いを考慮していない。各リンクに車両運行距離を配分する問題も興味深い。それを用いてリンク別の予測交通量と座席数の関係を確認することも重要である。

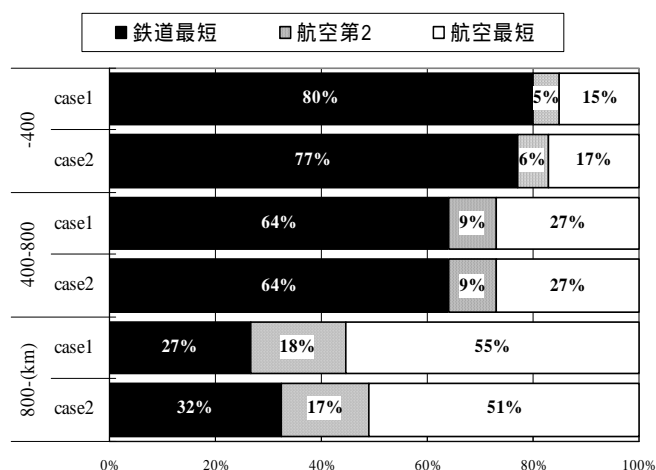


図-4 各caseのOD分担率の平均値

表-3 各種リンクの輸送量の比率(case1/case2)

	鉄道	アクセス	航空	合計
-400	1.14	1.04	1.07	1.13
400-800	1.06	1.07	1.12	1.06
800-(km)	0.90	1.18	1.18	1.04
合計	1.04	1.15	1.17	1.07

参考文献

- 1) 奥村誠・中川大・山口勝弘・土谷和之・奥村泰宏・日野智・塚井誠人：「都市間交通の分析と評価の課題」、土木計画学研究・講演集、No.25、(CD-ROM)、2002.6
- 2) 村上直樹・奥村誠・塚井誠人：「都市間鉄道の利便性を最大とする運航頻度の設定モデル」、日本機械学会第11回鉄道技術連合シンポジウム講演・論文集、pp.389-392、2004.
- 3) 柘元淳平・奥村誠・塚井誠人・村上直樹：「都市間旅客のマルチモーダル利用の実態」、日本機械学会第10回鉄道技術連合シンポジウム講演・論文集、pp.429-430、2003.
- 4) 加藤直樹・茨木俊秀・三根久：「無効グラフの第K最短単純路を求めるO(Kn)アルゴリズム」、電気通信学会論文集、Vol.J-61A、NO.12、1978.
- 5) 萩原将文：「ニューロ・ファジィ・遺伝的アルゴリズム」、産業図書、pp94-111、1994.9
- 6) 柘元淳平、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・講演集、No.26、(CD-ROM)、2002.9