

S6-5. 都市間鉄道の利便性を最大とする運行頻度の設定モデル

A Frequency Allocation Model to Maximize Convenience of Inter-City Railroad Network

学 [土] ○村上 直樹 (広島大院) 正 [土] 奥村 誠 (広島大院)

正 [土] 塚井 誠人 (立命館大)

Naoki MURAKAMI, Hiroshima Univ.

Makoto OKUMURA, Hiroshima Univ.

Makoto TSUKAI, Ritsumeikan Univ.

In recent years, the number of the railroad passengers among the cities is decreased, due to the decrease of the population of Japan. Under such situation, railroad companies probably try to reduce operation cost by reducing the frequency of trains, resulted in remarkable decline of passengers' convenience among the cities. This paper studies the operation frequency reduction problem of the whole railroad network, without decline of passengers' convenience. We propose a train frequency-planning model maximizing the total consumer surplus, under the constraint of total train operation distance per day, and it is solved through GA (Genetic Algorithm). As a result, it showed that a lot of operation frequencies must be secured in such lines where a lot of trips between big cities pass, even if little demand in the area along the line occurs.

Keyword: Inter-city railroad network, Frequency

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、日本の総人口の減少傾向を踏まえると、将来的に旅客数の増加は期待できない状況にある。このような状況下で、鉄道事業者は減便によって運行コストを削減する方針を打ち出す可能性が高い。この際、各鉄道事業者が個別に減便してしまうと、運行頻度が高い区間の連鎖が途中で切れて旅客の利便性が極端に低下してしまう恐れがある。それは都市間交通では一定水準以上の運行頻度が利用経路全体にわたって確保されているか否かが、旅客の利便性に大きく影響するからである。しかし、中期的な国土計画の視点から、鉄道ネットワーク全体の運行頻度の設定問題についての十分な議論はなされていない。

本研究は、できるだけ利用者の利便性を低下させずに、日本全体の鉄道ネットワーク上での減便を行うための計画手法を構築する。このために、全国を運行する1日当りの総列車距離を所与として、利用者の利便性の総和が最大となる効率的な運行頻度の設定問題を考える。総列車距離を減少させながらこの問題を求解し、効率的な運行頻度を求める。そして、その解に基づいて減便下での各路線の重要度を考察する。

2. 都市間鉄道の利便性の評価方法

都市間鉄道の利便性の評価指標として OD ごとの旅客の利便性をあらわす消費者余剰を求め、それを全国的に集計したものをを用いる。その前提として、OD ごとに分布交通量を経路サービス水準の関数として求めておく必要がある。

OD 間の分布交通量モデルとして、対数線形型の重力モデルを適用した。1990 年の幹線旅客純流動個票データ

を用いた推定結果を Table 1 に示す。このモデルの説明変数として OD の LOS(サービス水準)を用いるが、それはその OD 間で利用できる複数経路の各 LOS の合成値である。すなわち、ロジット型の経路選択モデルを構築して、その Logsum 変数を用いて OD の LOS を表現する。経路選択モデルの効用関数は、一般化費用と平均待ち時間を説明変数とする線形型である。1990 年の幹線旅客純流動個票データを用いた推定結果を Table 2 に示す。

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(1)で与えられる。

$$\Delta H = \frac{1}{\phi \beta_{GC}} \sum_{OD} [T_{OD2} - T_{OD1}] \quad (1)$$

ΔH : 全国評価値の変化
 T_{OD2} : 運行頻度変更後の予測交通量(人)
 T_{OD1} : 運行頻度変更前の予測交通量(人)
 ϕ : 重力モデルにおける LOS のパラメータ
 β_{GC} : 経路選択モデルにおける一般化費用のパラメータ

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、目的関数は次の式(2)で表される。

$$H_2 = \frac{1}{\phi \beta_{GC}} \sum_{OD} T_{OD2} \quad (2)$$

Table 1 Estimation result of travel distribution model

パラメータ	推定値	t 値
定数	6264.0 **	3.7
人口 (大)	0.55 **	24.5
人口 (小)	0.48 **	20.5
OD間の鉄道距離	-0.87 **	-23.6
LOS	0.91 **	12.1
決定係数	0.4150	
修正済決定係数	0.4145	
サンプル数	4867	

Table 2 Estimation result of route choice model

パラメータ	推定値	t 値
一般化費用	-0.15 **	-2.87
平均待ち時間	-0.15 **	-6.76
最短経路定数項	1.46 **	43.64
初期尤度	-10166.4	
最終尤度	-6699.8	
尤度比	0.341	
サンプル数	14688	

3. 各リンクの運行頻度の設定モデル

(3.1) 問題の設定

運行頻度を設定する際の制約条件として、本研究では各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を考える。これは、運行コストはほぼ距離と運行頻度に比例して増加すると考えられるからである。総列車距離の初期値は、現状のネットワークに割り付けられている総列車距離(347,451 列車 km/日)とし、さらにこれを削減したケースについても計算を行う。

本研究では所与の総列車距離の下で、目的関数である式(2)が最大になる各リンクの列車距離を求める。ただし、OD 間の経路の所要時間や運賃は変化しないと仮定する。

(3.2) 求解の方法

本研究では GA を用いて上記の問題を解く。個体は各リンクへの列車距離の配分案である。遺伝子はあるリンクを基準としたときの各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。ネットワーク上には 275 のリンクが存在するので、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、時刻の情報を用いずに計算を行う。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 に限りなく近づいた時に終了する。実際には、5 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のついた配分案を実用解とした。

4. 配分結果

(4.1) 現状の総列車距離を再配分した結果

現状の総列車距離(347,451 列車 km/日)を与え、3. で示したモデルにより配分案を求めた。最適解の全国評価値は、現状の運行頻度に基づく評価値よりも 2%ほど高い値を示した。Fig.1 は現状のリンク別運行頻度、Fig.2 はモデルの解を表している。両者とも、各リンクの運行頻度を平均待ち時間によって表現している。Fig.1 では、東北新幹線、東海道新幹線、山陽新幹線、北陸の西側、東北の南部、九州の北部に平均待ち時間が短いリンクが存在するが、それらは必ずしも連続していない。Fig.2 より、最適解では関東を中心に運行頻度が高く、地方部に行くほど連続的に運行頻度が低く設定されている。また、その落ち具合は西日本よりも北日本のほうが著しい。

平均待ち時間 (分)

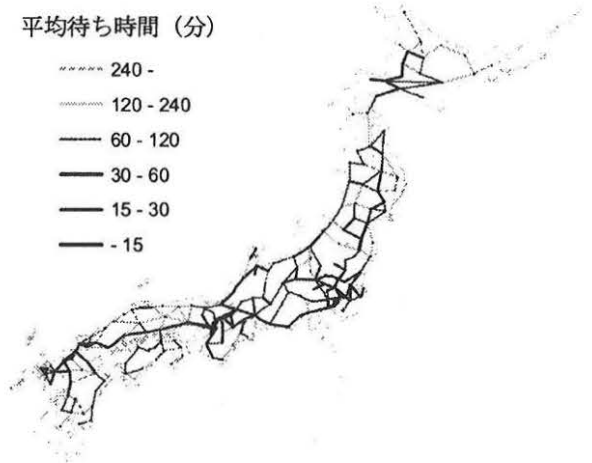
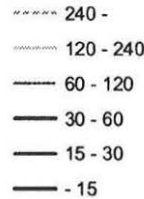


Fig.1 Average train interval of links (present)

平均待ち時間 (分)

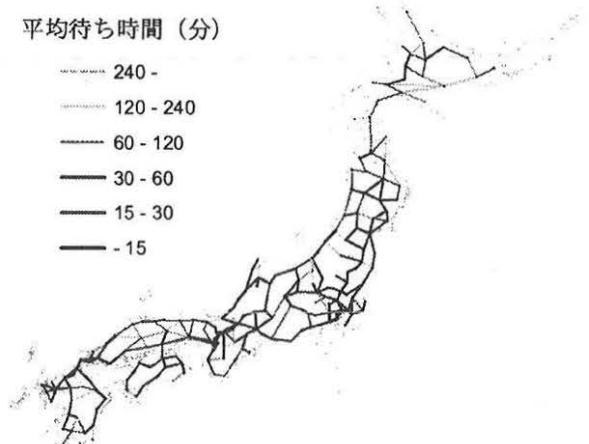
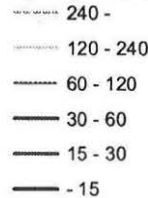


Fig.2 Optimal average train interval (100%)

Fig.3 は現状の運行頻度と最適解について、平均待ち時間カテゴリー別にリンク数を集計したものである。Fig.3 より、平均待ち時間が 10 分から 30 分の間のリンクを集中的に増やせば、高い全国評価値が得られることがわかる。

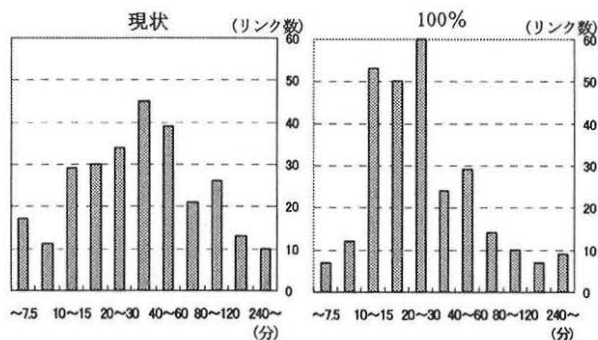


Fig.3 Links classified by average travel interval

Fig.4 は、各リンクに配分された総列車距離を地方別に集計したものである。ここでは現状の列車距離に対する変化率を示す。Fig.4 より、北海道、関西、関東などの運行頻度を低くし、四国、中部、東北などを高く設定すれば全国評価値が増加することがわかる。

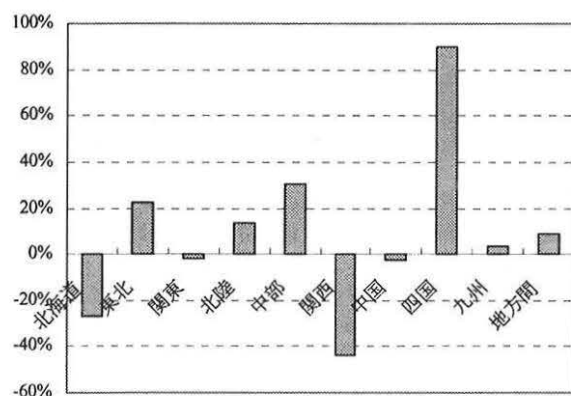


Fig.4 Relative train distance in regions to the present

(4.2) 総列車距離減少下での配分結果

総列車距離を現状の 90%、80%、70%、60%、50% に制約した場合のそれぞれについてモデルにより配分案を求めた。全国評価値の推移を Fig.5 に示す。Fig.5 より、総列車距離が 70% になるまでの評価値の減少は緩やかであるが、それ以降の減少量は大きくなることがわかった。70% と 50% のそれぞれの場合について各リンクの平均待ち時間を Fig.6 と Fig.7 に示す。Fig.6 では、全体的に運行頻度が高く平均待ち時間の短いリンクが多いが、Fig.7 では、平均待ち時間の短いリンクの数は限られてくる。また、山陰で特にその特徴が表れ、連続性が小さくなっている。

Fig.8 に各配分案の平均待ち時間別のリンク数を示す。これより、総列車距離の減少に対応して 30 分から 60 分の間のリンクを多くする必要があり、全体的に平均待ち時間の長いリンクが増える。また、総列車距離が 70% の時でも現状の平均待ち時間の分布とほぼ同等の分布が実現できることがわかる。このことは、現状の列車距離の配分が効率的でないことを示している。

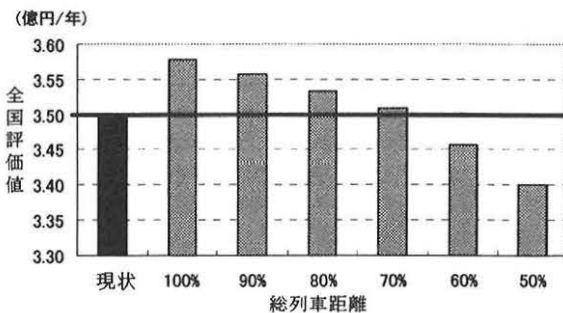


Fig.5 Change total evaluation due to the train distance reduction

平均待ち時間 (分)

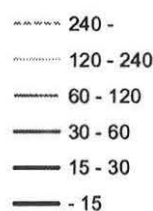


Fig.6 Optimal average train interval (70%)

平均待ち時間 (分)

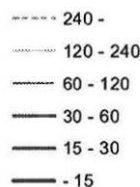


Fig.7 Optimal average train interval (50%)

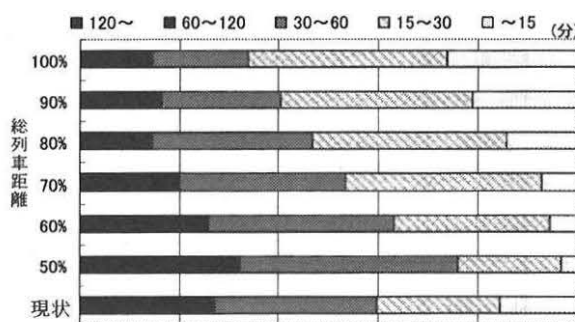


Fig.8 Links classified by average train interval

Table 3 は、各配分案の列車距離を 100% の場合の配分量を基準にして地方別に集計した結果である。太字はその値が全国平均よりも高いことを示している。Table 3 から、大阪、東京といった大都市の発生・集中トリップの通過リンクとして利用される東北、北陸、中部のリンクには、他の地方と比較して列車距離が多く配分されることが読み取れる。すなわち、全国評価値をなるべく下げずに総列車距離を減少させるためには、大都市旅客の通過リンクの運行頻度を高く確保するべきであることを示している。

Table 3 Train distance in regions compare to 100% case

	100%	90%	80%	70%	60%	50%
北海道	1.00	0.75	0.75	0.56	0.51	0.44
東北	1.00	0.88	0.78	0.73	0.63	0.51
関東	1.00	0.86	0.71	0.58	0.53	0.44
北陸	1.00	*1.02	0.84	0.72	0.55	0.56
中部	1.00	0.91	0.82	0.72	0.64	0.51
関西	1.00	0.92	0.77	0.71	0.63	0.48
中国	1.00	1.00	*0.95	0.75	0.61	*0.59
四国	1.00	0.83	0.77	0.74	0.58	0.48
九州	1.00	0.84	0.80	0.71	0.58	0.46
地方間	1.00	1.01	0.88	*0.79	*0.69	0.56

*: 列の中で最大

(4.3) 2030 年の人口分布の下での配分結果

将来の鉄道サービスのあり方は国土における人口分布によって異なると考えられる。そこで、今後想定される人口分布の変化の影響を見るため、2030 年の人口分布を設定して配分案を求めた。ただし、人口減少の影響を考えないため、国立社会保障人口問題研究所の都道府県別将来予測人口に基づく各地方の人口比によって 2000 年の人口を変化させたケースに対して計算を行う。

このときの全国評価値は、2000 年人口に対する計算結果よりも 8% 小さい値を示した。Table 4 に、2 つのケースの地方別人口の全国比、および配分量の全国比を示す。Table 4 より、人口は中四国や北海道、東北、九州の比率が低下しその分が関東に移るという想定になっているのに対し、列車距離は中国への配分量が大きく増加することがわかる。これは、中国は人口割合の減少量が比較的小さい中部、関西と、九州との通過リンクとして利用されているためである。逆に、人口割合の減少が大きい北海道の通過リンクとなっている東北への配分量は減少している。また、国土の端に位置する北海道と九州の資源の配分量は、わずかに増加することがわかった。

Table 4 Relative distribution of regional population and train distance

	2000年		2030年		全国比 変化	2000年		2030年		全国比 変化
	人口[万人]	全国比	人口[万人]	全国比		列車距離	全国比	列車距離	全国比	
北海道	596.3	(0.040)	499.4	(0.036)	-0.004	20787.1	(0.060)	21292.3	(0.061)	0.001
東北	1072.9	(0.071)	945.5	(0.067)	-0.004	51272.3	(0.148)	48346.0	(0.139)	-0.008
関東	4818.1	(0.319)	4887.2	(0.348)	0.028	54481.2	(0.157)	50927.2	(0.147)	-0.010
北陸	561.5	(0.037)	479.6	(0.034)	-0.003	20116.9	(0.058)	17850.7	(0.051)	-0.007
中部	1843.2	(0.122)	1726.4	(0.123)	0.001	39025.4	(0.112)	35341.9	(0.102)	-0.011
関西	2470.6	(0.164)	2278.7	(0.162)	-0.002	32272.4	(0.093)	36322.1	(0.105)	0.012
中国	1362.9	(0.090)	1161.4	(0.083)	-0.008	28413.5	(0.082)	34154.8	(0.098)	0.017
四国	691.2	(0.046)	579.9	(0.041)	-0.005	20116.9	(0.058)	19408.1	(0.056)	-0.002
九州	1664.9	(0.110)	1502.8	(0.107)	-0.004	42366.4	(0.122)	43434.1	(0.125)	0.003
地方間	—	—	—	—	—	38598.9	(0.111)	40373.7	(0.116)	0.005
全国	15081.6	(1.000)	14061.1	(1.000)	0.000	347451.0	(1.000)	347451.0	(1.000)	0.000

5. おわりに

本稿では、国内鉄道ネットワークにおける運行頻度の設定モデルを提案した。また、その計算結果から、総消費者余剰最大化の規範の下では、沿線需要が少なくても大都市間のトリップが経由する、北陸や中国などの通過リンクの運行頻度を高く確保するべきであることを示した。

本モデルにおける今後の課題を以下に示す。本モデルでは、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ごと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。また、本モデルではリンクごと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。さらに、本研究で設定した鉄道ネットワークに航空ネットワークを加え、両機関のシェアの変化を考慮することも重要な課題である。

本モデルを用いることによって将来の鉄道ネットワーク上での効率的な配分案を検討する材料を提供できる。今後、国土計画の視点にたった都市間交通網の再編についての議論が活発化されることを期待したい。

【参考文献】

- 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、土木計画研究・講演集、No.25、(CD-ROM)、2002.6
- 武藤雅威、内山久雄：規制緩和後の交通事業者の動向と地域への影響、運輸政策研究、Vol.5No.3、pp71-76、2002.Autumn
- 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、No.27、(CD-ROM)、2003.6
- 榎元淳平、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、土木計画研究・講演集、No.26、(CD-ROM)、2002.9
- 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