

S6-1-6

鉄道運行戦略に対する航空サービスの影響分析

○村 上 直 樹 (広島大学大学院)

[土] 奥 村 誠 (広島大学大学院)

[土] 塚 井 誠 人 (立命館大学)

Influence of the Aviation Service to Railway Operation Strategy

Naoki Murakami (Hiroshima University)

Makoto Okumura, Member (Hiroshima University)

Makoto Tsukai, Member (Ritsumeikan University)

This study discusses the Influence of the aviation service to railway operation strategy. As an index of consumer's convenience, we formulate the consumer surplus of rail and aviation passengers calculated from the given train frequency on railway links. On the other hand, as an index of profitability, we formulate the total fare income of railway. GA is applied to find the best mixture of number of daily train operations for each link maximizing each of the two indexes, with the basis of the given aviation service. We set the service level of aviation links based on the situation in the year 2000 and 1970. From these results, we show that intercity network can demonstrate high convenience by cooperation of aviation and railway.

キーワード：都市間鉄道、機関分担、運行頻度、消費者余剰、鉄道運賃収入

Keyword: intercity railway, mode assignment, frequency, consumer surplus, railway fare income

1. はじめに

近年、出発地から離れていても多くの便数が設定されている空港を利用する都市間旅客が多いことが報告されている¹⁾。そのため、鉄道事業者が拠点となる空港までの中距離アクセスの頻度を多く設定すれば、長距離の航空輸送との補完性が発揮でき、旅客にとって利便性の高い都市間交通網が実現できると考えられる。また、その鉄道アクセス部分の運賃収入の増加が期待できるため、鉄道事業者にとっても有利な戦略となる可能性がある。本研究ではこのような航空サービスとの協調を踏まえた鉄道サービスのあり方を明らかにすることを目的としている。

本研究では、300km 以遠の都道府県間の全 OD(841OD)の LOS(運行頻度)に基づく消費者余剰を利便性の評価指標として用いる。一方、それらの OD 間の鉄道利用客からの運賃収入を鉄道事業者の立場からの評価指標と考える。そして、所与の航空サービスの下で、各評価関数を最大にする鉄道リンクの運行頻度を設定するモデル²⁾を構築する。これらの解を比較することにより、航空-鉄道サービスの協調のあり方を明らかにする。

2. 運行頻度の設定モデル

2.1 問題設定

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、または鉄道事業者の収入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。

ここで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の制約条件の下で、目的関数である式(1)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。

$$H_3 = \alpha H_1 + (1.0 - \alpha) H_2 \quad (1)$$

α : 鉄道-航空の協調性指標 ($\alpha = 1.0$ or 0.0)

H_1 : 全 OD 間の消費者余剰

H_2 : 全 OD 間の鉄道運賃収入

2.2 目的関数

後に述べるように OD 間の消費者余剰は、OD 交通量の関数となる。そこで、各都道府県の県庁所在地をノードと

する OD 毎に、式(2)のような対数線形型の重力モデルを作成する。

$$\log(T_{OD}) = \log(\Lambda) + \alpha \log(N_1) + \beta \log(N_2) + \phi \log(LOS_{OD}) \quad (2)$$

T_{OD} : 分布交通量(万人)
 N_1 : 出発地都道府県の人口(万人)
 N_2 : 目的地都道府県の人口(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

2000 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、所要時間、平均待ち時間や運賃から計算される一般化費用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 経路に定数項を設定した。2000 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。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表現し、航空利用経路の中のアクセス手段として鉄道を考慮する点が本モデルの大きな特徴である。

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は、以下の式(3)で与えられる³⁾。

$$\begin{aligned} \Delta H &= \frac{1}{\phi \beta_{GC}} \sum_{OD} [T_{OD2} - T_{OD1}] \\ &= \sum_{OD} \Delta E_{OD} \end{aligned} \quad (3)$$

ΔH : 全国の消費者余剰の変化分
 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)
 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、次の式(4)を目的関数 H_1 として用いることができる。

$$H_1 = \frac{1}{\phi \beta_{GC}} \sum_{OD} T_{OD2} \quad (4)$$

一方、OD 間の鉄道利用客から得られる鉄道運賃収入は

表 1 都市間交通量モデルの推定結果

パラメータ	推定値	t 値
定数	0.12 **	3.20
人口(出発地)	1.29 **	33.48
人口(目的地)	1.14 **	26.37
LOS_{OD}	1.52 **	12.84
決定係数	0.7312	
修正決定係数	0.7302	
サンプル数	841	

** : 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
一般化費用	-0.16 **	-7.49
定数項(航空最短)	-0.12 **	-4.91
定数項(航空第2)	-1.62 **	-37.99
初期尤度	9240.4	
最終尤度	7753.1	
尤度比	0.161	
サンプル数	8411	

** : 1% 有意

OD 交通量(式(2))の関数として式(5)のように定式化することができる。

$$FR_{OD} = \sum_{R: I(R)=r} \{ (T_{OD} \times SP_r) \times fare_r \} + \sum_{A: I(A)=a} \{ (T_{OD} \times SP_a) \times fare_{a,rail} \} \quad (5)$$

FR_{OD} : OD 間の鉄道運賃収入
 SP_{ra} : 各機関の OD 分担率
 $Fare_r$: 鉄道経路の運賃(万円)
 $Fare_{a,rail}$: 航空経路の鉄道運賃(万円)

式(5)を全 OD で集計することにより、目的関数 H_2 は式(6)で定式化できる。

$$H_2 = \sum_{OD} FR_{OD} \quad (6)$$

2.3 求解方法

本研究では GA を用いて 2.1 で示した問題を解く。個体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(4)、(6)に基づき目的関数を計算する。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0.3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。

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。

3. 計算結果

3.1 初期設定

航空リンクのサービスレベルが充実している2000年とそうでない1970年の実績値を与え、2. 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CASE1、航空サービスに1970年の状況を与えた下での配分をCASE2と表す。

3.2 消費者余剰最大化($\alpha=1.0$)の解の考察

図1,2は、両CASEにおける $\alpha=1.0$ の解が示すリンク別運行頻度を表している。また、図3は、両CASEのリンク別運行頻度の差を示しており、正の値はCASE1のほうが鉄道の頻度が大きいことを意味する。

図1,2,3から、東北-関東、北陸-関東、関西-四国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CASE1よりもCASE2のほうが高く設定されている。また、全体的に見るとCASE2のほうが頻度の高いリンクの数は多い。一方、CASE1では、東北、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、CASE1 では航空サービスが充実しているため、それらと補完的に中距離で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、CASE2では航空のサービスレベルが充実していないため、鉄道サービスのみで長距離帯のODの評価を保持しようとする力が働くためであると考えられる。

3.3 運賃収入最大化($\alpha=0.0$)の解と $\alpha=1.0$ の解との比較

ここでは、3.2 の計算結果と $\alpha=0.0$ の解を求めた計算結果とを比較する。2つのCASEとも2つの解の目的関数 H_1 、 H_2 の値は一致する結果となり、CASE1で $H_1=5.16$ (兆円/年)、 $H_2=1.19$ (兆円/年)、CASE2で $H_1=5.01$ (兆円/年)、 $H_2=1.17$ (兆円/年)となった。また、図4はCASE1における $\alpha=0.0$ の解が示すリンク別運行頻度を表している。図5,6は、CASE

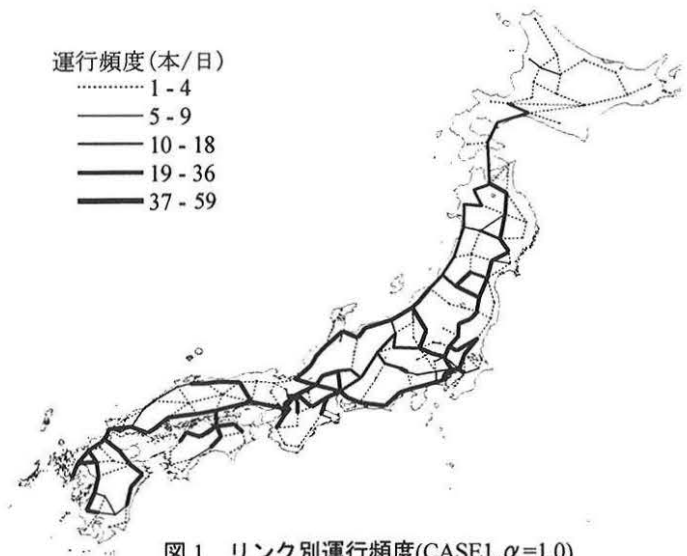


図1 リンク別運行頻度(CASE1, $\alpha=1.0$)

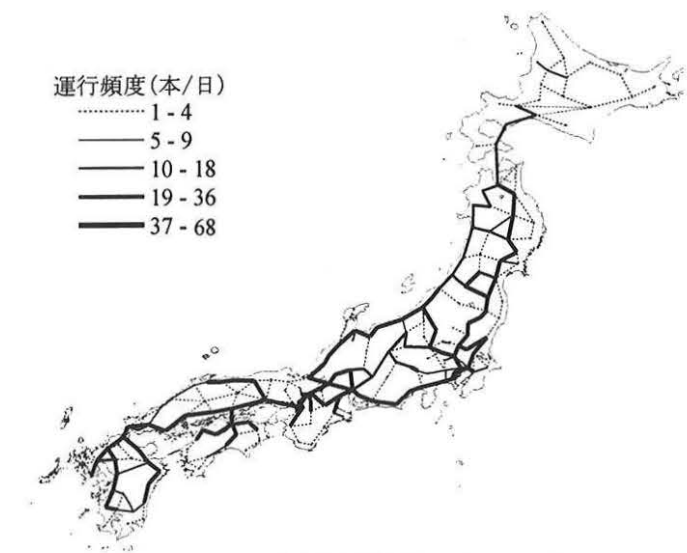


図2 リンク別運行頻度(CASE2, $\alpha=1.0$)

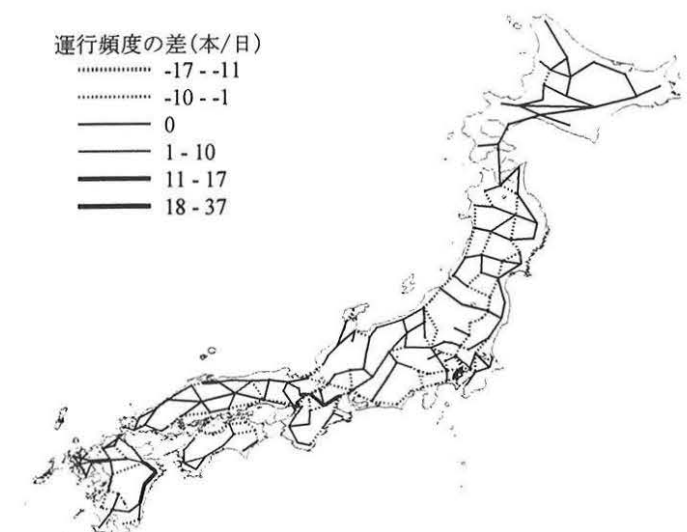


図3 リンク別運行頻度の差(CASE1-CASE2)

ごとに $\alpha=1.0$ と $\alpha=0.0$ との解のリンク別運行頻度の差を示しており、正の値は $\alpha=1.0$ の解のほうが鉄道の頻度が大きいことを意味する。

図4,5,6から、 $\alpha=1.0$ と $\alpha=0.0$ の2つの解に差があるリンク数はCASE1よりもCASE2の方が多く、それらの差異も大きい。これは、航空サービスが充実していない1970年では、鉄道事業者は航空サービスとの連携を考慮せずに運賃収入を多く確保できたが、逆に、航空サービスが充実している現状では、鉄道の運行計画によって収入をコントロールできる力が弱くなっていることを示している。

4. おわりに

本稿では、目的関数に消費者余剰と鉄道運賃収入を用いて、鉄道-航空間の機関分担を考慮した運行頻度の最適化を行った。消費者余剰最大化の計算結果から、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、消費者余剰を高めることができることを示した。また、各CASEの目的関数別の計算結果を比較した結果、航空サービスの充実に伴い鉄道事業者が収入をコントロールできる裁量は弱まっていることがわかった。

今後の研究課題を以下に示す。本稿で示した設定モデルでは、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。本モデルでは経路の効用関数の説明変数に平均待ち時間を用いた結果、最適化後の運行頻度は50~70本で頭打ちになった。運行頻度の項を含む効用関数形も検討する必要がある。また実際には、リンクフローに対して車両数(座席数)が不足しているリンクが存在する可能性が高い。よって、GAの計算過程にリンクフローの繰り返し計算を行うことが望ましいが、GA中にどう取り入れるかについては検討中である。

参考文献

- 1) 柊元淳平・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。
- 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) 柊元淳平・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

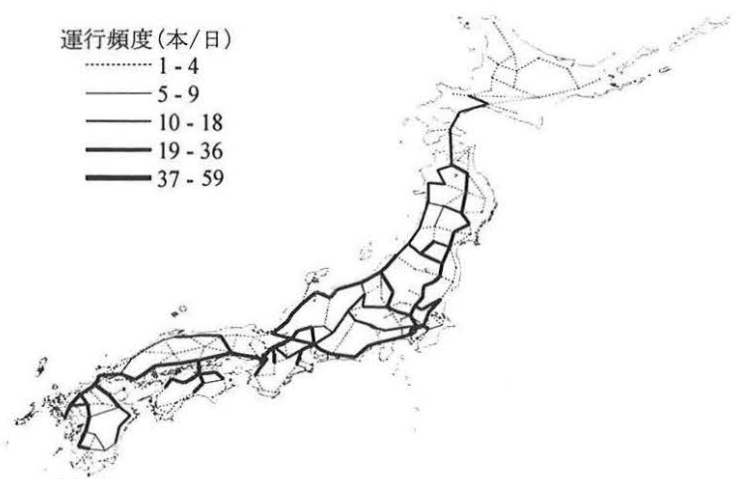


図4 リンク別運行頻度(CASE1, $\alpha=0.0$)

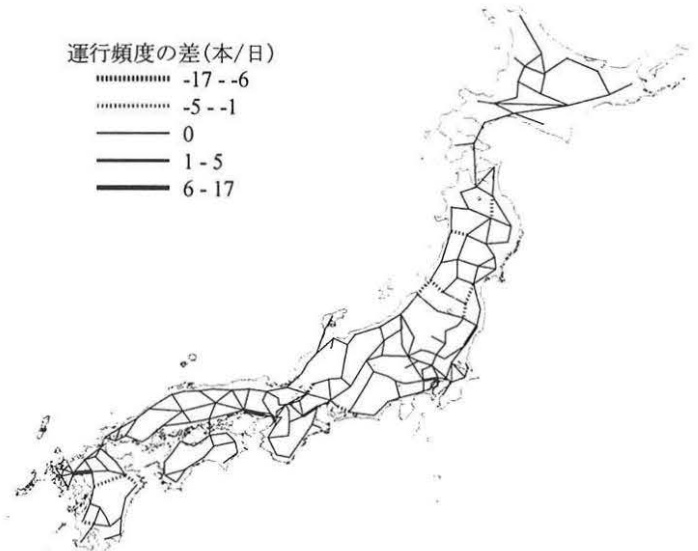


図5 2つの解の運行頻度の差(CASE1)

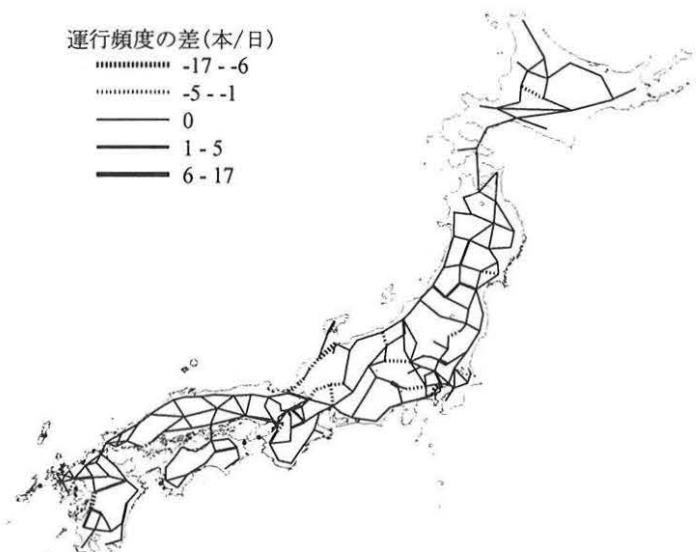


図6 2つの解の運行頻度の差(CASE2)