

都市間交通の機関選択における運行スケジュールの影響分析

Effect of Flight Schedule on Inter-city Modal Split

木村裕介*

Yusuke KIMURA

*地域計画学研究室（指導教員：奥村誠 教授）

本研究では、航空の運行スケジュールが旅客の機関選択に与える影響を分析した。そのため、運行スケジュールの良さを表す定量的な指標として平均スケジュールコストという概念を導入した。また、最適立地モデルを応用した逆解析を用いて旅客の希望時刻の分布の推定を行い、その結果から算出した平均スケジュールコストを用いて航空選択率の重回帰分析を行うことにより、旅客の希望時刻に便を設定することが航空選択率の上昇をもたらすことを示した。

Key Words : 都市間交通, 機関選択, スケジュールコスト, 逆解析, 希望出発時刻

1 はじめに

航空に代表される都市間交通は、都市内交通と比べて運行が低頻度である。特に航空の場合は鉄道に比べて運行間隔が広い。加えて複数の会社が参入している路線の場合には、全体の便数は多くても各社の競争の結果として他の企業と出発時刻が似通ってしまう傾向がある（例えば、Borenstein・Netz¹⁾）とされている。また、最近では赤字路線の廃止・減便という傾向も見られ、旅客の利便性の低下が心配される。

しかし、都市間交通においてこのような運行スケジュールが交通機関選択に及ぼす影響に関する研究は多くない。大枝ら²⁾は鉄道の所要時間や空港の運用時間が与えられた下での航空旅客の出発便選択行動のモデル化を行い、また石倉・稲村³⁾はトリップモード特性や交通モード特性が到着余裕時間に与える影響を分析したが、いずれの研究も運行スケジュールがもたらす影響には言及していない。

そこで本研究では、運行スケジュールが都市間の旅客の航空選択率に与える影響を分析する。また、その際に必要となる希望出発時刻の分布を、実際の運行スケジュールから逆推定する方法を提案する。

2 旅客の希望出発時刻の分布の推定

2.1 平均スケジュールコスト

本研究では、運行スケジュールの良さを表現できる定量的な指標として旅客の希望時刻と運行スケジュールとの差を平均化した平均スケジュールコスト T_i という概念を導入する。これを (1) 式に示す。

$$T_i = \sum_{k=1}^{N_i} \left\{ \int_{r_i^{k-1}}^{x_i^k} \sigma(x_i^k - x) f(x) dx + \int_{x_i^k}^{r_i^k} \tau(x - x_i^k) f(x) dx \right\} \quad (1)$$

ただし、

$$\int_0^1 f(x) dx = 1, \quad f(x) \geq 0 \quad (2)$$

$$r_i^k = (\alpha x_i^k + \sigma x_i^{k+1}) / (\sigma + \tau) \quad (3)$$

とする。 x_i^k は路線 i の第 k 便の出発時刻である。 $f(x)$ は旅客の希望出発時刻の分布で、その形を同定する方法は 2.2 で示す。また、 r_i^k は旅客の便選択（希望出発時刻より早い便に乗るか遅い便に乗るか）の切り替え時間を表している。 σ と τ は既知のものとし、その大小関係は $\sigma \geq \tau > 0$ とする。これは、旅客が希望時刻より早い便に乗る方が遅い便に乗るよりもコストが低いと感じるという仮定に基づくものである。

Janssen ら⁴⁾の立地競争ゲームに関する研究より、競合する 2 社が便を運行する場合、それぞれの航空会社は、全ての旅客が自分の会社の便を利用する際の平均スケジュールコストを最小にするように出発時刻の組 X_i を決定するという定理が成立する。本研究ではこの定理に立脚して、実際の運行スケジュールからの逆解析により希望出発時刻の分布 $f(x)$ を算出する。

2.2 逆解析問題の定式化

会社 i に関して (1) 式を最小化する問題の 1 階条件は、
$$\sigma \{F(x_i^k) - F(r_i^{k-1})\} = \tau \{F(r_i^k) - F(x_i^k)\} \quad (4)$$

となる。ただし、 $F(x)$ は $f(x)$ の原始関数である。

時間軸の離散化を行い、次の g_m^k を用いると、希望出発時刻の分布が同一と考えられる路線 $l=1, \dots, L$ について、この条件を満足する f_m を求める逆問題を次のように定義できる。

$$\min_{f_m} \Omega = \sum_{l=1}^L \sum_{i=1,2}^{N_i} \sum_{k=1}^M \left\{ \sum_{m=1}^M g_{im}^k f_m \right\}^2 \quad (5)$$

$$s.t. \sum_{m=1}^M f_m = 1, f_m \geq 0 \quad (6)$$

$$g_{im}^k = \begin{cases} 0 & (0 \leq x_m < r_i^{k-1}) \\ \sigma & (r_i^{k-1} \leq x_m < x_i^k) \\ -\tau & (x_i^k \leq x_m < r_i^k) \\ 0 & (r_i^k \leq x_m < 1) \end{cases} \quad (7)$$

逆解析問題では、解の非一意性を解消するため、事前分布への近さを考慮して、数値計算の安定化を図ることが多く行われる。本研究でもこの方法を用い、以下の関数を最小化する。

$$\min_{f_m} \Omega' = (1-\alpha) \frac{\sum_{l=1}^L \sum_{i=1,2}^{N_i} \sum_{k=1}^M \left\{ \sum_{m=1}^M g_{im}^k f_m \right\}^2}{\sum_{l=1}^L \sum_{i=1,2}^{N_i} \sum_{k=1}^M \left\{ \sum_{m=1}^M g_{im}^k \bar{f}_m \right\}^2} + \alpha \frac{\sum_{l=1}^L \sum_{i=1,2}^{N_i} \sum_{k=1}^M \sum_{m=1}^M |g_{im}^k| |x_m - x_i^k| f_m}{\sum_{l=1}^L \sum_{i=1,2}^{N_i} \sum_{k=1}^M \sum_{m=1}^M |g_{im}^k| |x_m - x_i^k| \bar{f}_m} \quad (8)$$

ただし、 \bar{f}_m は一様分布を表し、 $M=24$, $\sigma=0.5$ とする。

2.3 希望出発時刻の分布の推定

(8)式を用い、実際の航空便設定時刻から分布 f_m を算出する。計算を行うに当たり、モデルの性質上扱えない3社以上(ただし、競合していない会社同士は1社と考える)の路線は対象から外した。また、同一都市圏にある空港は同じ空港として扱った。このような条件の下で、説明変数に各路線の旅客数、座席数、座席利用率、便数、及び空港乗降客数を用いてクラスタ分析を行い、対象路線を重要性が高いと考えられる52路線とした。

さらに、この52路線を需要構造が同一と考えられる羽田出発便、羽田到着便、(羽田便以外の)ビジネス路線、観光路線の4つに分け、(8)式を解くことにより希望出発時刻の分布の推定を行った。例として、羽田出発便についての計算結果を図1に示す。

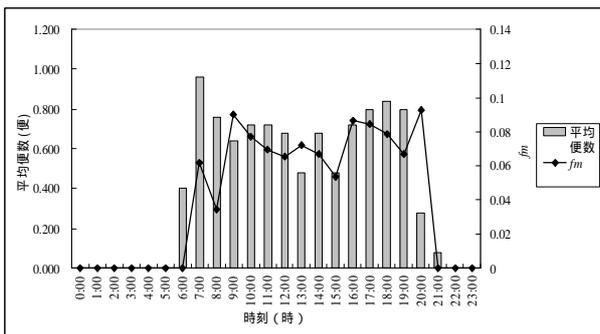


図1 希望出発時刻の分布 (羽田出発便)

3 運行スケジュールが機関選択に与える影響

3.1 分析方法

まず、路線ごとの平均スケジュールコストを、2.3で求めた f_m に基づき(1)式を用いて算出した。

機関選択のモデルを航空と鉄道の選択を表す2項集計

表1 パラメーターの推定結果

| パラメーター | 非標準化係数 | 標準化係数 | t 値 |
|-------------------------------|---------|--------|--------|
| 1 | -0.500 | | -1.004 |
| 2r | 0.000 | -0.683 | -8.030 |
| 4a | -11.961 | -0.243 | -2.848 |
| 5r | 2.403 | 0.591 | 7.450 |
| 決定係数:0.762, 自由度修正済み決定係数:0.743 | | | |

ロジットモデルで表現する。効用を表す指標として、所要時間、運賃、航空の平均スケジュールコストを考える。

$$\ln(P_a/1-P_a) = \beta_1 + \beta_{2a}t_a - \beta_{2r}t_r + \beta_{3a}c_a - \beta_{3r}c_r + \beta_{4a}T_a - \beta_{5r}d_s \quad (9)$$

P_a : 航空選択率, a : 航空, r : 鉄道, t : 所要時間

c : 運賃, T : 平均スケジュールコスト

d_s : 新幹線ダミー(都市間が新幹線で結ばれている路線)

航空と鉄道の競合がない那覇5路線や、航空選択率を算出した都道府県間の純流動データ⁵⁾の信頼性の観点から1地域に2つの空港がある5路線を除き、42路線についてステップワイズ法により分析を行った。

3.2 分析結果

表1に示すように、航空の平均スケジュールコストが増加すると航空選択率が減少することが確認できた。同時に、航空と新幹線の顕著な競争関係も明らかとなった。さらに、鉄道の運賃は距離との相関が高く、距離の長さが航空選択率に反映されている可能性があることも推察される。

4 おわりに

今後は、今回の分析で考慮されていない航空の割引運賃や鉄道の平均スケジュールコストを考慮しモデル化を行うことが課題である。

参考文献

- 1) Severin Borenstein, Janet Netz: Why all the flights leave at 8 am?: Competition and departure-time differentiation in airline markets, *International Journal of Industrial Organization* 17, pp.611-640, 1999.
- 2) 大枝良直, 角知憲, 中西啓造, 椿辰治: 業務目的の航空旅客の出発便選択行動モデルの作成, 土木学会論文集, No.555/ -34, pp.83-90, 1997.
- 3) 石倉智樹, 稲村肇: 到着余裕時間を考慮した都市間交通旅客行動に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No.21(2), pp.775-778, 1998.
- 4) Maarten C.W. Janssen, Vladimir A. Karamychev, Peran van Reeve: Multi-store competition: Market segmentation or interlacing?, *Regional Science and Urban Economics* 35, pp.700-714, 2005.
- 5) 国土交通省 HP, 第3回全国幹線旅客純流動データ代表交通機関別都道府県間流動表(年間).

(2007年2月13日提出)