

大都市圏の空港アクセス線における在来利用者の利便性を 考慮した列車運行計画に関する一考察*

Train Operation with Arranging Utility of Commuter at Railroad Transport to and from A Metropolitan Airport*

秀島栄三**・肌勢弘章***・山本幸司****

By Eizo HIDESHIMA**・Hiroaki HADASE***・Koshi YAMAMOTO****

1. はじめに

新空港が供用される際にアクセス交通手段として既存の鉄道路線が用いられる場合がある。大都市圏では空港の立地が難しく往々にして都心から遠距離になるが、空港間の競争の下ではアクセス交通のよさも問われる。結果として優等列車が増発されたり、利用者の増加に伴って混雑が増すことにより、通勤等の目的をもつ在来利用者の利便性が低下する可能性がある。このため在来利用と空港アクセス利用の間で折り合いをつける必要が生じる。

そこで本研究では、まず在来利用者への調査をもとに列車種別選択モデルを構築する。これを基礎として空港利用者の選択行動を予測し、両者が混合的に利用する時間帯の列車運行についてシミュレーション分析を行い、両者の利便性の折り合いを求めた望ましいダイヤ編成について検討する。

2. 利用者の列車種別選択行動

(1) 列車運行計画による利便性の向上

空港アクセスの利用が加わることにより混雑が生じる。これは在来利用者の利便性の低下を招く。線路容量の限界に達しない程度であれば、およそ通勤時間帯の同方向の利用に対してダイヤを改編する

ことで対処できる。但し列車増発や優等列車の設定は在来利用者の利便性を低下させる面もある。列車運行計画は鉄道そのものの利便性に大きな影響を与える。都市鉄道交通の利便性向上のための列車運行計画の検討については幾つかの研究がある¹⁾。

本問題は、2種類の利用者層間の利害調整問題とも捉えられる。利害とはいえ必ずしも真っ向から対立する状況ではなく、運行者による適切な操作により対立が回避される、あるいは両者とも改善される場合がある。また空港利用者と在来利用者は同一主体である可能性が高いという点は特徴的である。

(2) 調査の実施

鉄道利用者が合理的に列車を選択しているならば、利便性は列車選択行動の結果に端的に現れる。これは非集計行動モデル²⁾により表現できる。また非集計行動モデルは、まだ存在しない空港利用者の行動を説明する上で転用の可能性も高い。

モデルを構築するために、現在、通勤路線として利用され、2005年には終点付近に中部国際空港の開港が予定されている名古屋鉄道常滑線・名古屋本線の利用客を対象に調査を行った。

本路線は名古屋都心と約50km離れた常滑市を結び沿線に多くの住宅地を有する。名古屋市内の神宮前駅から常滑駅まで普通で48分、急行で37分、特急で27分を要し、特急は350円の追加料金を要する。常滑駅着18時台が帰宅ラッシュのピークである。この時間帯が空港へ向かう利用者と最も重なることが予想される。そこで常滑駅の降車客に対して下記のアンケート調査を実施した。

a) 日時：1999年10月25日(月)18時～21時

b) 配布対象；常滑駅到着客593人

*キーワードズ：計画基礎論、鉄道計画、空港計画

**正員、博(工)、名古屋工業大学社会開発工学科

(〒466-8555名古屋市昭和区御器所町、

TEL052-735-5586、FAX052-735-5586)

***正員、修(工)、鹿島建設株式会社

(神奈川県横浜市神奈川区桐畑19-4)

****正員、工博、名古屋工業大学社会開発工学科

- c) 回答者数；206人(34.7%)うち有効167件
- d) 実施形式；対面で配布、郵送で返却
- e) 性別構成；男：55.2%、女：44.8%
- f) 年齢構成；男：20-50代で同様、
女：10-30代に集中
- g) 乗車目的；89.1%が通勤・通学
- h) 乗車駅；新名古屋：46.1%、金山：38.2%、
神宮前：15.8%、他：9.1%
- i) 列車選択の理由(複数回答可)；早く常滑に着く
から：52.7%、待っていて最初に来たから：19.
2%、座れると思ったから：18.1%が目立った。
特急は有料だからやめたという理由も見られた。
調査項目は上記以外にもあるが、およそ待ち時間、
乗車時間、座席確保の困難さ、追加料金の有無が列
車選択の主たる要因であることがわかった。

(3) 非集計モデルの作成

調査結果をもとに以下のロジットモデルを作成す
る。利用者 n が種別 i ($i=1$:普通、 2 :急行、 3 :特急)
を選択する確率を P_{in} とする。

$$P_{in} = \frac{e^{V_{in}}}{\sum_{j \in A_n} e^{V_{jn}}} = \frac{1}{\sum_{j \in A_n} e^{(V_{jn} - V_{in})}} \quad (i \in A_n), \quad (1)$$

$$V_{in} = \sum_{k=1}^K \theta_k X_{ink} \quad (i \in A), \quad (2)$$

ただし、 A_n : 利用者 n にとっての列車種別の選択肢集
合、 V_{in} : 効用の確定項、 k : 特性変数の種類 ($k=1, \dots$
 K)、 X_{ink} : 特性変数、 θ_k : 特性 k のパラメータ。
推定の結果、各種別についてパラメータが得られた。

$$V_{1n} = -0.22X_{1n1} - 0.17X_{1n2} - 1.63X_{1n3} + 3.18 \quad (3)$$

$$V_{2n} = -0.22X_{2n1} - 0.17X_{2n2} - 1.63X_{2n3} + 3.99 \quad (4)$$

$$V_{3n} = -0.22X_{3n1} - 0.17X_{3n2} - 1.63X_{3n3} \quad (5)$$

ここで、 X_1 : 乗車時間(分)、 X_2 : 待ち時間(分)、 X_3 :
座席確保困難度；車中を見て座れると判断すれば0
／座れないと判断すれば1とする。

各パラメータについていずれも符号は妥当である。
普通と急行の定数項は正でほぼ等しい。特急料金
(の負荷がないこと)は普通、急行を選択した場合の
効用の定数項にほぼ反映されている。いわば特急料
金350円を払うことにより、急行で言えば2.44倍の
混雑に巻き込まれずに済み、23.64分の待ち時間、1

7.78分の乗車時間の節約が実現されている現状があ
る。なお座席確保困難度は被験者が乗車しない種別
についても想定による回答を得ている。

推定結果は表-1の通りであるが、一部のパラメ
ータについては精度が低い。列車種別選択において
これ以外に特性変数はあまり考えられず、被験者数
の少なさ(特に普通列車の乗客が少ない)、質問の
適切性等において改善の可能性があるかもしれない。
以下では本モデルが有効とみなして議論を続けるこ
ととする。

表-1 パラメータの推定

X_{in}	列車種別	パラメータ	t 値
乗車時間	全て	-0.22	-3.34
待ち時間	全て	-0.17	-6.48
座席確保困難度	全て	-1.63	-2.82
定数項	普通	3.18	1.80
定数項	急行	3.99	3.79
適中率	普通	16.67	
	急行	90.00	
	特急	87.80	
	全て	86.83	
尤度	ρ^2	0.54	
サンプル数	普通	6	
	急行	120	
	特急	41	
	全て	167	

3. 在来利用者と空港利用者の利便性

(1) 空港利用者の行動

本問題で空港利用者はまだ実在しない。しかし開
港前に計画を検討するとすれば何らかの予測をたて
ざるをえない。ここで空港利用者は在来利用者と同
様な非集計行動モデルにより列車選択の行動は説明
され、特性ベクトルも同様と考える。但し、個々の
変数に対する反応に差異があることが予想される。

空港利用では携行品が多いという点で混雑に対す
る感度が強く、特急料金に対する支払意思が大きい
と予想される。乗車時間、待ち時間については各利
用者層の感度の大小関係は不明である。そこで混雑
については下記の座席係数を、両種の時間について
は時間係数を、特急料金については料金係数を設定
し、それぞれを様々に変えて分析を行う。

前章で推定した在来利用者の(間接)効用関数 V_c
((6)(8)(10)式)に対し、空港利用者については((7)(9)
(11)式)の(間接)効用関数 V_a を想定する。

$$V_{1c} = -0.22X_1 - 0.17X_2 - 1.63X_3 + 3.18 \quad (6)$$

$$V_{1a} = -\gamma (0.22X_1 + 0.17X_2) - 1.63 \delta X_3 + 3.18 \varepsilon \quad (7)$$

$$V_{2c} = -0.22X_1 - 0.17X_2 - 1.63X_3 + 3.99 \quad (8)$$

$$V_{2a} = -\gamma (0.22X_1 + 0.17X_2) - 1.63 \delta X_3 + 3.99 \varepsilon \quad (9)$$

$$V_{3c} = -0.22X_1 - 0.17X_2 - 1.63X_3 \quad (10)$$

$$V_{3a} = -\gamma (0.22X_1 + 0.17X_2) - 1.63 \delta X_3 \quad (11)$$

ここで X_1 : 乗車時間、 X_2 : 待ち時間、 X_3 : 座席確保困難度、 γ : 時間係数、 δ : 座席係数、 ε : 料金係数。

(2) 列車運行シミュレーション

ダイヤが改編されれば、各利用者はそれに応じて自らの効用を向上させるべく選択種別を変更するであろう。非集計モデルでは、そのような個々人の選択行動を表現することができるが、(個々人が予測する過程も含めて) 結果として生じる混雑などの相互作用による選択の変化の可能性は説明されない。以下ではそのような相互作用を含むプロセスをシミュレーションモデルで表現し、プロセスの結果として得られる効用値を利便性の指標として評価する。

a) 利用者の列車選択行動のプロセス

ある時刻に都心駅で乗車しようとする客は、その時点での各等級列車の混雑状況、乗車時間、待ち時間について見当をたて、効用を最大にする種別を選択して当該列車が来るのを待つ。

毎時、乗車予定者は積み上げられる。

客はその時点に入構した各種別への乗車予定者の人数をもとに座席確保の困難度を推測する。

選択のばらつきをロジットモデルで表現する。

列車が到着すると、乗車予定者を載せる。

全員が乗せられない場合、積み残しが生じ、積み残された客はそれまでも含めた待ち時間とその他の要因を踏まえて後発で最良の列車を選択する。

b) 列車運行に関わる諸設定

基本的に調査時における常滑線の運行方法に従う。(調査後にダイヤ改編、曲線改良等が実施された) 実際は時間帯によりダイヤは異なるが、本分析では毎時間とも同一パターンとする。現在基本的には毎時、普通2本、急行4本、特急1本が均等間隔で運行されている。

空港利用者が増えることから本分析では特急を2本とする。

計算開始後2時間目の1時間の諸結果を評価する。全列車とも新名古屋以降、金山、神宮前にも停車

するが、簡単のため、全て神宮前駅発とみなす。

神宮前を出て分岐点の太田川で別方向に向かう急行が太田川発の普通に接続することが1時間に2回ある。以下では簡単のためこれを常滑行き急行と同じ扱いとする。

ダイヤ改編に伴い、追抜き・接続パターンの変化、待避設備の必要が生じるが、簡単のため無視する。実際には常滑駅から空港駅まで延伸されるが、所要時間、接続パターン等に変化はないと仮定する。

c) 乗降人数等の設定

各種別の一編成(いずれも既定の車両4両連結)の座席定員、最大乗車人員(定員以上に乗車するものとする)は表-2の通りである。

都心駅には毎分50人の在来利用者、毎分15人の空港利用者が入構するものとする。これらは次の算定に基づく。現在平日18時台一時間に約3,000人の利用者があること、また空港は一日片方向29,000人の利用が見込まれ、24時間で割れば約1,000人となる。若干の利用者が他の手段を利用するとして、1時間900人が見込まれることになる。

表-2 列車の定員等

	座席定員(人)	最大乗車人員(人)
普通	200	800
急行	200	800
特急	240	400

(3) 分析と考察

都心での毎時間の普通列車の最初発車時刻を00分(以降30分間隔)で固定し、急行(15分間隔)と特急(30分間隔)の最初発車時刻を様々に変え、利用者層別、各種別の利用者数、効用等を結果として出力する。これより最適なダイヤ編成を明らかにする。

都心駅入構者数は毎時3,900人である。一方、毎時最大5,600人を移送することが可能である。すなわち各人の列車種別選択に偏りがなければ全員を運ぶことができる。

分析結果を表-3～表-5にまとめた。本稿では料金係数0.1、時間係数1.0、混雑係数0.7(空港利用者は座席が70%占められた状態で満席と判断する)とする。急行を毎時01分から15分間隔、06分から15分間隔、11分から15分間隔で特急発車時刻を様々に変えた場合の結果のみを掲載する。

表－３を例に挙げると、在来利用者と空港利用者の選択種別が殆ど重なり、急行の利用者が非常に多い。また特急についてはどのようにダイヤを改編しても常に満員となっている。急行と特急の利用の指向が強くダイヤによっては積残しが生じる。多くの利用者は効用を最大にする列車を選択しているはずだが、積み残しにより平均効用の低下が生じる。特に在来利用者の低下が著しい。

平均効用が総じて大きくなるダイヤが効率的で望ましいといえる。他方、在来利用者と空港利用者の効用が近くなることで折り合いはつけられる。折り合いの基準として様々なものが考えられるが、表－３の特急27,57分発、表－４の特急02,32分発等が妥当といえる。詳細な分析は発表時に示すこととする。

4. おわりに

本論は、モデルの構築や諸設定において多くの簡略化を行っているが、様々な精緻化に 대응するものである。但し常滑駅以外の沿線利用者の行動と利便性も考慮すべき点、ダイヤ改編以外の輸送力増強策も念頭におくべき点などで今後課題を残している。

なお本論は、交通整備における利用者層間の利害調整問題を取り上げることを主題とし、分析結果等は実際の計画とは無関係であることを断っておく。

謝辞：調査実施にあたっては名古屋鉄道株式会社、また被験者の協力を得た。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 小林潔司,奥村誠,永野光三：鉄道通勤交通における出発時刻分布に関する研究，土木計画学研究・論文集，No.14，pp.895-906，1997. など
- 2) 土木学会編：非集計行動モデルの理論と実際，丸善，1995

表－３ ダイヤ改編による乗車数、平均効用の変化（普通 00,30、急行01,16,31,46分発車）

特急	02,32	分発	07,37	分発	12,42	分発	17,47	分発	22,52	分発	27,57	分発
乗車数	在来	空港	在来	空港	在来	空港	在来	空港	在来	空港	在来	空港
普通	268	42	280	76	287	117	272	70	249	72	252	53
急行	2440	225	2370	306	2409	342	2425	212	2420	296	2476	372
特急	176	624	224	576	203	597	176	624	202	598	173	627
合計	2883	891	2874	958	2900	1056	2872	906	2871	966	2901	1052
積残し	117	9	126	-58	100	-156	128	-6	129	-66	99	-152
平均効用 普通	-8.7	-10.3	-8.7	-9.5	-8.7	-8.8	-8.7	-9.4	-8.6	-9.1	-8.7	-9.6
平均効用 急行	-6.9	-9.6	-6.9	-9.1	-6.9	-9.0	-6.9	-9.6	-6.9	-9.2	-6.9	-9.0
平均効用 特急	-14.7	-9.7	-13.2	-9.2	-13.0	-8.0	-15.2	-9.5	-14.0	-9.0	-13.7	-8.0

表－４ ダイヤ改編による乗車数、平均効用の変化（普通 00,30、急行06,21,36,51分発車）

特急	02,32	分発	07,37	分発	12,42	分発	17,47	分発	22,52	分発	27,57	分発
乗車数	在来	空港	在来	空港	在来	空港	在来	空港	在来	空港	在来	空港
普通	330	49	355	64	364	105	352	64	149	28	235	34
急行	2423	386	2362	221	2293	296	2296	267	2548	225	2465	319
特急	165	635	170	630	220	580	211	589	169	631	182	618
平均効用 普通	-8.5	-10.6	-8.4	-9.8	-8.3	-9.1	-8.4	-9.7	-9.7	-10.9	-8.9	-10.9
平均効用 急行	-6.9	-8.9	-6.9	-9.6	-6.8	-9.1	-6.9	-9.0	-6.9	-9.6	-6.9	-9.1
平均効用 特急	-13.0	-7.8	-14.6	-9.4	-13.2	-8.8	-14.6	-9.3	-15.8	-9.8	-14.2	-8.9

表－５ ダイヤ改編による乗車数、平均効用の変化（普通 00,30、急行11,26,41,56分発車）

特急	02,32	分発	07,37	分発	12,42	分発	17,47	分発	22,52	分発	27,57	分発
乗車数	在来	空港	在来	空港	在来	空港	在来	空港	在来	空港	在来	空港
普通	310	46	208	63	208	45	201	59	198	40	222	36
急行	2405	319	2498	370	2487	220	2453	305	2480	328	2493	224
特急	183	617	196	604	178	622	212	588	197	603	162	638
平均効用 普通	-8.4	-10.5	-9.3	-9.9	-9.3	-10.3	-9.3	-9.7	-9.3	-10.2	-9.1	-10.6
平均効用 急行	-6.9	-9.1	-6.9	-9.0	-6.9	-9.6	-6.9	-9.2	-6.9	-9.0	-6.9	-9.6
平均効用 特急	-13.4	-8.8	-13.0	-8.2	-15.1	-9.8	-13.9	-9.2	-14.4	-8.9	-15.7	-9.6