S6-2-1 鉄道経路選択行動分析における経路選択肢集合の生成方法に関する研究

［土］○ 水 谷 洋 輔 (東京理科大学)
［土］ 山 下 良 久 (東京理科大学)
［土］ 日比野 直 彦 (運輸政策研究所)
［土］ 尾 島 洋 (東京理科大学)

A Study on the Way of Generating the Route Choice sets for the Railway Route Choice Behavior Analysis

Yosuke Mizutani, Member (Tokyo University of Science)
Yoshihisa Yamashita, Member (Tokyo University of Science)
Naohiko Hibino, Member (Institution for Transportation Policy Studies)
Hiroshi Ojima, Member (Tokyo University of Science)

The standard process of the railway route choice analysis is divided into two stages, the generating a choice set and the modeling based on the given choice set. The main interest of the analysis, until now, has been placed on a choice model itself from certain choice set. Some non-IIA (Independence from Irrelevant Alternatives) type models were proposed in order to allay the IIA characteristics about which was surely brought by the highly dense network. On the other hand, the generation process of a choice set has not been analyzed yet sufficiently. In order to be still more accurately analysis, it is important to be clear what kind of characteristics of the actual route choice set the passenger considers on occasion of railway route choice. The study proposes the way of generating choice sets which are similar to the real choice sets, efficiently. Besides, it is to verify the way of generating the choice set through the modeling based on the generating choice sets and the railway route assignment analysis.

キーワード：鉄道経路選択行動，選択肢集合
Keyword: railway route choice behavior, choice set

1．はじめに

東京圏では，通勤・通学時の混雑を解消するため，これまで多くの鉄道新線が整備され，非常に高密な鉄道ネットワークが形成されている．同一の発着地間において複数の利用可能な経路が存在し，鉄道利用者は多様な経路選択が可能となっている．現在では複々線化や相互直通運転が積極的に行なわれており，また，今後の鉄道整備では，乗換え駅整備や短絡線整備等，既存ストックを有効に活用する整備が求められている[1]．そのため，鉄道利用者の経路選択行動は今後さらに複雑化，多様化するものと考えられる．

これまで，鉄道利用者の経路選択行動分析は，多くの経路の中から選択対象となる経路を無意識的に選別し（選別過程），選別された経路（選択肢集合）の中から最も望ましい経路を選択する（選択過程）という意思決定プロセスを前提として行われてきた．選択過程については，非集計ロジットモデルが有するIIA特性を緩和することに力点が置かれ，構造化プロビットモデル[2),3)]，C*－Logitモデル[4)]等，非IIA型経路選択モデルが開発されるに至っている．一方，選別過程については，経路数や経路の所要時間，経路長，経路間の重複率により機械的に経路を選別し，生成される選択肢集合が経路選択モデルのパラメータにどのような影響を与えるかを分析した研究事例[5)]はあるものの，鉄道利用者はどのような経路属性によって選択肢を選別しているのか，といった視点からの研究事例はほとんど見られない．今後，乗換え駅等のネットワークフローに影響を及ぼす整備が増えていくことを考えると，上述のような視点からの分析は非常に重要であると考えられる．

このような問題意識から，筆者らは平成12年11月～12月に「通勤時の鉄道経路選択に関する調査」[6)]を行ない，通勤鉄道利用者の実選択経路と代替経路を取得し，それらの比較分析[7),8),9)]を行なっている．

本研究では，実選択肢集合に近似した選択肢集合（近似選択肢集合）を効率的に生成する方法について検討を行なう．また，その方法の有用性を経路選択モデルの構築および配分分析を行ない検証する．

2．近似選択肢集合の生成方法の検討

2.1 分析フロー

本研究では，森川ら[10]や福田ら[11]による既往研究を参考に，非補償的に経路を選別し，機械的に近似選択肢集合を生成することを考える．近似選択肢集合を生成する方法は，以下のとおりである．

①調査により取得したサンプルが回答している乗車駅，乗車時刻，最終降車駅の情報を用いて，市販の経路探索ソフトより 1OD につき最大 25 経路を取得し，物理的に利用可能と考えられる代替経路のリストを作成する．

②代替経路リストに列挙された各経路の属性値(所要時間，乗車時間，乗換え回数，運賃）を整理し，属性ごとに値の小さい経路順に順番をつける．

③代替経路リストから，各属性の順番により経路を選別し近似選択肢集合を生成する．近似選択肢集合が実選択肢集合をどの程度包含できているかを表す内包率と，実選択肢集合に存在しない余分な経路がどの程度含まれているかを表す余剰経路数を指標として各生成方法を評価する．

2.2 分析結果

表 1 は，上述の分析フローに基づき近似選択肢集合を生成し，平均内包率が 90%以上で，かつ 1 人当たり平均余剰経路数が 10 経路以下となった生成方法を抽出したものである．平均内包率が 100%となる生成方法は，次善経路で乗換え回数を考慮する必要がある．乗換え回数が同数である経路が複数存在することから，次善経路で乗換え回数を考慮すると平均余剰経路数が 10 経路よりも多くなってしまう．

3．経路選択モデルの構築

2000 年の大都市交通センサス定期券調査データを用いて鉄道経路選択モデルを構築する．実選択経路における発着駅をもとに，選択の対象となる代替経路リストを作成し，表 1 の各生成方法を用いて近似選択肢集合を生成する．モデルには，筆者らにより提案されている非 IIA 型の C* - Logit モデルを用いる．式形については参考文献 4）を参照されたい．

説明変数として，乗車時間，運賃（6 ヶ月定期），初乗り駅ピーク 1 時間列車本数，乗換え待ち時間，乗換え駅水平移動時間，乗換え駅上り方向移動時間，乗換え駅下り方向移動時間，階段利用率，混雑率指標，未知パラメータ β*, θ の計 11 変数を設定する．表 2 は，パラメータ推定を行ない，各モデルにおけるパラメータの符号条件の合否，最も低い t 値の絶対値，自由度調整済み尤度比，適中率，AIC を整理したものである．パラメータの符号条件は，全変数のパラメータの符号が有意である場合のみを「○」としている．

パラメータの符号条件は，3 つのケースを除いて有意な結果が得られている．t 値については，5%有意には届かないものの，ケース 12 は 10%有意，ケース 13，15，19，21，23，25 は 20%有意となっている．自由度調整済み尤度比は，全てのケースにおいて 0.2 以上となっている．適中率は，選択肢集合内の経路数が多いため 50%程度となっている．

ここで，パラメータの符号条件，t 値，自由度調整済み尤度比について概ね妥当な結果が得られているケース 12，13，15，19，21，23，25 の 7 つのケースについて表 3 にパラメータ推定結果を示す．

推定されたパラメータ β*に着目すると，ケース 19 以外，すべて 1.0 以上の値となっている．β*は C*－Logit モデルの導出過程において $0 \leq \beta^* \leq 1$ となっており，ケース 19 以外は，適用範囲外となっている．これは，先述のように選択肢集合内に余剰経路が多く含まれており，これらの代替経路と実選択経路の確定効用に差がほとんど無いためにパラメータが不安定になってしまったと考えられる．

表 1　近似選択肢集合

	最善				次善				次々善				平均内包率(%)	平均余剰経路数
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d		
1	●	●	●	●	●	●		●					96.2	7.3
2	●	●	●	●		●		●					95.5	6.9
3	●		●	●	●			●					95.3	5.5
4	●	●	●	●	●			●					95.3	6.2
5	●	●	●	●	●	●							94.4	6.5
6		●	●	●		●		●					93.9	6.9
7	●	●	●	●	●								93.5	5.4
8	●	●	●	●				●					93.5	5.6
9	●	●	●	●		●							93.5	6.0
10	●		●	●	●								93.3	4.6
11	●		●	●				●					92.6	4.7
12	●	●		●	●	●		●	●			●	92.6	8.0
13	●	●		●	●	●		●	●	●		●	92.6	9.1
14	●			●	●			●	●			●	92.1	6.7
15	●	●		●	●			●	●			●	92.1	7.2
16	●	●	●		●	●							91.9	6.1
17		●	●	●		●							91.5	6.0
18	●	●	●	●									91.0	4.5
19	●	●		●	●	●		●		●		●	90.8	8.7
20		●	●	●				●					90.6	5.5
21	●	●		●	●	●		●				●	90.6	7.2
22	●	●	●		●								90.3	4.8
23	●	●		●	●	●		●	●	●			90.3	8.2
24	●		●		●								90.1	4.0
25	●	●		●	●	●		●	●				90.1	6.9

a ：所要時間（乗車時間＋乗換え時間＋待ち時間）
b：乗車時間 c：乗換え回数 d：運賃
●：選別要因として考慮した経路属性

4．配分分析

ケース 19 の生成方法を配分分析に導入し，その有用性を検証する．配分分析にあたっては，筆者らにより開発された都市鉄道計画支援システムの鉄道ネットワーク配分分析サブシステム[12]を用いる．鉄道駅間 OD 表，実績断面交通量は 2000 年の大都市交通センサス定期券調査データを用いる．

図 1 は，実績値を横軸に，推計値を縦軸にとって各駅間断面交通量をプロットしたものである．RMS 誤差 4,135，相関係数0.980であり，精度高い配分結果が得られている．

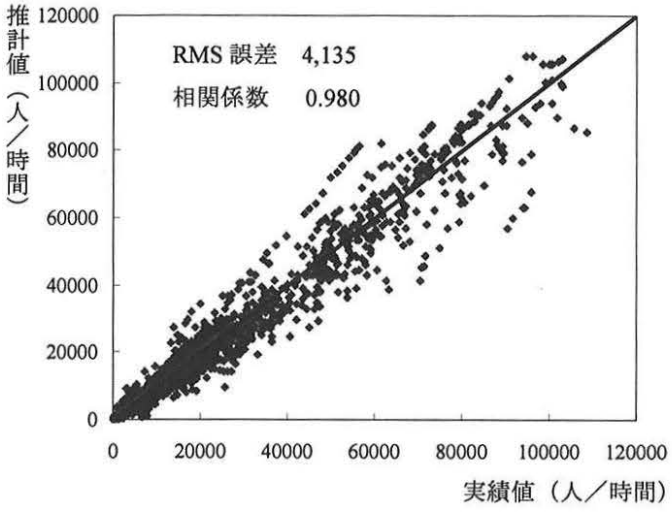

図 1　配分分析結果

5．おわりに

本研究では，近似選択肢集合を効率的に生成する方法について検討し，そこで得られた方法を経路選択モデルおよび配分分析により検証した．

近似選択肢集合を生成する方法として，25 の方法を取り上げたが，それぞれの生成方法により選択肢集合を生成し，経路選択モデルを構築した結果，統計的に有意なモデルが得られたのは 1 ケースのみであった．これは，選択肢集合内に実選択経路と類似した経路が多く含まれているためと考えられる．また，有意な結果が得られた 1 つのケースについては，構築された経路選択モデルのパラメータと選択肢集合の生成方法を配分分析に適用し，現況再現性の確認を行なった．RMS 誤差，相関係数からみて精度高い配分結果が得られている．

これまで，鉄道経路選択行動分析は，選択肢集合の生成，経路選択モデルの構築，配分分析をそれぞれ個別に扱ってきたと言える．経路間の類似性を緩和する非 IIA 型の経路選択モデルを用いる場合でも，経路間の重複率を考慮して選択肢集合を生成し，モデル構築を行なわなければパラメータが不安定になり有意なモデルが構築できない．また，経路選択モデルの重複パラメータは選択肢集合に左右されるため，モデル構築時の選択肢集合と配分分析時の選択肢集合が同一であることが望ましい．本研究によりそのための大きな一歩が示されたと言える．

参考文献

1) 森地　茂：東京圏の鉄道のあゆみと未来，2000.
2) 屋井鉄雄，岩倉成志，伊東　誠：鉄道ネットワークの需要と余剰の推計法について，土木計画学研究・論文集 No.11，pp.81-pp.88，1993.
3) 屋井鉄雄，中川隆広，石塚順一：シミュレーション法による構造化プロビットモデルの推定特性，土木学会論文集 No.604/IV-41，pp.11-pp.21，1998.
4) 日比野直彦，兵藤哲朗，内山久雄：高密度な鉄道ネットワークへの実適用に向けた非 IIA 型経路選択モデルの特性分析－改良型 C-Logit モデルの提案－，土木学会論文集 No.765/IV-64，pp.131-pp.142，2004.
5) 屋井鉄雄，清水哲夫，坂井康一，小林亜紀子：非 IIA 型選択モデルの選択肢集合とパラメータ特性，土木学会論文集 No.702/IV-55，pp.3-pp.13，2002.
6) 若林哲男，日比野直彦，内山久雄：鉄道利用者行動分析のための調査方法について，J-Rail2001 講演論文集，pp.329-pp.332，2001.
7) 日比野直彦，森田泰智，内山久雄：鉄道経路選択行動分析における選択肢集合の設定方法に関する考察，土木計画学研究・講演集 Vol.27，4pages，2003.
8) 尾島　洋，日比野直彦，内山久雄，森田泰智：鉄道経路選択行動分析における選択肢集合の設定方法に関する一考察，土木学会第 59 回年次学術講演会，2pages，2004.
9) 水谷洋輔，山下良久，内山久雄：高密度な鉄道ネットワーク下での経路選択行動分析における選択肢集合の設定に関する研究，土木学会第 60 回年次学術講演会，2pages，2005.
10) 森川高行，竹内博史，加古裕二郎：定量的観光魅力度と選択肢集合の不確実性を考慮した観光目的地選択分析，土木計画学研究・論文集 No.9，pp.117-pp.124，1991.
11) 福田大輔，森地　茂：選択肢の選別過程に関する実証比較分析：交通手段選択行動を対象として，土木計画学研究・論文集 Vol.19 No.3，pp.375-pp.381，2002.
12) 日比野直彦：鉄道利用者の交通行動に焦点をあてた都市鉄道計画のための分析方法に関する研究，東京理科大学博士論文，2004.
13) 尾島　洋，山下良久，日比野直彦，水谷洋輔：鉄道経路選択行動分析における経路選択肢集合の生成方法に関する研究 ①－重複経路が経路選択モデルに及ぼす影響について－，J-Rail2005 講演論文集，4pages，2005.

表２　各モデルの有意性

	パラメータの符号条件	最も低いｔ値の絶対値	自由度調整済み尤度比	適中率（%）	AIC
1	○	0.8198	0.2715	51.35	2990.3
2	○	0.8330	0.2775	52.18	2955.3
3	○	0.2600	0.2412	51.94	2952.4
4	○	0.8648	0.2593	51.59	2978.2
5	○	1.0440	0.2619	52.53	2877.8
6	○	1.2010	0.2848	52.89	2917.5
7	○	0.9690	0.2461	53.00	2862.7
8	○	0.6607	0.2656	51.83	2937.7
9	○	1.0326	0.2663	53.24	2843.2
10	○	0.3300	0.2172	52.89	2826.9
11	○	0.0209	0.2473	51.35	2904.8
12	○	1.6950	0.2509	51.12	2841.1
13	○	1.3880	0.2630	51.83	2888.4
14	○	0.2598	0.2002	47.82	2682.3
15	○	1.2835	0.2335	48.76	2800.5
16	×	0.1020	0.2908	51.12	2651.7
17	○	1.2480	0.2742	53.24	2798.6
18	○	0.8463	0.2493	53.59	2823.0
19	○	1.2920	0.2673	52.06	2838.2
20	○	1.0221	0.2756	53.36	2886.2
21	○	1.5902	0.2512	49.35	2796.9
22	×	0.2590	0.2717	50.53	2633.2
23	○	1.5831	0.2548	50.88	2757.1
24	×	0.9367	0.2400	51.35	2576.2
25	○	1.5310	0.2398	50.41	2701.3

表３　パラメータ推定結果

	12	13	15	19	21	23	25
乗車時間（分）	-0.0641 (-4.046)	-0.0726 (-4.682)	-0.0613 (-4.033)	-0.0777 (-4.953)	-0.0746 (-4.8565)	-0.0403 (-2.6085)	-0.0324 (-2.054)
運賃 （千円/6ヵ月）	-0.0561 (-7.701)	-0.0549 (-7.702)	-0.0561 (-7.5372)	-0.0563 (-7.583)	-0.0572 (-7.8594)	-0.0548 (-7.6873)	-0.0550 (-7.542)
初乗り駅ﾋﾟｰｸ１時間列車本数 （本/1時間）	0.1652 (1.695)	0.1636 (1.767)	0.1715 (1.7109)	0.1519 (1.659)	0.1532 (1.5902)	0.1586 (1.5831)	0.1566 (1.531)
乗換え待ち時間 （分）	-0.2018 (-11.116)	-0.2222 (-12.008)	-0.1736 (-10.1367)	-0.2221 (-12.009)	-0.2016 (-11.3959)	-0.1912 (-11.103)	-0.1692 (-9.604)
乗換え駅水平移動時間（分）	-0.1056 (-1.740)	-0.0848 (-1.388)	-0.1191 (-1.9563)	-0.0811 (-1.292)	-0.0998 (-1.7581)	-0.0966 (-1.7303)	-0.1143 (-1.954)
乗換え駅上り方向移動時間(分)	-1.9859 (-5.960)	-2.0309 (-5.082)	-2.0465 (-4.1468)	-2.022 (-5.506)	-1.9528 (-4.2842)	-1.8465 (-4.6864)	-1.7441 (-5.662)
乗換え駅下り方向移動時間(分)	-2.2592 (-4.520)	-2.3269 (-4.357)	-2.2759 (-4.2343)	-2.2677 (-4.565)	-2.1894 (-4.7107)	-2.1654 (-4.6192)	-2.0313 (-3.861)
階段利用率	-1.463 (-7.688)	-1.4454 (-7.437)	-1.4863 (-7.6769)	-1.4682 (-7.841)	-1.4781 (-7.9775)	-1.5573 (-8.736)	-1.5709 (-8.566)
混雑率指標 （分/%²）	-0.0061 (-3.131)	-0.0068 (-3.355)	-0.0049 (-2.4109)	-0.0070 (-3.470)	-0.0063 (-3.1884)	-0.0055 (-2.6882)	-0.0049 (-2.546)
β^*	2.3273 (8.944)	1.0482 (3.747)	2.7307 (9.2005)	0.6988 (1.955)	1.6591 (9.4111)	1.8889 (8.4371)	2.5637 (8.469)
θ	0.341 (11.384)	0.4828 (18.527)	0.3885 (1.2835)	0.5666 (18.739)	0.4790 (8.9412)	0.4236 (5.0786)	0.5553 (19.951)