

高密度な鉄道ネットワークへの実適用に向けたC*-Logitモデルの検証 *

A Verification of C*-Logit Model for Application to High Density Railway Network *

日比野 直彦** ・ 兵藤 哲朗*** ・ 内山 久雄****

By Naohiko HIBINO**, Tetsuro HYODO*** and Hisao UCHIYAMA****

1. はじめに

東京首都圏のように高密度な鉄道ネットワークを有している地域における鉄道経路選択行動分析では、非IIA型の経路選択モデルが適しているとされている。そのため、経路間の重複を考慮した経路選択モデルが、20世紀の後半に提案されており、それらを体系的にまとめた論文も既に発表されている^{1), 2)}。しかしながら、これらのモデルを実際に適用するには、幾つかの問題点が残っている。その代表的なものとして、同一のデータを使用しているにもかかわらず、適用するモデルや代替経路の設定方法によって、その分析結果が異なることが挙げられる。これに対して、各モデルの推計特性を比較した研究^{3) - 7)}や選択肢集合の設定方法を検討した研究⁷⁾がなされ、それらの特性の一端は示されつつあるものの、如何なるケースでどのモデルを適用すべきかといった適用条件については、検討が未熟であり、実適用に向けてはさらなる検討が必要である。

また、経済状況の低迷、高齢社会の進展、価値観の多様化等を背景に、鉄道整備に関しても既存インフラの有効活用による効率性の向上や各種サービスの質的向上が求められるようになってきており、近年、これに対応して様々な施策が考えられている^{8), 9)}。これらの施策を評価する上では、鉄道駅アクセス環境整備や乗換え駅施設整備といった言わばミクロな変化に対応し得る詳細かつ高精度の分析が必要である。換言すれば、鉄道需要やネットワークフローの変化を予測する際に適用する経路選択モデルは、今まで以上に正確に現象を表現できるものでなくてはならない。それゆえに、先述の問題点であるモデルの違いにより生ずる分析結果の差についてさらに考察をし、各モデルの特性の把握を試みることは、予測精度を向上させ、正しく施策を評価するためにも極めて重要なことである。

以上の背景を受けて、筆者らは、既存の非IIA型経路選択モデルである構造化プロビットモデル、Mixed Logitモデル、C-Logitモデルの特性比較分析を行い、適用条件の検討、問題点の整理等を行なっている¹⁰⁾。さらにその結果を踏まえて、高密度な鉄道ネットワークへの実適用を想定したC*-Logitモデルを提案している¹¹⁾。C*-Logitモデルとは、操作性に優れており実適用への可能性が高いと考えられるC-Logitモデルを基にし、重複率が等しい場合でも経路の所要時間によって選択確率が変化するように改良を加えたモデルである。本論文は、筆者らが提案したC*-Logitモデルを実データに適用し、モデルの検証を行うものである。

2. C*-Logitモデルの概要

C*-Logitモデルは、先述のとおりC-Logitモデル^{12), 13)}をベースに提案されたモデルである。C-Logitモデルの確定項で類似性を表現するという特徴を残しつつ、問題とされていた同重複率・異所要時間が表現できないという点を改良したものである。式(1)~(5)にそのモデル式を示す。ここで、選択肢 r に関して、 U は効用、 V は確定効用、 CF^* は重複を表現する項、 P は選択確率、 T_0 は分析対象とする選択肢集合の所要時間の平均値、 d_{ij} は経路 i と経路 j の重複率、 T_i, T_j はそれぞれ経路 i 、経路 j の所要時間、 β, γ^* は推計パラメータである。確定効用のパラメータおよび γ^* を同時推計するモデルである。なお、 T_0 によってパラメータは決定されるため、適用においても、パラメータ推計した際の T_0 を用いる必要がある。

$$U_r = V_r - CF_r^* + \varepsilon_r \quad (1)$$

$$P_r = \frac{\exp(V_r - CF_r^*)}{\sum \exp(V_r - CF_r^*)} \quad (2)$$

$$CF_r^* = \beta' \ln \sum (d_{ij})^{\gamma^*} \quad (0 \leq \beta' \leq 1, \gamma^* > 0) \quad (3)$$

$$\gamma^* = \frac{1}{10} (\exp(d_{ij}) - 1) (\beta' - 1) (\sqrt{T_i T_j} - T_0) + \gamma' \quad (4)$$

$$\gamma' = \exp(-\exp(\theta)) + 1 \quad (5)$$

* Key Words : 非IIA型鉄道経路選択モデル, C*-Logit モデル

** 正 会 員, 工修, 東京理科大学理工学部土木工学科

〔 千葉県野田市山崎2641,
TEL:04-7124-1501(内線4018), FAX:04-7123-9766 〕

*** 正 会 員, 工博, 東京商船大学商船学部流通情報工学課程

**** 正 会 員, 工博, 東京理科大学理工学部土木工学科

3. C*-Logitモデルの検証

(1) 分析フロー

筆者らの提案したC*-Logitモデルは、1 OD - 3 Routesの仮想ネットワーク、説明変数を所要時間、運賃とした仮想データセットからの分析結果を基にしてC-Logitモデルから式変形したモデルである。先行研究¹¹⁾において仮想ネットワーク対しての実用性は示しているものの、実際のネットワークへの適用の検討は行っていない。そこで、実データにC*-LogitモデルとC-Logitモデルを適用し、鉄道経路選択モデルの構築およびそれらの比較をすることで、C*-Logitモデルの有用性、実適用への可能性を探る。

(2) 分析データ

東京首都圏を対象として筆者らが平成12年11、12月に実施した「通勤・通学時の鉄道経路選択行動に関する調査」¹⁴⁾の結果を分析データとする。分析データの特徴は、

都心を目的地とする着地調査であるため、東京首都圏全域から都心に向かう旅行者、すなわち幾つかの代替経路を持ち、その選択肢集合から様々な要因を考慮して経路を選択している可能性が高い旅行者を被験者としたものであること、自宅、勤務先の住所が番地まで記入されていること、出発時刻、乗車時刻、乗換え時刻、降車時刻、到着時刻が分単位で記入されていること、実際に購入した通勤定期券の経路（実選択経路）以外に購入時に候補として考えた経路（代替経路）が記入されていることである。図-1に分析データの出発地分布を、図-2に分析データの所要時間分布を示す。また、分析データでは、端末交通手段選択を含めて最大18の選択肢を有している。図-3に一例として選択肢のイメージを示す。この場合は、選択肢数は8肢、代替経路数は7経路、初乗り駅選択肢数はO₁駅、O₂駅の2肢、最終降車駅選択肢数はD₁駅、D₂駅の2肢である。

(3) 説明変数

説明変数は、アクセス時間（分）、アクセス選択手段外時間（分）、路線バス系統数（本）、イグレス時間（分）、ラインホール時間（分）、運賃（千円/月）、初乗り駅列車本数（本/時間）、乗換え駅における水平移動時間（分）、上り方向移動時間（分）、下り方向移動時間（分）、乗換え待ち時間（分）、混雑率指標（分×%²）、階段利用率の13であり、推計パラメータの数は、これに、を加えた15である。以下に説明変数の詳細とデータの設定方法を示す。

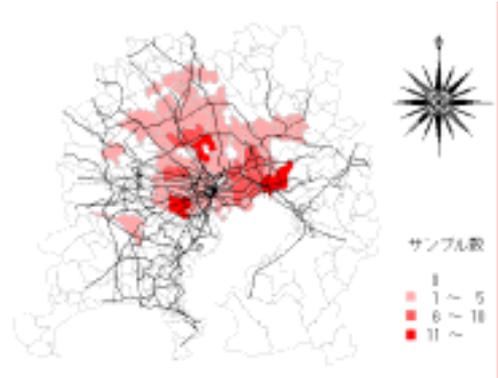


図-1 分析データの出発地分布

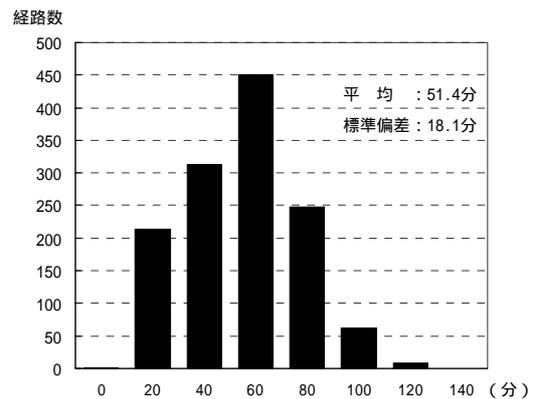


図-2 分析データの所要時間分布

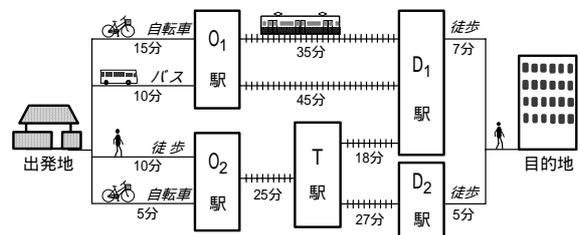


図-3 選択肢のイメージ図

アクセス時間、イグレス時間は、地理情報システム（Geographic Information System : GIS）の機能を利用することで既存の道路ネットワーク（本分析では、数値地図2500）から算出している。アクセス選択手段外時間は、自宅からバス停までの所要時間、バス停での待ち時間、駅前駐輪場または駅前バス停から駅までの移動時間のことで、徒歩以外の交通手段に設定している。路線バス系統数は、バス路線網の発達により鉄道利用者を広範囲から集めると考え、駅勢圏的な指標として、駅到着または通過する路線バスの系統数である。ラインホール時間は、初乗り駅から最終降車駅までの鉄道乗車時間の合計であり、列車ダイヤを考慮し、正確なラインホール時間を設定している。運賃は、鉄道利用者が実際に購入している定期券を1ヶ月換算して算出している。初乗り駅列車本数は、初乗り駅におけ

るピーク 1 時間当たりの方面別の列車本数である。乗換え時の水平移動時間，上り方向移動時間，下り方向移動時間は，実際に乗換えターミナルの調査を行って得たものである。乗換え待ち時間は，ラインホール時間と同様に列車ダイヤから正確な待ち時間を設定している。混雑率指標は，混雑に対する鉄道利用者の抵抗感を表すもので，混雑率の 2 乗にその区間の所要時間を乗じたものである。なお，ここで用いる混雑率は，列車種類別，区間別，時間帯別（30 分毎）のデータである。階段利用率は，乗換え時の全上下方向移動時間に対する全階段移動時間の比である。これが大きいと階段利用が多く，小さいとエスカレータ利用が多いことを意味する。

(3) 分析結果

表 - 1 の設定で構築した鉄道経路選択モデルの推計結果を表 - 2 に示す。表 - 2 より，すべての設定において尤度比，

t 値から統計的に有意なモデルであることが見て取れる。また，どの設定においてもパラメータ，尤度比，的中率は，ほぼ等しい値を示している。すなわち，概観する限りでは，設定により差が生じていないように見受けられる。しかしながら，詳しく見ると最大対数尤度には僅かながらではあるが差が生じている。そこで，赤池情報量基準（Akaike

表 - 1 モデルの設定

	適用モデル	()	推計パラメータ数
Model 1	C-Logit	1.0	14
Model 2	C-Logit	1.5	14
Model 3	C-Logit	2.0	14
Model 4	C ⁺ -Logit	1.0	14
Model 5	C ⁺ -Logit	1.5	14
Model 6	C ⁺ -Logit	2.0	14
Model 7	C ⁺ -Logit	同時推計	15

表 - 2 推計結果

	C-Logit			C ⁺ -Logit			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7
アクセス時間 (分)	-0.149 (-4.24)	-0.149 (-4.34)	-0.150 (-4.34)	-0.148 (-4.30)	-0.149 (-4.43)	-0.150 (-4.41)	-0.150 (-4.39)
アクセス選択手段外時間 (分)	-0.494 (-7.47)	-0.494 (-7.65)	-0.494 (-7.57)	-0.493 (-7.67)	-0.493 (-7.80)	-0.494 (-7.84)	-0.494 (-7.81)
路線バス系統数 (本)	0.0742 (4.48)	0.0742 (4.48)	0.0741 (4.50)	0.0742 (4.49)	0.0742 (4.49)	0.0741 (4.53)	0.0741 (4.52)
イグレス時間 (分)	-0.224 (-2.21)	-0.228 (-2.28)	-0.230 (-2.28)	-0.224 (-2.25)	-0.228 (-2.35)	-0.229 (-2.95)	-0.229 (-2.75)
ラインホール時間 (分)	-0.0811 (-2.85)	-0.0804 (-2.84)	-0.0795 (-2.81)	-0.0797 (-2.75)	-0.0790 (-2.84)	-0.0786 (-2.87)	-0.0787 (-2.81)
鉄道運賃 (千円/月)	-0.106 (-1.62)	-0.106 (-1.71)	-0.106 (-1.70)	-0.105 (-1.73)	-0.105 (-1.66)	-0.105 (-1.59)	-0.105 (-1.60)
初乗り駅列車本数 (本/時間)	0.0628 (1.92)	0.0628 (1.93)	0.0631 (1.93)	0.0625 (1.91)	0.0624 (1.92)	0.0626 (2.01)	0.0626 (2.03)
乗換え駅水平移動時間 (分)	-0.328 (-2.21)	-0.327 (-2.07)	-0.325 (-2.02)	-0.328 (-1.90)	-0.326 (-1.89)	-0.325 (-4.33)	-0.325 (-2.14)
乗換え駅上り移動時間 (分)	-0.885 (-4.40)	-0.886 (-8.72)	-0.888 (-6.15)	-0.880 (-5.54)	-0.884 (-2.79)	-0.886 (-3.46)	-0.886 (-3.69)
乗換え駅下り移動時間 (分)	-0.797 (-6.88)	-0.797 (-4.21)	-0.793 (-3.29)	-0.798 (-2.36)	-0.796 (-2.24)	-0.795 (-6.67)	-0.795 (-3.42)
乗換え待ち時間 (分)	-0.0979 (-1.83)	-0.0979 (-1.95)	-0.0979 (-1.90)	-0.0980 (-2.01)	-0.0979 (-1.83)	-0.0979 (-1.99)	-0.0979 (-1.83)
混雑率指標 (分×% ²)	-0.0177 (-1.84)	-0.0176 (-1.83)	-0.0174 (-1.81)	-0.0177 (-1.83)	-0.0176 (-1.82)	-0.0174 (-1.80)	-0.0174 (-1.81)
階段利用率 ()	-0.913 (-2.42)	-0.921 (-2.45)	-0.929 (-2.66)	-0.915 (-5.50)	-0.921 (-6.35)	-0.928 (-4.93)	-0.928 (-9.61)
	0.852 (1.24)	0.846 (1.28)	0.922 (1.34)	0.848 (1.57)	0.843 (1.49)	0.898 (8.96)	0.897 (3.83)
							-3.68 (-36.2)
尤度比	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
自由度調整済み尤度比	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
AIC	445.92	445.90	445.75	445.89	445.87	445.73	447.74
的中率 (%)	60.89	60.89	61.39	60.89	60.89	60.89	60.89

サンプル数: 202 ()内はt値

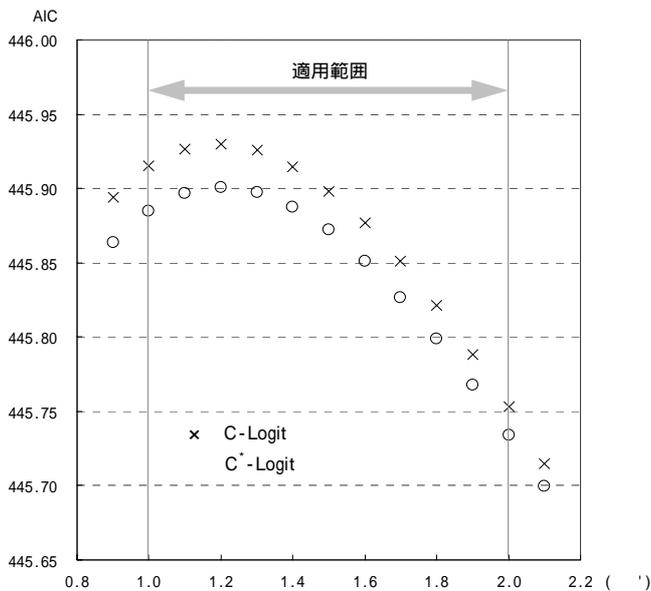


図 - 4 C*-Logit モデルと C-Logit モデルの AIC による比較

Information Criterion : AIC) により各モデルの優位性の検討を行う。各 (') における AIC を図 - 4 に示す。図 - 4 より、すべての (') において C*-Logit モデルの方が C-Logit モデルよりも小さな値を示していることが見て取れる。AIC から判断するならば、同重複率・異所要時間を表現できるように改良を加えた C*-Logit モデルの効果がでていると言えよう。

次に、(') を外生的に与えるのではなく、を同時推計するモデル (Model 7) について考える。AIC の性質上、推計パラメータが増えることにより、その値は大きくなるが、(') の設定値を *a priori* に決定できる利点を有している。本分析に用いたネットワーク、LOS データでは、(') が 2 のときに MAICE となっているが、全てのネットワーク、LOS データでそのようになるとは限らない。また、Model 7 の の値を代入して ' を算出すると約 2 (1.98) となることから、1 回の推計で最小 AIC となるモデルを構築していると判断できる。したがって、AIC は大きな値となるものの、本論文で焦点を当てている操作性の面を考慮するのであれば、同時推計をすることが最適であると筆者らは考える。

以上の比較を通して、C*-Logit モデルが、実データを適用しても C-Logit モデル同様に統計的に有意な推計結果となること、如何なる (') においても C-Logit モデルよりも AIC が小さな値を示すこと、効率よく最小 AIC となるモデルを構築できることを示し得た。以上より、C*-Logit モデルは、高密度な鉄道ネットワークへ適用可能であると判断できる。

4. おわりに

本論文は、筆者らが提案した C*-Logit モデルを実データに適用し、C*-Logit モデルの検証を行なったものである。

幾つかの設定で鉄道経路選択モデルを構築し、それらを比較することで C*-Logit モデルの有用性、高密度な鉄道ネットワークへの実適用の可能性を示していることが、本論文の特徴である。また、C*-Logit モデルの提案および実適用の可能性を示すことにより、鉄道経路選択行動分析、鉄道ネットワーク配分分析においてそれらの分析精度を下げることなく、操作性を向上させることに大きく寄与している。今後の展望として、選択肢集合設定方法の検討を重ねるとともに¹⁵⁾、筆者らの開発してきた鉄道ネットワーク配分システム¹⁶⁾に、このモデルを適用していくことを考えている。

参考文献

- 1) 兵藤, 室町: 個人選択行動モデルの最近の開発動向に関するレビュー, 土木計画学研究・講演集, No.23(2), pp.275-278, 2000
- 2) 羽藤: ネットワーク上の交通行動, 土木計画学研究・講演集, No.24(2), pp.15-29, 2001
- 3) 清水, 屋井, 坂井: 鉄道経路選択モデルにおける選択肢間の類似性の表現方法, 土木計画学研究・講演集, No.21(1), pp.459-460, 1998
- 4) 清水, 屋井: Mixed Logit Model とプロビットモデルの推定特性に関する比較分析 -鉄道経路選択を例に-, 土木計画学研究・論文集, No.16, pp.587-590, 1999
- 5) 兵藤, 章: Mixed Logit モデルの汎用性に着目した特性比較分析, 土木学会論文集, No.660 / -49, pp.89-99, 2000
- 6) Munizaga, M. A. and Alvarez-Daziano, R.: Mixed Logit vs. Nested Logit and Probit Models, Paper Presented at the 5th tri-annual Invitational Choice Symposium, 25pages, 2001
- 7) 屋井, 清水, 坂井, 小林: 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 / -55, pp.3-13, 2002
- 8) 東京圏における高速鉄道を中心とする交通網の整備に関する基本計画について (運輸政策審議会答申第 18 号), 運輸省運輸政策局編, 財団法人 運輸政策研究機構, 2000
- 9) 中長期的な鉄道整備の基本方針及び鉄道整備の円滑化方針について -新世紀の鉄道整備の具体化に向けて- (運輸政策審議会答申第 19 号), 運輸省鉄道局編, 財団法人 運輸政策研究機構, 2000
- 10) 日比野, 兵藤: 鉄道ネットワークにおける非 IIA 型経路選択モデルの特性比較分析, 鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp.209-212, 2002
- 11) 日比野, 兵藤, 内山: 高密度な鉄道ネットワークへの実適用に向けた非 IIA 型鉄道経路選択モデルの提案, 土木計画学研究・講演集 No.27, 4 pages, 2003
- 12) Cascetta, E., Nuzzolo, A., Russo, F. and Vitetta, A.: A Modified Logit Route Choice Model Overcoming Path Overlapping Problem. Specification and some Calibration Results for Interurban Networks, *Transportation and Traffic Theory, Proceedings of the 13th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Elsevier Science, Oxford, pp.195-207, 1996
- 13) Cascetta, E., Papola A., Russo F. and Vitetta A.: Implicit Availability / Perception Logit Models for Route Choice in Transportation Networks, *World Transport Research: Selected Proceedings of 8th World Conference on Transport Research*, Pergamon, Oxford, Anversa, pp.15-24, 1998
- 14) 若林, 日比野, 内山: 鉄道利用者行動分析のための調査方法について, 鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp.329-332, 2001
- 15) 日比野, 森田, 内山: 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 No.27, 4 pages, 2003
- 16) 日比野, 大石, 内山: 首都圏鉄道ネットワークの有効活用に向けた鉄道ネットワーク配分システムの開発, 土木計画学研究・講演集 No.27, 4 pages, 2003