

Dial のアルゴリズムを用いた自転車経路選択モデル*

Bicycle Route Choice Model with Dial's Algorithm*

笹井 秀哉**・兵藤 哲朗***・鈴木 紀一****・高橋 洋二*****

By Syuya Sasai**・Tetsuro Hyodo***・Norikazu Suzuki****・Yoji Takahashi*****

1. はじめに

ここ数年、まちづくりや環境問題、交通渋滞を発端として自転車利用促進の動きが見られる。今まさに都市内の交通ネットワークの主要な構成要素として自転車道を位置付けその実現化に向けた具体的な調査、分析方法を議論する事が求められていると考える。本研究では自転車利用者が自転車走行環境を加味して距離抵抗を認識しているという仮説に基づいて実距離から認識距離に変換し、認識距離を変数として組み入れた経路選択モデルを用いた需要予測を試みた。

2. 自転車経路選択モデルにおける本研究の位置付け

自転車経路選択を扱ったモデルでは、従来、様々な選択肢集合の設定方法が存在する。それらを簡単に分類すると下記の3つがあげられる。

- a : 選択肢集合を扱わないもの
- b : リンクの限定は行うが特定の経路は列挙しないもの
- c : 特定の経路を列挙するもの

本研究で用いている重複率最大化モデルは a の部類に属し、経路を予測する上であらかじめリンクの限定、列挙を行わない、選択肢集合を扱わないモデルである。また本研究で試みる Dial 組み込みモデルは重複率最大化モデルを一般化したものとしての性質を有し、このモデルは b の部類に属す。Dial のアルゴリズムは配分対象に限られるのでリンクの限定は行われているが、経路の列挙はなされない。また c の部類に属すものとして k 番目最短経路を使用したモデルが考えられる。

3. 認識距離を用いた経路選択モデル

(1) モデルの定式化

対象地域における自転車利用者の出発地から目的地までの実走行経路データが N サンプル得られているとする。まず、 n 番目サンプルの実利用経路延長 X_n を次のように定式化する。

$$X_n = \sum_a \delta_{na} \cdot l_a \cdot \dots \cdot \dots (1)$$

ここで、 δ_{na} は n 番目サンプルが a 番目リンクを通る場合に 1、それ以外は 0 をとるダミー変数であり、 l_a は a 番目リンクの延長である。

次にリンク属性により認識されるリンク長が異なるという仮説に基づき、 a 番目リンクの認識距離を下記の式で表現する。

$$l_a^*(\beta) = l_a \cdot \prod_k \beta_k^{z_{ak}} \cdot \dots \cdot \dots (2)$$

ここで z_{ak} は a 番目リンクの k 番目属性変数(道路幅員、歩道幅員など)について一定条件を満たす時は 1、それ以外は 0 をとるダミー変数であり、 β_k は k 番目属性にかかる未知パラメータ ($0 < \beta$) である。この式より、リンクの属性により認識されるリンク長が変化する事が説明される。容易に想像されるようにパラメータの値がすべて 1 の場合 ($l_a^*(1)$ とする) はリンク長に何の変化も無くもとのリンク長と同じ長さになる。

(2) モデルパラメータ推定方法

次に式(2)式の未知パラメータの推定方法を考える。パラメータを推定する場合の目的関数に相当する説明されるべき事柄はいかに認識距離から推計される最短経路が実経路に一致するかということである。そこで次式のような n 番目サンプルの重複率(認識距離による最短経路と実経路の重複率)を定義する。

$$D_n(\beta) = \frac{\sum_a \delta_{na} \cdot \delta_{na}^*(\beta) \cdot l_a}{X_n} \cdot \dots \cdot \dots (3)$$

$\delta_{na}^*(\beta)$ はパラメータ値が β のときの認識距離を用いた場合の n 番目サンプルの最短経路に a 番目リンクが

* キーワーズ : Dial のアルゴリズム、経路選択、自転車、
** 学生会員、東京商船大学大学院流通情報工学専攻
(東京都江東区越中島 2-1-6、Tel 03-5245-7300)
*** 正会員、工博、東京商船大学助教授、流通管理講座
**** 正会員、工修、(財)計量計画研究所
***** 正会員、工博、東京商船大学教授、流通管理講座

含まれる場合に1、それ以外の場合は0をとるダミー変数である。今、(3)式で示した重複率が大きい(1に近づく)ほどモデルにより再現される経路が実経路をよりの確に説明する事になる。そこで各サンプルの利用経路延長を重みとしてサンプル全体の重み付き重複率を次のように定義する。

$$D(\beta) = \frac{\sum_n X_n \cdot D_n(\beta)}{\sum_n X_n} = \frac{\sum_n \sum_a \delta_{na} \cdot \delta_{na}^*(\beta) \cdot l_a}{\sum_n X_n} \dots (4)$$

未知パラメータは式(4)を最大化するように定めればよい。しかし、一般には最短経路などのネットワーク変数は離散量であるため、重み付き重複率(以降「D値」と呼ぶ)をパラメータで微分する事は不可能であり、目的関数の勾配などを算出する事は出来ない。そこで、パラメータ値を任意の区間で移動させ、それぞれのパラメータ値に対するD値を算出し、D値が最大となるパラメータ値を視認によって確認し、推定値とすることが考えられる。また、パラメータ数が多くなる(3つ以上)と、同方法では対応が困難である。この場合は遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm)を用いた方法が適用可能である¹⁾。

4. 使用データの概要

本研究では宇都宮、久留米、七尾のデータを使用した。データは各都市1サンプル毎に出発地から目的地までに使用したノード、リンクを記したものと、リンクの属性(道路幅員、歩道幅員など)を記したものである。また1サンプルごとに目的地に行く理由も判っている。表1に目的別のデータ数を示す。

表1 各都市の目的別データ数

目的	宇都宮 (1996年)	久留米 (1995)	七尾 (1999)
通勤	135	109	90
通学	286	150	77
総計	421	259	167

5. Dialのアルゴリズムを用いた自転車経路選択モデル

(1) モデルの定式化

Dialのアルゴリズムを用いる事により起終点間の経

路を特定することなく各リンクの選択確率を推計できる。そこでDialのアルゴリズムを用いた場合のn番目サンプルの重複率を次式のように定義する。

$$D_n(\beta, \theta) = \frac{\sum_a \delta_{na} \cdot P_{na}(\beta, \theta) \cdot l_a}{X_n} \dots (5)$$

$P_{na}(\beta, \theta)$ はパラメータ値が β のときの認識距離を用いて、n番目サンプルにおいてDialのアルゴリズムで用いられるパラメータを θ としたときのa番目リンクの選択確率を表す。今、(5)式で示した重複率が大きい(1に近づく)ほどモデルにより再現される経路が実経路をよりの確に説明する事になる。そこでDialのアルゴリズムによるリンクの選択確率を用いたサンプル全体の重み付き重複率 $D(\beta, \theta)$ (以降 D_p 値と呼ぶ)の定義であるがこれは(4)式と手順は同じなのでここでは省く事にする。

次に未知パラメータ β 、 θ の推定であるが、 β は前述の理由から任意の区間を動かさなければならない。そこで θ も0~の区間を動かす事にした。

(2) Dial組み込みモデルの特徴

Dialのアルゴリズムで用いられているパラメータ θ は選択確率の感度に相当するので

$\theta = 0$: 全ての選択肢が等価($p = 1$ /選択肢数)

$\theta = 1$: 最短経路のみが選ばれる($p = 1$)

となる。従ってパラメータ推定式を重複率最大化モデルと同様に定義すれば $\theta = 1$ が重複率最大化モデルに相当する事になるのでDial組み込みモデルは重複率モデルの一般化ということになる。従って θ の値によっては D_p 値の方がD値よりも大きいという可能性は十分考えられ、検討すべき点だと言える。

6. パラメータ推定結果

(1) パラメータ β の推定結果

パラメータ β の推定結果を表-2に示す。表-2におけるダミー条件の意味であるが、歩道有無はリンクに歩道があれば1、無ければ0となるダミー変数とした。また幅員、車道幅、歩道幅はそれぞれXm以上の場合を検討し、表-2に記された値が最も良好な結果である事を踏まえて、Xm以上であれば1、そうでなければ0となるダミー変数とした。

表 - 2 パラメータ推定結果

都市	目的	ダミー条件	パラメータ値	D値
宇都宮	通勤	どちらかの歩道が2.5m以上	0.935 or 0.94	0.64034 (0.53221)
		車道の幅が8m以上	0.78 ~ 0.79	
	通学	どちらかの歩道が2.5m以上	0.99 or 0.995	0.59005
		車道の幅が8m以上	0.925 or 0.93	(0.51541)
久留米	通勤	歩道有無	0.99 ~ 1.005	0.62768 (0.54681)
		幅員が7m以上	0.53 ~ 0.555	
	通学	歩道有無	1	0.61631 (0.55537)
		幅員が7m以上	0.69	
七尾	通勤	両側歩道3m以上	0.85~0.865	0.59704 (0.56723)
		両側歩道3m未満で1	0.855 or 0.86	
	通学	両側歩道3m以上	0.75~1.07	0.505 (0.49237)
		両側歩道3m未満で1	0.75~0.93	

七尾だけ他の 2 都市とダミー条件が異なる感が見受けられるがリンクの属性データとして収集形式が両側歩道 3m 以上、両側歩道 3m 未満、片側歩道 3m 以上、片側歩道 3m 未満、それ以外、のどれに当てはまるのかと言う形式であり、表 - 2 ではこれらのうち両側歩道 3m 以上、両側歩道 3m 未満の時にダミー変数を 1 としている。D 値は推定パラメータ値を取ったときの最大重複率である。また括弧の中の値はパラメータの値がすべて 1 のときの D 値である。これは認識距離に何の変化も無い時のリンク長、実距離を使用した場合の D 値を表している。

(2) Dial のアルゴリズムにおけるパラメータの変動結果

パラメータ θ の値を 0 ~ 1 の区間で移動させた。宇都宮の通勤に該当するデータを使用して θ を移動させていく過程の一部を図 - 1 ~ 図 - 4 に示す。図 - 1 ~ 図 - 4 は横軸に車道幅 8m 以上ダミー、縦軸にどちらかの歩道が 2.5m 以上ダミーの D_p 値の等高線を示している。図 - 1 ~ 図 - 4 より θ の値が低い時は D_p 値の最大値も低く、滑らかな曲線の山を描いているが、 θ の値が大きくなるにしたがい、 D_p 値の最大値も大きくなり曲線は鋭角を伴った山に変化していく事が視認出来る。これは θ の値が各リンクの選択確率の感度に相当しているので θ の値が低ければ選択肢間の選択確率の差が縮まってしまう(5)式に照らすと各リンクの属性パラメータ β の影響力が小さくなってしまふからである。反対に θ の値を大きくすると選択肢間の選択確率の差は広がり各リンクの属性パラメータ β の影響力は如実に現れ結果として図 - 4 のように滑らかではない山を描く。従って θ の値を低くすれば各リンクの属性パラメータ β と D 値の関係の傾向を知ることが出来るので、D 値が最大となる領域を特定しやすい。

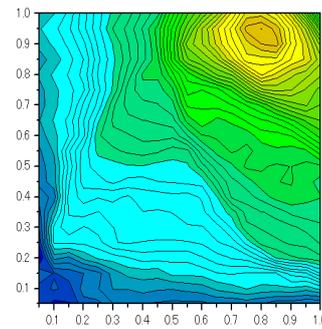


図 - 1 $\theta = 0.05$

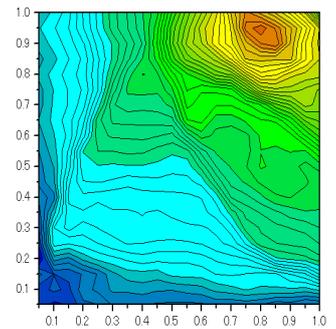


図 - 2 $\theta = 0.1$

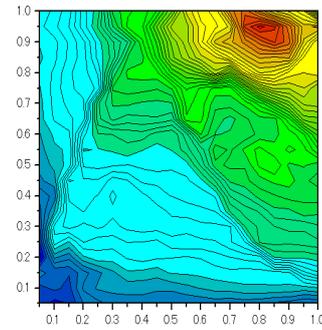


図 - 3 $\theta = 0.5$

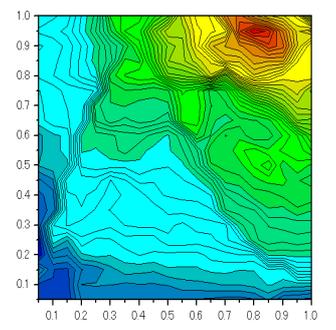


図 - 4 $\theta = 1$

横軸：車道幅 8m 以上ダミー

縦軸：どちらかの歩道が 2.5m 以上ダミー

(3) D_p 値、D 値の検討

Dial 組み込みモデルは重複率モデルを一般化したものであるから、 θ の値によっては D_p 値が D 値を上回る可能性もあるので、これを検討した。検討結果を表 - 2 に示す。検討方法は既に表 - 2 で最適なパラメータの値が推定されているので、パラメータ値を推定された値に固定し、 θ の値を 0 ~ 1 の区間で動かしていき、得られた D_p 値と D 値の大小を判定した。

表 - 3 D_p 値、D 値の検討結果

都市	目的	曲線パターン	判定
宇都宮	通勤	右肩上がり	D値
	通学	3次曲線 ($\theta=1.9:D=0.59047$) ($\theta=7.5:D=0.59024$)	D値
久留米	通勤	右肩上がり	D値
	通学	右肩上がり	D値
七尾	通勤	上に凸の放物線 ($\theta=1.7:D_p=0.59705$)	D_p 値
	通学	上に凸の放物線 ($\theta=0.5:D_p=0.50818$)	D_p 値

表 - 3 の判定の所により大きな重複率の値をとることが出来る方を記入した。D 値と記入されている箇所は D 値と D_p ($\theta =$) 値が等しい事を表す。曲線パターンにおける括弧は極地における θ 値と D_p 値である。宇都宮、久留米においては θ を 0 ~ 1 の区間で動かしている最中に D 値よりも高い値をとる事は確認されなかった。七尾においては通勤・通学共に上に凸の放物線を描きそれぞれの θ 値の時に最も高い重複率を記録した。しかし、その極地における D_p 値であるが、通勤の場合は D 値とほぼ同じ値であり、わずかに 0.00001 上回っ

ているに過ぎなかった。また通学においても D_p 値が D 値を 0.003 上回っているという結果だった。曲線パターンの参考として図 - 5 に右肩上がり、3 次曲線、上に凸の放物線をそれぞれ描くグラフを載せておく。

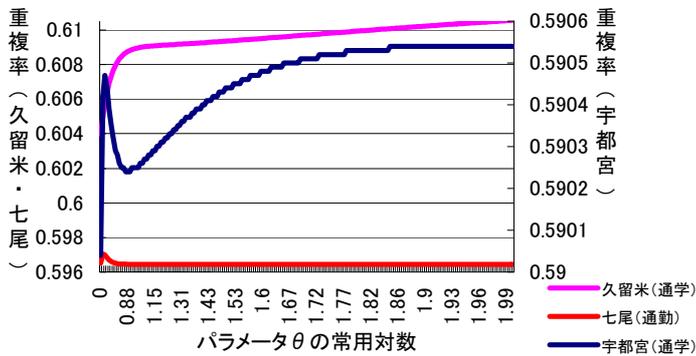


図 - 5 : 3 種類の曲線パターン

(4) Dial のアルゴリズムのカバー率

Dial のアルゴリズムは配分対象が限られるのでリンクの限定は行われているが経路の列挙はなされない。Dial のアルゴリズムによってリンクの限定が行われた時、その限定されたリンクの中にどれだけ実経路が含まれているのかということが問題となる。ここでは Dial のアルゴリズムによってリンクが限定された時点でどれだけ実経路をカバー出来ているのかを調べた。表 - 4 は 3 都市 2 目的別に Dial のアルゴリズムによってカバーされていた実経路の総合計を実経路の総合計で除したものである。

表 - 4 Dial のアルゴリズムのカバー率

	通勤	通学
宇都宮	0.872	0.861
久留米	0.715	0.829
七尾	0.892	0.791

また図 - 6 に宇都宮の通学に該当するサンプルで Dial のアルゴリズムによって限定された経路が実経路をどれだけカバー出来ているのかを度数分布で表した。

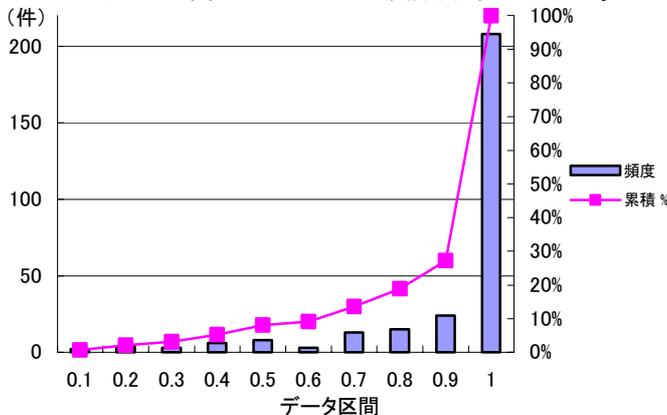


図 - 6 宇都宮の通学者の度数分布

図 - 6 よりサンプルの大半において Dial のアルゴリズムによって限定された経路が実経路の 90% 以上をカバ

ー出来ていると言う事が判った。しかし、サンプルの中には 30%、40% 程度しか実経路が含まれていない、つまり Dial のアルゴリズムによって限定した時点で半分以上の実走行経路が予測する時に選択対象から除外されているものもあることが判る。そのような特徴的なサンプルの実経路及び Dial のアルゴリズムによって限定された経路を図 - 7、図 - 8 に視覚的に表してみた。



図 - 7 通学 : サンプル No.435 図 - 8 通学 : サンプル No.248

黒い経路が実走行経路で赤い経路が Dial のアルゴリズムによって限定されたリンクである。それぞれ両サンプルが考えている最短経路のようにも寄り道のようにも見えるが、明らかに両サンプル共、縦と横に直角に動いている事が判る。それに対し Dial のアルゴリズムによって限定されたリンクは出発地と目的地を斜めに繋ぐためリンクを限定した時点で実経路の 30%、40% 程度しかカバー出来ていないということが判った。

6. おわりに

パラメータ β 値の推定結果より自転車利用者が経路選択をする際にどのような走行環境に距離抵抗を感じるのかといった事に関して各都市に特色を見ることが出来た。また表 - 2 より認識距離を用いた重複率最大化モデルの方が実距離モデルよりも高い D 値を記録し、自転車走行環境を考慮した認識距離を用いたモデルが有効な手段であると言えることが出来よう。さらに本研究では選択肢集合の扱いに着目し、Dial 組み込みモデルを検討した。この Dial 組み込みモデルは重複率最大化モデルを一般化したものであり、選択確率の感度を示すパラメータ値 θ の変動による D_p 値の変化と限定されたリンクの実経路に対するカバー率、また θ 値を十分に低くとり D_p 値を等高線にした場合に最良のパラメータ値 β が視認しやすい事を示した。

参考文献

- 1) Hyodo, Suzuki and Takahashi ; 「Modeling of Bicycle Route and Destination Choice Behavior for Bicycle Road Network Plan」 Transportation Research Record 1705, pp.70-76
- 2) 鈴木、高橋、兵藤 ; 「自転車走行環境に着目した鉄道端末自転車需要予測方法の提案」, 交通工学, Vol.33, No.5