

自転車経路選択モデルの比較検討分析*

A Comparison Analysis on Bicycle Route Choice Models*

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、交通渋滞を端として自転車利用促進の動きが見られる。国土交通省の「自転車施策先進都市」(図-1)¹⁾を見ると、レンタサイクルや、本格的なヨーロッパ風の自転車道整備計画まで見受けられ、駅前不法駐輪対策が中心的に議論されてきた時代とは大きく趣を異にしていることが確認できる。

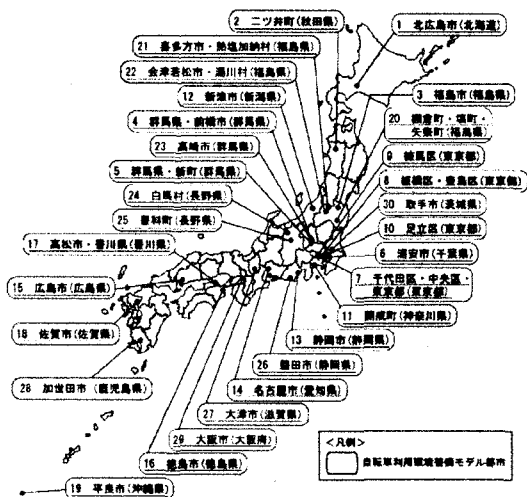


図-1：自転車利用環境整備モデル都市

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ことが求められていると考えられる。

そこで本研究では、自転車利用者は必ずしも最短ルートを選択するとは限らず、出発地から目的地までの走行環境、言い換えると、道路の整備状況によってその挙動は影響を受けると想定した。これを前提として自転車利

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の経路選択モデルに基づく、実距離からの認識距離変換式を提案し、認識距離を変数として組み入れた経路選択モデルのバリエーションについて検討した。

また、参考文献 3) の複数データへの適用比較分析、その発展的な新たなモデル開発も一目的である。

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：リンクの限定は行い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(重複率最大化モデルについては3章(2)節を参照)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、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。

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

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。

*キーワード：経路選択、自転車、Dialのアルゴリズム

**学生会員、東京海洋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 03-5245-7386)

***正会員、工博、東京海洋大学助教授、流通情報工学科

****正会員、工修、(財)計量計画研究所

*****正会員、工博、東京海洋大学助教授、流通情報工学科

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。

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

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ことが説明される。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 (2) 式の未知パラメータの推定方法を考える。

自転車経路選択においては、自動車配分計算で用いる明確なリンクパフォーマンス関数が設定出来ず、既存配分手法の適用が困難である。

今、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、まず、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。

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

$\delta_{na}^*(\beta)$ 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 番目リンクが含まれる場合に1、それ以外のときは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ことになる。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。

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

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ことは不可能であり、目的関数の勾配などを算出することは出来ない。

従って、 D 値を尤度関数とみなすと、リンクによっては

0 値をとることがあり、尤度関数としての扱いが不可能である。

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。

ここに (4) 式を重複率最大化モデルのモデル式とし、上記方法の通りにパラメータを推定して、リンク属性が自転車利用者の距離認識に与える影響を数値として表すまでの一連の思考方法を重複率最大化モデルとする。

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²⁾。

4. 使用データの概要

本研究では、重複率最大化モデル、Dial 組み込みモデルの検討にあたり宇都宮、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 使用データの概略

目的	宇都宮 (1996年)	久留米 (1995)	七尾 (1999)
通勤	135	97	89
通学	286	127	77
総計	421	224	166

5. Dial のアルゴリズムを用いた自転車経路選択モデル (Dial 組み込みモデル)

(1) モデルの定式化

Dial のアルゴリズムを用いること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。

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

$P_{na}(\beta, \theta)$ 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ことになる。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ことにする。

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 $0 \sim \infty$ の区間を動かすことにした。

(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

$\theta \rightarrow 0$: 全ての選択枝が等価 ($p = 1/\text{選択枝数}$)

$\theta \rightarrow \infty$: 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 $\theta = \infty$ が重複率最大化モデルに相当することになるので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. 迂回率

モデルパラメータ推定に先立ち、まずサンプルがどの程度、遠回りをしているのかを調べることにした。その指標として迂回率を求めた。ここで用いる迂回率とは、実走行距離を、ネットワークデータを用いた最短経路長で除した値である。結果を表-2、図-2～図-7に載せる。

表-2 の迂回率は各サンプルの利用経路延長を重みとした、3都市2目的別の重み付き迂回率である。

図-2～図-7は3都市2目的別でサンプル毎に迂回率を算出し、そのヒストグラムをとったものである。

表-2 3都市2目的別の重み付き迂回率

目的 \ 都市	宇都宮	久留米	七尾
通勤	1.056	1.050	1.004
通学	1.063	1.050	1.304

表-2 より七尾の通勤においてはほぼ最短経路を選択していることが判る。それに対し七尾の通学は約30%の迂回をしていることが判る。これは七尾の通勤とは対照的に大きく、宇都宮、久留米の通勤・通学と比べてみても際立って大きい。

表-2 において七尾の通学が他に比べ際立って大きい理由であるが、まず、「最短経路で目的地に行く」という思考を遮断するものとして、通学路と自動車交通量が考えられる。通学路により経路が限定される、または自動車交通量の少ない経路を選択することにより、最短経路から外れるというものである。この時、七尾においては、宇都宮、久留米に比べ、遠距離通学者が多いのではないかと考えられる。表-2 は利用経路延長を重みとした迂回率であるから、この遠距離通学者が上記理由により最短経路から外れた時の影響が強く出ているものと考えられる。

いずれにしてもデータ制約から、実際の経路選択理由について明確に把握し得ない余地を残しているが、道路環境における七尾の地域特性が原因であると考えられる。

表-2の結果としては、自転車利用者は最短経路で目的地に向かっているわけではないことが判る。

図-2～図-7を見ると、どの都市、目的のサンプルにおいてもサンプルの約90%が30%以下の迂回率であることが判る。特に迂回率0%～10%に該当するサンプルが多い。

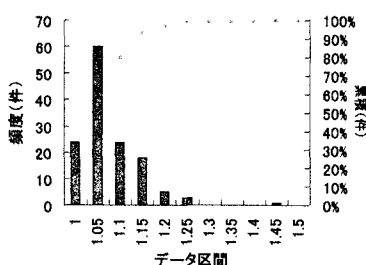


図-2 : 宇都宮 : 通勤

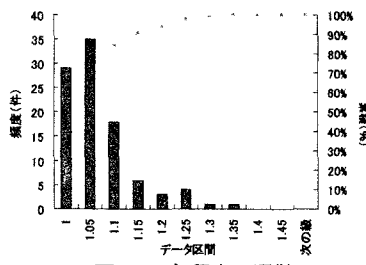


図-4 : 久留米 : 通勤

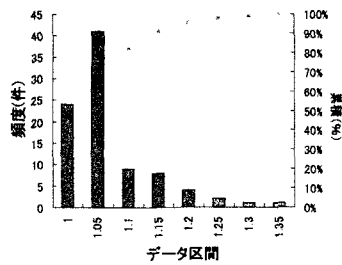


図-6 : 七尾 : 通勤

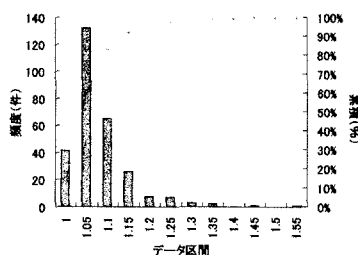


図-3 : 宇都宮 : 通学

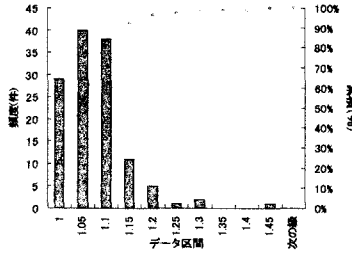


図-5 : 久留米 : 通学

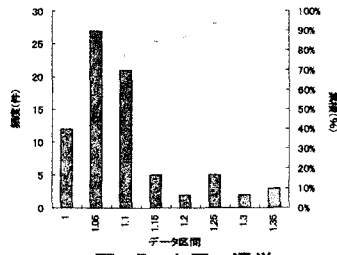


図-7 : 七尾 : 通学

また中には 40%以上迂回しているサンプルもあり、これは寄り道や、何か他の要因が経路先駆に影響を及ぼしているものと考えられる。

7. モデルパラメータの推定結果と考察

(1) パラメータの推定結果

左記にてパラメータを推定する方法として視認によって確認すると述べた。その具体的な手順としてまず、パラメータ β のとり得る範囲を $0 \leq \beta \leq 1$ とし、それぞれのパラメータ値に対する D 値を算出する。そして縦軸、横軸にそれぞれリンク属性変数のパラメータをとり等高線を描いた。図-8 から図-12 に 3 都市 2 目的別の等高線を示す。

パラメータ β 値の範囲は上記の通りであり、それぞれ最大重複率 D 値をとるパラメータ β のおおよその値を視認出来る。宇都宮の通勤に該当するサンプルの等高線の場合であれば車道幅が 8m 以上で 1 のパラメータは 0.85、どちらかの歩道が 2.5m 以上のパラメータは 0.9 といった付近で最大重複率 D をとることが視認できる。このように等高線からおおよそのパラメータ値 β を推定し、その後はさらにそのパラメータ値付近を細かく検討していった。パラメータ β の推定結果を表-3 に示す。表-3 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有れば 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 X m 以上の場合を検討し、表-3 に記された値が最も良好な結果である

表-3：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)
	通学	車道の幅が 8m 以上	0.78 ~ 0.79	0.59005 (0.51541)
		どちらかの歩道が 2.5m 以上	0.99 or 0.995	
久留米	通勤	車道の幅が 8m 以上	0.925 or 0.93	0.68292 (0.62976)
	通学	歩道有無	0.995 ~ 1	
		幅員が 7m 以上	0.895 ~ 0.905	0.67155 (0.61308)
七尾	通勤	歩道有無	0.955	
		幅員が 7m 以上	0.85	0.59704 (0.56723)
	通学	両側歩道 3m 未満で 1	0.85 ~ 0.865	
		両側歩道 3m 以上	0.855 or 0.86	0.505 (0.49237)
	通学	両側歩道 3m 未満で 1	0.75 ~ 1.07	
		両側歩道 3m 以上	0.75 ~ 0.93	

ことを踏まえて、 X m 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。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-3 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。

ここで推定されたパラメータ値の捉え方であるが、上記 (2) 式に照らせば、値が 0 に近いほど、そのリンク属性が自転車利用者の距離認識に与える影響は大きいと言える。反対に 1 に近いほどそのリンク属性は自転車利用者の距離認識への影響は小さい。仮にパラメータ値が 1 の時はなんら影響を与えていないことになる。また表-3 では、リンク属性が二つの場合としてモデルを構築して

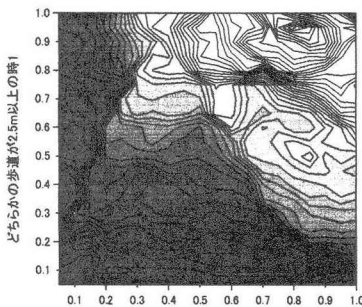


図-8：宇都宮：通勤の等高線

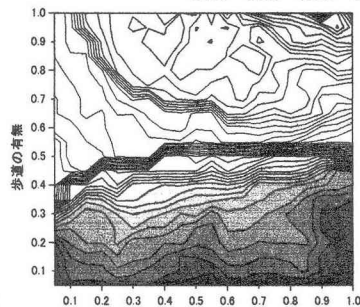


図-10：久留米：通勤の等高線

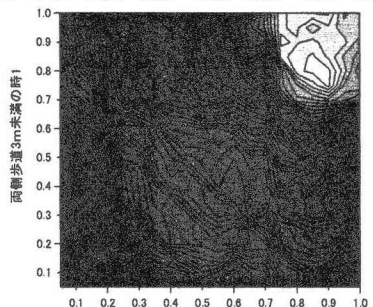


図-12：七尾：通勤の等高線

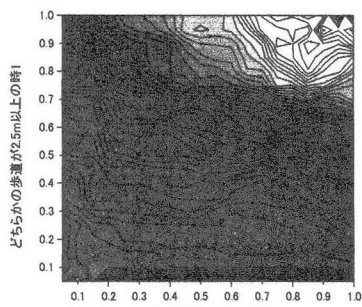


図-9：宇都宮：通学の等高線

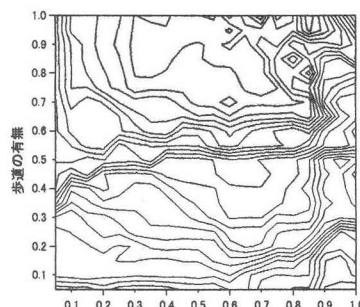


図-11：久留米：通学の等高線

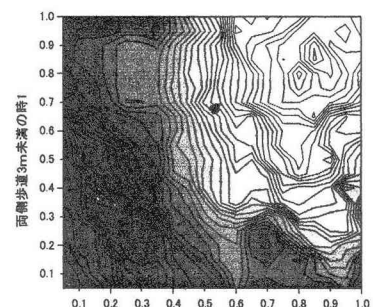


図-13：七尾：通学の等高線

いるが、良好なダミー条件、各リンク属性の特性を詳細に把握したい場合は、リンク属性を一つにしてモデルを構築し、パラメータ推定をすれば良い。そうすることによってダミー条件の有用性、特徴を掴む事が出来るであろう。また後述において、リンク属性間でパラメータ比較をする件がある。この際、ダミー条件が異なるのに比較出来るのかと言った問題があるが、ここでは各リンク属性に対して最も良好なダミー条件を設定してやることにより、その時のパラメータ値をリンク属性の持つ自転車利用者への影響力として捉えている。

D 値は推定パラメータ値をと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、つまり実距離を使用した場合の D 値（以後初期重複率と呼ぶ）を表している。

結果を見てみるとリンク属性の情報が異なると言うこともあるが、久留米の D 値の高さが目立つ。また実距離を使った場合に比べ認識距離を使った場合は約 0.03～0.1 ほど重複率が上昇した。最も重複率が上昇したのは通勤、通学共に宇都宮に該当するサンプルであった。推定されたパラメータを見てみると、宇都宮の通勤に該当するサンプルの車道幅のパラメータが 0.78～0.79 と他に比べて低く、目立つ。このサンプルは特に車道幅と言った自転車走行環境を考慮して経路選択を行っていることがわかる。

初期重複率は通勤・通学共に久留米が最も高く、久留米の自転車利用者が宇都宮、七尾に比べ最短距離で目的地に行く思考が強いということも推測出来た。

認識距離を使用した重複率が初期重複率よりも上昇していると言う結果から、自転車利用者が自転車走行環境を加味して経路選択を行っているという前提は少なからず肯定され得るものと考えられ、重複率最大化モデルは有用であると考えられる。

(2) Dial のアルゴリズムにおけるパラメータの

変動結果

前述したことであるが Dial のアルゴリズムのパラメータ θ はリンクの選択確率の感度に相当している。すなわちパラメータ θ が 0 に近づけば全てのリンクは等価になり、 ∞ に近づけば最短経路のリンクを中心として選択確率は上がり、同時に選択確率が下がっていくリンクもあり、次第に最短経路に該当するリンクのみに絞られていく。まずはその様子を宇都宮の通学に該当する 1 サンプルの起終点を使用して図-14～図-17 に示す。図-14～図-17 において赤いリンクが Dial のアルゴリズムにおける合理的な経路であり、赤線の太さが選択確率を表す。太ければ高いほど選択確率が高いことを表す。図-14～図-17 より上述したようにパラメータ θ の変動に伴い選

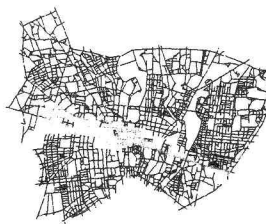


図-14: $\theta = 0.1$

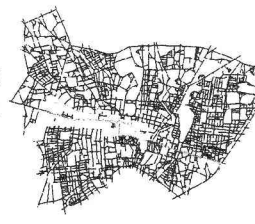


図-15: $\theta = 0.5$

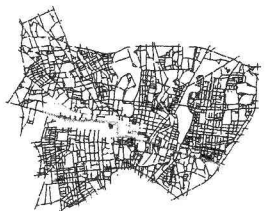


図-16: $\theta = 1$

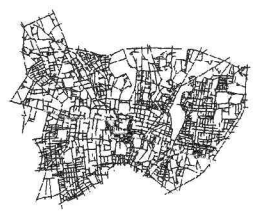


図-17: $\theta = 3$

択確率が変化していく様子を見ることが出来る。そしてこのリンクの選択確率の感度に相当するパラメータ θ を 0～ ∞ の区間で移動させた場合の図-8～図-13 に示した等高線に及ぼす影響を検討した。宇都宮の通勤に該当するデータを使用した場合の θ の移動に伴う、等高線の変化の過程の一部を図-18～図-21 に示す。

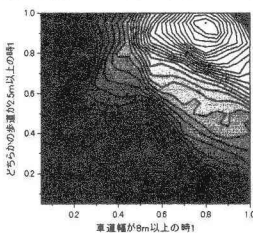


図-18: $\theta = 0.05$

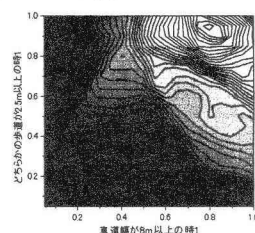


図-19: $\theta = 0.1$

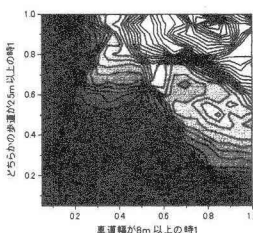


図-20: $\theta = 0.5$

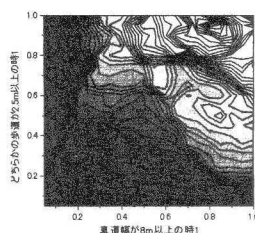


図-21: $\theta = \infty$

図-18～図-21 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以上ダミーのパラメータを変化させた時の D_p 値の等高線を示している。図-18～図-21 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様子が視認出来る。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-20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。

(3) D_p 値、 D 値の検討

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-4に示す。

表-4 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	右肩上がり	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	右肩上がり	D 値
	通学	上に凸の放物線 ($\theta=0.5: D_p=0.50833$)	D_p 値

検討方法は既に表-3 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 β 値を推定された値に固定し、 θ の値を $0 \sim \infty$ の区間で動かしていく。この時、 θ が ∞ に迫り着く前に D 値を上回る D_p 値を記録した場合、判定の箇所には D_p 値と記入し、 θ が ∞ に迫り着くまでに D_p 値が D 値を上回る事が無い場合は判定の箇所に D 値と記入した。

曲線パターンにおける括弧は極値における θ 値と D_p 値である。宇都宮、久留米、七尾の通勤においては θ を $0 \sim \infty$ の区間で動かしている最中に D 値よりも高い重複率をとることは確認されなかった。七尾においては通学の場合に上に凸の放物線を描いき、括弧内の θ 値の時に最も高い重複率を記録した。その極値における D_p 値であるが、 D 値を 0.003 上回っているという結果だった。3都市2目的別の曲線パターンを図-22～図-24に載せる。

(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。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。

なお、Dial のアルゴリズムによって、合理的な経路という形でリンクの限定を行うのだが、その際に、リンク長データを使用する。このリンク長データは、前述の表-3に記されている、最適なパラメータを使用して認識距離に変換したリンク長データを使用している。前ページの表-5に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重み付きのカバー率を載せる。

表-5 Dial のアルゴリズムのカバー率

都市	目的	重み付きカバー率
宇都宮	通勤	0.8717
	通学	0.8612
久留米	通勤	0.8930
	通学	0.8677
七尾	通勤	0.8923
	通学	0.7910

表-5を見ると、七尾の通学だけやや低いのが、それ以外は大体 80% 強のカバー率であることが判る。またこの結果より、Dial のアルゴリズムによってリンクを限定した時点で約 10%、七尾の通学に至っては約 20% が予測対象リンクから除外されていることが判る。

この重み付きカバー率の他に、サンプル毎にカバー率を算出し、その度数分布をとった。その結果を 3 都市 2 目的別に次ページの図-25～図-30に載せる。

図-25～図-30を見ると、どの都市、目的も約 80% のサンプルにおいて、実経路の 80% 以上が Dial のアルゴリズムによって限定されたリンクに含まれていることが判る。ただ七尾の通学に関しては実経路の 80% 以上が限定されたリンクに含まれているサンプル数は全体の約 70% 程度である。

ここで無視出来ないのは、カバー率 50% 以下というサンプルも少なからず存在するということである。

このカバー率の低いサンプルに関しては、Dial のアルゴリズムはリンク長を基にリンクを限定していることから、最短経路で目的地に行くと言う思考以外に何か経路選択に大きく影響を及ぼす要因があることを示す。従って、この要因が何であるかを検討するため、3都市2目

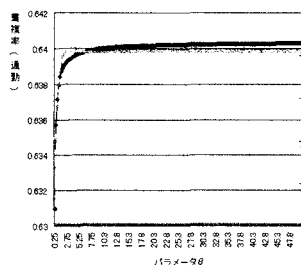


図-22：宇都宮

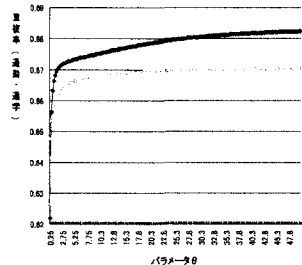


図-23：久留米

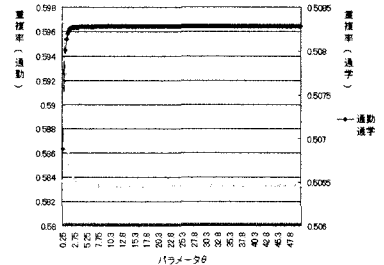


図-24：七尾

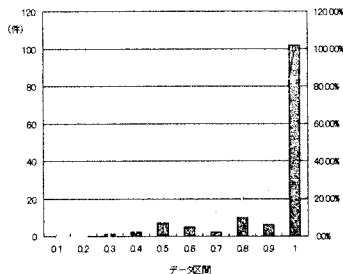


図-25：宇都宮：通勤

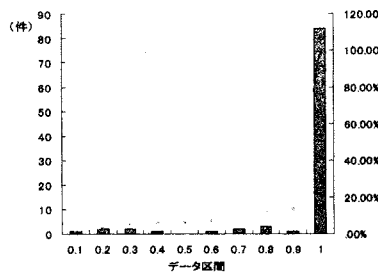


図-27：久留米：通勤

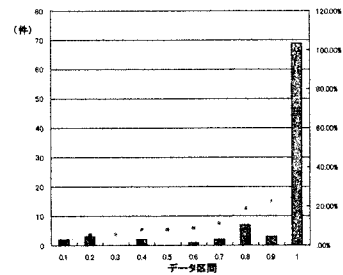


図-29：七尾：通勤

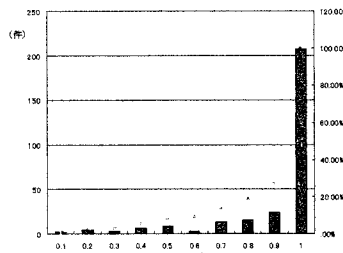


図-26：宇都宮：通学

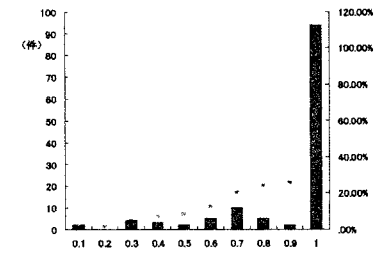


図-28：久留米：通学

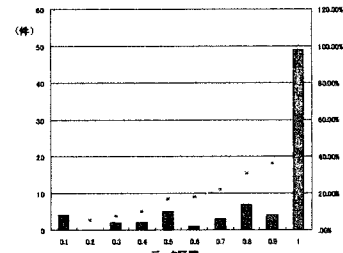


図-30：七尾：通学

頻度
累積%

別のサンプルからそれぞれ1サンプルずつ、特にカバー率の低かったサンプルの実走行経路とDialのアルゴリズムによって限定されたリンクを視覚的に表した。その結果を図-31～図-36に示す。なお、これらの図において黒い経路がサンプルの実走行経路であり、赤いリンクがDialのアルゴリズムによって限定されたリンクである。

図-31～図-36を見ると、どのサンプルも寄り道をしているようにも見えるが、明らかなのは、縦と横の動きで出発地から目的地を結んでいることである。また直線の距離が長い。このことから、なるべくなら右左折をしないで目的地に行くと言った思考が働いているのではないかと考えられる。この思考の為に、実走行経路がDialのアルゴリズムにより限定されたリンクから大きく外れたものと考えられる。

(5) 都市間比較

3都市を通して共通しているリンクデータは歩道の有無とリンク長のみであり、3都市間の比較をするためにリンク属性変数を歩道の有無のみに統一し、パラメータ β を推定して都市間比較を行った。結果を次ページ、表-6に載せる。括弧内の数値は初期重複率である。七尾以外の都市では表-3と比べD値は落ちる結果となっている。最も重複率が上昇したのは宇都宮の通勤に該当するサンプルで、約0.06上昇している。反対に最も上昇しなかったのは、七尾の通学に該当するサンプルであり、上昇したのは約0.02であった。ここで注目することは、七尾についてであり、リンク属性に関して、「両側歩道3m以上」、「両側歩道3m未満」と考慮して得られた重複率よりも、

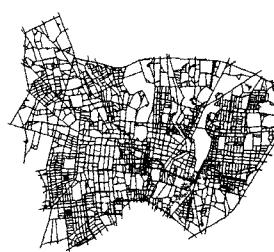


図-31：宇都宮：通勤
サンプルNo. 130
迂回率=1.158
カバー率=0.241

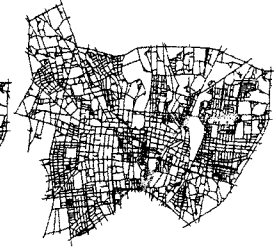


図-32：宇都宮：通学
サンプルNo. 435
迂回率=1.288
カバー率=0.124



図-33：久留米：通勤
サンプルNo. 166
迂回率=1.17
カバー率=0.008



図-34：久留米：通学
サンプルNo. 251
迂回率=1.07
カバー率=0.051



図-35：七尾：通勤
サンプルNo. 39
迂回率=1.146
カバー率=0.134



図-36：七尾：通学
サンプルNo. 175
迂回率=1.25
カバー率=0.229

「歩道の有無」のみでリンク属性を考慮して得られた重複率の方が高いと言うことである。七尾のリンク属性データ収集形式は「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」のどれにあてはまるかと言った形式で得られている。この場合、「両側歩道 3m 以上」、「両側歩道 3m 未満」といったリンク属性の考慮の仕方は、やや歩道条件の良好さを重視した考慮の仕方であり、それよりは、単に歩道があるのかないのかといった考慮の仕方の方が、七尾に関しては距離抵抗の説明力があるのではないかと考えられる。

表-6：三都市間比較

都市	目的	パラメータ値	D値
宇都宮	通勤	0.955	0.59596 (0.53221)
	通学	0.945	0.55885 (0.51541)
久留米	通勤	0.895	0.65412 (0.62996)
	通学	0.925	0.64592 (0.61208)
七尾	通勤	0.885	0.60616 (0.56723)
	通学	0.79	0.51063 (0.49237)

8. 重複率最大化モデルを用いた自転車道ネットワーク評価の事例分析

ここでは2003年に同様の調査が行われた栃木県・小山市のデータを事例として、主に自転車道整備を行った場合の整備影響を定量的に把握することを目的とした。

(1) 目的別サンプル数及び迂回率

目的別サンプル数は表-7のようになっている。ここではサンプル数過少の為、通勤・通学を一括りにして扱った。また、買物等私用目的のサンプルに関しては60歳未満と60歳未満で分けた。また、表-8に目的別の重み付き迂回率を、図-37～図-39にサンプル毎の迂回率を算出しその度数分布をとったグラフを目的別に載せる。

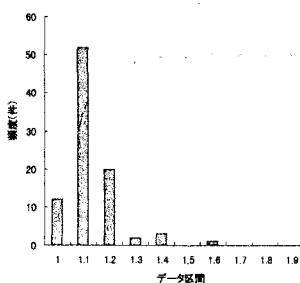


図-37：通勤・通学

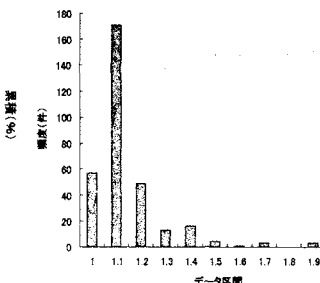


図-38：買物等私用 (60歳未満)

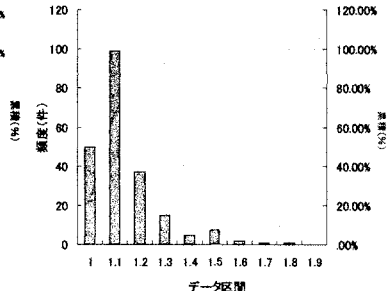


図-39：買物等私用 (60歳以上)

表-7：目的別サンプル数

目的	サンプル数
通勤・通学	90
買物等私用(60歳未満)	317
買物等私用(60歳以上)	218

表-8：重み付き迂回率

目的	重み付き迂回率
通勤・通学	1.0768
買物等私用(60歳未満)	1.0983
買物等私用(60歳以上)	1.1072

表-8を見ると7%～10%程度迂回していることが判る。これは宇都宮、久留米、七尾の3都市に比べやや高い数値である。また、通勤・通学が最も低い迂回率であり、その理由としては買物等私用に比べ、時間的にあまり余裕がなく、最短経路で行くという思考がより強く表れた為と考えられる。また、買物等私用(60歳以上)が最も高い迂回率であり、年齢的な影響が表れた結果であると考えられる。

図-37～図-39を見ると、通勤・通学、買物等私用(60歳未満)においてはサンプルの約90%が20%以下の迂回率であり、買物等私用(60歳以上)のサンプルでは約80%が20%以下の迂回率であることが判る。

(2) 等高線図及び、パラメータ推定結果

ここでは、重複率最大化モデルを使用した認識距離パラメータ β の推定値を表-9に、縦軸、横軸にそれぞれリンク属性変数をとった等高線図を次ページの図-40～図-42に載せる。

表-9：パラメータ推定結果

目的	変数条件	パラメータ値	重複率
通勤・通学	歩道条件が歩道3m未満のとき1	0.72	0.4799
	幅員条件が13m以上とき1	0.965 or 0.97	(0.4368)
買物等私用(60歳未満)	歩道条件が歩道3m以上とき1	0.95	0.4702
	幅員条件が13m以上とき1	0.92 or 0.925	(0.4309)
買物等私用(60歳以上)	歩道条件が歩道3m以上とき1	0.925	0.4864
	幅員条件が5.5m～13m未満のとき	0.875	(0.4445)

表-9を見ると、どれも初期重複率から約0.04上昇していることが判る。また、初期重複率、最大化された重複率共に宇都宮、久留米、七尾に比べるとかなり低い。通勤・通学に該当するサンプルの歩道条件

頻度
累積%

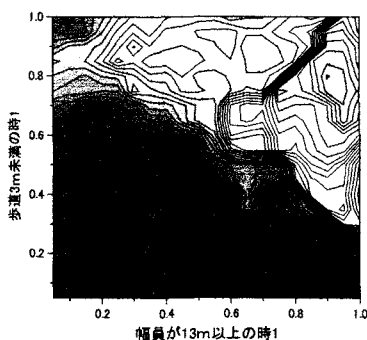


図-40：通勤・通学

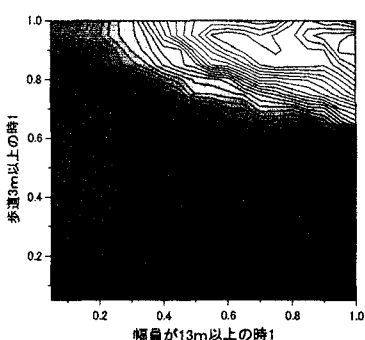


図-41：買物等私用（60歳未満）

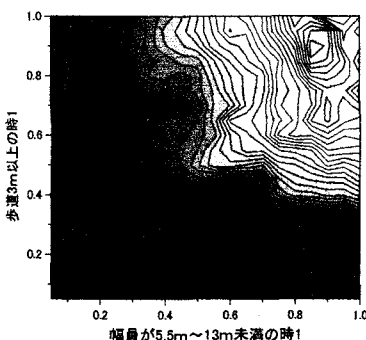


図-42：買物等私用（60歳以上）



に関するパラメータが0.72と他に比べて低く、歩道条件が歩道3m未満の時、通勤・通学目的のサンプルはかなり短くリンク長を認識しているであろうことが伺える。

(3) 自転車道整備効果の評価

ここでは、道路を自転車利用者にとって良好な状態に整備した場合にどの程度、影響が出るのかを視覚的に表した。道路整備は表-9の通勤・通学に該当するダミー条件に、リンク属性を変更させることで反映させている。

検討内容はある特定のリンクに着目し、そのリンクの属性条件の変更前と変更後でどのようにそのリンク利用者人数が変化するかを検討した。あらかじめゴール地点のノードを一つ決め、全ノードからゴールへの経路を予測した場合に特定のリンクのうち一つでも使用していれば特定リンクを使用しているものとした。ゴール地点は駅前の駐輪場を想定している。



図-43：パターン1



図-44：パターン2



図-45：パターン3



図-46：パターン4

また経路を予測する際には、表-9より推定された最適なパラメータ値を使用して経路を予測している。図-43～図-46に検討結果を載せる。

なお、図中における大きな水色の丸がゴール地点であり、赤い太線が整備対象リンクである。これは選択結果の変化をノード単位で表しているが、各ゾーン中心からゴール地点までの自転車利用者数がPT調査などで判明していれば、自転車道整備に伴う需要量の変化も容易に推測することができる。

□ 図の説明

- ・青→変更前も変更後も整備対象リンクを使用していない
- ・緑→変更前も変更後も整備対象リンクを使用している
- ・赤→変更前は整備対象リンクを使用していなかったが、変更後に使用している

9. おわりに

本研究では自転車利用者が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のもと、重複率最大化モデルを提案し、その適用可能性を示した。

また、選択枝集合の設定を考慮し Dial 組み込みモデルを提案し、重複率最大化モデルを一般化した (5. (2))。

さらに、これらのモデルを適用し、宇都宮、久留米、七尾の3地域の地域間比較を初めて行い得た。

また小山の事例では、特定の自転車道を整備した場合にどの程度、自転車利用者に影響が出るのかと言った事を視覚的に表し、自転車道整備の定量的把握の例を示すことが出来た (8. (3))。

参考文献

- 1) <http://www.mlit.go.jp/road/road/bicycle/introduce/index.html>
- 2) Hyodo, Suzuki and Takahashi: "Modeling of Bicycle Route and Destination Choice Behavior for Bicycle Road Network Plan", Transportation Research Record 1705, pp.70-76
- 3) 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

自転車経路選択モデルの比較検討分析*

笹井 秀哉**・兵藤 哲朗***・鈴木 紀一****・高橋 洋二*****

本研究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、自転車走行環境を考慮できる実距離からの認識距離変換式を提案し、認識距離を変数として組み入れた経路選択モデルのバリエーションについて考察した。また、Dial のアルゴリズムを組み込んだ経路選択モデルを提案し、前述の経路選択モデルを一般化した。

ケーススタディとして宇都宮、久留米、七尾のデータを用いて、経路選択モデルにおけるパラメータ推定を行い、自転車走行環境が自転車利用者に及ぼす影響の推測を行うと共に、提案方法の適用可能性を示した。

さらに小山を事例として自転車道整備の定量的把握の例を示した。