

自転車通勤する高校生を対象としての 自転車利用者の経路選択モデルに関する基礎研究

渡辺義則¹・角知憲²・清田勝³・秦裕二郎⁴

¹正会員 工博 九州工業大学教授 工学部建設社会工学科 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1番1号)

²正会員 工博 九州大学教授 工学部建設都市工学科 (〒812-0053 福岡市東区箱崎6-10-1)

³正会員 工博 佐賀大学教授 理工学部都市工学科 (〒840-0027 佐賀市本庄町1番地)

⁴正会員 工修 西松建設株式会社 (〒810-0022 福岡市中央区薬院2-10-26)

本研究では、自転車通勤する高校生を対象に自転車利用者の経路選択モデルを提示した。モデルの定式化は、自転車利用者が経路を選択する際、距離の短い経路を選択しようとするを基本とするが、それだけではなく、自転車歩行者道または歩道と車道の道路・交通条件、交差点の数や坂の勾配などの要因からなる非効用が最小になる経路を選択すると仮定して行った。そして、北九州市内で男子高校生の自転車通勤経路を調査し、モデルに含まれている諸係数を推定した。その結果、通勤経路を構成するリンクの自転車通行台数の実測値とモデルによる推定値は比較的近い値を示したので、本研究で提示したモデルは十分な説明力があること、最短距離以外の経路を選択した人も少なからず存在することなどが認められた。

Key Words : bicycle transit, cycling in the city, cyclist's behaviour, route choice

1. はじめに

CO₂による大気汚染は、国、地域と言った局所的な問題であるだけでなく、その境界に関係ないグローバルな問題である。すなわち、地域の環境を守る努力も必要であるが、地球温暖化を防ぐために、排出源である自動車の総量を削減することが要求される。オランダではこのことが極めて重要な問題として認識され、様々な試みが行われている。その一つが、都市内で発生する自動車の短距離トリップを、自動車から自転車へ移してCO₂を削減することである。そのために、都市内での自転車利用を増進させる様々な施策がオランダで展開されている^{1),2)}。更には、自動車を運転できない婦女子や高齢者の日常的な移動の安全を保障するためにも、自転車交通のより良い利用環境を優先的に整備することが必要とも考えられている³⁾。つまり、地球温暖化対策の観点から都市内での自転車利用の増進を図り、また、婦女子や高齢者の日常的な移動を確保するために、都市内に自転車専用道路を設置し、それをネットワー

ク化することは必然であるとオランダでは考えられている。

著者らは我が国においても、このような考えを採るべきであると思う。つまり、著者らの本研究での立場は、自転車専用道路の導入とネットワーク化を前提として、その計画手法を追求するものであり、本研究はその最初の段階として、自転車利用者の経路選択モデルに関して基礎的な検討をする。というのも、自転車専用道路を計画する際の重要な問題の一つは、“自転車利用者の経路選択はどのようになされるか”をいかに的確に予測するかにあるからである。オランダの都市ハウテンは都市内の移動は自転車で行い、都市間の移動にのみ自動車を使用するというコンセプトで町づくりをしたものであるが²⁾、現時点ではこのような事例は他にはない。通常は既存の道路構造を変更して自転車専用道路を設置している。この様な場合には居住地を形成する道路を含めた多数のルートが存在するので、せっかく自転車専用道路を設置しても充分利用されないことがあるという問題が残ることがオランダでも指摘

されている⁴⁾。

これまでにも自転車利用者の経路選択モデルを提示した研究は報告されているが^{5),6)}、いずれも既成の市街地や住宅地の住民の経路選択行動を地区交通計画の観点から明らかにしたものである。自転車専用道路を計画するには、“どこからどこに、どのタイプの自転車専用道路を、どれだけの幅で設置すれば効果的か”という情報を得たいのであるが、この要求に応えられるモデルの構造にはなっていない。

そこで本研究は、特に次の2つの点に着目して、この要求に応えられるモデルを検討した。

まず一つは、自転車専用道路の設置されていない車道でも、自動車の交通量が極めて少なければ、大変好ましい自転車の走行路になることである。いま、自転車利用者がどの様な所を走行して目的地に達するか考えてみると、幹線道路に沿った道では、通常、自動車の交通量が多いので、「車道に自転車専用レーンの標示をする」あるいは「自動車と自転車の走行路を植栽などで分離する」のいずれの形になるにしても、車の走行位置と独立した自転車専用道路が必要である。しかし、車道でも幹線ははずれたり（例：幹線より一街区以上裏の道）、住宅区内では自動車の交通量が極めて少ないことが予想され、このような所の車道は自転車利用者にとっても広くて舗装もよいので、自転車の走行路として好ましいものである。つまり、このような所では自転車専用道路は必要ないし、あっても使われない可能性が高い。すなわち、車道の交通量の多少によって、自転車利用者は車道を通行するか否かを判断していることが十分に考えられる。いずれにしても、自転車の走行路を考える場合、自転車専用道路と車道（様々な交通量を持つ）という性格の異なる2つの道路を自転車利用者は選択の対象にすると考えるべきである。

他の一つは、通常、自転車利用者は距離の短い経路を選択するが、場合（例：坂道などの地形条件）によっては距離の長い経路でも選択することである。従って、これらの要因をモデルに反映させ、予測精度を上げることが必要である。

しかし、現実の問題として、我が国の都市内では自転車専用道路は殆ど見られず、自転車利用者の大部分が自転車歩行者道か歩道または車道を走行している。その意味では自転車専用道路の利用実態に関する調査は実施できないのであるが、本研究では歩行者や他の自転車との錯綜が少ない場合の自転車歩行者道や歩道、路上駐車が少ない場合の車道の調査に基づいて、自転車専用道路を効率よく配置するための経路選択モデルに関する基礎的な検討を進めた。

地方の都市においては歩行者や他の自転車との錯綜が少ないのが通常であり、錯綜が生じるのは、駅や高等学校のごく近くに限られるのでこの様な検討が可能である。また、都市内に自転車専用道路を設置し、それをネットワーク化するということからいえば、目的地、交通目的、性、年齢が様々なものを対象に調査すべきであろうが、ここでは、データの確保という点から、高校生（男子）の登校時における経路選択行動を理解するためのモデルについて検討した。なお、対象とした高校は郊外に立地しており、その大部分の道路区間で歩行者や他の自転車との錯綜は殆ど観察されず、錯綜は校門近くに限られることを確認している。

2. 自転車利用者の経路選択モデル

(1) 経路選択モデル構築にあたっての考え方

通常、自転車利用者は最短距離の経路を選択すると仮定される。しかし、4. で後述するように、それだけでは自転車利用者の経路選択を説明できない場合がある。本研究では自転車利用者は経路を選択する際、距離の短い経路を選択しようとするを基本とするが、それだけではなく、自転車歩行者道または歩道（以下、自歩道と略記する）と車道の道路・交通条件、交差点の数や坂のきつさなどを考慮する。つまり、ネットワーク上にある2つのノード（地点）間を移動する時に様々な経路が存在するが、自転車利用者は距離、自歩道と車道の道路・交通条件、交差点や坂などの要因からなる非効用全体が最小になるような経路を選択すると仮定する。但し、経路を選択するに当たっては、坂のきつさを感じる時に個人差が大きく現れると考え、このことを反映可能なモデルとする。また、自転車利用者は、自歩道と車道の区別なく、効用の高い方を選択して通行する。そして、自歩道と車道の非効用をその選択確率で荷重平均した値が自転車利用者にとってのそのリンク（道路区間）の平均的な非効用の値と考える。なお、自歩道と車道の非効用の差は、坂のきつさを感じる時の個人差に比べれば十分小さいと仮定し、経路選択モデルでは自歩道と車道の非効用は確定的な値（具体的には、両者の荷重平均値）とした。

(2) 経路選択モデルの構造

自転車利用者がノード m から流入して目的地に行くとしても、その経路は種々存在する。従って、自転車利用者はその非効用が最小になる経路を選択する。いま、その経路を構成するリンク全体を N で表

表-1 説明変数と推定パラメータ

説明変数 (パラメータ)	パラメータの 推定値 (t 値)
定数項 (a_0)	3.252 (17.0)
自歩道の段差の強さ (a_1)	-0.543 (-4.6)
自歩道の表面状態 (a_2)	-0.480 (-4.1)
走行路の有効幅員 (a_3)	0.018 (19.9)
車道の交通量 (a_4)	-0.071(-16.8)
性別 (b_1)	-0.667 (-5.5)
サンプル数	2950
選択肢数	2
尤度比	0.37
的中率 (%)	83.6

注) 段差の強さ: 1.5cm 以内 (0), 1.5cm より大きい (1)
 自歩道表面の状態: 良い (0), 悪い (1)
 性別: 女性 (0), 男性 (1)

すと、本研究では、その非効用の値 U_m は次式で求められると考える。

$$U_m = \sum_N U_{Tk} \quad (1)$$

$$U_{Tk} = U_{Lk} + C_1 \overline{HI}_k + C_2 T_k \quad (2)$$

U_m : 自転車利用者の流入口 m と目的地を結ぶ経路の非効用の最小値

U_{Tk} : リンク k の非効用

U_{Lk} : リンク k の自転車走行路に関する非効用

\overline{HI}_k : リンク k の勾配 (%) と高低差 (m) の積和

T_k : リンク k の交差点の数

式中の C_1 と C_2 は正の係数で、 C_1 は自転車利用者が上り坂に対して抱く重み、 C_2 は交差点の数に対する重みを意味する。また、 C_1 については重みに個人差があると考え (そして、 $C_1 > 0$ を満たすように)、パラメータ μ 、 σ で表される対数正規分布に従うものと仮定した。さらに、 U_{Lk} は次式で求める。

$$U_{Lk} = (P_{1k} U_{1k} + P_{2k} U_{2k}) l_k + (P_{1c} U_{1c} + P_{2c} U_{2c}) \quad (3)$$

P_{1k} : リンク k で自歩道を選択する確率

P_{2k} : リンク k で車道を選択する確率

U_{1k} : リンク k の単位距離当りの自歩道の非効用

U_{2k} : リンク k の単位距離当りの車道の非効用

U_{1c} : 距離に比例しない自歩道の非効用

U_{2c} : 距離に比例しない車道の非効用

l_k : リンク k の長さ (m)

但し、 U_{1k} 、 U_{2k} は正の値とする。このような制約を設けた理由は、もし、非効用 U_{1k} 、 U_{2k} が正の値ならば、これとリンクの長さの積で表される非効用はリンクの長さ按比例して大きくなるが、しかし、それが負の値ならば、これとリンクの長さの積で表される非効用はリンクの長さ按比例して小さくなり、距離の短い経路を選択しようとする事と矛盾するからである。また、本研究では、式(2)を構成する非効用の中で、個人差が大きいのは上り勾配のある走行路であり、それに比べて他の要因の個人差は小さいと考え、 C_1 についてのみ重みのばらつきを仮定した。

(3) 自歩道と車道の効用とその選択確率

自転車利用者が2つのノード(地点)間を移動する時に、着目するリンクにおいて自歩道と車道のいずれを選択するかを推定するのに非集計ロジットモデルを用いる。これについては文献(7)で既に報告しているので、ここではその結果だけを引用する。式(4)、(5)において、 V_1 、 V_2 は自転車利用者にとっての自歩道、車道それぞれの効用である。

$$V_1 = a_1 X_{11} + a_2 X_{21} + a_3 X_{31} + b_1 Y_1 \quad (4)$$

$$V_2 = a_0 + a_3 X_{32} + a_4 X_{42} \quad (5)$$

X_{11} : 自歩道の段差の強さを表すダミー変数

X_{21} : 自歩道の表面状態を表すダミー変数

X_{31} : 自歩道の有効幅員 (cm)

X_{32} : 車道の路肩幅員 (cm)

X_{42} : 車道の交通量 (台/5min)

Y_1 : 性別 (男性は1, 女性は0)

自歩道の効用は、車道との段差の強さ、表面状態、有効幅員と性別を、また、車道の効用は、路肩幅員(自動車と並走する場合の有効幅)と車道の5分間交通量を説明変数として求められる。ここで、段差の強さは複数の段差の測定値の平均で判定した。また、自歩道の表面状態はレーザーセンサー(Miniaturized Texture Meter, 舗装表面のキメ深さを測定する器械)の値が0.7mm以下の場合を良いとした。有効幅員は、例えば、自歩道では官民境界から植栽までの幅員、車道では道路標示から電柱までの幅員とした。表-1に各説明変数に対応するパラメータとその推定値を示す⁷⁾。表-1から明らかなように、自

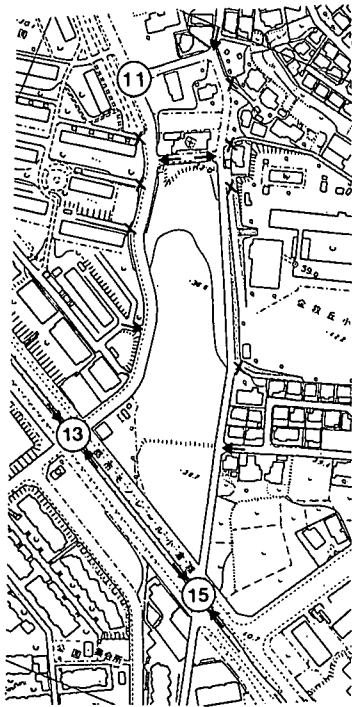


図-1 交差点の数の数え方の例

転車走行路の有効幅員と車道の交通量が主要な説明要因となっている。なお、大部分の調査道路区間では、歩行者や他の自転車との錯綜が少ないので、これらの交通量は説明要因にはならなかった。

この時、自転車利用者の自歩道、車道を選択する確率 P_1 、 P_2 は

$$P_1 = \frac{\exp(V_1)}{\exp(V_1) + \exp(V_2)} \quad (6)$$

$$P_2 = 1 - P_1 \quad (7)$$

(4) リンクの自歩道と車道の非効用

いま、リンク k の自歩道と車道の効用を式(4)、(5)の V_1 、 V_2 にサフィックス k をつけて、 V_{1k} 、 V_{2k} と表す。すると、式(3)中の各非効用は次式で表わされる。

$$U_{1k} = \frac{-(V_{1k} - b_1 Y_1) + d}{l_0} \quad (8)$$

$$U_{1c} = -b_1 Y_1 \quad (9)$$

$$U_{2k} = \frac{-V_{2k} + d}{l_0} \quad (10)$$

$$U_{2c} = 0 \quad (11)$$

上式中の l_0 は自歩道と車道の選択特性を測定した区間の長さである。本研究では、区間の長さには大差のない所での測定結果から、自歩道と車道の選択確率を求めるモデルを使用した⁷⁾。従って、自歩道と車道の選択確率にはリンク長は無関係で、自転車利用者の経路選択ではリンク長は重要な要因であるとしている。この取り扱いの妥当性については今後とも検討していきたい。なお、 l_0 として、本来は、非集計ロジットモデルを作成した時⁷⁾の値を用いるべきであろうが、ここでは、3.(1)で後述する北九州市の調査での構成リンクの平均値 $l_0 = 198.4\text{m}$ を用いた。また、2.(2)で述べた理由で、 U_{1k} 、 U_{2k} を正の値とするために (V_{1k} 、 V_{2k} の値域から見ても、また、説明変数の変域が多少広がっても、 U_{1k} 、 U_{2k} が正の値という条件を満たすように)、定数 $d = 10.0$ を仮定した。

(5) 走行路の勾配

オランダでは自転車利用者に望ましい道路の縦断勾配 I (%) を、坂の高低差を H (m) を用いて次式で計算している⁸⁾。

$$\text{maximum acceptable gradient} = 100/(5H)$$

$$\text{normal gradient} = 100/(10H)$$

$$\text{ideal gradient} = 100/(20H) \quad (12)$$

式(12)は道路の縦断勾配 I (%) と坂の高低差 H (m) の積が同じ値の坂は、自転車利用者に同程度の坂のきつさを感じさせ、かつ、積の値が大きい程きつさが増すことを示すと解釈できる。それ故、本研究ではこれに準じて、以下のことが成立するものと仮定する。

- ① 自転車利用者の上り坂に対する非効用は道路の縦断勾配 I (%) と坂の高低差 H (m) の積に比例する。
- ② リンクに上り勾配が複数存在する場合には H と I の積を単純に加算する。
- ③ 下り勾配が自転車利用者に与える影響は考慮しない。

なお、本研究では目的地を往復する時 (例：登校時と下校時) の経路選択行動は、原則的には別々に解析するという立場を取る。

(6) 交差点の数

交差点は自転車利用者にとって、見通しが悪く、常に、事故の危険性がつきまとう。本研究で、交差点として考慮した所の一例を図-1に示す。本研究では、特に、自転車の側方から出てくる自動車との事

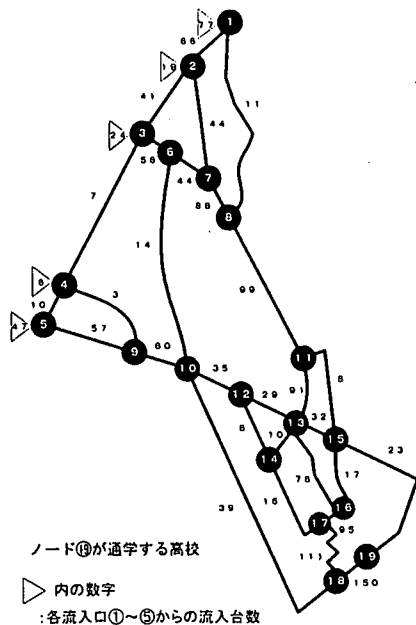


図-2 流入台数と各リンクの自転車通行台数の実測値

故を意識して、交差点の数をかぞえる。具体的には、通過交通のある道路との交差点（図中の矢印）を選択し、他端が住宅、学校などでそこから出入りするだけの交通しか見込めない道路との交差点（図中の掛け印）、5m未満の幅員（一車線）で通過交通からの危険を無視できると思われる道路との交差点は除外した。因みに、ノード11~13を結ぶリンクに対応する交差点数は4、同じくノード11~15のそれは5である。

3. 経路選択モデルに含まれる係数 C_1 、 C_2 の推定

(1) 調査の概要

式(2)に含まれる係数 C_1 、 C_2 は以下に述べる調査を実施し、そのデータから推定した。まず、北九州市内の同じ高等学校（男子校）に通学する生徒に対して、アンケート調査を実施した。その中で、自宅から高等学校までの自転車通学経路（雨でない日）を地図に記入してもらった。それを基に、ノード数19、リンク数29のネットワークを作成し、あわせて、自転車利用者がどのノードから流入し、目的のノードへ至るかを調べ、各流入口からの流入台数、各リンクの自転車通行台数の実測値を求めた。その結果を図-2に示す。図-2で総勢173名の自転車利用者は番号1~5のノードから流入し、番号19（高等学校所在地）のノードへ至る。

その一方で、自歩道について、表面状態、有効幅員、車道について路肩幅員、交通量（通学時間帯における）を現地で実測した。また、高低差、勾配、交差点の数、リンクの長さは、市販の地図（縮尺1/2500）から求めた。分析対象としたネットワークについて、これらの値の範囲（図-3~8の円グラフ上段の値）とその発生割合（同下段の%）をまとめて図-3~8に示す。

次に、これらの調査結果を用いて、式(4)~(7)から自歩道の選択確率、式(3)~(11)から自転車走行路の非効用などを求めて、それぞれ図-9、表-2に示す。図-9において $P_1 = 0$ は自歩道の設置されていない所、また、 P_1 の値が小さいのは自動車交通量が少なくむしろ車道の方を自転車走行路として選択している所である。なお、リンク6-10を例に取り、表-2中の値の算出方法を説明する。表-2に示したリンク6-10は、表-3に示す様に、更に小さなリンクへ分けて考える。そして、小さなリンクの走行路の非効用の総和、高低差と勾配の積の総和が表-2中のリンク6-10の値となる。この様なことをするのは、表-4に示すようにリンクの道路・交通条件が細かく変わる場合があるからである。

(2) 係数 C_1 、 C_2 の推定

式(2)に含まれる係数 C_1 、 C_2 は、次式で表す R を最小にすることにより求める。

$$R = \sum_j (M_{Mj} - M_{Cj})^2 \quad (13)$$

M_{Mj} : リンク j の自転車通行台数の実測値

M_{Cj} : 同上の推定値

図-10に係数 C_1 、 C_2 を求めるためのフローチャートを示す。まず、最初に計算に必要な条件として、ノード数、リンク数、流入口数、各流入口からの流入台数、各リンクの自転車通行台数の実測値、リンクの長さ、そして、自歩道について段差の強さ、表面状態、有効幅員、また、車道について路肩幅員、交通量、更には、高低差、勾配、交差点の数、 $d = 10.0$ 、登り坂に対して抱く重みの発生確率 P （表-5）を入力する。2.(2)で述べたように、本研究では、登り坂に対して抱く重み C_1 は対数正規分布に従うものと仮定した。具体的には、表-5に示すような14のタイプとそれが発生する確率 P に分類して処理した。表中 μ 、 σ は対数正規分布のパラメータであり、 C_1 の算出式に含まれる符号は、例えば、タイプ1が一に、タイプ14が+に対応する。

本研究では多変数関数を極小にする変数の値を見出すためにシンプレックス法⁹⁾を利用した。そこでは、まず、各変数 (μ 、 σ 、 C_2) の初期値およびそれ

表-2 リンク長, 走行路の非効用, 高低差と勾配の積と交差点の数

No.	l	U_L	\overline{HI}	T	No.	l	U_L	\overline{HI}	T
1-2	56	2.2	2.2	2	10-18	1324	45.3	7.1	22
1-8	669	21.4	11.8	8	11-13	301	10.5	9.0	4
2-3	404	13.2	0.3	6	11-15	477	12.0	17.4	5
2-7	510	15.2	1.7	12	12-13	191	4.4	11.1	3
3-4	540	14.5	0.9	8	12-14	238	8.1	8.9	1
3-6	79	3.3	0.0	3	13-14	139	4.7	0.0	2
4-5	200	5.6	0.1	3	13-15	158	3.1	7.3	2
4-9	442	15.3	36.2	7	13-16	403	13.1	1.6	3
5-9	411	13.8	59.5	2	14-17	427	14.2	2.3	3
6-7	150	5.0	1.1	6	15-16	268	8.2	0.0	2
6-10	713	29.0	7.1	15	15-19	901	21.2	23.5	6
7-8	96	3.5	0.1	2	16-17	60	2.0	0.6	1
8-11	626	24.0	4.4	5	17-18	344	11.7	5.0	4
9-10	236	4.0	0.0	4	18-19	58	1.6	2.1	1
10-12	294	5.4	0.6	5					

注) No.: リンク番号, l: リンク長 (m), U_L : 走行路の非効用

\overline{HI} : 勾配と高低差の積和, T: 交差点の数

表-3 リンク6-10の自歩道の選択確率と走行路の非効用

リンク番号	選択確率		非効用		U_L	\overline{HI}
	自歩道 P_1	車道 P_2	自歩道 $U_{1l} + U_{1c}$	車道 $U_{2l} + U_{2c}$		
6-h	0.507	0.493	6.6	6.6	6.6	4.3
h-i	0.265	0.735	6.7	5.8	6.0	1.0
i-j	0.232	0.768	7.3	6.3	6.5	0.0
j-k	0.416	0.584	5.0	4.6	4.8	0.6
k-10	0.217	0.783	5.9	4.9	5.1	1.2

表-4 リンク6-10の道路・交通条件

リンク番号	段差高さ X_{11}	表面状態 X_{21}	有効幅員 X_{31} (cm)	路肩幅員 X_{32} (cm)	交通量 X_{42} (台/5min)	高低差 H (m)	勾配 I (%)
6-h	0	1	200	70	30.5	2.7	1.6
h-j	0	1	130	60	30.5	1.2	0.8
i-j	0	1	110	50	30.5	0.0	0.0
j-k	1	1	225	85	30.5	0.9	0.7
k-10	0	1	105	50	30.5	1.2	1.0

に各変数の座標方向の広がりを加算した値 (すなわち, 3次元空間の4つの頂点) でシンプレックス (単体) をつくる. そして, 各頂点におけるRの値に応じてシンプレックスを变形 (鏡映, 拡張, 収縮, 縮小の4種の操作) していくことにより極小値を探索する. なお, タイプeに対応する C_1 の値は (μ, σ) の座標をもとに表-5から求める. また, 計算条件をもとに式(2)~(11)から各リンクの非効用を求め

る. そして, ウォーシャル・フロイド法¹⁰⁾により流入口mから目的地までの非効用が最小の経路を求める. そして, 流入口mから流入するタイプeの理論通行台数を, 最小非効用ルートを構成する各リンクに与える. これを全ての流入口 $m = 1 \sim 5$ (cf. 図-2) について繰り返す, その値を累計していくことにより, タイプeの理論通行台数が各リンクについて得られる. 更に, これを全てのタイプ ($e = 1$

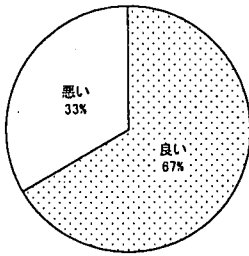


図-3 自歩道の表面状態

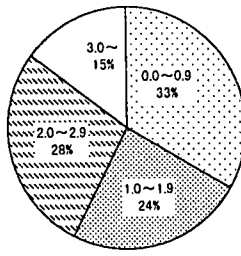


図-4 自歩道の有効幅員

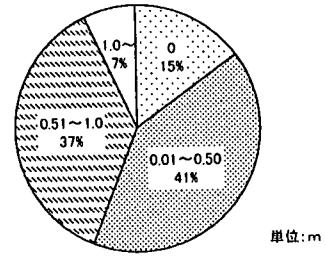


図-5 車道の路肩幅員

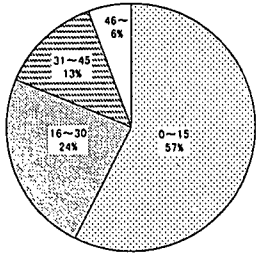


図-6 車道の交通量

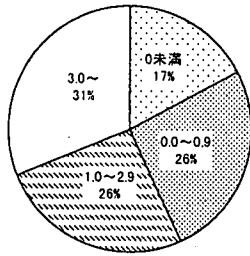


図-7 高低差

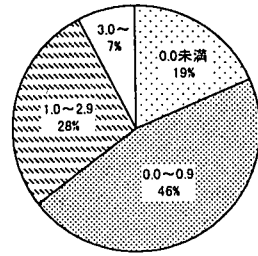


図-8 勾配

~14) について繰り返せば, M_{C_1} は求められる。この後, 各変数 (μ , σ , C_2) を様々に変えて, R の最小値を探索する。R はシンプレックス法によって最小化され, その時の μ , σ , C_2 と R が与えられる。

図-10 の作業は, 各変数の初期値および座標方向の広がり (つまり, 探索の出発点) を様々変えて繰り返し行い, そこで得られた R の最小値に対応するものを経路選択の実態を最も反映したものとして採用した。その結果, $(\mu, \sigma) = (0.120, 0.826)$, $C_2 = 0.579$ が得られた。なお, 収束判定はシンプレックスの頂点の R の最大最小の差 (10^5 以下) によって行った。また, 式(13)の R の算出には全流入合計 (図-2) の値を用いたが, この時, 実測値と推定値の差の平均値は 4.7 人, 同標準偏差は 12.3 人で, 実測値と推定値の相関係数は 0.95 (データ数 29) であった。

(3) 結果の考察

各リンクの自転車通行台数の実測値と推定値を比較して, 図-11, 12 に示す。この図から理論値と実測値は, 流入別にも, 全流入合計でも比較的近い値を示している。本研究で提示したモデルは十分な説明力があることが認められる。

自転車利用者のタイプごとの坂に対して抱く重み C_1 を, 3.(2)での推定結果 $(\mu, \sigma) = (0.120, 0.826)$ から, 具体的な数字で表せば, 表-6 に示すように 0.219~5.809 まで段階的に変化している。タイプ 1

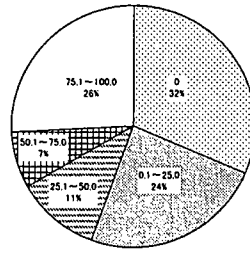


図-9 自歩道の選択確率 (計算値)

表-5 上り坂に対して抱く重みとその発生確率

タイプ	発生確率	C_1 の算出式
1,14	0.06	$\exp(\mu \mp 1.985\sigma)$
2,13	0.07	$\exp(\mu \mp 1.320\sigma)$
3,12	0.07	$\exp(\mu \mp 0.977\sigma)$
4,11	0.075	$\exp(\mu \mp 0.716\sigma)$
5,10	0.075	$\exp(\mu \mp 0.490\sigma)$
6,9	0.075	$\exp(\mu \mp 0.286\sigma)$
7,8	0.075	$\exp(\mu \mp 0.094\sigma)$

とタイプ 14 では, 坂に対して抱く重みにはかなり差があることが認められる。いま, 番号 1 の流入口について, タイプ 4~11 とタイプ 12~14 の選択経路を比較して図-13 に示す。図の太い実線がタイプ 4~11, 破線がタイプ 12~14, 細い実線がその他のリンクを表す。タイプ 4~11 の自転車利用者は番号 1

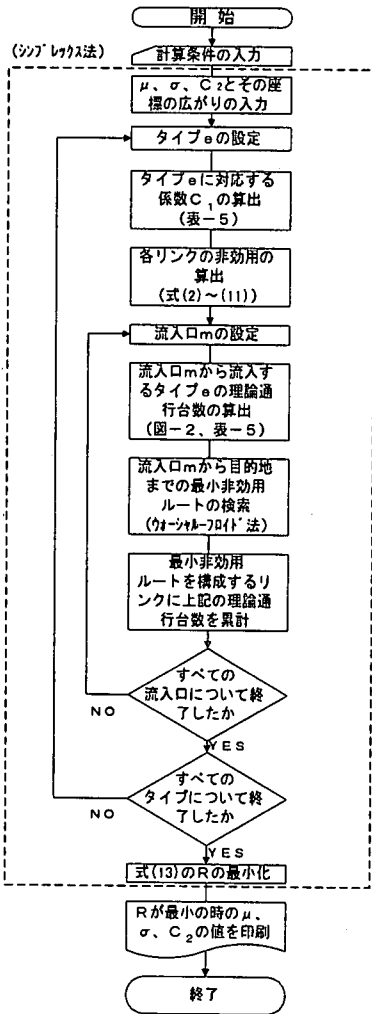


図-10 係数 C_1 , C_2 を推定するフローチャート

表-6 各タイプに対応する係数 C_1 の値

タイプ	C_1	タイプ	C_1
1	0.219	8	1.219
2	0.379	9	1.428
3	0.503	10	1.689
4	0.624	11	2.036
5	0.752	12	2.527
6	0.890	13	3.354
7	1.043	14	5.809

の流入者 77 人の 60% であり、リンクによっては高低差 H (m) と勾配 I (%) の積 HI が大きな坂があるにも関わらず太い実線の様な経路を選択している。なお、この経路は番号 1 の流入口から目的地への最短距離である。また、住宅地を通るノード 13 と 16 を結ぶリンクは、最短経路上にあり、しかも走行路としての非効用も小さいので、よく利用されている。

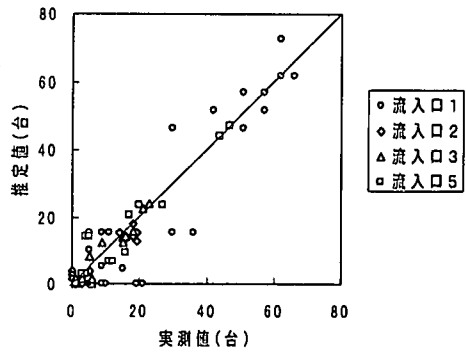


図-11 各リンクの自転車通行台数の実測値と推定値の比較(流入口別)

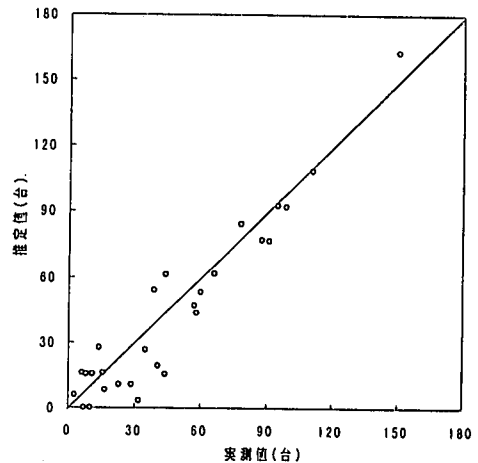


図-12 各リンクの自転車通行台数の実測値と推定値の比較(全流入口)

一方、タイプ 12~14 の自転車利用者は番号 1 の流入者 77 人の 20% であり、急な坂は数カ所あるが、全体的になだらかな道路を選択している。

4. 最短距離による経路選択

いま、自転車利用者が最短距離の経路を選択して、流入したノードから目的地に行くとして仮定して計算した結果をまとめて図-14 に示す。なお、各流入口からの最短距離の経路が重複する回数に比例して、リンクの線を太くした。更に、各リンクの自転車通行台数の実測値と推定値を比較して、図-15 に示す。これらの図から明かな様に、実際には自転車利用者がいるのに計算では現れていない。例えば、3.(3)で考察した番号 1 の流入口について言えば、その流入者の 60% (タイプ 4~11) が最短距離の経路と一致

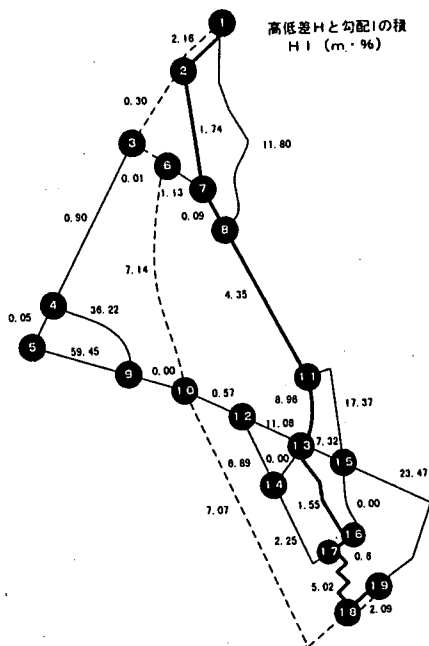


図-13 番号1の流入口からの利用経路(推定値)

する。しかし、同20% (タイプ 12~14) はなだらかな道路を選択し、残りの20% (タイプ 1~3) が自転車走行路と交差点の数に関する非効用が小さい道路を選択している。この他にも、3.(1)の図-2に示した様に、最短距離以外の経路を選択した人も少なからず存在するので、最短経路を選択すると言う前提だけで、自転車利用者の経路選択を説明するのは必ずしも充分ではないことが認められる。

5. まとめ

地球温暖化や婦女子と高齢者の日常的な移動確保のための対策の一つは、都市内自転車専用道路の導入とネットワーク化であるという考えから、著者らは自転車専用道路の計画手法を追求している。本研究ではその最初の段階として、男子高校生を対象として自転車利用者の経路選択モデルを検討したものである。本研究で得られた結果と今後の検討課題を以下に示す。

(1) 式(1)~(11)に示した様に、自転車利用者は経路を選択する際、距離の短い経路を選択しようとするを基本とするが、それだけではなく、自転車歩行者道または歩道と車道の道路・交通条件、交差点や坂などの要因からなる非効用が最小になるような経路を選択するというモデルを提示した。

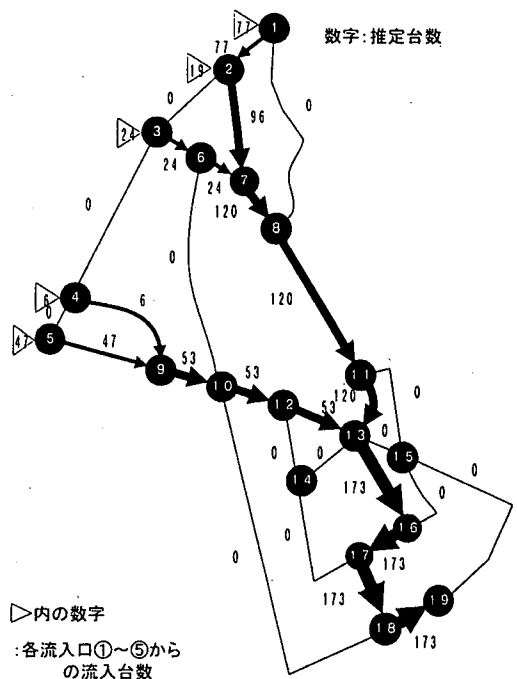


図-14 各流入口から目的地への最短経路

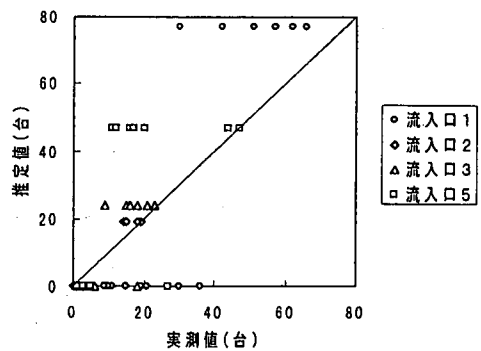


図-15 各リンクの自転車通行台数の実測値と推定値の比較(流入口別, 最短経路)

(2) 式(2)中に含まれる係数 C_1 と C_2 は、それぞれ自転車利用者が上り坂に対して抱く重み、交差点の数に対する重みを意味する。特に、 C_1 はパラメータ μ 、 σ で表される対数正規分布に従うと仮定して、調査データからこれらの値を推定した。その結果、高校への自転車通学者の経路選択の実態を最も反映したもとして、 $(\mu, \sigma) = (0.120, 0.826)$ 、 $C_2 = 0.579$ を得た。

(3) 各リンクの自転車通行台数の実測値と推定値は、図-11, 12に示す様に比較的近い値を示すので、本研究で提示したモデルは十分な説明力があること

が認められる。

(4) 自転車利用者が最短距離の経路を選択して目的地に行くと言う前提だけで計算しても、図-15に示す様に実際には最短距離以外の経路を選択した人も少なからず存在するので、自転車利用者の経路選択を説明するのに必ずしも充分でないことが認められた。

なお、本研究で得られた結果を利用して、本研究で対象とした地域で自転車で通学する高校生にとって、“どこからどこに、「車道に自転車専用レーンを標示」と「車道と自転車の走行路を分離」という2つのタイプの自転車専用道路を、どれだけの幅で設置すれば有用か”と言うことなどを、車道の路肩幅員と交通量、自歩道の有効幅員を変化させることで検討し、自転車専用道路の計画に当たっての具体的な提案をして行きたい。

また、以下のことは今後の検討課題である。まず、ある程度まとまったデータ数を確保するために、比較的狭い範囲を対象としたので、また、対象とした高校が郊外に立地していたので、明白に大回りになる道路区間を除いたかなり実際に近いネットワークを本研究では用いた。しかし、より広域の自転車専用道路を対象とする場合には、それではネットワークが複雑になりすぎる。その時にはネットワークを構成する道路区間の抽出基準の様なものを設定する必要があると考える。次に、自転車は駅や商店街への往復にも良く利用されるので、自転車専用道路の計画の立案にはこれらの利用経路を勘案する必要がある。それゆえ今後、交通目的、性、年齢が異なるものを対象に、本研究で提示したモデルの適用可能性を確かめて行きたい。その際、式(2)を構成する非効用の中で、個人差が大きいのは上り勾配のある走行路であると仮定したことの妥当性についても、あわせて確かめて行きたい。そして、その過程で歩行者や他の自転車との錯綜を考慮する必要が認められるならば、これらの要因についてもモデルへ導入したいと考えている。

謝辞：本研究に対してご助力いただいた常磐高等学校の諸先生方、並びに、九州工業大学工学部 浦英

樹氏に感謝します。また、本研究は、財団法人 住友海上福祉財団の研究助成を受けたことを付記し、研究遂行の機会を与えられたことを感謝します。

参考文献

- 1) Louisse, C. J. : Obstacles and Potentials for Replacing Car Trips by Bicycle Trips, Cycling in the City, Pedalling in the Polder, Center for Research and Contract Standardization in Civil and Traffic Engineering, the Netherlands, pp.65-76, 1993.
- 2) 新田保次, 三星昭宏 : オランダの自転車交通政策とサイクル都市「ハウテン」, 都市問題第83巻第5号, pp.53-61, 1992.
- 3) Bach, B. and Diepens, J.H.M. : Developing Base Network Infrastructure—the User Group Approach —, Cycling in the City, Pedalling in the Polder Centre for Research and Contract Standardization in Civil and Traffic Engineering, the Netherlands, pp. 89-100, 1993.
- 4) Bach, B. : City Bikeway Concepts in the Netherlands and the Use of “Star analysis” ,Delft University of Technology, 1991.
- 5) 溝端光雄 : 住民の経路選択特性に関する分析, 第20回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.253-258, 1985.
- 6) 山中英生, 天野光三, 渡瀬 誠 : 住区内交通への多経路確率配分モデルの適用に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No.9, pp.465-472, 1986.
- 7) Kiyota, M., Watanabe, Y., Sumi, T. and Mitchell, Z. : Cyclist's Behaviour Model of Choosing Between Sidewalk and Roadway, Proceedings of International Bicycle Conference, pp. 269-277, 1996.
- 8) Balshone, B. : Bicycle Transit, its Planning and Design, Praeger Publishers, Inc., 1975.
- 9) 渡辺 力, 名取 亮, 小国 力 : 数値計算ソフトウェア, 丸善, 1990.
- 10) 樗木 武, 渡辺 義則 : 土木計画数学2, 森北出版, 1984.

(1998. 1. 16受付)

A BASIC STUDY ON DEVELOPING ROUTE CHOICE MODEL FOR CYCLISTS WHERE
STUDENTS ATTENDING HIGH SCHOOL WAS CHOSEN AS THE SUBJECT OF THE STUDY

Yoshinori WATANABE, Tomonori SUMI, Masaru KIYOTA and Yujiro HATA

This paper describes a model to predict cyclists' behavior of choosing the route in a urban road network. The model is based on the assumption that individual cyclists choose their route to minimize the sum of disutilities derived from the road and traffic conditions of network links. Specifically speaking, a disutility of a link is a function of its length, number of intersections, gradient and an average disutility of a passage. Since a passage is composed of a roadway and a sidewalk, the average disutility is derived from each disutility and the rate of cyclists choosing a sidewalk. A field study has indicated that the presented model produces small difference between the calculated values and measured one.