

# 自転車で通学する高校生の経路選択モデルを用いて の自転車道路の整備に関する考察

渡辺義則<sup>1</sup>・緒方剛<sup>2</sup>・清田勝<sup>3</sup>・角知憲<sup>4</sup>・小佐々昌典<sup>5</sup>

<sup>1</sup>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 1-1)

<sup>2</sup>正会員 工修 (株)オリエタルコンサルタンツ(〒732-0827 広島市南区稲荷町 5-18)

<sup>3</sup>正会員 工博 佐賀大学教授 理工学部建設工学科 (〒840-0027 佐賀市本庄町 1 番地)

<sup>4</sup>正会員 工博 九州大学教授 工学研究科都市環境システム工学専攻(〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

<sup>5</sup>正会員 中央コンサルタンツ (株) (〒810-0062 福岡市中央区荒戸 1-1-6)

自転車で通学する高校生の経路選択を記述したモデル<sup>1)</sup>を用いて、地域のどこに「車道に自転車専用レーンの標示」と「車道と自転車の走行路の物理的な分離」という2つのタイプの道路を、どれだけの幅で設置すれば自転車利用者にとって有用かを考察した。その結果、1) 最短経路に比べてより平坦な競合経路が存在すれば、自転車走行路の拡幅によって、登り坂を嫌う自転車利用者を中心に経路変更が起きる、2) 車道の交通量が30台/5minより少ないと車道にレーン標示した方が、一方、それより大きいと車道と自転車の走行路を物理的に分離した方が、利用者にとって有用なことが認められた。

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

## 1. はじめに

通学する高校生を対象に自転車利用者の経路選択を記述するモデルは既に提案した<sup>1)</sup>。このモデルは“出発地から目的地までの距離”と“自転車歩行者道(以後、自歩道と略記する)の有効幅員、車道の路肩幅員や交通量、交差点の数や坂の勾配”からなる非効用が最小になる経路が選択されることを仮定して定式化されている。本研究ではこのモデルを用いて、文献1)の対象地域のどこに、「車道に自転車専用レーンの標示をする(図-1)」と「車道と自転車の走行路を物理的に分離する(図-2)」という2つのタイプの道路を、どれだけの幅で設置すれば自転車利用者にとって有用かを、車道の路肩幅員と交通量、自歩道の有効幅員を変えて検討した。既に、オランダには自転車道路の整備基準があり<sup>2), 3)</sup>、自転車利用者固有の走行空間を持たせるか否かを、自動車交通量と速度(安全性)から決定している。しかし、これでは道路の特性が説明変数に含まれず、自転車道路ネットワークの一貫性の視点からの検討はできない。

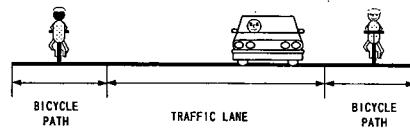


図-1 自転車専用レーンの標示

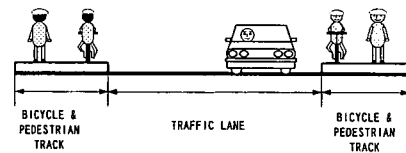


図-2 車道と自転車の走行路の物理的な分離

## 2. 自転車利用者の経路選択モデル

文献1)では、自転車利用者は様々な要因からなる非効用全体が最小となる経路を選択すると仮定してモデルを構築している。いま、自転車利用者の流入 $Q_m$ と目的地を結ぶ経路の非効用の最小値 $U_m$ を式(1)、(2)のように表す<sup>1)</sup>。なお、 $N$ は上記経路を構成するリンク全体を表す。

表-1 各タイプに対応するC<sub>1</sub>の値と発生確率<sup>1)</sup>

タイプ	確率	C <sub>1</sub>	タイプ	確率	C <sub>1</sub>
1	.06	0.219	8	.075	1.219
2	.07	0.379	9	.075	1.428
3	.07	0.503	10	.075	1.689
4	.075	0.624	11	.075	2.036
5	.075	0.752	12	.075	2.527
6	.075	0.890	13	.07	3.354
7	.075	1.043	14	.06	5.809

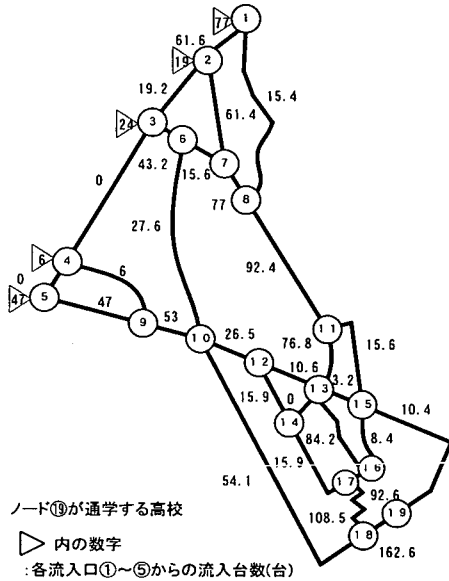


図-3 各リンクの自転車通行台数(推定値:単位は台)

$$U_m = \sum_K U_{TK} \quad (1)$$

$$U_{TK} = U_{LK} + C_1 \overline{HI}_K + C_2 T_K \quad (2)$$

$U_{LK}$ : 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

$T_K$ : リンクKの交差点の数

$C_1$ : 自転車利用者が登り坂に対して抱く重み

$C_2$ : 自転車利用者が交差点の数に対して抱く重み

$C_1$ には個人差があり,それはパラメータ( $\mu, \sigma$ ) (= (0.120, 0.826))の対数正規分布に従うと仮定する<sup>1)</sup>.実際には表-1に示す14のタイプとそれが発生する確率に分類して計算する.また,式(2)中の $U_{LK}$ は次式で求める.

$$U_{LK} = (P_{1K} U_{1K} + P_{2K} U_{2K}) I_K + (P_{1K} U_{1C} + P_{2K} U_{2C}) \quad (3)$$

$P_{1K}$ : 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

表-2 説明変数とその係数<sup>4)</sup>

説明変数(係数)	係数の値
定数項( $a_0$ )	3.252
自歩道の段差強さ( $a_1$ )	-0.543
自歩道の表面の状態( $a_2$ )	-0.480
走行路の有効幅員( $a_3$ )	0.018
車道の交通量( $a_4$ )	-0.071
性別( $b_1$ )	-0.667

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)

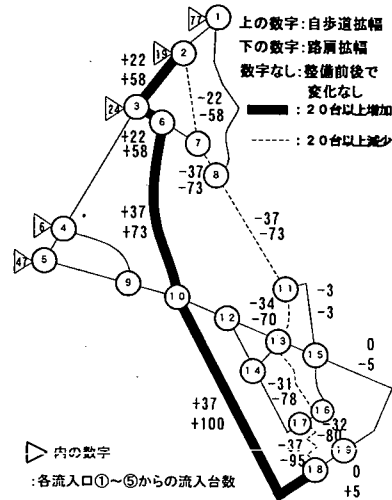


図-4 整備前後の自転車通行台数の変化

$U_{2K}$ : 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

$I_K$ : リンクKの長さ(m)

文献1)では,自転車利用者が自歩道と車道のいずれを選択するかを推定するのに,次の非集計ロジットモデルを用いている<sup>4)</sup>.式(4),(5)中の $V_1, V_2$ は自転車利用者にとっての自歩道,車道の効用である.表-2に説明変数とその係数を示す.

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

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

$X_{11}$ : 自歩道の段差の強さを表すダミー変数

$X_{21}$ : 自歩道表面の凹凸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)

$X_{42}$ : 5分間交通量(台/5min)

$Y_1$ : 性別(男性は1,女性は0)

利用者が自歩道と車道を選択する確率 $P_1, P_2$ は

表-3 整備前後の経路選択の比較 (CASE-1, 流入口別)

(1) 流入口 1

発生確率	タイプ	整備前の選択経路	整備後の経路選択	変化
0.06	1	①-⑧-⑪-⑮-⑲	①-⑧-⑪-⑮-⑲	なし
0.07	2	①-⑧-⑪-⑮-⑰-⑱-⑲	①-⑧-⑪-⑮-⑰-⑱-⑲	なし
0.07	3	①-⑧-⑪-⑬-⑰-⑱-⑲	①-⑧-⑪-⑬-⑰-⑱-⑲	なし
0.375	4~8	☆①-②-⑦-⑧-⑪-⑬-⑰-⑱-⑲	☆①-②-⑦-⑧-⑪-⑬-⑰-⑱-⑲	なし
0.225	9~11	☆①-②-⑦-⑧-⑪-⑬-⑰-⑱-⑲	①-②-③-⑥-⑩-⑬-⑱	あり
0.20	12~14	①-②-③-⑥-⑩-⑬-⑱	①-②-③-⑥-⑩-⑬-⑱	なし

(2) 流入口 5

発生確率	タイプ	整備前の経路選択	整備後の経路選択	変化
0.06	1	⑤-⑨-⑫-⑬-⑮-⑲	⑤-⑨-⑫-⑬-⑮-⑲	なし
0.14	2~3	☆⑤-⑨-⑫-⑬-⑮-⑰-⑱-⑲	☆⑤-⑨-⑫-⑬-⑮-⑰-⑱-⑲	なし
0.15	4~5	⑤-⑨-⑫-⑬-⑮-⑱-⑲	⑤-⑨-⑫-⑬-⑮-⑱-⑲	なし
0.15	6~7	⑤-⑨-⑫-⑬-⑮-⑱-⑲	⑤-⑨-⑩-⑬-⑱	あり
0.50	8~14	⑤-⑨-⑫-⑱-⑲	⑤-⑨-⑫-⑱-⑲	なし

注) ☆印はその流入口と目的地の最短距離の経路を示す。また、□の部分は⑥、⑩、⑬ヘルルートが変更された所である。

表-4 整備前後の経路選択の比較 (CASE-2, 流入口別)

(1) 流入口 1

発生確率	タイプ	整備前の経路選択	整備後の経路選択	変化
0.06	1	①-⑧-⑪-⑮-⑲	①-⑧-⑪-⑮-⑲	なし
0.07	2	①-⑧-⑪-⑮-⑰-⑱-⑲	①-⑧-⑪-⑮-⑰-⑱-⑲	なし
0.07	3	①-⑧-⑪-⑬-⑰-⑱-⑲	①-⑧-⑪-⑬-⑰-⑱-⑲	なし
0.60	4~11	☆①-②-⑦-⑧-⑪-⑬-⑰-⑱-⑲	①-②-③-⑥-⑩-⑬-⑱	あり
0.20	12~14	①-②-③-⑥-⑩-⑬-⑱	①-②-③-⑥-⑩-⑬-⑱	なし

(2) 流入口 5

発生確率	タイプ	整備前の経路選択	整備後の経路選択	変化
0.06	1	⑤-⑨-⑫-⑬-⑮-⑲	⑤-⑨-⑩-⑬-⑱	あり
0.14	2~3	☆⑤-⑨-⑫-⑬-⑮-⑰-⑱-⑲	⑤-⑨-⑩-⑬-⑱	あり
0.30	4~7	⑤-⑨-⑫-⑬-⑮-⑱-⑲	⑤-⑨-⑩-⑬-⑱	あり
0.50	8~14	⑤-⑨-⑫-⑱-⑲	⑤-⑨-⑫-⑱-⑲	なし

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

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

次に、リンクKの自歩道と車道の効用を  $V_{1K}$ ,  $V_{2K}$  と表すと、式(3)中の各非効用は<sup>1)</sup>

$$U_{1K} = \frac{-(V_{1K} - b_1 Y_1) + 10.0}{198.4} \quad (8)$$

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

$$U_{2K} = \frac{-V_{2K} + 10.0}{198.4} \quad (10)$$

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

### 3. 自転車道路の整備についての検討

#### (1) 整備前の自転車通行台数

整備前(現状)の自転車通行台数を、2. のモデ

ルでリンク毎に推定して図-3に示す。総勢173名の高校生は▽のノードから流入し、番号19(高校)のノードへ至る。なお、図-3の推定値が実測値に近く、モデルに十分な説明力が認められることは文献1)で報告した。

#### (2) 検討の概要

次の理由でリンク⑥-⑩-⑬を整備の対象とした。  
 1) この区間は他の区間に比べ自歩道の整備が遅れていて、自歩道の有効幅員の平均値(同一幅員の区間の長さで荷重平均)は、⑥-⑩は154cm、⑩-⑬は146cmである。なお⑩-⑬には、歩道のない区間や幅員100cm未満の区間も含まれている。  
 2) 車道の路肩幅員もあまり広くなく、その平均値は⑥-⑩は63cm、⑩-⑬は66cmである。その上、幅も一定していない。  
 ここでは都市内自転車専用道が整備されていない我

表-5 各種非効用の内訳（整備後、CASE-1、流入口1）

タイプ	走行路 非効用 A	C <sub>2</sub> *交差点数 (交差点数) B	A+B	C <sub>1</sub> *Σ(H*I) (Σ(H*I)) C	非効用合計 A+B+C
1	78.7	13.9(24)	92.6	12.5(57.0)	105.1
2	81.0	15.1(26)	96.0	15.6(41.2)	111.7
3	84.4	15.1(26)	99.5	17.3(34.3)	116.8
4~8	83.9	19.7(34)	103.6	16.6(26.6)~32.4(26.6)	120.2~136.0
9~14	85.2	28.4(49)	113.6	26.8(18.8)~109.2(18.8)	140.4~222.8

注) 各タイプに対応するC<sub>1</sub>の値は表-1に示す。

表-6 各種非効用の内訳（整備後、CASE-2、流入口1）

タイプ	A	B	A+B	C	A+B+C
1	78.7	13.9(24)	92.6	12.5(57.0)	105.1
2	81.0	15.1(26)	96.1	15.6(41.2)	111.7
3	84.4	15.1(26)	99.5	17.3(34.3)	116.8
4~14	80.3	28.4(49)	108.7	11.7(18.8)~109.2(18.8)	120.4~217.9

が国の現状を踏まえて、図-1,2の2つのタイプの自転車道路を想定する。2.の経路選択モデルに含まれる変数で言えば、“標示”に対しては車道の路肩幅員を変えることで、また“分離”に対しては自歩道の有効幅員を変えることで、これらを検討したことに代える。そして、リンク⑥-⑩-⑬全体の自歩道と路肩を合計で350cmとした場合に、自歩道の有効幅員と車道の路肩幅員の拡張のどちらが自転車利用者にとって望ましいかを検討する。つまり、次の2つのケースを考える。

CASE-1：⑥-⑩-⑬の自歩道の有効幅員を300cm、  
車道の路肩幅員を50cmにする

CASE-2：⑥-⑩-⑬の自歩道の有効幅員を200cm、  
車道の路肩幅員を150cmにする

平均的には、CASE-1は車道の路肩幅員を13~16cm削減して、自歩道の有効幅員を146~154cm拡大することを、一方、CASE-2は車道の路肩幅員を84~87cm拡大し、自歩道の有効幅員の拡大は46~54cmにおさえることを意味する。換言すれば、CASE-1では自歩道の有効幅員の拡大に、一方、CASE-2では、車道の路肩幅員の拡大に整備の力点を置いていることになる。なお、道路構造令（第4種3級の道路の最小幅員）からの制約もあり、上記2つのケースを設定した。

### (3) 整備前後の自転車走行台数の変化

整備前後の自転車走行台数の変化を図-4に示す。図-4より、リンク⑥-⑩-⑬では推定自転車通行台数が30台以上増加し、住宅地がある⑬-⑯-⑰-⑱では30台以上の減少であった。これは、⑥-⑩-⑬全体の自歩道と路肩の幅員を変更したことにより、走行路の非効用が減少したためである。しかし、自歩道を拡張した場合と、路肩を拡張した場合とでは、自転

車通行台数に差がある。

更に、流入口1,5からの整備前後における選択経路の内訳をまとめた表-3,4を使って変化の様子を考察する。なお、表中のタイプ番号は表-1のそれに対応する。タイプ番号が小さい（表-1でC<sub>1</sub>の値が小さい）人は、登り坂はあまり気にしないで、走行路と交差点による非効用が小さな経路を選択する。タイプ番号が大きい（表-1でC<sub>1</sub>の値が大きい）人は、登り坂を気にして、登り坂による非効用が小さな経路を選択する。また、整備前には、最短経路（表中の☆印）を選択した人は流入口1で流入人数全体の60%である。特に、流入口5で最短経路を選択した人が14%に過ぎないのは、最短経路上に急な登り坂が存在するからである。

次に、表-3,4から整備後の選択経路の変化を見る。⑥-⑩-⑬が他の経路に比べて、より平坦である故に、リンク⑥-⑩-⑬の車道や自歩道を整備することにより、登り坂を嫌う自転車利用者を中心に経路変更が起き、結果的に⑥-⑩-⑬の利用者が増加する。これらのことを、一番利用人数の多い流入口1について、走行路・交差点・登り坂による非効用の内訳（整備後）を例示した表-5~7から見る。流入口1では、自歩道や路肩の幅員を変更することによって、最短経路である①-②-⑦-⑧-⑪-⑬-⑯-⑰-⑱-⑲（ルートX：図-4中の点線にリンク①-②とリンク⑱-⑲を加えたもの）から①-②-③-⑥-⑩-⑬-⑱（ルートY：図-4中の太線にリンク①-②とリンク⑱-⑲を加えたもの）へ経路変更が生じている（表-3,4）が、更に、整備前後のルートX, Yの自転車走行路と交差点に関する非効用（U<sub>1</sub>+C<sub>2</sub>T）の変化を比較した表-7から、自歩道拡張、路肩拡張という整備を実施することによって、ルートYの非効用は減少し、ルートXの整備前の値に近づいていること、しかも、登り

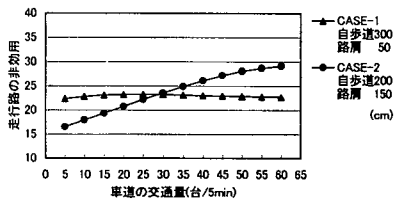
表-7 整備前後の各ルートの非効用

	U <sub>L</sub> +C <sub>2</sub> T			HI
	整備前	自歩道拡幅 (CASE1)	路肩拡幅 (CASE2)	
ルートX	103.6			26.6
ルートY	122.9	113.6	108.7	18.8

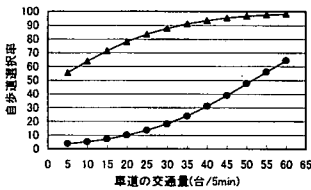
注) 登り坂による非効用を除く。

表-8 整備前後の走行路の非効用

	走行路の非効用 U <sub>L</sub>		
	整備前	自歩道拡幅	路肩拡幅
リンク⑥-⑩	29.0	23.2	23.7
リンク⑩-⑬	45.3	41.8	35.4



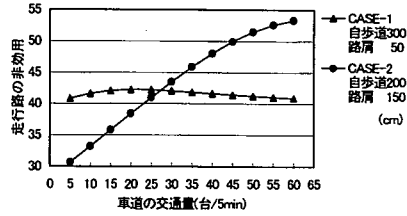
a) 自転車走行路の非効用



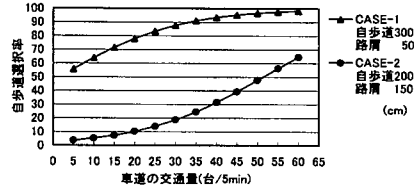
b) 自歩道選択率

図-5 車道の交通量による自転車走行路の非効用と自歩道選択率の変化 (リンク⑥~⑩)

坂の非効用に比例するHIの値が、ルートYの方がルートXよりも小さいことが認められる。これらのことと表-5,6から、経路変更が生じるのは、整備により走行路の非効用が減少したことが直接的な原因ではない。整備により最短経路(ルートX)との非効用(登り坂によるものを除く)の差が縮まり、C<sub>1</sub>の値によっては高低差と勾配の積和HIが小さい経路を通った方が、非効用の合計が小さくなるからである。逆にいえば、競合経路を設定するには、元の経路よりも高低差と勾配の積和HIが小さい経路を整備し、走行路の非効用を減少させなければならないことが分かる。そうすれば、自転車利用者の中で坂を嫌う(表-1でC<sub>1</sub>の値が大きい)ものから経路を変更する。特に元の経路が最短経路であれば最短経路を選択する人は通常は多いので、顕著な経路変更につながる。



a) 自転車走行路の非効用



b) 自歩道選択率

図-6 車道の交通量による自転車走行路の非効用と自歩道選択率の変化 (リンク⑩~⑬)

#### (4) 車道の交通量と自転車走行路の非効用

自歩道の有効幅員の拡幅(CASE-1)と車道の路肩幅員の拡幅(CASE-2)のどちらが自転車利用者にとって有用かを検討する。表-8は整備前後の自転車走行路の非効用をまとめたものである。表-8よりリンク⑥-⑩とリンク⑩-⑬では、自歩道を拡幅した場合と、路肩を拡幅した場合では走行路の非効用の減少に差があることが認められる。これは、車道の交通量が⑥-⑩では30.5(台/5min)、⑩-⑬では16(台/5min)と異なるためである。

⑥-⑩と⑩-⑬を対象にして、本研究と同じ道路条件(性別:男)で、車道の交通量による自転車走行路の非効用と歩道選択率の変化を計算して図-5,6に示す。文献1)のモデルでは、自転車利用者は走行路として自歩道と車道の二つを念頭に置き、両者の効用でその選択確率を決定するし、更には、自転車走行路の非効用は自歩道と車道の選択確率で荷重平均して求めている。図-5から、

- 1)CASE-1は自歩道の選択確率が高く、走行路の非効用は車道の交通量に関わらずほぼ一定である、
- 2)逆に、CASE-2は車道の選択率が高く、走行路の非効用は車道の交通量に応じて増加する、
- 3)結果的に、走行路の非効用は、車道交通量30台/5minより少ないとCASE-2(車道の路肩拡幅)の方が、一方、30台/5minより多いとCASE-1(自歩道拡幅)の方が、小さくなることがわかる。

更に、図-6から⑥-⑩と⑩-⑬では条件が違うので、自転車走行路の非効用は異なるが、車道交通量が30

台/5min 付近で同じような傾向が認められる。前述の様に、⑥-⑩の5分間交通量は30.5台、⑩-⑬のそれは16台であるので、⑥-⑩ではどちらの整備でも差がないが、⑩-⑬では車道の路肩を拡幅した方が有効であり、走行路の非効用の減少に表-8の様な差が生じたのである。

なお、文献2),3)では車道と自転車の走行路を物理的に分離するか否かは、自動車の交通量と速度によるが、本研究のモデルでは速度が説明変数に含まれていない。それは、自動車の速度を物理的に抑制し、道路間で大きな速度差を生じさせている所が、身近に見当たらないからである。機会があれば速度を考慮したモデルに改良したいと思う。

#### 4. まとめ

本研究では図-3中のリンク⑥-⑩-⑬に、CASE-1:自歩道の有効幅員を300cm、車道の路肩幅員を50cmにする(車道と自転車の走行路の物理的な分離)、CASE-2:自歩道の有効幅員を200cm、車道の路肩幅員を150cmにする(車道に自転車専用レーンの標示)という2種類の整備を想定して検討した。なお、現状ではリンク⑥-⑩-⑬は他の区間に比べ自歩道の整備が遅れているし、車道の路肩幅員もあまり広くない。

得られた結果をまとめて以下に示す。

1) 自転車走行路の整備が遅れているリンク⑥-⑩-⑬に上述の整備を施すことにより、自転車走行路に関する非効用が小さくなる。その結果、最短経路などの競合経路との非効用(登り坂によるものを除く)の差が縮まる。しかも、リンク⑥-⑩-⑬が他の経路

に比べて、より平坦である故に、 $C_1$ の値によっては非効用の合計が小さくなる。つまり、登り坂を嫌う自転車利用者間で最短経路を含む複数の経路からの変更が起き、結果的にリンク⑥-⑩-⑬の利用者が大きく増加する。

2) CASE-1,2のどちらの整備が自転車利用者にとって有用かは車道の交通量による。本研究では、車道の交通量30台/5min位を境に、それより多いとCASE-1の方が、一方、少ないとCASE-2の方が、走行路の非効用が小さいことが認められた。

謝辞:本研究は、財団法人 佐川交通社会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) 渡辺義則, 角知憲, 清田勝, 秦裕二郎:自転車で通学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,土木学会論文集, No.618/IV-43, pp27-37, 1999.
- 2) Centre for Research and Contract Standardization in Civil and Traffic Engineering: Design Manual for a Cycle-friendly Infrastructure "Sing up for the bike", the Netherlands, 1994.
- 3) Bach, B. and Diepens & Okkema Traffic Consultant: Cycle Promotion Guidelines Piemonte Region Italy Concept, 1991.
- 4) 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.  
(2001.2.8 受付)

## IMPROVEMENT OF BICYCLE TRACK USING THE MODEL WHICH DESCRIBES BICYCLE ROUTE CHOICE OF ATTENDING HIGH SCHOOL STUDENT

Yoshinori WATANABE, Tsuyoshi OGATA, Masaru KIYOTA, Tomonori SUMI  
and Masanori KOSAZA

The model which describes bicycle route choice of attending high school student has been proposed. The model is based on the assumption that individual cyclists choose their route to minimize the sum of network links' disutility which consist of width of bicycle path, traffic intensity and gradient of slope in addition to distance. Using this model, the followings were examined: which road should be repaired and which type of bicycle track should be chosen. As a result, 1) in flat route compared to the shortest path, route change of the cyclist who dislikes the uphill occurs. 2) If traffic intensity of roadway is less than 30/5min, bicycle exclusive lane indicated in roadway is useful. So it is not, roadway and bicycle track physically separated is useful.