

市街地における自転車ルートに関するネットワーク分析 —横浜市青葉区青葉台駅周辺を対象として—

Network analysis on the route for bicycle in city area
-A case study in Yokohama city, around Aobadai station-

小杉理子*・伊藤史子**
Ririko KOSUGI*, Fumiko ITO **

Today, bicycle is important for urban transportation. This paper analyzed the route for bicycle in city area. First, the relation between bicycle speed and the gradient of slope was estimated. Second, the route chosen by bicycle user was compared with following three route models estimated by network analysis; the shortest distance route, the shortest time route and the shortest time route with restriction of gradient. Third, the cross *M*-function method was applied to these route models. As a result, the preference in route choice by bicycle user was clarified to suggest the road network for bicycle.

Keywords: Bicycle, Route choice, Network analysis, Gradient of slope, the cross *M*-function
自転車, 経路選択, ネットワーク分析, 坂道勾配, クロス M 関数

1. 研究の背景と目的

通勤・通学・日常の購買行動で、駅はよく利用される。そして、駅まで行くのに自宅から自転車を利用する人は多いであろう。それ故に、自転車の都市において放置自転車、駐輪場不足などの問題は常に上げられる問題ではあるが、その一方で、近年都市における交通手段として自転車利用を促進する動きがあるのも確かである。オランダでは、自転車レーン設置、大規模自転車駐車場の建設等自転車の交通政策が行なわれている。また、フランスの首都パリでは、“Velib”というレンタサイクル事業が話題になった。日本でも奈良で観光する際に自転車を利用する政策がなされている。それだけではなく、横浜市では、自転車を利用しやすいよう、路上に自転車駐車を設置し、日常の購買活動の際にも気軽に駐車ができるようにしている地区もある。自動車交通渋滞の緩和は勿論のこと、二酸化炭素を排出せず、環境にもよく、そして健康にもよいといったことから、日々の生活で自転車を交通手段として利用することの意義は高まっていると考えられる。

自転車に関する既往研究としては、まず経路選択についての研究がある。商店街に着目した趙ら¹⁾、高校生を対象とした渡辺ら²³⁾の研究があるが、対象が特定されている。地形の自転車走行への影響に関しては、石田ら⁴⁾、中沢ら⁵⁾の研究があるが、ルートそのものについての考察はなされていない。また、佐藤ら⁶⁷⁾、溝口ら⁸⁾は歩行者に関する研究を行っており、自転車に対する研究は行なわれていない。

したがって本研究では、市街地での自転車走行における
1)速度と坂道勾配の関係を求める。
2)走行ルート選択の傾向を把握する。
3)坂道勾配によるルート選択の法則性を見出す。
以上の3点を目的とすることで、市街地における自転車ネットワークの提言への基礎的知見を得る。具体的には、横

横浜市青葉区青葉台駅周辺を対象地域とし、アンケート調査による実際走行する自転車ルートの調査をする。さらに、最短距離ルートのネットワーク分析、自転車速度と坂道勾配の関係性をもとに負荷を考慮した自転車ルートのネットワーク分析を行う。それぞれ求められた分析ルートと比較・分類し、さらに計量的に空間解析をすることで、近隣住民が駅を利用する際の最適な自転車ルートについて、考察を行うこととする。

2. 研究の流れ

研究の流れについては、図1に示した通りである。まず、対象地域を決定し(①)、現地調査によるデータから、自転車速度と坂道勾配の関係性を見出す(②)。その上で、自転車ルートのアンケート調査(③)およびネットワーク分析を行い(④)、考察を行う(⑤)。これらをもとに、市街地への自転車ネットワークの提言を行うことを目指す(⑥)。

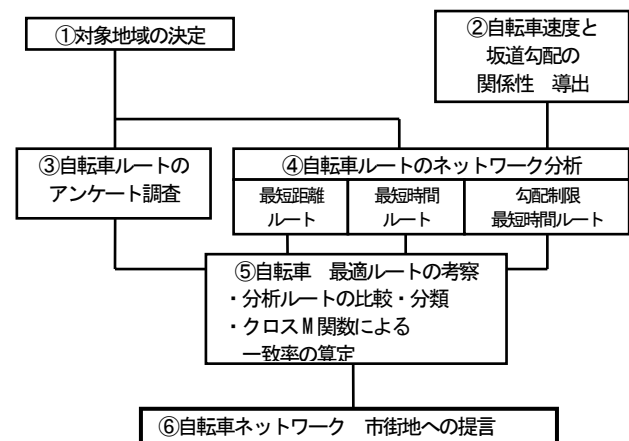


図1 研究の流れ

* 学生会員 首都大学東京大学院都市環境科学研究科 (Tokyo Metropolitan University)

** 正会員 首都大学東京大学院都市環境科学研究科 (Tokyo Metropolitan University)

3. 研究内容

3-1 対象地域について

坂道勾配の多い住宅地で、日常、駅まで自転車利用者が多いと考えられる横浜市青葉区青葉台駅周辺を対象とした駅利用圏をボロノイ図により求め、対象の21町丁字を決定した。さらに、対象町丁字を越えて経路選択を行う可能性も考慮し、周囲250mの範囲までを分析対象とした。

3-2 自転車速度と坂道勾配の関係性の導出

3-2-1 現地走行実験

2008年4月30日、走行データ(標高差、距離、速度)の測定のため、GPSを携行し、対象地域全域を3種の自転車(普通自転車、アシスト付き自転車、スポーツ自転車)で走行した。(実測値は図2にプロットした¹⁾。)

3-2-2 自転車速度と坂道勾配の関係式の算出

前節で得た値から、自転車速度と坂道勾配の関係を考えた。自転車速度と坂道勾配の関係は、以下のロジット関数で表せるものとする。

$$y = \frac{c}{1+e^{-(a+bx)}} \quad (\text{式-1})$$

x : 勾配(%)

y : 速度(m/min)

a, b, c : パラメータ

3-2-1の実測値から非線型回帰分析を行ない、パラメータの推定を行なった。この時、下り勾配ではブレーキにより速度を制御することが多く、速度にばらつきがみられるため、今回は上り勾配のみの実測値を使用している(データ数153)。その結果、 $a=2.017$ 、 $b=-0.168$ 、 $c=207.187$ と推定された。

したがって、自転車走行時の坂道勾配と速度の関係式は以下の式として表される(図2の実線)。

$$y = \frac{207.187}{1+e^{-(2.017-0.168x)}} \quad (\text{式-2})$$

自転車速度の実測値(3-2-1)と推定値(3-2-2)の相関を求めたところ、 $R=0.59$ であり、1%有意であることを示す。

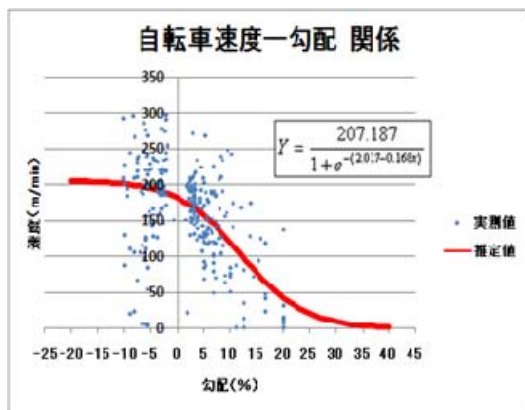


図2 自転車速度と坂道勾配の関係

3-3 自転車ルートへのアンケート調査

2008年10月、対象地域に在住する方(男4名、女6名、20代~50代)に、各町丁字の中心と青葉台駅を結ぶ自転車走行ルートについて、アンケート調査を行なった²⁾。

地図データはGISMAP for Road(北海道地図(株))を使用し、アンケートを出発地(町丁字)ごとに集計した(図3)。回答されたルートにばらつきのある町丁字も見られたが、標高を重ねてみると、おおむね標高差の少ない所=坂道が少ない所を選択して走行している傾向にあると推察された。

本研究では、アンケート調査において、各町丁字の中心と青葉台駅を結ぶ一番回答数の多いルートをそれぞれ町丁字の主要ルートとし、アンケートルートとする。

3-4 自転車ルートのネットワーク分析

アンケートルートとの比較対象として、3つの自転車ルートについてネットワーク分析を行った。分析に際しては、階段路を除いた全細街路(幅員3.0m以上)を含む全道路網をネットワークとして用いた。

最短距離ルート: 各町丁字の中心と青葉台駅を結ぶ距離が最短となるネットワーク分析を行なった(図4)。

最短距離ルートのネットワーク分析結果に標高をのせると、標高の高低が全く加味されていないルートがあることから、坂道勾配が考慮されていないことを確認した。仮に勾配に全く影響されず一定速度で走行できるならば、これが距離・時間ともに最短のルートとなる。しかし、前節で求めたように、自転車は坂道勾配の影響を大きく受けるため、さらに次の2つのルートを考える。

最短時間ルート: リンク毎に標高差を算出し、リンク長と標高差でリンクの勾配を求める。次に、(式-2)より、求めた勾配からリンクごとの自転車速度を出し、得られた自転車速度でリンク長を除し、リンクごとの所要時間を算出する。それをもとに、各町丁字の中心から青葉台駅まで(図5)と青葉台駅から各町丁字の中心までのルートの最短時間ルートのネットワーク分析を行なった。

町丁字によって、往復のルートで違いが生じたり、最短距離ルートとは異なるルートが選択されており、図7からも分かるように、勾配を加味した最短時間ルートであるといえる。

勾配制限を与えた最短時間ルート: 自転車走行の際、あまり急勾配な上り坂は通りたくない考えることは多い。そこで、通行する坂道にも限界値があるという仮定から、ある勾配(5%、6%、7%、7.5%、10%の5パターン)以上の道路の通行は避けるように設定した上で、前項同様のネットワーク分析を行い、勾配制限を与えた最短時間ルートを求めた(図6)。

3-5 自転車最適ルートの考察

3-5-1 分析ルートの比較・分類

以上の3種のルートについて、アンケートルートと目視により、一致、不一致で比較し、人は勾配6~7%以上の坂道を避けると推察した。



図3 アンケート調査の結果



図4 最短距離ルート



図5 最短時間ルート
(To 駅)



図6 勾配制限ルート
(To 駅)



図7 対象地域 標高

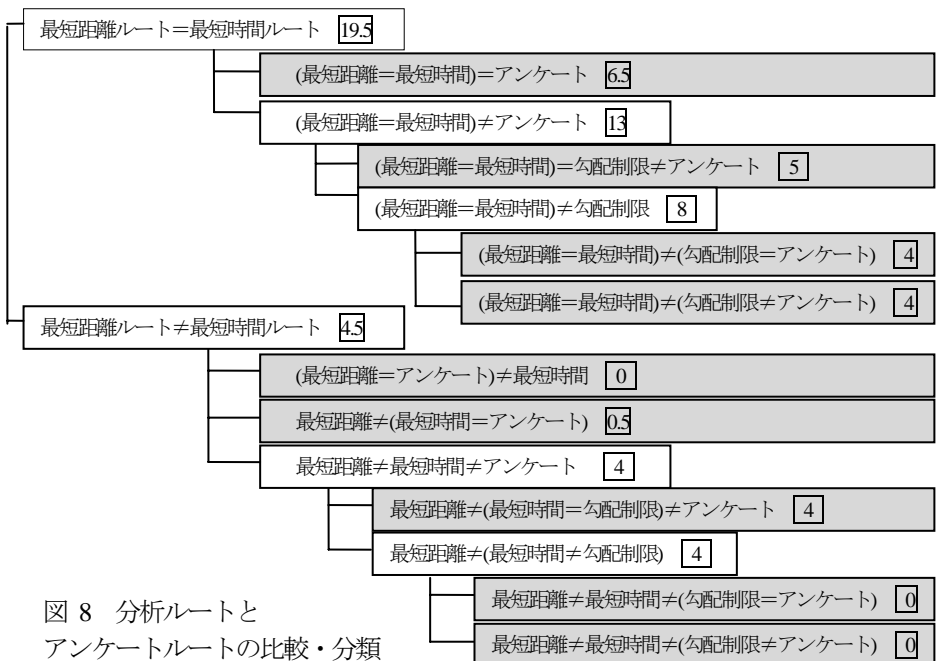


図8 分析ルートと
アンケートルートの比較・分類

したがって、ここで分析ルートの比較・分類を行う際は、勾配 7%以上の坂道勾配を避けたものを勾配制限を与えた最短時間ルートとして扱うこととした。

町丁字中心 24 地点^⑤と駅を結ぶ最短距離ルート・最短時間ルート・勾配制限を与えた最短時間ルートをアンケート結果と比較し、一致・不一致で分類した。

まず、最短距離ルートと最短時間ルートの一致性を比較した後に、アンケートルートとの一致性を比較する。

さらに、最短距離ルート、最短時間ルート、ともにアンケートルートと一致性がなかった町丁字について、勾配制限を与えたルートとの一致性を比較し、最終的には9のパターンに分類した。(図8)

以上の分類結果より、自転車ルートの選択には、後述のような3つの傾向があることが分かった。(括弧内の数字は当てはまった町丁字の数。駅方向、または町丁字の中心方向のいずれか一方の場合は0.5とする。)

- ①：最短距離であり、かつ最短時間である (6.5)
- ②：坂道勾配が影響している (4.5)
- ③：①②のどちらにも当てはまらない (13)

以下、それぞれの傾向についての考察を行う。

①は、最短距離かつ最短時間ルートであり、通ったルート内の坂道勾配も緩やかであるため、所要時間も短く、結果的に最短距離になったと推測できる。自転車ルートとして条件が揃っており、選択されるのが妥当な自転車ルートである。

②は、急勾配の坂道を避けて通っていることから、坂道勾配を考慮した自転車ルートであるため、標高差も少なく、距離が長くなっても、体力的、精神的にも負担の少ないルートである。(図3の○の町丁字)

③は、前述した2つの傾向に当てはまらない自転車ルートで、距離や所要時間、坂道勾配だけが自転車ルートの選択要素ではないことがうかがえる。

分析ルートでは住宅地の狭い道路で細かく直角に曲がるルートが多いが、アンケートルートでは、曲がり回数が少ないルートを選択している。自転車は自動車よりも小回りが利くが、それにも限界があるのではないかとと思われる。

さらに、考えられる要因として、幹線道路へ引き寄せられる傾向がみられる。また、一度幹線道路に出たら、その幹線道路を横切って、ほかの道路に出ることはまれである。基本的には、幹線道路に出たら、逸れることなく目的地まで向かうようである。少しでも信号等の障害を避けることで、時間を短縮しようとしていると考えられる。そして、幹線道路はその地域の主要道路であり、自転車通行可の歩道に指定されている箇所が多いため道路幅員が十分に確保され、整備が行き届いていることが理由の一つであると考えられる。(図3の□の町丁字)

3-5-2 クロスM関数によるアンケートルートと分析ルートの一一致率の算定

前節ではアンケートルートと分析ルートの一一致性を目視で検討したが、本節では、空間解析の一手法である岡野、岡部(2004)⁹⁾のクロスM関数を用いて、二つのネットワークのオブジェクトの空間関係を計量的に示すこととした⁽⁴⁾。クロスM関数では、バッファ幅が狭い場合には狭域的に、バッファ幅が広い場合には広域的に位置関係の近さを示すことができる。

まず、アンケートルートと分析ルートに20m、100m、300m、500mのバッファをかける(図9、10)。アンケートルートのバッファ面積とアンケートルートと分析ルートのバッファが重なりあったところ(図11)の面積を求め、アンケートルートに対する重なり面積の割合を求めた。本研究では、その割合をルートの一一致率とする。(式-3)

$$\text{一一致率} = \frac{\text{重なり面積}}{\text{アンケートルートのバッファ面積}} \quad (\text{式-3})$$

アンケートルートと分析ルートの各バッファ幅による一一致率の結果を図12、13および表1、2に示す。

まず、各町丁字から駅に向かう分析ルート(図12、表1)では、5%の勾配制限を与えたルートが、バッファ幅に関係なく他のルートよりも一一致率が高く、狭域的にも広域的にも位置関係が近いことが分かる。狭域的に7.5%の勾配制限ルートは一一致率が高く、広域的には3ルートの差は小さいが、6%の勾配制限ルートの一一致率が高まっている。バッファ幅が広くなるに従って、分析ルートは全体的に一一致率も高くなり、かつ一一致率が収束していく傾向にある。

以上の結果より、各町丁字から駅に向かうルートは5%の勾配制限ルートが最もアンケートルートとの位置関係が近いと考えられるが、5%の勾配制限ルートに着目してみる(図9、10)と、明らかにアンケートルートとは異なるルートを選んでいる町丁字がある。その一方で、ある1つの町丁字において、他の分析ルートでは選択していないが、唯一5%の勾配制限ルートのみアンケートルートと一致するルートを選択している。したがって、クロスM関数では、全体的な解析結果を取り上げようとした場合、ある部分的な結果に大きく影響される可能性があるという課題が見出された。これらのことを踏まえると、6%及び7.5%の勾配制限ルートがアンケートルートとの位置関係が近いと考えられ、勾配を加味したルート選択をよく表しているものと思われる。

次に、駅から各町丁字に向かう分析ルート(図13、表2)では、最短時間ルートがバッファ幅にかかわらず、他のルートよりも一一致率が高いことから、狭義的にも広義的にも位置関係が近いといえる。狭域的には、7.5%の勾配制限ルートの一一致率が高い。広義的にはどのルートも一一致率の差が小さい。バッファ幅が広くなるに従って、全体的に一一致率も高くなり、かつ一一致率が収束していく傾向にある。最短時間ルートおよび7.5%の勾配制限ルートがアンケートルートとの位置関係が近いと言え、こちらも急勾配の坂道は走行しないようにルート選択をしている状況が検証できた。

表1 アンケートルートと各分析ルートのバッファ幅による重なり面積と一一致率 (To 駅)

To 駅	バッファ=20m		バッファ=100m		バッファ=300m		バッファ=500m	
	重なり面積	一一致率(%)	重なり面積	一一致率(%)	重なり面積	一一致率(%)	重なり面積	一一致率(%)
アンケート	708791.6	1.000	3306750.9	1.000	8204683.1	1.000	11526749.0	1.000
最短距離ルート	381617.2	0.538	2329600.0	0.704	7366514.4	0.898	10867792.5	0.943
最短時間ルート	384171.0	0.542	2363037.6	0.715	7346239.6	0.895	10858154.1	0.942
勾配制限5%ルート	424067.2	0.598	2527496.0	0.764	7633435.3	0.930	10994595.2	0.954
勾配制限6%ルート	405000.2	0.571	2439315.3	0.738	7427723.8	0.905	10906898.9	0.946
勾配制限7%ルート	406906.1	0.574	2438821.7	0.738	7362931.6	0.897	10862780.0	0.942
勾配制限7.5%ルート	416107.4	0.587	2447760.1	0.740	7362993.1	0.897	10862825.0	0.942
勾配制限10%ルート	381459.3	0.538	2369643.0	0.717	7346117.5	0.895	10858869.1	0.942

表2 アンケートルートと各分析ルートのバッファ幅による重なり面積と一一致率 (From 駅)

From 駅	バッファ=20m		バッファ=100m		バッファ=300m		バッファ=500m	
	重なり面積	一一致率(%)	重なり面積	一一致率(%)	重なり面積	一一致率(%)	重なり面積	一一致率(%)
アンケート	704598.6	1.000	3282517.4	1.000	8173215.3	1.000	11505321.4	1.000
最短距離ルート	391332.0	0.555	2349351.3	0.716	7384441.9	0.903	10867874.5	0.945
最短時間ルート	406770.4	0.577	2425438.2	0.739	7437053.5	0.910	10905450.3	0.948
勾配制限5%ルート	359032.8	0.510	2342428.5	0.714	7350314.1	0.899	10889283.4	0.946
勾配制限6%ルート	375167.7	0.532	2380850.6	0.725	7327177.4	0.896	10870672.1	0.945
勾配制限7%ルート	389057.6	0.552	2433954.1	0.741	7354148.0	0.900	10856983.5	0.944
勾配制限7.5%ルート	399993.3	0.568	2443200.3	0.744	7353868.1	0.900	10856687.0	0.944
勾配制限10%ルート	384142.2	0.545	2379233.5	0.725	7393503.6	0.905	10874199.5	0.945

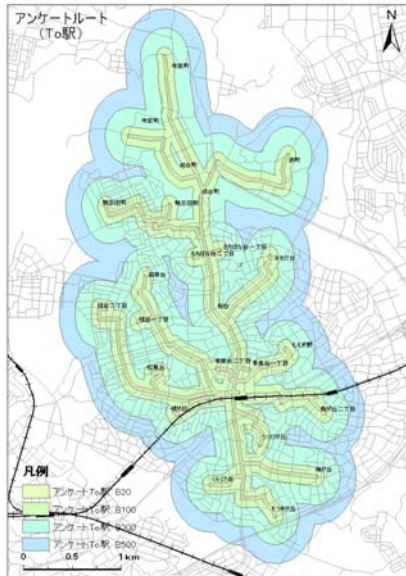


図9 バッファをかけた
アンケートルート(To 駅)

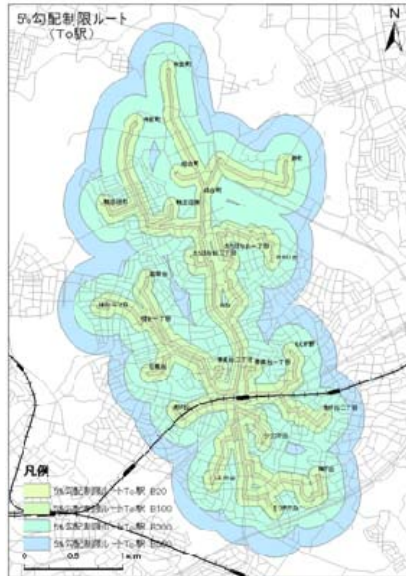


図10 バッファをかけた
5%勾配制限ルート(To 駅)

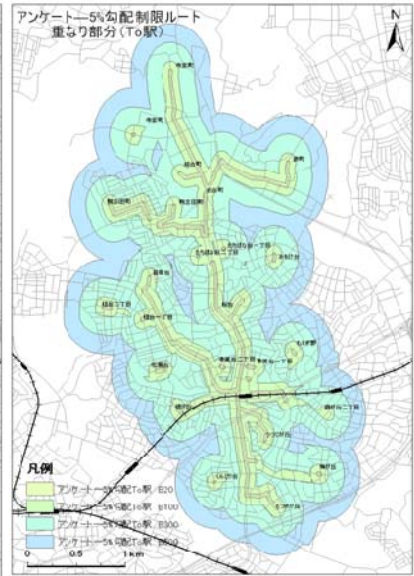


図11 図9、10のルート
重なった部分

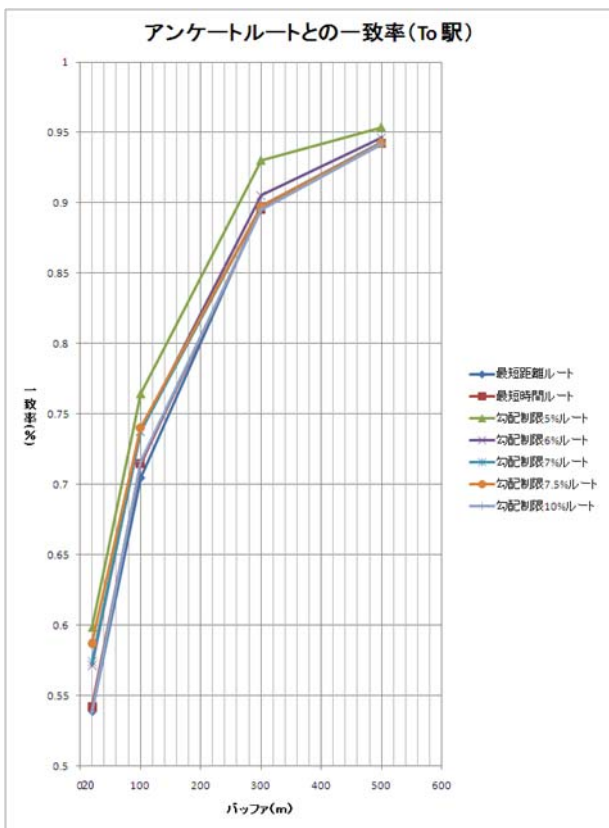


図12 アンケートルートと各解析ルートのバッファ幅による一致率の変化 (To 駅)

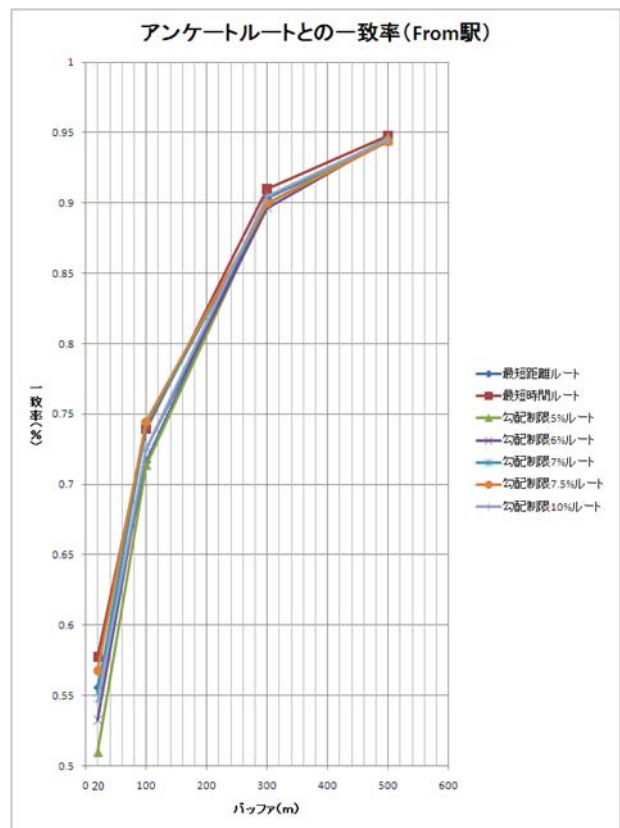


図13 アンケートルートと各解析ルートのバッファ幅による一致率の変化 (From 駅)

以上の結果より、日常生活圏での自転車利用ルートは、勾配に応じた速度で走行した際に最短時間となるルートで、かつ急勾配(概ね6~7.5%)を避けるルートと空間的に最も一致していることが分かった。

4. 市街地への自転車ネットワークの提言

以上の結果より、自転車ルートは坂道なるべく少なくする方がよい。加えて、7.5%以上の勾配の坂道を減らすことにより、さらに人々の求める自転車ルートに近づくと同時に、安全で走行しやすい道路となるのではないかと考えられる。

現在、地域内の幹線道路の歩道には自転車通行可の指定がされているところも多いが、自転車走行の際、幹線道路を選択する人が多いことから、指定のない歩道に関して、自転車が走行することを前提とした整備が必要である。

また、幹線道路以外の道路にも自転車ルートを整備する場合は、曲がり回数の少なくするために、緩やかな弧を描くような道路を用いるとよい。

5. 結論

本研究では、まず、自転車速度と坂道勾配の関係を実走行により求めた。

次に、対象地域の在住者の自転車ルート選択の傾向をアンケート調査により把握した。

そして、最短距離ルート・最短時間ルート(勾配に応じた速度で走行した時の所要時間が最短となるルート)・勾配制限を与えた最短時間ルート(ある勾配以上は通行しないと設定した場合の所要時間が最短となるルート)の3つのルートについてネットワーク分析により求め、在住者のルート選択がどの分析ルートに合うか、検証した。その結果、勾配を考慮した最短時間ルートを基本としながら、6%~7.5%の勾配制限ルートが、在住者の選択した自転車ルートに近く、自転車走行時のルート選択で坂道勾配が大きく影響することが分かった。

さらに、曲がり回数が少なく、幹線道路に引き寄せられやすいという傾向がみられた。地域内の幹線道路の歩道には自転車走行の際、幹線道路を選択する人が多いことから、自転車が走行することを前提とした十分な整備をすることが必要である。また、住宅街では細街路の自転車ルートの整備も考えなければならぬ。交差点の右左折が続くことを好まない人も多いことから、緩やかな弧を描くような自転車道を配置することで、日常生活で自転車の使いやすしい市街地が実現すると思われる。

研究の発展として、自転車ルートは曲がり回数が少ない方が適しているとの傾向が得られたことから、まず右左折の回数が増えることによる負荷を考慮したルートのネットワーク分析を行うことが挙げられる。また、道路の種類や幅員、整備状態をネットワークに組み込むことで、勾配だけでなく、自転車ルートの選択要因が網羅され、実際の走行ルートに近い自転車ルートの探索ができるようになり、当研究対象地だけでなく、その他の市街地にも応用できる

汎用性のあるモデルを得ることができよう。

<謝辞>

本研究では、東京大学空間情報科学センター(CSIS)より、(株)北海道地図 GISMAP for Road, GISMAP Terrain を提供していただきました。深く御礼申し上げます。

また、走行実験にあたり、協力をしてくれた研究室諸氏にも感謝します。

【補注】

(1) 実測値のデータは、使用率の多い普通自転車のデータを使用した。

(2) アンケートは、筆者がそれぞれ被験者を訪問し、その場でアンケートの記入をお願いした。

(3) 対象町丁字は21であるが、面積が広いおよび飛び地がある町丁字に関しては、1町丁字に対して、2地点ある場合があるため、24地点となっている。

(4) 二つの点分布の空間関係を狭域的から広域的まで示す手法として、クロス K 関数法がある。本稿で用いる岡野らのクロス M 関数法は、このクロス K 関数法の概念を二つの線(ネットワーク)オブジェクト分布の空間関係に拡張したものである。本稿では、バッファ幅として、20m、100m、300m、500m の4値をとり、分析した。

【参考文献】

- 1) 趙世晨, 萩島哲(2001)、「商店街における自転車来街者の経路選択に関する研究」、都市計画学会論文集、No.36、pp.901-906
- 2) 渡辺義則, 緒方剛, 清田勝, 角知憲, 小佐々昌典(1999)「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的研究」、土木学会論文集、No.618、IV-43、pp.27-37
- 3) 渡辺義則, 緒方剛, 清田勝, 角知憲, 小佐々昌典(2002)「自転車通勤する高校生の経路選択モデルを用いた自転車道路の整備に関する考察」、土木学会論文集、No.695、IV-54、pp.171-176
- 4) 石田一茂, 鈴木勉(2005)「地形が自転車利用に与える影響に関する研究」、筑波大学社会学類都市計画専攻卒業論文
- 5) 中沢孝之(2007)、「小地域データにもとづく地形の自転車移動への影響分析—東京都多摩市の通勤・通学を例として—」、東京都立大学工学部建築学科卒業論文
- 6) 佐藤栄治, 吉川徹, 山田あすか(2006)、「地形による負荷と年齢による身体能力の変化を勘案した歩行換算距離の検討—地形条件と高齢化を勘案した地域施設配置モデル その1—」、日本建築学会計画系論文集、NO.610、pp.133-139
- 7) 佐藤栄治, 吉川徹, 山田あすか(2008)、「歩行換算距離を用いた施設配置と住み替えによる地域生活継続可能性の検討—地形条件と高齢化を勘案した地域施設配置モデル その2—」、日本建築学会計画系論文集、NO.625、pp.611-618
- 8) 溝口秀勝, 山川仁(2001)、「斜面住宅地における勾配を考慮した徒歩移動に関する研究」、日本都市計画学会学術発表発表会論文集、No.36、pp.841-846
- 9) 岡野京子, 岡部篤行(2004)、「二種の線分オブジェクト分布の空間的関係を分布する方法とそのソフトウェア実装」、GIS-理論と応用(GIS学会論文集)、Vol.12、No.2、pp.35-45