

市街路を利用した自転車専用道設置とその効果分析
—北京市の胡同を例として—
Beijing Bikeway Planning and Evaluation Method

関 宏志**・西井和夫***・飯田恭敬****

By Hongzhi Guan, Kazuo Nishii and Yashunori Iida

1. はじめに

近年、北京市において自動車保有台数は年平均およそ17%の増加率で成長している。1998年末には135.8万台に達しており、2000年末には160万台を突破する見込みである。このような自動車保有台数の高い伸びと順調な経済成長を背景として、北京市内(第2環状線に囲まれる約62km²区域内を指す。以下同じ)における交通需要量が著しく増加し、とくにピーク時には90%の都市内街路で混雑率が1.0に近くに達し、交通渋滞が多発している。このような交通需要量の増大傾向に対応するために、北京市は、道路交通容量の拡大、交通施設の充実に毎年膨大な予算を投じている。しかしながら、市財政、道路用地の取得および歴史・文化・風致保存などの理由で、短時間内に市内の道路交通容量を大幅に拡大する見込みがない。したがって、如何に道路交通ストックとして都市内街路を効率的に運用し、市内における道路ネットワークの容量を向上させるかが重要な課題となる。

一方、自転車は無公害、省エネ、最もポピュラーな交通手段として、広く利用されて、北京市の自転車保有量は900万台あまりあるといわれている。そのため、北京市の街路においては自動車・自転車の混合交通現象が多発し、その結果として、自転車は自動車走行の妨げとなり、道路交通容量を低下させる原因となる。そこで、このような混合交通流の状態から自転車をうまく分離できれば交通渋滞の解消、自動車交通に対する容量増加に有効な手段と考えられる。

北京市内で自転車道として利用可能な道路構造部分に「胡同」と呼ばれる街路部がある。普通、この胡同は幅が比較的狭く交錯し、自動車道として利用しにく

いため、都市計画に有効に利用されていない。そこで、本研究では、この胡同に着目し、如何に「胡同」を有効に利用することによって交通容量をアップできるかを検討していくこととする。

本研究は、上記の背景を踏まえ、北京市の事例を通じて、胡同を利用した自転車専用道の計画方法の基本的な考え方を提案することを目的とする。また、交通流理論と動学理論^{[1][2]}に基づいて、自動車・自転車の混合流モデル(以下:混合流モデルと呼ぶ)の定式化および自転車専用道効果を分析する。本研究の成果は市街路を利用する自動車専用道の計画において適用することができ、ここで提案する混合流モデルは自動車・自転車混合交通流の解析に有効であると考えている。

2. 本研究の考え方

北京市には数多くの胡同がある。著者等は北京市内の数百本もある胡同に対する調査を行った。その結果、交通計画上で利用価値のある胡同(ここではその幅員が5m以上)は南北鑼鼓巷、東黃城根南北街、晨光街を始めとして合計107本があると判明した。

これまで、胡同を利用して道路ネットワークを形成することに対して、以下に示すいくつかの問題があることが指摘されている。

- 胡同の幅が狭く、直線の距離が短く、交錯、ジグザグ、突きあたりの胡同が多いため、そのまま自動車道として利用しにくい点が多い。
- 歴史・文化・風致保存および水系などの理由によってルートの変更や変更が不可能に近い場所が多く、ネットワーク化しにくい。
- 東西方向で利用可能な胡同が比較的が多いが、南北方向で利用可能な胡同は少ない。

以上の問題点から、胡同を自動車道として利用することは難しい点が多いといえる。これに対して、自転車は道路を占めるスペースが比較的少なく、自動車に比べると胡同を利用しやすい特徴がある。そのため、胡同を自転車道として利用し、自転車を既存の混合交通流からの分離を図ることが有効であると期待できる。

* キーワード: 交通流、交通容量、交通管理、自転車専用道

** 正 員 工博 北京工業大学副教授
(〒100022 北京市朝陽区平楽園100号、北京工業大学交通
研究センター、E-mail: hguan@bjpu.edu.cn)

*** 正 員 工博 山梨大学教授
(〒400-8511 甲府市武田 4-3-11、山梨大学工学部 Tel/Fax:
055-220-8533)

**** 正 員 工博 京都大学教授
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町、京都大学大学院工学
研究科 Tel: 075-753-5122, Fax: 075-753-5907)

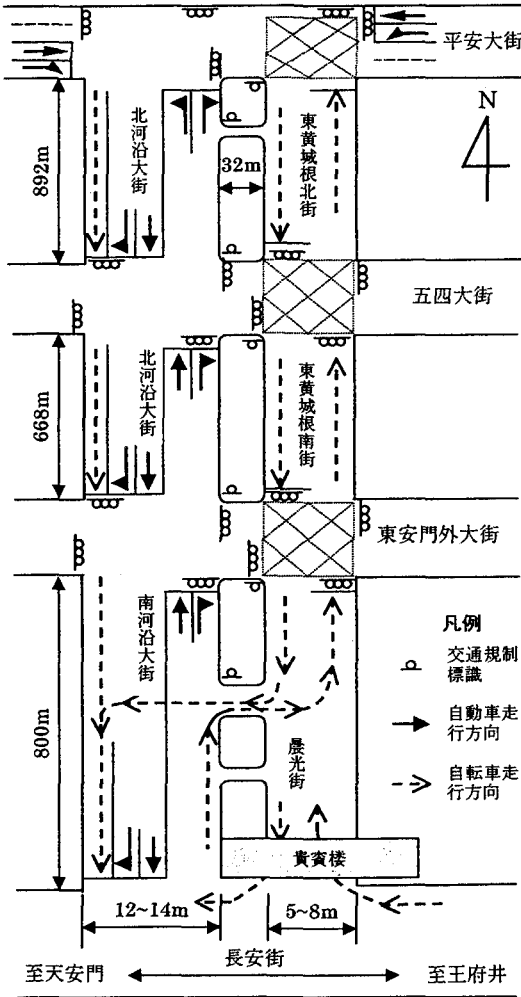


図-1 東皇城根南北街略図

ただし、自転車は人力の交通手段なので、利用者の体力などに制限されやすい。そのため、経路選択には最短経路を選択する傾向があるという性質をもち、それは混合交通流から自転車を分離できるか否かの条件にもなる。

胡同の特徴および自動車・自転車分離の条件を考えると、市内で自転車専用道を設け、幹線道路における混合交通流から自転車を分離する際には、できるだけ幹線道路と平行した、距離的には近い胡同を利用するという原則に従うべきであると考えられる。さらに、北京市の道路ネットワークの特徴を考えれば、南北方向の胡同の利用が優先されるべきである。

以上のような北京市内の胡同に対する基本的な考察に基づいて、本研究は図-1に示した東皇城根南北街、晨光街（以下：東皇城根(dong-huang-cheng-gen)と略称す

る）を自転車専用道の試行道路として提案する。東皇城根は北京市の中心部にある故宫（西側）と王府井（東側）のはほぼ真中に位置しており、平安大街（北側）と長安街（南側）に挟まれる。また、交通量の変動および付近住民の生活を考慮し、試行時間帯は平日の7:00～8:30と16:00～18:00となる。なお、この試行の経験に基づいて、今後自転車専用道の範囲を拡大する予定である。

東皇城根は西側にある南、北河沿大街から約30mの距離を離れており、南、北河沿大街とともに、自動車・自転車混合で利用されているのが現状であり、とくにピーク時における交通混雑が激しい。そこで、東皇城根で自転車専用道を設けて、南、北河沿大街での自転車を分離し、両街路の交通秩序の回復や交通容量の向上を図る。

上記の計画を実行するには、事前にその設置効果を定量的に把握することが不可欠である。しかしながら、既存の解析ツールは混合交通流の解析ツールとしては十分とは言えない。そのため、本研究は、以下に示す混合流モデルを解析モデルとして提案し、混合流モデルを用いて、自転車専用道の設置効果分析を行うことにする。

3. 混合流モデルの概要

図-1で示したように、自転車専用道の設置効果は単路部と交差点との2部分からなるが、本論文は単路部だけを対象とすることにす。また、混合流のタイプは多種多様であるが、本研究は図-2に示したタイプを対象とすることにす。以下では、混合流モデルの考え方を簡単に説明する。ここで、以下の4つを仮定する。

- ① 自動車道と自転車道との間には物理的な分離施設はない、
- ② 自動車の交通量が極端に大きくない単路部においては、通常、自転車と自動車は各自の車線

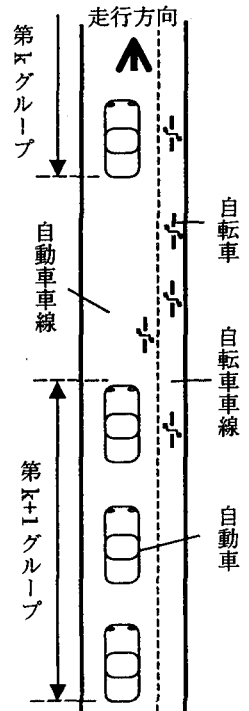


図-2 混合交通流

を走り、走行中の自動車がいくつかのグループが形成されている。③ 一方、ある自転車は前の自転車同志を追越すなどの原因で常に自動車車線に入ろうとする。ただし、この自転車は自動車車線に入ることができるのは、第 k グループの最後尾部の自動車と第 $k+1$ グループの先頭にある自動車との車頭間隔は安全と思われる区間（ここで、開区間と呼ぶ）の出現が条件とする。④ 自転車は、自動車車線に入った結果として、第 $k+1$ グループの先頭車両が近づくまでに自転車車線に戻らないときには自動車の速度が自転車より速いので、第 $k+1$ グループの自動車は自転車に近づくとき減速しなければならない。このとき、第 $k+1$ グループの前から後ろへ圧縮波が伝わる。その後、自転車が自転車車線に戻るまで、自転車の走行速度で追従する。自転車は自転車車線に戻ってから、第 $k+1$ グループの自動車は加速し、発進波が生じる。つまり、第 $k+1$ グループの自動車の交通流についてみると、減速（衝撃波）→追従→加速（発進波）という循環で変化する。

図-3ではその時間-空間軌跡図を示し、それについてみると、自転車の進入によって、第 $k+1$ グループの1台目の車は O で自転車に接近、 A まで追跡し、その後の車も減速して追従する。この減速によって形成された衝撃波は速度 ω_1 で伝播して、その値は破線 OB の傾きと等しい。また、自転車が自転車車線に戻ってから、車の加速によって、形成された発進波は速度 ω_2 で伝播しており、その値は破線 AB の傾きと等しい。この間、追従によって渋滞時間は t_B まで継続しており、渋滞の解消時間は $t_B - t_A$ となる。

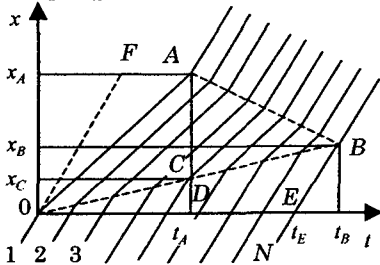


図-3 自動車時間-空間軌跡

本論文では自転車車線の相隣となる自動車車線の自動車のみに影響を及ぼすと仮定する。

上記の考え方に基づいて、次のように混合流モデルの定式化をする。

4. 混合流モデルの定式化

自転車専用道の効果を解析するためには、ある時間帯内で、自転車が自動車車線に進入する回数を掛算す

ることと、自転車が自動車車線に進入することによる影響を把握することが必要となる。ここで、自転車の自動車車線への進入現象は、開区間の出現回数モデルと自転車の開区間への進入確率モデルからなり、自転車進入の影響は衝撃波モデルと発進波モデルからなる。

(1) 開区間の出現回数モデル

開区間の出現とは、長さ L の単路部で、任意の l の区間内に、車の到着がないことと仮定できる。したがって、もし、自動車のランダム到着がポアソン分布に従うと仮定すれば、長さ L (km) の単路部において平均速度 V (km/hr.)、交通量 Q (台/hr.) の交通流に対して、開区間 τ (sec.) の出現の確率 P_0 は次式で計算される。

$$P_0 = e^{-m} = e^{-\frac{Q\tau}{3600}} \dots\dots\dots (1)$$

すると、開区間出現回数 N_0 は次式で計算できる。

$$N_0 = Q \cdot P_0 = Q \cdot e^{-\frac{Q\tau}{3600}} \dots\dots\dots (2)$$

(2) 自転車が開区間への進入確率

一般的に、自転車の開区間への進入は進入の条件と関係がある。実際に、単路部において開区間が出現しているにもかかわらず、自転車が開区間に入ったとは限らない。しかし、自転車の交通量が大きければ大きいほど、自転車が開区間に進入する需要が出てきて、その確率も高くなると考える。つまり、開区間の出現は、自転車がそれに進入するチャンスがあるだけを意味し、必ずしも進入とは限らない。自転車交通量が十分大きくなって、自転車は自分の車線で追越ができなくなるとはじめて開区間への進入する需要が生ずる。したがって、自転車の開区間への進入確率は、自転車交通流の密度に密接な関係があるものと仮定できる。そこで、本研究は、表-1で示すように自転車の開区間への進入の確率 P_b を自転車流密度に対応づけて5段階のレベルに分けて提案する。

結局、対象となる単路部における自転車の開区間への進入件数 N は式(3)で計算できる。

表-1 自転車の開区間への進入の確率

サービ ス レベル*	自転車流密 度の逆数 ($m^2/台$)	自転車流の状況	進入確 率 P_b
1	>9.0	自由行進	0.00
2	9.0~7.0	ほぼ自由行進	0.25
3	7.0~5.0	スムーズな交通流	0.50
4	5.0~3.0	ほぼ渋滞	0.75
5	<3.0	渋滞流	1.00

*出典：中国公路学会「交通工学手冊」編委会、交通工学手冊、人民交通出版社、1998。

$$N = P_b \cdot N_0$$

$$= P_b \cdot Q \cdot e^{-\frac{Q \cdot \tau}{3600}} \dots \dots \dots (3)$$

(3) 衝撃波モデルと発進波モデル

交通動学理論(traffic dynamics theory)^[4]によると、衝撃波と発進波の移動速度は次式で計算される。

$$\omega_1 = (Q_2 - Q_1) / (k_2 - k_1) \dots \dots \dots (4)$$

$$\omega_2 = (Q_3 - Q_2) / (k_3 - k_2) \dots \dots \dots (5)$$

ただし、 ω_1 ：渋滞流の延長の速度、 Q_1 ：自転車に接近前の交通量、 Q_2 ：渋滞流の交通量、 k_1 ：自転車に接近前の密度、 k_2 ：渋滞流の密度、 ω_2 ：渋滞流の延長の速度、 Q_3 ：自動車加速後の交通量、 k_3 ：自動車加速後の密度である。

したがって、道路サービスレベルに関する諸変数の値は次のような式で得られる (図-3 参照)。

渋滞流の解消時間は

$$t_0 = t_B - t_A \dots \dots \dots (6)$$

であり、渋滞の継続時間は

$$t_j = t_B \dots \dots \dots (7)$$

となる。また、渋滞が最も長い時の渋滞の長さは

$$N_m = (x_A - x_C) \cdot k_2 \dots \dots \dots (8)$$

となり、渋滞総車両数は

$$N_C = t_E \cdot Q_1 \dots \dots \dots (9)$$

である。自転車は自動車車線に進入することによる遅れは、次式で計算される。

$$D = 0.5 \cdot (t_A - t_F) \cdot N \dots \dots \dots (10)$$

したがって、以上の諸式を用いて、道路のサービレベルに関する諸変数を求めることができ、自転車専用道の効果を分析することができる。

5. 自転車専用道実行効果の分析

本研究では、表-2 に示す条件のもとで、自転車の開区間における停留時間を変数としてシミュレーションを行った。その結果は図-4 に示した。

表-2 シミュレーションの条件 (一例)

項目	自動車 交通量 (台/hr.)	自転車 交通量 (台/hr.)	自動車 速度 (km/hr.)	自転車 速度 (km/hr.)
値	1400	720	25	12

図-4 によると、表-2 に示した条件のもとで、自動車専用道の導入によって、単路部の自動車の総遅れ時間は自転車の停留時間によって異なるが、最大 0.8 時間の節約が見込まれる。また、紙面の都合で、計算方法^[2]

を示すことができないが、交通容量の試算によって、自動車に関する交通容量が実行前よりほぼ倍増となり、自転車に関する交通容量が 3.7% の増加が見込まれるので、導入効果としては自動車に対して大きく、また、自転車に対しても幾分の容量増加が得られることがわかった。

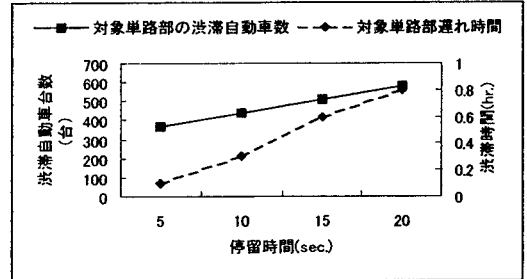


図-4 シミュレーションの結果

6. まとめ

本論文では、北京市内の胡同を利用して自転車専用道を設け、幹線道路での自動車/自転車混合交通流から自転車を分離し、幹線道路の交通容量の向上を図る方法と北京市内の調査に基づいた東黃城根でその試行実験の概要および自転車専用道の設置効果の分析のための混合流モデルを提案した。そして、シミュレーションを用いて、提案した自転車専用道の設置効果の一例を示した。その結果、自転車専用道設置に関して混合モデルを用いたシミュレーションテストより自動車への影響効果が大きいことがわかった。

なお、北京市の関係機関ではこの胡同の自転車専用道利用計画を実行へ移し、それによる影響把握の検討が本格的にはされる予定となっている。

謝辞 本論文の作成にあたっては、北京工業大学任福田教授から貴重な助言をいただいた。ここで紙面を借りて感謝の意を表します。

参考文献

[1] 関宏志等, 勁松東口通行能力的解析与改造措置の評価, 邁向二十一世紀的中国城市交通, 地震出版社, pp. 287-294, 1999年。(中国語)

[2] 西井和夫・関宏志・田中厚, 通勤・帰宅時間帯におけるQ-V特性分析の基礎的考察:P&BR社会実験対象ルートを対象として, 第18回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 161~164, 1998年.

[3] 交通工程手冊, 人民交通出版社, 1998年。(中国語)

[4] 佐佐木綱監修, 飯田恭敬編集, 交通工学, (株)国民科学社, pp. 138-149, 1992年.