

都市内多車線道路における緩速車線を用いた交通運用策の提案と評価

Proposal and Evaluation Analysis of the Slow-Vehicle Lane for Multilane Road in Urban Area

吉岡 慶祐¹, 下川 澄雄², 森田 緯之³, 茂木 翔平⁴, 土屋 克貴⁵

Keisuke YOSHIOKA¹, Sumio SHIMOKAWA², Hirohisa MORITA³, Shohei MOGI⁴, and Katsuki TSUCHIYA⁵

わが国の道路は、旅行速度の観点において高い層と低い層に二極化されており、この間を埋める階層（中間速度層）の道路が十分ではない。これに対して、都市内における多くの多車線道路は、通行機能が期待されているにもかかわらず、高いサービス速度が実現できていない。本研究では、既存の道路空間内でサービス速度を向上させるための手段として緩速車線を用いた新たな交通運用策を提案し、環状7号線をケーススタディとして、交通円滑性の観点から評価を行った。

その結果、本交通運用策により本線の旅行速度に大幅な向上が見られ、全体の総走行時間が減少することが明らかとなった。さらに、沿道アクセスの必要性によっては、運用の工夫も可能であることが示された。

In Japanese road network, there is a large difference between high and low speed class, and the intermediate hierarchy filling this gap is not sufficient. In contrast, most of multilane roads in urban area have not been achieved a certain level of travel speed, although this kind of roads are typically expected to perform the traffic function. Therefore, in this study, traffic operation using slow-vehicle lane as one solution to improve travel speed within the existing road space is proposed and evaluation analysis with the case study for "Loop Road No.7 (Kan-nana Dori)" by traffic simulation is conducted from the point of traffic smoothness.

As a result, due to the proposed traffic operation, it is shown that travel speed of main traffic is drastically improved and the whole travel time of all directions is decreased. Moreover, operating modification according to the necessity of accessibility is also shown to be applicable.

Keywords: 多車線道路, 緩速車線, 通行機能, 交通円滑性

Multilane Road, Slow-vehicle Lane, Traffic Function, Traffic Smoothness

1. 背景と目的

効率的な道路交通を実現するためには、階層性を有する道路ネットワークの構築が不可欠である。しかし、わが国の道路は、高速道路のような旅行速度が高い層と旅行速度の低い一般道路に二極化されており、その間を埋める、いわゆる「中間速度層」が十分でないことが指摘されている¹⁾。

ここで、都市内の道路に着目すれば、通行機能が期待される多車線道路においても旅行速度が低い区間が多数存在しているが、その原因の多くは沿道出入りや信号交

差点による遅れの影響によるものである。これらを抜本的に解決するには、バイパス整備や立体化などが考えられるが、特に都市内の限られた用地制約の中で実現することは困難な場合が多い。

そこで本研究では、既存の道路空間を活用した都市内多車線道路のサービス速度向上策の一環として、緩速車線を用いた新たな交通運用策を提案する。さらに、交通シミュレーションをもとに交通円滑性の観点から評価を行うことを目的とする。

-
- 1 正会員, 修士 (工学), 日本大学理工学部交通システム工学科
Member, ME, College of Science and Technology, Nihon University
〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1 e-mail: yoshioka.keisuke@nihon-u.ac.jp Phone: 047-469-5503
 - 2,3 正会員, 博士 (工学), 日本大学理工学部交通システム工学科
Member, Dr. Eng, College of Science and Technology, Nihon University
 - 4 学生会員, 学士 (工学), TOP, 日本大学大学院理工学研究科社会交通工学専攻
Student Member, BE, TOP, Graduate School of Science and Technology, Nihon University
 - 5 正会員, 修士 (工学), (株) オリエンタルコンサルタンツ
Member, ME, Oriental Consultants Co., Ltd.

2. 新たな交通運用策としての緩速車線の提案

2.1 速度向上策にかかわる既往研究

本研究では、通行機能が期待される道路が、既存の道路空間を再編しながらその機能を十分実現できる交通運用策を提案することを念頭に置いている。

一社) 交通工学研究会の基幹研究課題「道路の交通容量とサービスの質に関する研究」の成果¹⁾では、拠点間の連絡レベル、交通機能の観点から道路の階層構造とそれに応じた目標旅行速度および道路構造を設定している。この中では、都市内であっても、主要な拠点間を連絡する幹線道路においては、一定程度の速度サービスを実現する通行機能を重視した一般道路の重要性についても指摘している。さらに、下川ら²⁾は、わが国では、高速道路と(低速の)一般道路の間を埋める 50~60km/h 程度の速度サービスを有する道路階層(中間速度層)が希薄であり、円滑で効率的な道路利用を実現するには、通行機能が期待される道路において、このような速度サービスを実現すべく効果的な交通運用策を講じていくべきであることを簡易なモデルによるシミュレーション結果により指摘している。

これに対する具体的な対策として、例えば、山川ら³⁾は、2+1 道路やラウンドアバウトなど旅行速度の向上を可能とする既存の対策例を体系的にレビューしている。しかしながら、ここで示される対策を実施した場合に旅行速度がどの程度向上するのか十分な検証が行われているわけではない。また、これらの対策を既存の制約された道路空間の中で実現することは困難な場合が多く、特に土地利用に制約がある都市部において実現は難しいと言わざるを得ない。

一方で橋本ら⁴⁾や内海ら⁵⁾は、旅行速度に対して影響を与える道路構造の要因について数量化 I 類による分析を行っている。その結果、信号交差点密度やアクセスコントロールなどが、旅行速度への影響が大きい要因としてあげている。また、野村ら⁶⁾は、中間速度層を旅行速度 50km/h としたうえで、これを実現するための信号交差点密度と青時間比との関係を示している。これらの既往研究で示されているように、信号交差点間隔を疎とすることは旅行速度の向上には有効であると言える。しかし、これは新設道路であれば可能であろうが、既存の道

路ネットワークにおいて信号交差点を除去するためには、副道の設置や一部交差点の立体化が必要となるなど新たな道路空間が求められ現実的ではない。

このように、既往研究のレビューからは、わが国において通行機能が期待される道路が必要とされる中間速度層を、既存の道路空間の再編によって見出すことは極めて困難であると言える。

2.2 通行機能向上策としての緩速車線の意義

平成6年11月に旧建設省が地域高規格道路の整備にあたり構造要件を定めた通達⁷⁾では、既成市街地に地域高規格道路を新設で整備する際に、副道によりアクセス制限を行う構造を可能としているが、副道の設置が著しく困難な場合においては、計画交通量によって算出される車線数に「緩速車線」として上下方向に1車線以上ずつ付加した構造を採用することを可能としている(図1参照)。ここで、緩速車線とは、沿道出入り交通の通過のため、本線車道と接して設けられる車線で、本線交通とは区画線、柵等によって明確に区分されているものと定義されている。これにより、沿道へのアクセス車両と本線交通との錯綜を抑制し、安全性の向上や本線交通の速度低下を最小限に留めることを目的としている。このように緩速車線は、都市内道路における沿道出入り制限に代わる対応方法の一つとなり得るが、これまでわが国において適用された事例は存在していない。

しかしわが国では、人口の減少にともない交通量そのものが減少傾向を示している。また、これに加え、特に都市内では環状道路など道路ネットワークの体系的な整備により交通の分散がなされ交通負荷量が減少すること

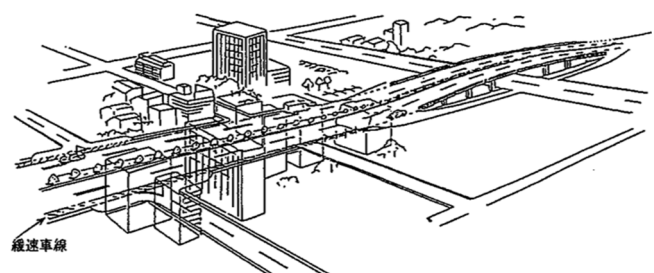


図1 地域高規格道路の構造タイプ⁷⁾
(緩速車線を設けたもの)

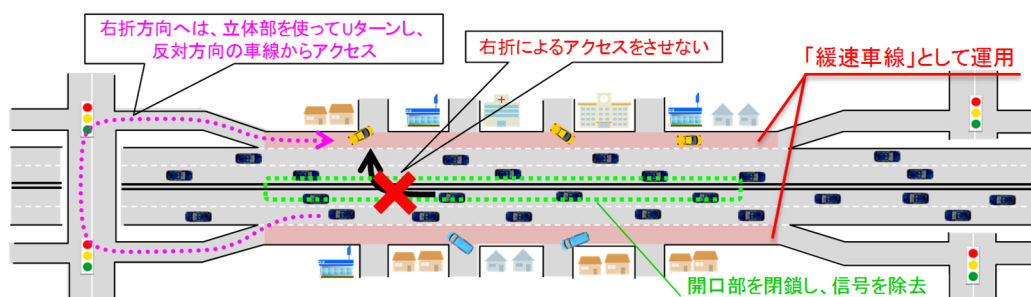


図2 本研究で考える緩速車線を用いた交通運用策のイメージ

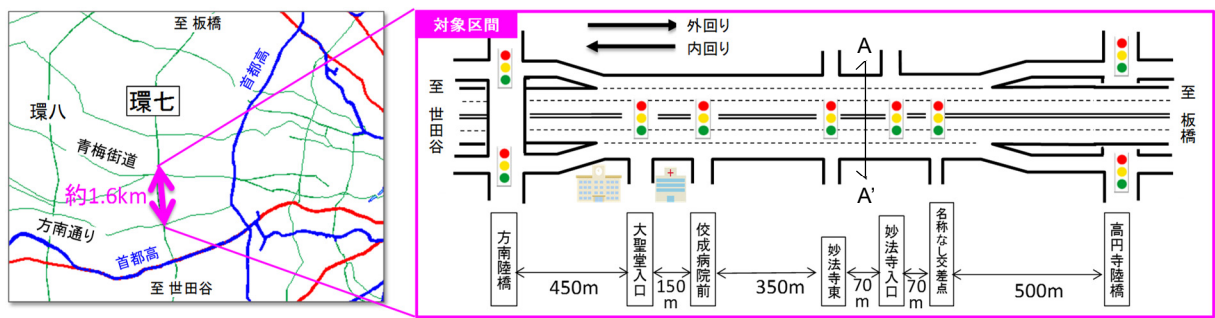


図3 対象区間の道路概況

が予想される。つまり、今後当初予定していた計画交通量を大きく下回り、多車線道路にあっては交通容量との対比の中で必要車線数に余裕が生まれる可能性がある。このような場合にあっては、既存の道路空間の中で緩速車線を有する道路構造を実質的に実現することができそうである。さらに、これに加えて、主要な交差点が適度に立体化されていれば、信号交差点密度を減らし旅行速度を向上させることが可能であり、本研究で目標とする、通行機能が期待される道路において既存の道路空間を再編しながらその機能を十分実現するための一つの方法となり得るものと考えられる。ちなみに、これまでの既往研究レビューの中では、欧州において緩速車線を用いた交通運用策はみられず、これに関わるガイドライン等も確認できていない。

2.3 本研究で提案する緩速車線を用いた交通運用策

本研究で提案する緩速車線は、2.2 で述べた旧建設省による通達で示されているような、新設道路に付加される車線ではなく、既存の道路空間を再編する中で設ける車線を想定しており、そのイメージを図2に示す。立体交差点を有する6車線以上の道路において、信号交差点を除去し開口部を閉鎖した状態で、第1車線を接続道路とのアクセスのために用いる緩速車線として運用し、右折方向へ出入りする際は、先の立体交差点でUターンをして反対車線から左折によりアクセスするものである。これにより区間内の信号交差点が不要となり、直進および左折のみの運用が可能となるため、信号交差点による遅れの解消と旅行速度の向上が期待される。

ここで、上記で述べた交通運用策は、立体交差点を有する多車線道路であれば構造的に適用が可能であるが、4車線道路の場合は、緩速車線を除いた走行車線が1車線となることから、走行速度を低下させ、緩速車線と走行車線との棲み分けができなくなってしまう可能性がある。また、多車線道路においては種々のイベントにともなう交通変動に対して通行機能を確実に確保する必要がある。これらのことから、緩速車線の適用は、立体交差点を有する6車線以上の道路を想定している。さらに、緩

表1 対象区間における交通状況

	内回り	外回り
非混雑時旅行速度※1	31.2km/h	28.8km/h
ピーク時間交通量※2	1,852 台/h	1,924 台/h
第1車線利用率※2	24%	21%

※1：H22 道路交通センサスによる

※2：山口ら⁸⁾の調査結果による(図3A-A'断面)

速車線の効果が十分に発揮されるのは、現状で高い速度サービスが実現できておらず、総じて交通量が少なく、特に第1車線が有効に利用されていないケースである。また、Uターンが可能な立体交差点間の距離が長いと、右折によりアクセスする際の迂回が大きくなり、かえって効果が発揮できない可能性がある。以上を踏まえ、本研究で考える緩速車線を用いた交通運用策は、以下の条件にあてはまる区間での適用が考えられる。

- ① 6車線以上の多車線道路であること。
- ② 通行機能が期待されるものの、高い速度サービスを実現できていないこと。
- ③ 交通量が車線数に対して余裕があり、第1車線の利用率も少ないこと。
- ④ 接続する交差点や沿道への出入り交通量が比較的少ないこと。
- ⑤ 主要な交差点が立体化されており、Uターンが可能であること。
- ⑥ 立体交差点の間隔が適度に短いこと。

3. 緩速車線による交通円滑性の評価

3.1 ケーススタディ対象区間の概要

(1) 対象区間の交通状況

本研究では、図3に示す環状7号線高円寺陸橋～方南陸橋間1.6kmの区間をケーススタディとして、緩速車線の適用による交通円滑性の評価を行った。環状7号線は通行機能が期待される6車線道路でありながら、対象区間には出入りの少ない信号交差点が5箇所存在し、表1に示すように平均旅行速度は約30km/h程度と低いサービス状況となっている。一方、中央環状線の開通等の影響により交通量は減少傾向にあり、車線数に対して交通量に余裕が生まれており、さらに第1車線の利用率も低

い状況である。以上のことから本対象区間は、2.3 で示した①～⑥の緩速車線を用いた交通運用策の適用が考えられる区間に合致している。

さらに、対象区間内には既存の立体横断施設が3箇所存在しており、信号交差点が除去された場合においても、多少の迂回が発生するケースは考えられるものの、横断歩行者・自転車の利便性を著しく損なうものではないと考えられる。

(2) OD 交通量特性

表2は対象区間内における交通量特性（6時～12時の6時間合計）を、OD別に整理したものである。ここでOD交通量の作成にあたっては、交通量調査・ナンバープレート調査からマッチング処理を行って推定することとした。ただし、調査の負担を軽減するために調査は主要な断面および交差点のみとし、細街路交差点への出入り交通については、別途1サイクル当たりの平均的な出入り台数をカウントし、足し合わせたうえで全体の交通量の大小関係が整合するように調整を行い、区間全体のOD表を1時間単位ごとに作成した。

この結果によると、区間内を直進のみで通過する交通（区間内で沿道出入りを必要としない交通）が全体の約80%を占めていることがわかる。一方、区間内の各信号交差点への出入り交通量は総じて少ないが、大聖堂交差点は他の交差点と比較して出入り交通が多い。

3.2 シミュレーションによる評価方法

本研究では、狭域な範囲において、緩速車線を用いた交通運用策に関する交通円滑性の評価を行うため、車線別の利用特性や交差点部での遅れの評価に有効と考えられるミクロ交通シミュレータ（Vissim）を用いることとした。2.3 で示した緩速車線を用いた交通運用策においては、第1車線は交差点や沿道施設へのアクセス専用の車線となり、それ以外の通過交通は第2車線または第3車線を走行するような交通運用となる。これを再現するため、以下のとおり車線選択が行われるような経路を、シミュレーション上に設定した。その際、一部区間において実データによる verification を行い、想定通りの走行が再現されていることを確認した。

- ① 対象区間の通過交通は緩速車線を利用しない。
- ② 本線から従道路へ左折する場合は、目的の交差点と一つ前の交差点との間で緩速車線に車線変更する。
- ③ 従道路から本線へ合流する場合は、合流する交差点からその次の交差点との間で適当なギャップを見つけて、緩速車線から第2車線へ車線変更する。
- ④ 本線から従道路に右折したい車両は、先の立体交差点でUターンし反対車線から左折する。
- ⑤ 従道路から本線へ右折したい車両は、本線に進入後、

表2 OD 別交通量特性（単位：台/6h）

流出 流入	環七本線 (高円寺)	高円寺 分岐	妙法寺	病院前	大聖堂	方南町 分岐	環七本線 (方南町)	計
環七本線(高円寺)			150	229	1037	1173	6466	9055
高円寺分岐			40	62	28	35	2199	2364
妙法寺	24	9		1	6	6	32	78
妙法寺東(東側)	186	68	13	17	49	35	256	624
妙法寺東(西側)	92	35	4	7	24	18	122	302
病院前	120	42	5		32	22	163	384
大聖堂	616	29	19	28		9	371	1072
方南町分岐	1266	27	23	35	11			1362
環七本線(方南)	4794	2257	137	207	639			8034
計	7098	2467	391	586	1826	1298	9609	23275

※妙法寺東は一方通行（流入のみ）

OD内訳	交通量	割合
区間内を通過するOD	18217	78%
区間内で左折を伴うOD	2634	11%
区間内で右折を伴うOD	2424	10%

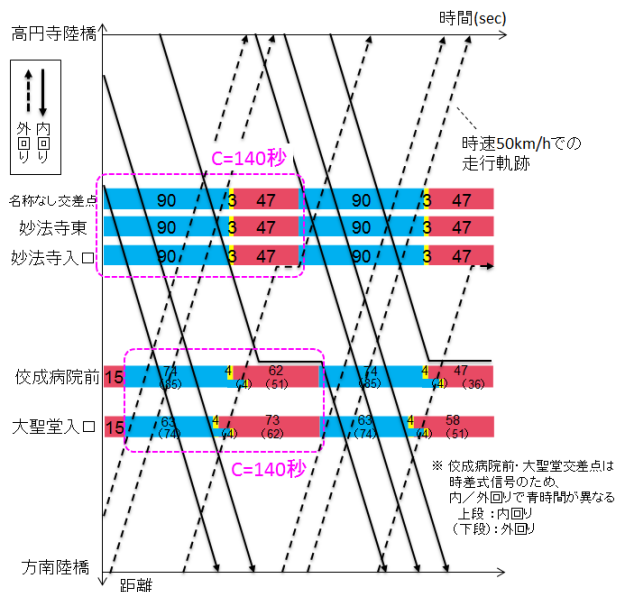


図4 信号現示とスルーバンド図

先の立体交差点でUターンして反対車線へ合流する。なお、緩速車線のサービス速度は、路線バスや自転車と同様の走行空間を利用することや本線との速度差を踏まえて、本研究では30～40km/hを想定するものとした。また、運転者の追従挙動モデルは、Vissimに実装されている都市内道路での一般的な追従挙動モデルであるwiedemann74を用いている。このモデルは、運転者が速度と加速度に応じて安全な車間距離を保つことを前提としたものであり、本研究で提案する交通運用策を適切に評価できるものであると考えられる。

そのほか、交通シミュレータに入力するデータセットとして、(2)で推定したOD交通量のほか、現地観測で得た信号現示データをシミュレーションに設定した。対象区間中の細街路交差点との信号現示は、図4に示すようにサイクル長が等しく系統が取られている。シミュレーションにおいても観測結果と同じ信号現示およびオフセットを設定している。

なお、シミュレーションの実行時間は6時～12時の6時間、試行回数は5回とし、シミュレーションの各種結果は5回の平均を取ったものとしている。また、ケーススタディの対象とした環状7号線は、歩行者・自転車の

横断交通が一定程度存在するが、本研究では通行機能が期待され一定の速度サービスを実現するための道路空間の再編を念頭に置いているため、歩行者・自転車交通は考慮していない。

3.3 現況再現性の確認

シミュレーションを実行するにあたり、各信号交差点の飽和交通流率、主要断面の交通量および車線利用率、旅行速度について現況再現性の確認を行った。ここで、車線利用率、旅行速度に着目したのは、本研究では車線利用の偏り、とりわけ第1車線の運用に着目しており、これによる速度向上を期待しているためである。

図5は、図3に示すA-A'断面における第1車線の利用率(内回り)について現況再現性を確認した結果である。時間帯によってOD特性が異なるが、各時間帯とも観測値に対して±1%程度の差であり、外回りについても同様の結果であったことから、車線利用の特性を良好に再現しているといえる。図6は高円寺陸橋～方南陸橋間の旅行速度(内回り)の観測値とシミュレーション結果を、速度帯別の車両割合として比較したものである。35～40km/hの速度帯において6%程度の差はみられるものの概ね現況値を再現していると判断される。また外回りについても、最大の速度帯で4%の差であり、両方向ともに旅行速度の再現性についても良好であると考えられる。区間内で最も出入り交通の多い大聖堂交差点においては、各流入部の飽和交通流率(歩行者の影響を受けない)を調査し、その差はいずれの流入部も1%以下であった。なお、他の信号交差点についても、一般に交差点設計で用いられる飽和交通流率と同程度の値が実現している。なお、主要断面の時間帯別の交通量についても、現地観測の結果と同等の値となっていることを確認している。

3.4 交通円滑性の評価結果(基本ケース)

(1) 本線旅行速度

図7は、緩速車線を適用し、対象区間内の信号交差点をすべて除去した際の本線旅行速度の変化を示したものである。緩速車線の導入により、内回り・外回りともに区間内の旅行速度が50km/h以上に向上する結果となった。これは、区間内の信号を除去したことにより、信号交差点における遅れが発生しないためである。

(2) 総走行時間

図8は、緩速車線導入後も区間内のOD交通量が変化しないと仮定した場合の、区間内を走行する全車両の総走行時間を比較したものである。その結果、区間全体で総走行時間が約30%減少する結果となった。また、走行形態別に比較すると、本線を直進のみで通過する車両や、区間内で左折方向の出入りをともなう車両については、約40%の減少となった。一方、区間内で右折方向に出入

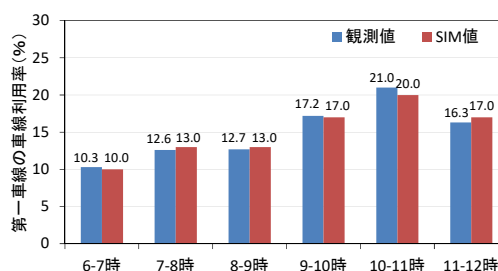


図5 車線利用率(内回り)の現況再現性

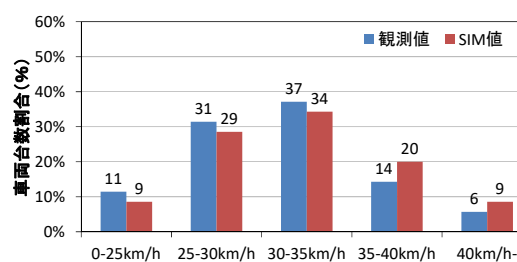


図6 旅行速度(内回り)の現況再現性

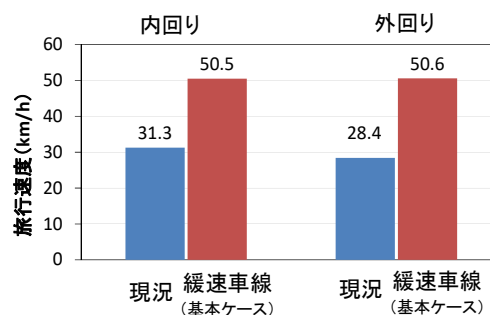


図7 本線旅行速度の変化

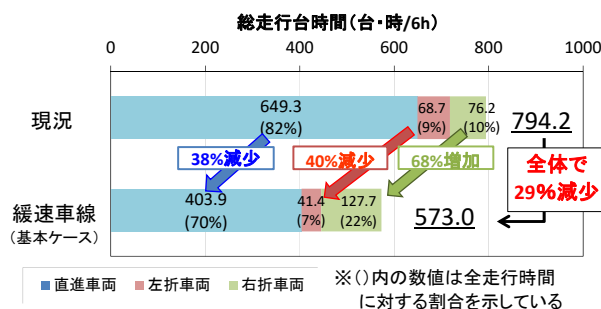


図8 総走行時間の変化

りをともなう車両については、右折方向のアクセスが不可となり、区間両端の立体交差部まで迂回する必要があることから、総走行時間は約70%の増加となった。しかし、本対象区間のようにOD交通量の大半が通過交通を占める場合においては、右折をともなう交通の総走行時間の増分に対して、直進交通の減少分が極めて大きいため、全体として総走行時間の短縮が期待される。

(3) 二酸化炭素排出量

緩速車線の導入により旅行速度が向上することで、CO₂などの排出ガスの減少も期待できる。図9は、大城から〆のCO₂排出原単位を用いて、緩速車線導入前後での

区間内の年間のCO₂排出量を比較したものである。ここでは、(2)に示した6時間のシミュレーション結果を基に、各OD別の平均旅行速度から1台あたりのCO₂排出量を算出し、H22年度道路交通センサスの平休別の日交通量に単純に拡大し年間換算している。その結果、約10%の減少となり、環境面においても効果が期待できることが確認された。

(4) 緩速車線がもたらす便益額

図10は、緩速車線導入による走行時間短縮便益と走行経費減少便益を示したものである。算出に当たっては、費用便益分析マニュアル¹⁰⁾に従うこととし、走行費用・走行経費の原単位は、大型車・小型車の2車種別とした。また、ここでも同様に(2)のシミュレーション結果から1台あたりの平均の所要時間短縮分を算出し、H22年度道路交通センサスの平休別の日交通量に単純に拡大し、年間の便益額を算出することとした。

その結果、(2)で示したように総走行時間が減少することで、年間5.6億円の走行時間短縮による便益が得られる結果となった。一方、走行経費については、右折をとまう交通は走行距離が増加するため、0.6億円/年の増加となった。しかし、走行時間短縮による便益が大きく、全体では5.0億円/年の便益が得られる結果となった。

なお、ここでは金額換算していないが、信号交差点が除去されることで、交差点部での追突事故や右折対直進事故の減少が期待できるほか、信号機の設置費用や維持管理費用も削減できることも補足しておく。

3.5 信号交差点を残した場合の評価（ケース①・②）

緩速車線を導入した際、右折を要するODは迂回により所要時間が増加する。また、区間を横断しようとする歩行者・自転車に対しては、立体横断施設があったとしても、それらの横断に支障を来すことも懸念される。そのため、緩速車線の導入により全ての信号を除去する場合（基本ケース）に加えて、区間内に信号交差点を残す場合も想定される。本ケーススタディの対象区間においては、高校の出入口となる大聖堂入口交差点と、病院の出入口となる佼成病院前交差点が存在し、この2交差点が隣接していることから、これらの交差点については信号交差点のまま存置させるケースを考えた。

図11、図12のケース①は、この2つの信号交差点を存置し、サイクル長を適正化したケースの旅行速度と総走行時間を示している。旅行速度は信号を全て除去した場合と比べて低いが、現況よりも10km/h程度の向上は見込まれる結果となった。また、右折を要するODの総走行時間については、現況とほぼ変わらない結果となった。一部の信号交差点を残すことで、本線の速度サービスが50km/hまで確保されることは難しいが、現状に対して一定の効果が発揮される結果となった。

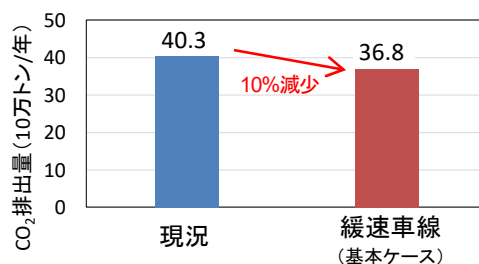


図9 二酸化炭素排出量の変化

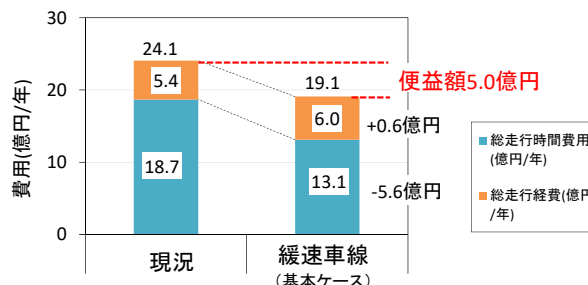


図10 緩速車線導入による便益額

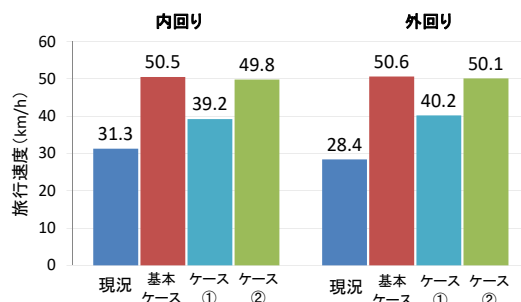


図11 信号交差点を存置した場合の旅行速度の変化

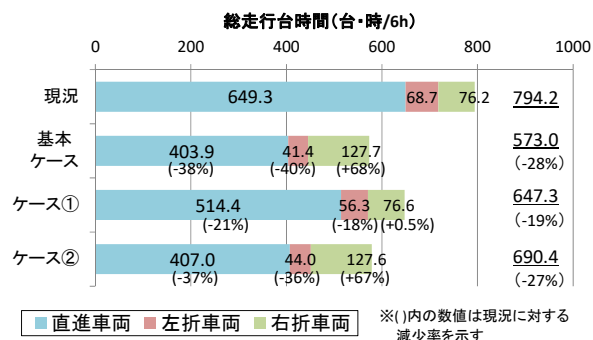


図12 信号交差点を存置させた場合の走行時間の変化

一方、図11、図12のケース②は、全ての信号交差点を除去する（基本ケース）ものの、佼成病院前交差点で救急車両が出入のための信号（ここでは、仮に1時間に2回、青30秒と設定）を設けた場合の旅行速度と総走行時間を示している。この場合、全ての信号を除去した場合と同程度の時間短縮効果が期待される結果となった。本線の通行機能を重視しつつ、緊急車両のアクセスを確保する必要がある場合には、このような対応も有効であるものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、通行機能が期待され、適度に立体交差点が存在する都市内多車線道路において、既存の道路空間を活用したサービス速度向上策として緩速車線を提案した。さらに交通シミュレーションを用いたケーススタディにより、交通円滑性の観点から評価を行った。その結果、信号交差点を除去し緩速車線を適用した場合、旅行速度が 50km/h 程度に向上し、全体の総走行時間も約 3 割減少するなど、本来期待される通行機能が確保されることが確認できた。また、信号交差点を一部存置させ緩速車線を適用した場合でも 10km/h 程度の旅行速度の向上が期待される結果を得られた。このように、アクセス交通の少ない細街路との信号交差点により速度が低下している区間では、本研究で提案した交通運用策により、速度サービスの向上が期待できることが明らかとなった。なお、このような緩速車線は、都市内に限るものではなく、地方部のバイパスなどにおいても適用可能な区間は少なからず存在することは想像に難くない。

今後は、緩速車線の適用可能な交通条件について交通シミュレーションを用いた感度分析などにより明らかにし、一般化を図っていく。その際には、立体交差点間隔が長い場合の開口部での U ターン路による運用との組み合わせや、4 車線道路への適用可能性なども視野に入れた検討も行う予定である。

また、本研究のケーススタディで扱ったような都市内での適用を考えた場合、緩速車線を用いた交通運用策は信号交差点が除去されることから、そのトレードオフとして自転車や歩行者・車いすの移動円滑性を阻害し、ひいては地域分断をもたらすことにもなりかねない。そのため、2 段階横断付きの歩行者信号の設置など、交差点での車両の遅れ時間を減らしつつ、歩行者の円滑性を損なわない横断方法の検討を行っていく。さらに、交通シミュレーションによる自動車・歩行者等の双方からみた遅れ時間の変化を把握し、非車利用者を含めた利用者全体の評価を行う予定である。

参考文献

- 1) 一般社団法人交通工学研究会：平成 24 年～26 年度基幹研究課題「道路の交通容量とサービスの質に関する研究」最終成果報告書，2015.8
- 2) 下川澄雄，森田綽之，土屋克貴：道路ネットワークにおける中間速度層の意義と適用範囲，土木学会論文集 D3，Vol.71，No.5，pp.I_613-I_622，2015.
- 3) 山川英一，内海泰輔，泉典宏，野見山尚志，若林糾：道路階層別の走行性能を実現するための道路構造条件と道路階層区分相互の接続方法，土木計画学研究・論文集，Vol.51，CD-ROM，2015.6
- 4) 橋本雄太，小林寛，山本彰，中野達也，高宮進：信号交差点密度等の道路状況と旅行速度の関係についての実態分析，土木計画学研究・講演集，Vol.47，2013.
- 5) 内海泰輔，泉典宏，山川英一，野見山尚志，若林糾：交通性能照査型道路計画・設計のための走行サービス実態分析，土木計画学研究・講演集，Vol.49，2014.
- 6) 野村昭博，下川澄雄，森田綽之：地方部の道路において中間速度層を実現するための道路構造の提案，土木計画学研究・論文集，Vol.51，CD-ROM，2015.6
- 7) 道路広報センター：地域高規格道路-平成 13 年度版，pp.40-45
- 8) 山口敬輔，下川澄雄，森田綽之：通行機能が期待される一般道路 6 車線区間における車線利用に関する分析，第 42 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集，2015.3
- 9) 大城温，松下雅行，並河良治，大西博文：自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数，土木技術資料，Vol.43，No.11，pp.50-55，2001.11
- 10) 費用便益分析マニュアル：国土交通省道路局都市・地域整備局，2008.11