

tiss-NET によるバス優先方策の効果分析 —鎌倉地域を対象として—

Simulation analysis of bus priority schemes by tiss-NET

小原 誠** 坂本 邦宏*** 久保田 尚**** 高橋 洋二*****

by Makoto OHARA, Kunihiro SAKAMOTO, Hisashi KUBOTA and Yoji TAKAHASHI

1. はじめに

余暇活動の増加による休日の観光地における交通混雑は深刻であり、それ対処する方法として TDM が脚光を浴びている。本研究では、休日に多くの観光客が訪れる鎌倉を対象とする。鎌倉駅を中心とした鎌倉地域は、地域外から多くの自動車交通により混雑が慢性化している。そこで、鎌倉地域交通計画研究会（以下、研究会）を発足させ、TDM を軸とした施策により交通状況を一変させようという試みが始められている¹⁾。本研究では、その中で公共交通機関、特にバス交通に着目しバス優先方策を講じた際のインパクトについて言及する。

TDM のみならず施策を導入する場合、対象とする地域およびその交通特性に見合った方策を講じることが必要である。そのため施策の効果を事前に十分検討することが重要であり、また近年の複雑な要因が絡み合った交通状況を顧みると、その評価手法としてシミュレーションの果たす役割が非常に大きいことが認識されている。本研究では、埼玉大学で開発された交通シミュレーションシステム tiss-NET²⁾を利用して、バス優先方策の導入効果を評価可能なシステムの構築、およびそのシステムを用いて鎌倉地域に提案されているバス優先方策の評価を行なうことを目的とする。

2. tiss-NET へのバス車両の組み込み

(1) tiss-NET における車両挙動

tiss-NET は、普通車の車両挙動を以下のように分類して再現している。

① 自由挙動…車両が追従状態にない場合の挙動（設

*キーワード：TDM、公共交通運用

**正会員 工学修士 パシフィックコンサルタンツ（株）

東京都多摩市関戸 1-7-5

TEL: 042-372-6187 FAX: 042-372-6394

***正会員 工学修士 埼玉大学工学部

埼玉県浦和市下大久保 255

TEL: 048-858-3549 FAX: 048-855-7833

****正会員 工学博士 埼玉大学工学部

埼玉県浦和市下大久保 255

TEL: 048-858-3554 FAX: 048-855-7833

*****正会員 工学博士 東京商船大学流通情報工学課程

東京都江東区越中島 2-1-6

TEL: 03-5245-7366 FAX: 03-5245-7366

定された追従範囲の内外で判定)

② 追従挙動…車両が追従状態にある場合の挙動

③ 様子見挙動…前方に赤信号や停止車両といった停止しなければならない要素があった場合に、様子を見ながら障害要素が取り除かれるのを待つ挙動

④ 発進遅れ…信号等における発進遅れ時間

本研究ではバスの優先方策によるシミュレーションを行う必要がある。しかしながら、現段階では普通車車両挙動のみを扱っていたため、大型車（バスを含む）の車両挙動を新たに tiss-NET に組み込むこととした。

(2) 大型車の車両挙動

大型車を混入させるに当り注意すべき事項としては、普通車に対する車両諸元及び挙動の相違が挙げられる。つまり、前者に関しては車両幅員及び車長、後者に関しては自由・追従挙動から発進遅れといった挙動全般における見直しが必要となる。まず、車両諸元に関しては車両幅員 2.5m、車長 10m と設定した。これは、tiss-NET において普通車 1 台が通常割り当てられているコンパートメント（長さ 5m）を 2 つ占有する状況（10m）となる。次に、車両挙動に関しては普通車の場合と同様に、ビデオによる観測（日時：1994年9月29日（金）11:30-13:30 場所：JR 大宮駅西口地区をソニックシティビル 30F より撮影 観測台数：大型車の追従 303 台）から求めることとした。その結果、tiss-NET における大型車の車両挙動は表 1 の様になった³⁾。なお、市街地である調査地域に比べ鎌倉は道のうねりなどがあり、考慮されていない点もあるが、本研究では既存研究で得られているバスの車両挙動を一般的なものとして用いることとした。

追従挙動について大型車混入による普通車への影響を検討した結果、前方の大型車に普通車が追従する場合に、普通車同士の追従と比較して車間距離を大きくとるといった挙動が確認された。このため、普通車に関しても前方の車種により追従モデル式を使い分けることにした。表 1-②のモデル式がそれに当る。

以下同様に、大型車に関する様子見挙動及び発進遅れについても検討を行った。表 1-③が様子見挙動のモデル式を表し、表 1-④及び⑤は前方の車種別の発進遅れに関するモデル式を示している。なお、普通車同士の追従モデル式に関しては別途調査・推定してある⁴⁾。

表 1 大型車の車両挙動に関するモデル式³

[①大型車の追従に関する重回帰モデル式]

(減速時) ($R^2=0.46$ サンプル数 611)

$$a_{k+1}(t+T) = -0.80 \frac{v_{k+1}^{0.31}(t+T)\{v_{k+1}(t) - v_k(t)\}^{0.55}}{\{x_k(t) - x_{k+1}(t)\}^{0.37}}$$

追従範囲 (m) $\leq 10/3 \times$ 追従速度 (m/s) + 20

(加速時)

加速追従挙動はなく自由発進挙動を行う

ただし、

$a_k(t)$: k 番目の車の時刻 t のときの加速度 (m/s^2)

$v_k(t)$: k 番目の車の時刻 t のときの速度 (m/s)

$x_k(t)$: k 番目の車の時刻 t のときの位置 (m)

T : 反応遅れ時間 (= 1 秒)

[②前方大型車に追従する普通車の重回帰モデル式]

(減速時) ($R^2=0.59$ サンプル数 310)

$$a_{k+1}(t+T) = -0.73 \frac{v_{k+1}^{0.09}(t+T)\{v_{k+1}(t) - v_k(t)\}^{0.52}}{\{x_k(t) - x_{k+1}(t)\}^{0.09}}$$

追従範囲 (m) $\leq 5/3 \times$ 追従速度 (m/s) + 15

(加速時) ($R^2=0.56$ サンプル数 149)

$$a_{k+1}(t+T) = 0.20 \frac{v_{k+1}^{0.83}(t+T)\{v_{k+1}(t) - v_k(t)\}^{0.32}}{\{x_k(t) - x_{k+1}(t)\}^{0.05}}$$

追従範囲 (m) $\leq 5/3 \times$ 追従速度 (m/s) + 10

ただし、

$a_k(t)$: k 番目の車の時刻 t のときの加速度 (m/s^2)

$v_k(t)$: k 番目の車の時刻 t のときの速度 (m/s)

$x_k(t)$: k 番目の車の時刻 t のときの位置 (m)

T : 反応遅れ時間 (= 1 秒)

[③様子見挙動に関するモデル式]

$V = 0.02D + 5.70$ ($R^2=0.53$ サンプル数 8)

V : 走行速度 (m/s)

D : 障害までの距離 (m)

[④大型車の発進遅れに関するモデル式]

$k=3$ のアーラン分布を 0.07 秒だけ遅らせた分布に適合する。 (サンプル数 103 カイ 2 乗値 29.74)

- ・母集団平均の推定値 : 1.55 秒
- ・母集団標準偏差の推定値 : 0.82

[⑤前方大型車に追従する普通車の発進遅れに関するモデル式]

$k=3$ のアーラン分布を 0.63 秒だけ遅らせた分布に適合する。 (サンプル数 93 カイ 2 乗値 11.50)

- ・母集団平均の推定値 : 1.12 (秒)
- ・母集団標準偏差の推定値 : 0.60

3. 鎌倉地域の交通状況と導入する施策の概要

(1) 鎌倉地域の交通状況

本研究で対象とする鎌倉地域は、歴史的建物の保存等の理由で中世の道路網をそのまま引き継いでおり、現在でも道路網の整備水準が低くまた新規の道路整備や道路拡張などの計画もなかなか進展しない。そのような状況の中、休日には地域外からの自動車全交通量の 7 割を占め、アクセス道路を中心に地域内全域にわたって激しい混雑を引き起こすなど、歩行者環境も含めて安全面での問題も指摘されている。

そこで、鎌倉地域内で最も混雑する路線の一つである県道金沢鎌倉線（横浜横須賀道路の朝比奈 IC と鎌倉地域を結ぶ路線 以下、金沢線）に着目し（図 1）、平成 8 年 11 月 3 日にナンバープレート調査を含む交通調査を実施した⁹⁾。それによると、明石橋—八幡宮間（約 2.3km）において、上り（鎌倉地域へ向かう交通）では最大 2 時間を要するまでに交通混雑が深刻であること、一方の下りでは全時間帯ともに概ね 10 分程度の旅行時間であることが確認された（図 2、図 4）。図中にプロットしてある旅行時間にはばらつきが見受けられるが、これは途中での立ち寄りやタクシーや住民等による近道の利用、調査データのエラー等が考えられる。同時に調査を実施したバス調査から得た旅行時間を図 3、図 5 に示す。バス旅行時間は停留所による時間ロス等があるため一般車より長めの旅行時間となるが、上記の解釈は問題ないと考えられる。よってこれらのデータのばらつきを除去し、図 2 及び図 4 の太線（点集合）部を旅行時間の代表値として扱うことにした。

(2) 鎌倉地域で導入するバス優先方策

以上の交通状況に対して、研究会では短期的な交通対策として公共交通施策を含む TDM 施策の導入を提言した。バスに関しては、P&BR、シャトルバス、バス専用レーン、そして後に述べるバス追い越し現示¹⁾が検討されている。金沢線では、地域の流入入口で P&BR 用駐車場を設け、そこからの区間にバス専用レーンおよびバス追い越し現示を実施する計画である。

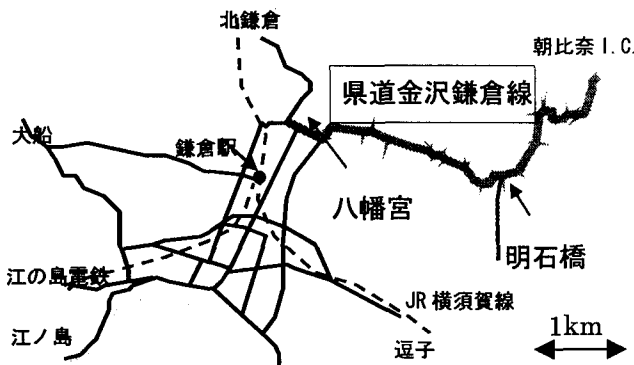


図 1 鎌倉地域概況

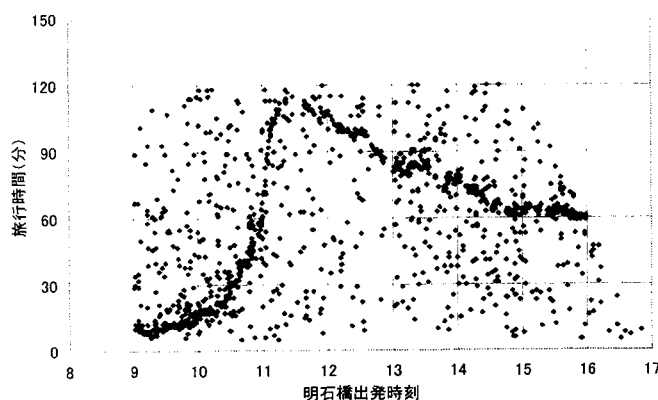


図 2 上り（明石橋－八幡宮）の旅行時間

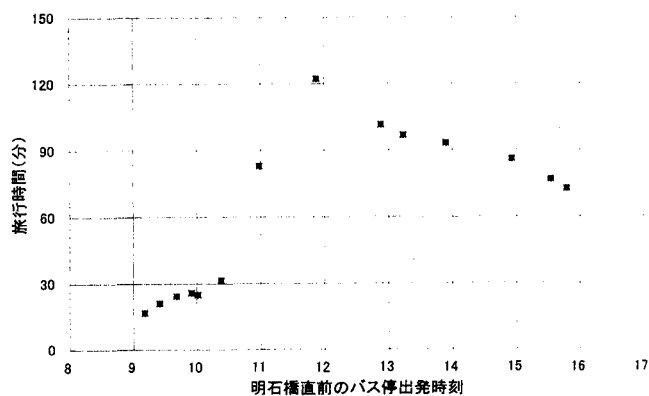


図 3 上り（バス）の旅行時間

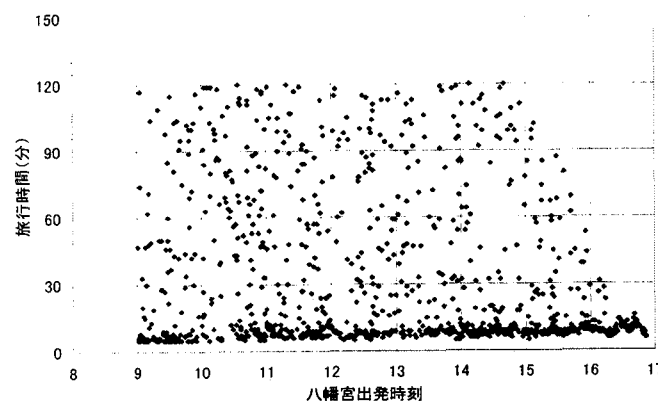


図 4 下り（八幡宮－明石橋）の旅行時間

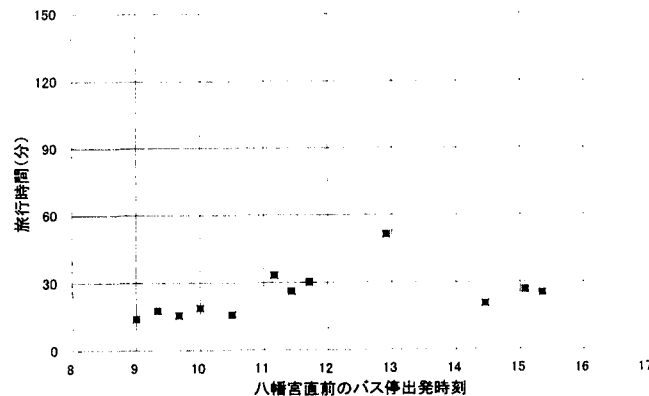


図 5 下り（バス）の旅行時間

(3) バス追い越し現示^{注)}

バス追い越し現示は、現在のところ我が国に実際に適用されたことのない施策である。我が国のように往復 2 車線道路が多く、道路幅員が狭い場合にはバス専用レーンを設置することができないという状況から考え出されたアイデアである。また施策導入に際しての注意事項としては、道路の一方のみに激しい混雑が生じる場合

に有効であることが挙げられる。具体的な方法としては、工事箇所における片側交互通行の要領で断続的な流れにして、その流れを断った時点でバスを追い越しさせる要領である（図 6）。この場合、一時的にバス以外の全交通を停止させるため、混雑をさらに悪化させてしまうことや結果的に事故を誘発することはあってはならない。適用にあたっては、信号制御やその適用手法（進入禁止

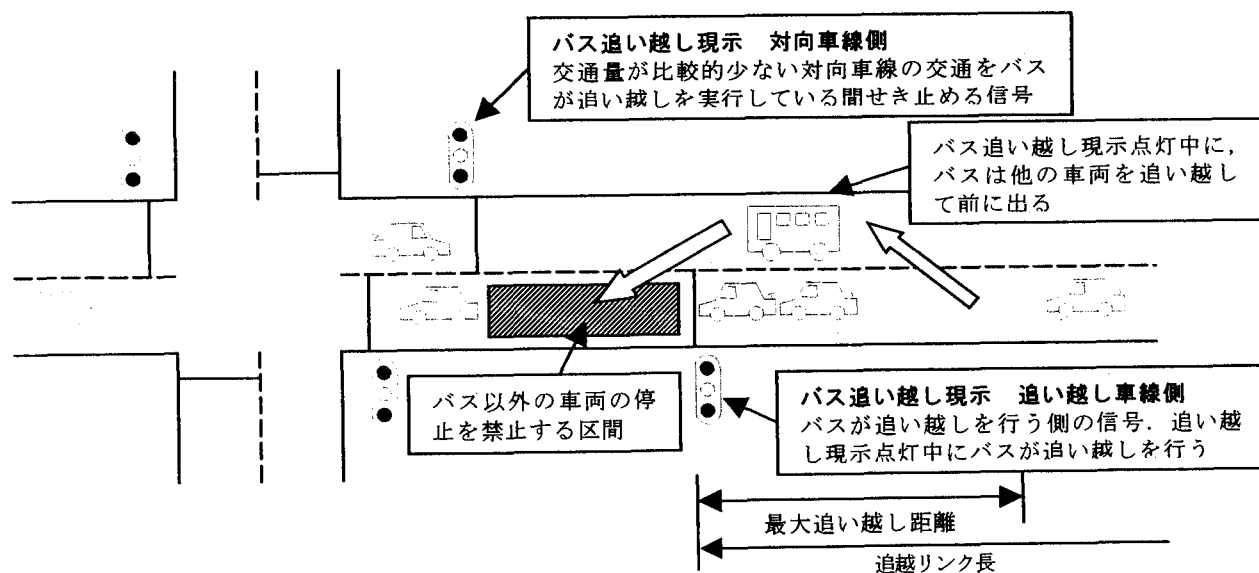


図 6 バス追い越し現示の概念図

区間の設定方法等)に十分配慮する必要がある。

なお、バス追い越し現示を導入した場合の車種別の車両挙動は次のようになる(図7、図8)。バスについては、信号現示が青もしくは赤の場合は通常通りであり、追い越し現示の場合にのみ前方の交通状況に応じて進入の判断を行う。一方の普通車は、赤もしくは追い越し現示の場合は停止であり、青の場合には進入禁止区間に停止することなく、追い越しバスへ影響がないように通行する(方向別に判断が異なる)。

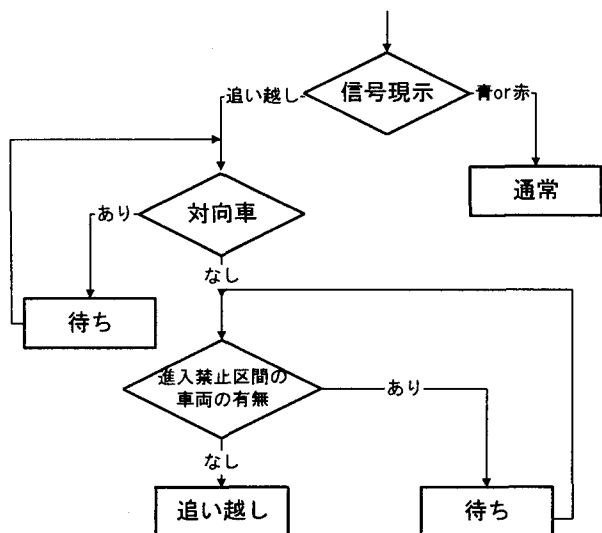


図7 バス追い越し現示におけるバスの車両挙動

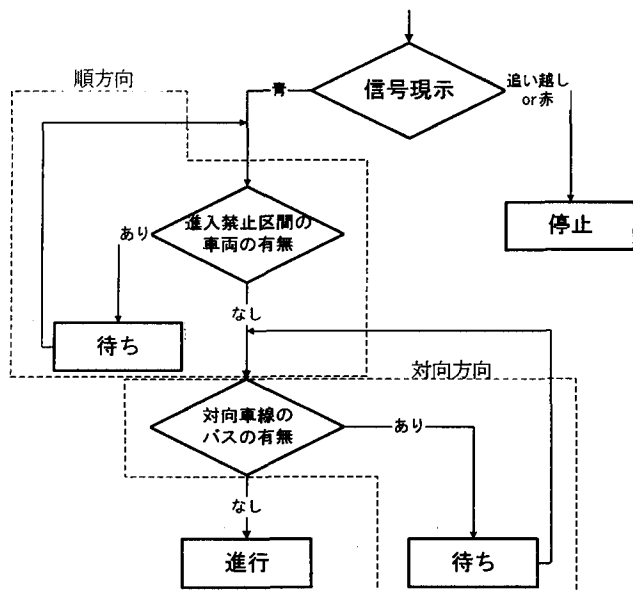


図8 バス追い越し現示における普通車の車両挙動

4. シミュレーションシステムの現状再現性

(1) tiss-NET によるバス追い越し現示のシミュレーション

バス追い越し現示をシミュレーションする場合、対向車線をバスが逆走することが条件となる。tiss-NETはこの挙動を路上駐車追い越しと同様に扱うことで、対

向車との相互影響を考慮しながらこの挙動を再現することが可能なシステムである。

(2) 現状再現性の確認

バス優先方策を実施する前に、シミュレーションの現状再現性の確認を行った。旅行時間を評価項目とした場合の結果を図9に示す。連続してつながっている点の集合がシミュレーション結果で、全ての車両1台1台の旅行時間を出発時刻別にプロットしてある。一方実測による代表旅行時間を30分間隔で星型マークにプロットした。本シミュレーションの対象路線はネットワークを構成していないため、旅行時間の比較により現状再現性を確認した。10時台のシミュレーション値が大きくなっているが、これは、OD交通量を1時間単位で入力したため、実際は11時近くになって急激に交通量が増加するはずが、10時台のはじめ頃に多く発生してしまい、渋滞が早く起こったからと考えられる。その他は、概ね良好な結果を得られたといえる。また、tiss-NETでは現状再現性の確認においてパラメータのチューニングは一切行っていない。

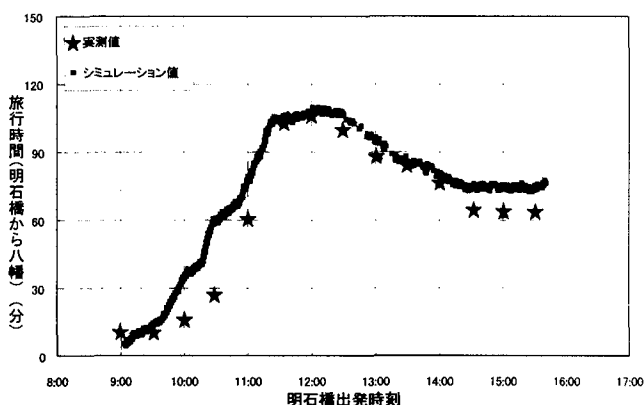


図9 現状再現性の確認

バス追い越し現示シミュレーション

(3) シミュレーション実施条件

シミュレーション実施にあたり、対象路線は調査と同様、金沢線の明石橋～八幡宮間とした。バスのOD交通量は実際の運行表をもとに調査し、1時間当たり12台で、発生間隔は等間隔となっている。バス追い越し現示の条件は、表2に示す様にバスへの優先度が異なった2つのパターンを用意した(ケース①よりもケース②の方がよりバスにとって優先的な方策)。また、路線の中で比較的広幅員の区間(道路幅員が12.0m、うち車道幅員が9.0m)には1車線バス専用レーンを加えた。車線構成を変更した結果、上り2車線、下り1車線の変則的な運用区間を800m確保した。なお、信号のサイクル長は現状と同様とし、追い越し現示のスプリットは従方向の青現示の点灯中に設定した。さらに、追い越し現示の信号機の設置間隔は設置する交差点間隔にほぼ等しく、ケース②で100m～250m程度である。

表 2 シミュレーション条件

ケース	バス追い越し現示 設置箇所数	最大追い越し距離
①	4 箇所	100 m
②	7 箇所	200 m (追越リンク長がそれ未満の場合には追越リンク長)

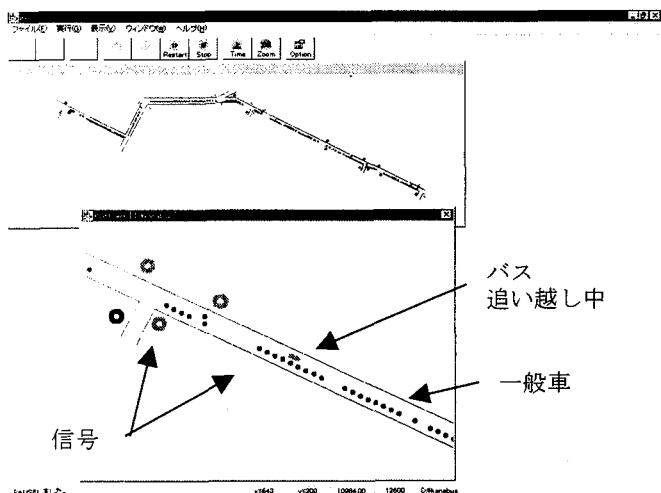


図 10 tiss-NET 実行画面 (バス追い越し中)

表 3 ケース①結果 (旅行時間: 分)

車線	時間帯	現況	適用後	
		一般車	一般車	バス
上り	9:00-10:00 (非混雑時)	7.3	7.1	6.6
	12:00-13:00 (混雑時)	107.9	107.9	76.1
下り	9:00-17:00 (全時間帯)	6.2	6.6	—

表 4 一般車とバスの時間差 (混雑時): ケース① (分)

	一般車	バス	時間差
区間全体	107.9	76.1	31.8
バス専用レーン区間	25.1	1.2	23.9
バス追い越し現示部 (4 交差点の合計)	82.8	74.9	7.9 (1 交差点約 2 分)

表 5 ケース②結果 (旅行時間: 分)

車線	時間帯	現況	適用後	
		一般車	一般車	バス
上り	9:00-10:00 (非混雑時)	7.3	22.6	11.2
	12:00-13:00 (混雑時)	107.9	108.0	35.0
下り	9:00-17:00 (全時間帯)	6.2	13.0	—

表 6 一般車とバスの時間差 (混雑時): ケース② (分)

	一般車	バス	時間差
区間全体	108.0	35.0	73.0
バス専用レーン区間	25.1	1.2	23.9
バス追い越し現示部 (7 交差点の合計)	82.9	33.8	49.1 (1 交差点約 7 分)

(4) シミュレーション結果

上記の条件でシミュレーションを行った結果を以下に示す。図 10はシミュレーション実行画面である。表 3, 表 4のように, ケース①ではバス優先方策の適用により混雑時に 31.8 分の旅行時間短縮が認められた。しかしその内訳をみると, バス専用レーンによるものが大きく, 4 つのバス追い越し現示の合計短縮時間はわずか 7.9 分 (1 交差点あたり約 2 分) である。これは, 信号が追い越し現示に変わっても, 混雑によりバスが追い越し可能区間に到達していないため, 施策の効果を十分に引き出せていないからである。一方, 一般車および下り方向への影響は無視できるほど小さい。

一方, 表 5, 表 6の様に, より多くの追い越し現示を導入したケース②では, 旅行時間の短縮が非常に大きく 73 分短縮となった。また, バス追い越し現示については追い越し可能距離を最大 200m まで延長したため, 7 つのバス追い越し現示合計で 49.1 分 (1 交差点あたり約 7 分) の短縮時間が認められた。これ程の短縮時間であれば, 十分に施策の効果が現れたと考えられる。なお, 非混雑時に旅行時間が増加しているのは, 定周期制御信号に追い越し現示を追加したため進行可能なスプリットが減少したためである。混雑時は, 先詰まりにより進行可能な車両が減少するため, スプリットの影響は小さい。また, 別途行った検討においても, 渋滞時はスプリットの影響が小さいことが確認され, さらに一般車への影響も非常に小さく新たな混雑を引き起こす原因とはならないことが証明された。しかしながら, 下り路線への影響はケース①と比較して大きなものとなった。これは追い越し可能距離を長くしたために, 下り路線の車両を停止させる時間が延びたためである。また, 夕方の帰宅車両が増えてきた時間帯にわずかながら一部の区間で渋滞が発生させている。

これらの結果から, バス追い越し現示を適用する場合, 追い越し現示のスプリットの長さよりも追い越し可能距離の延長が旅行時間の短縮に影響を与えることが分かった。その反面, 追い越し可能距離をある程度以上長くすると, 下り路線の旅行時間にも影響を与え, 渋滞が発生させるまでにもなることが分かった。追い越し可能

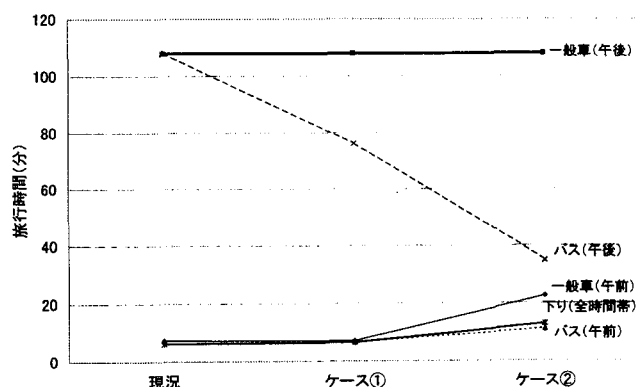


図 11 シミュレーション結果のまとめ

距離を延ばすとバスが対向車線を走行する時間が多くなり、当然下りの車両を待たせる時間も長くなる。調査結果では下り路線の旅行時間に時間帯による変化は特に見られなかったが、夕方に帰宅車両によって交通量が増加しており、それが混雑を引き起こす潜在的な要因となっていたと予測される。

以上をまとめると図 11に示す結果となりケース①よりもケース②の方がある程度の自動車への悪影響を与えるが、より有効なバスへの効果となることがわかる。以上から、表 7の様なバス優先方策の適用可能性について整理することができる。混雑のない午前中への導入は、バスの旅行時間の削減効果に比べて、一般車への影響が大きく適応可能性は低い。一方混雑が発生する午後の時間帯では、バスの旅行時間短縮効果は高く、一般車への悪影響も許容範囲といえる。従って実際には混雑時に限って導入するなどのきめ細かな対応が必要となろう。

表 7 バス優先方策の適用可能性

	混雑なし (9:00-10:00)	混雑あり (12:00-13:00)
バス (上り)	△ 旅行時間が微減	◎ 大きな時間短縮効果
一般車 (上り)	× 旅行時間が増加	○ 旅行時間に変化なし
下り方向	△ 旅行時間が微増 (ただし、夕方に混雑発生)	

5. まとめと今後の課題

本研究では、休日を中心に交通混雑の発生する鎌倉地域を対象としてバス優先方策を実施した場合の効果を算定した。まず、バス優先方策の評価システムの開発については、①バスを含んだ交通流を再現する良好なモデルを開発し、②そのモデルを鎌倉の街路に適用して現況再現性を確認した。

次に、本システムを用いて鎌倉で検討されている計画を評価した結果、バス専用レーンとバス追い越し現示の導入効果が非常に大きく、バス交通の復権に大きな足がかりとなり得ることが分かった。そして、これらの方策による一般車への負の影響も小さく十分実現可能な方策であることが証明された。

しかし、適用に際してはより細かな配慮が必要となろう。すなわち、本研究では信号のサイクル長・スプリットを現状から変えることなく行ったが、サイクル長・スプリット等の可変化や感応式にすることによりさらに負の影響を最小限に抑えること、また混雑時のみに適用するなどのソフト面での対応である。さらには、バスレーン設置路線の沿道へのアクセスの確保、バス追い越し現示を導入する交差点付近での周辺家屋からのアクセスの制限など安全面でのハードルも乗り越えねばならない。

<謝辞>

本研究は鎌倉市および研究会から多大な協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。また、本論文の作成にあたり、埼玉大学大学院の蛭澤隆行氏にご協力を頂いた。あわせて感謝の意を表します。

注) 鎌倉市および本研究で検討したバス追い越し現示は、平成 2～3 年度、(財)国際交通安全学会の研究⁶⁾の中で、千葉工业大学赤羽弘和氏によって提案された施策である⁷⁾。赤羽氏に対し、深甚なる感謝の意を表します。

<参考文献>

1 久保田尚, 高橋洋二, 松原悟朗, 岩崎正久, 尾座元俊二, : 地区交通計画の策定における市民参加の役割に関する研究—鎌倉市の古都地域を対象として—, 第 31 回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.415-420, 1996

2 坂本邦宏, 高橋伸夫, 久保田尚: セクションを利用した地区交通のための交通インパクト評価システムの開発, 土木計画学研究・講演集, No.20(1), pp.493-496, 1997

3 吉野実: 大型車混入時の交通流特性を考慮したバス優先方策のシミュレーション, 平成 8 年度埼玉大学卒業論文

4 曾田信行, 久保田尚, 高橋伸夫: 混雑時の市街地道路における車両挙動シミュレーション, 第 15 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.45-48, 1995

5 坂本邦宏, 高橋洋二, 久保田尚: 鎌倉古都地域における休日交通問題の現状と意識に関する調査報告, 第 33 回都市計画学会論文集, pp.199-204, 1998

6 太田勝敏, 赤羽弘和, 久保田尚, 中村文彦: 道路交通における公共輸送利用促進に関する研究, 国際交通安全学会, 1991 および 1992

7 赤羽弘和: 街路におけるバス優先方策の高度化, 国際交通安全学会誌, 18 巻 3 号, pp.19-27, 1992

tiss-NET によるバス優先方策の効果分析 —鎌倉地域を対象として—

小原 誠, 坂本 邦宏, 久保田 尚, 高橋 洋二

本研究では、休日を中心に交通混雑の発生する鎌倉地域を対象として、バス優先方策を実施した場合の効果を算定した。バス優先方策の評価システムの開発については、バスを含んだ交通流を再現する良好なモデルを開発し、そのモデルを実際に鎌倉の街路に適用して現況再現性を確認した。次に本システムを用いて鎌倉で検討されている計画を評価した結果、バス専用レーンとバス追い越し現示の導入効果が非常に大きく、心配されていた一般車への負の影響も小さいことから、十分実現可能な方策であることを提案できた。

Simulation analysis of bus priority schemes by tiss-NET
Makoto OHARA, Kunihiro SAKAMOTO, Hisashi KUBOTA and Yoji TAKAHASHI

The purpose of this study is to build the bus simulation model of tiss-NET and estimate unique bus priority scheme that called “bus only overtaking system” in historical area of Kamakura-City. At the first, authors analysis and make models of bus, because there is no simulation system, which can take account of bus behavior such as overtaking on opposite lane. The major effects from the traffic simulation analysis by tiss-NET as follows, 1) The bus system has much effectiveness for the bus. 2) There is a little bad influence for normal vehicles. And tiss-NET work efficiency for these traffic plan.