

首都高速道路織り込み区間での交通流観測と運転挙動解析

Traffic Observations and Analysis of Driver Behavior at Weaving Sections on the Metropolitan Expressway

中村英樹¹⁾、桑原雅夫²⁾、鈴木隆³⁾、越正毅⁴⁾、赤羽弘和⁵⁾

by Hideki NAKAMURA, Masao KUWAHARA, Takashi SUZUKI, Masaki KOSHI, Hirokazu AKAHANE

This paper reports some flow characteristics and microscopic driver behaviors at weaving sections on the Metropolitan expressway based on the traffic observations using video cameras at three weaving sections :the Kasai, Gofukubashi, and Sangenjaya weaving sections. Vehicle motions measured from the recorded video screen are smoothened and interpolated by the Kalman Smoother, which simultaneously yields the velocity and acceleration as well as the vehicle trajectory. Based on the processed data, we find that the 15 percentile values of the accepted gap and lag are about 2 and 1 seconds respectively at all sections. These complete distributions, which are, however, found differently at each section, are discussed in relation to the observed merging locations.

1. はじめに

織り込み区間は互いに異なる方向の交通流が交錯するため、容量上のボトルネックになりやすい。織り込み区間の交通流特性に関する研究は、アメリカ合衆国においてデータ蓄積と分析がかなり行われ、HCM (Highway Capacity Manual) としてまとめられている。わが国でも織り込み区間での交通容量分析は、道路の交通容量[1]にあるように1965年版のHCM-65[2]に準じて行われてきている。ところが、わが国とアメリカ合衆国とではドライバーの運転挙動が異なるため、HCM-65やHCM-85[3]の方法では速度や容量の良い推定精度が得られないことがある。また我が国においては、それらの方法の適用可能な範囲を超える交通需要をもつ織り込み区間も多い。

さらに、アメリカ合衆国においても、HCM-65, HCM-85で提案されている方法では織り込み交通、非織り込み交通の走行速度を過少に評価してしまうという批判があり[5]、1995年を目標としてHCM-95のための改訂作業に取り組みつつあるところである。従って、容量上のボトルネックになりやすい織り込み区間の交通容量と区間走行速度の推定手法の確立が望まれるところである。

本報告では、首都高速道路の3つの織り込み区間（葛西インターチェンジ～葛西オフランプ区間、呉服橋～江戸橋区間、三軒茶屋～池尻区間）におけるビデオ撮影による交通観測調査、ビデオ画像処理方法を概説するとともに、これら織り込み区間での交通特性を報告する。

2. 織り込み区間の交通観測および交通状況

(1) 交通流観測調査

今回の観測区間は、首都高速道路の湾岸線葛西インターチェンジ～葛西オフランプ区間（東行き）と、環状線呉服橋オンランプ～江戸橋インターチェンジ区間（外回り）、三軒茶屋オンランプ～池尻オフランプ区間（上り）の3ヶ所である。いずれの区間についても、交通流が広範囲に見通せる近隣の高層ビルあるいは陸橋から約2時

- 1) 学生会員 工修 東京大学大学院 工学系研究科
- 2) 正会員 Ph.D 東京大学生産技術研究所 助教授
- 3) 学生会員 東京大学大学院 工学系研究科
- 4) 正会員 工博 東京大学生産技術研究所 教授
(〒106 東京都港区六本木 7-22-1)
- 5) 正会員 工博 千葉工業大学土木工学科 講師
(〒275 千葉県習志野市津田沼 2-17-1)

間ずつのビデオ撮影を行い、その撮影画面から方向別交通量と織り込み区間内の走行速度を読み取った。各織り込み区間の平面図と撮影実施日時を、それぞれ図1.2.3及び表1に示す。

表1. ビデオ撮影日時

葛西I.C.～葛西オフランプ（東行）	1988年12月21日（水）	8:40～10:40
呉服橋オンランプ～江戸橋I.C.（外回り）	1988年12月19日（月）	12:45～15:00
三軒茶屋オンランプ～池尻オフランプ（上り）	1988年12月12日（月）	11:50～15:25

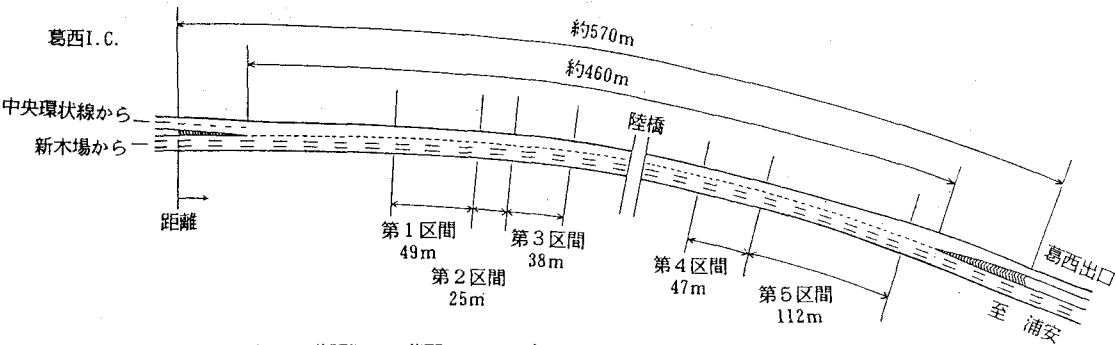


図1. 葛西I.C.～葛西オフランプ区間（湾岸線東行）平面図

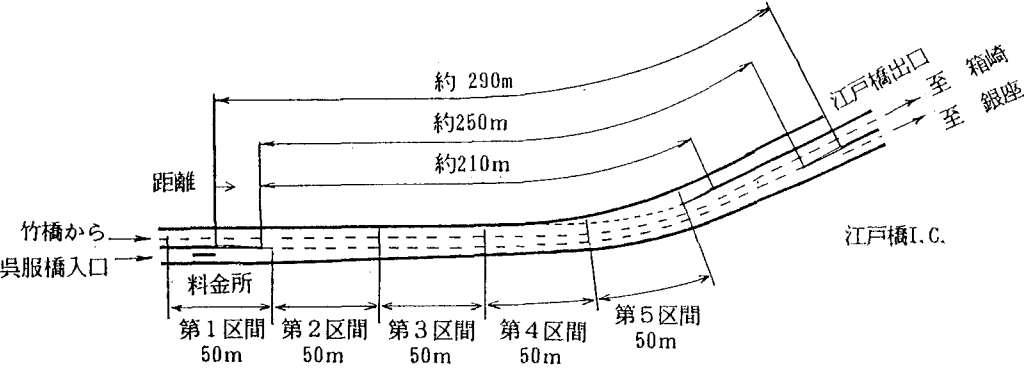


図2. 呉服橋オンランプ～江戸橋I.C.区間（環状線外回り）平面図

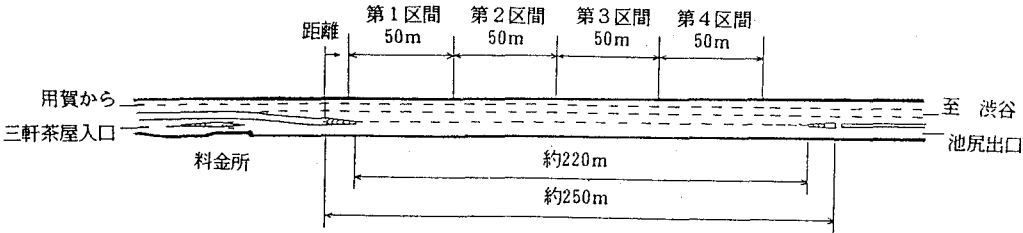
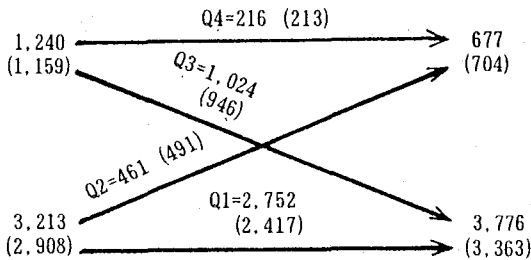


図3. 三軒茶屋オンランプ～池尻オフランプ区間（3号線上り）平面図

(2) 方向別交通量

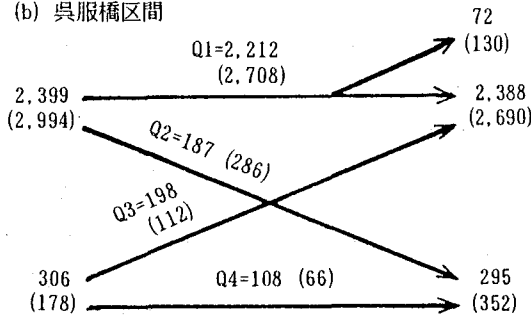
葛西、呉服橋、三軒茶屋の3箇所の織り込み区間における観測時の交通流態図をそれぞれ図4に示した。また、各織り込み区間の方向別5分間交通量の時間変動を表したものが図5, 6, 7である。

(a) 葛西区間



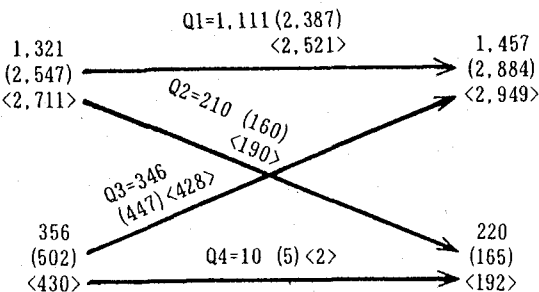
8:40~9:40 1時間交通量(台/時)
(9:40~10:40 1時間交通量(台/時))

(b) 呉服橋区間



13:00~14:00 1時間交通量(台/時)
(14:00~15:00 1時間交通量(台/時))

(c) 三軒茶屋区間



12:00~13:00 1時間交通量(台/時)
(13:25~14:25 1時間交通量(台/時))
<14:25~15:25 1時間交通量(台/時)>

図4. 織り込み区間の交通流態図

葛西における5分間交通量は、本線直進交通Q1が約220 [台/5分]、本線織り込み交通Q2が約40 [台/5分] 前後、付加車線織り込み交通Q3が約70~90 [台/5分]、付加車線直進交通Q4が約10~20 [台/5分]と各時間帯に渡って比較的安定している。織り込み交通量の総交通量に対する割合(織り込み比率)は30~40%程度と比較的高い。これは、中央環状線と湾岸線のいわば本線同志が合流する区間のためである。本線の1時間交通量は3車線で約4000台程度で、容量にはまだかなりの余裕があると思われ、走行速度も本線で80~90[km/h]と比較的高い。

呉服橋における方向別交通量の特徴は、本線直進交通量Q1が他の方向に比べて非常に大きいことであり、13時30分迄は200 [台/5分] 以下であったがそれ以降250 [台/5分] 程度まで増加している。織り込み交通量であるQ2、Q3は少なく、織り込み比率は約10%程である。呉服橋区間はその下流にある箱崎インターチェンジを頭とする渋滞による先づまりが観測時間帯のほとんどで見られたが、13時35分からの15分間は先づまりはなく、速度も臨界速度と思われる40~50[km/h]であった。この15分間の本線2車線当りの交通量は、時間換算すると約3300 [台/時/2車線] であった。

三軒茶屋における織り込み比率は、概ね20%程度で葛西と呉服橋の中間であった。13時過ぎより交通量が増加し、Q1が約160~240 [台/5分]、Q2が10~20 [台/5分]、Q3が30~40 [台/5分] 前後を推移している。13時までのQ1が低いのは、この時間の先づまりによる影響のためと思われる。呉服橋同様に、全体としては観測時間帯の大部分が渋滞状況であった。

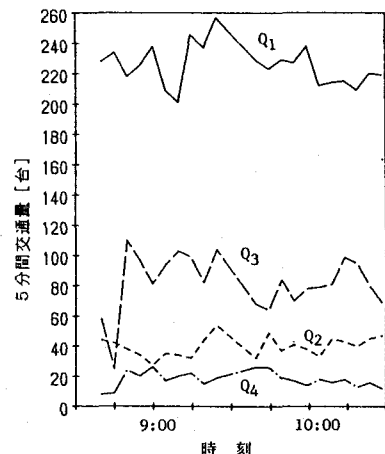


図5. 葛西織り込み区間における方向別交通量の時間変動

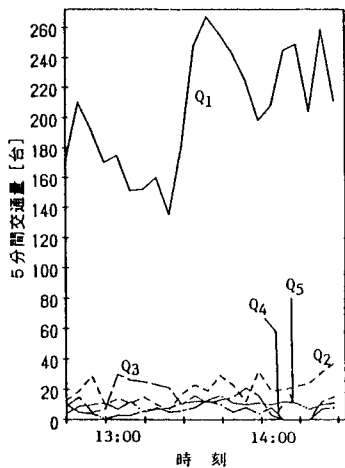


図6. 呉服橋織り込み区間における方向別交通量の時間変動

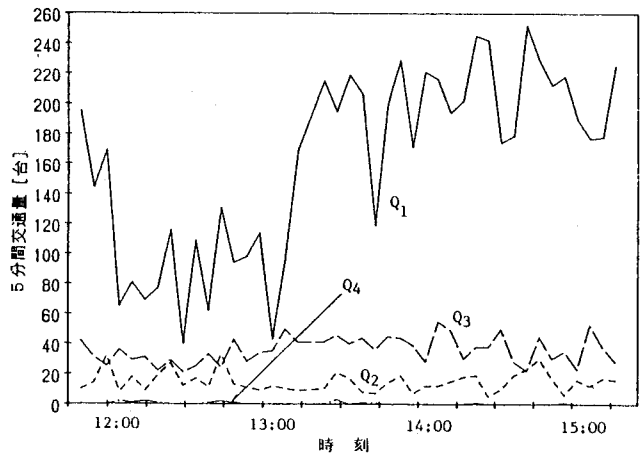


図7. 三軒茶屋織り込み区間における方向別交通量の時間変動

(3) 区間別平均走行速度

図8,9,10に、各織り込み区間における区間別走行速度を示す。なお区間によっては画角の関係で正確な読み取りが困難な場所もあったため、その区間のデータについては分析から除外した。

葛西織り込み区間について、全撮影時間に渡って図1に示すような区間ごとの平均走行速度を測定した。その速度プロファイルを表したものが図8である。ただし第1区間から第3区間までは後半の50分間、第4区間と第5区間は前半の50分間の観測データであり、第4、第5区間については全方向の平均速度を示している。葛西の場合、本線直進交通が約80[km/h]強で方向別では最も高く、他の3方向は約71～76[km/h]にかけての値を示している。このように比較的高い走行速度が維持されているのは1車線当りの需要が少ないことのほか、道路の幾何構造として合流車線が織り込みの手前まで2車線あること、織り込み区間長が長いことなど、織り込み交通の走行に比較的自由な余裕のある幾何構造であることが関係しているものと思われる。

呉服橋織り込み区間については、図9に自由流の場合と渋滞流の場合の代表的な5分間の速度プロファイルを示した。スムーズな流れの場合には、本線直進交通は50～60[km/h]の間を推移しているが、本線からの織り込み交通の方がさらに約10[km/h]程度高い走行速度を持っていた。これは、付加車線が本線に比べて空いており、しかも本線織り込み車のほとんどが織り込み区間に入って

すぐに付加車線へと車線変更を行っているためである。それに対して付加車線からの織り込みおよび直進交通の第1区間は、約10[km/h]強のかなり低い値となっているが、これは区間内に料金所が含まれていて、一時停止及び発進が行われるためである。一方、渋滞流の場合は本線速度は20[km/h]程度で密度も高い。

渋滞のいかに関わらず、本線からの織り込みおよび直進交通は、区間ごとに速度が多少上下変動している。第1区間から第2区間にかけて速度が低下しているのは織り込み区間にさしかかったためであり、第3区間から第4区間への速度低下は上り坂および左カーブの道路線形が関係しているものとみられる。一方、付加車線からの織り込みと直進交通の速度は、料金所を含む第1区間以後の区間では上昇を続け、第4区間にさしかかったところで低下している。第5区間においては、付加車線からの織り込み交通は本線直進交通と、また付加車線直進交通は本線織り込み交通とそれぞれ近い速度に収まりつつあることも見てとれる。

三軒茶屋織り込み区間について、ある5分間の速度プロファイルを表したものが図10である。本線直進交通は約40[km/h]、本線からの織り込み交通は約50[km/h]、付加車線からの織り込み交通は約60[km/h]前後で比較的安定している。この状況は、三軒茶屋の観測時間内では比較的流れがスムーズな状況である。付加車線からの織り込み車の速度が下流に行くに従って次第に本線速度に接近しつつあることが伺える。

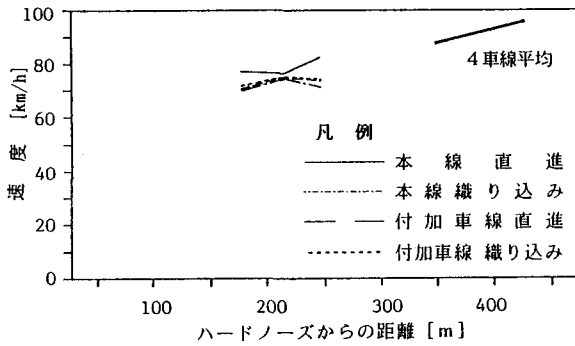


図8. 葛西織り込み区間における区間別走行速度
(50分間平均値)

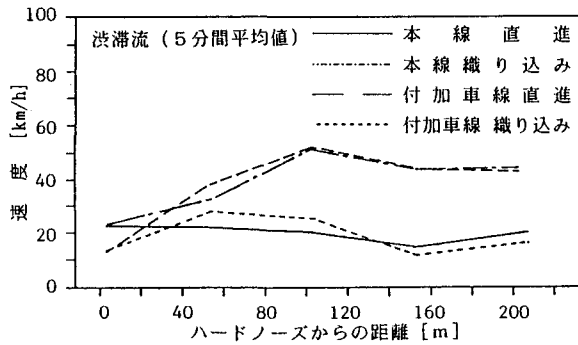


図9. 呉服橋織り込み区間における区間別走行速度

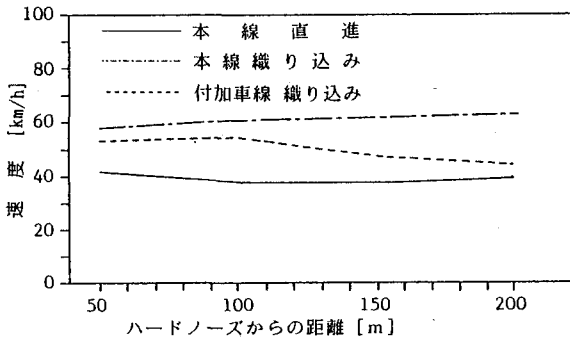


図10. 三軒茶屋織り込み区間における区間別走行速度
(5分間平均値)

3. 織り込み区間における走行挙動の分析

(1) ビデオ画像処理

a) 走行軌跡の読み取りと座標変換 今回分析に用いた交通流の観測は、付近の高層ビル屋上からビデオ撮影により行った。得られた画像から約1秒毎に織り込み車および車線変更を行う車両と、その車両の織り込む前後数車両のビデオ画面上の座標をマウスを用いてマイコンに取り込んだ。画像が斜め上方から撮影されたものであるため、各車両の実位置を求めるには、当然のことながら地図座標へ座標変換を施さねばならない。今回は道路面を平面とみなして以下に示す2次の射影変換[6]を行った。

$$X = \frac{\alpha_1 x + \alpha_2 y + \alpha_3}{\alpha_7 x + \alpha_8 y + 1} \quad (1)$$

$$Y = \frac{\alpha_4 x + \alpha_5 y + \alpha_6}{\alpha_7 x + \alpha_8 y + 1} \quad (2)$$

ここに、

x, y : ビデオ画面座標

X, Y : 地図座標

$\alpha_1 \sim \alpha_8$: 未知係数

上記の未知係数 $\alpha_1 \sim \alpha_8$ は、4点以上の基準点の測定値の組、

$$(x_i, y_i) \rightarrow (X_i, Y_i) ; i = 1 \sim n, n \geq 4$$

に対して最小二乗法を適用することにより求められる。

b) データの平滑化・補間処理 この様にして得られた座標データは、読み取り誤差、及び座標変換誤差を含んでいる。そこで、 x 座標および y 座標の時間変動を、それぞれ個別にカルマンスムージングアルゴリズムを用いて平滑化した。この平滑化処理においては、 x 座標および y 座標がそれぞれ時間の3次関数であり、かつその関数の係数値が漸次変化しているものと仮定している。これらの係数は車両の速度、加速度等に対応しており、カルマンスムーザーにより各時刻の係数値を推定することにより、座標値のみならず、速度、加速度の平滑値も同時に得ることができる。さらに観測値の平滑化と同時に、観測値のない1/10秒単位の時刻においても、非常に測定誤差共分散の大きい測定値が得られたものと仮定することにより、補間値を算出した。

以上の処理により得られた合流車とその前後の車両の位置、速度、及び加速度の時間変化の一例を図11に示し

た。この例では合流車は減速しながら合流し、その後先行車が加速するにつれて反応遅れを伴って追従していく状況がわかる。またこのとき、被合流車は前方の合流車の接近に伴い急激に減速している。

(2) 車両走行挙動の分析

a) ギャップ・ラグの分布 織り込み挙動を開始する

際、ドライバーは織り込むべきギャップの選択を迫られる。また被織り込み車も、織り込み車を認識して加減速、車線変更（避走）等を行う場合が多い。従って織り込み時のギャップ、前方ラグ・後方ラグを知る必要があるが、一般にこれらは時間変化を伴うものであるため、その定義が難しい。ここでは織り込まれたギャップを形成する被織り込み2車の座標を直線で結び、その直線と織り込み車の座標との距離がそれら3車の車幅の平均値以下になった時点のギャップ、ラグを織り込みギャップ、ラグとみなした。この様な定義のため、これらは織り込み判

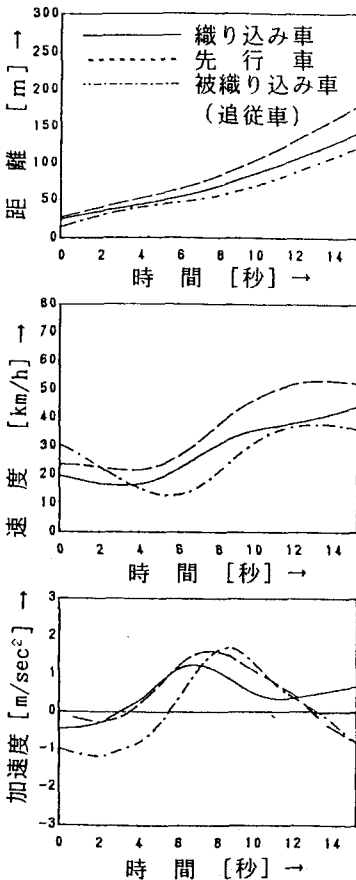


図11. 平滑・補間処理後データの一例

断を開始した時点のギャップ・ラグというよりも、むしろ織り込まれた結果にできたギャップ・ラグと考えられよう。

図12に、葛西区間、呉服橋～江戸橋、三軒茶屋～池尻におけるこれらの分布を示した。いずれの区間もギャップ、ラグとも都市間高速道路の値[7]より小さな値で、そ

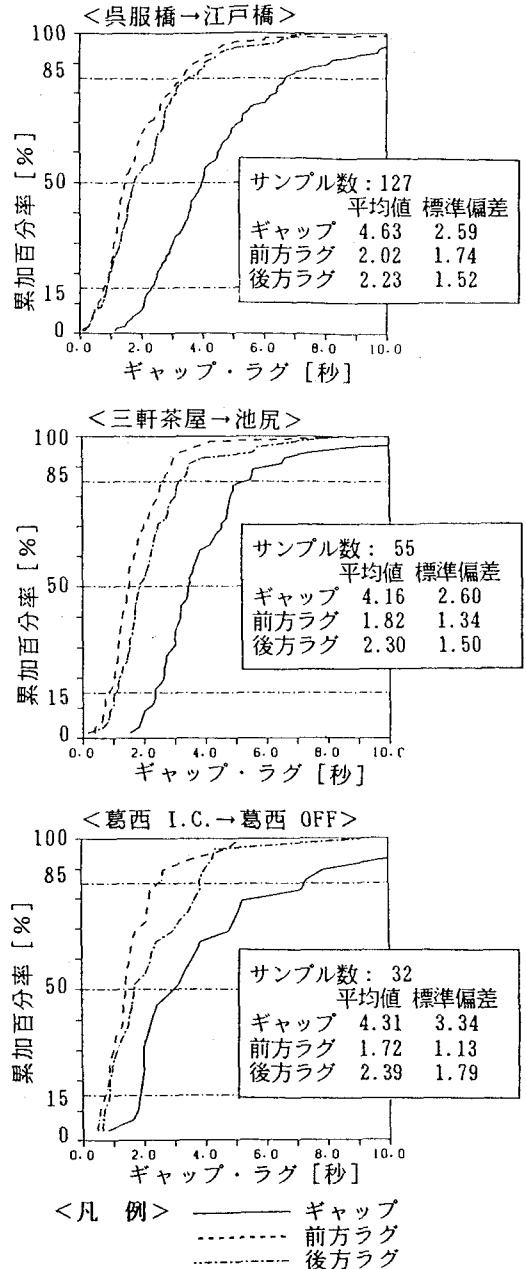


図12. 織り込みギャップ・ラグの分布

れぞれ約2秒、1秒となっている。これはやや混雑した都市内高速特有の運転特性であろう。また交通条件の類似している呉服橋区間と三軒茶屋区間とを比較すると、前者の方がギャップは広く分布している。三軒茶屋の付加車線からの織り込み交通量は呉服橋よりも多く、これらの織り込み車は頻繁にギャップを捜して行列を作る。一旦行列ができると、図3にある付加車線の最も下流側で本線に合流しようとするため、ギャップが小さめの値に偏っているものと考えられる。さらに、いずれの区間も後方ラグのほうが前方ラグよりも大きいことがわかる。

b) 織り込み位置の分布 織り込み位置の分布を図13に示した。織り込み区間長がほぼ等しい呉服橋区間と三軒茶屋区間とでは、三軒茶屋区間の方が下流側で合流が多く行われ、標準偏差も小さいことがこの図からも確認できる。さらに、合流車の80～90%は織り込み区間の中央までに合流を行っている。

4. まとめ

首都高速道路上の葛西、呉服橋、三軒茶屋織り込み区間における交通流のビデオ撮影を実施し、画像データより走行軌跡を読み取った。読み取った座標は地図座標系に変換した後、カルマン smoother を用いて平滑、補間処理を行った。織り込み時のギャップ、ラグの15パーセント値は、各織り込み区間でほぼ同一の約2秒と1秒という結果が得られた。しかし、ギャップ、ラグの全体の分布形は織り込み区間ごとに違いがみられ、織り込み位置、区間の幾何構造にかなり依存しているものと考えられる。

運転挙動を再現できるようなシミュレーションモデルを用いて織り込み区間の交通容量把握するためには、大きく分けて織り込み挙動、追従挙動、そして避走挙動という3種類の運転挙動の把握が必要である。本報告は、この目的の研究の中間報告であるが、今後は各々の挙動を交通条件、幾何構造と関連させながら分析していくことが必要である。

なお、本研究は平成元年度文部省科学研究費一般研究(B)の補助を受けていることを付記し、ここに謝意を表します。

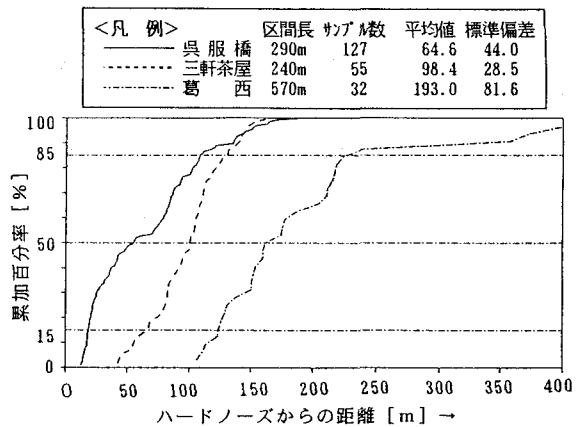


図13. 織り込み位置の分布

参考文献

1. 日本道路協会：道路の交通容量、昭和59年9月。
2. Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Special Report 87, 1965.
3. Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Special Report 209, 1985.
4. 巻上、松尾、松原：阪神高速道路環状線堂島区間の交通現象と容量解析についての研究、交通工学、No.5, 1988.
5. Michael J. Cassidy, Alexander Skabardonis, and Adolf D. May : Operation of Major Freeway Weaving Areas: Recent Empirical Evidence, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, Working Paper UCB-ITS-88-11, 1988.
6. 日本写真測量学会：解析写真測量、1983年。
7. 交通工学研究会：合流部の設計に関する調査研究（その3）報告書、昭和63年2月。