

特集論文

織り込み区間の交通容量算出 シミュレーション・モデル

中村英樹*・桑原雅夫**・越 正毅***

織り込み区間の交通容量と幾何構造の関係は、未だ明らかにされていない。本研究では、織り込み区間における個々の車両の挙動を観測に基づいて分析し、主に車線変更の際のギャップ選択と加減速挙動のモデル化を行った。これに基づき織り込み区間の交通シミュレーション・モデルを開発し、2つの織り込み区間において検証を行ったところ、流出交通量が十分な精度で一致することが示された。

Keywords : weaving sections, highway capacity, simulation model

1. はじめに

織り込み区間(図1~4)は、合流の直後に分流が起きるために車両の走行軌跡が交錯し、交通需要が多い場合には渋滞を引き起こすことが多い区間である。織り込み区間の区間長と車線数を十分にとれば問題はないのであるが、これらの幾何構造と交通容量との関係が現在では十分に解明されておらず、大都市部などで十分な区間長をとることが工費等の制約から困難であるような場合には、容量上のネックとなる織り込み区間が出現しがちである。今後もこのような状況のもとで織り込み区間を建設せざるを得ないため、道路幾何構造と交通容量との関係を明らかにすることが重要となってきた。

単路部のように単純な幾何構造の区間では、一般に交通容量と幾何構造の関係を把握するためには、異なった構造を持つ多くの区間での観測データを統計的に整理するという方法がとられてきた。ところが織り込み区間は幾何構造も複雑な上に、交通流も2つの織り込み交通と2つの非織り込み交通の4つが存在するために、これら数多くの交通条件、幾何構造条件の様々な組合せについて十分な観測データを集めることは非常に困難である。このため織り込み区間の交通状況に関する研究^{1)~6)}は、主に米国において古くから行われてきているものの、交通容量を十分な精度で推定できるまでに至っていない。

本研究では以上の点を考慮して、個々の車両に着目してその挙動を分析し、モデル化を行った。そしてこれらを積み上げることにより織り込み区間の交通流をシミュレートし、交通容量を算出することを試みた。これは、

交通容量とは、本来個々の車両がそれぞれのドライバーの判断に従った挙動をし、それらが集積した結果として決定される量であり、さらに個々のドライバーの運転挙動は完全にランダムなものではなくある法則性を持つものであると考えられるためである。

2. 車両挙動のモデル化の概念

織り込み区間の交通容量に影響を与える車両挙動は、織り込み挙動と追従挙動に大別される。織り込みを行う車両は、織り込み区間という限られた空間、時間的制約のもとで車線変更を行うべきギャップを決定し、車線変更を実行しなければならない。ここで本稿で述べるギャップとは、車両間の空間そのものを指す。車線変更挙動や、ギャップを探索している際に加減速挙動は、特に交通量が多くなってくると後続車に与える影響が大きくなり、速度低下をまねく。したがって織り込み車の車線変更挙動のモデル化と、それにより影響を受ける後続車の追従挙動のモデル化とが必要となる。

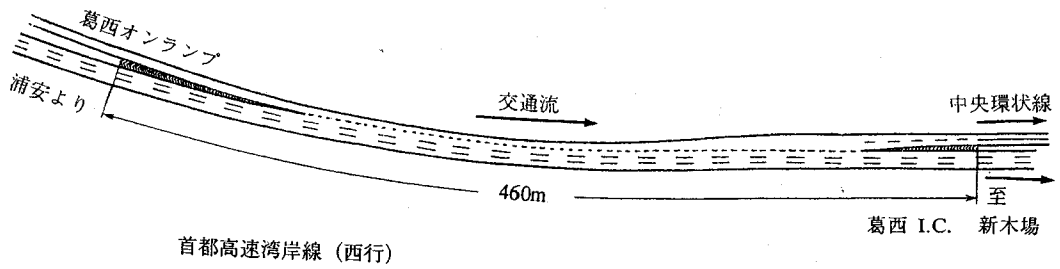
織り込み車の車線変更挙動については、織り込み車が織り込み区間に進入してから織り込みを実行するまでの間を、大きく次の3つの挙動に分けて考えることができる。すなわち車線変更を行う対象のギャップを決定するまでの探索挙動(第1段階)と、ギャップ決定後に車線変更の実行可否の判断を行いつつ速度調節をしながら走行する挙動(第2段階)、および車線変更の実行(第3段階)である。

<第1段階> まず織り込み区間に進入した織り込み車は、周囲の交通状況、すなわち自転車と隣接車線上の車両との相対的位置関係、速度差等を考慮に入れてギャップの探索を開始する。その際には、「もしあのギャップにこの程度の加速を伴って車線変更を実行したとすると、車線変更が完了するのはあの付近で、その時の速度差、車間距離はこの程度となるだろう。」と判断

* 正会員 工博 建設省土木研究所 新交通研究室
(〒305 茨城県つくば市大字旭1番地)

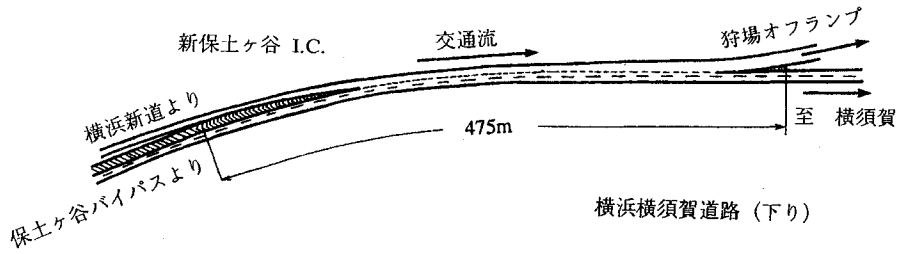
** 正会員 Ph.D. 東京大学生産技術研究所 助教授

*** 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科



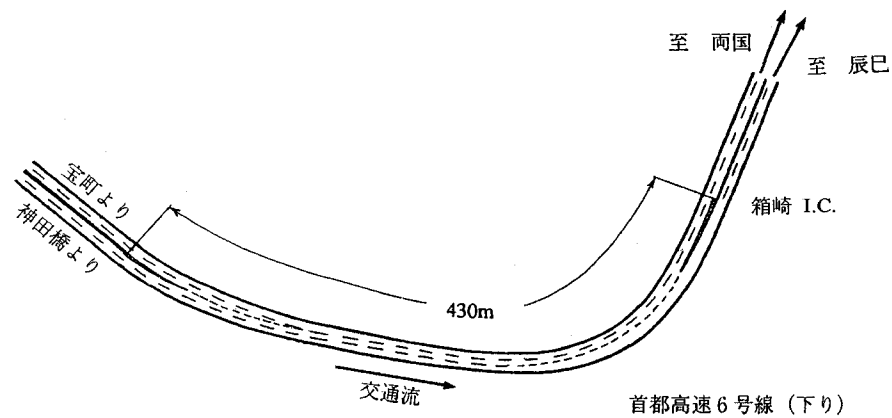
首都高速湾岸線 (西行)

図-1 葛西織り込み区間の平面図



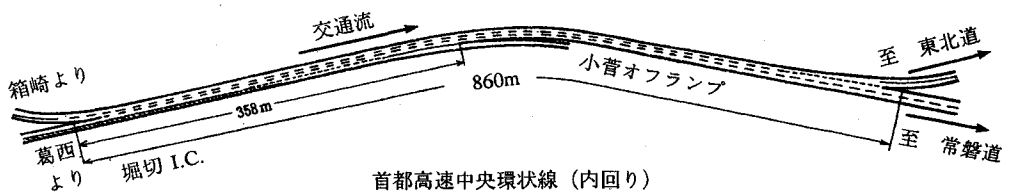
横浜横須賀道路 (下り)

図-2 新保土ヶ谷織り込み区間の平面図



首都高速6号線 (下り)

図-3 箱崎織り込み区間の平面図



首都高速中央環状線 (内回り)

図-4 堀切織り込み区間の平面図

しているはずである。すなわち車線変更完了時の状態を予測し、速度調節を行いながら走行しているものと考えられる。

織り込み車が車線変更完了時を想定して判断するためには、現在 ($t=t_0$) から目標のギャップに車線変更を完了するまでの時間 (織り込み所要時間) T と、そのために必要な加速度 α を決定しなければならない。ドライ

バーはこの所要時間 T と織り込み車の加速度 α を、経験的、あるいは習慣的に即座に想定し、いくつかのギャップの比較評価を行っているものと考えられる。

<第2段階> 車線変更を行うべきギャップが決定された後は、そのギャップに対して最適な織り込みを実行できるよう、第1段階で想定した加速度に従って速度調節を行いつつ走行する。

表—1 交通流観測を行った織り込み区間

観測区間	織り込み区間長[m]*	観測日時	観測時間帯
首都高速湾岸線(西行) 葛西ON~葛西I.C.**	460	1989. 8. 23 (水)	9:35~10:20
横浜横須賀道路(下り) 新保土ヶ谷I.C.~狩場OFF	475	1989. 10. 15 (日)	5:30~ 8:30
首都高速6号線(下り) 江戸橋I.C.~箱崎I.C.	430	1990. 10. 11 (木)	6:00~ 7:00
首都高速中央環状線(内回り) 堀切I.C.~小菅I.C.**	860	1989. 8. 23 (水)	15:00~15:50

注) *ハードノーズ間 **ヘリコプターより撮影

しかしながら周囲の車両との相対的位置・速度の関係は時々刻々変化しており、これに伴って加速度の修正、あるいは車線変更の対象となるギャップの変更を行う。すなわちギャップ探索の第1段階と速度調節走行の第2段階は、時間の経過に伴って繰り返行われる挙動である。

<第3段階> 目標のギャップに対して最適なタイミングにおいて、車線変更を実行する。

したがって織り込み車の車線変更挙動のモデル化のためには、ギャップの評価基準と、ギャップ選択と同時に決定される加速度 α と織り込み所要時間 T の求め方を定義しなければならない。

追従挙動については、追従車は走行速度 V に応じた追従車頭距離 S を保とうとしながら走行するという仮定を設けることができるため、この S - V 関係を用いて加速度を決定することとする。

3. 織り込み挙動の観測と分析

(1) 観測区間と交通状況

織り込み挙動を把握するため、表—1 に示すような都市内高速道路の4つの織り込み区間において交通実態調査を行った。観測は区間付近の高層建築物、あるいはヘリコプターにより上空からビデオ撮影を行った。表—1の区間のうち、1) 葛西区間(図—1) および2) 新保土ヶ谷区間(図—2) は交通量は多いが70~100 [km/時] で流れている自由流状態であった。また3) 箱崎区間(図—3) は2つの流入部において待ち行列が形成されている容量状態にあり、4) 堀切区間(図—4) は中央環状線からの流入部のみにおいて待ち行列が延伸している容量に近い状態であった。

(2) 車両走行軌跡データの作成

ビデオ画像において、織り込み車とその車両が車線変更を行おうとする隣接車線の前後数台の車両について、約0.3~0.5秒毎に各車両のビデオ画面上の座標を読み取り、マイコンに格納した。

これらの離散的な画像データから走行軌跡を求めるが、その方法の詳細については報告済である⁷⁾。すなわ

ち地図座標への座標変換を行い、カルマンスムージングアルゴリズムを用いて平滑化・補間を施し位置、速度、加速度の時間変化データを、全区間合計約2000ケースの織り込み挙動について作成したものである。

(3) 織り込み挙動の分析

以上のようにして得られた各車両の走行軌跡データより、織り込み時の織り込み車とその前後車との車間距離や速度差、織り込み車の加速度や織り込み位置等の分析を行った。その結果、これらの状態量単独では明確な傾向は見られず、車間距離と速度差等は互いに密接な関係を持っているものと考えられる^{7),8)}。すなわち織り込み車は車線変更を行う際に、車間距離、あるいは速度差等を単独に見ているわけではないことを示している。たとえ速度差が大きくても車間距離が非常に大きければ車線変更は可能であり、またある程度車間距離が小さくても、速度差が非常に小さければ車線変更を行える場合もある。

そこで、このような織り込み車の判断特性を調べるため、織り込み車の前後の車頭距離の相対変化率の分析を行った。図—5 に示すように、いま織り込み車 W がその隣接車線の A_i 車、 B_i 車間のギャップ G_i に車線変更を行うことを考える。以下、添字 i はギャップの番号を示す。ある時刻 t における織り込み車前方の車頭距離の相対変化率 $\phi'_A(t)$ は、 $A \sim W$ 車間の速度差をこれら2車間の車頭距離 $S'_A(t)$ で除すことにより得られる。織り込み車後方 (ϕ'_B) についても同様である。すなわち、

$$\phi'_A(t) = \frac{V'_A(t) - V_W(t)}{y'_A(t) - y_W(t)} = \frac{1}{S'_A(t)} \cdot \frac{dS'_A(t)}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

$$\phi'_B(t) = \frac{V_W(t) - V'_B(t)}{y_W(t) - y'_B(t)} = \frac{1}{S'_B(t)} \cdot \frac{dS'_B(t)}{dt} \dots\dots\dots (2)$$

で表され、単位は [sec⁻¹] である。ここに、

$y_W(t)$, $y'_A(t)$, $y'_B(t)$...それぞれ時刻 t における W , A_i , B_i 車の位置 [m]

$V_W(t)$, $V'_A(t)$, $V'_B(t)$...それぞれ時刻 t における W , A_i , B_i 車の速度 [m/sec]

$S'_A(t)$...時刻 t における織り込み車前方の車頭距離 [m]

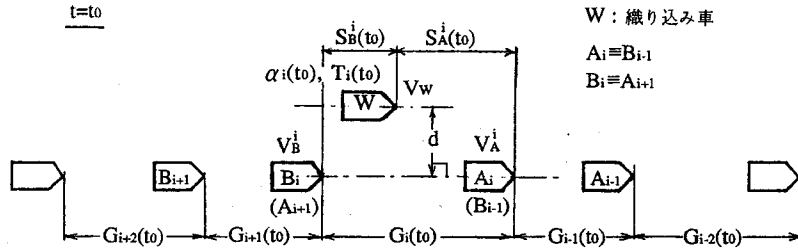


図-5 織り込み車と相手車線のギャップ

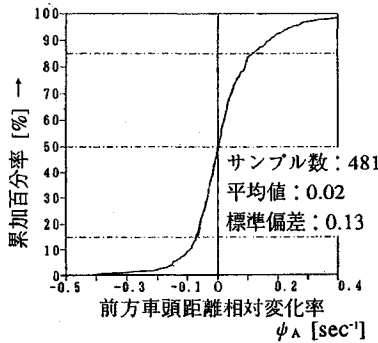


図-6 前方車頭距離の相対変化率の分布 (車線変更完了時, 葛西織り込み区間)

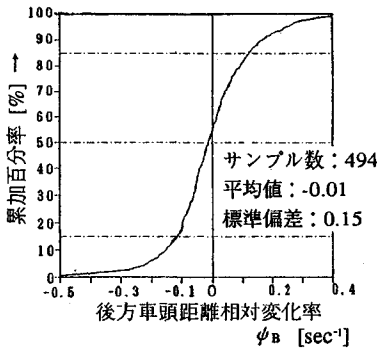


図-7 後方車頭距離の相対変化率の分布 (車線変更完了時, 葛西織り込み区間)

表-2 前方/後方車頭距離相対変化率の分布 (車線変更完了時, 単位: [sec⁻¹])

観測区間		15% - センタイル値	平均値	標準偏差
新保土ヶ谷	前方 ϕ_A	-0.08	0.04	0.17
	後方 ϕ_B	-0.12	-0.01	0.14
葛西	前方 ϕ_A	-0.07	-0.07	0.13
	後方 ϕ_B	-0.12	-0.01	0.15

標との距離 d は, 織り込み車の接近に伴って減少して行く. そこで本研究では, この距離 d がそれら 3 車の車幅の平均値以下となった時点を手線変更完了時刻とみなした.

さて, 葛西区間の車線変更完了時における織り込み車前後の車頭距離相対変化率 ϕ_A , ϕ_B の分布を示したものがそれぞれ図-6, 図-7 である. これより前方については約 -0.2 [sec⁻¹] 以上, 後方については約 -0.3 [sec⁻¹] 以上にほとんどが分布していることがわかる. また 15 パーセント値は, 表-2 に示すように前方, 後方とも葛西, 新保土ヶ谷いずれの区間も -0.1 [sec⁻¹] 前後の値をとることがわかった.

4. 車両挙動モデル

(1) 車線変更挙動モデル

時刻 $t=t_0$ においてあるギャップ $G_i(t_0)$ が与えられたとき, そのギャップに対する車線変更の行いかたは加速度 $\alpha_i(t_0)$ と織り込み所要時間 $T_i(t_0)$ との組合せにより様々な状態が考えられる. たとえば, 現在から 3 秒間急加速するとか, あるいは 5 秒かけて緩やかに加速してから車線変更を行う, などである.

ではこれらの中で, どのような状態が最適なのであろうか. 車間距離や速度差などを個別に判定するのは, すでに述べたように実現象に即しているものとはいえない. また織り込み車の前後のバランスも考慮しなければならない. そこで車線変更完了時の状態を予測し, 織り込み車 W と目標のギャップ G_i の前車 A_i , 後車 B_i (図-5) との車頭距離の相対変化率を用いてこのような特性を表現する. そこでいま, 次のような単純化の仮定を設ける.

①判断時 ($t=t_0$) から, 車線変更完了時 ($t=t_0+T_i(t_0)$)

$$y_A^i(t) - y_W(t)$$

$S_B^i(t)$ … 時刻 t における織り込み車後方の車頭距離 [m]

$$y_W(t) - y_B^i(t)$$

である. 車頭距離相対変化率が正の場合は車間が広がりつつあり, さらに値が大きい程その広がる速度が大きくなり, 一般に車線変更を行い易いことを意味する.

またこれらの車頭距離相対変化率は, 時刻 t の変化に従い時々刻々と変化する量である. 本研究の車両挙動の分析においては, 車線変更が完了した時刻の車頭距離相対変化率を用いた. この車線変更完了の定義であるが, 図-5 に示すように目標のギャップの A_i 車, B_i 車の位置座標を直線で結ぶと, その直線と織り込み車 W の座

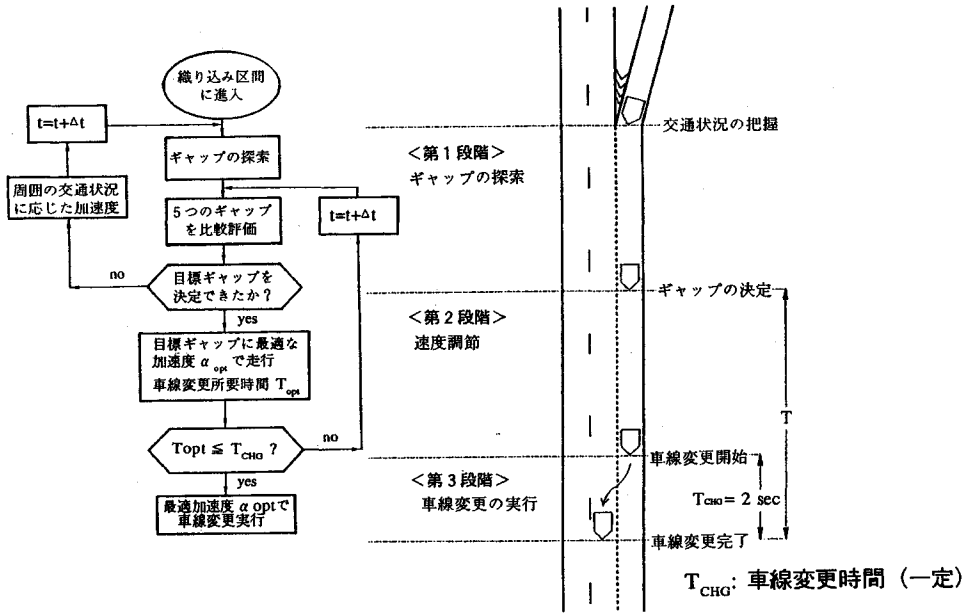


図-8 車線変更モデルのフローチャート

までの間、織り込み車 W は等加速度運動をする。

②その間被織り込み2車 ($A_i \cdot B_i$) は等速運動をする。

これは、織り込み車は被織り込み車の速度はある程度認識できようが、加速度までは正確に把握することは困難と考えられるためである。

このように仮定することにより、現在 ($t=t_0$) の各車の位置関係および速度差から、車線変更完了時 ($t=t_0+T_i(t_0)$) におけるギャップ G_i の前後の車頭距離相対変化率を予測することができる。ギャップ G_i に対する車線変更完了時の予測値 $\hat{\phi}_A^i(t_0+T_i(t_0))$, $\hat{\phi}_B^i(t_0+T_i(t_0))$ は、時刻 $t=t_0$ における織り込み車の加速度 $\alpha_i(t_0)$ と、織り込み所要時間 $T_i(t_0)$ の関数となるので、

$$\hat{\phi}_A^i(t_0+T_i(t_0)) = \hat{\phi}_A^i(\alpha_i(t_0), T_i(t_0)) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\hat{\phi}_B^i(t_0+T_i(t_0)) = \hat{\phi}_B^i(\alpha_i(t_0), T_i(t_0)) \quad \dots\dots\dots (4)$$

と表すこととする。これらの単純和を評価基準 $\hat{\Psi}_i$ とし、

$$\begin{aligned} \text{Max } \hat{\Psi}_i(\alpha_i(t_0), T_i(t_0)) \\ = \hat{\phi}_A^i(\alpha_i(t_0), T_i(t_0)) + \hat{\phi}_B^i(\alpha_i(t_0), T_i(t_0)) \quad \dots\dots (5) \end{aligned}$$

制約条件として、

$$\hat{\phi}_A^i(\alpha_i(t_0), T_i(t_0)) \geq -0.1 \text{ [sec}^{-1}\text{]} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\hat{\phi}_B^i(\alpha_i(t_0), T_i(t_0)) \geq -0.1 \text{ [sec}^{-1}\text{]} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\hat{S}_A^i(t_0+T_i(t_0)) \geq 10 \text{ [m]} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\hat{S}_B^i(t_0+T_i(t_0)) \geq 10 \text{ [m]} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$T_i(t_0) \geq 2 \text{ [sec]} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$\hat{y}_W(t_0+T_i(t_0)) \leq L \text{ [m]} \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここに、

$T_i(t_0)$ …時刻 t_0 におけるギャップ G_i に対する織り込み所要時間の予測値 [sec]

$\hat{S}_A^i(t_0+T_i(t_0))$ …車線変更完了時刻 $t_0+T_i(t_0)$ におけるギャップ G_i の先行車 A_i との車頭距離の予測値 [m]

$\hat{S}_B^i(t_0+T_i(t_0))$ …車線変更完了時刻 $t_0+T_i(t_0)$ におけるギャップ G_i の後続車 B_i との車頭距離の予測値 [m]

$\hat{y}_W(t_0+T_i(t_0))$ …車線変更完了時刻 $t_0+T_i(t_0)$ における織り込み車 W の位置の予測値 [m]

L …織り込み区間長 [m]

である。式 (6), (7) は車線変更完了時の前後の車頭距離相対変化率の条件であり、表-2の観測値の15パーセンタイル値に基づき設定した。また式 (8), (9) は車線変更完了時の最小車頭距離の条件で、本モデルでは10 [m] と設定した。さらに式 (10) は織り込み所要時間の下限値で、平均的な車線変更時間⁹⁾を考慮したものであり、式 (11) 式は織り込み区間内で車線変更を完了するための条件である。

なお \hat{S}_A^i , \hat{S}_B^i , \hat{y}_W も $\alpha_i(t_0)$, $T_i(t_0)$ の関数となるが、簡単のために上記のように表した。

この最適化問題を各ギャップについて解けば、そのギャップ G_i へ車線変更を行うための最適な加速度と時間が決定され、その際の評価基準 $\hat{\Psi}_i$ が求まる。この判定を自車 W の真横とその前後それぞれ100 [m] 以内の2つずつ、最大5つまで ($i-2 \sim i+2$) のギャップについて行って比較し、 $\hat{\Psi}_i$ が最大となるギャップを選択する。このときそのギャップに車線変更を行うための最適加速度 $\alpha_{opt}^i(t_0)$, および織り込み所要時間 $T_{opt}^i(t_0)$ も同

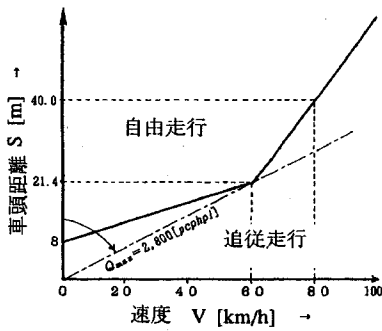


図-9 追従挙動を表現する車頭距離-速度 (S-V) の関係

時に決定される。

以上のようにして第1段階がモデル化されたわけであるが、ギャップ決定後も周囲の交通状況は時々刻々変化しているため、適宜速度を修正し、場合によっては目標のギャップを変更しなければならない。そのため第2段階でも第1段階と同様の判定を続け、 $\alpha_{opt}(t_0)$ 、 $T_{opt}(t_0)$ を修正する。時間の経過に従って一般に最適織り込み所要時間 T_{opt} は減少してゆくが、これが2秒になった時点で車線変更を実行する(第3段階)。以上のフローを模式的に示したものが図-8である。車線変更実行中は前車Aに追従するものとし、以下に述べる追従挙動モデルに従って走行する。

なお、特に渋滞時に織り込み車がギャップを見つけれないまま区間終端部にまで達してしまった場合には、相手車線の車両が進路を譲る。

(2) 追従挙動モデル

非織り込み車(一般走行車)に対しては、走行速度 V に応じた平均的な追従車頭距離 S (S-V関係)を与え、実車頭距離との大小関係により追従/自由走行の判定を行う。S-V関係式は首都高速道路の車両感知器データの交通量と平均速度の関係をもとに、本研究の性格から特に渋滞側を正確に表現できるよう図-9に示す2つの直線で設定した。この関係は全車追従を仮定すると、60 [km/時]で最大2800 [pcu/時/車線]を流すことができるものである。

実車頭距離が追従車頭距離よりも小さい場合は追従走行とみなし、所定の減速を行う。また各車両は発生時に希望速度を持っており、自由走行の場合にはそのときの速度と希望速度との大小関係により加減速を行うものである。自由走行車が選択できる加速度は、各車の走行速度に応じてあらかじめ与えられている。

(3) 追越しと復帰

追越しのための車線変更については、基本的に織り込みと同様のアルゴリズムで行うが区間長の制約がなく、また織り込みに比して時間的制約も少ないために、無理

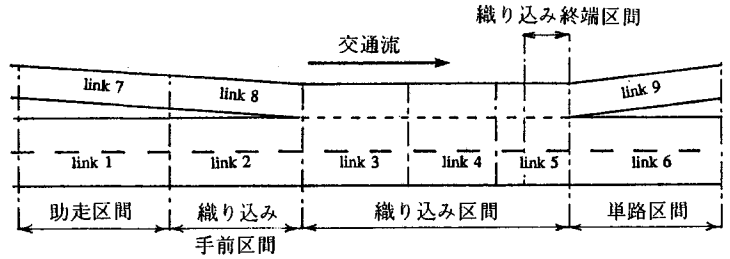


図-10 シミュレーションにおける道路モデル

な挙動はあまりとらないはずである。そこで車頭距離相対変化率の下限値を0とすることにより織り込みと区別した。これは広がりつつあるギャップに対してのみ車線変更を行うことを意味する。追越し車線を自由走行する車両は、追越しと同様の方法で外側車線へ復帰する。

5. 織り込み区間の交通シミュレーション

(1) シミュレーション・モデルの特徴

以上のモデルに基づき、織り込み区間の交通シミュレーション・モデルを開発した。本モデルは進行時間間隔0.2秒のピリオディック・スキャン方式のマイクロモデルで、FORTRANによる約3000行のステップからなる。

(2) 道路モデル

スタディエリアは織り込み区間とその上下流部とするが、これらの道路区間を図-10のようにそれぞれ性格の異なった以下の三つの区間に分ける。

① 助走区間(リンク1, 7): 端末から発生した希望速度の異なった車両をしばらく走行させ、車群を形成させるための200 [m]の区間であり、追越しは禁止である。

② 単路区間(リンク2, 8およびリンク6, 9): 希望速度と実速度の関係から追越し/復帰による車線変更をさせる200 [m]の区間である。これは主に織り込み区間をボトルネックとする渋滞が発生した場合に、各車線の待ち行列長を調節する目的からである。

③ 織り込み区間(リンク3, 4, 5): 単路区間の挙動に加えて、織り込みによる車線変更を行う。下流側50 [m]を織り込み終端区間とし、この区間に残存している織り込み車は減速する。最寄りの被織り込み車はこれに進路を譲り、強制的に織り込みを完了させる。

シミュレーションでは図-10に示す9つのリンクに分けた構造となっているが、これは以上の性格を反映し、さらに種々の幾何構造の織り込み区間、すなわち車線数が織り込み区間で変化する場合などに対応するためである。なお本研究では進行方向に向かって左側の車線から順に、第1車線、第2車線、...と呼ぶこととする。

(3) 前提条件と入力情報

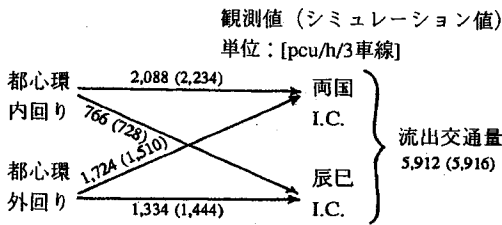


図-11 流出交通量の検証結果 (箱崎区間, 6:30~6:45)

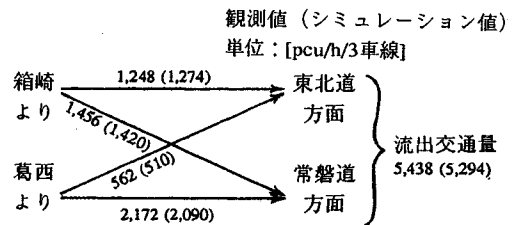


図-12 流出交通量の検証結果 (堀切区間, 15:00~15:15)

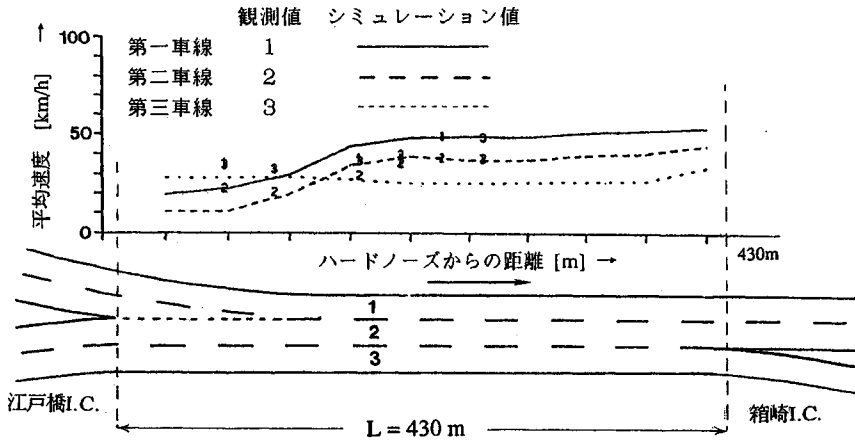


図-13 車線別速度変化の検証結果 (箱崎区間, 6:30~6:45)

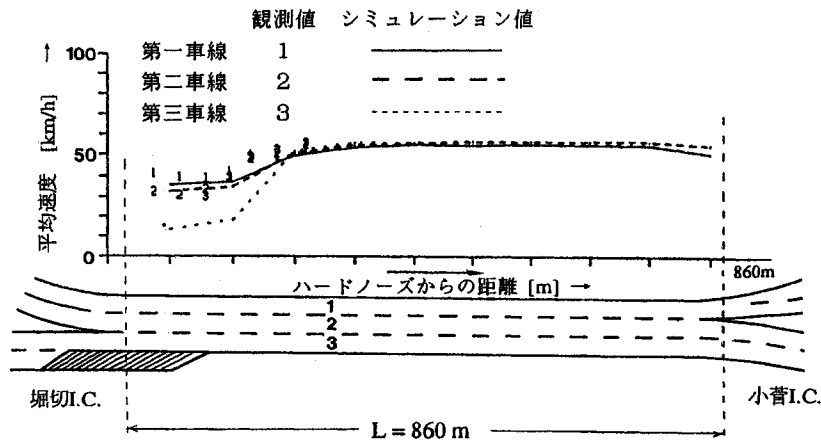


図-14 車線別速度変化の検証結果 (堀切区間, 15:00~15:15)

- 本シミュレーションでは次の前提条件を設けている。
- 最上流端末からの発生する車両の車頭時間分布は、負の指数分布に従う。
 - 各車両の希望速度は、正規分布に従う。
 - 織り込み手前区間において、織り込み車を避けるためにあらかじめ車線変更を行う、いわゆる避走挙動は扱わない。
 - 交通量については、大型車を換算係数 1.5 で乗用車に換算し、全車両の性能および車寸は等しいものと

- する。
- 縦断勾配、カーブの影響は考慮しない。
- 必要な入力情報は織り込み区間の幾何構造条件、車線別交通需要、および織り込み車比率である。なお交通容量算出の場合には、交通需要として明らかに容量以上である交通量 (2000 [pcu/時/車線] 以上) を入力することにより、容量状態が再現される。大型計算機を用いることにより、容量状態における 30 分の演算を約 2~3 分 (CPU-time) で行うことが可能であり、各種状態量を

出力する。

(4) シミュレーションによる織り込みモデルの検証

本シミュレーションを、容量状態である箱崎区間および容量に近い状態である堀切区間のいくつかの時間帯に適用した。なお堀切区間の箱崎方向からの流入部については観測交通量を、その他についてはいずれの流入部も待ち行列が延伸していたため、2000 [pcu/時/車線] を交通需要として入力して、流出交通量の整合性を検証した。図-11, 12 は流出交通量、図-13, 14 は車線別平均速度の検証結果である。

箱崎区間における車線別速度の区間変化(図-13)は、特に中央分離帯側の第3車線の速度が区間終端部までなかなか回復せず、観測値に整合しない。これは都心環状線外回りから6号線方面へ向かう織り込み車が終端部において多く割り込み、後続の直進車を妨害してしまうためである。しかしながら実現象では区間内下流部の第3車線の幅員が広がっているため、このような織り込み車がいっても直進車はその側方をすり抜けて進むことができ、スムーズに流れている。すなわちこの車線の速度の不整合は、幅員などの影響を考慮していないことによるものである。他の車線の速度はほぼ一致している。

また堀切区間の中央環状線からの流入部は、1車線に統合されて流入するようマーキングが施されてあるが幅員は2車線分あり、特に渋滞が発生するとゼブラ上にも待ち行列が形成され、織り込み区間上流部では複雑な割り込み挙動が行われている様子が観察された。また6号線方向からの流入部では待ち行列が延伸しておらず、完全な容量状態とは言い難い不安定な状態であった。第3車線の速度が特に区間上流部において一致していないのは、これらの理由によるものであると考えられる。

流出交通量(箱崎区間は交通容量)はいずれの区間もほぼ一致しており、モデルの妥当性が確認された。

6. ま と め

(1) 結 論

① 都市内高速道路のいくつかの織り込み区間において交通流の実態調査を行い、それらの観測データの処理方法を実用的なものとした。そして各車両の挙動を綿密に分析したところ、織り込み挙動を説明するためには織り込み車と周囲の車両との相対的な位置関係、速度差、およびそれらの変化を総合的に考慮に入れなければならないことが確認された。

② 織り込み車の特徴的な挙動である、ギャップ探索中の加減速挙動を再現する走行モデルを考案した。これは織り込み車の車線変更が完了した時点における各車両の位置関係、速度差を織り込み車が事前に予測し、車線変更に最適な加速度とタイミングを算出するものである。さらに時々刻々と変化する周囲の状況に応じてこれ

らを調節することにより、良い再現性を持たせている。織り込みギャップの評価には、車線変更完了時の先行車あるいは後続車との車頭距離の相対変化率を用いて、車頭距離や速度差相互の関係を考慮に入れたものである。

③ 織り込み区間の交通シミュレーション・プログラムを開発し、容量状態もしくはそれに近い状態の2つの織り込み区間において検証を行ったところ、流出交通量が実交通に対して良い整合性を見せた。織り込み比率、織り込み車の到着車線分布、幾何構造が入力情報として与えられれば、本シミュレーション・モデルによって交通容量を簡便に算出することが可能である。

(2) 今後の課題

① 今回モデルの検証を行った織り込み区間は観測の困難さゆえ2区間であるが、さらに様々な幾何構造、交通条件の区間について検証し、信頼性を高めることが望まれる。

② 本研究では織り込み区間手前における車線選択挙動を扱っていないが、これは交通量や織り込み比率、またドライバーへの情報の与え方等に大きく依存するものであると考えられ、これにより織り込み区間への織り込み車の到着車線分布が大きく左右される。したがってこれらを表現する何らかのモデルの開発が最も望まれるところである。本研究では織り込み車の到着車線分布を所与のものとして扱っているが、このモデルが開発されれば交通容量算出のための入力情報は幾何構造と織り込み比率のみでよいことになり、一層利便性が増すものである。

③ また縦断勾配や平面曲線、車線幅員などの影響や、大型車の乗用車換算係数についても議論の余地は残されており、今後の課題としたい。

最後に本研究を進めるにあたり、調査の実施、データの提供等で並々ならぬ御尽力を頂いた首都高速道路公団計画部調査課、同交通管制部管制技術課、並びに(株)オリエンタルコンサルタンツ総合計画部の皆様に深く感謝の意を表したい。

なお本研究は、文部省科学研究費補助金(一般研究B、奨励研究<特別研究員>)の補助を受けたことをここに付記する。

参 考 文 献

- 1) Highway Capacity Manual, U.S. Government Printing Office, Washington, D. C., 1950.
- 2) Highway Capacity Manual, Special Report 87, Highway Research Board, 1965.
- 3) Pignataro, L. J., et al : Weaving Areas—Design and Analysis, Polytechnic Institute of New York, NCHRP Report No.159, Project No.3-15, 1975.
- 4) Leish, J.E. : Completion of Procedures for Analysis and

- Design of Traffic Weaving Sections, Final Draft Report, Volume 1, Research Findings and Development of Techniques for Application, September 1983.
- 5) Highway Capacity Manual, Special Report 209, Transportation Research Board, September 1985.
 - 6) Skabardonis, A., Cassidy, M. and May, A.D. : Operation of Major Freeway Weaving Areas : Findings from the Application of Existing Analytical Methods and Simulation Modelling, Institute of Transportation Studies University of California, Berkeley, UCB-ITS-WP-12, 1988.
 - 7) 中村英樹・桑原雅夫・鈴木隆・越正毅・赤羽弘和：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, 第12回土木計画学研究・講演集, pp.61~67, 土木学会, 1989年12月.
 - 8) 中村英樹・桑原雅夫・赤羽弘和・越正毅：合流ギャップ・ラグに関する基礎的考察, 土木学会第44回年次学術講演会講演概要集第4部, pp.166~167, 土木学会, 1989年10月.
 - 9) (社)交通工学研究会：織り込み区間の設計に関する調査研究報告書, 1989年3月.
- (1991.5.14 受付)

A SIMULATION MODEL FOR ESTIMATING CAPACITIES OF WEAVING SECTIONS

Hideki NAKAMURA, Masao KUWAHARA and Masaki KOSHI

Capacity of weaving sections is affected by many variables such as four directions of flows and variety of lane configurations. And it is difficult to estimate capacities of weaving sections through statistical analyses based on observed capacity data for various geometries and flow conditions. It is therefore considered that the capacity value may be reproduced by the aggregation of individual driver behaviors. Using vehicles trajectory data obtained from observations on several weaving sections on urban expressways in Tokyo area, such microscopic variables as spacings and relative speeds of weaving vehicles were analyzed. Based on these analyses, a simulation model which intends to estimate weaving capacities was developed. Such maneuvers of weaving vehicles as lane changing and acceptable gap searching which affect capacity were particularly precisely modeled. The model was validated for two congested weaving sections of the Tokyo Metropolitan Expressway. Simulated values of capacities were found to fit well with the observed ones.