

第7章 都市高速道路合流部における走行支援情報提供が交通流円滑化に及ぼす影響のシミュレーション分析

7.1 本章の目的

本章では、走行支援情報提供が都市高速道路合流部の交通流円滑性に及ぼす影響を分析するためのミクロ交通流シミュレーションシステムを構築し、これを用いて走行支援情報への対応車両の混在率による交通流円滑化の度合いの相違を分析することが目的である。7.2 では、合流部における走行支援情報提供を受けるドライバーの運転挙動プロセスを検討し、モデルの定式化およびパラメータ推定を行う。7.3 では、7.2 で構築した合流部の運転挙動モデルをミクロ交通流シミュレーションモデルとして構成する。7.4 では、構築したシミュレーションモデルを用いて、走行支援情報が合流部交通流の円滑化に及ぼす影響を分析し、今後に望まれる走行支援情報提供システムの設計や導入スキームに関する知見を得る。

7.2 走行支援情報提供を前提とした都市高速道路の合流部運転挙動モデル

7.2.1 ドライバーの運転挙動プロセスおよび行動原理

本研究では、合流部におけるドライバーの運転挙動を図 7-2-1 のプロセスとして考える。合流車は、アプローチ区間において最適な合流が行えるように速度調整を行いながら合流区間への流入速度を決定し、本線車の行動を認識しながら速度調整を行いつつ、流入を希望するギャップを決定し、最終的にそこへ流入可能と判断すれば車線変更を行い、合流を完了する。走行車線（も

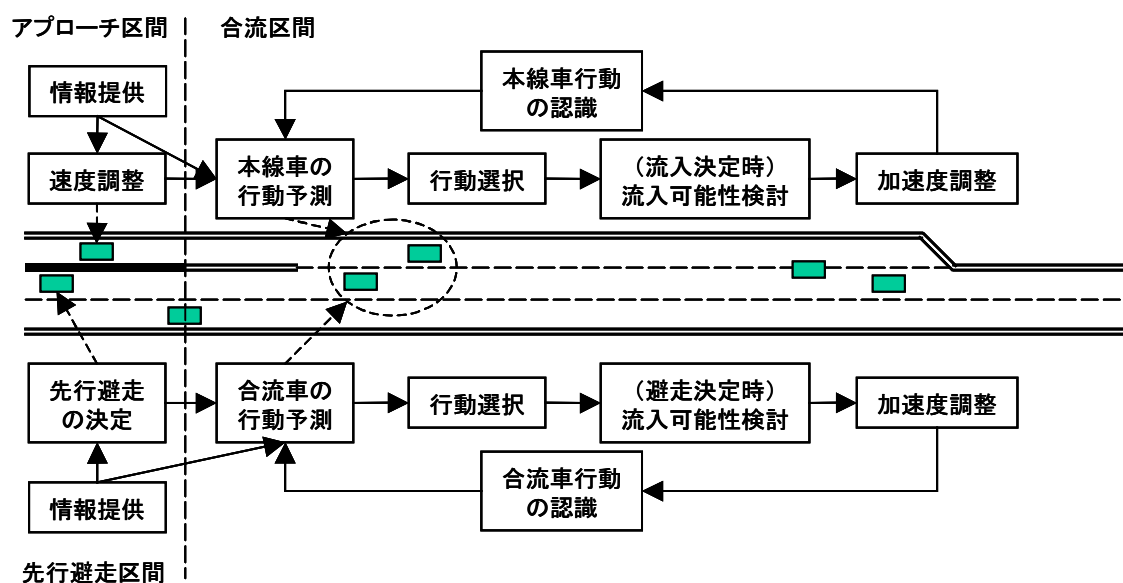


図7-2-1 本研究で想定する合流部の運転挙動プロセス

しくは合流車線が取り付いている追越車線)を走行する本線車は、先行避走区間において合流車への遭遇状況などを勘案して事前に車線変更を行うか否かを判断する。もし、車線変更を希望すれば側方ギャップへの流入可能性を判断し、可能であると判断すれば車線変更を開始する。そうでなければ、そのまま当該車線を走行し合流区間に流入する。その後、合流車の存在を確認すれば、これを回避するために車線変更を行うか判断する。車線変更を希望すれば先行避走と同様のメカニズムで車線変更を試みる。車線変更を希望しない場合には、合流車の行動を認識しながら速度調整を行いつつ、合流車を前のギャップに受け入れるか、受け入れないかを決定する。

このような一連のプロセスの中で走行支援情報提供が与える影響については次のように考える。合流車にとっては、合流する本線との速度差が小さければ合流が容易となるが、加速車線長が短いことを事前に理解していれば、流入を失敗したときに加速車線内で停止しきれないリスクを考慮してより遅い速度での流入を試みると考えられる。この場合、アプローチ区間で事前に合流区間の交通状況を知ることができれば、可能な限り流入速度を上げておきながら情報内容によりその後の行動を考えるようになるかもしれない。また、このような情報がその後の合流区間内の挙動に影響を与えるとは考えにくい、その初期段階では情報の影響を受ける可能性はある。一方、本線車は先行避走区間で予め合流車が流入してくることを認識できれば、積極的に車線変更を行うようになるかもしれない。また、合流車の場合と同様に、合流区間の初期段階では情報の影響を受ける。

本研究では、合流部におけるドライバーの走行効用は以下の 3 つの要素からなると考える。

安全性：事故に遭遇しないように合流したい

快適性：急な運転操作がない合流を行いたい

効率性：合流時間をできるだけ短くしたい

各ドライバーは、これらに重みをつけて意志決定を行うものとする。その重みはドライバー属性、車両属性およびトリップ属性によって決定されるものと考えられるが、本研究では考慮しない。なお、それぞれの効用要素は、安全性は他の車両や道路構造とのギャップ、快適性は加減速の変化速度や相手に位置を譲ることで感じる不効用、効率性は合流所要時間などが考えられる。

7.2.2 モデル推定用データの構築方法

7.2.2.1 使用するデータおよび機材の概要

各種挙動モデルのパラメータ推定を行うために、東池袋ランプの合流区間の前後をデジタルビデオカメラで撮影した動画像(6.3 で取得したビデオデータ)から各車両の挙動を汎用画像処理ボードであるトラッキングビジョン(富士通製)を用いてトラッキングし、1 フレームごと(1/30 秒)の道路進行方向の位置データを取得した。ここから合流タイプ別(併走、追い越し、見送り、避走の有無など)に 10 ケース程度を抽出し、合流車およびその周辺車両のデータコーディングを行った。なお、撮影で使用したビルと合流地点の位置関係から、3 つのカメラでカバーする必要があった。画角や対象車両の大きさの異なる 3 つの画像から抽出される位置データは誤差を有し

ており、これを適切に補正することが必要となる。写真 7-2-1 はトラッキング中の作業画面を示す。画面上に設置された検査断面を車両が通過すると、自動的にトラッキングを開始する。トラッキングを開始する位置は最初に検査断面を通過した部分であるため、トラックなどの大型車両の場合や、車線中央を車両が通過しない場合には誤差が大きくなると考えられる。また、その後は画像の重心をトラッキングするため、やはり大型車両では誤差が大きくなると考えられる。



写真7-2-1 車両挙動のトラッキングの様子

7.2.2.2 カルマンスムージングによるトラッキングデータの補正方法

観測誤差を補正する方法論としてカルマンフィルタがよく知られている¹⁾。ここではフィルタリングのうち、既を取得したデータを全時間に渡ってオフラインで補正する固定区間スムージングを適用する。

本研究が対象とする合流挙動は、縦断方向の高さが一定とし、進行方向と横断方向の2次元の運動を考慮することになる。このとき、時刻 $t+1$ における車両の位置、速度および加速度ベクトル $\mathbf{x}_{t+1} = [x(t+1), y(t+1), v_x(t+1), v_y(t+1), a_x(t+1), a_y(t+1)]^T$ は以下のシステムの方程式で記述することができる。

$$\mathbf{y}_t = \mathbf{H}\mathbf{x}_t + \mathbf{v}_t \quad (7-1)$$

$$\mathbf{x}_{t+1} = \mathbf{F}\mathbf{x}_t + \mathbf{G}\mathbf{w}_t \quad (7-2)$$

ここで、 $\mathbf{y}_t = [x'(t), y'(t)]^T$ は時刻 t における観測された位置ベクトル、 $\mathbf{v}_t$ は観測雑音、 $\mathbf{w}_t$ はシステム雑音であり、ベクトル $\mathbf{H}, \mathbf{F}, \mathbf{G}$ はそれぞれ観測行列、状態遷移行列、駆動行列と呼ばれ、次の式で表現する。

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (7-3)$$

$$\mathbf{F} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \Delta T & 0 & \Delta T^2/2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta T & 0 & \Delta T^2/2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta T & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7-4)$$

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7-5)$$

ここで， ΔT は時刻 t から $t+1$ の時間である． $\mathbf{v}_t$ と $\mathbf{w}_t$ はガウス性，白色性を有し，以下の式で発生するものとする．

$$\mathbf{v}_t \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{R}), \quad \mathbf{R} = \begin{pmatrix} \sigma_{vx}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{vy}^2 \end{pmatrix} \quad (7-6)$$

$$\mathbf{w}_t \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{Q}), \quad \mathbf{Q} = \begin{pmatrix} \sigma_{wx}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{wy}^2 \end{pmatrix} \quad (7-7)$$

今，時刻 0 から N までの観測データが取得できたとする．カルマンスムージングでは， $\mathbf{x}_t$ の推定値 $\hat{\mathbf{x}}_{t/N}$ を以下の方法で推定する．

1)フィルタリングを行う

最小分散推定を用いて，時刻 t までのデータを用いた推定値 $\hat{\mathbf{x}}_{t/t}$ を以下の式で求める．

$$\hat{\mathbf{x}}_{t/t} = \hat{\mathbf{x}}_{t/t-1} + \mathbf{K}_t (\mathbf{y}_t - \mathbf{H} \hat{\mathbf{x}}_{t/t-1}) \quad (t = 0, \dots, N) \quad (7-8)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{t+1/t} = \mathbf{F} \hat{\mathbf{x}}_{t/t} \quad (t = -1, \dots, N-1) \quad (7-9)$$

$$\mathbf{K}_t = \mathbf{P}_{t/t-1} \mathbf{H}^T (\mathbf{H} \mathbf{P}_{t/t-1} \mathbf{H}^T + \mathbf{R})^{-1} \quad (t = 0, \dots, N) \quad (7-10)$$

$$\mathbf{P}_{t/t} = \mathbf{P}_{t/t-1} - \mathbf{K}_t \mathbf{H} \mathbf{P}_{t/t-1} \quad (t = 0, \dots, N) \quad (7-11)$$

$$\mathbf{P}_{t+1/t} = \mathbf{F} \mathbf{P}_{t/t} \mathbf{F}^T + \mathbf{G} \mathbf{Q} \mathbf{G}^T \quad (t = -1, \dots, N-1) \quad (7-12)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{0/-1} = \bar{\mathbf{x}}_0 \quad (7-13)$$

$$\mathbf{P}_{0/-1} = E(\bar{\mathbf{x}}_0^2) \quad (7-14)$$

2)固定区間スムージングを行う

$\hat{\mathbf{x}}_{t/t}, \hat{\mathbf{x}}_{t/t-1}, \mathbf{P}_{t/t}, \mathbf{P}_{t/t-1} (t = 0, \dots, N)$ を用いて，最小分散推定により $\hat{\mathbf{x}}_{t/N} (t = N, \dots, 0)$ を推定する．

$$\hat{\mathbf{x}}_{t/N} = \hat{\mathbf{x}}_{t/t} + \mathbf{C}_t (\hat{\mathbf{x}}_{t+1/N} - \hat{\mathbf{x}}_{t+1/t}) \quad (t = N, \dots, 0) \quad (7-15)$$

$$\mathbf{C}_t = \mathbf{P}_{t/t} \mathbf{F}^T \mathbf{P}_{t+1/t}^{-1} \quad (t = N, \dots, 0) \quad (7-16)$$

$$\mathbf{P}_{t/N} = \mathbf{P}_{t/t} + \mathbf{C}_t (\mathbf{P}_{t+1/N} - \mathbf{P}_{t+1/t}) \mathbf{C}_t^{-1} \quad (t = N-1, \dots, 0) \quad (7-17)$$

7.2.2.3 カルマンスムージングの適用

トラッキングされたデータはカメラの設置角度や道路構造図を用いて実座標への変換を行い，フレーム別の進行方向（ x 軸），横断方向（ y 軸）の位置座標とした．その後，トラッキングされた車両群のうち最初の車両を用いて，3 台のフレームの実時刻を合わせ 1 つの連続データとして接続し，これをスムージングに用いる観測データ $\mathbf{y}_t$ とした．

次に， $\mathbf{R}$ および $\mathbf{Q}$ の設定を行った． $\mathbf{R}$ と $\mathbf{Q}$ の大小関係により，スムージングされるデータの特徴が異なる．すなわち， $\mathbf{R}$ を大きくすれば，急激な加速度変化を起こさせないような $\hat{\mathbf{x}}_{t/N}$ が得られ，逆に $\mathbf{Q}$ を大きくすれば，急激な加速度変化を起こさせても観測データに近づけようとする．そのため，詳細は割愛するが，車両が車線変更するかしらないか，加減速したかしらないかで $\mathbf{R}$ と $\mathbf{Q}$ を適宜調整してスムージングを行った．なお，本来は 3 台のカメラのうち遠方を撮影しているカメラ 1 から得られるデータは誤差が大きいと考えられるが，今回は 3 つのカメラで同一の性質の

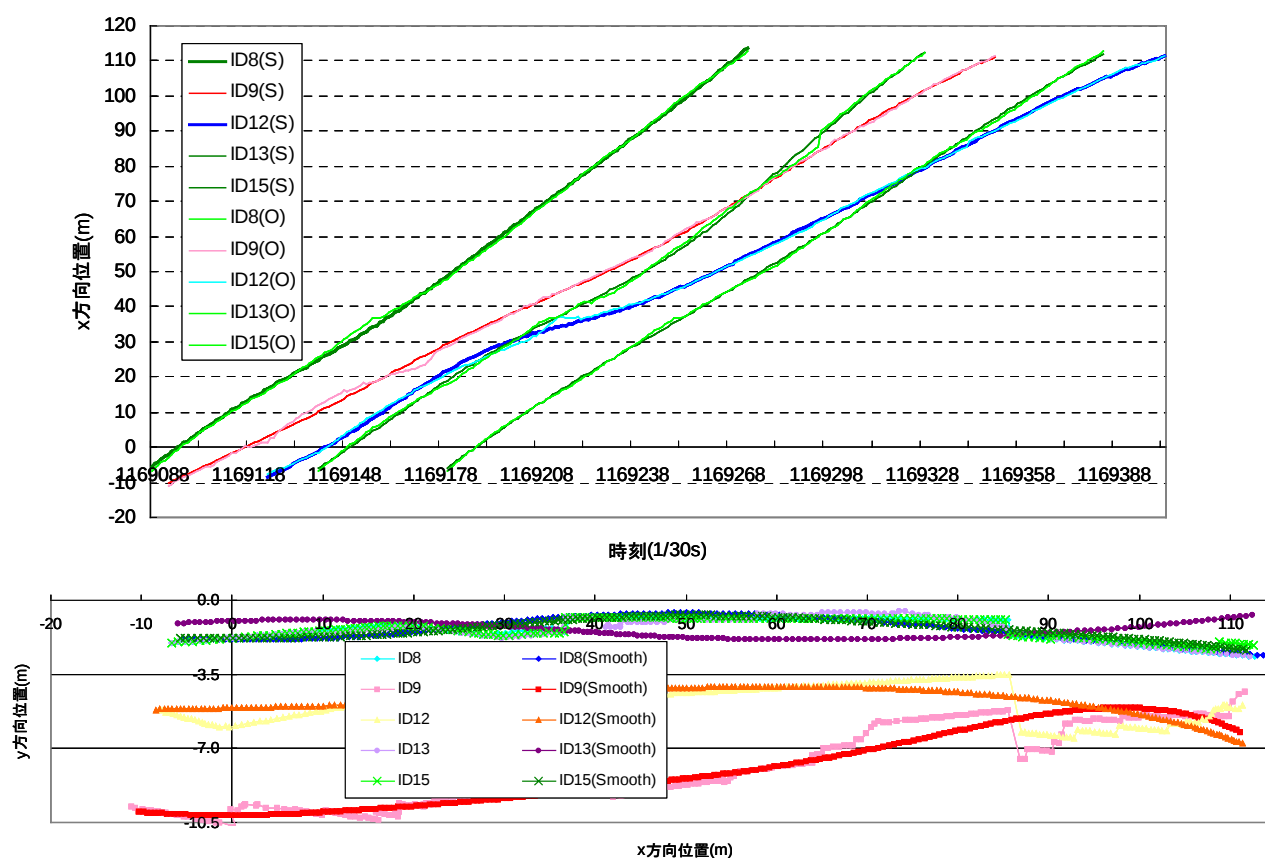


図7-2-2 カルマンスムージングによる時空間図および車両軌跡の例

誤差が発生していると仮定した．図 7-2-2 はトラッキングされた元データとスムージングで得られたデータの時空間図，および進行方向の位置座標の経時変化を示したものであるが，進行方向のスムージングは概ね良好であるのに対して，横断方向のスムージングは，合流車のように車線変更を行う車両については，誤差が大きくなる傾向にある．

7.2.3 アプローチ区間の運転挙動のモデル化

従来の合流部マイクロシミュレーションモデルでは，アプローチ区間のモデルは検討されてこなかった．しかし，走行支援システムの評価を目的とした場合に，アプローチ区間を走行する車両がシステムから何らかの情報を得たり，何らかの制御を受けたりして，合流への事前の対処を行う現象を表現する必要がある．すでに，6.4.2.2 で情報提供がアプローチ区間の走行速度に与える影響を統計的に分析しており，本研究では直接的なモデル構築を検討しないものの，アプローチ区間のドライバーの走行モデルについて概念的な整理を行う．

アプローチ区間走行モデルでは，ドライバーは合流区間に流入する時点で最適な合流を行うための希望走行速度を持っており，これが提供される情報内容やその信頼度，合流部の交通状況などによって形成され则认为する．当モデルの概要を図 7-2-3 に示すが，ドライバーは運転自体や地点の経験などを通じて形成された何らかの流入速度分布を持っており，これが情報提供内容と情報への信頼度に応じて平均値が変化する．以下の分析ではこれらの分布に正規分布を仮定するが，平均値や標準偏差の設定は 6 章の観測結果を利用する．例えば観測結果から，情報提供がない場合の流入速度の平均と標準偏差が v_{noinfo} と σ ，ある情報 X の場合の「情報を信頼した」グループを信頼度 100%と見なし，その平均流入速度が $v_{info_X}^{100}$ であった場合，信頼度 $\alpha\%$ の流入平均速度は以下のように表現する．

$$v_{info_X}^{\alpha} = \frac{100 - \alpha}{100} v_{noinfo} + \frac{\alpha}{100} v_{info_X}^{100} \quad (7-18)$$

なお，標準偏差は情報の有無を問わず一定であると仮定する．

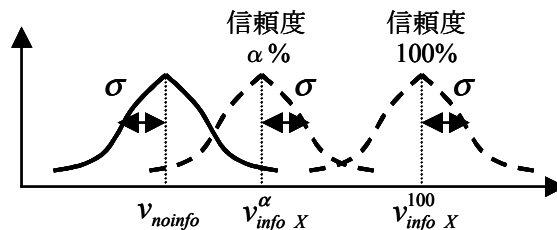


図7-2-3 アプローチ区間走行モデルの概要図

7.2.4 先行避走区間の運転挙動のモデル化

7.2.4.1 モデルの定式化

従来の合流部ミクロシミュレーションモデルでは，先行避走区間の本線車のモデル化が行われてこなかった（3章で述べたように，いくつかの例外として，車線利用率を変えて先行避走の効果を簡易的に表現しているものは存在する）．しかし，より信頼性の高い走行支援情報提供システム評価のためには，先行避走行動を直接的に表現することが不可欠である．本研究では，先行避走行動を決定とその後の車線変更に分割してモデル化を行う．

先行避走決定モデルの概要を図7-2-4に示す．本線の合流車線と接する側の車線を走行しながら合流区間に接近しているドライバーが，合流区間が目視で確認できない段階において，より早く合流部を通過できる，コンフリクトが少なくてすむ，などの判断基準により車線変更を行うかについて決定するモデルとなっている．車両 i が先行避走を行わずに同じ車線を走行する効用を U_1 ，車両 i が先行避走する効用を U_2 とすると，それぞれ，

$$U_1 = V_1 + \varepsilon_1 \quad (7-19)$$

$$U_2 = V_2 + \varepsilon_2 \quad (7-20)$$

と表される．ここで V_1 は先行避走を行わない場合の確定効用， V_2 は先行避走する場合の確定効用， $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ は誤差項である．この時，ドライバーが先行避走しようとする確率 P^{gw} は以下のロジットモデルで表現される．

$$P^{gw} = \frac{1}{1 + \exp(V_1 - V_2)} \quad (7-21)$$

次に， V_1, V_2 の与え方について説明する．既に述べたように，ドライバーの車線選択の要因は通過時間やコンフリクトの遭遇状況であると考えられる．合流部を通過するまでの車線別の所要時間については，現時点での前方の車線別利用状況から車線の所要時間差を認識すると仮定する．なお，車線利用状況は合流部付近の車線別密度を代用すればよい．コンフリクトの遭遇状況については，ドライバーが地点の経験に応じて「だいたい $X\%$ くらいの確率で合流車に遭遇する」というような認識を持っていると仮定する．また，車線変更にコスト意識を有しているドライバーが存在するかもしれない．これらを効用差として表現すれば，以下の式で表現されよう．

$$V_1 - V_2 = \theta_1(T_1 - T_2) + \theta_2 PMR(\alpha) + CCS \quad (7-22)$$

ここで， $T_1 - T_2$ は車線の所要時間差， $PMR(\alpha)$ は情報信頼度 α の合流車遭遇確率の認識値， CCS_i

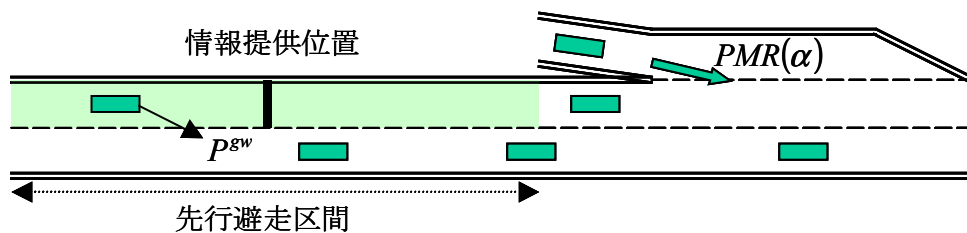


図7-2-4 先行避走区間走行モデルの概要図

は車線変更のコストを表すダミー変数である．このような判断は先行避走区間内で絶えず行われているため，ある一定時間間隔ごとに式(7-22)により先行避走確率を算出する．

ここで， $PMR(\alpha)$ の決定方法について説明する．今，情報種別が存在確認（“遭遇します” / “遭遇しません”）とする．ドライバーが持っている合流地点固有の遭遇確率の認識値を $PMR(0)$ とすると，情報提供がない場合，“遭遇します”との情報を受け取った場合，“遭遇しません”との情報を受け取った場合の $PMR(\alpha)$ を次のように与えることにする．

$$\text{情報提供なし} \quad PMR(\alpha) = PMR(0) \quad (7-23)$$

$$\text{“遭遇します”} \quad PMR(\alpha) = PMR(0) + \frac{\alpha}{100} \{1 - PMR(0)\} \quad (7-24)$$

$$\text{“遭遇しません”} \quad PMR(\alpha) = \frac{100 - \alpha}{100} PMR(0) \quad (7-25)$$

すなわち，情報信頼度が高ければ，“遭遇します”という情報を信じて遭遇確率の認識値が高くなり，“遭遇しません”という情報を信じて遭遇確率の認識値が小さくなる．なお当然のことながら，情報提供時であっても，情報を入手するまでは式(7-23)にしたがって $PMR(\alpha)$ が算出される．

7.2.4.2 モデル推定結果

6.4 での実験では先行避走のデータが捉えられていない．そのため，先行避走決定モデルについては，感知器で観測されている時刻別・車線別通過台数や速度といったデータを利用して推定を行った．はじめに，1999年10月4日～8日に首都高5号線下り東池袋合流部の直前2つの感知器で観測されたデータから1時間ごとの車線別時間交通量，車線別平均速度，合流台数を算出し，以下のデータ処理を行った．

車線別平均速度から走行車線と追越車線の通過所要時間差を算出

合流車の流入時間間隔が指数分布に従うと仮定して，合流台数から合流車に遭遇する確率を算出

2つの感知器間を先行避走区間として，これらの車線利用率から避走割合を算出

すなわち，避走割合が被説明変数，通過所要時間差と合流車遭遇確率が説明変数となる集計ロジットモデルを作成することになる．

先行避走決定モデルの推定結果を表7-2-1に示す．これを式で表すと以下のようなになる．

$$P^{gw} = \frac{1}{1 + \exp\{-0.256(T_1 - T_2) - 1.19PMR(\alpha) - 2.13\}} \quad (7-26)$$

説明変数の t 値が低いものの，合流車の遭遇確率が高ければ先行避走確率が高くなり，追越車線の方が先行避走区間を早く通過できれば先行避走確率が高くなる結果となっている．車線変更コストはダミー変数であり，絶対値が大きな値であることから，先行避走に対する抵抗感は大いと考えられる．

表7-2-1 先行避走確率モデルの推定結果

変数	パラメータ	t 値
先行避走区間所要時間差(T_1-T_2)	-0.256	-0.730
合流車遭遇確率($PMR(\alpha)$)	-1.19	-0.994
車線変更コスト	-2.13	-2.66
尤度比	0.276	
相関係数	0.718	
サンプル数	120	

7.2.5 合流区間の運転挙動のモデル化

7.2.5.1 合流車の合流区間走行モデルの定式化

合流区間に流入した車両は、本線を確認した後に合流するギャップの選択肢として、側方のギャップとその後（本線が渋滞している場合はその前）のギャップを認識すると考えられる。従来のモデルでは、横のギャップを認識し、そのギャップがある条件を満たしていたらそのギャップに流入することを決定した後、決定したギャップに流入できるように加速度調整をしてそのギャップに合流させるもの、合流車だけが本線の状態を評価し、本線車は何ら合流車の影響を受けないもの、が多い。しかし、現実には合流区間では合流車と本線車が相互に影響を受け合って挙動を決定していると考えられ、しかもこのような微妙な挙動が合流部の円滑性を決定づけると想定されるため、より詳細な挙動のモデル化が必要である。また、合流車は流入を希望しているギャップに合流できないと判断した時点で、次に流入を希望するギャップを決定する。合流車は流入が可能となるまでこの動作を繰り返し、ノーズ端が近くなってくると、停止したり、強引に合流する。本研究では、合流車と本線車がお互いを確認した段階から順次お互いの行動を想定しながら挙動を決定するモデルを検討する。

はじめに合流車の流入ギャップ決定行動の定式化を行う。モデルの概要を図 7-2-5 に示す。合流車 i のドライバーは本線を確認できる合流区間に流入した直後に、できるだけ側方に存在するギャップに流入しようとし、そのギャップに流入するか見送るかを常に判断しながら走行すると考える。つまり、本線の側方ギャップの後方車 j に対して進路を譲って後方に合流する(G)か、それとも譲らずに前方に合流する(N)かについて決定する行動を表現するモデルを考えることになる。どちらを選択するかについては、ドライバーが後方車 j の行動を予測して効用が大きい行動を逐一選択すると考える。そこで、後方車 j が合流車 i に対して前方に流入させるのをやめようとする行動を N 、合流車に先を譲って前方

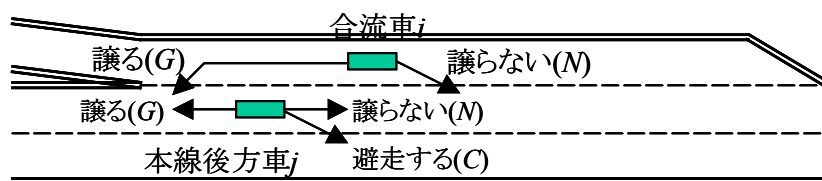


図7-2-5 合流区間走行モデルの概要図

表7-2-2 本線車の行動を前提とした合流車の行動に対する効用

本線後方車 <i>j</i> の行動	合流車 <i>i</i> の行動	<i>i</i> の効用	<i>i</i> の <i>j</i> に対する行動予測確率
譲らない(<i>N</i>)	譲らない(<i>N</i>)	$U_{NN}(t)$	$P_N(t)$
	譲る(<i>G</i>)	$U_{GN}(t)$	
譲る(<i>G</i>)	譲らない(<i>N</i>)	$U_{NG}(t)$	$P_G(t)$
	譲る(<i>G</i>)	$U_{GG}(t)$	
避走する(<i>C</i>)	譲らない(<i>N</i>)	$U_{NC}(t)$	$P_C(t)$
	譲る(<i>G</i>)	$U_{GC}(t)$	

に流入させる行動を G ，合流車とのコンフリクトを嫌って避走する行動を C と表現すれば，本線車の行動が分かった時点での時刻 t の合流車の効用は表 7-2-2 のように表現できる．もし，ドライバーが表 7-2-2 のような本線車の行動の確率を認知していれば，合流車 i が行動 N, G を選択する期待効用 $\bar{U}_N(t)$ ， $\bar{U}_G(t)$ はそれぞれ次のようになる．

$$\bar{U}_N(t) = P_N(t)U_{NN}(t) + P_G(t)U_{NG}(t) + P_C(t)U_{NC}(t) \quad (7-27)$$

$$\bar{U}_G(t) = P_N(t)U_{GN}(t) + P_G(t)U_{GG}(t) + P_C(t)U_{GC}(t) \quad (7-28)$$

合流車のドライバーは，この 2 つの期待効用を比較して，期待効用が大きい行動を確率的に選択することになる．この確率モデルにはロジットモデルを適用する．

ここで，本線車の行動 B の予測確率 $P_B(t)$ の決定方法を説明する．7.2.1 で述べたモデルのフレームでは，合流車が合流区間に流入した時刻における $P_B(t)$ の初期値である $P_B(0)$ については，提供される情報内容の影響を受けることになる．そこで，“遭遇します”の情報を受けた場合の $P_B(0)$ を，

$$P_N(0) = \bar{P}_N + \frac{\alpha}{100}(1 - \bar{P}_N) \quad (7-29)$$

$$P_G(0) = \frac{\bar{P}_G \{1 - P_N(0)\}}{\bar{P}_G + \bar{P}_C} \quad (7-30)$$

$$P_C(0) = \frac{\bar{P}_C \{1 - P_N(0)\}}{\bar{P}_G + \bar{P}_C} \quad (7-31)$$

“遭遇しません”の情報を受け取った場合を，

$$P_B(0) = \bar{P}_B, \quad (B = N, G, C) \quad (7-32)$$

のように考える．ここで， $\bar{P}_B$ は情報提供がない通常時の本線車に対する初期行動予測確率である．これらは，合流車は基本的に本線車が譲ってくれないと考えており，“遭遇します”の情報を受ければ，その傾向がより強くなり，一方“遭遇しません”の情報では，予測確率が変化しないことを意味している．次に，時刻 t での $P_B(t)$ は本線車の時刻 $t-1$ での行動により影響を受ける構造とする．合流車は，本線車の加速度が増加した場合を譲らない行動であると認識し，減少した場合を譲る行動であると認識すると考える．この時， $t-1$ で本線車が譲らなければ，

$$P_N(t) = (1 + \beta)P_N(t-1) \quad (7-33)$$

$$P_G(t) = \frac{P_G(t-1)\{1 - P_N(t-1)\}}{P_G(t-1) + P_C(t-1)} \quad (7-34)$$

$$P_C(t) = \frac{P_C(t-1)\{1 - P_N(t-1)\}}{P_G(t-1) + P_C(t-1)} \quad (7-35)$$

本線車が譲れば,

$$P_G(t) = (1 + \beta)P_G(t-1) \quad (7-36)$$

$$P_N(t) = \frac{P_N(t-1)\{1 - P_G(t-1)\}}{P_N(t-1) + P_C(t-1)} \quad (7-37)$$

$$P_C(t) = \frac{P_C(t-1)\{1 - P_G(t-1)\}}{P_N(t-1) + P_C(t-1)} \quad (7-38)$$

で与えられると考える． β は正のパラメータである．すなわち，もし本線車が譲らなければ，次の時間帯もその状態が継続すると考えることを意味している．

次に，合流車 i が行動 B_i を，本線後方車 j が行動 B_j を選択した場合の， i の効用 $U_{B_i, B_j}(t)$ は以下のように表現する（車両の記号と位置関係は図 7-2-6）．

$$U_{B_i, B_j}(t) = \theta_{B_j, 1} |a_i(t+1, B_i) - a_i(t)| + \theta_{B_j, 2} G_{j-1, j}(t+1, B_i, B_j) + \theta_{B_j, 3} G_{j, j+1}(t+1, B_i, B_j) + \theta_{B_j, 4} G_{j-1, j+1}(t+1) + \theta_{B_j, 5} L_i^r(t) \quad (7-39)$$

ここで右辺の各項の意味について説明する． $|a_i(t+1, B_i) - a_i(t)|$ は合流車 i が B_i を選択したときの加速度変化量の絶対値であり，これが大きくなれば走行の快適性が低下するという解釈を行う． $G_{j-1, j}(t+1, B_i, B_j)$ は i が B_i ， j が B_j を選択した場合の j とその本線前方車 $j-1$ の次期ギャップ長， $G_{j, j+1}(t+1, B_i, B_j)$ は i が B_i ， j が B_j を選択した場合の j とその本線後方車 $j+1$ の次期ギャップ長， $G_{j-1, j+1}(t+1)$ は $j-1$ と $j+1$ の次期ギャップ長（ $j-1$ と $j+1$ は等速と見なし， t 期と同一とする）であり，これらは小さくなればそのギャップを選択する効用が小さくなる． $L_i^r(t)$ は加速車線終端までの残存距離であり，これが小さくなればギャップを見送る（ j に譲る）傾向が強くなる．なお，各パラメータ θ は B_j ごとに決定される．

式(7-39)では自己の加速度 $a_i(t+1, B_i)$ を決定し，かつ $G_{j-1, j}(t+1, B_i, B_j)$ ， $G_{j, j+1}(t+1, B_i, B_j)$ を決定するために， j の行動別の次期加速度 $a_j(t+1, B_j)$ を予測しなければならない．まず， $a_i(t+1, B_i)$ は以下のように与える．

$$a_i(t+1, B_i) = \theta_{B_i, 1} v_i(t) + \theta_{B_i, 2} G_{ij}(t) + \theta_{B_i, 3} G_{i, j+1}(t) + \theta_{B_i, 4} ttc_i^r(t) + Const. \quad (7-40)$$

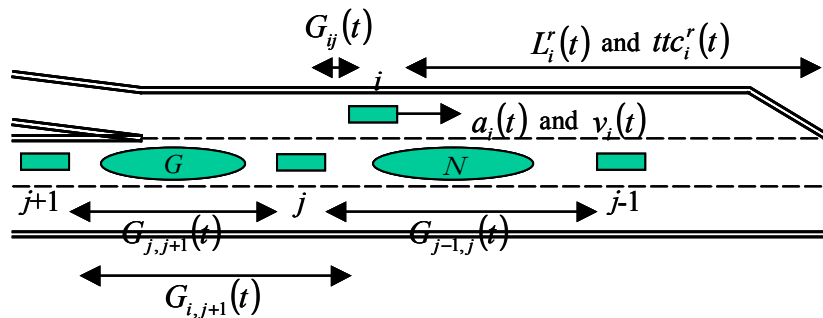


図7-2-6 行動選択時における車両の位置関係(時刻 t)

表7-2-3 合流車の行動を前提とした本線車の行動に対する効用

合流車 <i>i</i> の行動	本線後方車 <i>j</i> の行動	<i>j</i> の効用	<i>j</i> の <i>i</i> に対する行動予測確率
譲らない(N)	譲らない(N)	$U_{NN}(t)$	$P_N(t)$
	譲る(G)	$U_{GN}(t)$	
	避走する(C)	$U_{CN}(t)$	
譲る(G)	譲らない(N)	$U_{NG}(t)$	$P_G(t)$
	譲る(G)	$U_{GG}(t)$	
	避走する(C)	$U_{CG}(t)$	

ここで、 $v_i(t)$ は時刻 t の i の速度、 $G_{mn}(t)$ は時刻 t の車両 m, n 間のギャップ長、 $ttc_i^r(t)$ は時刻 t の加速車線終端までの残存 TTC である。各パラメータ θ は B_i ごとに決定される。このようにして与えられた $a_i(t+1, B_i)$ を用いて、 $a_j(t+1, B_j)$ を次のように与える。

B_j が N の場合： $a_i(t+1, B_i)$ よりも大きい値をランダムに与える。

B_j が G の場合： $a_i(t+1, B_i)$ よりも小さい値をランダムに与える。

7.2.5.2 本線車の合流区間走行モデルの定式化

走行車線を走行する車両についても図 7-2-5 の概念図と同様に、合流区間に到達し合流車を確認すると、常に合流車に対して、先を譲って前に流入させようとする(G)か、先を譲らずに後ろに流入させようとする(N)か、あるいは合流車の流入によるコンフリクトをさけるために追越車線に車線変更しようとする(C)、を判断すると考える。合流車 i が本線の側方ギャップの後方車 j に対して先を譲らずに前へ流入しようとする挙動を N 、進路を譲ってギャップを見送るという挙動を G とすれば、合流車の行動が分かった時点での時刻 t の本線車の効用は表 7-2-3 のように表現できる。もし、ドライバーが表 7-2-3 のような合流車の行動の確率を認知していれば、本線車 j が行動 N, G, C を選択する期待効用 $\bar{U}_N(t)$ 、 $\bar{U}_G(t)$ 、 $\bar{U}_C(t)$ はそれぞれ次のようになる。

$$\bar{U}_N(t) = P_N(t)U_{NN}(t) + P_G(t)U_{NG}(t) \quad (7-41)$$

$$\bar{U}_G(t) = P_N(t)U_{GN}(t) + P_G(t)U_{GG}(t) \quad (7-42)$$

$$\bar{U}_C(t) = P_N(t)U_{CN}(t) + P_G(t)U_{CG}(t) \quad (7-43)$$

本線車のドライバーは、この 3 つの期待効用を比較して、期待効用が大きい行動を確率的に選択することになる。この確率モデルには合流車の場合と同様にロジットモデルを適用する。

以下、合流車の場合と同様に式(7-41)～(7-43)の要素の決定方法を記す。 $P_B(0)$ および $P_B(t)$ については以下のように与える。

○情報が“遭遇します”であった場合

$$P_N(0) = \bar{P}_N + \frac{\alpha}{100}(1 - \bar{P}_N) \quad (7-44)$$

$$P_G(0) = 1 - P_N(0) \quad (7-45)$$

○情報が“遭遇しません”であった場合

$$P_B(0) = \bar{P}_B, \quad (B = N, G) \quad (7-46)$$

○時刻 $t-1$ で合流車が譲らなかった場合

$$P_N(t) = (1 + \beta)P_N(t-1) \quad (7-47)$$

$$P_G(t) = 1 - P_N(t) \quad (7-48)$$

○時刻 $t-1$ で合流車が譲った場合

$$P_G(t) = (1 + \beta)P_G(t-1) \quad (7-49)$$

$$P_N(t) = 1 - P_G(t) \quad (7-50)$$

ここで、 β は正のパラメータである。

次に、本線後方車 j が行動 B_j を、合流車 i が行動 B_i を選択した場合の、 j の効用 $U_{B_j, B_i}(t)$ は以下のように表現する（車両の記号と位置関係は図 7-2-7）。

$$U_{B_j, B_i}(t) = \theta_{B_i, 1} |a_j(t+1, B_j) - a_j(t)| + \theta_{B_j, 2} G_{ij}(t+1, B_j, B_i) + \theta_{C3} G_{k-1, k}(t+1) + \theta_{B_j, 4} L'_i(t+1, B_j, B_i) \quad (7-51)$$

ここで右辺の各項の意味について説明する。 $|a_j(t+1, B_j) - a_j(t)|$ は本線車 j が B_j を選択したときの加速度変化量の絶対値であり、これが大きくなれば走行の快適性が低下する。 $G_{ij}(t+1, B_j, B_i)$ は j が B_j 、 i が B_i を選択した場合の j と i の次期ギャップ長、 $G_{k-1, k}(t+1)$ は $k-1$ と k の次期ギャップ長（ $k-1$ と k は等速と見なし、 t 期と同一とする）であり、これらは小さくなればそのギャップを選択する効用が小さくなる。 $L'_i(t+1, B_j, B_i)$ は j が B_j 、 i が B_i を選択した場合の i の次期残存加速車線長である。なお、各パラメータ θ は B_j ごとに決定される。

式(7-51)では自己の加速度 $a_j(t+1, B_j)$ を決定し、かつ $G_{ij}(t+1, B_j, B_i)$ 、 $L'_i(t+1, B_j, B_i)$ を決定するために、 i の行動別の次期加速度 $a_i(t+1, B_i)$ を予測しなければならない。まず、 $a_j(t+1, B_j)$ は以下のように与える。

$$a_j(t+1, B_j, B_i) = \theta_{B_j, 1} v_j(t) + \theta_{N2} dv_{ji}(t) + \theta_{N3} dv_{j, j-1}(t) + \theta_{N4} G_{j, j-1}(t) + \theta_{G5} ttc_{ji}(t) + \theta_{C6} ttc_{jk}(t) + Const. \quad (7-52)$$

ここで、 $v_j(t)$ は時刻 t の j の速度、 $dv_{mn}(t)$ は時刻 t の車両 m, n 間の相対速度、 $G_{mn}(t)$ は時刻 t の車両 m, n 間のギャップ長、 $ttc_{mn}(t)$ は時刻 t の車両 m, n 間の TTC である。各パラメータ θ は B_j ごとに決定される。このようにして与えられた $a_j(t+1, B_j)$ を用いて、 $a_i(t+1, B_i)$ を次のように与える。

B_i が N の場合： $a_j(t+1, B_j)$ よりも大きい値をランダムに与える。

B_i が G の場合： $a_j(t+1, B_j)$ よりも小さい値をランダムに与える。

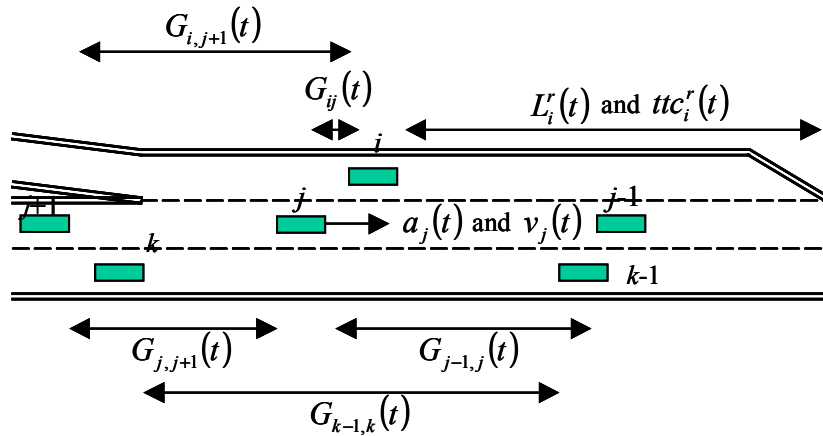


図7-2-7 行動選択時における車両の位置関係(時刻 t)

7.2.5.3 モデル推定結果

はじめに加速度を決定するモデルの推定（式(7-40),(7-52)）を行う．これは，合流区間で相互に影響を与えながら走行する本線車および合流車のドライバーが，自己の行動選択のために相手の行動に対応して必要な加速度を見積もるプロセスを表現するものである．その意志決定の時間間隔は1秒として，行動別の1秒後の加速度を決定する重回帰モデルを作成することにした．なお，ドライバーが決定している行動については，外部観測から直接これを判断することは困難であり，スムージングを行った時空間データから判定する必要がある．本研究では，相手よりも加速度が大きければ前方を譲らない行動 N で，小さければ前方を譲る行動 G であると判定した．

行動別の合流車速度決定モデルの推定結果を表 7-2-4 に示す．変数の説明はモデル定式化の部分と同じであるため，そちらを参照されたい．また，下段の斜字体の数字はパラメータの t 値である． $v_i(t)$ の単位は m/s ， $G_{ij}(t)$ は本線車 j の位置を基準にした合流車 i の位置（単位は m ）であり，負であれば i が前方を走行している． $G_{i,j+1}(t)$ は同様に本線車 $j+1$ の位置を基準にした合流車 i の位置（単位は m ）である． $ttc_i^r(t)$ の単位は秒である． $G_{i,j}(t)$ については， N の場合は ij 間のギャップが小さければより加速度を大きくしようとし， G の場合は， $ttc_i^r(t)$ については，合流部終端に近づくほどより加速度を小さくし，かつ G の方がその度合いが大きいことを意味する．符号条件は整合しており，かつ，パラメータ値もほぼ有意である．同様に，行動別の本線車速度決定モデルの推定結果を表 7-2-5 に示す．ここでも符号条件， t 値ともに十分満足している．

表7-2-4 合流車の加速度決定モデルのパラメータ推定結果

ケース		$v_i(t)$	$G_{ij}(t)$	$G_{i,j+1}(t)$	$ttc_i^r(t)$	定数項	決定係数
N	$v_i(t)-v_j(t)>0$	0.738 7.01	-0.989 -11.4	---	1.17 5.82	-19.5 -11.1	0.692
	$v_i(t)-v_j(t)<0$	-0.299 -4.26	-0.636 -6.24	---	1.60 6.71	-3.25 -2.35	0.430
G	本線後方車($j+1$)あり	---	1.51 12.5	0.0102 0.282	1.68 3.50	-6.25 -4.00	0.844
	なし， $v_i(t)-v_{j-1}(t)>0$	0.0704 3.34	0.432 20.3	---	1.90 15.3	-9.77 -25.8	0.922
	なし， $v_i(t)-v_{j-1}(t)<0$	0.304 23.3	0.116 5.64	---	1.73 39.2	-13.5 -36.7	0.940

表7-2-5 本線車の加速度決定モデルのパラメータ推定結果

ケース		$v_i(t)$	$dv_{ji}(t)$	$dv_{ji-1}(t)$	$G_{ji-1}(t)$	$ttc_{ji}(t)$	$ttc_{jk}(t)$	定数項	決定係数
N	j が i と並走	0.948 12.1	1.18 14.2	1.13 13.6	0.178 21.3	---	---	-22.2 -14.2	0.606
	j が i の後方	4.00 41.2	4.13 41.6	3.67 42.3	0.112 38.3	---	---	-74.6 -41.0	0.971
G		-0.495 -17.6	---	---	---	0.0282 8.41	---	5.43 11.3	0.503
C		-0.0329 160	---	---	---	---	-0.00018 33.4	0.467 114	0.995

表7-2-6 東池袋ランプにおける本線車行動のシェア

本線車の行動	N	G	C
シェア(%)	55.1	9.4	35.5

表7-2-7 合流車の期待効用モデルの推定結果

変数	パラメータ	t 値
定数項(N)	62.2	4.56
$ a_i(t+1, N) - a_i(t) $	-1.03	-4.21
$ a_i(t+1, G) - a_i(t) $	2.07	5.71
$G_{jj-1}(t+1, N, N)P_N(t)$	0.285	5.42
$G_{jj-1}(t+1, N, G)P_G(t)$	0.941	3.83
$G_{j+1,j-1}(t+1, N, C)P_C(t)$	-2.07	-2.09
$G_{jj-1}(t+1, G, N)P_N(t)$	0.300	5.44
$G_{jj-1}(t+1, G, G)P_G(t)$	0.603	3.44
$G_{j+1,j-1}(t+1, G, C)P_C(t)$	2.20	2.20
$L_i^r(t)$	1.91	5.84
β	0.05	
サンプル数	1222	
尤度	0.911	
的中率	0.976	

次に，合流車の期待効用モデル（式(7-27),(7-28),(7-33)～(7-39)）の推定を行う．合流車の本線車に対する初期行動予測確率 $\bar{P}_B$ については，走行実験のビデオデータからカウントした本線車の行動シェアがドライバーの認識値と等しいと仮定して，これを用いることにする．東池袋オンランプ付近におけるビデオデータからの本線車の行動シェアは表 7-2-6 の通りである．この場合，推定されるべきパラメータは，式(7-39)の全パラメータと β である． β については同時推定が不可能であり，モデルの尤度が大きくなる値を採用している．合流車の期待効用モデルの推定結果を表 7-2-7 に示すが，全てのパラメータで有意な推定結果が得られている．

本線車の期待効用モデルについても，表 7-2-8 の観測行動シェアを利用して，表 7-2-9 の推定結果を得たが，合流モデルと同様に全てのパラメータで有意な結果が得られている．

表7-2-8 東池袋ランプにおける合流車行動のシェア

合流車の行動	N	G
シェア(%)	55.0	45.0

表7-2-9 本線車の期待効用モデルの推定結果

変数	パラメータ	t 値
$L_i^r(t+1, N, N)P_N(t)$	0.349	12.9
$L_i^r(t+1, N, G)P_G(t)$	-0.723	-6.37
$G_{ji}(t+1, N, N)P_N(t)$	0.224	8.29
$G_{ji}(t+1, N, G)P_G(t)$	0.258	3.10
$L_i^r(t+1, G(C), N)P_N(t)$	0.304	11.2
$L_i^r(t+1, G(C), G)P_G(t)$	0.599	10.2
$G_{ji}(t+1, G(C), N)P_N(t)$	0.261	9.11
$G_{ji}(t+1, G(C), G)P_G(t)$	0.339	5.04
$G_{k,k-1}(t+1, C)$	0.0153	12.2
$ a_j(t+1, B) - a_j(t) $	-0.108	-7.91
β	0.05	
サンプル数	1022	
尤度	0.433	
的中率	0.711	

7.3 都市高速道路合流部のミクロ交通流シミュレーションモデルの構築

7.3.1 シミュレーションモデルの概要

本研究における合流部ミクロ交通流シミュレーションモデルは，現時点では，首都高速道路などの都市高速道路のランプ合流部で，本線が 2 車線，合流車線が 1 車線で左側から合流する形状のみを対象としたものである．本線車の先行避走についても考慮するため，合流部手前部分についてもシミュレーション範囲とする．先行避走が行われる範囲は特定できていないが，7.2.4 で構築した先行避走確率モデルが合流部手前 300m まで対応しているため，本シミュレーションの範囲は合流部手前 300m の地点から合流部加速車線ノーズ端から 100m 先の地点までとする．シミュ

レーションモデルのプログラミングについては、将来的なオブジェクトの拡張性、プログラミングの効率性を考慮して、Microsoft Visual C++ Ver.6.0を使用した。

シミュレーションモデルのフローの概略を図 7-3-1 に示す。また、図 7-3-2～5 に部分的な詳細のフローを示す。合流車線では、確率分布に従って車両が発生し、発生した車両は情報を取得し、アプローチ区間の走行速度を決定する。本線が確認できる位置に到達したら、走行車線の交通流状態を確認し、関連車両の行動を予測しながら自己の行動を時々刻々決定し、そのために必要な加速度で走行を行う。そして側方ギャップに流入可能であると判断したら、車線変更を開始し走行車線へ移動する。走行車線では、確率分布に従って車両が発生し、情報取得位置に到達するまで先行避走の有無を決定する。情報を取得してから合流車が確認できる位置に到達するまで先行避走の有無を決定する。確認可能な地点に到達したら、合流車線の交通流状態を確認し、関連車両の行動を予測しながら自己の行動を時々刻々と決定し、そのために必要な加速度で走行を行う。もし、行動として避走が選択されていれば、追越車線の側方ギャップの流入可能性を判断し、可能であれば車線変更を開始し追越車線へ移動する。追越車線では、確率分布に従って車両が発生し、避走の受け入れの決定行動のみを行う。なお、スキャンタイムは0.1秒としている。

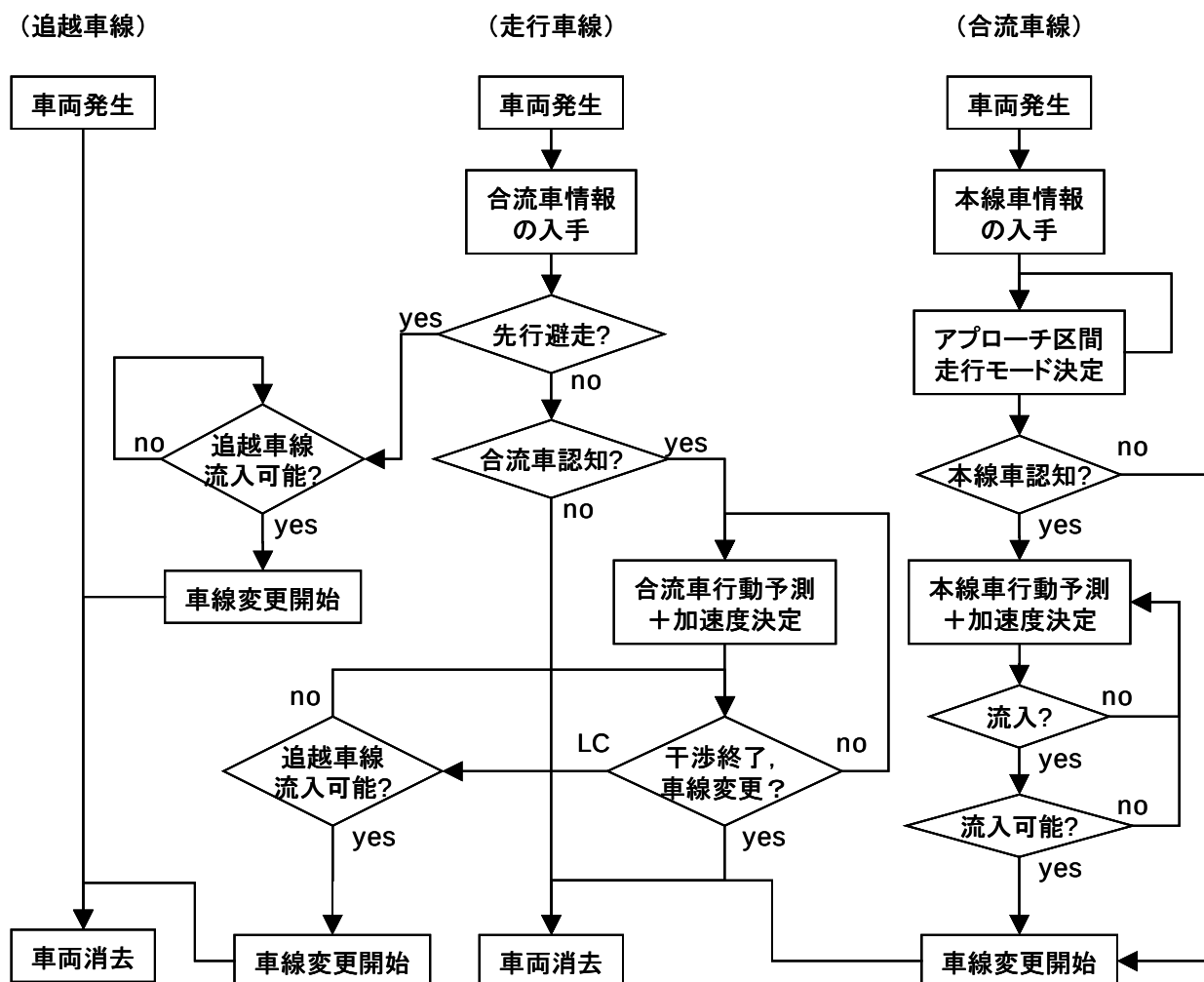


図7-3-1 合流部ミクロ交通流シミュレーションモデルの概略フロー

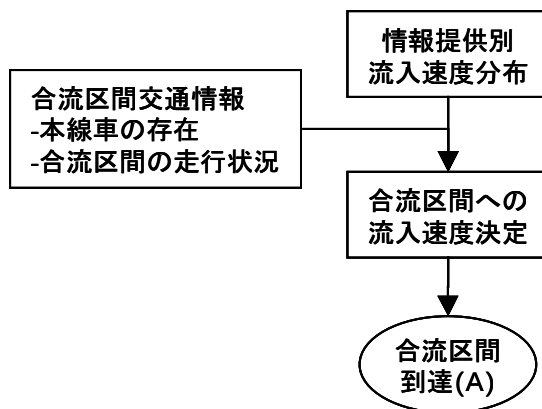


図7-3-2 合流車のアプローチ区間走行モードの決定方法

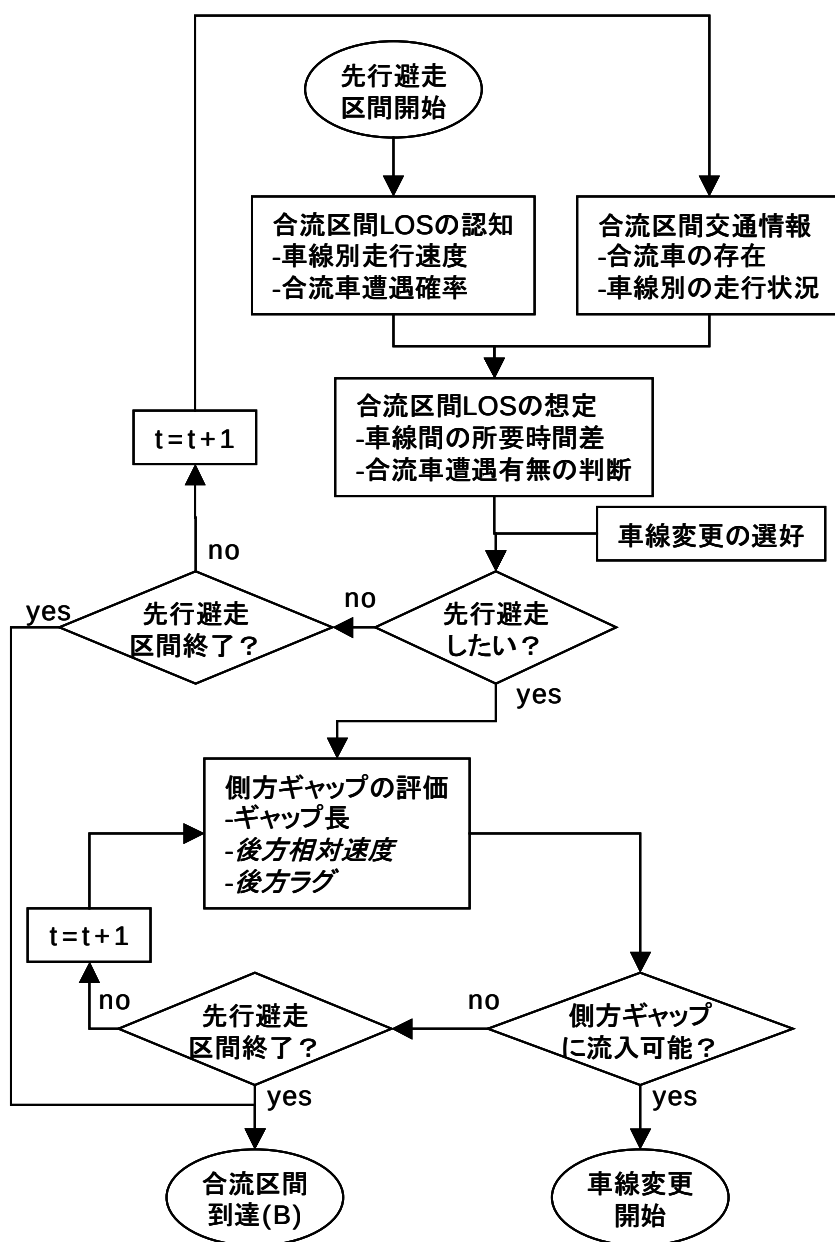


図7-3-3 本線車の先行避走の決定方法

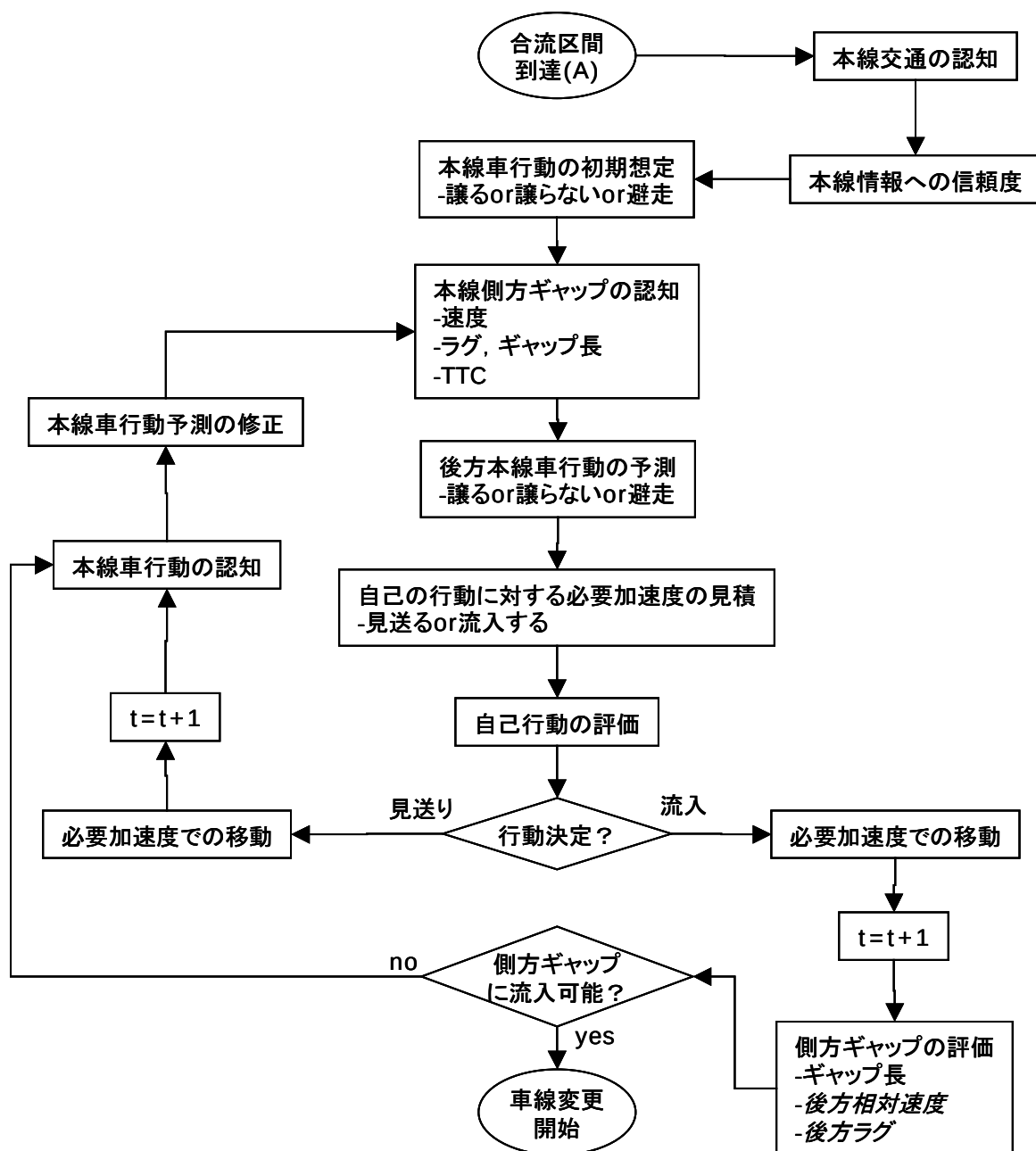


図7-3-4 合流車の合流区間の走行方法

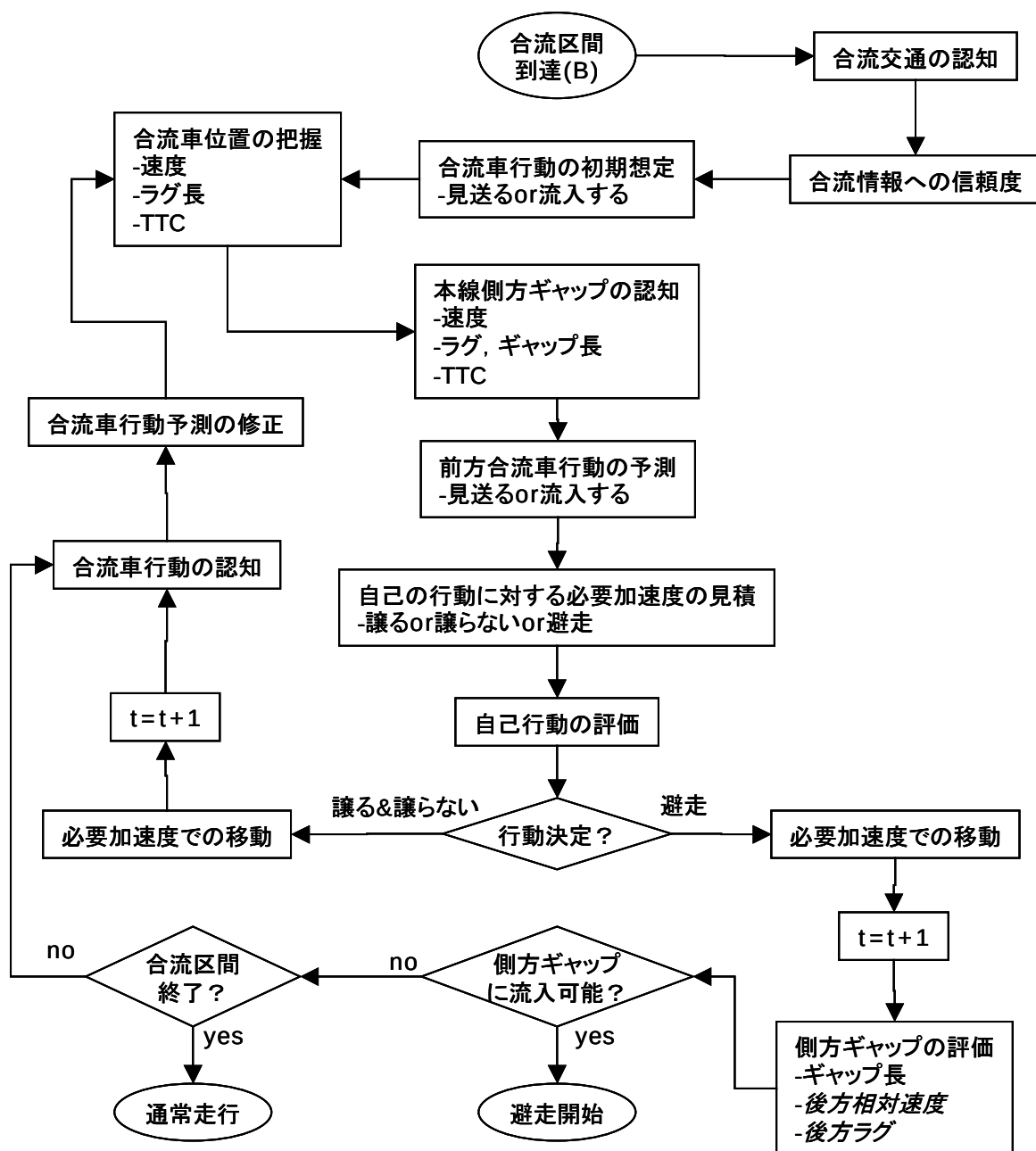


図7-3-5 本線車の合流区間の走行方法

表 7-3-1 にシミュレーションへのインプットとなるデータ群を示す．また，その設定ダイアログを図 7-3-6 に示す．ダイアログ上ではシステムの将来的な拡張を考慮して，例えば運転補助システム AHS-c の反映など，表中の設定項目以外のものも存在しており，メニューバーから設定ダイアログを呼び出し，エディットボックスに数値を入力したり，ラジオボタンで設定を選択したりする．表中で太字の斜字体となっている項目については，以降の感度分析で特に着目する項目である．

表7-3-1 シミュレーションへの入力データ

画面表示に関するもの		
	表示形態	連続表示 or 分解動作表示
	画面表示	全体表示 or 合流部拡大表示
時間設定		
	シミュレーション時間	(min)
	シミュレーション時間間隔	(sec)
合流部構造設定		
	合流部形状	左側合流 or センター合流
	加速車線長	0～200 (m)
	合流車が本線を確認できる位置	合流部より手前0～300(m)
	本線車が合流車線を確認できる位置	合流部より手前0～300(m)
車両設定		
	車線別の平均発生車頭時間間隔	(sec)
	発生車線別の平均速度・標準偏差	(km/h)
	発生車線別の車種構成比	普通車・中型車・大型車
走行支援情報提供システムAHS-iに関する設定		
	AHS-i 車両の発生車線別混入率	(%)
	AHS-i 車両の情報入手位置	合流部より手前0～300(m)
	AHS-i車両に対する情報種別	存在情報のみ
	情報種別の合流区間進入速度の平均値・標準偏差	(km/h)

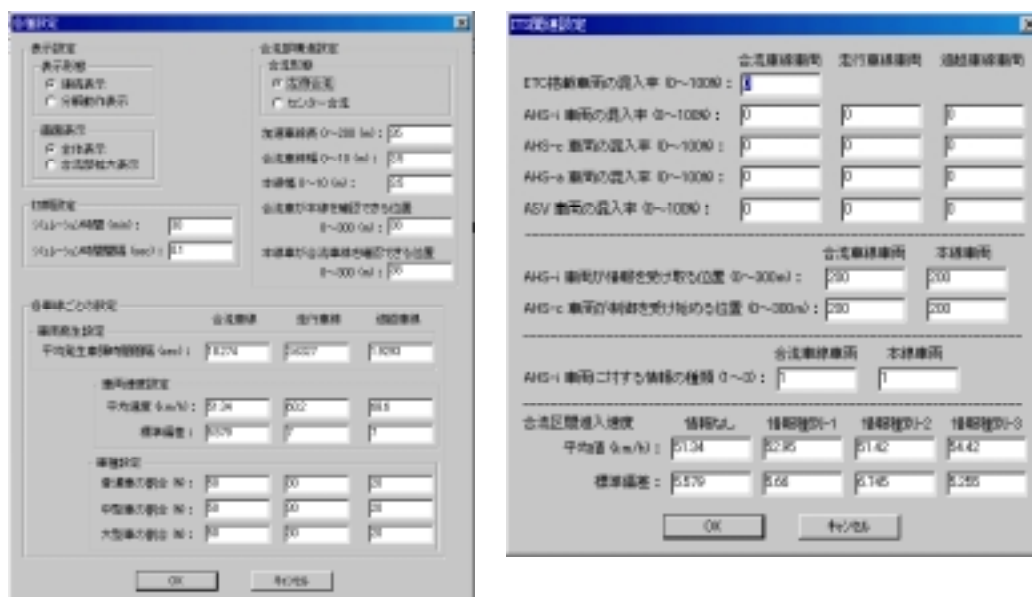


図7-3-6 シミュレーションの入力データのダイアログ

表 7-3-2 にシミュレーションからのアウトプットとなるデータ群を示す．シミュレーションを実行した結果として，図 7-3-7 のようなモニター画面にグラフィック出力がされる．ここでは，合流部の形状と全時刻における車両位置と共に，速度や加速度などの車両走行特性変数が表示される．シミュレーションが完了すると，これらデータが各ファイルに出力される．

本シミュレーションモデルから導出される合流部運用状態に対する指標は，(1)合流完了時の低TTC 値発生割合，(2)合流区間の通過所要時間，(3)急加減速時間を考える．(1)は合流部の安全性を評価するための指標，(2)は合流部の旅行円滑性を評価するための指標，(3)は合流部の操作円滑性を評価するための指標と考えられる．

表7-3-2 シミュレーションからの出力データ

シミュレーション実行中にモニター画面に出力		
	合流部模式図	道路構造, 車両など
	その時刻の車両変数	位置, 速度, 加速度など
	設定データ	シミュレーション時間, シミュレーション時間間隔など
ファイルに出力		
	各時刻の車両変数	位置, 速度, 加速度など
	TTC	前方車両に対するTTC, 合流車線終端に対するTTCなど
	(合流完了時)低TTC値発生割合	合流完了時に合流車と前後の車両のTTCが3秒以内の割合
	合流区間通過時間	各車両が合流区間を通過するのに要する時間
	急加減速時間	±3m/s ² 以上の加速度変化の総時間
	車両発生時刻	
	車両発生時の速度	

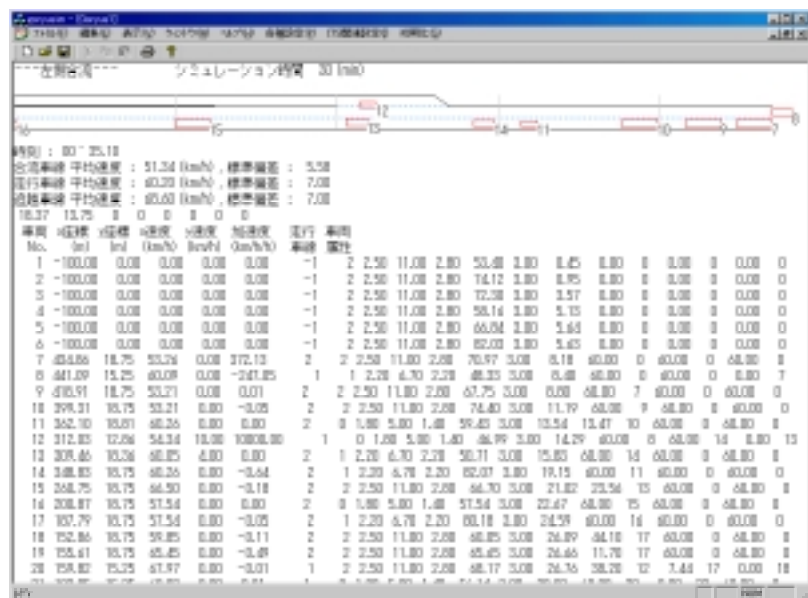


図7-3-7 シミュレーションモデルの出力画面の例

7.3.2 シミュレーションモデルの分析特性

ここでは 7.3.1 で構築したシミュレーションモデルの現況再現性，感度の観点から分析特性を確認する．現況再現の対象については，(1)個々の車両の走行軌跡，(2)走行特性を示す集計的な分布，の 2 つの考え方がある．本研究では，軌跡をそのもののマッチングを行うような行動モデルを使用しておらず，(1)による現況再現をそもそも目的としていない．そのため，(2)による現況再現を試みるものとし，再現を行う分布については，合流車および本線車の行動パターン（合流車は“譲らない” N と“譲る” G ，本線車は“譲らない” N と“譲る” G と“避走” C ）の割合とした．感度分析については，(1)加速車線長，(2)可視区間長，(3)流入速度，(4)流入台数，(5)車線利用率の 5 つを変化させて，これが評価指標値に与える影響を分析した．

7.3.2.1 現況再現性および評価指標値の変動特性

東池袋ランプ合流部における 4 時間 30 分の観測から表 7-3-3 のような車線別の平均車頭時間間隔と平均速度を取得し，これをシミュレーションモデルへの入力し，5 時間のシミュレーション実行した．合流車および本線車の車両行動パターンのシェアについて，観測値とシミュレーション実行値について比較した結果が表 7-3-4 であるが，本線車が合流車を前方に流入させる傾向が強くなっていることが見て取れる．その原因については，合流車の合流区間走行モデルにおいて停止後合流が十分に表現できておらず，合流部終端で合流車を強制的に流入させる処理を行っていることが考えられる．一方，本線車の避走行動については概ね再現できている．

表7-3-3 現況再現時の入力データ

	走行車線	追越車線	合流車線
平均車頭時間間隔(s)	3.63	1.93	18.3
合流前平均速度(km/h)	60.2	68.6	51.3

表7-3-4 行動パターンのシェア

	行動	観測値	シミュレーション
合流車	N	0.550	0.600
	G	0.450	0.400
本線車	N	0.551	0.368
	G	0.095	0.300
	C	0.355	0.332

次に，本線車が合流車に前方に合流させることが走行車線の評価指標値に何らかの影響を与えているか確認する．具体的には，現況と以後の感度分析におけるシミュレーション結果をプールして，3 つの運用指標値と車線別の譲る割合との関係の相関性を分析する．図 7-3-8 は合流車線と走行車線の譲る割合と低 TTC 値発生割合の関係を示す．合流車線の譲る割合が現況の 40%前後の範囲では 17%を平均として $\pm 2.5\%$ 程度の変動が見られるのに対して，50%以上と 35%以下の範囲では指標値が小さくなる傾向が見て取れる．同様の傾向は走行車線側にも見られている．このことは，譲る割合が 40%（合流車線），30%（走行車線）の領域ではお互いが譲ったり譲らなか

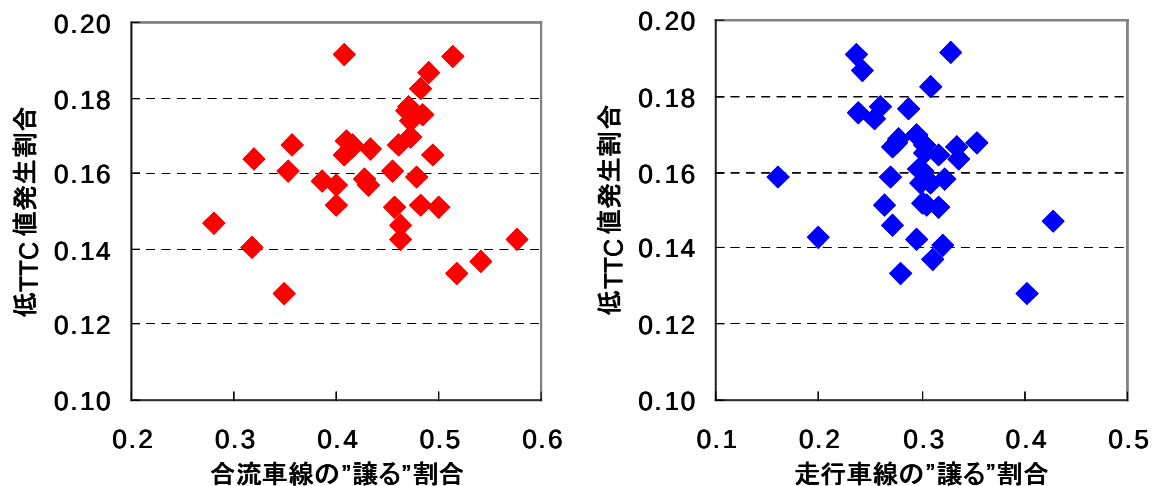


図7-3-8 車線別の譲る割合と低TTC値発生回数の関係

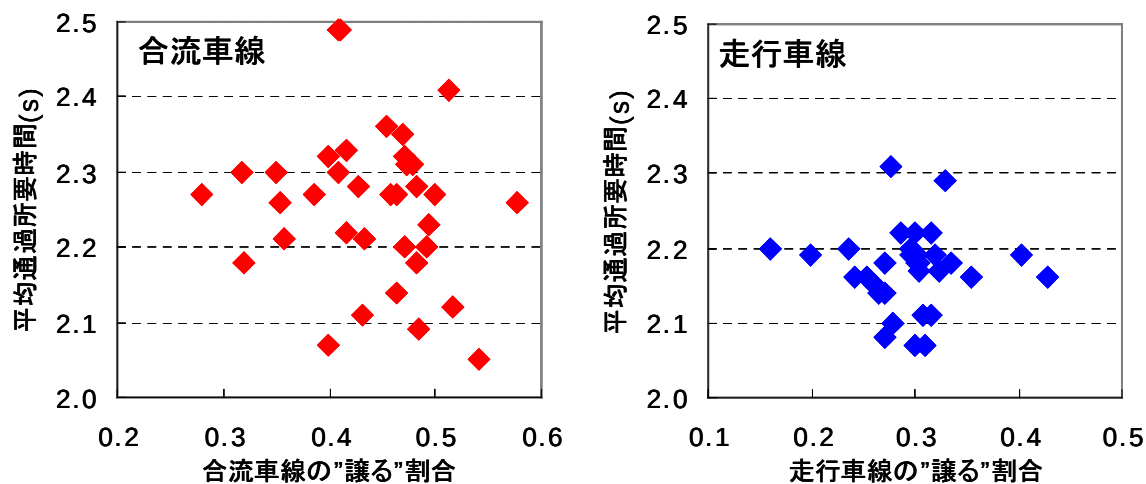


図7-3-9 車線別の譲る割合と平均通過所要時間の関係

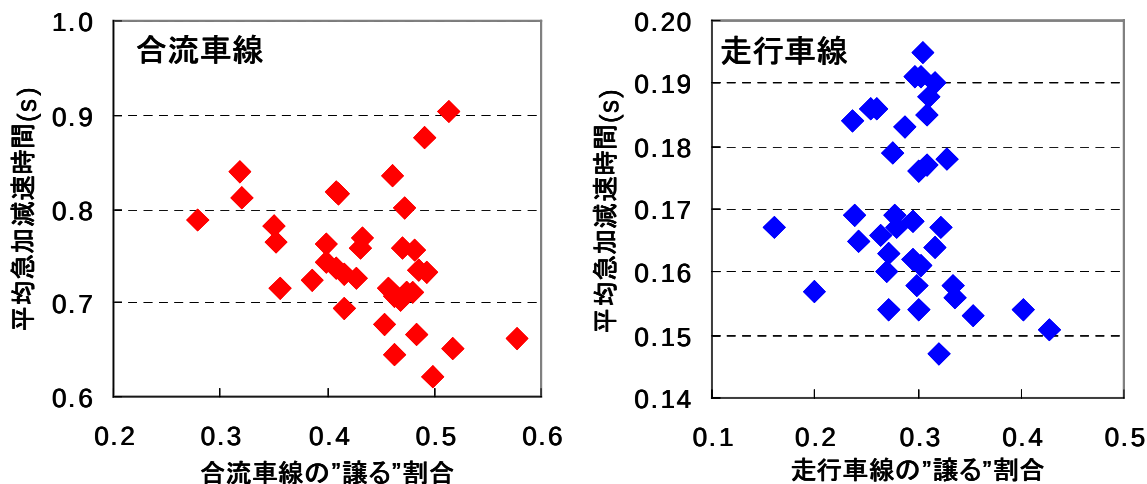


図7-3-10 車線別の譲る割合と平均急加減速時間の関係

ったりするケースが多く、結果として無理な合流が多数生じる可能性があることを示している。図 7-3-9 は合流車線と走行車線の譲る割合と平均通過所要時間の関係を示す。ここでは、両車線とも譲る割合と指標値の変動は無関係であり、合流車線では ± 0.25 秒程度の、走行車線では ± 0.1 秒程度の変動が見られる。図 7-3-10 は合流車線と走行車線の譲る割合と平均急加減速時間の関係を示す。ここでは、合流車線では譲る割合が増加するに従って指標値が減少する傾向が見られるのに対して、走行車線では図 7-3-8 と同様の傾向（理由は同じと考えられる）が見られる。合流車線では、譲る割合を固定して考えれば ± 0.05 秒程度の変動を有している。以上のことから、現況再現における走行車線の譲る割合の相違が指標値に与える影響は小さいと考えられる。

7.3.2.2 道路構造の変化による指標値の感度

ここでは道路構造変化として、(1)加速車線長の延長、(2)合流車本線確認位置（合流車が初めて本線を確認できる地点から加速車線開始地点までの距離、合流車線のみ）の変化、(3)本線車合流確認位置（本線車が初めて合流車線を確認できる地点から加速車線開始地点までの距離、走行車線のみ）の変化、を取り上げる。

(1)加速車線長の延長

図 7-3-11 に加速車線長を延長した場合（現況 35m）の 3 つの運用指標値の変化を示す。平均通過所要時間と平均急加減速時間については、比較のため 50m と 80m のケースを 35m 換算している。加速車線長の延長により、ドライバーは途中でギャップへの流入をあきらめて停止したり、多少短めのギャップへ無理に流入したりする必要性が小さくなる。ここでは、平均通過所要時間のみが短縮されており、加速車線長の延長により停止後合流がある程度回避されている様子が伺える。

(2)合流車本線確認位置の変化

図 7-3-12 に合流車本線確認位置（現況 38m）を変化させた場合の 3 つの運用指標値の変化を示す。本線確認位置が大きくなれば、より事前に本線が確認できることになり、そのためにより事前で速度調整などの合流対応行動が可能となる。そのため、本線確認位置の増加により合流車線の平均急加減速時間が小さくなることが特に期待されるが、若干そのような傾向が見られるに留まっている。また、本線確認位置が増加するに従って低 TTC 値発生割合が大きくなっている。その理由として、本線確認位置が大きくなるに従って合流車が譲る割合が大きくなっており、その速度が低下する傾向があるため、合流時に後続本線車との速度差が生じやすいためであると考えられる。なお、合流部の平均通過所要時間は本線確認位置の変化が影響していない。

(3)本線車合流確認位置の変化

図 7-3-13 に本線車の合流確認位置（現況 38m）を変化させた場合の 3 つの運用指標値の変化を示すが、特徴的な指標値の感度特性は見られない。

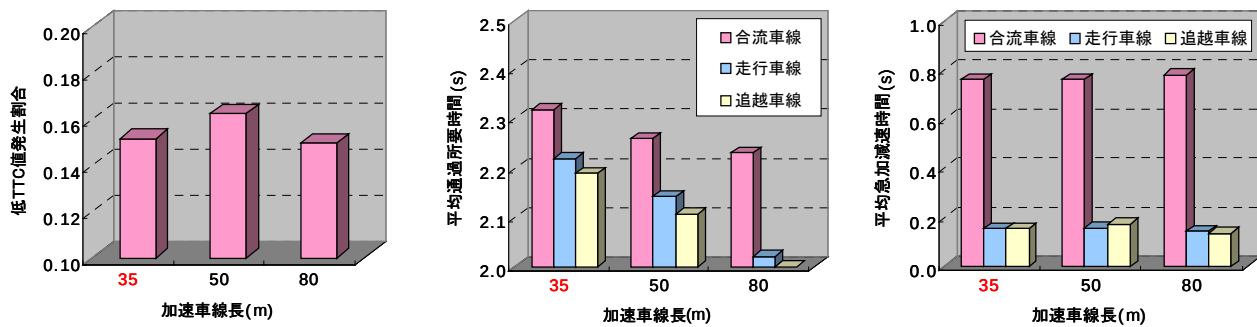


図7-3-11 加速車線長の延長による各指標値の変化

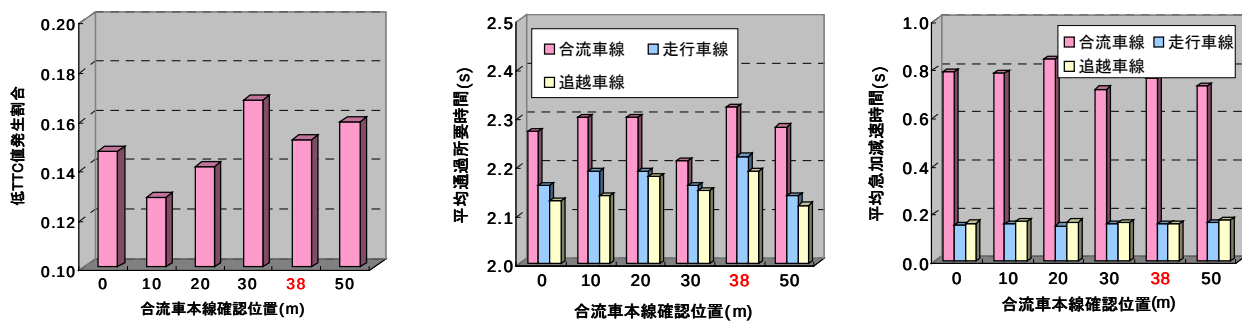


図7-3-12 合流車本線確認位置の変化による各指標値の変化

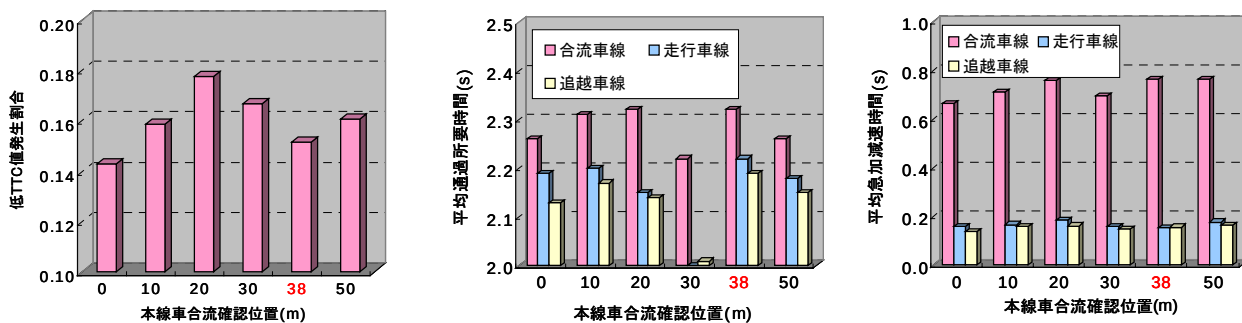


図7-3-13 本線車合流確認位置の変化による各指標値の変化

7.3.2.3 車線別交通量の変化による指標値の感度

ここでは、車線別交通量変化として、(1)追越車線利用率の変化（本線の交通量は一定として比率を変化）、(2)合流車発生台数の変化（本線交通量、車線利用率は不変）を取り上げる。

(1)追越車線利用率の変化

図 7-3-14 は追越車線利用率（現況 66%）を変化させた場合の 3 つの運用指標値の変化を示す。追越車線の利用率が増加すれば、合流車が走行車線の車両と遭遇する確率がより小さくなるため、低 TTC 値発生割合と残り 2 つの指標のうち合流車線と走行車線の値は小さくなることが予想されるが、その通りの結果となっていることが見て取れる。一方、追越車線利用率 70% の場合には追越車線の平均急加減速時間が走行車線のそれよりも大きくなっているが、これは車間距離が短い中で避走が行われるためであると考えられる。また、これらの結果は合流部の円滑性確保に対して、走行車線の車両を予め追越車線側に車線変更させておく先行避走の意義を示唆している。

(2)合流車発生台数の変化

図 7-3-15 は合流車発生台数（現況 197 台/h）を変化させた場合の 3 つの運用指標値の変化を示す。低 TTC 値発生割合については合流車の増加の影響は見られないが、他の 2 つの指標はどの車線においても合流車の増加と共に値が増加する傾向にある。

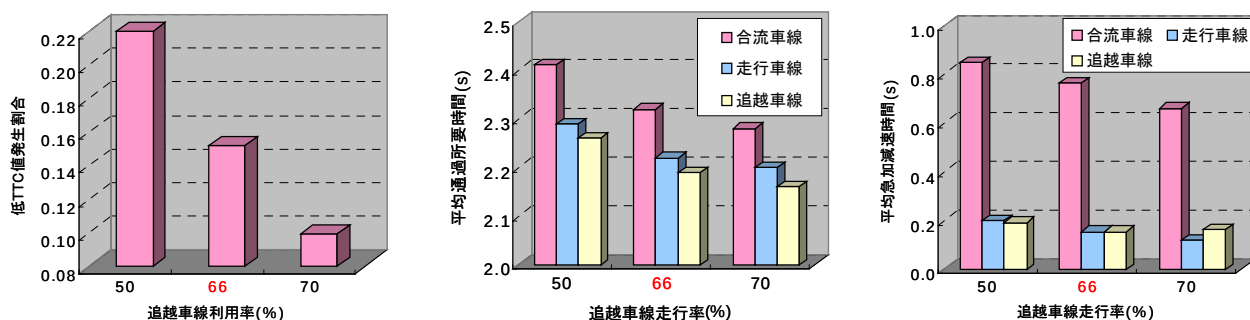


図7-3-14 追越車線利用率の変化による各指標値の変化

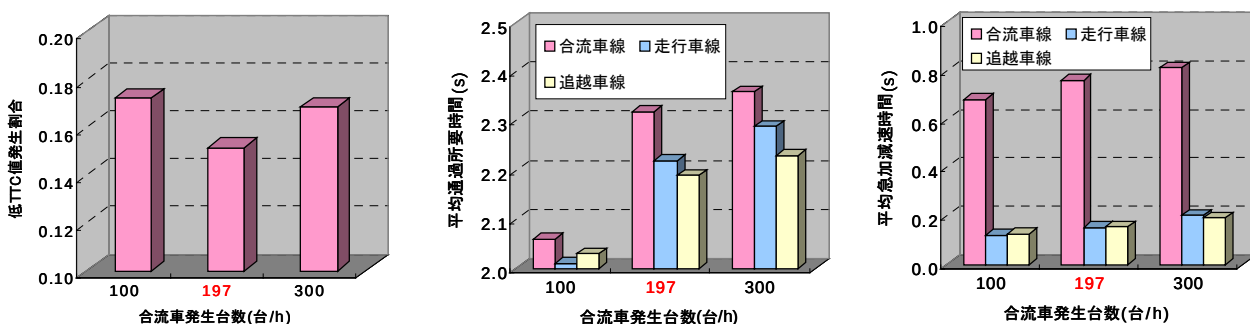


図7-3-15 合流車発生台数の変化による各指標値の変化

7.3.2.4 合流速度の変化による指標値の感度

図7-3-16は合流車の流入時速度が変化した場合の3つの指標値の変化を示す。流入時速度が増加すれば、合流車は本線車に譲る割合が減少し、逆に本線車は合流車に譲る傾向が強くなると考えられるが、55km/hの場合では現況と合流パターンシェアの差が見られず、60km/hの場合には合流車が譲らない割合が10%程度増加する。そのため、60km/hでの平均通過速度が大幅に減少する結果となっている。一方、55km/hでは合流車が譲る割合が増加しないまま流入速度だけが増加したため、どの指標でも現況よりも値が悪くなっていると考えられる。

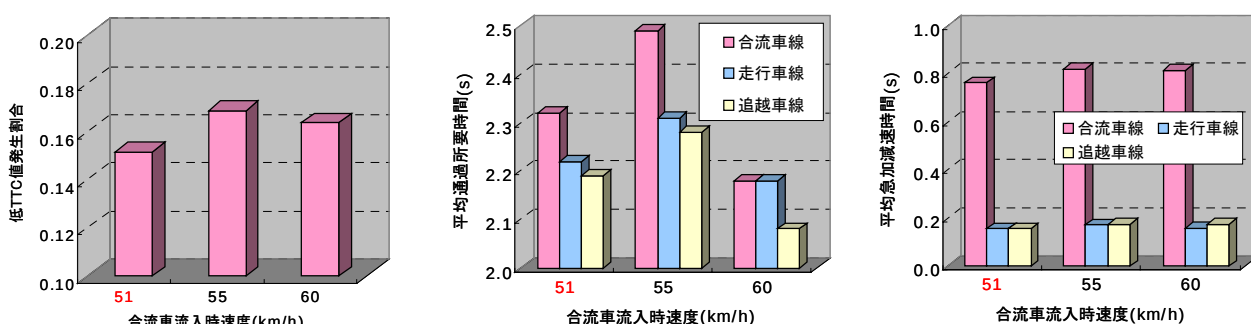


図7-3-16 合流車流入時速度の変化による各指標値の変化

7.3.2.5 挙動モデルパラメータの変化による指標値の感度

以上の感度分析では、ドライバーの効用関数を同一として取り扱ってきたが、現実にはより安全を志向するドライバー、できるだけ合流待ちをしたくないドライバーなど、様々な考え方を有するドライバーが存在すると考えられる。本研究では、このような複数の考え方に対応するドライバーの効用関数は取得できていない。しかし、モデルのパラメータを変化させることで、その影響を調べることにする。

具体的には、安全志向のドライバーが混入した場合を考える。すなわち、合流車の期待効用モデルのギャップに関わるパラメータを1.5倍および2倍であるドライバーがそれぞれ25%, 50%, 75%, 100%混入した場合の3つの評価指標の特性を分析する。図7-3-17にグラフを示す。低TTC

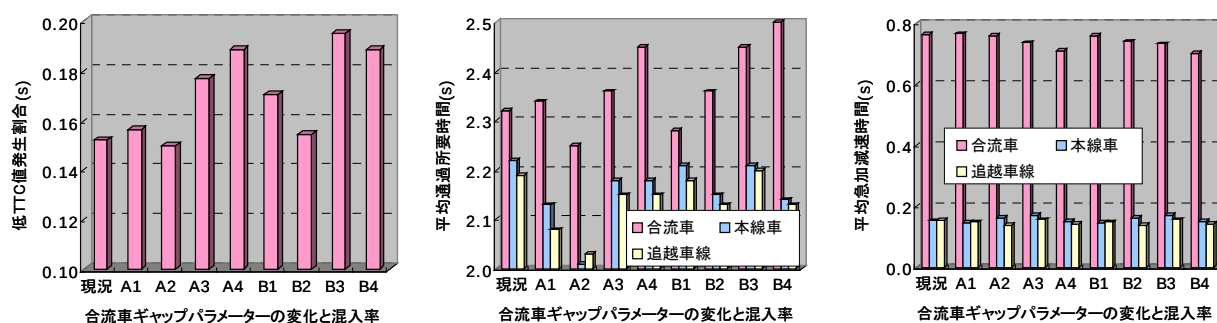


図7-3-17 合流車ギャップパラメータと混入率の変化による各指標値の変化
(A:1.5倍, B:2倍, 1:25%, 2:50%, 3:75%, 4:100%)

値発生割合と合流車線の平均通過所要時間は、パラメータの増加に伴って、混入率の増加に伴っ

て、増加する傾向が見られるが、このような安全志向のドライバーは譲る割合が高くなるため、速度が低下しやすいためであると考えられる。一方、平均急加減速時間については、これまでの分析と同様に、安全志向のドライバーが存在することによる譲る割合の増加に伴い、減少傾向となる。このように、考え方の異なるドライバーが混在することにより、合流部の運用特性が変化する可能性がある。

7.3.2.6 先行避走区間走行モデルの感度分析

最後に先行避走区間走行モデルの感度を確認する。先行避走区間走行モデルでは、合流部での流入車の遭遇確率が説明変数として含まれているため、合流車発生台数の増加が先行避走確率に影響を与えることが考えられる。図 7-3-18 にその結果を示すが、そのような関係は特に見られていない。先行避走区間走行モデルの別の説明変数である車線の通過所要時間差の影響を受けている可能性がある。

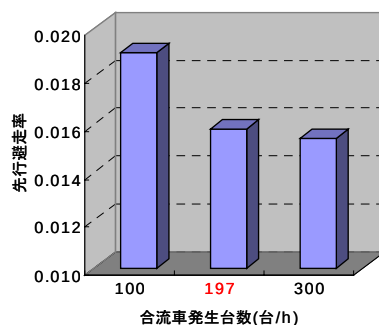


図7-3-18 合流車発生台数と先行避走率の関係

7.4 走行支援情報提供が都市高速道路合流部の交通流円滑化に与える影響

7.4.1 分析対象とする合流部および走行支援情報

最後に、完成したシミュレーションモデルにより走行支援情報 AHS-i が合流部の交通流円滑化に与える影響を分析する。分析対象とする合流部については東池袋ランプ合流部とし、入力交通流としては表 7-3-3 を用いる。

これらの条件設定の基で、AHS-i が導入された場合の交通流がどのように変化するかについて算出する。ここで想定する AHS-i は情報提供板や信号などによらずに、車両内のモニターやスピーカーなどから情報が提供されるシステムを考え、AHS-i 対応車両の混入率を 20%、50%、100% の 3 種類に設定して、AHS-i の情報提供種別については存在確認のみとした。これらの情報は合流車、本線車ともに可視地点に到達するほぼ 5 秒前となる地点（合流車は 75m 手前、本線車は 100m 手前）で提供される。なお、ドライバーや車両の属性は均一と仮定しており、情報への信頼度は 50% と 90% の 2 つのケースを設定した。以上の設定をもとに 5 時間のシミュレーションを実行し、3 つの合流部の運用指標値を算出する。

7.4.2 分析結果

以下では 7.4.1 の設定に従って、シミュレーション分析を行った。図 7-4-1 に情報信頼度・混入率と合流車線と走行車線の“譲らない”割合の関係を示す。本研究のモデルでは、合流車は“遭遇します”の情報を受け取れば本線車に譲る傾向が強くなり、本線車は逆に“遭遇します”の情報により合流車に譲らない傾向が強くなり、情報の信頼度が高ければこれらの傾向が強くなる。図 7-4-1 の結果はこのようなモデル特性を概ね反映していると考えられる。

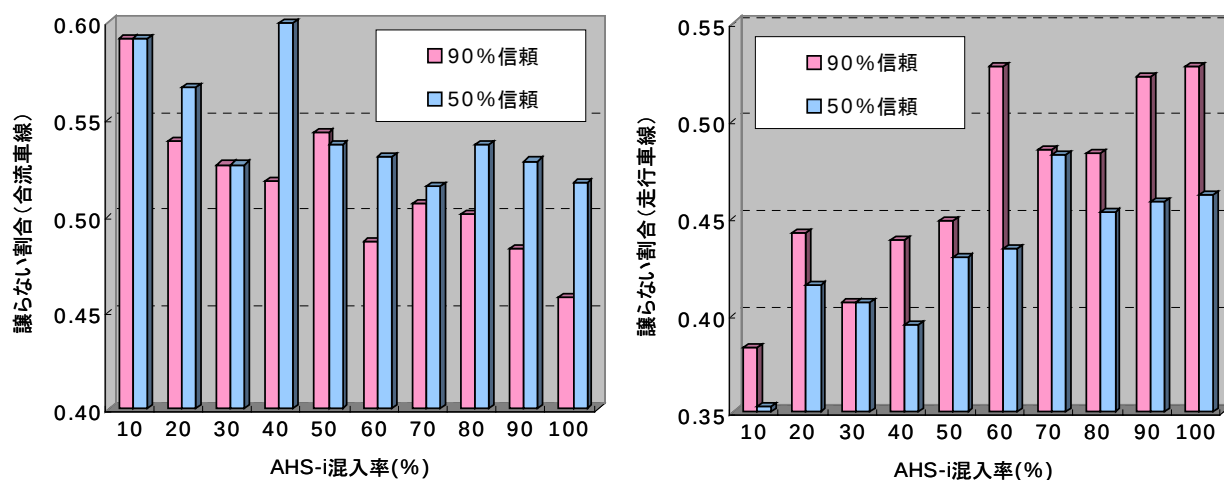


図7-4-1 情報信頼度別・混入率別の各車線の譲らない割合

図 7-4-2 は情報信頼度別・AHS-i 車の混入率別の低 TTC 値発生割合を示す。情報信頼度が 50% の場合には混入率の増加に伴い発生割合が低下する傾向は見られないが、90% の場合には混入率が 80% を越えればこれが低下する傾向が見られる。これは、情報提供により合流車が本線車に譲る割合が高くなり、結果として危険な合流が減っているためであると考えられる。

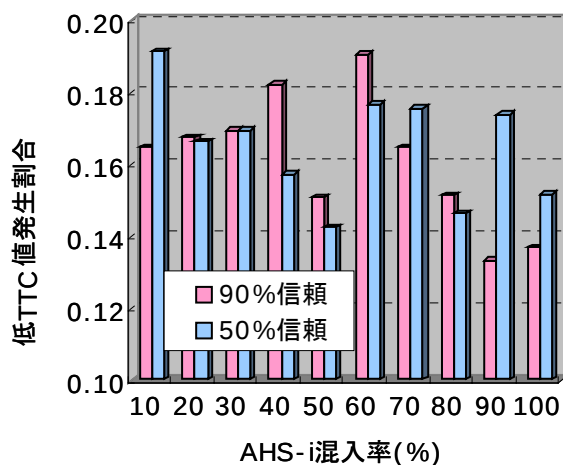


図7-4-2 情報信頼度・混入率別の低TTC値発生割合

図 7-4-3 は情報信頼度別・AHS-i 車の混入率別の平均通過所要時間を示す。ここでは、AHS-i 混入率の増加に伴い所要時間が減少する傾向が一応見られるが、情報信頼度が所要時間減少に与える影響は明確でない。

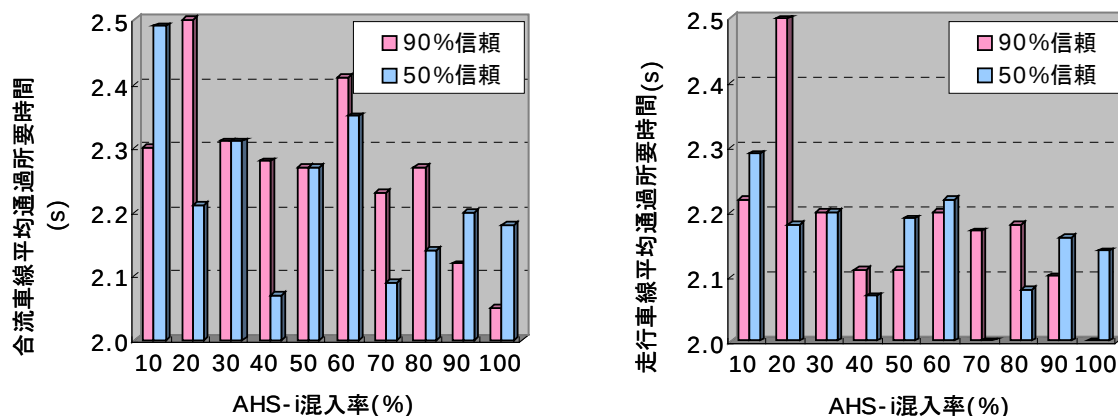


図7-4-3 情報信頼度・混入率別の平均通過所要時間

図 7-4-4 は情報信頼度別・AHS-i 車の混入率別の平均急加減速時間を示す。合流車線では、低 TTC 値発生割合と同様に、信頼度が高く、かつ混入率が高い状況では、平均急加減速時間が減少する傾向にある。一方、走行車線では、情報提供による平均急加減速時間の変化はほぼ生じていないことが伺える。これは、合流車線では情報提供によって、早めに合流車が本線車に譲るようになり、急激な加減速行動が減少しているためであると考えられる。

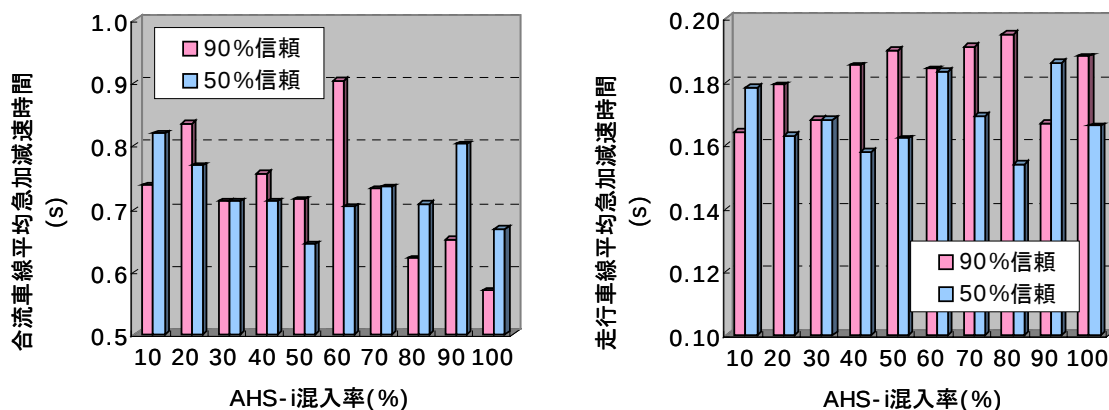


図7-4-4 情報信頼度・混入率別の平均急加減速時間

次に、走行車線に着目し、情報提供が先行避走を促進しているか確認した。図 7-4-5 に情報提供が走行車線からの先行避走率に与える影響を示す。情報信頼度が 50%の場合には混入率の増加に伴う先行避走率の上昇はそれほど大きくないが、90%の場合には混入率の上昇に伴って先行避走率が増加する傾向が見られている。図 7-3-14 の結果からの分かるように、走行車線から追越車線へ車両を誘導し利用率を高めれば、合流部の運用指標値の改善効果が大きいいため、図 7-4-2 と図 7-4-4 で低 TTC 値発生割合と平均急加減速時間の 90%信頼・高混入率における低減効果の一部は先行避走の影響によるものと考えられる。

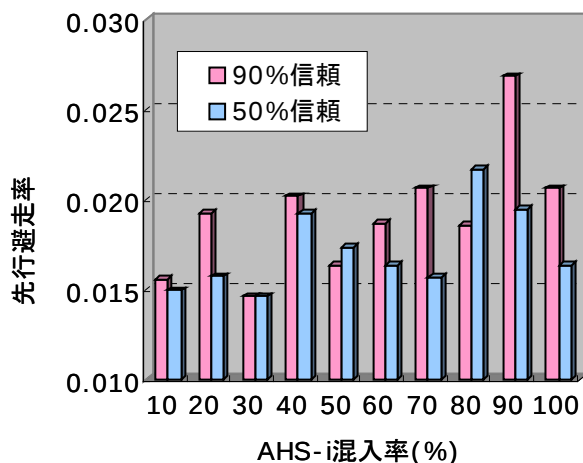


図7-4-5 情報信頼度・混入率の先行避走率

最後に、情報が提供される位置が運用指標に与える影響を分析した。図 7-4-6 は車線別の情報提供位置の変化と 3 つの運用指標値の変化の関係を示している。これまでの分析における情報位置は合流車が 75m 手前、本線車が 100m 手前であったが、ここでは、合流車についてはこれを前後 25m 動かした場合、本線車については前に 50m 動かした場合の影響を見ている。もし情報提供位置が合流開始地点に近ければ、情報の信頼性は高いものの、情報への対応時間を十分に確保することができない一方、遠ければ情報の信頼性は低下する可能性があるものの、情報への対応時

間は十分にとることができる．すなわち，“近すぎず，遠すぎず”といった適切な提供位置が存在する可能性がある．合流車線の情報提供位置については，合流車は情報提供により本線車に譲る傾向が強くなる特性から，100m 手前での情報提供による合流車の速度低下が顕著となり，その結果として無理な合流が多く発生し，3 つの指標値が悪くなっていることが読みとれる．50m と 75m の差異については，50m の方の運用状態がわずかに悪いと考えられる．一方，走行車線の情報提供位置については，本線車は情報提供により合流車に譲らない傾向が強くなるが，50m 手前での情報提供では するための対応時間が短いことから，速度を十分に増加させることができず通過所要時間が増加する．しかし，その他の指標については明確な差異は見られていない．

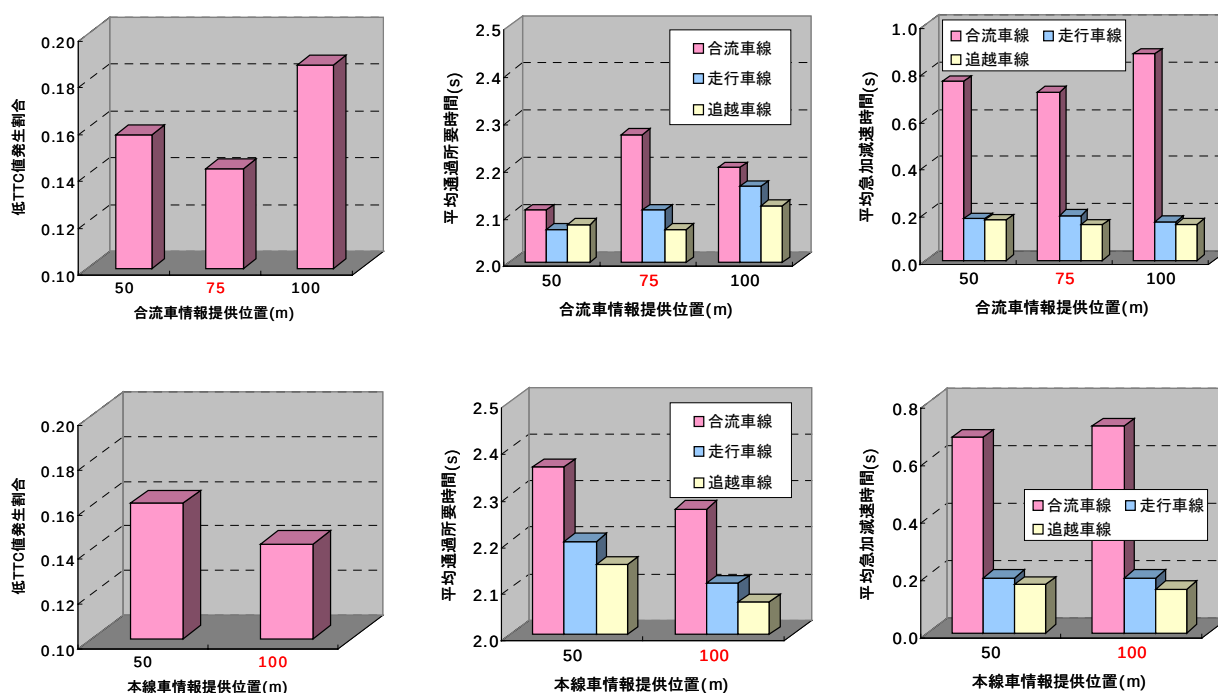


図7-4-6 情報提供位置の変化と合流部運用指標値の関係

以上の結果を総合すれば，もし情報の信頼度が高く，かつ AHS-i 車両の普及が大幅に進めば合流部の安全性と操作円滑性が改善されることになるが，普及の途上では運用改善効果がほとんど見られないことになる．また，情報提供位置については，第6章で想定した合流部到達前5秒での情報提供の妥当性がある程度示された．もちろん，本研究における情報の信頼度と運転挙動の定義は仮定的なものであり，しかも推定データの制約からモデルにおけるドライバー属性が均一である問題も抱えている．第6章での分析でも見られたように，情報提供が走行の円滑性に与える効果はドライバーにより異なっており，また情報内容についてもドライバーの評価が異なっていることから，今後は様々なドライバーの属性を考慮した走行モデルを構築し，属性ごとの走行支援情報のメリット，デメリットを明らかにしていく必要がある．また，合流部の運用指標についても，本研究で使用した3つの指標の妥当性は明らかにされてないため，ここで得られた結論は必ずしも確定的でないことは明記しておく．ただし，普及率の上昇と運用改善の度合いが必ず

しも連動しない可能性があることは、今後の情報提供システムの開発に向けて、注目すべき点であろう。

7.5 本章の結論

本章では、走行支援システムが都市高速道路合流部の円滑性向上に及ぼす影響を分析することを目的とし、その分析のためのミクロ交通流シミュレーションモデルを構築した。

7.2 では、合流部における走行支援を受けるドライバーの運転挙動のプロセスを検討し、その定式化およびパラメータ推定を行った。合流地点をアプローチ区間、先行避走区間、合流区間の 3 つの分割し、それぞれのドライバーの運転行動に対する考え方や判断基準を明確に定義して、アプローチ走行速度決定モデル、先行避走決定モデル、合流区間走行モデル（合流車と本線車）の 3 つのモデルに関する定式化を行った。特に、情報提供の効果を分析する際には、従来は検討されてこなかったアプローチ区間の挙動のモデル化が不可欠であり、その後の具体的なモデル推定は今回のデータでは捉えられていないものの、その基礎的な考え方を整理することができた。また、合流区間の挙動のモデル化についても、従来は十分に行われていなかった相互の意思決定過程の表現と、連続的な加速度調整行動の表現が新たに可能となって点で、本研究が先駆的な役割を果たせると考えている。モデルの推定については、データ数が決して十分ではなく、今後はデータ数を増やしてより信頼性の高い推定を行う必要があるが、モデルにおけるいくつかの仮定が統計的に有意性を確保できる可能性が高いことは確認できたと考えている。

7.3 では、7.2 で構築した合流部の運転挙動モデルをミクロ交通流シミュレーションモデルとして構成した。今後の発展性を確保するために、オブジェクト指向プログラミング言語である Microsoft Visual C++ を利用してモデルを構築した。合流部の円滑性や安全性を示す指標として、合流完了時の低 TTC 値発生割合、合流区間の通過所要時間、急加減速時間の 3 つを提案した。現況再現のための地点が限られているが、首都高速道路の東池袋ランプ合流部を対象とした現況再現を行ったが、合流形態のパターンに関しては、現実よりも本線車の“譲る”割合が増加する傾向にあるものの、その他はほぼ再現できていることを確認した。また、モデルの設定パラメータ変化が上記の 3 つの運用指標に及ぼす影響を感度分析により確認し、シミュレーションモデルの分析特性を把握した。

7.4 では、構築したシミュレーションモデルを用いて、走行支援情報提供が合流部交通流の円滑化に及ぼす影響を分析し、情報の信頼度が高く、かつ AHS-i 車両の普及が大幅に進めば合流部の安全性と操作円滑性が改善されることになるが、普及の途上では運用改善効果がほとんど見られないという結果が得られた。また、情報提供位置については、第 6 章で想定した合流部到達前 5 秒での情報提供の妥当性がある程度示された。ただし、結果の解釈については、情報の信頼度と運転挙動の定義が仮定的であること、ドライバーの属性が均一であること、3 つの合流部の運用指標の妥当性が真に明らかにされていないこと、を留意する必要がある。