

# 高速道路における工事時の合流意思決定 プロセスのモデル化

内山久雄<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 東京理科大学教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

本論文は高速道路上での夜間工事時の飽和交通量以下の交通流の時でさえ工事規制による渋滞が発生しているという問題意識に立脚し、車線規制部手前での自動車が実際にどのように合流しているか、すなわち個々の車両の合流挙動特性を分析し、この合流挙動をモデル化することを目的としている。本論文の特徴は合流挙動を合流意思を決定するプロセスとしての合流準備挙動と実際に車線変更を開始し合流が完了するプロセスとしての合流調整挙動とに分け、前者に関して走行軌跡データ取得システムから得られる車両の走行特性を表現する各種の指標を説明変数とする非集計タイプのモデルを適用することにより合流意思決定が時間の経過とともにどのように確率的に変化していくかを明示しようとしている点にある。

**Key Words:** traffic jam caused by repair work, decision making process for vehicle merging, time space graph, disaggregate modelling approach

## 1. はじめに

筆者らは、夜間の工事規制時において車線規制部手前の自動車の走行軌跡データをビデオ画像から精度高くしかも効率的に取得するシステムを開発し、先行車、合流車、追従車を1組として合流開始から合流終了に至る時間の経過に対応した車両の位置データを抽出し、車線規制部手前の車両のミクロ的な挙動を先行車の走行特性で基準化することにより各車両や車両相互間の走行特性が互いに極めて独立性あるいは従属性の高い確率事象として表現可能であることを明示した<sup>1)</sup>。そこでは、合流を合流車がセンターラインを跨ぐその瞬間からとして分析しているが、合流意思を決定するのはそれ以前に行われるため、本研究では図-1に示されるように合流をその挙動から2つに分類している。ここで、合流準備挙動と呼ぶ挙動は合流車が工事規制される車線を走行しながら、

いつ合流するかという合流意思を決定し、実際に合流開始の行動をとる、すなわち合流車がセンターラインを跨ぐその瞬間までの挙動と定義され、合流調整挙動と呼ぶ挙動は車線変更を開始し、先行車と追従車の走行という条件下で合流車自身の位置を調整しながら合流を完了させるまでの挙動と定義される。すなわち先行研究<sup>1)</sup>は合流調整挙動のミクロ的な特性解析と位置づけられる研究であるのに対し、本研究は合流準備挙動に焦点をあてた研究であると言えることができる。

合流挙動全体に関係する考え方を上述のように整理した上で、本研究では既開発の走行軌跡データ取得システムを適用し、合流準備挙動のミクロ的な走行特性を統計的に解析し、合流意思決定のメカニズムをモデル化し、工事規制時の合流挙動のさらなる解明を試みている。またこのモデル化に先立ち、こうした一連の研究で重要な役割を担っている走行軌跡データ取得システムについて

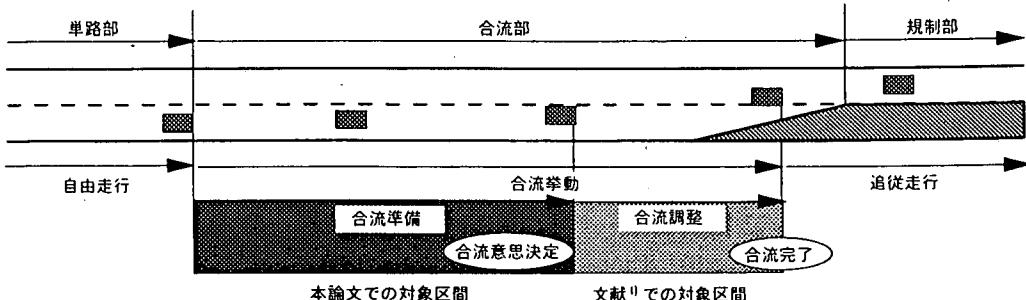


図-1 合流準備挙動と合流調整挙動

サンプリングインターバル（1秒）の妥当性、及び欠損データが生じた場合の走行軌跡図の信頼性についても併せて検討しておくこととする。

## 2. 合流モデルに関する従来の研究

合流現象の解明を目的とした研究は、ランプでの流入や織り込み区間での流入を対象としてすでに数多くなされ<sup>2)</sup>、相当の蓄積があると言える。この中でも合流現象のモデル化は、合流車両を受け入れることのできるギャップに依存するというギャップアクセプタンスに着目した調査研究<sup>3)</sup>が試みられるようになり、観測されたギャップアクセプタンスに基づいた確率モデル<sup>4)~6)</sup>が作成されるに至った。これらの一連の研究は5分間交通量といった形で集計されたデータに基づいており、合流に際してギャップ等の車両相互の位置関係が時々刻々変化している走行環境の中で捉えようとするミクロ的な視点からは、これらの確率モデルによる合流挙動の記述はマクロ的であると言わざるを得ない。しかしながらこれらの集計データは車両感知器を用いて収集されることが多く、きわめて大量のデータが効率的に取得されしかもその精度もある程度保証されており、先述のような限界は指摘できる<sup>7)</sup>ものの統計的には説得力の高いモデルであると言えよう。こうした車両感知器データに基づく研究に対して、車両挙動の動的な側面が再現可能な走行軌跡図の利用を念頭に置き、航空写真データに基づく研究<sup>8)~10)</sup>やビデオ映像データに基づく研究<sup>11)~14)</sup>も先行研究<sup>1)</sup>を含め試みられるようになった。ただこれらの研究の多くは合流時の車両走行の挙動特性に基づいた交通容量解析を目的としており、車頭距離の相対変化率を織り込み合流時の指標として提案している文献<sup>14)</sup>を別とすれば、合流行動が持っているばらつきを明示的にモデル化しようとする研究とは言えない。

一方、合流挙動を流入車両のギャップ選択行動とみなし、この合流行動の持っているばらつきを確率的な行動として記述しようとする試みが高速道路のランプ流入に適用してきた。流入車両の「ギャップに流入する」、「ギャップを見送る」というギャップアクセプタンスに関する二者択一の離散選択モデルが開発され<sup>15)</sup>、そこでは加速車線長が流入に及ぼす影響も考慮された。他方、この加速車線長がTTC (Time to Collision)<sup>16)</sup>に強く関係することから交通安全対策や事故リスクのコントロールという観点も着目され、高速道路流入部でのTTC分布の観測やその統計的な分析<sup>17)</sup>が試みられたり、加速車線長の設計法が論じられた<sup>18)</sup>。これらはまた事故危険度の代理指標としてのTTCの意義<sup>19)</sup>や、流入時の運転行動を踏まえてのTTCの具体的な推定方法<sup>20)</sup>へと発展した。さらに

この推定方法が拠りどころとした「流入車両は一定の加速度で加速する」という条件下での二項選択モデルは、流入時に速度が調節できしかも複数のギャップを選択肢とする多項選択モデルにまで拡張され<sup>21)</sup>、ランプ流入時の合流モデルとして一応の成果が得られていると言えよう。

しかしながら、前述の一連の合流モデルは低速合流を前提としていること、流入行動に影響を与えるTTCをモデル推計結果から推定しなければならないこと、車両のミクロ挙動を詳細に追跡するためには相応の精度を持つた走行軌跡図を必要とすること等いくつかの課題を内包していることも指摘できよう。このように要約され得る従来の研究成果やそれらが持っている課題もさることながら、工事規制による合流現象のモデル化を直接指向した研究は、規制実施に伴って生じる交通渋滞が多く散見されるにも拘わらず、これまでほとんどなされていなかったこともまた事実である。

## 3. 走行データのサンプリングに関する検討

### (1) 走行軌跡データ取得上の課題

走行軌跡データはワークステーションの支援を受けて概略次のように取得される<sup>22)</sup>。まず夜間工事時に撮影されたビデオ画像を用い、ある時刻の静止画像から自動車の2つのヘッドライトを含む部分画像を抽出する。次いで輝度により重みづけられた2つのヘッドライトの重心を車両の中心位置とし、画像座標系（640×480ピクセル）で表示する。この2次元の画像座標を写真測量の原理<sup>23)</sup>を用いて3次元の測地座標に変換し、さらにこれを道路のセンターラインを座標軸とする1次元の道路座標に書き換える。なお画像座標から測地座標への変換精度は、道路上に設置した6つの不動点の中等誤差でみると2.3(m)であり、この種の標定としては許容できると言えよう<sup>1)</sup>。静止画を1秒ごとに進めることによって当該車両の道路座標を1秒ピッチの点列として表現し、この得られた点列をカルマンスムージングアルゴリズム<sup>24)</sup>の適用によって平滑化し、最終的な走行軌跡図としている。

このように走行軌跡図は1秒間隔で離散的に取得された点列に基づいて作成されているが、この1秒が妥当であるか、また先行車両の影にヘッドライトが隠れてしまう等欠損データが生じた場合にどのように対処すべきについての課題も指摘されている<sup>25)</sup>。そのため本論に入る準備段階として、ここでは走行軌跡データの信頼性に関して以下のような統計的な検定に基づいて検討を加えておく。すなわちサンプリングインターバルについては1秒ピッチの点列から得られる従来の標準的な走行軌跡図と、インターバルを1/3秒ピッチとした場合の走行軌跡図

が同一であるか否か、また欠損データについては欠損値が生じた場合に補間処理して得られる走行軌跡図と、欠損データが全くない場合に得られる走行軌跡図が同一であるか否かに関する検定である。

この検定には走行軌跡そのものが非母数的であり、分散に正規性等何らかの仮定を置くことができないので、ノンパラメトリック検定<sup>26)</sup>が適用されよう。また2つの相異なるサンプリングインターバルに基づく測定によって得られる2つの走行軌跡図上の対応する同時刻の点は互いに対をなしていると考えることができるので、一連のノンパラメトリック検定の中でも確率化検定(Randomization Test)<sup>27)</sup>と呼ばれる検定方法を採用することにする。

## (2)サンプリングインターバルの検討

一般にサンプリングインターバルが短いほど実際の車両挙動の再現精度は高くなると言えるが、反面作業量やデータ処理量は膨大になってしまふ。このことを勘案して従来は1秒を標準インターバルとしてデータサンプリングを行っていた。ここではより実際の車両挙動の再現に近づける意味で1/3秒間隔で走行軌跡データを取得し、これと比較することにより従来の標準的な1秒間隔が許容されるか否かの検討を行う。曲線の同一性を検定する際には、データ取得の対象区間で速度等の変化の小さいサンプルよりも大きいサンプルで確認する必要がある。そこで区間内で最も大きな変動係数(標準偏差と平均値の比)を示した18車両を抽出し、上述の確率化検定を行う。図-2は変動係数が最大の車両に対する車両位置(テール後端からの距離)、速度、加速度について2種類のサンプリングインターバルに基づく走行軌跡が描かれている。この中で加速度に対して系統的に平行移動しているかに若干見受けられるが、他のサンプルからは同様な傾向の存在は認められない。これらの対をなしているそれぞれの曲線はほとんど一致していると見て取れるし、さらにこれらの曲線に差がないと見なし得るという帰無仮説も確率化検定の結果、抽出した全車両に対して速度や加速度でさえ5%の有意水準で容認されている<sup>28)</sup>。すなわち1秒ピッチのサンプリングでも1/3秒ピッチのサンプリングと統計的には同等の車両挙動を再現していると言え、以下でも従来通りの1秒のサンプリングインターバルで走行軌跡データを取得することにする。

## (3)欠損データの補間にに関する検討

従来は欠損時間が1秒だけの場合はその前後の位置データの平均値で補間して車両データとし、欠損時間が2秒以上の場合は車両データとして採用していない。ここでは欠損データを前後のデータの平均値によって補間する

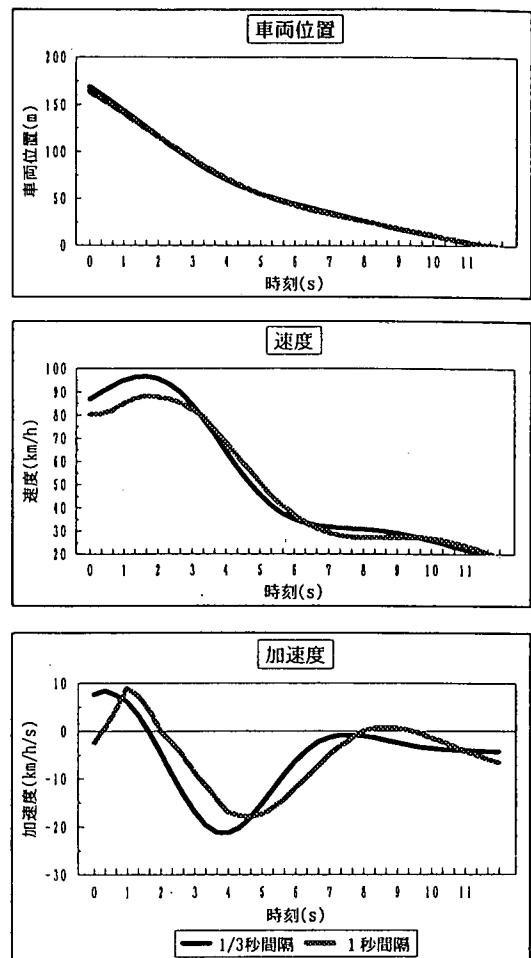


図-2 走行軌跡図

ことの是非について検討する。そのため欠損のないデータの一部を人为的に前後の平均値に置換した時に得られる走行軌跡図と本来の走行軌跡図とが同一であるかどうかに対して確率化検定を行う。欠損時間1~3秒を想定しての検定結果は、変動係数が大きい場合には1秒のみの欠損時間が、変動係数が小さい場合には2秒までの欠損時間が5%の有意水準で許容された<sup>29)</sup>。カルマンスムージング処理をする前は変動係数が未知であることより高い精度を保持すべきという観点から、以下でも従来通り1秒の欠損が生じた時のみこれを補間することにする。

## 4. 合流準備挙動時の車両の走行特性

### (1)分析データのプロファイル

本研究では合流準備挙動に焦点をあてているため、分析対象とすべき交通流は渋滞流ではなく限りなく容量に近い自由流(すなわち自由流と渋滞流の遷移領域のよう

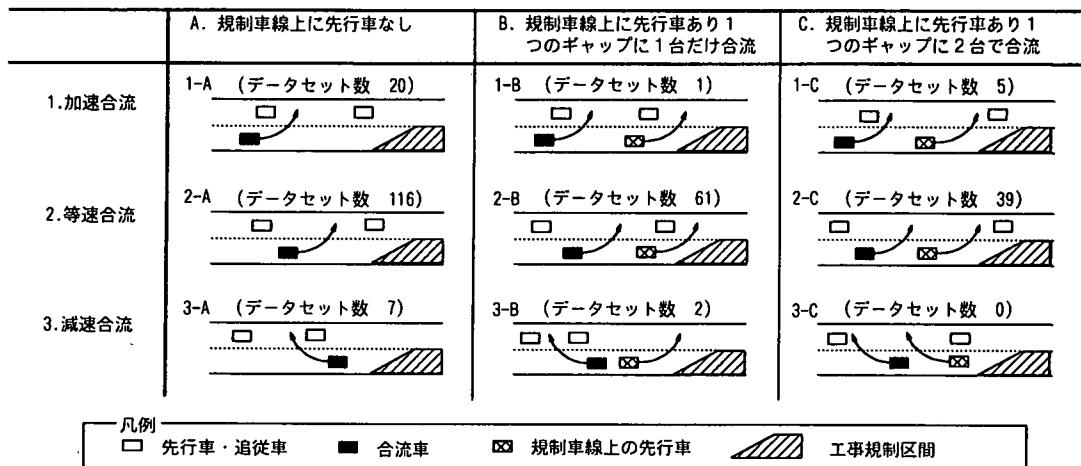


図-4 合流パターン

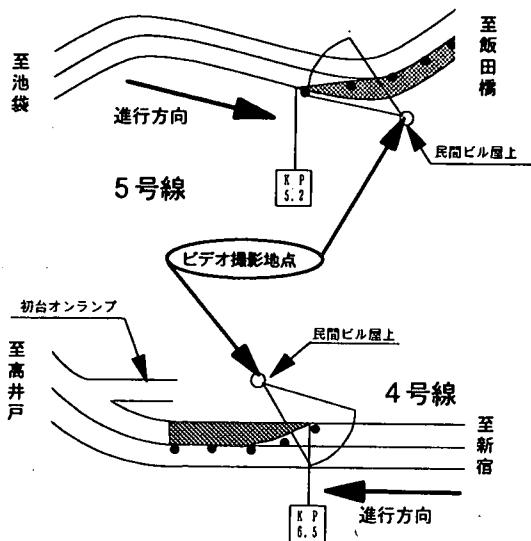


図-3 ビデオ撮影地点

な交通流に該当し、そのためここでは混合流と呼ぶことになる)が望ましい。その意味で先行研究<sup>11)</sup>でビデオ撮影した2ヶ所の首都高速道路区間のうち、3号線下り渋谷オフランプ付近は工事規制時間中のほとんどが渋滞流であり、分析対象交通流として不適当である。このため4号線下り初台オフランプ付近の適切な交通流に対して工事開始時刻から終了時刻まで新たにビデオ撮影を行った。従前の5号線上り護国寺オフランプ付近と併せて図-3にそれぞれの区間の平面図とビデオ撮影地点が、表-1に撮影実施日時や工事規制時間等が示されている。これらの区間に設置されている車両感知器データから得られる工事規制部手前の1時間交通量<sup>30)</sup>は、工事規制開始時の5号線の1時間交通量は約1,500台、4号線のそれは約

表-1 撮影実施日時

規制区間	区間長	撮影日時	規制時間
5号線上り	0.8km	平成4年11月30日(月) ～12月1日(火)	21:00～4:00
4号線下り	0.2km	平成7年10月29日(日) ～10月30日(月)	21:00～6:00

1,300台である。規制開始後しばらくは10(km/h)前後の走行速度であり、工事規制区間下流側のオフランプからの流入車両によって先詰まり状態の渋滞が発生している。しかしそれが継続するのは、5号線で工事規制開始後2時間程度、4号線で1時間程度であり、以降は規制区間手前で70(km/h)以上の定常的な走行速度に回復しその後渋滞が生じることはない。

合流準備挙動の終点を画像を見て規定することはできても、その始点の画像上の規定是不可能であるので、ここではそれを車両がビデオ画像に登場した時点として走行軌跡図を作成することにする。これらを合流車、先行車、追従車を1組(データセットと呼ぶ)として合流パターンを分類すると図-4が得られる。9種類ものパターンを考慮するのは、先行研究<sup>11)</sup>で扱った合流調整挙動と異なり合流車の走行する規制車線上に別の先行車が存在し、合流に影響を及ぼす可能性があるからである。なお、図中の加速合流とは合流車が追従車を追い越して合流する場合、等速合流とは合流車が先行車と追従車に挟まれた位置を保ちながら合流する場合、減速合流とは合流車が先行車をやり過ごして合流する場合を意味している。したがって、加速合流の場合の合流車と追従車の差である後方ラグ、減速合流の場合の先行車と合流車の差である前方ラグは当初負の値を示すことになる。本図には合流パターン別に得られるデータセット数も併せて示されているが、加速合流、減速合流については得られるセット

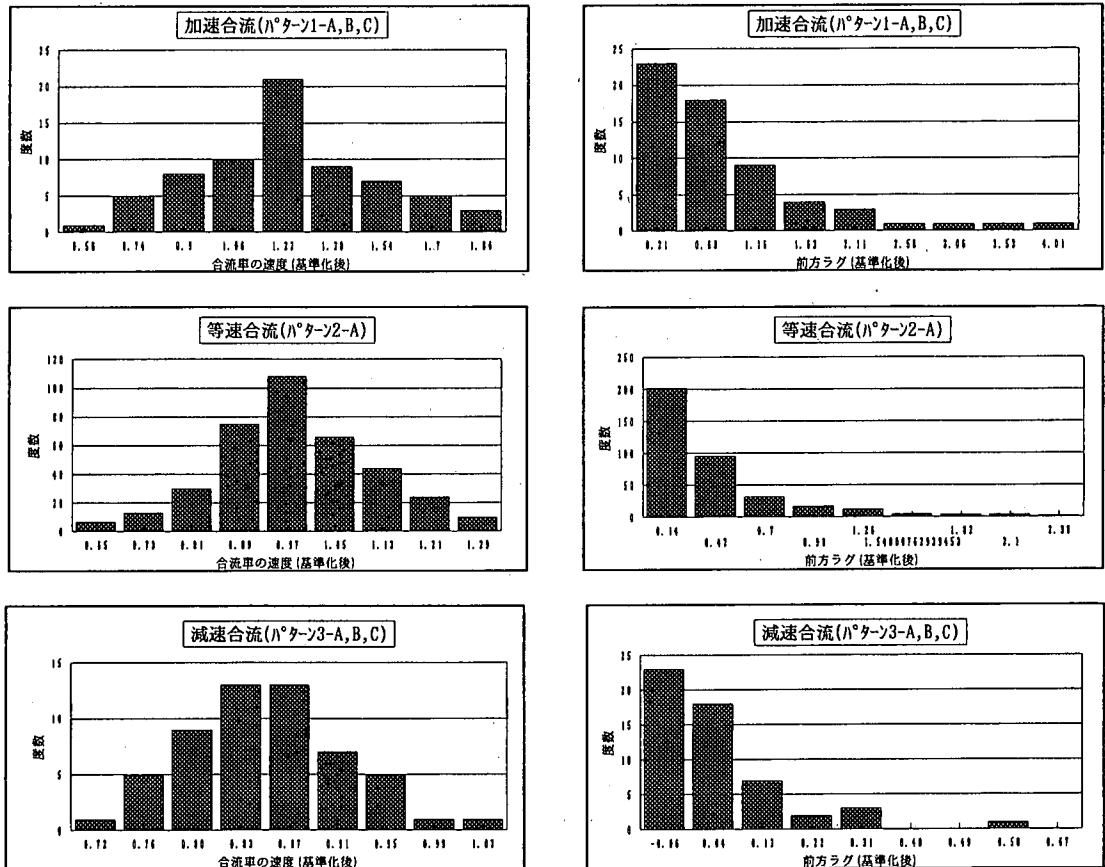


図-5 各指標の度数分布

数が相対的に少ない。そのため以下では、この2つの合流に対しては規制車線上の先行車の存在の有無に拘わらずそれぞれ1つずつのパターンにまとめ、等速合流についてのみそのまま3パターンとして残し、合計5つに分類されたパターン別に車両の走行特性の分析を行うことにする。なお、1つのデータセットは1台の合流車の一連の合流準備挙動に対応している。車両の走行速度や合流準備挙動終了地点及びビデオ映像の解像度などの影響を受けるためその時間履歴はデータセットごとに異なり5~14秒に及ぶが、そこから1秒ごとの走行特性を分析用のデータとして抽出する。また、4号線と5号線では、道路構造や周辺の景色に相違があり、車両の走行状態を同等とみなせないかもしれない。しかし、それらの影響はギャップやラグの変化に間接的に投影されること、及び規制部手前が勾配のほとんどない2車線のほぼ直線道路であることから以下では得られた走行データをプールして分析することにする。

## (2) 合流パターン別にみた車両の走行特性分析

合流準備時の走行特性についても、先行研究<sup>1)</sup>での合

流調整挙動時のそれと同様に①合流車の走行速度、②先行車に対する合流車の相対速度、③合流車に対する追従車の相対速度、④ギャップ、⑤前方ラグ、⑥後方ラグの6つの指標がどのような分布を持っているのかを確認しておく。なお本研究では、車両の位置をヘッドライトの重心位置としているので、ここでのギャップやラグは車頭距離ということになる。また従前と同様に、位置(距離)の次元を持っている指標は先行車のテール後端からの距離で、速度の次元を持っている指標は先行車の走行速度で、すなわち先行車の走行特性によって無次元量として基準化する。ただし、合流車が走行している規制車線上に先行車が存在しこれら2つの車両が同一のギャップに合流するパターン1-C、2-C及び3-Cの場合、合流車の走行速度は隣接車線上の先行車よりも同一車線上のそれより高い相関係数を示し、合流後はそれが文字通りの先行車になる。そのためCに属するパターンに限り、基準化すべき先行車の走行特性としてこの合流車と同一の規制車線上の先行車の走行特性を用いることとする。こうして得られるパターン別の代表的な度数分布が図-5に示されている。なお等速合流の他の2つのパターン2-B、2-

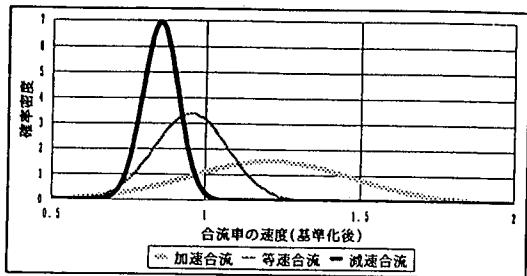


図-6 分布形状の比較

Cの度数分布はパターン2-Aとほとんど同一の形状を示している。これらの各分布について $\chi^2$ 検定による既知の分布形への適合度検定を行った結果、距離に関する指標は指数分布に、速度に関する指標は正規分布に適合し、基準化されたこれらの指標が系統的な確率分布に従うことも確認された<sup>31)</sup>。

以上の結果は合流調整挙動を扱った先行研究<sup>1)</sup>と全く同様であるが、加速合流、等速合流、減速合流別の分布形状は異なっており、図-6に示されるように正規分布、指数分布に拘わらず減速合流の尖度は大きく、加速合流のそれは小さいこと等が見て取れる。この点は合流調整挙動と比較した場合の合流準備挙動の走行特性の1つの特徴と言えよう。なおここで等速合流の分布団はパターン2-A、2-B及び2-Cを合わせて表示した団である。また上述のような形で各指標を基準化すると、指標相互間の独立・従属関係がかなり明確になることも無相関検定の結果から示され<sup>31)</sup>、これらの指標の関係は合流調整挙動時と同様の傾向を持つと判断できる。ただこの検定結果によると、相対速度関連の指標と相対位置関連のそれとの関係は等速合流の場合のみ独立であるのに対し、加速合流の場合の相関係数は0.2~0.3程度、減速合流の場合のそれは-0.3~-0.5程度であり<sup>32)</sup>、統計的に独立であるとはみなし得ない。このことは合流調整挙動時の各指標間の関係は合流準備挙動時の等速合流の延長として捉えるられるなどを示唆している。以上より、合流準備挙動における車両の走行特性は全体的には合流調整挙動の分析から得られた知見と酷似しているとは言うものの、合流パターン別にその相違が大きいことを認識した解析が必

要となることは指摘されよう。

## 5. 合流意思決定モデル

### (1) 非集計モデルの適用可能性

合流車は周辺車両との空間的・時間的な相対関係とテーパまでの距離を念頭に置きながら車線を変更する。この合流行為は運転者がその時に直面するあるギャップへの「合流を開始する」、「合流を見送る」という2つの選択肢のうち必ず一方を選択するプロセスの繰り返しだるとも記述できる。また、この二者择一の意思決定を促す中心的な要因が合流の際のいわばサービス水準(LOS)を規定する合流車自身の走行特性や車両相互間の走行特性であることから、これらを説明変数とする非集計モデル<sup>33)</sup>の適用が可能となる。以下では工事規制合流部に接近してくる合流車の上述の二項選択に深く関係する指標を、合流車のテーパ先端までの距離、合流車の速度、前方ラグ、後方ラグ、先行車と合流車の相対速度、合流車と追従車の相対速度で代表させ、これらの指標を用いて非集計ロジットモデルの適用を試みる。ただしデータセット数の制約から以下では等速合流のみを対象として分析している。

### (2) 車両特性指標に関する考察

何回かの試行錯誤的なモデルキャリブレーションの結果や、先述の従来の研究成果を参照して、車両特性指標を以下に示すように加工・変換して用いることにする。

#### ①合流車の位置 (ML)

このままの形で線形的に用いても統計的には有意な変数ではあるが、テーパに近づくほど急激に合流しなければならなくなるという非線形的な傾向があることを考慮し、次のように変換することとした。

$$ML \Rightarrow \exp\left(-\frac{ML}{100}\right)$$

#### ②車頭距離の相対変化率

合流車は合流を行う際に、車間距離あるいは相対速度を単独に見ているわけではない。つまり、速度差が大きくて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、相対速度を車間距離で除した車間距離の相対変化率という指標を導入した。車間距離の相対変化率が正の場合は車間距離が広がりつつあり、さらに値が大きいほどその広がる速度が大きく、一般に合流しやすいことを意味する。この相対変化率は従来ギャップアクセプタンスモデルに用いられていたTTC<sup>34)</sup>の逆数と考えることができる。

・後方ラグの相対変化率

追従車に対する合流車の相対速度(m/s)	
	後方ラグ(m)

・ギャップの相対変化率

追従車に対する先行車の相対速度(m/s)	
	ギャップ(m)

③合流車の速度(MV)

車両の走行速度はQV曲線的な考え方に基づけばその時の交通流状態を示す指標であると言える。本分析では自由流及び混合流を対象としており、こうした相異なる交通流の状態によっては合流判断も自ずと異なると予想される。こうした意味から、このMVを交通流の状態を代表する変数としてこのままの形でモデルに導入する。ただ上記①②の選択肢に共通の変数とは異なり、選択肢固有の変数として用いることにする。

(3) 二項選択問題としての定式化

合流を開始する位置はビデオ画像の目視によりセンターラインを跨ぐ位置として特定できるが、合流を見送る位置は連続的に並んでいると考えられ、これを外生的に特定することは極めて困難である。しかしながら非集計モデルの適用に際しては、どうしても合流開始の比較対象としての合流見送りに対応する適切な位置データを用意する必要がある。とは言うものの合流見送り位置を特定することが不可能な現在、走行軌跡図から1秒ごとの車両特性指標が自動的に得られるという特徴を活用することを前提に、ある仮定を設けることで分析を進めざるを得ない。ここでは合流の意思決定は合流開始4秒前から1秒前の3秒の間に行われ、その直前の合流開始7秒前から4秒前の3秒の間では合流を見送るという意思決定が行われたと仮定して基本モデルを作成することにする。

(4) モデル推計結果

前述の仮定の下で基本モデルを推計した結果が表-2に示されている。モデル全体の再現性は尤度比や的中率といった統計量でみる限りわずか4つの説明変数の割には極めて高いと言えるし、各説明変数のt値からは、これらが統計的に有意であることも示している。モデルの推計結果をみると、合流車のテバまでの距離、合流開始時点での走行速度によって主たる意思決定がなされ、車間距離の相対変化率で表現される周辺車両との空間的な関係がこの判断を補正していると言える。また表-3には上記仮定を次のように変更してモデル推計した結果が

表-2 基本モデルの推計結果

説明変数	パラメータ
合流車の位置	101.087 (3.58)
後方ラグの相対変化率	0.461 (2.47)
ギャップの相対変化率	0.260 (2.32)
合流車の速度(固有変数)	-0.203 (-3.30)
サンプル数	62
尤度比	0.649
的中率(%)	90.32

( )内はt値

表-3 比較モデルの推計結果

説明変数	パラメータ
合流車の位置	52.114 (4.44)
後方ラグの相対変化率	0.063 (1.69)
ギャップの相対変化率	-0.631 (-1.59)
合流車の速度(固有変数)	-0.067 (-4.25)
サンプル数	126
尤度比	0.216
的中率(%)	69.84

( )内はt値

比較の意味で示されている。すなわち合流開始の意思決定を合流開始3秒前から1秒前の2秒間、合流見送りの意思決定を合流開始5秒前から3秒前の2秒間で行われたとしたものである。この比較モデルの推計結果は基本モデルのそれと比較して、統計的な有意性は減少しているものの、全体としては同様の傾向を示している。このことは合流を見送る意思決定を外生的に与えることはできないものの、ここで仮定したように実際の合流開始の数秒前の状態が合流を見送る状態であるとみなしえると言えよう。また統計的な再現性や有意性からは表-2の結果が最も高いが、なお同種のデータのより多くの蓄積によって確認される必要があろう。いずれにしても上述のような形式で合流判断がなされていると仮定すれば、かなりの再現性を持って合流意思決定のプロセスがモデル化可能であるということは明示されたと言えよう。なお、比較モデルのサンプル数が多い理由は、1つのデータセットが時間履歴を5~14秒の幅で持っている関係で、合流開始7秒前からのデータが完備されているデータセットを必要とする基本モデルに対し、比較モデルでは5秒前からの

のデータで分析できるからである。

## 6. むすび

合流挙動を合流準備挙動と合流調整挙動に分けて分析を試みた本研究からは以下のように要約される知見と結論が導き出せよう。

ミクロ的な合流挙動特性を解明するために必要となる走行軌跡データは、1秒のサンプリングインターバルで十分解析に耐えうるし、また1秒分の欠損データが発生しても補間処理すれば問題ないことを実証した。このことは先行研究<sup>1)</sup>で提案した走行軌跡データの取得方法が十分信頼できることの確認に留まらず、ある程度の精度が確保されること、その効率の良さも併せて考慮すると今後この種のミクロ的な交通流解析に関する研究に大きな発展が期待できると言えよう。

合流準備挙動時の車両相互間の走行特性は合流調整挙動時のそれとほとんど同様な傾向を示すことが実証された。しかしながら合流パターン別にはその分布形状が異なったり、必ずしも指標間の独立や従属の関係がより曖昧になる等、等速合流を除いて分析データセット数が少なかったにも拘わらず、合流パターン別に扱う必要のあることを指摘し得た。このことは合流準備挙動が自由走行時の挙動と合流調整時の挙動との間の遷移過程の挙動であることからも推論されようし、十分なデータセット数が得られればこの遷移過程のさらに詳細なメカニズムの解明までもが期待できよう。この交通流の段階的な変化を車両相互間の走行特性を表現する統計諸量と関連づけた点は本研究の1つの成果と言えようが、その具体的な解明は今後の課題として残されよう。

合流意思決定のプロセスを3秒間の時間差が連続している中での離散選択として捉え、非集計の確率モデルとして4つの説明変数によって表現したところ、極めて直感と符合する結果が得られていると言えよう。なお本分析ではデータセット数の関係で等速合流のみしかモデル化できなかつたが、他の合流パターンについても分析に必要なデータセット数さえ得られれば同様なモデル化が可能となろう。そうすれば第1段階で合流パターンを選択し、第2段階で合流位置を選択するというネスティッドタイプのモデル化への発展も期待できよう。

モデル化に際しては単にサービス水準(LOS)変数として車両特性指標を考慮しているにすぎないが、車種や運転特性等の車両属性指標も非集計モデルには導入可能であり、この非集計モデルの持つ利点を十分活用したさらなる発展も期待できよう。いずれにしても合流意思決定のプロセスを上述のような発展性を内包しつつモデル化し得たことが本研究の大きな成果であると結論づけられ

よう。

**謝辞：**本研究は先行研究<sup>1)</sup>に継続する形で、平成7年度の首都高速道路公団での研究会（座長：大蔵泉横浜国立大学教授）「首都高速道跡の交通工学・交通経済に関する基礎的研究」の中で実施された。このような機会を与えて下さり、かつおりにふれて様々な助言を頂戴した研究会のメンバー各位に感謝する次第である。また著者の研究室に学部4年生から修士課程までの3年間を籍した現日本道跡公団の石渡勝氏の、データハンドリングや解析等の作業のみならず様々な局面でのディスカッションを通じての本研究の方向性の検討等、筆舌に尽くせない程の貢献があったことを明記し、同氏に対して深甚なる感謝の意を表する。当時学部4年生であった現JR東日本の下垣正宏氏、現早稲田大学大学院生の小板橋敬明氏、現東京都の内藤賛一氏の寝食を忘れた協力、特に内藤氏は東京理科大学大学院へ進学後も引き続き合流意思決定モデルに関しての変数の意味付けや、モデルキャリブレーション等への多大な貢献をもたらし本研究の遂行には欠くことができなかつた。ここに付記するとともに3氏に対して深謝する次第である。最後になるが鳥取大学の喜多秀行教授からTTCの逆数も考えられるというヒントを頂き、これを合流意思決定モデルに反映させることができた。ここに記して同教授に感謝の意を表したい。

## 参考文献

- 1) 内山久雄：高速道路における工事時の自動車車両のミクロ的な合流挙動解析、土木学会論文集、No.542/IV-32, pp.79-87, 1996.
- 2) 片倉正彦：織り込み区間に関する研究の現状と課題、土木学会論文集、No.440/IV-16, pp.33-40, 1992.
- 3) Donald R.Drew : *Traffic Flow Theory and Control*, McGraw-Hill, pp.173-222, 1968.
- 4) 卷上安爾、安達靖夫、末田元二：高速道路改築に伴う合流部の合流車線長について、土木学会論文集、No.371/IV-5, pp.133-142, 1986.
- 5) 卷上安爾、松尾武：流入確率に基づく都市高速道路入路接続方式の評価について、土木学会論文集、No.389/IV-8, pp.93-103, 1988.
- 6) 卷上安爾、松尾武：多重分流を考慮した流入確率の算定方式について、土木学会論文集、No.413/IV-12, pp. 93-103, 1990.
- 7) 前掲5), pp.99.
- 8) 卷上安爾、坂本破魔雄、林昌親：航空写真に基づいた交通流解析の一手法について、土木学会論文集、No.347/IV-1, pp.153-162, 1984.
- 9) 卷上安爾、松尾武、松原武司：阪神高速道路環状線堂島区間の交通現象実態と容量解析についての研究、交通工学、Vol.23,

No.5, pp.7-22, 1988.

- 10) 卷上安爾, 豊田建, 松尾武: 阪神高速道路における織り込み区間の交通実態と交通流解析, 土木学会論文集, No.440/IV-16, pp.41-50, 1992.
- 11) 越正毅, 桑原雅夫, 赤羽弘和: 高速道路のトンネル, サグにおける渋滞現象に関する研究, 土木学会論文集, No.458/IV-18, p.67, 1993.
- 12) 今田寛典, 菊谷久嗣, 門田博知: ビデオを用いた交通流の計測法について, 土木学会第41回年次学術講演会講演概要集, pp.257-258, IV-129, 1986.
- 13) 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, 土木学会, pp. 61-67, 1989.
- 14) 中村英樹, 桑原雅夫, 越正毅: 織り込み区間の交通容量算出シミュレーションモデル, 土木学会論文集, No.440/IV-16, pp.51-59, 1992.
- 15) 喜多秀行, 畠中康行: 高速道路流入部におけるギャップアクセプタンス挙動の解析, 第11回交通工学研究会発表論文集, pp.9-12, 1991.
- 16) Hayward, C.: Near-Miss Determination through Use of a Scale of Danger, Report TTSC 7115, The Pennsylvania State University, 1972.
- 17) Chin, H. C., Quek, S. T. and Cheu, R. L.: Traffic Conflicts in Expressway Merging, Journal of Transportation Engineering, ASCE, pp.633-643, 1991.
- 18) 喜多秀行, 久保園寛: 低速合流時の合流挙動と潜在事故危険度に関する一考察, 第12回交通工学研究会発表論文集, pp.81-84, 1992.
- 19) 喜多秀行: 高速道路流入部におけるドライバーの選択行動と事故リスク, 土木計画学研究・講演集, 15(2), pp.103-108, 1992.
- 20) 喜多秀行, 平井克尚: 運転行動分析に基づく低速合流時の潜在事故危険度推定法, 土木計画学研究・論文集, No.11, pp.327-334, 1993.
- 21) 喜多秀行, 原田裕司: 流入タイミング調整行動を考慮した流入挙動モデル, 土木計画学研究・論文集, No.12, pp.673-679, 1995.
- 22) 前掲1), pp.80-83.
- 23) 例えば, 中村英夫, 村井俊治: 測量学, 技報堂, pp.270-272, pp.289-291, 1979. など
- 24) 例えば, 西山清: パソコンで解くカルマンフィルタ, 丸善, 1993. など
- 25) 前掲1), pp.86.
- 26) J.ハエック(丘本・宮本・吉後訳): ノンパラメトリック統計学, 日科技連, 1987.
- 27) Sidney Siegel : *Nonparametric Statistics for the Behavioral Science*, McGraw-Hill, pp.88-94, 1956.
- 28) 石渡勝: 工事規制時の合流挙動に着目した車両特性について, 東京理科大学内山研究室修士論文, pp.50-53, 1996.
- 29) 前掲28), pp.54-56.
- 30) 首都高速道路公団保全施設部, (株)オリエンタルコンサルタンツ: 高速道路工事規制付近の交通流解析報告書, 1993. など
- 31) 小板橋敬明, 内山久雄, 石渡勝: 工事規制における合流挙動の確率的表現に関する研究, 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集, pp.442-443, IV-221, 1996.
- 32) 前掲 28), pp.63-100.
- 33) 交通工学研究会編: やさしい非集計分析, 1993. など
- 34) 前掲20), pp.331

(1998.3.18受付)

## A MODELLING FOR DECISION MAKING PROCESS OF VEHICLE MERGING CAUSED BY REPAIR WORK ON EXPRESSWAY

Hisao UCHIYAMA

Traffic jams caused by repair work at night on the Expressway are seen even less traffic flow than that of the capacity. This study is to develop the model which explains vehicle merging behavior at the regulated area on the basis of data derived from microscopically traced trajectory of vehicles. The specified points of the study is as follows: (1) vehicle merging behavior is composed of preparatory and adjusting behavior, (2) during the preparatory behavior, decision of merging is being made time to time until the merging is successful, (3) therefore a disaggregate type modelling is applied to the vehicle merging behavior.