【土木計画学研究・講演集 No.17 1995年1月】

走行軌跡データ取得システムに基づく工事規制時の合流挙動解析*

An Analysis of Vehicle Merging Behavior at Repair Work Based on System Developed for Obtaining Vehicle Running Trajectory*

内山 久雄**
By Hisao UCHIYAMA**

1．はじめに

都市内高速道路では維持・補修のための工事が頻繁に実施されるようになってきた。これらの工事は比較的交通量の少ない夜間に実施されることが多いが、それにも拘わらず渋滞が発生している状況が多く見られる。この飽和交通量以下の交通量でさえ渋滞が発生する原因として、車線規制部手前で車両の合流が円滑に行われていないことが挙げられる。このような渋滞は換言すれば人為的な渋滞と言えなくもなく、その軽減は急務であると考える。このためには、車線規制部手前で自動車が実際にどのように合流しているのか、すなわち個々の車両に着目した合流挙動特性を詳細に分析することが必要である。しかしながら一方では時々刻々変化する膨大な自動車の位置座標を能率的に取得することも必要である。本研究では、まずはじめにビデオ撮影により得られた自動車のアナログデータをディジタル変換するシステムを開発することにより、車線規制部手前の自動車の走行軌跡データを効率的に取得することを試みる。こうして得られる走行軌跡データから、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変化に対応した車両の位置データを抽出し、車線規制部手前での自動車の合流挙動特性を車両の相対的な位置関係から明らかにすることを試みる。

2．走行軌跡データ取得システム

都市内高速道路の夜間工事を対象とした本研究では、夜間であるという特徴を活かし、ビデオに撮影されたヘッドライトに着目して各時刻ごとの車両の中心座標を求め、走行軌跡データをその時間的な連続として捉えることにする。図-1は走行軌跡データを取得する手順とその後の一連の合流挙動特性分析の流れを示している[1)、2)]。なお以下では首都高速道路5号線護国寺オンランプ付近の夜間工事による2車線から1車線への車線規制現場で撮影したビデオに基づいた具体的な検討について述べている。

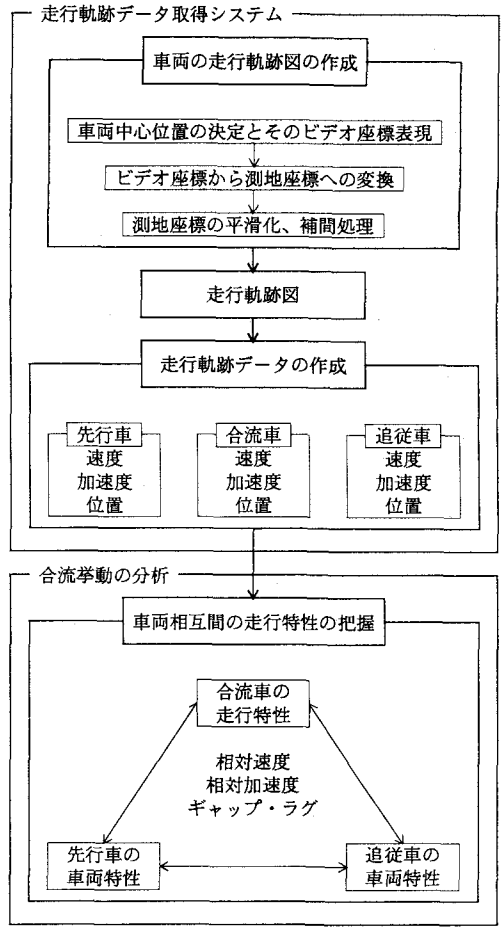

図-1 走行データ取得と分析の流れ

＊キーワーズ:交通流、交通容量、交通量計測

＊＊正員、工博、東京理科大学理工学部土木工学科
（千葉県野田市山崎2641、TEL0471-24-1501、FAX0471-23-9766）

(1)車両中心位置の決定とそのビデオ座標表現

工事現場付近で撮影された車両の走行記録ビデオから１秒ごとの静止画像をワークステーション上に映し出し、車両ごとに２つのヘッドライトを含む長方形の領域を切り出しておく。この長方形に含まれるピクセルの明度で重みづけて重心のピクセルの位置を計算し、これを車両の中心位置と定義する。640×480のピクセルから成る画像上のこのピクセルの位置をビデオ座標と呼び、車両位置をこの座標系で表現しておく。

(2)ビデオ座標から測地座標への変換

(1)により２次元の座標として表現された各車両の位置を、ビデオ画像に同時に映し出されている道路上のポールやビルのコーナー等の測地座標が既知の不動点を用いて射影変換し、ビデオ座標を測地座標に変換する。

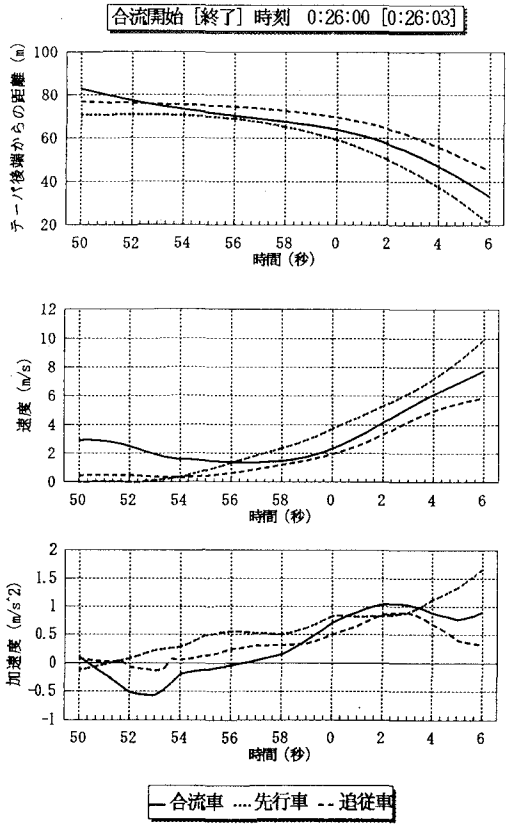

図-2　走行軌跡図の例

(3)測地座標の平滑化、補間処理

各車両の１秒ごとの測地座標はビデオ座標を取得する際の光学的な誤差、座標変換に伴う際の誤差等を含んでいる（実際に測地座標既知点では2.3(m)のR.M.S.誤差が生起している）ため、カルマンスムージングアルゴリズムを用いてデータの平滑化を試みる。このアルゴリズムの特徴は、車両の位置座標のみならず、速度、加速度についてもこれらの間の物理的な関係を損なうことなく平滑化されることにあり、観測値のない時刻のデータについても補間されることができる。

この走行軌跡データ取得システムを活用することにより、図-2に示されるような先行車、合流車、追従車の３台を１組とする車両位置、速度、加速度の走行軌跡データを得ることができる。

これにより合流車が合流を開始してから終了するまでの毎秒の各車両の速度、加速度、テーパ後端（完全に１車線に絞られる地点）からの距離と各車両間の相対関係を示す指標（各車両間の相対速度及び相対加速度、ギャップ、前方ラグ、後方ラグ）が得られる。ここでの検討用に得られた先行車、合流車、追従車の３台を一組とする走行軌跡データ数は最終的に２６９サンプルである。なお、合流開始の定義は合流車の右ヘッドライトが中央車線にかかった時刻で、合流終了は左ヘッドライトが中央車線を離脱した時刻であるとしている。また、走行軌跡データについては合流車が合流する際、他の２台との位置関係により次の３種類の合流パターンに分類されるが、ここでの検討では合流開始時刻を上述のように加速や減速が終了してからのまさに合流しようとしている時刻に設定しており、これら３つの合流パターン全てを以下の分析に用いている。

①図-2に示されるような合流車が走行車線の車を追い越して合流するパターン（２３サンプル）

②合流車が走行車線の先行車及び追従車との位置関係を保ちながら合流するパターン（２３１サンプル）

③合流車が走行車線の車に追い越されて合流するパターン（１５サンプル）

３．合流挙動の分析

ここでは合流可能かどうかの判断を決定づけてい

る要因が何であるかを探る第一歩として、まさに合流しようとしている時の車両相互間の関係を明らかにすることを試みる[3),4)]。すなわち得られた合流車の速度、先行車と合流車の相対速度、合流車と追従車の相対速度、ギャップ、前方ラグ、後方ラグの指標を用い統計的な検討を行うことにする。

(1)度数分布と理論分布への適合

サンプルデータから直接得られた各指標について作成した度数分布が図-3に示されている。合流車の速度やギャップの分布は２つの分布が重なっていることが見て取れ、合流地点での交通流が自由流と渋滞流の両方からなる混合流であることが推察できる。また他の指標についても分布型に系統的な特徴が見られず、このままの形で理論分布へ適用するには無理があると考えられる。そのため各指標を考えられるいくつかの指標で基準化することを試みることにする。この結果、位置の次元［Ｌ］を持っている指標については先行車のテーパ後端からの距離で、度の次元［LT^{-1}］を持っている指標については先行車の速度で、すなわち先行車の走行特性で基準化すると、その度数分布は図-4に示されるようになり、特徴が最もよく表現されている分布が得られる。

これらについて χ^2検定による理論分布への適合度検定を行った結果、表-1に示されるように速度に関する指標は正規分布、距離に関する指標は指数分布に適合することが有意水準５％で採択された。

(2)指標間の独立性・従属性の検定

これらの指標間が独立であるか従属であるかを明らかにするために相関係数を求め、無相関検定を行うことにする。基準化前のサンプルデータでの結果と基準化後のデータでの結果がそれぞれ表-2、表-3に示されている。

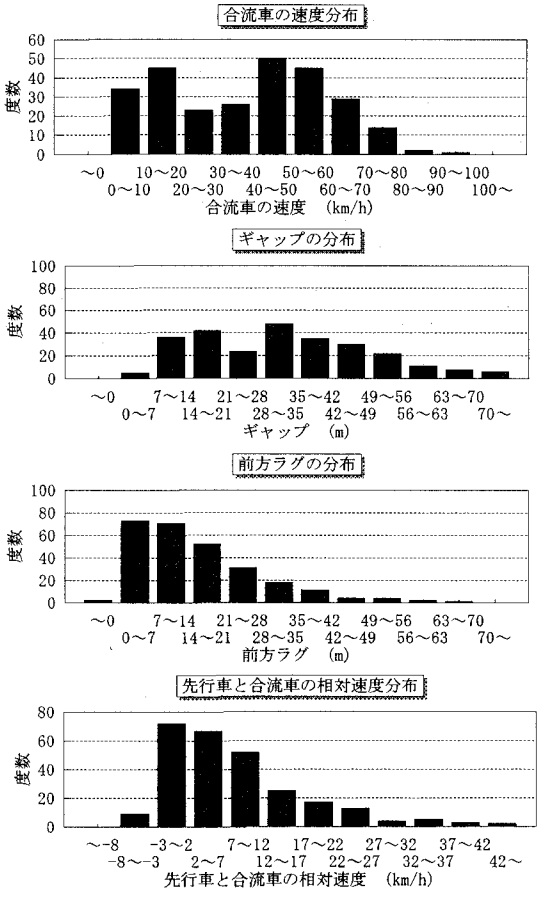

図-3　各指標の度数部分布（サンプルデータ）

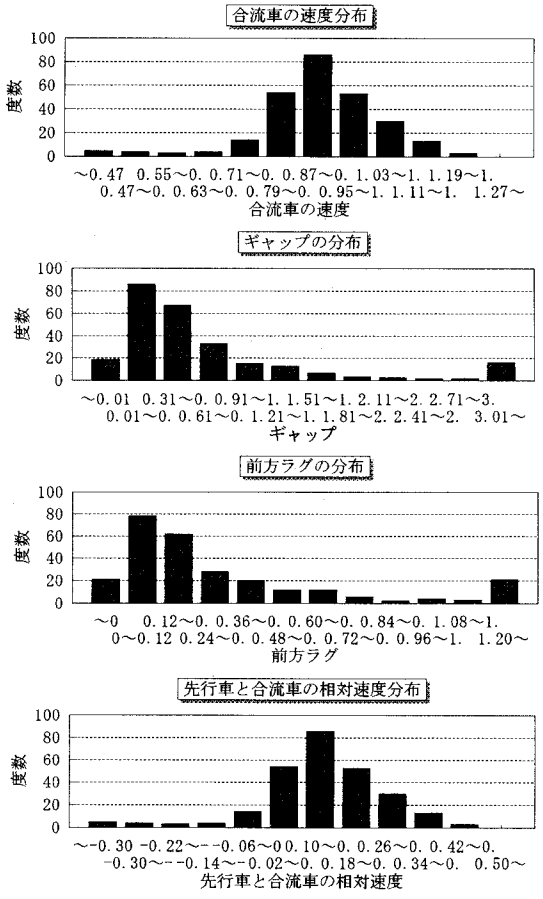

図-４　各指標の度数分布（基準化データ）

この結果より、データをそのまま利用するよりも基準化を行うことにより指標間の独立・従属関係が明確になるとともに、ギャップ、前方ラグ、後方ラグの関係はお互いに非常に高い従属関係にあることが判明した。

表-1　χ^2検定結果

	理論分布	検定使用データ			χ^2値	自由度	判定
		データ数	平均	偏差			
合流車の速度	正規分布	219	0.835	0.106	9.03	4	＊＊
ギャップ	指数分布	193	0.555	0.442	6.48	5	＊＊
前方ラグ	指数分布	190	0.244	0.208	8.64	5	＊＊
後方ラグ	指数分布	192	0.279	0.212	10.62	5	＊＊
先－合　相対速度	正規分布	211	0.154	0.095	6.44	4	＊＊
合－追　相対速度	正規分布	207	0.138	0.107	1.34	4	＊＊

＊＊：有意水準5%採択
χ^2分布表より、自由度4、有意水準5%のχ^2値　9.49
自由度5、有意水準5%のχ^2値　11.07

表-2　指標間の相関係数行列（サンプル取得データ）

	合流車の速度	ギャップ	前方ラグ	後方ラグ	先－合相対速度	合－追相対速度
合流車の速度		0.753	0.652	0.646	0.607	0.617
ギャップ			0.900	0.807	0.731	0.651
前方ラグ				0.468	0.756	0.534
後方ラグ					0.459	0.595
先－合　相対速度						0.337
合－追　相対速度						

表-3　指標間の独立・従属関係（基準化データ）

	合流車の速度	ギャップ	前方ラグ	後方ラグ	先－合相対速度	合－追相対速度
合流車の速度		◎	-0.227	◎	＊	◎
ギャップ			0.957	0.960	◎	◎
前方ラグ				0.837	◎	◎
後方ラグ					◎	◎
先－合　相対速度						◎
合－追　相対速度						

（◎：独立、数字は相関係数）

4．おわりに

以上の分析より、車線規制部手前における合流挙動に関する特性は以下のように要約される。

①合流車の速度、先行車と合流車の相対速度、合流車と追従車の相対速度については先行車の速度で基準化することにより、互いに独立な正規分布モデルとして表現される。

②ギャップについては先行車のテーパ後端からの距離で基準化することにより、速度に関する指標とは異なり、指数分布モデルとして表現される。

③前方ラグ、後方ラグについてはギャップによって説明される単回帰モデルとして表現される。

④なお、加速度に関する指標についても紙面の都合で割愛したが、先行車の車両特性（先行車の加速度［LT^{-2}］）で同様に基準化することにより、独立な正規分布として表現可能であることが示されている。

合流挙動を分析するためのサンプル数は決して多いとは言えず、また異なった地点や時間での分析が必要であることは言うまでもないが、本研究で開発した走行軌跡データ取得システムは、夜間という限定はあるもののこうした膨大な作業の能率化に大きく貢献できることも示し得た。この走行軌跡データ取得システムを活用した合流挙動の更なる分析は、各指標が独立した確率モデルで表現される可能性を示し、車線規制地点におけるシミュレーションモデル構築において合流挙動のロジックの作成や、これに基づいた具体的な渋滞軽減策の検討に大いに役立つことが期待できよう。

参考文献

1)殿村・中山・内山：ビデオ画像に基づく一車線規制時の自動車の合流挙動データ取得方法の開発とその基礎的研究、土木学会第48回年次講演会講演集・第4部、pp.676-677、平成5年9月

2)宮田・内山・喜多：画像処理を利用した同一車両認識システムに関する研究、土木学会第48回年次講演会講演集・第4部、pp.678-679、平成5年9月

3)内山・毛利・石渡：車線閉塞時における自動車の合流挙動の確率的解析、土木学会第49回年次講演会講演集・第4部、pp.710-711、平成6年9月

4)石渡・内山・毛利：車線閉塞時における自動車の合流挙動の確率的解析、第14回交通工学研究発表会論文集、平成6年9月（印刷中）