

長区間の連続した3次元車両軌跡計測のためのビデオ解析システムの開発について*

Development of Vehicles Tracking System using Multiple Video Image on 3-Dimensional Coordinate*

飯田克弘**・安時亨***

By Katsuhiko IIDA**・Sihyoung AN***

1. はじめに

道路場面における交通現象を理解する上で、人、自転車、車等の移動主体の挙動を把握することは重要な意味を持つ。このための手法としては、現地状況をビデオで記録し、その画像を解析することで移動主体の時系列挙動変化を計測する方法が、実務面も含めて広く普及している。

従来、一般的に用いられてきたビデオ解析の方法は、モニタ上にマークされた計測基準点を計測対象物が通過する時刻等を書き出した後、それを用いて区間速度、交通量、車線変更可否等を計測するものであった。しかしこの方法では、①データの書き出しが基本的に手作業となるため、時間と労力を要する、②計測基準点の位置情報が不正確、③計測基準点以外の変化は計測不可能、④連続的に微細な挙動変化(たとえば、進路の揺れ)が捉え難いなど多数の問題点が指摘されてきた。元田¹⁾によれば「定量的指標による錯綜手法の研究では解析時間と努力がかかるため実用的ではない」とも指摘されている。

これに対し最近では、コンピュータ技術とビデオ映像解析技術の発達とともに、ビデオ映像解析の省力化を目指したシステムの開発が行われ、若林ら²⁾³⁾、浅野ら⁵⁾、飯田ら⁶⁾⁷⁾⁸⁾が車の交通流解析に用いた事例、山中らが歩行者・自転車の挙動分析に用いた事例⁹⁾¹⁰⁾等が交通工学分野の既往研究として挙げられる。これらの研究で使用されたビデオ解析システムは、ビデオ映像をパーソナルコンピュータ(以下、PC)に取り込み、PCモニタ上のピクセル座標系(640×480)を計測対象の現地座標系に変換し、モニタ上の対象物をマウスで指定することで、指定したモニタのピクセル座標から現地の座標を算出する方法をとっている。この方法では、複数台のビデオ映像を用いた長区間の交通流分析は可能であるが、現地座標系とピクセル座標系はともに平面座標系(X,Y)を用いている。つまり、現地の計測対象面を平面と仮定しているため、計

測対象面の高低(Z)差による誤差を排除できない。計測範囲が狭く、道路線形や地形が穏やかな場合は、この誤差は分析上無視することもできる。しかし、計測範囲が狭くとも高低差が激しい場合や急カーブのような平面線形の変化が激しい場合、また計測範囲が広くなると、この誤差を無視することはできない。

一方、ビデオ映像の信号をピクセルごとに数値化処理し、基準画面と移動物体が映った画面の数値データを比較することで移動物体の挙動を自動計測する方法もある。しかし、この方法では数値化された移動物体の認識精度が高くないこと、複数のビデオ間における同一車両の判断が難しいことなど、実用上の課題が存在する。実際、この方法は1画面のITV映像を用いたトンネルや交差点の異常事態検知、交通量の観測などへの適用例はあるが、長い区間における交通流の挙動分析などのように、複数台の連続した広範囲のビデオ映像で、なおかつ移動物体の軌跡に対する高い精度が求められる挙動データ計測への適用例は見当たらない。

著者らは、ビデオ映像解析の既往技術と3次元CG(以下、3DCG)技術を融合し、上記①～④の問題点を改善するとともに、高低差を考慮した移動体挙動の計測と、複数台の連続したビデオ映像の解析が可能なシステム*を開発した。本稿ではこのビデオ解析システムの概要と共に、高速道路ICの合流部における合流車両と本線走行車両の走行挙動を計測した適用事例について述べる。

2. ビデオ解析システムの概要

本ビデオ解析システムは、3DCGで作成された対象区間の簡易な道路モデル(以下、3DCG道路モデル)と、現地で撮影されたビデオ映像を用いて、3次元座標系における移動体の挙動を計測するものである。このように計測された3次元移動軌跡は対象区間における交通現象の実態把握にあたり有効な基礎資料となる。

本ビデオ解析システムで計測された3次元移動軌跡データの出力フォーマットは市販の表計算ソフトで2次処理することを考え、CSVまたはテキスト形式で出力される。出力データの項目は、全車両について、単位経過時間ごとに計測した以下の項目が基本となっているが、時

*キーワード：交通流、交通量計測、情報処理、開発技術論

** 正員、博士(工)、大阪大学大学院工学研究科
(大阪府吹田市山田丘 2-1, TEL: 06-6879-7611,
FAX:06-6879-7612 E-Mail:iida@civil.eng.osaka-u.ac.jp)

*** 正員、博士(工)、株式会社オーデックス交通工学研究所
(大阪府淀川区宮原 4-4-50, TEL:06-6392-3715,
FAX:06-6391-5624, E-Mail:s-an@odex.co.jp)

※ 特許出願中

系列の3次元座標値の変化で定義可能な全ての項目の出力に対応できる。

- ・ 進行方向の走行位置(KP)
- ・ 速度
- ・ 走行車線番号
- ・ 車線内走行位置(進行方向の垂直方向)
- ・ 3次元座標系における3つの座標値(X, Y, Z)

また、著者らが別途開発を行っているドライビング・シミュレータ¹¹⁾(以下、DS)において、移動体の映像を再現するためのデータとしても出力可能となっている。つまりDSを用いた走行実験において実交通流の再現が可能となるため、実験対象となる交通場面および実験シナリオの拡充が図られる。

本ビデオ解析システムの基本的な考え方は、3DCG道路モデルとビデオ映像について、現地撮影時のカメラの位置(X, Y, Z)、姿勢(H: 水平角, P: 上下角, R: ねじれ角)、画角(FovX: 水平画角, FovY: 垂直画角)の8項

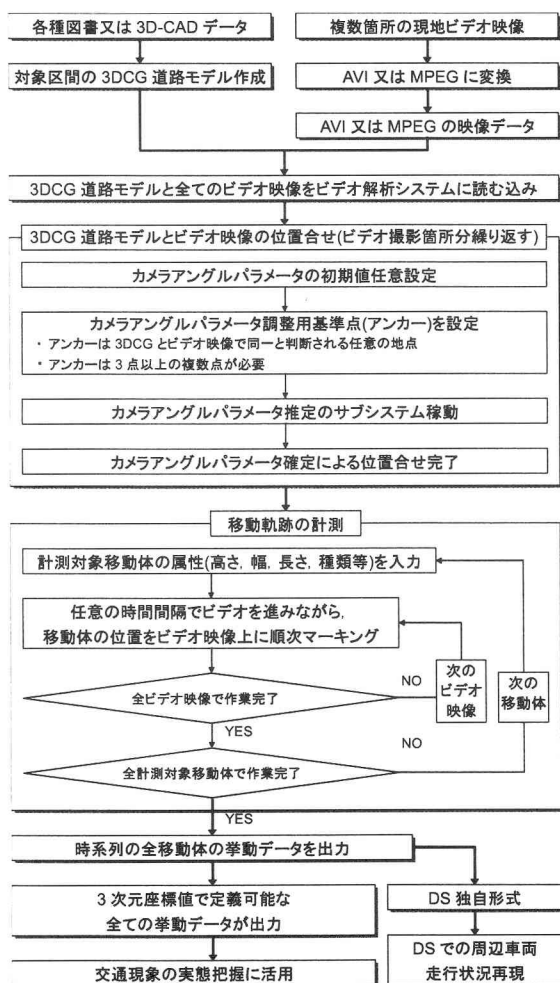


図-1 ビデオ解析の作業手順

目からなるカメラアングルパラメータ(以下、パラメータ)に架空のCGカメラのパラメータを一致させることで、ビデオ映像の任意の位置を3DCG道路モデル上の現地座標として変換するものである。図-1に本ビデオ解析システムの手順を示す。

(1) 3DCG 道路モデルと現地のビデオ映像

本ビデオ解析システムで用いる3DCG道路モデルは、一般的な詳細モデルではなく、路面、車線等の基本的な道路構造と、数点のパラメータ調整用基準点(以下、アンカー)のみで作成された簡易モデル(図-2)で必要要件を満たす。また筆者らは、計測対象区間の3次元 CADデータが入手可能な場合、ほぼ自動的に上記要件を満たすモデルを作成するシステムを別途開発しているが、紙面の関係上ここでは説明を省略する。



図-2 簡易モデルと詳細モデルの比較

ビデオ映像に関する必要要件で特筆すべき事項は無く、計測対象が撮影されていればよい。さらに、本ビデオ解析システムで同時に解析できるビデオ映像数の制限も無い。このため解析対象場面に関する制約は著しく緩和される。本ビデオ解析システムはビデオ映像をAVIまたはMPEG形式に変換して用いるが、複数台のビデオ映像を解析するためには、映像ファイルを圧縮 MPEG形式とすることで処理性能を高めることができる。また、映像がアナログ撮影であれば640×480、デジタル撮影であれば720×480の解像度で解析可能である。

(2) パラメータの推定

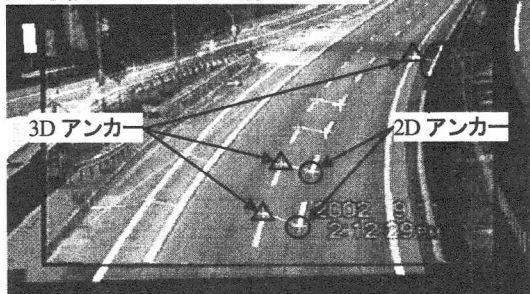
(a) パラメータ推定方法

ここでは、前述した8項目のパラメータ推定方法について述べる。まず、PCメモリ上に3DCG道路モデルとビデオ映像を読み込み、マウス操作で両方のカメラアングルを簡易調整する。この作業は3DCG道路モデルとビデオ映像の画面は概ね同じ場所を表していると思われる程度でよい。この時のパラメータを初期値とする。次に、ビデオ映像の中で3DCG上のアンカー(以下3Dアンカー)と同一地点と思われる点、又は3Dアンカーが含まれると思われる線分をビデオ映像上の2次元座標系におけるアンカー(以下2Dアンカー)として設定する。この対を3点以上設定し、パラメータ推定サブシステムを稼動することによりパラメータを自動調整する。

パラメータ推定サブシステムにおける推定手順は次の通りである。

- ① パラメータ(最初は前述した初期値)に基づいて、3DCG道路モデルにおける各 3Dアンカーの3次元座標をビデオ映像上の2次元座標に射影変換する。変換方法については別途記述する。
- ② 全3Dアンカーに対しこの変換を行った画面座標点と2Dアンカーの画面座標点との距離を求め、その合計をその時点のパラメータにおける誤差量とする。この際、2Dアンカーが線分である場合はこの線分と3Dアンカーの最短距離を求める。
- ③ 次に、各パラメータをランダムに変化させながら誤差量を計算し、誤差量が減ると新しいパラメータとして採用するが、誤差量が増すと棄却する。なお、パラメータの変化量は誤差量の変化分を考慮して決定する。
- ④ 以上の①～③を誤差量が十分小さくなるまで繰り返し実行し、最終的なパラメータを求める。図-3にパラメータ推定前の場面と、推定後の位置合せが完了した場面の2つの映像を示す。
- ⑤ 以上の作業を撮影した全ビデオ映像に対して行う。

3D 道路モデルとビデオ映像のアンカー



位置合せ完成状況



図-3 3D 道路モデルとビデオ映像の位置合せ

(b) 3次元座標から2次元座標への変換方法

ここでは、3DCG 道路モデル上の 3 次元座標をビデオ映像上の 2 次元座標へ射影変換する方法を説明する。まず、カメラの位置(X, Y, Z)から平行移動変換行列 (式 1)、姿勢(水平角, 上下角, ねじれ角)のパラメータを用いて対応する角度に関する回転行列 (式 2～4) を求め、

これらに基づき視野変換行列(M1)を作成する (式 5)。

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X \\ 0 & 1 & 0 & Y \\ 0 & 0 & 1 & Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{式 1}$$

$$H = \begin{bmatrix} \cos \theta_h & -\sin \theta_h & 0 & 0 \\ \sin \theta_h & \cos \theta_h & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{式 2}$$

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_p & -\sin \theta_p & 0 \\ 0 & \sin \theta_p & \cos \theta_p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{式 3}$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos \theta_r & 0 & -\sin \theta_r & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \theta_r & 0 & \cos \theta_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{式 4}$$

$$M1 = T(-X, -Y, -Z) \times H(-\theta_h) \times P(-\theta_p) \times R(-\theta_r) \quad \text{式 5}$$

ただし、

T: 平行移動変換行列

H: 水平方向の回転変換行列(Z軸回りの回転を変換)

P: 上下方向の回転変換行列(X軸回りの回転を変換)

R: ねじれ方向の回転変換行列(Y軸回りの回転を変換)

X, Y, Z: カメラの位置パラメータ

θ_h : カメラ姿勢の水平角パラメータ

θ_p : カメラ姿勢の上下角パラメータ

θ_r : カメラ姿勢のねじれ角パラメータ

このM1行列に3Dアンカーの3次元座標ベクトル (x, y, z, 1) の転置行列を乗じ、カメラの視野変換を行った3次元座標ベクトル (x', y', z', 1) の転置行列を求める。

次にカメラの画角(水平画角, 垂直画角)のパラメータを用いて透視射影行列 M2 を求める (式 6)。

$$M2 = \begin{bmatrix} \frac{1}{\tan \theta_{FovX}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\tan \theta_{FovY}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{式 6}$$

このM2行列を視野変換した3次元座標ベクトルに乗ずると、ベクトル(x'/tan θ_{FovX} , y'/tan θ_{FovY} , 0, z')が求められる。ここで、z'は同次元座標であり、最終的に射影変換された2次元座標U, Vは式7と式8によって求める。

$$U = (x' / \tan \theta_{FovX}) / z' \quad \text{式 7}$$

$$V = (y' / \tan \theta_{fov}) / z$$

式 8

(3) 3次元移動軌跡の計測

上記のパラメータ推定によりビデオ映像と3DCGの映像を重ね合わせた状態で、マウスでビデオ映像上の計測対象物中心に対応する路面上の測点(Ps：車中心に最も近い路面上の点)をクリックすると、そのマウス位置における3Dモデル計測対象面(道路では路面となる)上での測点(Pm)を計算し、そこを計測対象物の位置として自動記録される(図4参照)。このある1点に対する位置計測の考え方を以下に示す(図5参照)。

3DCG映像とビデオ映像の視界が完全に一致すると、ビデオ映像を記録した実際のカメラ位置を特定することが出来るので、まず、3DCG座標系におけるカメラの位置を計算する。次に、ビデオカメラ位置(Pv)の3DCG座標と画面上にクリックした計測対象物中心に対応する路面上の測点(Ps)の3DCG座標で構成されるベクトルを求め、その延伸ベクトル(P)を求める。このベクトルPと計測対象面となるポリゴンが交差する点(Pm)の3DCG座標が最終的に求めようとする計測対象物中心の3DCG座標系における座標となる。

以下では車の例を用いて移動体軌跡の計測方法を説明する。まず、計測対象車両の車種と大きさ(長さ、幅、高さ)などの属性を入力して直方体を定義する。この際、車両モデル名を属性として入力すると、著者らが開発して

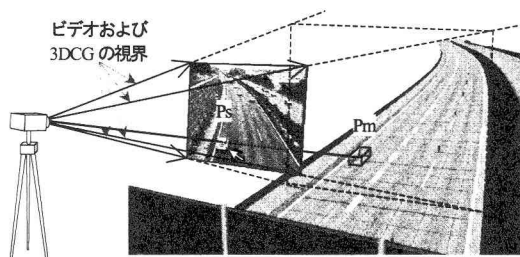
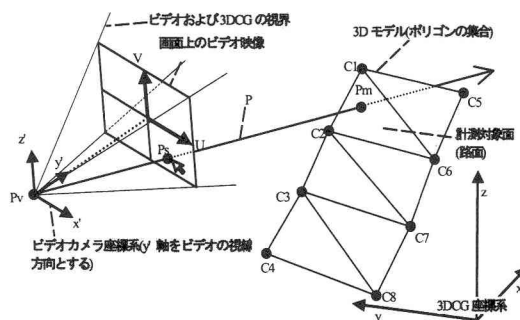


図4 計測のイメージ



- P ビデオカメラ位置から計測対象物中心へのベクトル
Pv ビデオカメラ位置座標(CCDの中心位置)
Ps ビデオ画面上の計測対象物中心に対応する路面上測点
Pm 3Dモデル表面上の対象物中心に対応する測点(計測地点)
C1-C8 3Dモデル(ポリゴン集合)を構成する各頂点

図5 計測の考え方

いるDSの周辺車両として自動的にその車両を再現することが出来る。

次に、ビデオ映像に記録されている走行車両と同じ大きさで定義した直方体を重ねて配置(マーキング)し、3DCG道路モデル上の座標として計測する。さらに任意の時間間隔でビデオを進めながらマーキングを行うことで、対象車両の座標とビデオの時刻が関連付けられて記録される(図6参照)。この時系列の座標点列が計測対象の3次元移動軌跡となる。この方法では計測対象車両と直方体の大きさの差による計測誤差が考えられる。この計測誤差の軽減策として、自動車メーカーから収集した車種別大きさのデータを基に、計測対象車両の車種に合った大きさの直方体を定義して用いることとした。ただし、殆どの走行車両において、収集した車種別大きさのデータが正確に符合することは難しいため、最終的に画面を拡大し直方体の大きさを目視で微調整する。以上の作業で計測対象車両と直方体の大きさの差による計測誤差は大きく軽減できると思われる。本システムでは、上記の原因による計測誤差を除去するため、計測対象車両と同じ形状の実車ベース3DCGモデルを作成し、直方体の代わりに用いるようにすることも可能である。しかし、この場合は全計測対象車両の3DCGモデルを作成する必要があり、計測対象車両の台数が多くなると、非常に多くの時間と努力を要する。したがって、実車ベース3DCGモデルの適用は、計測目的による必要精度を考慮した上で判断すべきであると思われる。

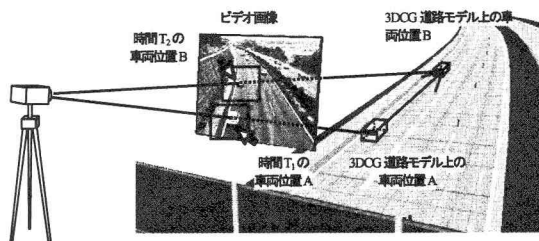


図6 同一対象物についての移動軌跡取得方法

本ビデオ解析システムでは、計測対象物とビデオカメラの位置および姿勢等を全て3DCG座標系で記録することで複数ビデオ間の空間的同期を取っている。また、計測結果は①ビデオ番号、②フレーム番号、③計測座標の3項目がセットとして記録されるため、基準時刻と各ビデオ間の時間差を計測前に1回だけ入力すれば、システム内部の自動計算により基準時刻に基づいた1つの時刻系で時間的同期が取れた時刻情報が記録される。ここで、全撮影ビデオに対する基準時刻の記録方法は撮影開始前に同一時刻の同一事象を全ビデオカメラで同時に記録し、その事象の発生時刻を基準時刻とするなど、現地の状況により様々な方法が考えられる。この基準時刻と各ビデオ

オ間の時刻誤差は、全てのビデオにおいて、最大 $\pm 1/30$ 秒(1frame)であり、撮影ビデオの台数が幾ら多くなっても、基準時刻と各ビデオの時刻との誤差はこれ以上に大きくならない。したがって、前記した1画面での計測操作を図7のイメージのように複数のビデオ映像に対して、また、全ての計測車両に対して行うことにより、対象車両群の挙動が計測可能となる。

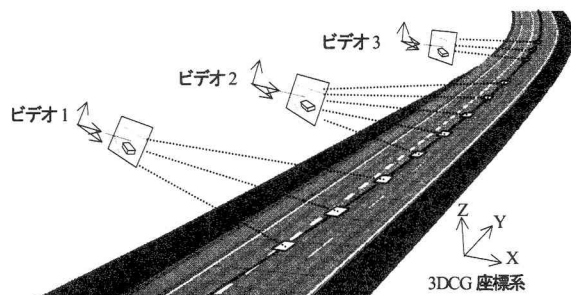


図7 複数のビデオ映像による計測のイメージ

ちなみに、取得した移動軌跡データの使用目的により、交通流の分解精度(データ取得の時間間隔)を調整することが可能であるため、作業を効率化することができる。たとえば、分析する交通事象と直接関連する区間は細かく(1~5frame, 1frame=1/30秒)、その他の区間は粗く(30~90frame)データを取得することなどが可能である。この際、荒くデータを取得した区間においては、その区間を示す2つの計測地点とそれぞれの計測地点の前後にある計測地点1つずつの計4地点の座標値を用いて、3次ス

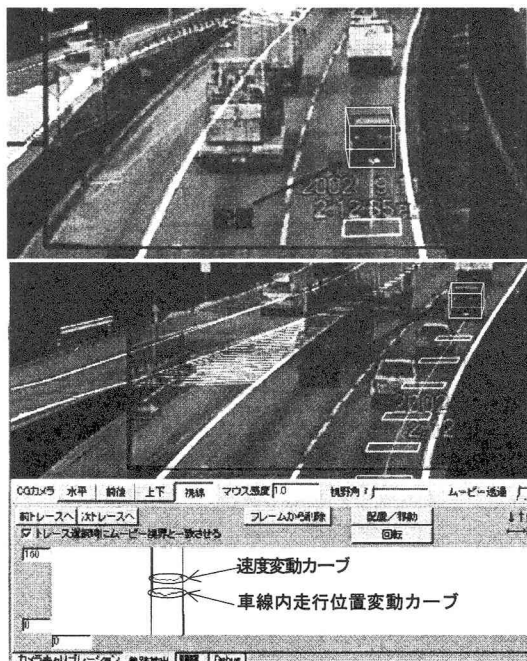


図8 対象車両の軌跡計測状況

プライン曲線で補完する。

また本ビデオ解析システムでは、対象車両の速度変動と車線内走行位置(左右の位置)変動を移動軌跡の記録と同時に画面下部のグラフに提示する(図8参照)。このため移動軌跡の記録中に対象車両の挙動が把握できるとともに、複数のビデオ間における同一車両の誤認知や時間同期の不具合等、記録者のヒューマンエラーの発生を大幅に軽減できる。

(4) 計測した軌跡の確認

本ビデオ解析システムでは、計測した移動軌跡に基づき、対象車両を簡易なワイヤーフレームで表示することで、対象車両群からなる交通挙動を動画イメージで確認することができる。確認は以下の2つの方法で行われる(図9参照)。この機能は、計測結果を用いた詳細な分析の前段階として、対象区間の定性的観察による予備検討に活用することができる。

- ・ 任意のカメラアングルから車両群全体の挙動を確認する方法
- ・ 車両群の中で走行している任意の1台の車両を選択し、その車両の運転席からの視線で交通現象を確認する方法

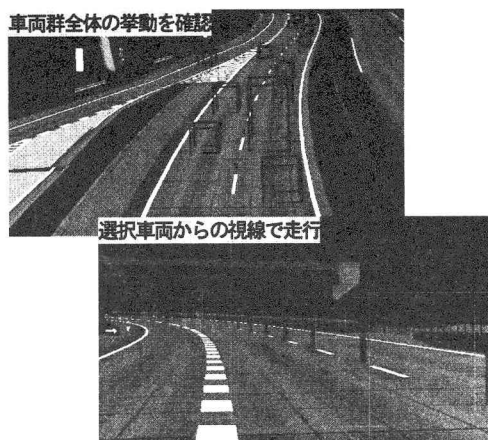


図9 計測した車両群の走行状況確認画面

3. 適用事例

合流部におけるドライバーの運転行動は前方視野のみではなく、側方視野および後方視野の交通状況も大きく影響する。そのため著者らは、既に開発している1画面(前方視野のみ)DSに対して、左右の周辺視と後方の状況が確認できる機能拡張(前方1画面、左右2画面、左右サイドミラー2画面、ルームミラー1画面の計6画面)を行った。その後、試験用車両を用いた実道路での走行実験(以下、現道実験)とDSを用いた室内走行実験を、同じ被験者で実施し、各々の被験者の合流時運転挙動を比較分析する

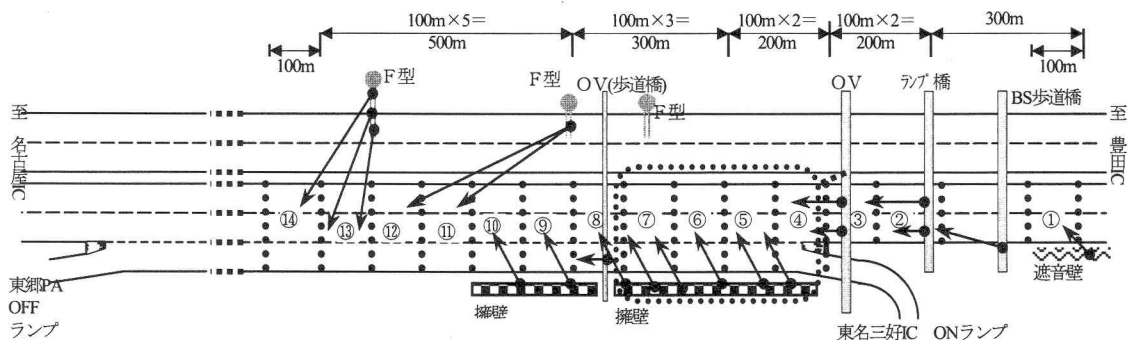


図-10 現道実験時のビデオ撮影範囲(分析対象区間)

ことで、現道実験に対する室内走行実験結果の再現性を検証する研究¹²⁾を行い、その成果を報告している。

この際、上述した通り、実道路における本線上の周辺車両走行状況は合流時の運転行動決定に重要な判断材料となるので、室内走行実験においても、被験者が実道路で体験した交通状況を再現する必要があった。そのため、図-10に示す分析対象区間(東名高速道路下り線東名三好IC合流部付近の1.6km)に設置した20台のビデオカメラで現道実験時の交通状況を撮影し、その映像を本ビデオ解析システムで処理することで、合流する試験用車両を含

む全車両に対する時系列走行軌跡の変化を1/30秒単位で収集した。この走行軌跡を用いてDSにおける周辺車両走行状況を再現した。なお現道実験では試験用車両が分析対象区間を9回走行したため、室内走行実験でもこの9ケースの交通状況を全て再現した。このために解析したビデオは約6時間分(1カメラ当たり2分×20台×9ケース)の映像となっている。

この再現結果と実道路における交通状況との整合を確認するため、現道実験走行車両から撮影した実写映像と同じ状況に対応するCG映像を同一の基準地点から同時に再生し、経過時刻による周辺の交通状況の定性的な比較を9ケース全てにおいて実施した。図-11にその比較例を示す。図の左側は本ビデオ解析システムによる解析結果を用いて再現したCG映像をDS運転席で見た前方の場面である。図の右側は現道実験で被験者に装着させた注視点測定機器によって撮影されたドライバーの視野画像の実写場面である。この実写場面は被験者の頭の向きによって撮影の画角が変わるので、CG映像のように常に進行方向の場면을記録したものではない。したがって、自車と周辺車両間および他の周辺車両間の相対関係、周辺地形と各走行車両間の位置関係などで2つの映像の整合性を定性的に判断した。

これを見ると、走行開始から10秒13 frame(1 frameは1/30秒)経過した時に、被験者が運転している試験用車両の前方右車線(走行車線)にトラックが走行しており、このトラックから付加車線レーンマーク(トラックの左)までの距離がほぼ同じであることが分かる。このトラックはこの地点から付加車線の方に車線変更を開始する。走行開始から15秒00 frame経過した時のトラックの位置を見ると車線変更中における走行位置が両方とも付加車線レーンマークの真中であることが分かる。走行開始から28秒05 frame経過した時は試験用車両が走行車線を走行しており、その試験用車両と左側のトラックが急接近している状況が同様に再現されている。走行開始から39秒22 frame経過した時は、付加車線上で走行していたトラックが試験用車両の前方で走行しており、そのトラックの右後斜めにワンボックスの車両が走行している状況が

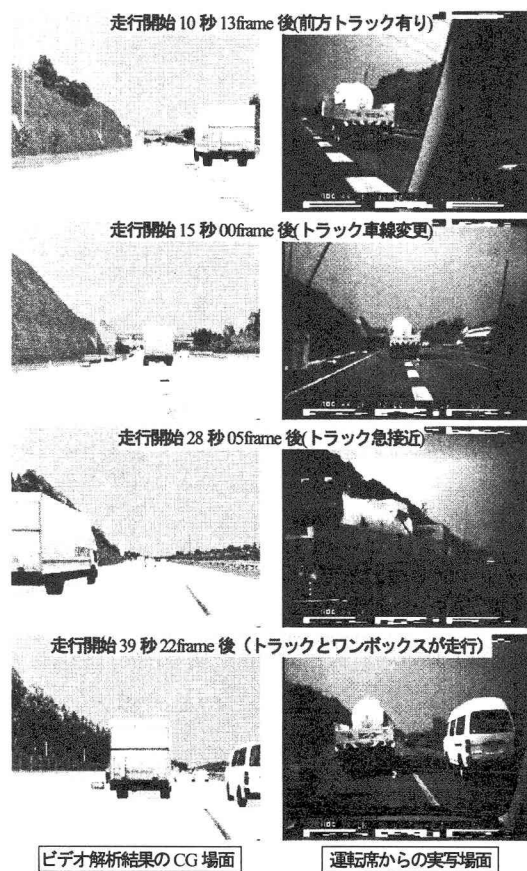


図-11 ビデオ解析結果と実写の比較

同様に再現されている。このように、目視に基づく定性的な比較結果ではあるが、走行開始から同じ経過時刻における周辺車両の走行状況が殆ど同じ様子を示していることから、運転者の周辺状況判断基準の大部分となる視覚情報の提供という面では十分有効であると思われる。

この研究¹²⁾では、現道実験時と同様な周辺交通状況をDSで再現し、その交通状況下で被験者が自由に運転台を操作して本線に合流する室内走行実験を行っている。

ビデオ解析では、上述した周辺交通状況だけでなく試験用車両の走行挙動データも採集されており、これを用いて室内実験で採集した合流車の走行挙動データと比較した。具体的には、合流ギャップに当たる走行車線前走車、後続車を対象として、①車線内走行位置(横方向の走行位置)、②自車との車頭間隔、③自車との速度比を算出し、その変化を比較した。

図-12には、既往研究で用いた9ケース中で1ケースの走行挙動に対するプロフィール曲線を一例として示している。このグラフで示している区間は図-10の区間④～区間⑧(延長500m)である。各グラフには縦の破線が灰色2本(室内実験)と黒色2本(現道実験)が示されているが、左側の破線は試験用車両が合流のためにハンドルを右に操作し始めた地点で、右側の破線は試験用車両が合流のためのハンドル操作を終え本線走行に移行したと思われる地点を示している。つまり同じ色の2つの破線間は被験者がそれぞれの実験で合流行動を始めてから終わるまで

の区間を示している。

このグラフの一例に限って合流時の走行挙動を見ると、車線内走行位置は現道実験と室内実験でほとんど同じ軌跡を辿っていることが分かる。また、車頭間隔は現道実験より室内実験の方が前走車両に若干近づく傾向が見られる。近づき始める時の自車に対する周辺車両の速度比を見ると現道実験より室内実験における周辺車両の速度比が低いことが分かる。

以上のような比較を可能にするためには交通事故が発生する区間全体において単位距離(既往研究では1m)における連続的な走行挙動データを採集する必要がある。DSの場合はこの連続的な走行挙動データの採集がコンピュータープログラムの操作によって十分可能であるが、現道実験におけるこれまでの計測方法の場合は容易ではなかった。以上の点から考えても、本ビデオ解析システムは交通現象を把握するためのツールとして非常に有効であると思われる。

一方、現地測量による計測結果精度の検証を行ったわけではないが、垂直方向に約100m水平方向に約30mの撮影範囲において、幅20cmのレーンマーク、高さ1mの防護柵、φ30cmの照明柱などの大きさと位置がほぼ一致していることから、本システムの計測精度は様々な交通現象把握に適用可能な水準であると思われる。

ちなみに、本ビデオ解析システムを用いた試験用車両の時系列移動軌跡変化の計測と同時に、現道実験では、試験用車両に組み込まれていた高精度のRTK-GPS装置を用いて試験用車両の時系列移動軌跡変化を計測したが、計測区間にあるOVや隣接するのり面などによって衛星信号が途切れてしまい、その時点からRTK-GPS装置による計測が復旧するまでの時間がかかったため、殆ど計測が出来なかった。このような実験条件の制約は現実的に十分にありうることであり、現段階でのRTK-GPS装置では対応しきれない部分であると思われる。このような面からもビデオ解析は交通現象を把握する手法として不可欠なものであり、しかも、長区間の連続した3次元移動軌跡が計測できる本ビデオ解析システムは非常に有効な計測ツールであると思われる。

4. まとめ

本稿では、3次元座標系で移動体の挙動を計測するために開発したビデオ解析システムについて、その概要と特徴を述べた。また、適用事例などを通じて、本ビデオ解析システムから得られたデータの有効性、活用性について整理した。

当然のことながら、本ビデオ解析システムの適用は車両に限定されるものではなく、歩行者や自転車など、ビデオ映像に記録される全ての移動体の挙動が、高さ情報

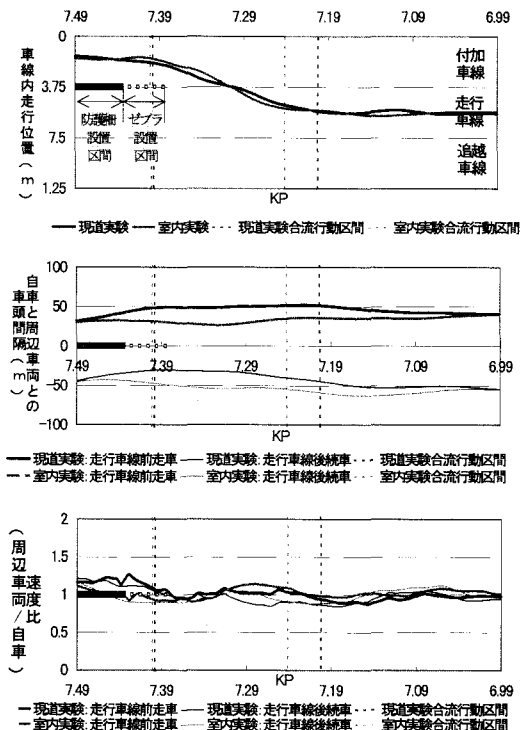


図-12 合流時走行挙動のプロフィール曲線例

を含めた3次元で計測できる。今後は、短時間での変化が激しい歩行者や自転車を含む交通現象の分析と急勾配および急カーブなどの高さが走行挙動変化の一つの要因となる交通現象の分析などにも適用して行きたい。

一方、本研究では運転者への視覚情報として提供する周辺交通状況の再現には十分有効であることを定性的な比較結果によって確認した。但し、より高精度の交通現象データを必要とする場面も存在することから、計測結果の精度に対する綿密な定量的検証も必要であると考え、これも今後の課題とする。

最後に、TIS株式会社の上地登氏を始め、本ビデオ解析システム開発の関係者には心から感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 元田良孝：錯綜手法に関する研究の概観，交通工学，Vol.27, No2, pp.35-46, 1992.
- 2) 若林拓史・小嶋紀之：交通流ビデオ解析システムの開発と交差点内左折交通流解析への適用，第19回交通工学研究発表会論文報告集，pp.85-88, 1999.
- 3) 若林拓史・小嶋紀之・大石理：交通流ビデオ解析システムの開発と交通コンフリクト解析への適用，土木計画学研究・論文集，Vol.19, No.4, pp.765-775, 2002.
- 4) 若林拓史・高橋吉彦・新美栄浩・蓮華一己：交通流ビデオ解析システムを用いた交通コンフリクト分析と新しい危険度評価指標の提案，土木計画学研究・論文

集，Vol.20, No.4, pp.949-956, 2003.

- 5) 浅野信哉，赤羽弘和：複数のビデオカメラによる車輪走行軌跡観測システムの開発，土木計画学研究・講演集，Vol.24, CD-ROM, 2001.
- 6) 飯田恭敬・宇野伸宏・坪井慎二・菅沼真澄：織込み部におけるコンフリクト分析と車線変更のモデル化，土木計画学研究・講演集，Vol.24, CD-ROM, 2001.
- 7) 菅沼真澄・宇野伸宏，飯田恭敬：車線変更時のコンフリクトを考慮した速度調整モデルの構築，土木計画学研究・講演集，Vol.28, CD-ROM, 2003.
- 8) 宇野伸宏・日吉健至・飯田恭敬・有野充朗：連続撮影ビデオ画像を用いた車両走行危険事象分析，土木計画学研究・講演集，Vol.29, CD-ROM, 2004.
- 9) 山中英生・半田佳孝・宮城祐貴：ニアミス指標による自転車歩行者混合交通の評価法とサービスレベルの提案，土木学会論文集，No.730, pp.27-37, 2003.
- 10) 山中英生：挙動分析に基づく歩行者・自転車空間における通行区分明示の評価，土木計画学研究・講演集，No.27, CD-ROM, 2003.
- 11) たとえば，飯田克弘・池田武司・石山裕一・秋田周作：視界不良時における走行挙動特性と情報提供の支援効果把握，交通工学，Vol.38, No.2, pp.59-69, 2003.
- 12) 河井健・飯田克弘・安時亨・大口敬：ドライビング・シミュレータを用いた合流部走行実験の現況再現性，第23回交通工学研究発表会論文報告集，pp.81-84, 2003.

長区間の連続した3次元車両軌跡計測のためのビデオ解析システムの開発について*

飯田克弘**・安時亨***

現地交通状況のビデオ画像解析により移動体の時系列挙動変化を計測する方法は、人、自転車、車等の交通主体の挙動を把握するための有効な手法である。著者らは、既往のビデオ解析方法の問題点を整理し、その問題点を克服可能なビデオ解析システムを開発した。本システムは既往のビデオ解析技術と3DCG技術を融合した点に特徴があり、2次元平面座標に高さ情報を加えた3次元座標系で移動体の軌跡が計測可能である。また複数台の連続したビデオ映像を同時に解析することで、長区間における連続した移動軌跡の計測が可能である。本論文では、このビデオ解析システムの基本的な考え方、適用した座標変換方法の概要、移動軌跡の計測手順などを説明している。また、高速道路合流部における走行挙動の計測に適用した事例を通じて、交通現象把握における本システムの有効性について考察している。

Development of Vehicles Tracking System using Multiple Video Image on 3-Dimensional Coordinate*

By Katsuhiro IIDA**・Sihyoung AN***

In order to grasp the behavior of moving objects such as pedestrian, bicycles and cars, observing the time series data of their behavior is effective. Up to the present, these data were acquired by analyzing the video image that recorded the field traffic situation is. We reviewed the problems of the existing methods, and developed moving objects tracking system that overcome the problems. Integration the 3DCG technology and video image analytic technology is characteristic of this new system. This system has made it possible to track moving objects by 3-dimensional coordinate, and to track moving objects for long spatial interval using sequential video images by several VCR. The fundamental approaches of this system, outlines of applied coordinate transformation method, and tracking procedures of moving object are introduced in the first part of this paper. And then the effectiveness of this system is discussed through the case of the analysis of driving behavior in the expressway merging section.