

複数のビデオカメラによる車輦走行軌跡観測システムの開発*

Vehicle Tracking with Multiple Video-Cameras*

浅野 信哉**, 赤羽 弘和***

By Shinya ASANO **, Hirokazu AKAHANE ***

1. はじめに

AHS-i や AHS-c 等のいわゆる安全運転支援システムにおいて、適切な時期に適切な内容の情報を運転者に提供するシステムや、運転操作に強制介入することにより危険を回避する制御は、運転者が混乱したり、交通流に悪影響を及ぼさないものでなければならない。そのためには、人間の運転操作、あるいはその結果としての車輦の走行挙動や周辺走行車輦との相対的位置関係の変動を高精度に把握しておくことが必須である。

本研究では走行挙動観測の手段として画像観測に着目した。画像観測は不特定多数の車輦の観測が可能である反面、図-1 に挙げられるように観測精度と観測範囲の両立が困難である。そこで、隣接して設置された複数ビデオカメラの各データを接合する技術の開発により画像観測の欠点を補う事で、より汎用性の高い観測システムの確立を目指している。

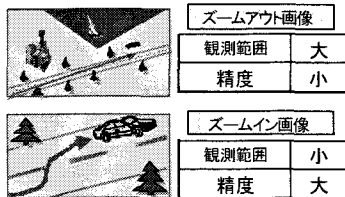


図-1 観測精度と観測範囲の背反

2. システムの技術的要件 1)

(1) 複数のビデオカメラによる同期撮影

主カメラのタイムコード及びフレーム位置情報を他の副カメラに伝達し、フレームの録画タイミングを一致させ、各フレームに共通のタイムコードを記録する事により画像の時間的同期を取っている。図-2 に同期撮影の概念図を示す。

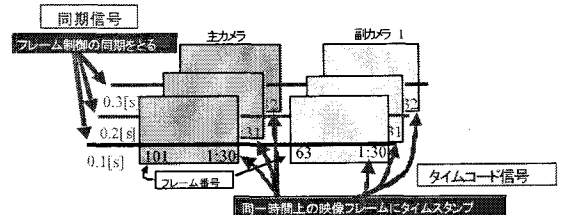


図-2 同期撮影の概念

(2) ビデオ画像上の座標変換

画像上で測定された座標は式-1 の射影変換式により、実際の地上座標に変換する。この際、画像座標と地上座標の双方が 2 次元的に既知な点、4 点以上を用いて最小二乗法より未定係数を算出し、他の画面座標を変換する。

$$x' = \frac{b_1x + b_2y + b_3}{b_7x + b_8y + 1} \quad y' = \frac{b_4x + b_5y + b_6}{b_7x + b_8y + 1} \quad (\text{式 -1})$$

x', y' : 変換後の座標

x, y : 変換前の座標

b_i : 未定係数

(3) 誤差分散値の決定

画像より得られた車輦座標には観測誤差及び車輦の高さによる誤差が生じる。その大きさはカメラの設置条件と車輦座標の位置により異なり、式-2 に示される射影変換式を画面座標(x, y)、測定物の高さ Z で偏微分した値で示される。この性質を利用して、式-3 で示される誤差分散方程式に式-2 の値を代入し、誤差分散値として採用した。

$$\begin{cases} X = (Z - Z_0) \frac{a_{11}x + a_{12}y - a_{13}c}{a_{31}x + a_{32}y - a_{33}c} + X_0 \\ Y = (Z - Z_0) \frac{a_{21}x + a_{22}y - a_{23}c}{a_{31}x + a_{32}y - a_{33}c} + Y_0 \end{cases} \quad (\text{式 -2})$$

X, Y, Z : 測定物の地上座標 x, y : 測定物の画像座標

X_0, Y_0, Z_0 : カメラの地上座標 c : カメラの焦点距離

a_{ij} : カメラの回転要素 (詳細は省略)

$$\sigma^2 = \left(\frac{\partial X}{\partial x} \sigma_x \right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial y} \sigma_y \right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial Z} \sigma_z \right)^2 \quad (\text{式 -3})$$

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$: 各要素の標準偏差

*キーワードズ、交通安全、交通量計測、ITS

**学生員、千葉工業大学大学院土木工学専攻

(千葉県習志野市津田沼 2-1 7-1

TEL047-478-0444, FAX478-0474)

***正員、工博、千葉工業大学土木工学科

(千葉県習志野市津田沼 2-1 7-1

TEL047-478-0444, FAX478-0474)

(4) 車両高さ補正

観測値は射影変換の過程で式-4 で表されるように車両の高さによる誤差の影響を受けるのでこれを補正する。

$$\begin{cases} h(X_k) = x_k - \Delta x_k \\ \Delta x_i = \frac{h}{H}(x_0 - x_k) \end{cases} \quad (\text{式 - 4})$$

Δx_i : 座標のズレ x_k : 車両の座標

H : カメラの設置高度 x_0 : カメラの座標

(5) 車両軌跡の接続

複数ビデオカメラで得られた同一車両の車両軌跡を抜き出し、単純に接続した場合、車両軌跡には較差が生ずる。この較差を最小二乗原理により平滑化し、連続的な車両軌跡として接続する。図-3 に車両軌跡接続の概念を示す。

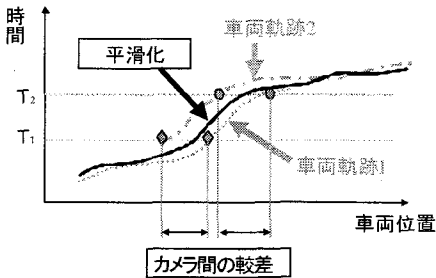


図-3 車両軌跡接続の概念

平滑化はカルマンスムージングアルゴリズムを用いて行う。離散時間カルマンスムーザーは式-5 のような状態方程式と、式-6 のような観測方程式とで表されるシステムを対象としており、状態量を最小二乗推定により逐次更新しながら平滑化する。

$$X(k+1) = F \cdot X(k) + w \quad (\text{式 - 5})$$

$$Y(k) = h(X_k) + v(k) \quad (\text{式 - 6})$$

X : 状態ベクトル (真値) Y : 観測ベクトル (観測値)

F : 状態量の係数行列

$h(X_k)$: 観測値更新の係数 (時間的に変動)

w, v : 誤差分散行列 k : 時間

式-5, 式-6 で表されるシステムにおいて、状態ベクトルは式-7 のような運動方程式を採用しており、各諸量間の物理的相互関係を状態推定に用いている。なお、3 次項以上は無視した。

$$\begin{cases} x(k+1) = x(k) + \Delta t \cdot v(k) + \Delta t^2 \cdot a(k) / 2 \\ v(k+1) = v(k) + \Delta t \cdot a(k) + \Delta t^2 \cdot p(k) / 2 \\ a(k+1) = a(k) + \Delta t \cdot p(k) + w(k) \\ p(k+1) = p(k) + u(k) \\ h(k+1) = h(k) \end{cases} \quad (\text{式 - 7})$$

x : 位置座標 v : 速度 a : 加速度 p : 加加速度

h : 車両の高さ k : 時間 Δt : 微小時間

w, u : 時間変動誤差

3. システム一連の流れ

- ① デジタルテープ (DVCAM 等) からキャプチャー (PC に AVI ファイルとして取り込む) する。
- ② ①で取り込んだ AVI ファイルを JPEG 形式の静止画に変換する。
- ③ ②で作成された静止画を 1 フレーム (1/30 秒) ごとにトラックポイント (画面座標を評定するアプリケーション) で画面座標を評定する。
- ④ ③で出力された画面座標の車両軌跡データを、BM データを基に射影変換 (画面座標を地上座標に変換) する。
- ⑤ ④で出力された地上座標の軌跡データについて、車両の高さ補正を行う。
- ⑥ ⑤で補正された軌跡データを誤差分散消去、軌跡接続の為に平滑化し出力された軌跡から走行車両挙動観測に必要な微視的情報 (速度、加速度等) を算出する。

4. 実際の交通流への適用 2)

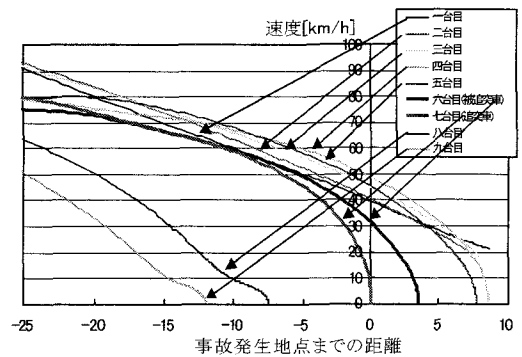


図-4 事故発生ケースの速度の空間変動

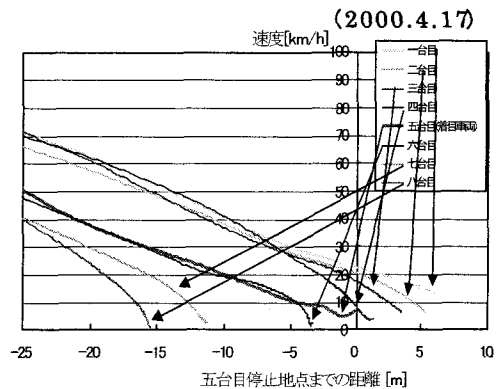


図-5 事故非発生ケースの速度の空間変動

(1999. 2. 27)

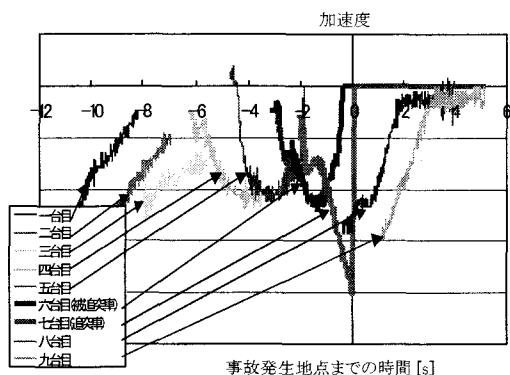


図-6 事故発生ケースの加速度の時間変動
(2000. 4. 17)

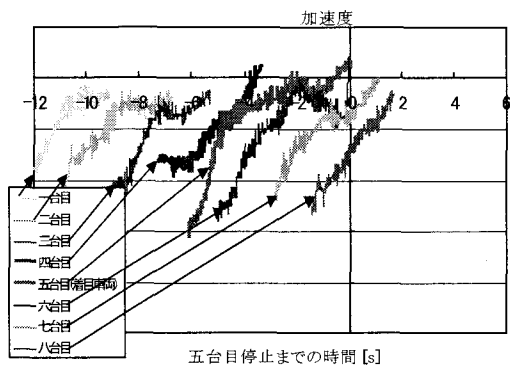


図-7 事故非発生ケースの加速度の時間変動
(1999. 2. 27)

首都高速道路 4 号上り線の赤坂トンネル入口付近（追い越し車線）において、2000 年 4 月 17 日に発生した追突事故について CCTV 画像を用いて分析を行った。対象は追突事故を起こした追突車両、被追突車両に加えて、加速度、位置、前車との車頭距離等の変動を分析した。加速度については、さらに精度検証の必要があるので相対的変動のみを示した。また、その事故発生時の状況に類似した状況、数箇所のデータも加えて分析を行った。事故状況類似データ数箇所ともほぼ同じ挙動を示したので今回は、その中でも最も事故状況に類似した状況であった 1999 年 2 月 27 日の分析内容と比較、分析をした。

図-4 から渋滞末尾に近いトンネル入り口付近での追突車（7 台目）の先行車の速度が約 30km/h と高めであるのに対し、図-5 では着目車両（5 台目）の先行車両の速度はやや低い。つまり渋滞末尾の認識遅れが事故の原因であると推測できる。

図-6 の 1 台目、2 台目、3 台目はトンネルに接近するにつれて減速の度合いが小さくなっており、余

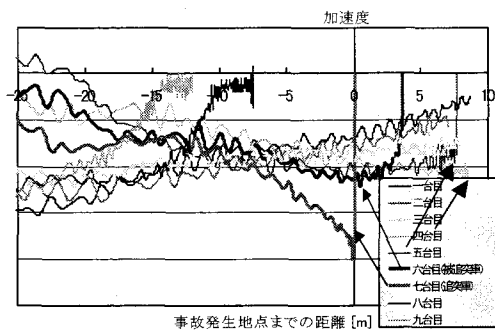


図-8 事故発生ケースの加速度の空間変動
(2000. 4. 17)

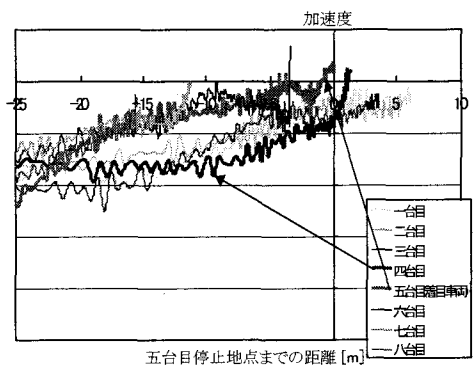


図-9 事故非発生ケースの加速度の空間変動
(1999. 2. 27)

裕を持って減速していることがわかる。それに対し事故車両を含む 4 台目以降の車両は、トンネルに接近するにつれて減速の度合いが増大している。特に追突車（7 台目）はかなりの急減速である。図-7 と比較するとさらに減速の傾向の違いがよくわかる。

図-8 から先ほど同様、4 台目を境に追突車（7 台目）までの減速の挙動が徐々に右下がりに変化しているのがわかる。一方、図-9 から渋滞末尾の伸びてきたトンネル入口に向かって、余裕のある減速であることがわかる。

図-10 から事故対象車である 6 台目、7 台目の車間距離が他の車両間の車間距離と比べて狭いことがわかる。また図-11 に比べ速度が高く事故が起こりやすい状況だと推測できる。

これまでの比較により、事故発生時のデータから事故車両を含む計 4 台の車両の挙動がその他の車両の挙動と異なっている事が分かる。また、その挙動は事故非発生時のデータとも異なっている。そこでより詳細に挙動の比較をするため、渋滞末尾がトン

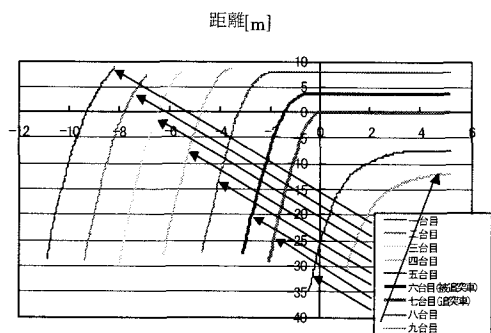


図-10 事故発生ケースのタイムスペース図
(2000. 4. 17)

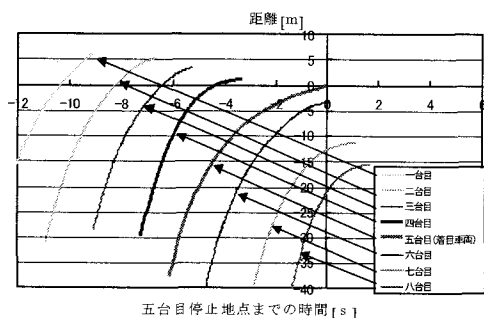


図-11 事故非発生ケースのタイムスペース図
(1999. 2. 27)

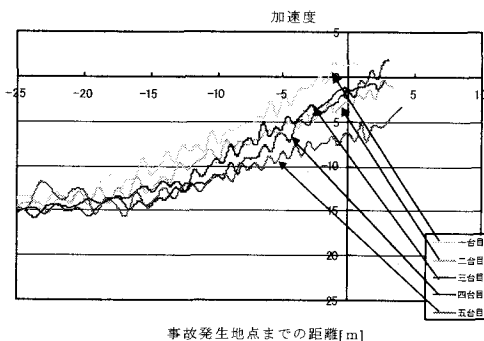


図-12 非渋滞ケースの加速度の空間変動

ネル入口まで延びてきていない状態である、非渋滞時の走行挙動も加えて比較を行う。ここでは挙動の違いが分かりやすい、加速度の空間変動のグラフ 図-8 図-9 を比較対象とする。

図-12 から、トンネル入口に近づくにつれて各車両とも減速の度合いが小さくなっており、余裕のある減速をしている事がわかる。この挙動は 図-8 の事故車両を含む 4 台の車を除いた車両と 図-9 の全車

両で見られる傾向と同じ挙動を示している。つまり事故車両を含む計 4 台の車両の挙動がトンネル入口に向かう車両の挙動として通常と異なると考察できる。

今回、追突車両 (7 台目) は分析の結果から、トンネル入り口付近まで延びてきていた渋滞末尾の発見が遅れた 4 台目からの余裕のない減速の煽りを受けたと推測される。つまり事故発生要因の一つに、先行車の減速等の挙動が大いに関係していると推定できる。また被追突車 (6 台目) と追突車 (7 台目) の車間距離の小ささも要因の 1 つに挙げられる。全体的に速度が高かった状況にもかかわらず、幾つか比較した事故状況類似データと併せてもみても特に小さい車間距離であった。加えて、全体的に各車両の減速が先行車両の減速と類似した傾向を示すことから、減速開始時期が先行車に依存していることがうかがえた。

5. 今後の課題

今回、解析に用いた画像は U-1 カメラのみであったが、より正確に事故発生要因を特定するには、それでは不十分であり、今後 U-1 カメラ前後で複数の CCTV 画像を用いて連続した車両軌跡を分析する予定である。それと同時に、本研究では加速度の検証が未了であるので、今後車両の走行実験を行い加速度の値を確認・補正する必要がある。また、今後事故サンプルを増やし事故状況データ同士の比較も必要である。

観測システムの技術的問題としては、射影変換過程ではベンチマーク範囲外における精度向上の為にレンズの歪みなどに対応した方式の導入が不可欠である。平滑化過程でもさらに観測誤差を除去する為の誤差分散の微調整についても検証していく必要がある。

本研究の最終目標は「複数のビデオカメラによる車両走行軌跡観測システム」を構築しアプリケーション化することである。その事を念頭に置き、今年度開発した同一車両照合技術との連携を高め、将来的には観測から出力までを一体化し、自動化されたシステムを構築していくことを考えて解析、検証をする必要がある。

参考文献

- 1) 中村 良太: “複数のビデオカメラによる車両軌跡の連続観測システムの開発” 千葉工業大学大学院修士論文, 1999
- 2) 吉田 創: “CCTV 画像による事故発生過程の分析” 千葉工業大学卒業論文, 2000