画像処理技術を応用した新しい交通流監視システム

川上　一美（かわかみ　ひとみ）　　榊原　行良（さかきばら　ゆきよし）　　植草　秀明（うえくさ　ひであき）

1　まえがき

道路交通は社会経済の発展に大きく貢献し，今日の社会システムのなかで重要な役割を果たしている。しかし，道路交通事故による死亡者数は日本全国で毎年１万人を超えたまま推移している。一方，都市部を中心に交通渋滞が拡大あるいは常態化しており，道路の安全性や輸送効率の低下が大きな問題となっているのが現状である。こうした問題を解決するためには，道路そのものの整備はもとより，道路状況の的確な把握，効率的な交通流管理，事故発生時の早急な対応，二次災害の防止，などを図らなければならない。

この目的のためにはまず道路状況の連続監視が必要であり，具体的には道路の主要な箇所にITV（Industrial Television）カメラ（以下，カメラと略す）を設置し，24時間体制で監視を行っている。しかし，人間がすべての時間にわたってITV画像を監視するわけにはいかず，監視業務を代替する技術開発が望まれていた。富士電機ではこうした状況を踏まえて，画像処理による交通流監視システムの開発を行ったので以下に概要を紹介する。

2　交通流監視システム

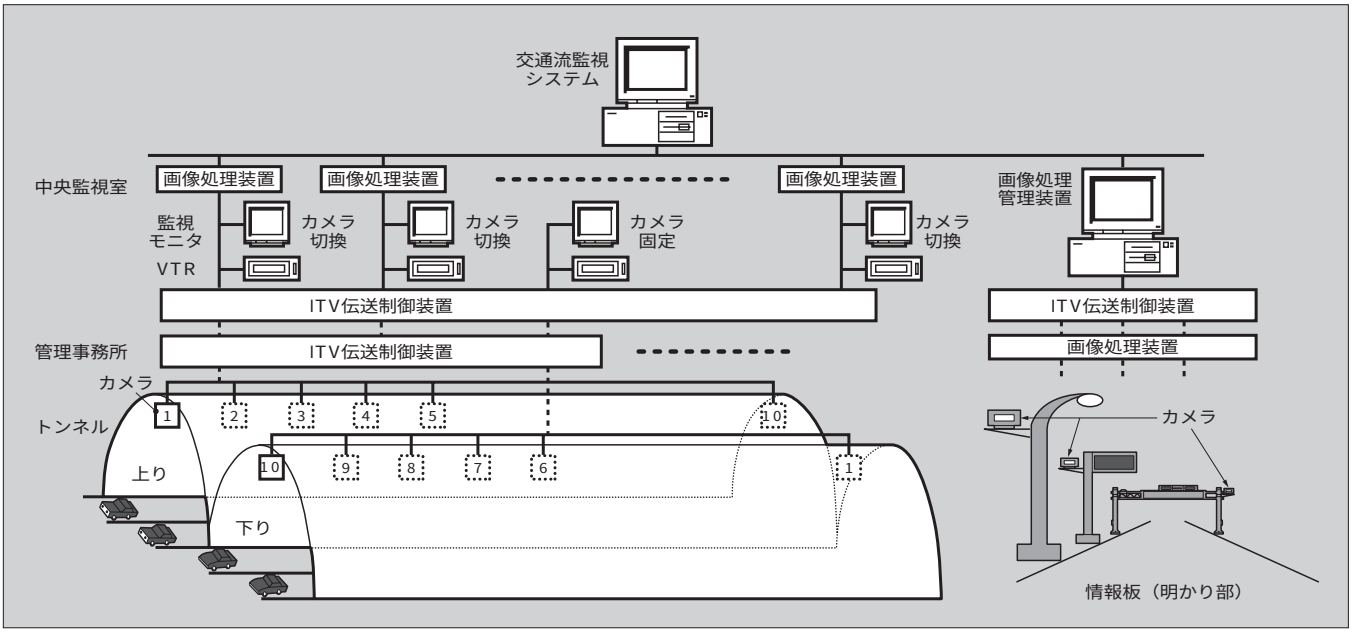
道路のなかの重要な交通流監視場所としては，例えば防災等級の高い高速道路のトンネル，一部のインタチェンジや合流地点，一般道路の主要な交差点などを挙げることができる。これらの場所にはカメラが設置されている。ここでは，トンネル内や明かり部（トンネル以外の道路）などに適用されている交通流監視システムの例を説明する。

2.1　システムの概要

図１は，トンネルおよび明かり部に本システムを適用する場合のシステム構成を示す。

トンネル内に，ある間隔で設置されているカメラの映像

図１　システム構成



川上　一美

社会システム分野における道路関連事業のシステムとりまとめ業務に従事。現在，システム事業本部社会システム事業部技術第二部課長。

榊原　行良

社会システム分野の情報制御エンジニアリング業務に従事。現在，システム事業本部社会システム事業部技術第三部課長。

植草　秀明

画像処理応用システムの開発に従事。現在，システム本部第一システム統括部社会システム部。

を，中央監視室の監視モニタで監視している。本システムは従来の設備をそのまま使用し，画像処理装置を付加したものであり，監視モニタの画像を直接取り込むことにより導入コストを低く抑えることができる。画像処理装置には，カメラの切換時間（約３秒間）内で画像処理を行う切換監視型画像処理装置を用いている。

これに対して明かり部では，情報板，表示板などにカメラを付加し，このカメラからの映像を用いて画像処理を行う常時監視型画像処理装置の適用を試みた。ここでは日照変化や気象変化に対しても十分な精度を保つことが必要となる。

2.2　画像処理機能

(1)　切換監視型画像処理機能

カメラの切換映像に対して移動体を抽出・追跡し，速度と方向を検出して台数・速度計測，異常走行検知を行う。また，落下物，駐停車車両は，画像の累積処理により静止領域を抽出し検知する。

(2)　常時監視型画像処理機能

カメラからの入力画像に対して，解像度を段階的に減少させたピラミッド状の画像から処理に応じた必要最低限の解像度の画像を用いて，車種ごとの台数，平均速度，占有率，車頭間隔などの交通流データを車線ごとに計測する。本設備では，環境変動に対して車両の影の除去，画面の揺れ除去，構造物の変化を吸収する背景更新処理や日照変化を自動的に検知して昼夜モードを切り換える機能がある。

2.3　交通流状態表示機能

図２にトンネルに適用した場合の交通流監視システムに表示される状態表示画面例を示す。画面には現在監視しているトンネル番号とカメラ番号，異常時の検知結果，台数と速度の計測結果などが表示される。監視員は異常が検出された場合に固定の監視モニタによって詳細な状況を把握することができる。

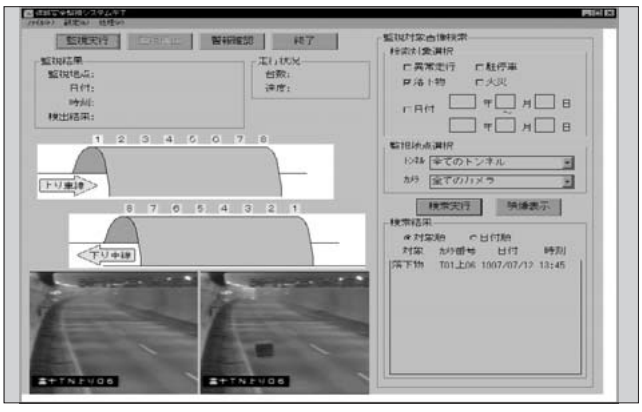
2.4　画像記録機能

異常が発生した場合は対象画像を記録する必要があるため，本システムでは画像を圧縮してサイクリックにハードディスクに書き込み，事後に検索することができるようになっている。同時に記録間隔の設定も可能である。

2.5　画像検索機能

ハードディスクに記録された画像を発生時刻順，事象分類順に表示することができる。**図２**の左下の映像は落下物（イメージ図）を検出したときの保存画像を検索した例である。左が正常時，右が異常発生時の例である。

図２　交通流監視画面例



3　交通流監視方式

二つの画像処理方式について以下に述べる。

3.1　切換監視型画像処理方式

(1)　車両台数・速度計測

車両台数の検出は，まず連続するフレーム間の時間差分画像を作成し，移動領域を抽出して２値画像に変換後，近接する変化領域をまとめる。次に各領域の形状の特徴量を求めて車両形状モデルとの類似度を判定する。さらに各領域の移動量を算出し速度計測の演算を行うものである。このときトンネルの曲率や遠近の換算も同時に行っている。車両台数は移動体の数で判定し，速度は各移動体の平均速度で算出している。

(2)　異常走行検知

車両の単位時間あたりの移動方向の変化を演算して異常走行を検出する方式である。センターラインをまたいだ走行車線の変更を抽出できることが特徴である。**図３**(a)に車線変更のない正常走行時，**図３**(b)に異常走行時の検知映像例を示す。手前のトラックが短時間に移動方向が変化しているのが捕らえられている。

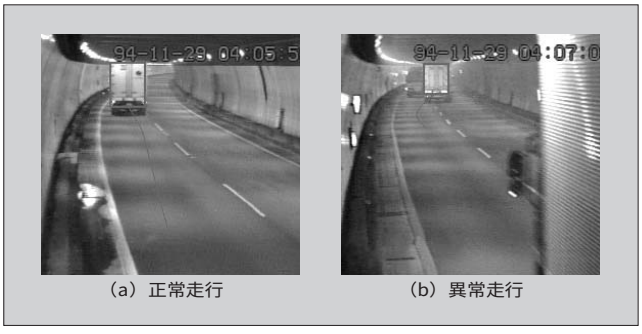
(3)　落下物・停車車両検知

各フレームの積分画像を作成することによって，静止している領域のみを抽出することができる。これと基準画像との差分画像を作成し，静止領域の大きさ・形状を判定して落下物または停車車両を検出する。静止領域の大きさも車両と同様，画面上の位置からその大きさを実際のトンネル内のサイズに換算して判定を行う。

3.2　常時監視型画像処理方式

(1)　車両台数・速度計測

図３　異常走行検知例



（a）正常走行　　（b）異常走行

車両台数の検出は，背景と入力画像との輝度差やエッジの差分により抽出した変化領域を車線に沿って一次元投影したデータから求めた長さと，車長モデルを対比し判定を行う方式としている。車両速度は33 ms 間隔で車両の追跡を行い，その移動量から演算を行っている。

(2)　占有率・車頭間隔

車両ごとの追跡から求められた座標上の位置と移動速度を基に，占有率・車頭間隔を演算している。占有率とは，車線の監視領域内に計測領域を設定し，この領域に車が存在する時間と計測時間の比である。車頭間隔は，設定した計測領域を通過する車両と次の車両との時間間隔から求めている。

4　高速道路への適用例

日本道路公団湯沢インタチェンジの流出情報板にカメラを設置し，常時監視型画像処理方式による明かり部での車両台数と速度計測に関する実証試験を行ったので（期間は２週間）以下にその説明をする。

4.1　カメラの設置状況

図4(a)にカメラの設置状況を示す。カメラの高さは道路面から 7.5 m，角度は水平方向15 °，垂直方向 16.6 °とし 150 m 程度の道路範囲を視野内に収めるようレンズ調整した。このカメラからの映像例を**図4**(b)に示す。

4.2　画像処理調整

図5 に画像処理調整画面例を示す。画像上で，走行車線と追越車線におのおのの車線監視領域として図中の S1，S3 を設定する。この領域内で車両の追跡を行う。設定した監視領域は，走行車線と追越車線ともに約 100 m である。次に車両台数計測および車両速度計測領域として図中の三角形 Z1 ～ Z6 を設定する。このとき走行車線側の大型車

図４　カメラの設置状況と映像

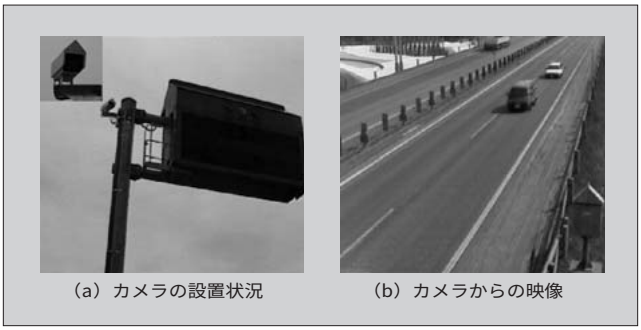


図５　画像処理調整画面例

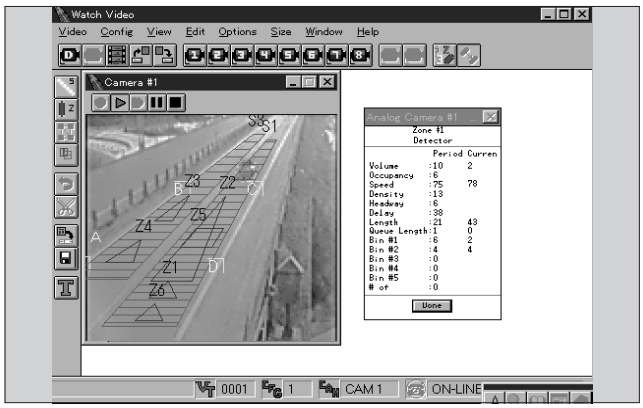


図６　交通量計測結果

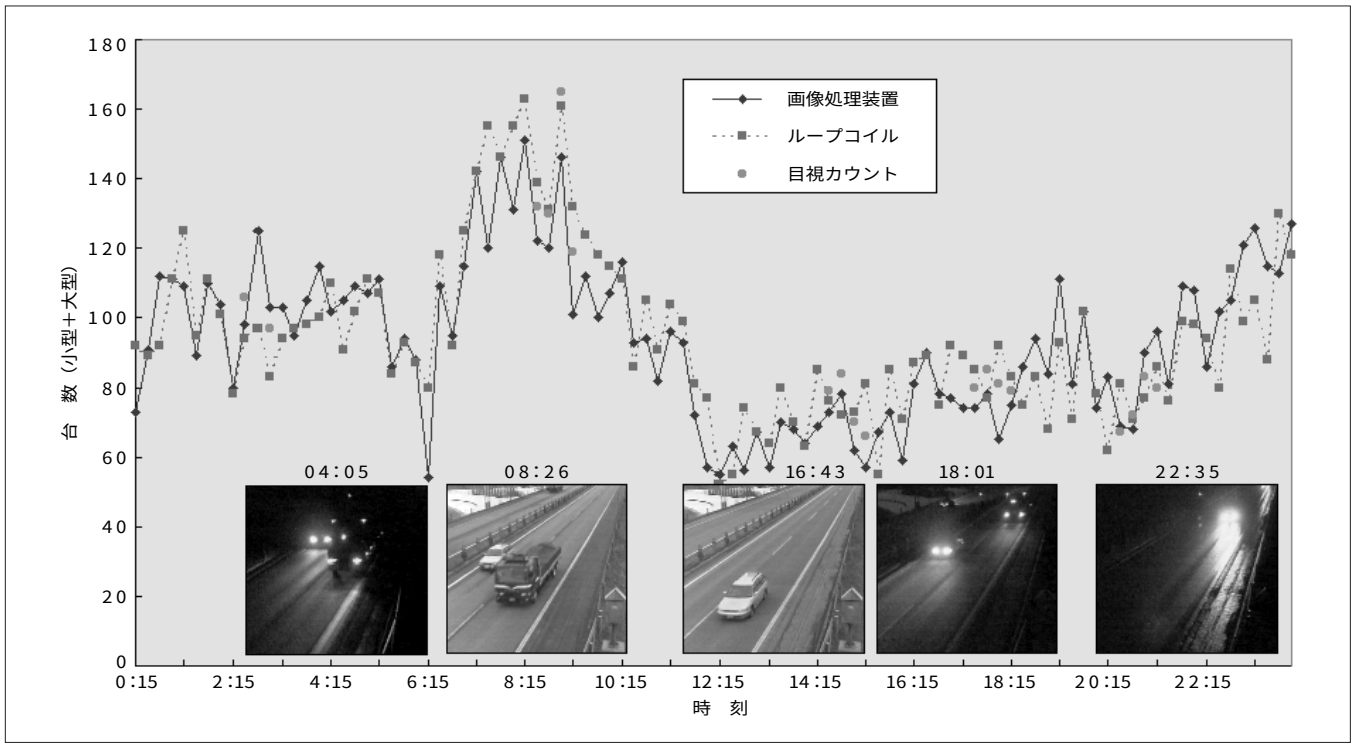


表１　車両台数計測精度

環境条件		平均走行台数（台/h）	認識率（%）（15分平均値）	標準偏差（%）	備　考
晴れ	昼　間	433	98.0	2.4	
	薄　暮 夜明け	254	97.8	4.4	
	夜　間	298	99.2	2.7	
曇り	昼　間	354	98.8	2.2	
	薄　暮 夜明け	217	97.0	4.2	
	夜　間	415	97.1	4.4	
雨	昼　間	336	97.8	3.2	路面の状態：雨水でぬれている状態
	薄　暮 夜明け	232	98.4	9.2	
	夜　間	251	90.3	6.7	
雪（降雪）	昼　間	352	99.3	1.9	環境：強風 路面の状態：シャーベット状態 交通量：渋滞（規制）
	薄　暮 夜明け	538	81.2	12.6	
	夜　間	480	81.3	12.5	

〈注〉雪の薄暮・夜明けは短時間しか計測できなかったため，45分間の全データの集計値となっているが，他のデータは，すべて1時間以上の全データを集計したものである。

を追越車線側でダブルカウントしないように，走行車線側のZ2，Z5で排他をとっている。なお，速度計測には画像上の位置と実際の距離との数値変換が必要であり，この変換は道路面からカメラまでの高さとカメラからの図中A～Dの実測距離を基に行っている。

4.3　実証試験結果

図６に交通量計測結果を示す。画像処理装置との精度比較のため，ループコイル形の交通量計測装置の出力と人間の目視によるカウントを用いた。ただし，ループコイル形の交通量計測装置は，カメラの設置場所の20 km手前に設置されているため，車の平均速度を80 km/hと仮定してデータを補正している。また，ループコイル形の交通量計測装置との比較で誤差の多い時間帯については目視によるカウントを行った。計測結果は，曇りのち雨の日に行った結果であるが，ループコイル形の交通量計測装置と比較して実用上問題ないと考える。

表１に各環境条件に対する台数計測精度（時間あたりの車両走行台数の認識率とその誤差率のばらつきである標準偏差）を示す。環境条件が晴れと曇りの場合は，認識率97%以上，標準偏差4.5 %以内であり十分な精度である。雨と雪（降雪）の場合は，昼間については十分な精度が得られたが，薄暮・夜明け，夜間については標準偏差がやや大きい。これは車のヘッドライトがシャーベット状態の路面に反射することによる影響である。この点はカメラと路面の角度を大きくすることで改善できるが，今回はできるだけ遠方（広範囲）を監視対象にして行ったものである。追越車線側については，走行車線側を走行する車両の影に隠れた場合に誤認識をしたが，これについては，カメラの設置位置を変えることで走行車線側と同等の精度が得られると考える。

表２　速度計測精度

環境条件	照合台数（台）	速度誤差の平均値（%）	標準偏差（%）
昼　間	10	−2.3	2.2
薄　暮 夜明け	10	−2.2	8.9
夜　間	10	−3.0	9.1

次に速度計測精度を**表２**に示す。100 mの速度計測区間を設け，この区間を車両が通過するときの速度を求めて，その誤差率とそのばらつきである標準偏差を評価した。ほぼ10%以内のばらつきである。

5　一般道路への適用例

情報板設置による効果の検証を行うため，国道246号線においてカメラおよび常時監視型画像処理装置を仮設置し，情報板設置前後の車両速度の計測を行った。車両1台ごとに監視範囲内の車両の移動位置と速度を求め，移動地点ごとの速度変化を解析し，**表１**，**表２**と類似の結果が得られた。

6　あとがき

道路設備では屋外にカメラが設置され，日照や気象，季節などによる画像上の変化が大きい。また，トンネルにおいても出入口付近の照明は幻惑を防止するために外部との照度が調整され状態が一定でない。このような条件のなかで画像処理による監視を行う場合，誤報防止技術が重要になる。今回の画像処理アルゴリズムは動態追跡技術を基本にしており，ロバスト性を保つように工夫している。今後車両や落下物などの位置情報を計測し，三次元モデルを当てはめ車種，立体的物体を判定することで精度を高めていく所存である。

システムの実証にあたり，日本道路公団試験研究所交通・環境研究室主任羽山章殿，神奈川県警察本部交通管制課技幹新倉聡殿ならびに伊藤忠テクノサイエンス(株)ヒューマンテクノシステム営業部長補佐藤博義殿から多大なご指導，ご協力をいただいたことに深く謝意を表する。

参考文献

(1)　岩田武夫：交通流計測で用いられる画像処理技術，画像ラボ，Vol.9，No.3（1998）
(2)　井藤義行ほか：画像処理を用いたトンネル内交通流監視システムの研究，ドーシス・レビュー（SUMMER 1996）
(3)　佐藤元久ほか：画像処理によるトンネル内異常走行の自動検出システムの開発，日本道路公団試験研究所報告，Vol.32（1995）

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。