

# 時空間分割合成法による動画画像処理

山本正信

(電子技術総合研究所)

1. はじめに 本稿は画像構造が変動する3次元運動系を対象とした動画画像処理の新しい手法について述べたものである。動画対象は、街頭で人や車が左右に行交う状況である。この動画画像から、人、車など物体の追跡や物体相互の運動解釈を行おう。処理の困難さは、系が3次元的であり、物体同士の間接的関係、新登場、消滅、再登場や背景が変動する場合があり得ることである。

よく知られている動画画像処理の手法は、時間連続した2枚の画像間の差異を利用する方法である。物体、背景共に濃淡値が一様で、物体が背景より暗いならば、背景であるところには物体が移動して来た場合やその逆の場合には2枚の画像の差分画像を使えば、移動物体の輪郭と移動量、移動方向がわかる。しかし、物体同士が部分的に重なり合っている場合や、複雑な屋外シーンでは、差分画像は、対象物の模様や動く背景との相対的変動に起因することになり、必ずしも移動体の輪郭、絶対的移動量や方向に対応することは限らない。小領域間の類似検定を行って、画像の変動を検出した例があるが、この手法は、小領域を用いているため精度に問題がある。重なり合いの問題は、Yachidaらの研究で扱われているが、重なり合う前に各物体の全輪郭モデルが得られているわけではない。

本方式の概要を次に述べる。複数枚の時系列画像を順番に積み重ねる一冊の本のようなものを構成する。これは進行方向と時間軸とする直方体である。この直方体を動画空間とよぶ。物体が運動すれば、その像上の点は動画空間内に軌跡を描く、この軌跡を流跡

とよぶ。街頭の通行状況の様に、移動が水平方向の場合、動画空間の水平軸、時間軸方向を含む断面画像には、流跡が楕円模様となり、記されている。断面画像から抽出した流跡を区別することにより、対応する物体の追跡が可能となる。また流跡同士の間接的関係を調べることにより、対応する物体同士の相互運動関係を知ることが出来る。これらの事実を利用して、重なり合い、新登場、消滅、再登場の処理が行われる。

## 2. 運動の画像化

2.1 運動系のモデル 街頭での通行状況とその撮像系を図2.1の様にモデル化する。カメラの位置、光軸は固定

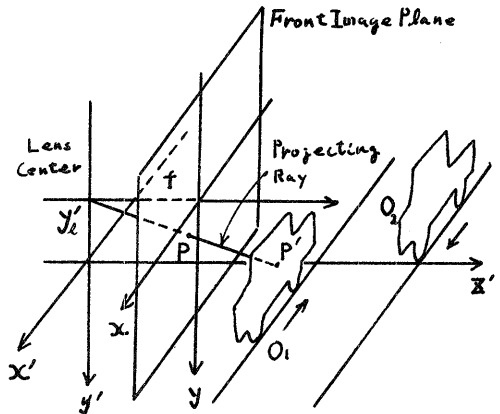


図2.1 運動系撮像系のモデル

し、光軸方向は水平とする。運動系は、静止背景とその手前を運動するいくつかの運動物体(静止物体も含む)から構成される。運動物体の像は凸多角領域である。運動は、水平面上で光軸に垂直方向の等速運動とし、位置による物体像の変化はないものとする。各運動物体のカメラからの距離は全て異なるものとし、人間の手足の様に対象物の部分的移動は無視する。可視領域複数枚の凸多角が左右に運動している系

7. 街頭通行状況をモデル化する。

了了一定時間毎に撮像されたサンプル画像をフレームとよび、順番に積み重ね、丁度一冊の本の様相直方体を構成する。この奥行が時間軸である直方体を動画像空間とよぶ。物体上の点  $P' \sim (x', y', z')$  の各フレーム上の像の位置  $P \sim (x, y)$  は、物体の動きについて動画像空間内に軌跡を描く。この軌跡を流跡とよぶ。于て動画像空間中の任意の点を通過する流跡が存在する。点  $P'$  と  $P$  は、次式の関係を満たす。

$$x = f \cdot x' / z' \quad (1)$$

$$y = f \cdot (y' - y_e) / z' \quad (2)$$

但し、 $f$  はカメラの焦点距離、 $y_e$  はカメラの高さとする。

点  $P'$  が  $x$  軸方向に速度  $v$  で移動すれば、時刻  $t$  における  $P$  の位置は次式の様に求まる。

$$x = f \cdot (vt + x_0') / z_0' \quad (3)$$

$$y = f \cdot (y_0' - y_e) / z_0' \quad (4)$$

但し点  $P'$  の初期位置を  $(x_0', y_0', z_0')$  とする。これが動画像空間中の流跡の運動方程式である。(4)式で表される平面は、動画像空間中の水平断面となる。水平断面像は、動画像空間中の任意の高さで定義出来、その横軸座標が位置、縦軸座標が時刻である。断面画像上での像点  $P$  の軌跡は、次式となる。

$$x = vt + x_0 \quad (5)$$

但し、 $x_0 = f \cdot x_0' / z_0'$ 、 $x_0 = f \cdot x_0' / z_0'$

これが断面画像上での流跡の運動方程式である。流跡は直線でありその傾きが、移動速度となり、静止背景に対応する流跡は、垂直線である。于て断面画像上の任意の点に於て、その点を通過する流跡が唯一本存在する。

図2.1の様に車が左右に行交する場合の動画像空間を図2.2、その水平断面像を図2.3に示す。

次に流跡の性質を若干挙げる。

性質1 任意の流跡は、ある物体上のある点に対応しその点に限る。

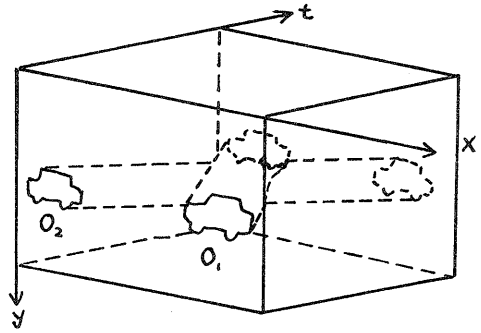


図2.2 動画像空間

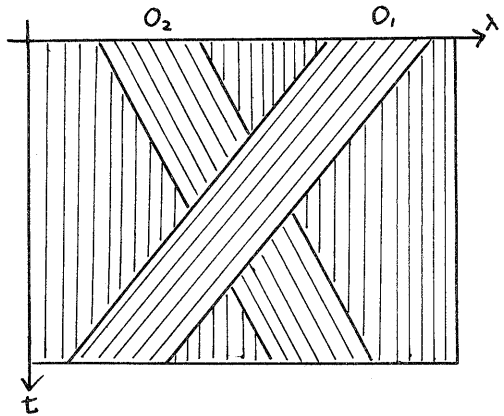


図2.3 断面画像

性質2 同一物体上の相異なる点に対応する流跡は互に平行である。

性質3 水平運動する系では、任意の流跡は動画像空間の水平断面画像の一つに記され一つに限る。

性質4 相異なる流跡は、同一点を共有しない。

2.2 流跡の分類 直線流跡は、その始点、終点、傾きによ、了完全に特徴付けられる。ここでは、流跡をその始点と終点の位置をすかかりに、対応する物体の挙動と関係付けた分類を行う。断面画像内には、一定時間、一定視野内の物体の挙動が記されている。断面画像の周辺領域を図2.4の様に定義する。流跡は、その始点、終点を微小時間此延長したとき、延長点か位置する領域により9つの型に分類される。表2.1は、その分類表であり、図2.5

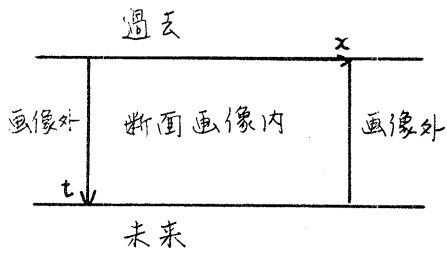


図 2.4 断面画像周辺

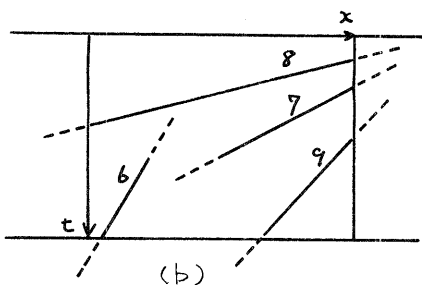
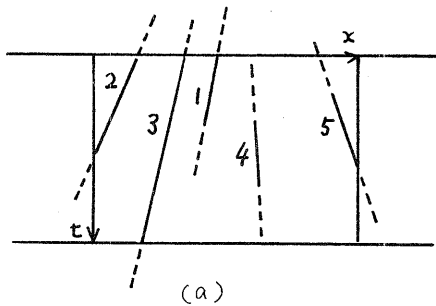


図 2.5 流跡のタイプ

1) 各々の流跡の型を描いておいた。実線は流跡、点線はその延長線である。

型	延長 始点位置	延長 終点位置	対応物体の挙動
1	過去	画面内	画面内に存在その後陰に隠れる。
2	過去	画面外	画面内に存在その後画面から外れる。
3	過去	未来	画面内に存在その後画面に残る。
4	画面内	画面内	陰から出てその後陰に隠れる。
5	画面内	画面外	陰から出てその後画面から外れる。
6	画面内	未来	陰から出てその後画面内に残る。
7	画面外	画面内	画面内に登場その後陰に隠れる。
8	画面外	画面外	画面内に登場その後画面から外れる。
9	画面外	未来	画面内に登場その後画面内に残る。

表 2.1 流跡の分類

2.3 流跡同士の関係付け・途中で、消滅や発生を起すタイプの流跡が複数存在するとき、そのうちの幾本が同一物体の同一点に対応する場合がある。それには、次の性質を満すことが必要十分である。

性質 5 流跡  $l_1, l_2$  が同一直線上に存在するならば、 $l_1, l_2$  は同一物体の同一点に対応する流跡である。

この性質を満す 2 つの流跡は、同一点関係にあるという。

性質 6 同一点関係は同値関係である。

断面画像上の全ての流跡を同一点関係により類別するとき、同値類を同一点流跡類とよぶ。

性質 7 同一点流跡類は、ある物体上のある点に一対一に対応する。

2.4 流域 物体に対応する流跡の断面画像上に占める領域を流域とよぶ。断面画像は各物体に対応する流域に分割される。物体が他物体に隠されなければ、流域は、図 2.3 の車  $O_1$  に対する流域の様に平行四辺形となる。他物体に部分的に隠される場合、流域は他物体の流跡により分割される。平行四辺形は凸多角形の一様であるが、凸多角形が直線により分割を受けるとき、結果はやはり凸多角形となる。すなわち、流域は凸多角形の集合となる。

この凸多角形中の流跡は、同じ物体上の点に対応しているのだから、同じ傾きを持つ。そこでこの凸多角形を等傾凸多角形とよぶ。

性質 8 断面画像は、等傾凸多角形の集合に一意に分割される。この分割を  $\Delta$  とする。

流跡の傾きによる断面画像の

分割を考えよ。同じ傾きを持つ

流跡の集まりを等傾流跡群とよ

ぶ。その断面画像上に対応する

領域を等傾流跡領域とよぶ。等

傾流跡領域はいくつかの閉領域

から成り、その閉領域を等傾閉領域とよぶ。

性質9 断面画像は等傾閉領域の集合に一意に分割される。この分割を $\Omega$ とする。

性質10 等傾凸多角形は、等傾閉領域に一致するが、含まれる。

等傾閉領域がいくつかの等傾凸多角形から構成されているとき、各等傾凸多角形に対応する物体同士は、見かけ上重なり合いながら等速度で移動する。したがって、7次の仮定が満たれるとき性質11が成立する。

仮定 物体同士が見かけ上重なり合いながら等速度で移動することから、

性質11 上記の仮定が満たれるとき、等傾閉領域と等傾凸多角形は一致する。すなわち、分割 $\Delta$ と $\Omega$ は同じ分割である。

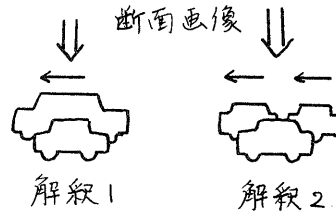
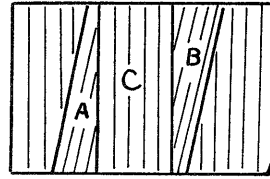
この仮定は、静止背景と静止物体が共存する場合、満たれるが、それらに対応する流域を断面画像から除いた領域では、性質11が成立しない。以下この仮定が満たれるものとする。

2つの等傾凸多角形があるとき、同一点関係にある流跡は、それぞれ等傾凸多角形内にあるならば、2つの等傾凸多角形を同一物体関係にあるという。同一物体関係にある等傾凸多角形に対応する物体は、同じ物体である。しかし、同一物体関係にない等傾凸多角形に対応する物体は、同じ物体であるとは解釈することも可能である。図26は、その例で2通りの解釈を示している。

性質12 同一物体関係は同値関係である。

性質13 断面画像上の全ての等傾凸多角形の集合を、同一物体関係により類別するとき、その同値類は流域と等しい。すなわち流域に包含される。

3. 動画データの入力。データは実際の街頭通行状況を16mmフィルムに1/2



## 2.6 等傾凸多角形の解釈

毎切断し、専用のアダプタに使用、ドラムに装填される。1フレームは、128点×80点、各点8ビットで入力され、全フレーム数は64フレームである。

図3.1に映画フィルムのコマを示す。図3.2はそれをデジタル化したデジタル画像の例である。

図3.3は、時系列画像の一部を示している。すなわち、図3.4は動画空間の水平断面像(128点×64点、各点8ビット)の例である。

4. 流跡の抽出。断面画像から具体的に流跡を抽出する。

4.1 部分流跡の抽出。1本の流跡上の点は、物体上のある点の像であるので、その濃淡値は均一である。すなわち断面画像の任意の点を通過する流跡が存在し、唯一本に限る。しかし、真黒背景中の真黒運動物体の流跡は、抽出が困難であるように、抽出可能な流跡は限られている。抽出可能な流跡は、対象物体像のエッジ付近など、近傍点とのコントラストが大きい点を通過する流跡であることが多い。

流跡の検出には、エッジ検出オペレータの適用が考えられるが、抽出可能な流跡が密に存在する場合や2種の流跡が近接している場合など、画像が縮柄のテクスチャの様相を呈している部

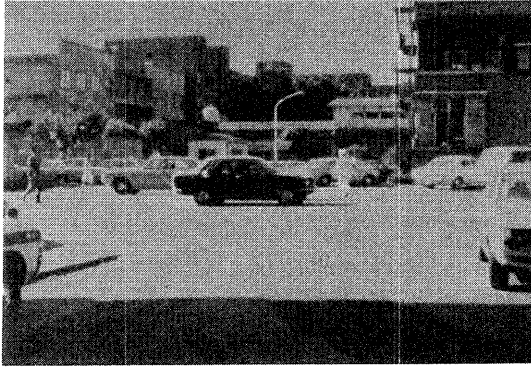


図 3.1 原画像例 54フレーム

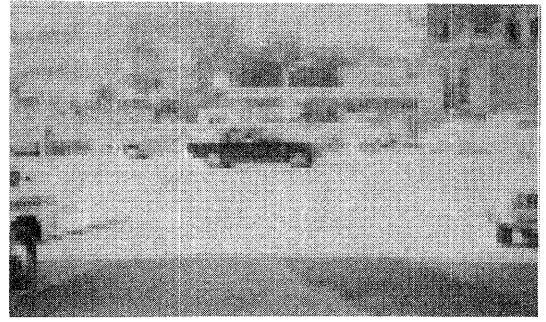
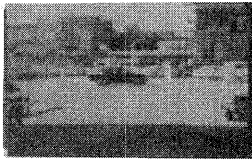
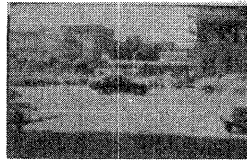


図 3.2 図 3.1 のデジタル画像



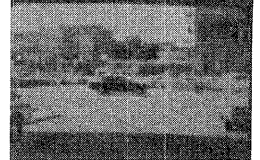
17フレーム



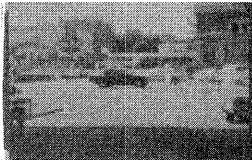
97フレーム



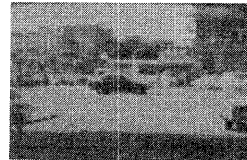
177フレーム



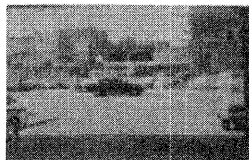
257フレーム



337フレーム



417フレーム

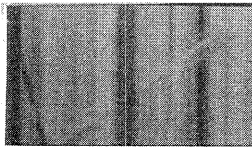


497フレーム

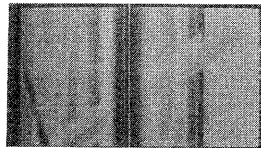


577フレーム

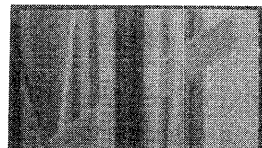
図 3.3 時系列画像



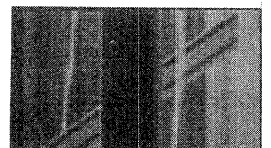
y = 51



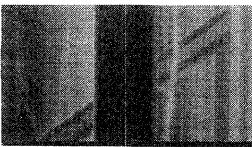
y = 52



y = 53



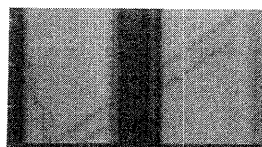
y = 54



y = 55



y = 56



y = 57



y = 58

図 3.4 水平断面画像

分では、従来のエッジ検出オペレータをこのように適用するには、精度的に問題があるであろう。そこで将来地の曲線運動系への拡張を考慮してHough変換はあえて使用しないことにした。

物体像の移動速度を隣接フレーム間で、左右に2画素以内とすれば、断面画像上の点Pを通る流跡は、P点のフレームを始フレームとして4連続フレーム断面内では、図4.1の29種類のデジタル線分の1つになる。このデジタル線分を流跡線素とす。

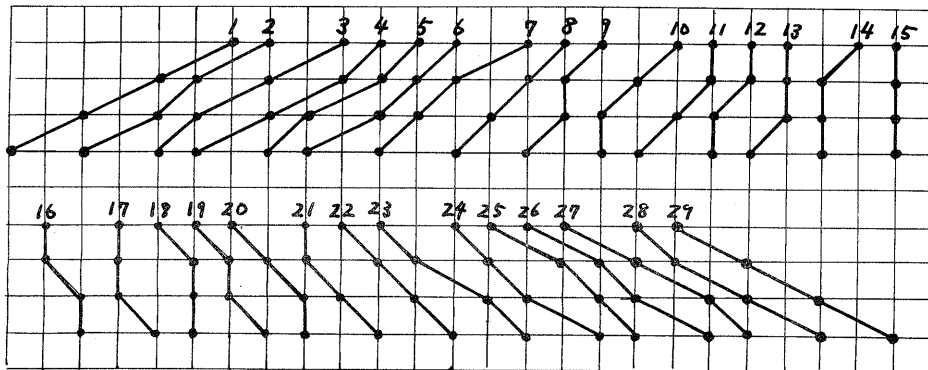


図4.1 流跡線素

流跡線素の節点をフレームの順番に  $P_1$  とするとき、 $P_1$  を始点、 $P_2$  を終点とする。そこで各点の濃淡値を  $f_i$  とす。点列  $\{P_i\}$  の一画素左隣の点列を  $\{g_i\}$ 、濃淡値を  $g_i$ 、右隣の点列を  $\{r_i\}$ 、濃淡値を  $r_i$  とす。部分流跡である流跡線素を抽出する際に、抽出可能かどうか、可能ならば、29種類のどのタイプかを決めなければならない。

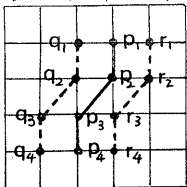


図4.2 流跡抽出

点列  $\{P_i\}$  を  $P$  を始点とする29種類の流跡線素候補のうち右番目の流跡線素とすれば、次の条件を満すとき  $\{P_i\}$  を部分流跡とす。

I.  $\{P_i\}$  の分散と  $0 \leq \sigma \leq \sigma_0$

$$0 \leq \sigma \leq \sigma_0$$

II.  $\text{Max}\{\text{Min}(|f_i - g_i|), \text{Min}(|f_i - r_i|)\} > \text{Wth}$   
 III. 条件 I, II を満す流跡線素は複数個存在するとき、その中で分散が最小の流跡線素を部分流跡とす。

閾値  $\text{Wth}$  はノイズの大きさに依存する。スキヤチの特性よりノイズの大きさは、濃淡値の大きさに比例している。 $\{f_i\}$  の平均値を  $\mu$  とすれば、実験の結果閾値は、

$$\sigma_0 = 0.04872\mu + 1.68$$

$$\text{Wth} = 0.07\mu + 2.5$$

とした。図4.3は、断面画像に本オペレータを適用した結果である。

抽出された流跡線素の始点と終点とを線で結んでいす。

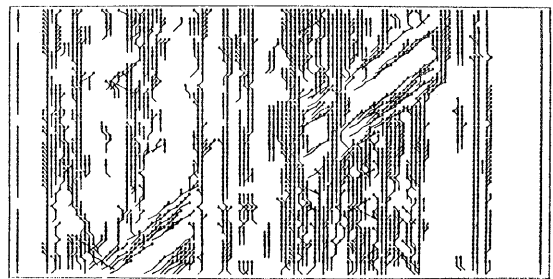


図4.3 断面画像 ( $y=52$ ) の流跡抽出

4.2 流跡の簡素化。前節で得られた流跡は、運動系の特性から導かれる流跡の性質と矛盾するものも含まれている。本節では、流跡の性質に則っていくつかの流跡変型規則を用いて、流跡のリラフゼーションを行なう。

矛盾性質4から、流跡同士の交差があり、7行なう。最も他の流跡との

交差数の多い部分流跡線束から、順次交差が打ち消されるまで消去してゆく。

同じく性質4より、流跡の分岐・合流があるはずはない。分岐点・合流点では、流跡の一方が他方を遮断する様に変型する。すなわち、流跡は、直線であるが、ここでは、その規則を少し緩めた、

I. 流跡は単調関数曲線である。

II. 流跡の任意の点に於ける曲率が一定値以下である。

とする。この2つの規則をもとに、流跡の部分的修正と分割処理を行なう。さらに、2つの流跡が同一点関係にあるとき、両者を結ぶ延長線上に他の流跡が存在しない場合、2つの流跡は、延長結合される。図4.4は、リラクゼーションの結果である。

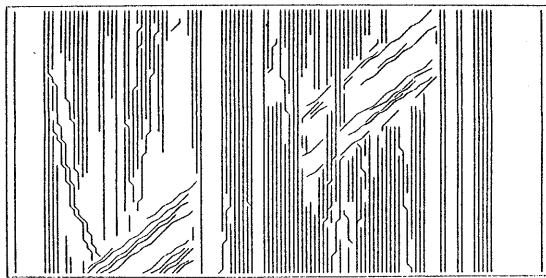


図4.4 断面画像(4=52)に対する流跡図

5. 物体の追跡と運動の解釈。得られた流跡図を手がかりに、運動物体の追跡と物体間の相互運動の解釈を行なう。

追跡は、次の様な問題で与えられる。指定されたフレームで物体の領域が与えられたとき、任意のフレームでの物体の占める領域を求めよ。そのためには、各断面画像上で、物体に対応する流域を知らねばならない。流域は、次のアルゴリズムにより得られる。

《流域抽出アルゴリズム》

Step 1. 指定されたフレームでの物体領域を通過する流跡の傾きを求め、流域の傾きとする。

Step 2 流域の傾きと同じ傾きを持つ流跡の集合を取り出し、断面画像上でそれらが占める領域、等傾流域領域を求めよ。

このとき、第2章の仮定が満たされるならば、性質1により等傾流跡領域は、等傾凸多角形の集合となり、等傾凸多角形は、一つの物体に対応する。

Step 3 指定されたフレームの領域を含む等傾凸多角形と同一物体関係にある等傾凸多角形の集合を、性質1から流域とみなす。

《終り》

流域抽出アルゴリズムの結果を示す。追跡運動物体は、第10フレームで前半分が見えている白い自動車と、画面右半分に位置している人物とする。

図5.1は抽出された流域である。

自動車、人物に対する流域の傾きは、各々、 $-1.25$ 、 $-0.0625$ である。

$A_1, A_2, A_3$ は車に対する流域、 $B$ は人に対する流域の等傾凸多角形である。物体の追跡結果を図5.2に示す。各フレームで物体の占める領域は、物体に対応する流域中の流跡がフレームを通過する点の集合として示されている。

第10フレームでは、白い自動車は、部分的にしぼりが見えていないにも拘らず、その後、全貌の登場、一時的消滅、再登場の場合も追跡出来ている。すなわち、自動車はその背後を通過することにより、背景が変動しているにも拘らず

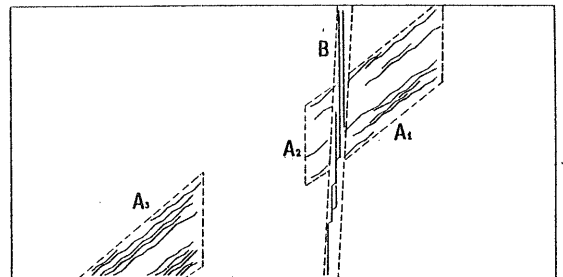


図5.1 断面画像(4=52)に対する抽出された流域

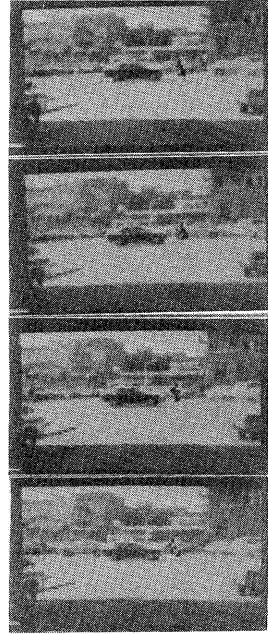
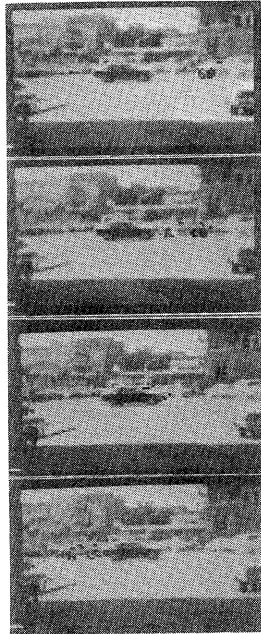
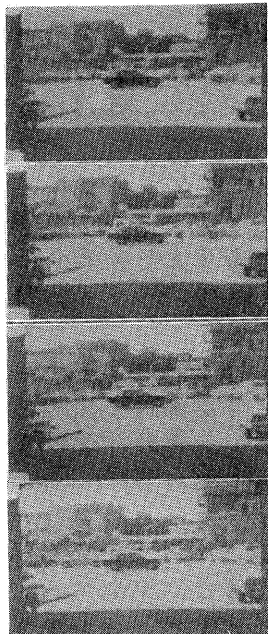
指定フレーム

10フレーム

24フレーム

39フレーム

59フレーム



フレーム画像

自動車

人物

### 図5.2 追跡結果

が追跡出来ている。

物体相互の運動関係は、流域中の流跡の型から知ることが出来る。まず、追跡した車に対する流域の各等傾凸多角形内の主な流跡のタイプは、 $A_1, A_2$ では $\alpha$ 型、 $A_3$ では $\beta$ 型である。この事実から次のことが言える。

白い自動車は、物陰から登場し人物と黒い車の後を通過した。

6. 結論 新しい動画処理の手法を提案し、2次元運動系としては、簡単でありながら画像としては、比較的複雑な街頭の通行状況を取り上げ、重なり合い、新登場、消滅、再登場を起す物体の追跡と、物体相互の運動の解析を行なった。

物体の特徴の一つである運動軌跡は動画空間もしくはその断面画像に流跡として画像化され、流跡を抽出、解析することにより運動特性を知ることが出来る。各フレーム中の物体の位置やフレーム間の位置の変化を求めた運動の解析を行なう方法に比べて直接的

### 追跡結果

であるといえる。

今般は物体の接近、後退、回転などのさらに複雑な次元運動系に対し手法の拡張を行なう。

謝辞 本研究の遂行にあたり、動画データの入力、処理結果の表示に多くの御便宜をほか、アビビビビ、当所パターン情報部の舟久保登氏と同部田村秀行氏に心から感謝いたします。また、貴重な御意見を頂いた当所SPIDER開発グループの方々にも感謝いたします。

### Reference

- (1) Yachida, M., Asada, M. and Tsuji, S. Automatic Motion Analysis System of Moving Objects from Records of Natural Processes, Proc. 4th IJCP, pp 726-730 (1978)
- (2) Takagi, M. and Sakaue, K. The Analysis of Moving Granules in a Pancreatic Cell by Digital Moving Image Processing, ibid. pp 612-618 (1977)
- (3) Jain, R., Miltzer, D. and Nagel, H.H. Separating Non-Stationary from Stationary Scene Components in a Sequence of Real World TV Images, Proc. 5th IJCAI, pp 735-739 (1978)