

画像を利用した移動体検出法に関する研究

竹内啓五
(技術研究所)
長田耕治
(技術研究所)

§ 1. はじめに

公共・レジャー施設等における防災、安全監視、管理運営を行なうにおいて、歩行者情報は非常に重要な要素となる。例えば、施設内外にいる人の数の情報は、緊急時における避難誘導を計画あるいは実行する場合、最も注意を要する情報となる。平時においても人の情報を利用するケースは多く、デパートやレジャー施設などにおいては入退場者数や年齢性別などの情報が、その後の企画、販売計画を立てるうえで重要な情報となる。通行量調査と称して、道端で人や車の数を数えているアルバイトの学生等もよく見受けられる光景である。また、人が近づくことにより反応する自動ドアやエスカレータ照明装置などのように設備制御に利用されることもある。

これら歩行者情報を入力する手段としては、従来人手に頼るかまたは超音波センサや赤外線センサ等を利用する場合が多かった。これらの方法は、条件を限定した場合には有効な手段といえる。しかし、常設できない、あるいは有効に活用したければゲートを設けなくてはならず、それ自身が歩行者の行動を制限してしまう等の問題を抱えている。また、広範囲の情報を扱うことも困難である。

これらの点を解決し、かつ歩行者情報を得る手段として、画像情報を利用する方法が考えられる。この方法のメリットとして、

- (a) 広域の観測が行なえる、
- (b) 観測系を乱さない、
- (c) 画像処理装置による処理の自動化ができる、

等の点が挙げられる。従来の計測法に比べ、自然な歩行者の動向を捉らえるにはより適した方法と考えられる。画像計測を応用して人間の流動を捉らえようとする例も幾つか見られる。しかし、特定の濃度抽出による方法では人間に特徴を付けなくてはならない¹⁾。また、人間の流れを割り出せるが²⁾³⁾、誤差要因の一つとなる人間の影について言及されていない等の問題を抱えている。

本報告では、それらの問題を解決しかつ歩行者情報を抽出する方法として、画像情報を利用した方法について述べる。本方法は、画像の変化領域の抽出により、移動対象としての歩行者を抽出している⁴⁾。変化領域抽出のための画像差分処理は、短い時間間隔で採取した画像間で行なうため、ノイズの影響を受けにくい。そのため、周辺環境の変化が緩やかであれば、そこにいる移動対象物の抽出には有効といえる。さらに、差分処理を施した画像間で理論積を取ることにより⁵⁾、任意の一時点における観測エリア内での歩行者の数と位置を計測することができる。変化領域の抽出の際、歩行者自身の影もまた移動対象とみなされてしまい、その後の個々の対象の分離追跡において支障を来すことになる。本報告では、その影の抽出除去の方法についても提案を行なったので述べることにする。また、本方法の実証実験としては、実際に当社技研と本社シーバンスアトリウム棟においてデータの採取解析を行なったので、その実験結果も併せて報告する^{注)}。

§ 2. 測定法

2.1 測定環境と処理アルゴリズム

測定対象となる歩行者は衣服の色、姿勢等が様々で、その状態は刻々と変化する。カメラ視野内に歩行者を捉らえる場合、視点の位置によっては歩行者同士が重複して見えることになる。日が射せば地面に人の影が写り、画像のコントラストは強調され、曇れば画面全体が暗くなる等、周辺の環境も常に変化している。

このような環境下で、目的とする画像処理に適した画像を得るために、以下の条件を設定する。

注) 本研究論文は、電気情報通信学会画像工学研究会にて発表した内容に、本社アトリウムにおける実験内容を加え、今後建築学会への発表予定の内容もふまえて、まとめ直したものである。

- ・条件1：カメラ光軸は垂直，上方から下向きに設置
 - ・条件2：背景（地上面）は単一色
- 条件1は，人々が重複して見えるのを極力避けるための設定である．画像入力用カメラは観測エリア上方より

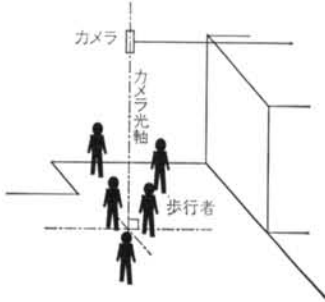


図-1 カメラ設置状況

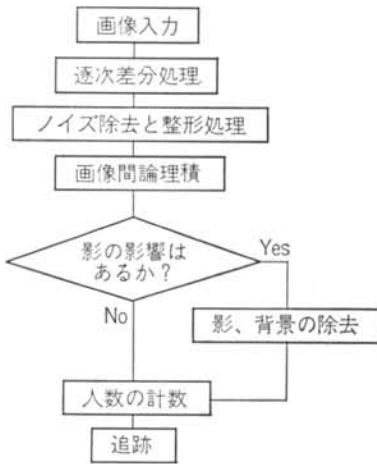


図-2 処理手順

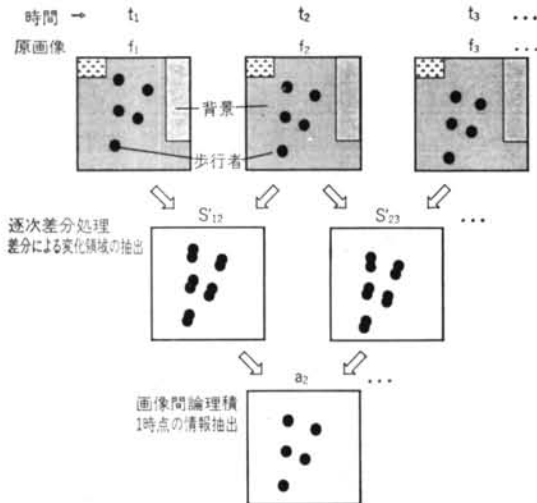


図-3 歩行者情報抽出手順

下向きに設置し，光軸は地上平面に対し鉛直とする（図-1参照）．この条件により，画像上における人間の形状の個人差も軽減できる．この状態で入力された画像に対し，図-2に示す処理手順に従い処理を行なう．

はじめに，画像の逐時差分を取る方法によって移動対象物を抽出する．これは一定時間間隔で画像を入力し，直前に入力した画像と現在入力されている画像との差分より，変化領域（歩行者のいる領域）を抽出する方法である．背景に対し濃度差がある対象ならば，ほぼすべてを抽出できる．人間のよう，衣服の色，濃度等に個人差がある対象の抽出には有効といえる．

次に，ノイズ除去と整形処理を施す．また，差分処理後に残された微少なノイズを取り除く．さらに，ある程度の大きさで近接している領域同士は，本来同一のものが分裂している可能性が高いので，適当な整形処理により接続する．

差分により移動要素を抽出した画像には，二つの時点での情報が重複しているので，連続する差分処理画像間で論理積を取ることで，一つの時点での情報を抽出する（図-3参照）．

しかし，ここで影の影響を考える必要がでてくる．日差しの強い屋外等では，背景である地上面に人間の影が投影される場合が多い．本方法は差分処理を利用しているため，影も移動対象として抽出される．同時に，背景も残る可能性がある．これらは，後述の人数の計数処理において多大な誤差を生じさせる可能性がある．よって先に示した条件2を付加し，ヒストグラム分析を利用して影および背景の除去を行なう．

これらの処理が終了した時点で，人数の計数と抽出要素の画像内における位置計測を行なう．

以上の処理を入力画像に対し逐時行なってゆき，抽出された歩行者の位置を基に移動の様子を追跡する．

2.2 移動体抽出

図-2の各処理について具体的に説明する．

2.2.1 逐時差分

カメラからの入力画像を A/D 変換し，等時間間隔で採取したデジタル画像群を原画像群 F とする．この画像を構成する最小単位は画素と呼ばれるものであり，計算機上では二次元配列データとして扱われる．

$$F(f_1, f_2, \dots, f_n, \dots) \quad \dots(1)$$

原画像群 F において，連続する画像間で差分処理を施し，この画像間において変化のあった領域を抽出する．これを差分画像群 S とする．

$$S(S_{12}, S_{23}, \dots, S_{n-1n}, \dots) \quad \dots(2)$$

ここでいう差分処理は、各画素毎に次式で与えられる処理を指すものである。

$$s_{n+1}(i, j) = |f_n(i, j) - f_{n+1}(i, j)| \quad \dots\dots(3)$$

i, j : 画素の位置を表わす変数

変化領域を明確にするため、画像群 S をある一定の閾値 (th_1) で二値化する。この処理により、変化の大きな画素を ON(1)、そうでない要素は OFF(0) とする。

これを画像群を S' とする。

$$S'(s'_{12}, s'_{23}, \dots, s'_{n-1n}, \dots) \quad \dots\dots(4)$$

画像群 S' には、画像群 S において閾値 (th_1) 以上の変化のあった領域が抽出される。ここでいう領域とは、ON になった画素の連結により構成される部分のことである。

これらの処理により、 s'_{12} には f_1 と f_2 間で変化のあった(移動体が存在した)領域が抽出される。

2.2.2 ノイズ除去と整形処理

前述の逐時差分処理により抽出された画像群 S' には、まだ微小領域による粒子状ノイズが残されている。これに関しては、領域が占める面積を基準に除去処理を行なう(微小粒子除去)。また、歩行者が存在していた領域であるが、画像上は変化がないために画素が OFF になり、本来1個体である対象も幾つかの領域に分断されて抽出される場合もある(図-4)。

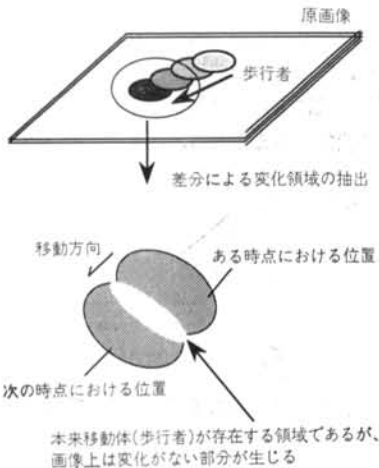


図-4 変化領域中の無変化領域

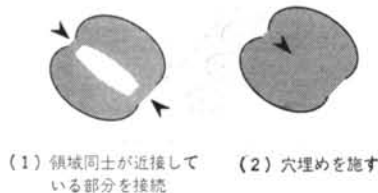


図-5 無変化領域の修復

分断されて抽出された領域については、領域同士が近接した部分を接続することにより、一つの領域にまとめる。要素間の画素を反転させることにより接続する。抽出領域内に残った穴については、穴埋め処理を施す(図-5)。以上の処理を行なった画像を、改めて画像群 S' とする。

2.2.3 画像間論理積

画像群 S' では、まだ二つの時点での情報が重複しているので、連続する差分画像間で論理積を取り、一時点の情報を取り出す。

$$a_n(i, j) = s'_n(i, j) \cap s'_{n+1}(i, j) \quad \dots\dots(5)$$

i, j : 画素の位置

\cap : 画像間論理積

ここで、 a_n は移動対象抽出画像である。

この処理によって作成された画像群を、移動対象抽出画像群 A とする。

$$A(a_2, a_3, \dots, a_{n+1}, \dots) \quad \dots\dots(6)$$

例えば、 a_2 には s'_{12} と s'_{23} での共通部分が残る。 a_2 には f_2 の時点において移動対象が存在する部分が抽出されることになる。

この時点で、小動物のように歩行者より小さく写った対象を除去するため、もう一度面積を基準にした微小領域の除去を行なう。一方、車のように歩行者より大きく映る対象も、面積およびその形状を基に除去することは可能である。しかし、今回の実験においては歩行者情報の抽出が主目的であるため、人間以外の対象物は観測エリアに入らない状態で実験を行なった。

2.2.4 影と背景の除去

影の除去は、分類手法を応用して行なう。

先に示した、背景(地上面)を単一色とする条件により、以下の事項を仮定できることを利用する。

- (a) 背景部分の濃度および地面に写る影の部分の濃度は各々ほぼ一定値を取る。
- (b) 背景および影の部分内の微小部分では濃度勾配は平坦となる。

一方、影の部分に比べると、歩行者の写る領域では以下の仮定が述べられる。

- (c) 歩行者の写る領域内では濃度は影の領域内に比べランダムな値を取り、濃度勾配も一定しない。
 - (d) 歩行者の写る領域内において影と同様な傾向にある領域があるとしても、それは小さな領域に限られる。
- 以上の仮定から、以下が推測される。

(A) 画像内の歩行者の密度がそれほど高くない(画像の5割以上を背景が占める)場合、画面全体の濃度ヒストグラム分布において、背景の濃度値は高い度数を示す。

(B)影が人数の計数に影響を与えると考えられる(歩行者に対する影の割合が同等以上)場合、移動対象が抽出されている部分での濃度ヒストグラム分布において、影の濃度は高集中度を示す。

これらの性質を利用して、影と背景の除去を行なう。その手順を以下に示す。

(1)移動対象抽出画像(二値画像 a_n)をマスク画像として、同じ時点での原画像(濃淡画像 f_n)からその部分を抽出する。これにより作成された画像を f'_n とする。

(2)画像 f'_n の濃度ヒストグラム分布より、度数最大の濃度を影の濃度 G_{sa} とする。

(3)分類用オペレータを用意し、影の濃度を参考にして画像 f'_n 上で分類を行なう。

分類用オペレータ内の各画素が影の濃度にどの程度近いかわ、またオペレータ内の濃度勾配はどの程度平坦かにより、オペレータの中心にくる画素が影であるかどうかを判定する。

オペレータは、図-6に示す 5×5 のサイズのものをを用いる。図-6において、画素 a の濃度 G_a が、影の濃度に対し一定の範囲内にあり、かつ G_a と画素 b の濃度 G_b の差もすべて一定の範囲内にある場合、画素 a は影であると判定する。

つまり、次の式(7)、式(8)を満たす場合、画素 a は影であると判定する。

$$|G_{sa} - G_a| < th_2 \quad \dots\dots(7)$$

$$|G_b - G_a| < th_3 \quad \dots\dots(8)$$

th_2 : 濃度判定の閾値

th_3 : 濃度勾配判定の閾値

閾値は、濃度 G_a 、 G_b 付近での標準偏差を参考に判定する。そのほかの周辺画素も参考にすることも可能であるが、今回は画素 a 、 b のみを参考にした。

この分類により影と判定された画素から、影部抽出画像 sd_n を構成する。

(4)背景の分類も影と同様に行なう。この場合は、原画像 f_n のヒストグラムを取り、その度数が最大の濃度を背景濃度 G_{ba} として画像 f'_n 上で分類を行なう。

分類用オペレータは図-6に示したものを使用する。

		b		
		b		
b	b	a	b	b
		b		
		b		

図-6 分類用オペレータ

この場合も影のときと同様に、次の式(9)、式(10)を満たす場合、画素 a は影であると判定する。

$$|G_{sa} - G_a| < th_4 \quad \dots\dots(9)$$

$$|G_b - G_a| < th_5 \quad \dots\dots(10)$$

th_4 : 濃度判定の閾値

th_5 : 濃度勾配判定の閾値

この分類で背景と判定された画素から、背景部抽出画像 bg_n を構成する。

(5)影と判定された画素、あるいは背景と判定された画素の総数 (Aor) が、移動対象抽出画像 a_n 中の要素の総面積 (Aa) に対し半分以上の割合を占める場合、影と背景の影響があるとして a_n より影と背景部を差し引く。

$$Aor/Aa > th_6 \quad (th_6 = 0.5) \quad \dots\dots(11)$$

式(11)が満たされるならば、影部抽出画像と背景部抽出画像を合成した後(式(12))、変化領域抽出画像より差し引く(式(13))。

$$or_n = sd_n \cup bg_n \quad \dots\dots(12)$$

$$a'_n = a_n - or_n \quad \dots\dots(13)$$

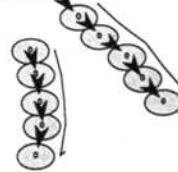
\cup : 論理和

(6)画像 a'_n 中に残っている微小なノイズ等を除去し、これを最終的に歩行者のみを抽出した歩行者抽出画像とする。

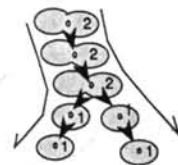
2.2.5 人数の計数

人数の計数は、影の除去処理の必要がなかった場合は画像 a_n 、影の除去処理があった場合は画像 a'_n を参照して行なう。基本的には、抽出された領域の個数を人数とするが、領域によっては複数の歩行者が一つの領域になっている状態も考えられる。よって、抽出された各領

抽出された歩行者とその重心



重心位置を参考に、歩行者を追跡していく



領域(歩行者)の分離(結合)の場合
(数字は人数)

図-7 歩行者追跡状況

域毎にその面積から人数を計算する。

歩行者抽出処理を施した画像において、歩行者一人が画像上で占める面積を実験的に求め、その値を基準に抽出された各領域における人数を求める。

$$N = \begin{cases} 1 & (1.5U > Ae > th_7) \\ \text{INT}(Ae/U) & (Ae \geq 1.5U) \end{cases} \quad \dots\dots(4)$$

N: 領域の占める人数

Ae: 抽出された領域の面積

U: 実験的に求めた一人当たりの占める面積

th₇: 微小ノイズ除去の閾値

INT(): 整数化関数(小数点以下四捨五入)

2.2.6 追跡

追跡は抽出された領域の重心位置に基づいて行なう。

画像のサンプリングが短い時間間隔で行われるため、その時間間隔当たりの歩行者移動量は小さなものとなる。歩行者の移動状況は、各時点における歩行者位置を比較し、最も重心に近い組み合わせを歩行者の移動経路とする。

追跡を行なう場合は、サンプリング時間間隔での一人当たりの平均移動距離を実験的に求めたうえで、その値を参考にした範囲内で移動経路を探索する。時間を追うごとに領域同士の分離や結合などが起こるが、各領域の面積から割り出した人数を基に、分離および結合の状態も追跡する。

§ 3. 実験

3.1 解析システム

前述の処理アルゴリズムの実証実験を、当社技術研究所と本社シーバンスアトリウム棟にて行なった。その際に使用したデータ解析システムについて説明する。

画像は、屋上あるいは天井に設置したカメラより入力される。入力された画像はいったんVTRに記録し、研究室において再生し、画像処理装置に入力解析を行なう。

入力用カメラにはCCDカメラを使用し、画像の記録にはS-VHS、Hi8両方式を併用した。

画像処理装置にはADS社製PIP-4000を使用した。



図一八 解析装置構成

画像処理装置の制御にはPC98をホストコンピュータとして使用し、 GPIB 経由で各種処理を行なった。制御プログラムの開発にはC言語を用いている。

現状では、画像処理にはリアルタイム処理能力がないため、再生において低速再生をかけ、画像処理装置の処理速度に合わせたうえでデータ入力を行なう。

3.2 機器配置

3.2.1 技術研究所屋上

カメラ設置位置: 屋上部から片持ち梁を出し、その先端部にカメラを設置した。観測される地上面から20mの高さに鉛直下向きに設置した。

観測範囲: 約10m×10m

地上面: アスファルト舗装(グレー)

データ採取状況: 曇りの状態(影無し)と晴れの状態(影あり)の二種類

3.2.2 本社アトリウム棟

カメラ設置位置: アトリウム棟天井部内側から棟内底部を観測した。設置高さは底部から30mである。

観測範囲: 約30m×30m

地上面: タイル張り、各種設置物多数

アトリウム等で採取したデータについては、影除去のための条件が不十分のため、同処理は行なっていない。

3.3 実験結果

各状況下での入力画像を写真一1~写真一3に示す。

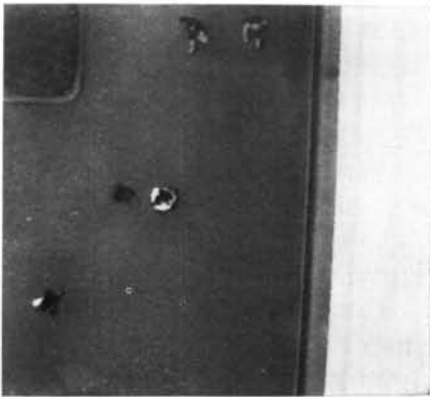
写真一1、2は技研屋上からの画像で、曇りの状態の画像(写真一1)のため地上面には歩行者の影は写っていない。一方、写真一2は晴れの状態の入力画像で、地上面に歩行者の影が写っていることが分かる。写真一3は本社アトリウム棟の中央底部である。

写真一1に示したデータについて、歩行者を抽出した結果を写真一4に示す。この場合、影と背景の除去処理は行なっていない。このデータについての移動対象(歩行者)抽出は、他の時点においても諸設定値を変えずに実行することができた。このデータ以降について追跡を行なった結果を写真一5に示す。他の時点における追跡においても間違えて追跡する例は殆ど見られなかった。歩行者の移動方向速度については、追跡を行なう時点で逐時計算することができる。方向は追跡ベクトルの方向により表わされ、速度はその長さにより求められる。ちなみに、写真一1に示した5人の平均移動速度は1.5m/sとなった。

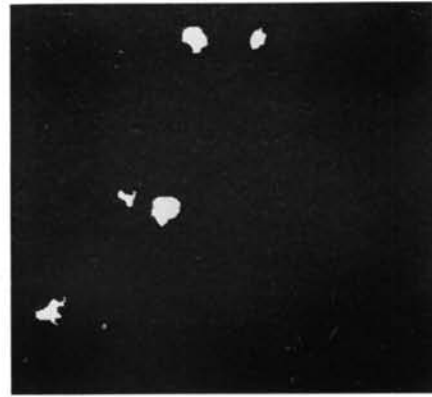
次に、影のある場合の処理結果を示す。変化領域の抽出を行なった例を写真一6に示す。写真一2と比較して

見ると、歩行者の影領域まで一諸に抽出されている様子が分かる。この画像に原画像を重ねて切り出した画像から、影と背景部分の抽出を行なった結果を写真一七に示す。この画像を変化領域抽出画像から差し引くことにより、歩行者を抽出した画像を得ることができる(写真一八)。写真一九に同処理を繰り返し、追跡を行なった結

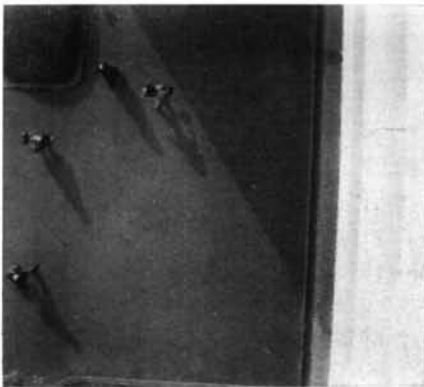
果を示す。各々追跡されている様子が分かる。しかし、歩行者が密集して移動しているような場合、影と背景部を除去しきれない、また本来歩行者である部分を誤って除去してしまう等の現象が現われ易く、個々の分離が不十分となり、影がない場合に比較すると追跡に支障を来たすというケースも見られた。今後、この点に関しては



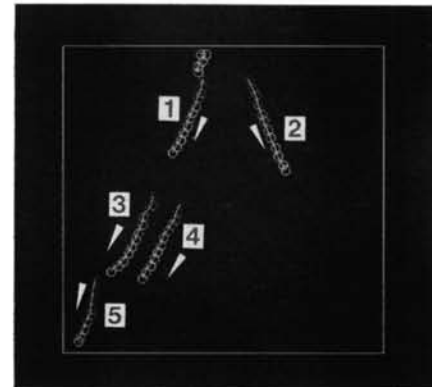
写真一 原画像(技研屋上より、影無し)



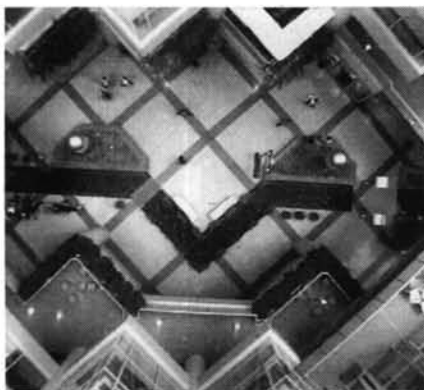
写真一四 歩行者抽出結果(影無し)



写真二 原画像(技研屋上より、影有り)



写真一五 追跡結果(影無し)



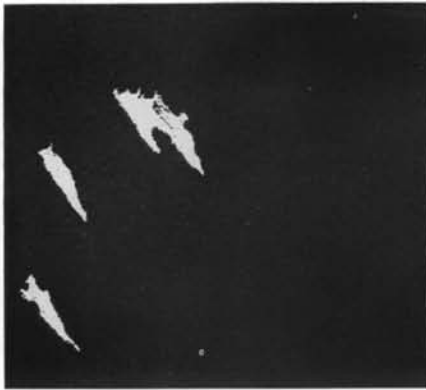
写真一三 原画像(本社アトリウム棟中央部)



写真一六 変化領域抽出結果

もう少し検討を加える必要があると考えられる。

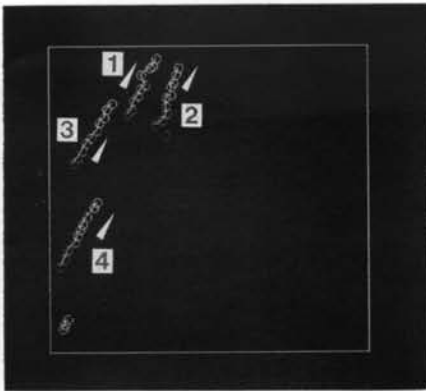
写真一10にアトリウムにおいて得たデータについて解析した結果を示す。これは、アトリウム底面画像に、抽出された歩行者の移動状況を動線により表示したものである。写真中、白線で表わされたものが歩行者の動線である。このデータからも歩行者の人数、移動方向等を、



写真一7 影背景部抽出結果



写真一8 歩行者抽出結果（影有り）



写真一9 追跡結果（影有り）

それぞれ動線の数および方向により示すことができる。研究所で採取したデータに比べ歩行者の写り方が小さくなるため、追跡に際して欠落が起り易く、また領域が相当する人数の算出も間違える例が出てきた。しかし、動線の傾向の把握、空間の利用分布の分析には十分なデータを提供できると考えられる。



写真一10 追跡結果（アトリウム内）

§ 4. おわりに

画像の差分を利用して移動体を抽出することで、歩行者の移動の様子を解析するための方法を示した。その際に、影と背景の部分の処理が問題となるが、それらを除去するための一手法について述べた。また、技研屋上と本社アトリウム棟での実証実験から、条件付きながら本手法の有効性を確認した。

今回の実験において一度に観測された人数は、10m×10mの観測エリア内において、影のない場合20人、影のある場合で10人程度となる。また、30m×30mの観測エリアになると、影の無い場合であれば40人程度まではその挙動を把握できる。この点に関しては、まだ画像に未使用の部分があることを考えれば、ここで示した以上の人数を把握できるものと思われる。

また、以下のような問題点が残された。

- ・影や背景が除去しきれずに残るケースや、人間の写っている部分を落としてしまうケースが見られる。
- ・人間が集団で移動している場合、個々の歩行者の分離精度が落ちてくる。

今後は、以上の点を踏まえ、影と背景の抽出アルゴリズムの見直しにより、個々の対象の分離精度を高めてゆくことと、抽出されたデータの分析手法の検討を目標とする。

<参考文献>

- 1) 志田, 辻本: “画像処理を利用した建築空間内の歩行解析とシミュレーション” 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1989年10月) p. 823
- 2) 間瀬: “x-t 時空間画像を用いた歩行者計数” 信学技法 IE90-43 (1990年) p. 29
- 3) 安居院, 斉藤, 長尾, 中嶋: “ブロック特徴を用いた歩行人物の抽出と追跡” テレビジョン学会誌 Vol. 45, No. 10(1991年10月) pp. 1213~1220
- 4) 田村: “コンピュータ画像処理入門” 総研出版 (1985年) pp. 146~147
- 5) 高木, 鳥脇, 田村: “画像処理アルゴリズムの最新動向” 新技術コミュニケーションズ (1986年) pp. 128~130