

画像を利用した群集行動評価法に関する研究

竹 内 啓 五
(技術研究所)
長 田 耕 治
(技術研究所)

§ 1. はじめに

人の行動情報の取得、分析は、建物や交通機関の管理運営、防災防犯上重要な課題である¹⁾。都市計画や地域開発においては、群衆の行動から抽出された通行量を参考に、建物や開発の規模等が割り出される。

従来この情報取得手段は手作業が主であった。しかし、近年カメラの画像情報を利用し、人の位置情報等を自動的に取得する研究が進められている。カメラによる測定は非接触計測と言う特徴を持つ。そのため人の行動に干渉することがなく、自然な行動を分析することに適している。同時に広範囲の情報を取得できるため、多人数や広い行動範囲にも対応することができる。現在建物内外に設置してある監視カメラの情報から、自動的に様々な種類の情報を得ることができれば、設備制御用センサとしての利用が可能になり、カメラの利用効率の拡大というメリットが得られる。

筆者らは、画像の利用法として、逐次差分による人の歩行動線抽出を行ってきた²⁾。しかし同方法は、人同士の間隔が密になる群衆の状態では分析が困難になる、留まっている人を抽出し難い、という問題点を抱えていた。そこで本報では、人の抽出画像の累積により、新たに群衆や滞留者の行動特性を分析を可能にする方法の検討を行なったので、それについて述べる。累積により、特異な行動やノイズの影響は低減され、人が存在する頻度の高い領域の抽出を行なうことができる。

同方法の有効性の確認は、芝浦シーバンスのアトリウム棟や食堂での人の行動を記録したVTRの分析と、目視による実測値との比較、評価により行なった。

§ 2. 分析法

2.1 分析の視点

カメラ画像から人の抽出処理を行なう研究は十数年前から活発に行なわれている³⁾⁴⁾。現在もこの点に関する研究は続けられており、報告例に関しては枚挙にいとまがないほどである⁵⁾⁶⁾。しかし現在の画像処理技術は、完全に個人抽出を行なうに至っていない。特に群衆が処理対象となる場合、個人の抽出は不可能に近くなる。密度が高まるにつれ、人の分離抽出の困難さが増すためである。むしろ個々の人の分離抽出が確実にできれば群衆への適用はその応用となるが、現在のところ群衆処理に対するアプローチに適した方法とは考えにくい。

一方、航空写真の視点からマクロに分析する手法を群衆に適用し、人数把握に関し有効性を示した報告例がある⁷⁾。この例が示したように、群衆に含まれる人の行動性状の把握には、個々の人を分析するミクロな視点より、マクロな視点からの分析法が有効と考えられる。また、群衆を扱うにあたっては、ある程度おおざっぱな把握でも情報としては有効に利用できるという見方もある⁸⁾。これらの考えを基本とし、本研究において筆者らは、群衆から抽出される反応を累積し、反応を時間的かつ空間的に平均化することにより、群衆の行動性状を分析する事が可能になると考えた。

2.2 分析手順

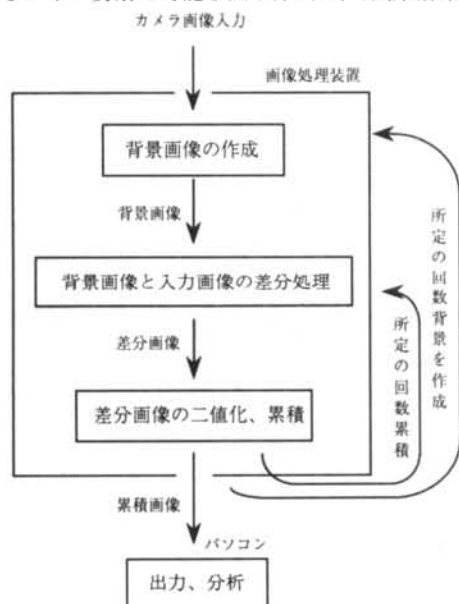
具体的には、次の処理手順に従い分析を行なった(図-1)。

- 1) 画像の加算平均により背景画像を作成する。
- 2) 作成された背景画像とその後入力される画像の間で差分を取り人の抽出を行なう。
- 3) 抽出された人の画像を二値化し、累積して行く。
- 4) 1)～3)を1セットとしてこれを数回繰り返す。

加算平均は画像を所定回数加算入力し、加算画像の濃度（明るさ）を入力回数で割る方法である。長時間露光による写真撮影と同様の原理である。写真一1 (a) (b) (c) に示すように入力回数が多いほど、入力（露光）の間動いた人の除去された画像を得ることができる。

この背景画像を作成するには、ある程度の時間、画像を入力し続ける必要がある。

背景画像作成後、改めて入力した画像との間で差を取ると、人がいると判断される領域が抽出される。領域を明確化させる意味で、同差画像を適当な数居値で二値化する。人がいると判断される領域に'1'、されない領域には'0'を代入して行く。この段階で微小なノイズ要素は可能な限り除去し、累積用画像に



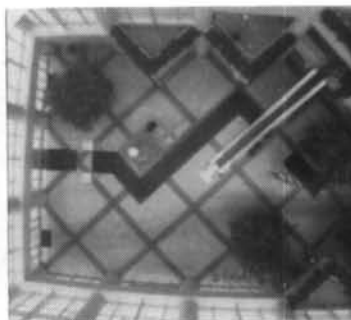
図一1 処理の流れ



(a)加算1回



(b)加算4回



(c)加算64回

写真一1 加算平均による背景の作成

その画像を加算して行く。画像を入力することにこの累積処理を行なう。結果として人が現れる傾向の高い領域は、累積値も高くなる。

背景作成の時点と、差分用画像の入力時点との時間間隔が大きい場合、画像内の明るさの変化も抽出される可能性が高くなる。この場合のノイズは広範囲に発生する可能性があるため、微小ノイズとして除去することはできない。よって累積を適当な時間行なった後、再度背景画像を作り直し、差分用入力画像との時間差を小さくし、ノイズ累積の可能性を低下させた。

2.3 抽出反応

差分による変化領域としての反応には以下の種類がある（図一2）。

A. 背景に写らず後の入力時に現れた人の反応（正反応）。

B. 背景に不完全に写る影響による反応（境界反応）。

A. 背景に写らず、入力の時点で表れる（正反応）。



B.C. 背景に写り、入力の時点でいなくなる（境界反応）（逆反応）。



D. 体を揺する等の動作により反応する（揺らぎ反応）。



図一2 差分画像上での反応例

C.背景に写り後の入力時に移動した人の反応（逆反応）。

D.背景に写り、体の微少動作による反応（揺らぎ反応）。

E.単なる明るさの変化による反応（ノイズ）。

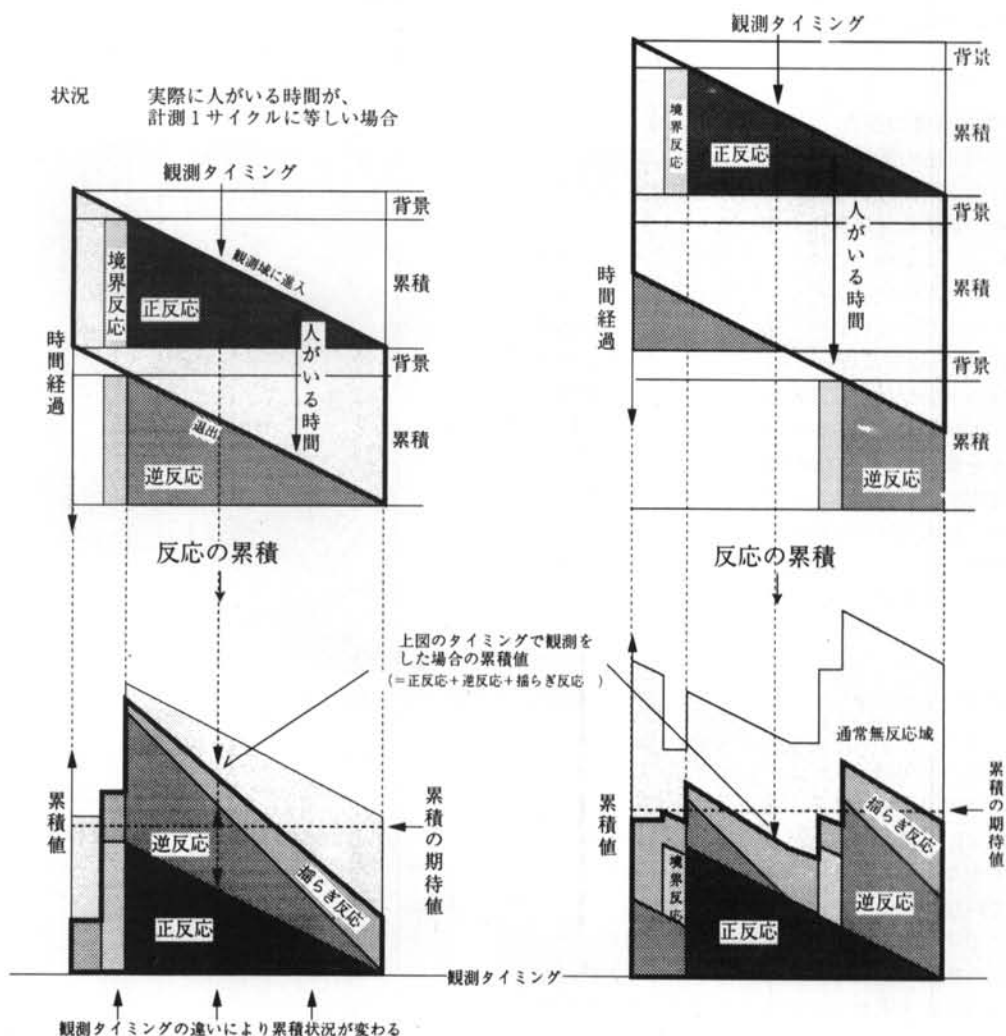
差分画像上にこれらの反応が、単独あるいは複合した形で現れる。反応A.は累積の程度が、その地点に人のいた時間を表すと考えられる。ところが加算平均による背景作成では、完全に無人の背景が作成できるとは限らず、背景作成中に静止していた人は、背景として画像に写り込む事になる。その人がその後の入力画像との差分累積時に動き出した場合、

反応としてはC.（逆反応）を示す事になり、見かけ上人がいないのに反応だけが表れることになる。しかし、間接的には背景に写る間そこに存在したことに基づく現象であるため、同反応もその地点に人が存在した時間の程度を表す反応とみなすことができる。

境界反応は、背景への写り込みの程度により反応が出る場合と出ない場合があることを表している。逆反応の一例とも言える。

人が全く微動だにしないような場合、反応は正逆および境界反応だけになる。しかし、一般に人がそのような状態に置かれるのは特殊な状況であると考

状況 実際には人がいる時間が、計測1サイクルの1.5倍の場合



図一 3 観測タイミングと反応の累積状況

えられる。広場のように、静止することに対する強制力がほとんど無い状況では、たとえ一カ所に留まっていたとしても、何らかの動作を起こすことが予測される。揺らぎ反応はこの動作から抽出される反応である。この反応は動作の大きさなどに影響されるため個人差も出ることになるが、ある程度の大きさの集団の発生する揺らぎ反応に定常性が期待できれば、個人の反応はその平均値とみなすことができる。集団の揺らぎ反応の定常値は、場所、時間によりある程度変化することが予測される。例えば、運動場のグラウンドとコンサートホールではその揺らぎ反応は違ったものになる。よって実際の分析にあたっては時間や場所に制限を受けることになるが、逆に、場所と時間が指定できれば、実測との比較を基に揺らぎ反応の程度を設定することが可能と思われる。

2.4 累積評価の視点

以上の反応の累積は、背景を作成する時間と、累積を行なう時間、および観測を行なうタイミングによりその累積状況は変化する。図-3は、人が任意の場所に留まる場合について、観測のタイミングの違いにより累積状況が変化することを表している。処理1サイクルに対して、同じ時間人が留まった場合と1.5倍の時間留まった場合の状況を説明している。図の上半分は、背景作成と累積処理の時間帯に対し、人がどのタイミングで観測地点に進入、退出したかを表している（図中太線）。各タイミングに対し発生する反応を基に、累積状況を図の下半分に表した。揺らぎ反応は動作による反応のため状況により変化するが、各反応は、見かけ上なら区別されことなく累積され、図中太線で示した累積結果が得られる。

一人一人に限定した場合、タイミングの違いで累積に差が表れる事が分かる。この誤差を改善するには、複数の計測装置を用意し、同一人に対する観測タイミングを一定間隔でかつ重複するように設定し、それらの出力する累積値の平均値を評価する方法が考えられる。しかし今回の計測では、装置は一体しか用意できないため、観測タイミングは一通りしか設定していない。

そこで今回は、ある範囲を画面上に設定し、そこに現れた集団に対して同処理を行なうことを検討した。本方法が多数の人の反応を対象とすることを基本にしている点からも、ある程度の集団を評価す

る手法を検討することが適当と考えられる。タイミングが1通りでも、人の現れるタイミングがランダムであれば、それらの平均を取るにより、先に示した方法と同様の効果が期待できる。また揺らぎ反応の個人差を平均化する意味においても、領域設定により反応を平均化する必要がある。以上個人としての累積反応には誤差が出るが、群衆が同範囲において一定時間に示す累積反応は、その群衆の規模に応じた累積反応になると推測される。この累積を評価するための領域を観測用小領域とし、同領域内の累積値の平均を評価値（以後累積指数）とした。

§3. 実験

3.1 実験1（アトリウムにおける実験）

分析用データの採取は、芝浦シーバンスのアトリウム棟にて行なった。



写真-2 アトリウム

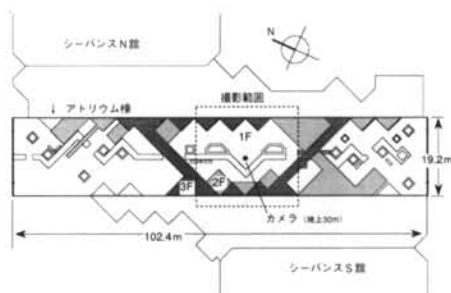


図-4 カメラ設置位置（アトリウムにおける実験）

カメラの設置位置を図-4に示す。設置高さは、観測領域上空約30mの地点である。カメラの映像は一旦VTRに記録した後、研究室にて再生分析を行なった。広場における人の行動として、立ち止ま

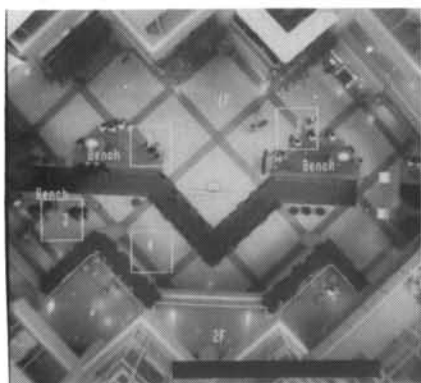


写真-3 入力画像

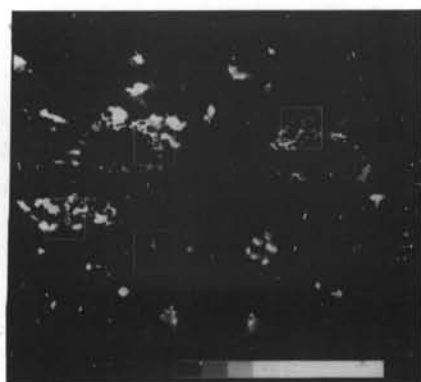


写真-4 累積画像

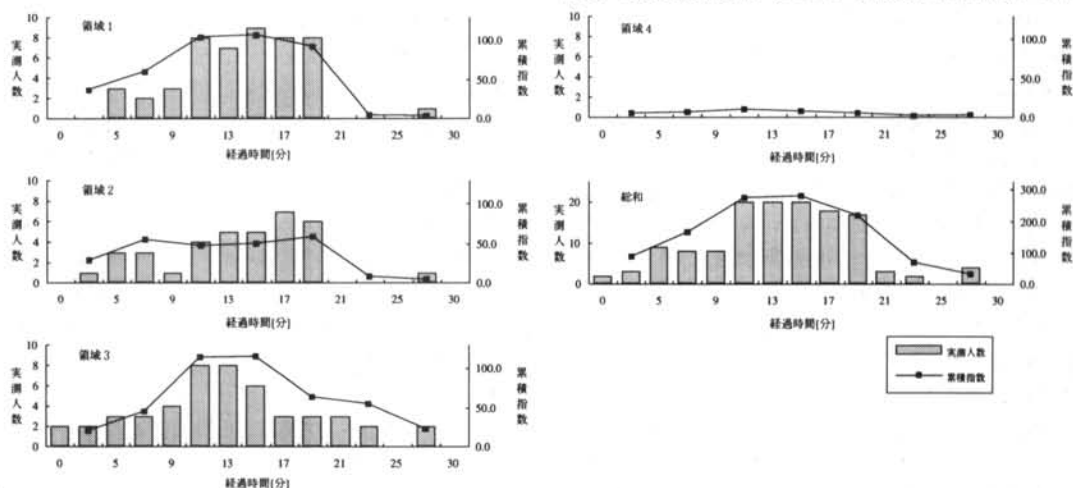


図-5 実測人数と累積指数

る場合は3分前後が比較的多いという実測例⁹⁾を基に、処理1サイクルは3分程度まで立ち止まる人を抽出できるよう設定した。本方式の場合、留まる時間が処理サイクルの1.5倍のときに比較的安定した累積結果になるので、背景の作成に20秒、累積処理に120秒、計140秒を設定した。同処理を連続して3回繰り返す、全計測時間は7分とした。背景は20秒間に64枚の画像を入力し、その加算平均により作成している。累積処理は約0.5秒に1回行なわれ、全計測を通じ累積は約800回程度となる。

写真-3に入力画像例を示す。ベンチの位置と観測用小領域の位置を示す。

写真-4は、アトリウム棟中央部にて、1992年4月7日昼頃の7分間について累積を行なった結果(累積画像)である。累積の高い(白い)反応がベンチおよびその周辺に多く反応している。これはベンチに座っている人同士や、その周囲にて雑談等している人の反応と考えられる。薄い(灰色)反応の大部分は、定常的な歩行による反応である。原理的に、累積は人が留まる時間が長いほど頻繁に行なわれやすい。結果として、ベンチ周辺のように立ち止まる人の多い場所で累積の高い反応が出たことは、同画像が滞留者の発生する傾向にある場所を抽出するものであることを示している。ほとんど人の立ち入ることのない場所は、累積も微小なため画像上に顕著な反応は現れなかった(無色、黒)。このように同画像は、自動的に滞留場所、歩行領域、無使用領域を示すことができる。

次に、累積指数による定量的評価と、実際の人の行動の比較検討を行なった。累積指数を評価する領

経過 時間 [分]	領域 1				領域 2				領域 3				領域 4				総和			
	実測 人数	累積 指数	換算 人数	誤差	実測 人数	累積 指数	換算 人数	誤差	実測 人数	累積 指数	換算 人数	誤差	実測 人数	累積 指数	換算 人数	誤差	実測 人数	累積 指数	換算 人数	誤差
0	0				0				2				0				2			
3	0	36.6	2.8	-2.8	1	28.0	2.2	-1.2	2	19.3	1.5	0.5	0	4.5	0.3	-0.3	3	88.3	6.8	-3.8
5	3				3				3				0				9			
7	2	59.4	4.6	-2.6	3	55.0	4.2	-1.2	3	44.5	3.4	-0.4	0	5.9	0.5	-0.5	8	164.9	12.7	-4.7
9	3				1				4				0				8			
11	8	103.9	8.0	0.0	4	46.6	3.6	0.4	8	113.9	8.8	-0.8	0	9.8	0.8	-0.8	20	274.1	21.1	-1.1
13	7				5				8				0				20			
15	9	107.0	8.2	0.8	5	49.6	3.8	1.2	6	115.9	8.9	-2.9	0	7.7	0.6	-0.6	20	280.2	21.6	-1.6
17	8				7				3				0				18			
19	8	91.6	7.0	1.0	6	57.9	4.5	1.5	3	62.8	4.8	-1.8	0	4.9	0.4	-0.4	17	217.2	16.7	0.3
21	0				0				3				0				3			
23	0	4.2	0.3	-0.3	0	6.9	0.5	-0.5	2	54.6	4.2	-2.2	0	1.6	0.1	-0.1	2	67.3	5.2	-3.2
25	0				0				0				0				0			
27	1	2.6	0.2	0.8	1	3.4	0.3	0.7	2	22.0	1.7	0.3	0	1.9	0.1	-0.1	4	29.9	2.3	1.7
30	0				0				0				0				0			

注) 実測人数は分析の間20秒以上留っていた人の人数 累積指数に対する換算人数の比率0.077

表一 実測人数と累積指数

域は約3m四方の小領域を設定した(写真-3, 4 領域1~4)。比較は各小領域において、分析中約20秒以上留まった人の数を目視計測した結果と、累積指数の結果を照らし合わせるにより行なった。比較結果を図-5に示す。横軸は測定開始からの時間を、縦軸左は実測人数、右は累積指数を表している。総和のグラフは領域1~4までの単純和のグラフである。

結果として同分析法に関し幾つか特徴が挙げられた。

- A) 滞留者の多い領域(領域1, 2, 3)では、累積指数は高い値を、少ない領域(領域4)では低い値を示している。
- B) 累積指数の低い領域4は、大半が歩行通過による反応である。
- C) 滞留人数の変動と、累積指数の時間的変動は概ね一致が見られる。
- D) 累積指数を人数としてみた場合、領域1~4にて、誤差は最大3割(3人)程度となるが、総和のグラフでは比較的一致が見られる。対象人数が多いほど精度が向上すると考えられる。

累積指数を人数としてみる場合、指数と実際の人数の関係を明らかにする必要がある。今回の場合は、小領域内に留まる人が最も多い時の人数と、その時点を中心分析を行なって得られた累積指数との比より、一人当たりの基準の累積指数を割り出した。この比率算出を数点に行ない、これを基に累積指

数から人数を求めた。ちなみに同分析における累積指数に対する人数の比率は0.077である。

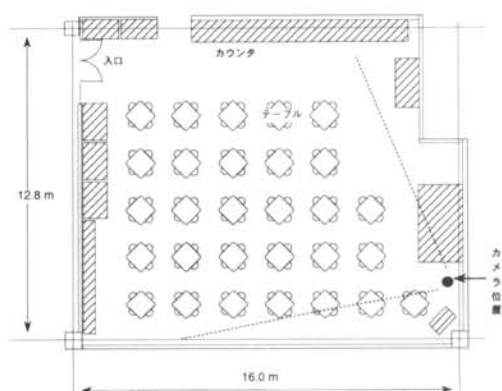
誤差要因は先に示した観測タイミングのずれによる影響が大きいと考えられる。領域が小さい場合、累積指数は個々人の累積誤差の影響を受けやすいためである。各小領域の単純和の方が精度的により点からも、同分析がより多くの人数を分析するのに適していると推測される。

また座っている人と立っている人では反応に差があるため、今後座る領域と立つ領域に分けた評価をする必要があると思われる。

3.2 実験2(食堂における実験)

先の実験結果から得られた推測として、同方法は群衆としての反応を見ることに適していると考えられる。この点を確認するため、先の実験より多人数を対象に実験を行なうことにより、累積指数表現の有効性の確認を試みた。

実験データの取得は、都内某所の食堂にて行なった。カメラ設置位置を図-6に示す。今回の計測の場合、先のアトリウムと違い天井高さが低いことから斜め位置からの観測となった。カメラは床面から高さ2.5mに設置、焦点距離3.8mmの広角レンズを使用し、一台のカメラで食堂のほぼ全域をカバーした。レンズおよび位置の関係上取得画像は歪みのある画像となり、奥行きの違いによる反応差が誤差になる可能性がある。この点に関しては、奥行き情報に対



図—6 カメラ設置位置 (食堂における実験)



写真—5 入力画像



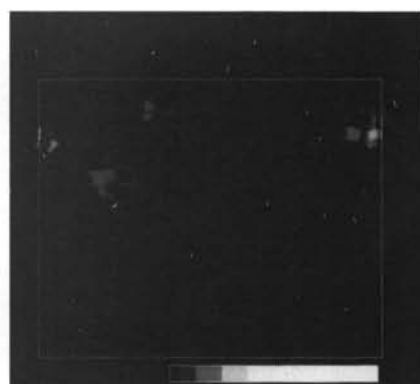
(a)経過時間10分



(c)経過時間50分



(b)経過時間30分



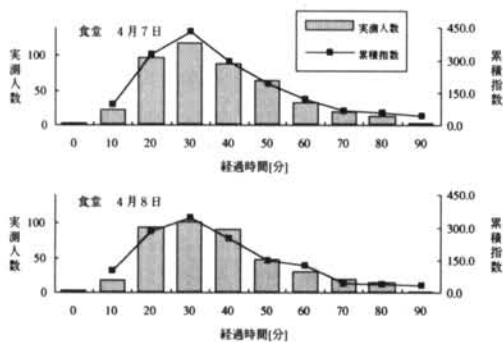
(d)経過時間70分

写真—6 累積画像

して反応に重み付けをすることにより対処した。奥行きに対する補正の程度は、写り込むテーブルの大きさと人同士の重なるの可能性を考慮し計算した。

処理段階の所設定は、背景の作成に20秒、累積に50秒を設定した、これを6回繰り返し全計測時間を

7分に設定した。これは食堂利用の性質上、背景の更新を頻繁に行なう必要があることと、揺らぎによる反応が期待できるためである。累積指数分析領域は、画像中のテーブル（一部を除く）およびその周辺を捕らえるよう設定した。



図一 7 実測人数と累積指数

経過 時間	4月7日				4月8日			
	実測人数	累積指数	換算人数	誤差	実測人数	累積指数	換算人数	誤差
0	3				4			
10	23	96.1	29.8	-6.8	19	104.8	32.5	-13.5
20	97	327.1	101.4		95	282.7	87.6	
30	118	431.4	133.7	-15.7	102	346.7	107.5	-5.5
40	88	292.3	90.6		92	250.2	77.6	
50	65	192.3	59.6	5.4	49	151.8	47.0	2.0
60	33	121.5	37.7		30	125.2	38.8	
70	20	69.6	21.6	-1.6	20	45.8	14.2	5.8
80	14	58.0	18.0		15	38.8	12.0	
90	4	43.9	13.6	-9.6	2	35.6	11.1	-9.1

表一 2 実測人数と累積指数

累積指数に対する換算人数の比率0.31

写真一 5 に入力画像例を、分析例を写真一 6 (a～d) に示す。図中白枠は累積指数分析用領域である。個人の累積反応は、観測タイミングとの関係上原理的に誤差を含むため、各テーブルでの利用時間を説明することはできない。しかし、分析を繰り返すことにより、利用状況の変化を知ることができる。なお、処理自体はリアルタイムに行なわれるため、例えば10分ごとに利用状況（累積画像）を出力することも可能である。

図一 7 に、目視による実測人数と累積指数の比較のグラフを示す。折れ線グラフは分析による累積指数の値、棒グラフは分析時間の中間の時点にて食堂を利用していた人の数を表す。この計測においても、先の実験と同様、指数と人数の時間変動は概ね一致している。可観測対象人数を100人程度に設定し累積指数を人数とみなした場合、その誤差は2割程度に収まり、今回の実験の方が精度的により結果を得ている。

累積指数と人数の関係は、人数の比較的多い時点における目視計測人数と、その時点を中心に分析し

た際の累積指数の比率を数点にて採取し、その平均を参考にした。同分析における累積指数に対する換算人数の比率は0.31である。

累積指数の人数表現に関しては、同指数が群衆の総体として一定時間内に表す特徴量であることを考えれば、一時点の人数との比較による誤差判定は適当でないとも言える。しかし、今回は食堂という状況から、一時点に観測される人数に大きな変動はないとみなせるため、同手法の有効性確認には十分と考えられる。

このように指数と人数の関係は、観測される対象の状況により決定される側面も持っている。よって今後様々な状況でのデータ分析を通し、この点を明らかにして行く必要がある。

§ 4. おわりに

カメラの映像情報を基に、群衆を対象にした行動状況の評価を行なった。結果の累積画像より、人の滞留の起こりやすい場所、歩行に使用される場所、使用されない場所等の把握ができ、広場の利用状況等が分析できる。時間的な現象の平均的な特徴を捉えるため、単なる画像の差分では処理しきれなかった短時間に発生する特殊な現象を未然に取り除くことができる。また評価値として累積指数を設定し、実際の目視計測人数との比較を行なった。今回は対象としての群衆は最大120人前後であったが、より多人数にも対応できる能力はあると思われる。

本手法は、群衆が一定時間に示す行動量を、時間的空間的に平均化して出力する方法である。この特性は、一時的な現象よりも定常的な行動に関心が持たれる広場の利用状況分析等において、その有効性を発揮するものと考えられる。測定装置もシンプルな構成のため、常設による環境評価等への展開も可能である。

今後検討すべき項目を以下に整理する。

1) 広場等の環境評価への応用

- ・ 様々の条件下、場所、時間帯におけるデータの収集。
- ・ 作業分析。
- ・ 立つ人と座る人の領域を分けた評価。

2) 計数装置としての検討

- ・ 累積値と通行量の関係を示し、通行量分析への適用を検討する。

3) 計測精度の向上

- ・ タイミング (今回 1 通り) の複数化.

<参考文献>

- 1) 例えば, 日本建築学会建築計画委員会編: “安全計画の視点” 彰国社 (1981年)
- 2) 竹内啓五, 掛川秀史, 長田耕治: “画像による歩行者情報抽出法” 第 15 回情報システム利用技術シンポジウム (1992年) pp.143~149
- 3) 黄秉元, 高羽禎雄: “ITV 画像による人の流れの実時間計測” 電子情報通信学会論文誌 Vol.J66-D (1983年) pp.917~924
- 4) 志田弘二, 辻本誠: “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)
- 5) 例えば, 前田英作, 塩昭夫, 石井健一郎: “正規化主成分特徴量を利用した物体抽出法とその定量的評価” 電子情報通信学会論文誌 D-II (1992年) pp.1660~1672
- 6) 例えば, A Rourke M G H Bell: “Wide area pedestrian monitoring using video image processing” IEE Conf Publ (Inst Electr Eng) (GBR) [354] (1992) pp.563~566
- 7) 西谷賢二, 渡辺仁史: “形の粗視化による群衆の人数計測に関する研究” 日本建築学会計画系論文報告集 (1993年) pp.105~112
- 8) 笹間宏: “鉄道における画像処理の応用” 計測と制御 Vol.27 No.12 (1988年) pp.51~58
- 9) 上原孝雄, 稗田哲也, 他: “広場における滞留者の行動性状” 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1979年)