

## 画像処理手法を応用した手ブレ検出装置

Camera-blurring detection system by image processing method.

中嶋 正<sup>+</sup> 安居院 猛<sup>+</sup> 中内 健二<sup>+</sup> 柳川 和雄<sup>+</sup>

<sup>+</sup>東京工業大学情報工学研究施設 <sup>+</sup>富士写真フィルム株式会社

Masayuki NAKAJIMA Takeshi AGUI Kenji NAKAUCHI Kazuo YANAGAWA

(Tokyo Institute of Technology) (Fuji Photo Film Co.,)

In this paper, a new camera-blurring detection algorithm using one dimensional photo-diode array is proposed. Mean values of absolute density obtained from every element of the array detector are calculated while a shutter is opening. Object moving direction and 50  $\mu\text{m}$  movement on the film are detected from these values. Many simulation results of blurring detection are shown.

### 1. はじめに

近年、エレクトロニクス技術の急速な発展は様々な分野に影響を与え新しいニーズを実現可能にしている。このような技術開発の中にあつてカメラ産業も例外ではなくエレクトロニクス技術を応用した種々の新しい機能を備えたものが市場に出回っている。高級一眼レフカメラの中には、絞り優先AE、シャッタ速度優先及びプログラムAEなどの複数の機能を持つマルチモードタイプのもも多く、一眼レフカメラには困難といわれたAF(オートフォーカス)機能をそなえたものもあり、マイクロコンピュータなどで演算、制御されている。また、モータドライブによるフィルムの巻き上げ、巻き戻しの完全自動化は連続撮影を可能にし、LEDや電子音での情報伝達、ストロボ内蔵、データ記入もできこのほか生活防水のほどこされたウエザーマチックなど写真撮影から面倒な操作を不要にしてきた。

今後、より簡単な操作でかつ確実な写真を失敗なく撮ることが出来るカメラの開発が続くものと思われる。本報告は、現在撮影のミスの中で最も多い部類にあると考えられる「手ブレ」に関し、そのデジタル信号処理による自動検出装置の試作実験について述べる。

### 2. カメラの手ブレについて

#### 2.1 ブレについて

一般の写真撮影の失敗には「露出不適性」、「ピンボケ」、「ブレ」等が考えられるが、このうち露出不適性はEE機構で、ピンボケはAF機構で補正および防止が可能であり実現化されている<sup>1)</sup>。しかし、「ブレ」についてはこれを補正または防止する機能はなく、現在手ブレ警告をしてあるものは、シャッタ速度が手ブレを起す可能性が生じる程遅くなった場合に警告を発するものであり、実際の手ブレを検出するものではない。ブレ検出が実現されてない理由として、ブレの方向が予測できないこと、ブレが非常に微妙な変化であること、また、実装上の問題から検出部の数が制限されることなどが上げられる。

\*ブレには「手ブレ」と「被写体ブレ」があるが、本報告では手ブレのみを対象とする。

手ブレの検出方法としては、大きく分けて次の二つの方法が考えられる。

- 1 機械的ショックを検出する方法。
- 2 フィルム面上に写る画像の動きを検出する方法。

本報告では、光電変換素子を検出部に使うことを考え2の方法について考察する。

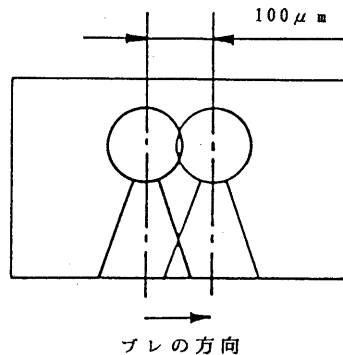
#### 2.2 ブレの判定基準について

ブレ検出をシミュレーションする場合、どの程度の画像の移動をブレとするか問題になるが、本研究では下記のようにブレを定義する。

[定義1] ブレについて

ブレ = 35mmフィルム面上で  
100  $\mu\text{m}$  以上の画像の移動  
(図1参照)

この100  $\mu\text{m}$  という値は、移動量を変えたいくつかの写真についてどの程度の移動量を「ブレ」と感じるかという富士フィルムによるアンケート調査の結果、100  $\mu\text{m}$  以上をブレと感じる人が多いという結果に起因している。また、実際のカメラの手ブレの場合、ブレによるカメラ本体の動きには平行移動、



○ 35mmフィルム面換算で100  $\mu\text{m}$  以上の画像の移動をブレとする。

図1 ブレの判定基準

回転等が考えられるがここでは平行移動のみを対象とした。

### 3. 手ぶれの検出部の構成

手ブレ検出には白黒の濃淡画像を使用している。実用的には被写体は色彩画像であり、検出素子の分光感度等を考慮しなければならないが、実験ではこれについて特に考慮せず照度情報のみを使った。また写真撮影中（ブレ検出中）の被写体の明るさは変化せず一定のものと仮定する。

ブレ検出は複数個の光電変換素子の組合せで1組の検出部と

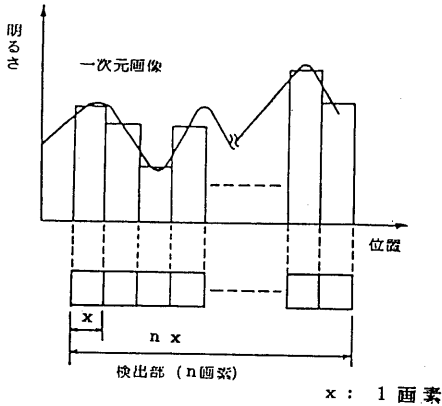


図2 一次元画像のサンプリング

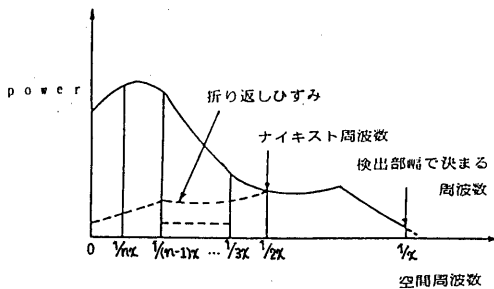


図3 n個の幅xの一次元検出部から情報として得られる空間周波数

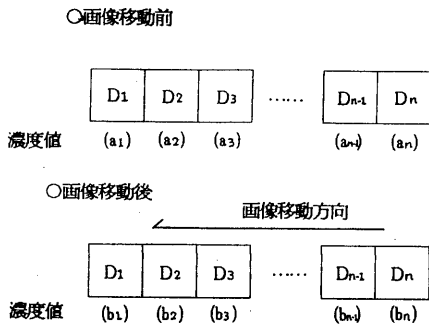


図4 検出方法

することを想定している。本研究報告では、検出部各々の素子に対応するものを「画素」と呼ぶことにする。画素の大きさが、被写体の濃淡変化を検出することができる最小範囲を決める。一次元画像を対象に画素の幅を  $x$  としこの画素を  $n$  個連続に並べた検出部を考えると、図2で示されるように、各画素には画幅  $x$  に対応する画像照度の平均値で入力される。

このような検出部では、サンプリング定理により、 $1/2x$  より高い空間周波数を含む画像の完全なサンプリングはできない。また画素数によって直流成分を除く情報として得られる最低の周波数が決る。この様子を図3に示す。実際、被写体にどのような周波数成分が含まれているかは予測できない。もし、 $1/2x$  より高い周波数成分が存在する場合、図3に示すように、高周波数成分の折り返しヒズミにより検出に悪影響を与える可能性がある。本研究では、ブレ検出の判定基準が  $100 \mu\text{m}$  であることから、1画素の大きさを  $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$  の正方形とした。  $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$  において検出可能な最高の空間周波数は  $1/200 (\mu\text{m}^{-1})$  となり、これ以上の高い周波数成分を含む画像では折り返しヒズミにより誤検出する可能性があるが、 $1/f$  特性<sup>2)</sup>により、 $1/200 (\mu\text{m}^{-1})$  よりも低周波数成分に対しては無視できるものとして扱うことにする。

### 4. 画素並び方向の移動検出シミュレーション実験

画像が移動する直前と移動後の検出部濃度データから画像移動量と関係する何らかの特徴量を求めることができれば、この特徴量の大小によりブレを判定することができる。そこで、このような特徴量の一つとして検出部各画素の濃度変化の絶対値総和と移動方向にずらした画素との濃度差変化の絶対値総和を用い、これを比較することによって移動点を検出する方法を利用したブレ検出アルゴリズムを提案する。

#### 4.1 微小動きの検出アルゴリズム

対象画像が検出部画素間隔に比べて周期の長い周波数成分で構成され、高周波成分の少ない画像であるとすれば、図4のように一列に並べた検出部の各画素の画像移動による(1)式に示す濃度変化の絶対値は単調に増加し、その総和も単調に増加する(但し、画像の移動量は1画素以内とする)。すなわち、図4のように画像の移動方向を検出部の画素が並び方向と平行とし(以後、この方向を画素並び方向という……図5参照)、 $D_1 \sim D_n$  各画素の初期濃度値をそれぞれ  $a_1 \sim a_n$ 、画像が1画素移動する途中のある場所での濃度値を  $b_1 \sim b_n$  とすると移動による各画素の濃度変化の絶対値の総和  $S_1$  は(1)式のようになる。また、移動方向に1画素ずらした画素の初期濃度との差の絶対値総和  $S_2$  は(2)式のようになる。

$$S_1 = \sum_{i=1}^n |a_i - b_i| \quad (1) \text{式}$$

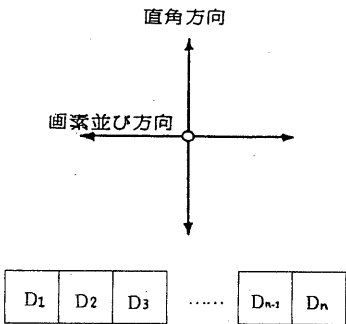
$$S_2 = \sum_{i=1}^n |a_{i-1} - b_i| \quad (2) \text{式}$$

画像の移動に伴い  $S_1$  は0から増加していき、1画素移動し

たところでS2の初期値と等しくなる。S2はS1と逆に減少してゆき、1画素移動点で0になる。このS1、S2の変化は画像が画素間隔に比べて十分に周期の長い濃淡で構成されていればほぼ直線的であると考えられS1とS2の値が一致する点が0.5画素移動点である。この様子を図6(a)に示す。上記のことは、あらかじめ画像の移動方向がわかっている必要があるがこの予測はできない。このため実際の移動検出では左右どちらの方向の移動に対しても検出できるようにS1、S2と逆方向の値も比較する。これをT1、T2とし、それぞれ(3)式(4)式のようになる。

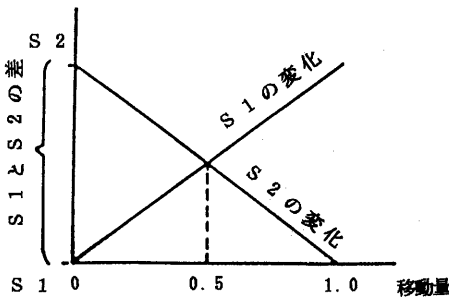
$$T1 = \sum_{i=1}^n |a_{i,1} - b_{i-1}| \quad (3) \text{式}$$

$$T2 = \sum_{i=1}^n |a_i - b_{i+1}| \quad (4) \text{式}$$



- 画素並び方向: 検出部画素D1~Dnの並びに対して平行な方向
- 直角方向: 画素並び方向に対して直角な方向
- 斜め方向: 上記以外の方向
- ※上図は画素が横に並んでいる場合であるが、縦に並ぶ場合の画素並び方向と直角方向は上図と逆になる。

図5 移動方向の名称



単位: 画素

(a) 画素並び方向への移動

図4において画像が左側に移動した場合、T1、T2は逆方向移動となるが、画素並び方向の移動であればT1、T2の差はほぼ一定になり一致することはない。S1(S2)とT1(T2)のどちら側の値が一致したことをみることにより移動方向も検出することができる。画像移動方向が検出部の画素並び方向と一致する場合は、S1とS2、またはT1とT2を比較することにより0.5画素移動点を見つけることができ、その移動方向も検出できる。これが微小変化検出の原理となっている。一方、画素並び方向移動に対して斜め方向や直角方向に画像が動いた場合は必ずしも0.5画素移動点を見つけることができるとは言えず、図6(b)に例を示す様にS1とS2の値が0.5画素移動点より早く一致したり、遅く一致したりバラツキがあることが予想され、また移動方向と逆方向の検出値が一致し、逆移動検出が起ることが考えられる。斜め移動の影響の大きさは画像によって異なるが、移動距離が1画素と小さく画素間の相関関係が強いと考えられるためS1(T1)とS2(T2)の一致点は0.5画素移動付近に多くなると考えられる。

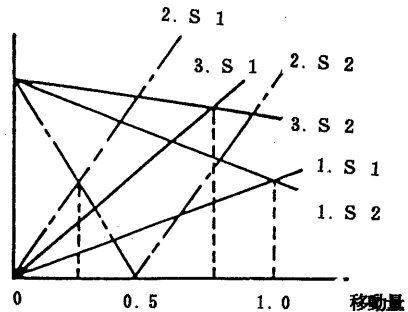
#### 4.2 シミュレーション実験方法

4.1で述べたブレ検出のアルゴリズムに従い、実際にブレ検出実験を行った。人物、風景、集合写真等の各種の写真についてそれぞれ画像中の任意の16個所に検出部の配置し、ブレ検出実験を行なう。画像の移動は表1に示すように35回動かし、それぞれの移動画像において(5)式および(6)式によりS3、S3の値が0または負になった検出部の数をカウントする。

$$S3 = S2 - S1 \quad (5) \text{式}$$

$$T3 = T2 - T1 \quad (6) \text{式}$$

カウント数の大小によりS1とS2の一致点がどの位の移動量に多いかという傾向をみる。検出部は行列構成ではなく図4のように一列配置であり、シミュレーションは検出部の画素数を



1. S1とS2の一致点が0.5画素より大。
2. S1とS2の一致点が0.5画素より小。
3. S1とS2の変化の勾配が違う。

(b) 斜め方向の変化例

図6 S1とS2の変化

表1 移動画像の移動量 単位: 画素

	j方向	i方向	j方向	i方向	j方向	i方向	j方向	i方向
0	0	0	9	0.2	0.5	18	0.5	0
1	0	0.2	10	0.2	0.6	19	0.5	0.2
2	0	0.4	11	0.2	0.8	20	0.5	0.4
3	0	0.5	12	0.4	0	21	0.5	0.5
4	0	0.6	13	0.4	0.2	22	0.5	0.6
5	0	0.8	14	0.4	0.4	23	0.5	0.8
6	0.2	0	15	0.4	0.5	24	0.6	0
7	0.2	0.2	16	0.4	0.6	25	0.6	0.2
8	0.2	0.4	17	0.4	0.8	26	0.6	0.4
27	0.6	0.5	28	0.6	0.6	29	0.6	0.8
30	0.8	0	31	0.8	0.2	32	0.8	0.4
33	0.8	0.5	34	0.8	0.6	35	0.8	0.8

(注) No. 0は基準画像で移動前の画像である。  
j方向は画像に対して垂直方向, i方向は画素並び方向の移動量を表わす。

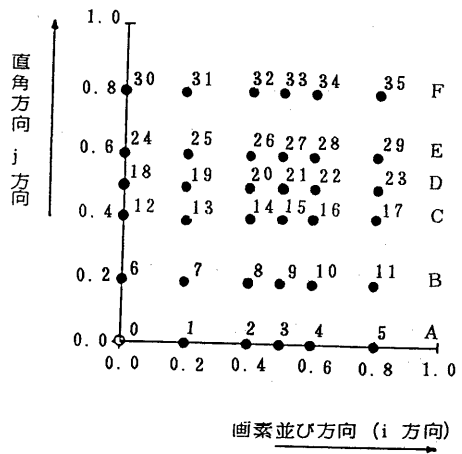
n (n=2, 4, 8, 16) とし, データ階調レベルは12ビット(2048)とする。

#### 4.3 実験結果

表1および図7に示す35種類の画像の微小変化を与えて, 16個所の検出部により, その移動検出を行った結果を図8に示す。この図で検出率とは(5)式および(6)式よりS3, T3の値が0または負である検出箇所全体の割合であり, 直線が正しく動きを検出した率を表している。図のグラフには破線で移動方向と逆方向の移動を検出してしまった「逆移動誤検出」も同時に示している。また図中, A(0.0)~F(0.8)の図は図7に示すようにjが0から0.8まで移動している場合を示している。すなわち, A(0.0)は画素並び方向移動検出(直角方向の移動量が0)で他の右上のB(0.2)から右下のF(0.8)は斜め移動の検出でありB~Fの( )内の数値が増えるにしたがって斜め方向の移動量が増し角度も大きくなり90度に近くなることを示している。

図8から次のことがわかる。

- 1 各図中, 最も良好な結果を示しているのは各図共, 左上のA(0.0)の結果である。これは移動方向が画素並び方向で斜め方向および直角方向の移動がない場合である。
- 2 図では画素数nを変化させているが当然のことながら, 一番良い結果を示しているのは画素数がn=16である。これはn=16では0.6画素移動点で100%移動検出して, また逆移動誤検出も少ない。これより, 画素数は16で十分であるといえる。
- 3 nは16以上は不必要であるが, その下限は, 画素数n=8でもn=16と変わらない程度の結果が得られている(Aの検出では0.6画素移動点で97%検出している)。
- 4 2とは逆に最も悪い結果を示したのは(a)図に示す実験結果で, これはn=2と画素数が最も少ない条件でAの0.8



単位: 画素

図7 画像の移動配置図

画素移動点でも50%の検出でn=16の約1/2の検出率であり逆移動誤検出も多くなっている。

- 5 2と4より, 画素数が少ないとそれだけ情報を失うことになり検出率も低く逆移動誤検出が多くなる。
- 6 逆移動誤検出は画素数nが小さい程大きくなる。これより, 画素数n=8以上であれば, 88%以上の確率で微小動きの検出が行なえることが明らかとなった。

#### 4.4 S1とS2の変化について

図9は, 代表的な画素並び方向の移動におけるS1とS2の変化の様子, 図10は, 画素並びに対し, 斜め45度方向移動におけるS1とS2の変化の様子を示したものである。但し画素数はn=2, 4, 8, 16である。

図9, 図10について以下のことがわかる。

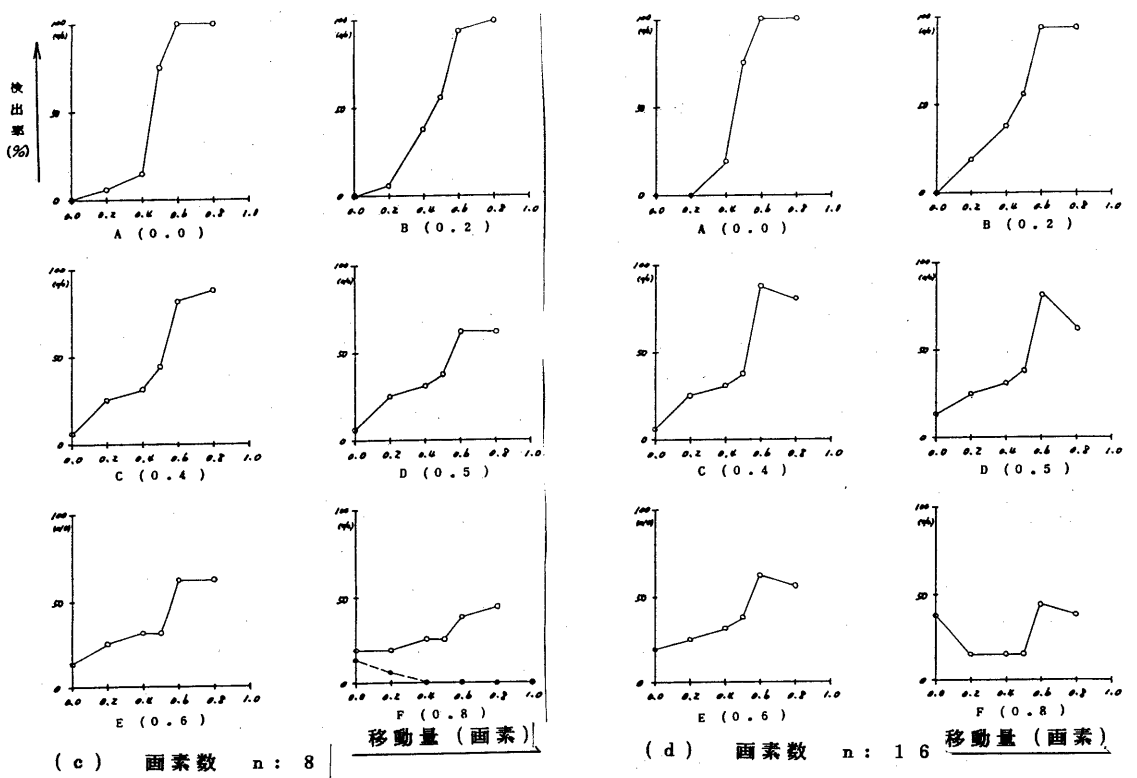
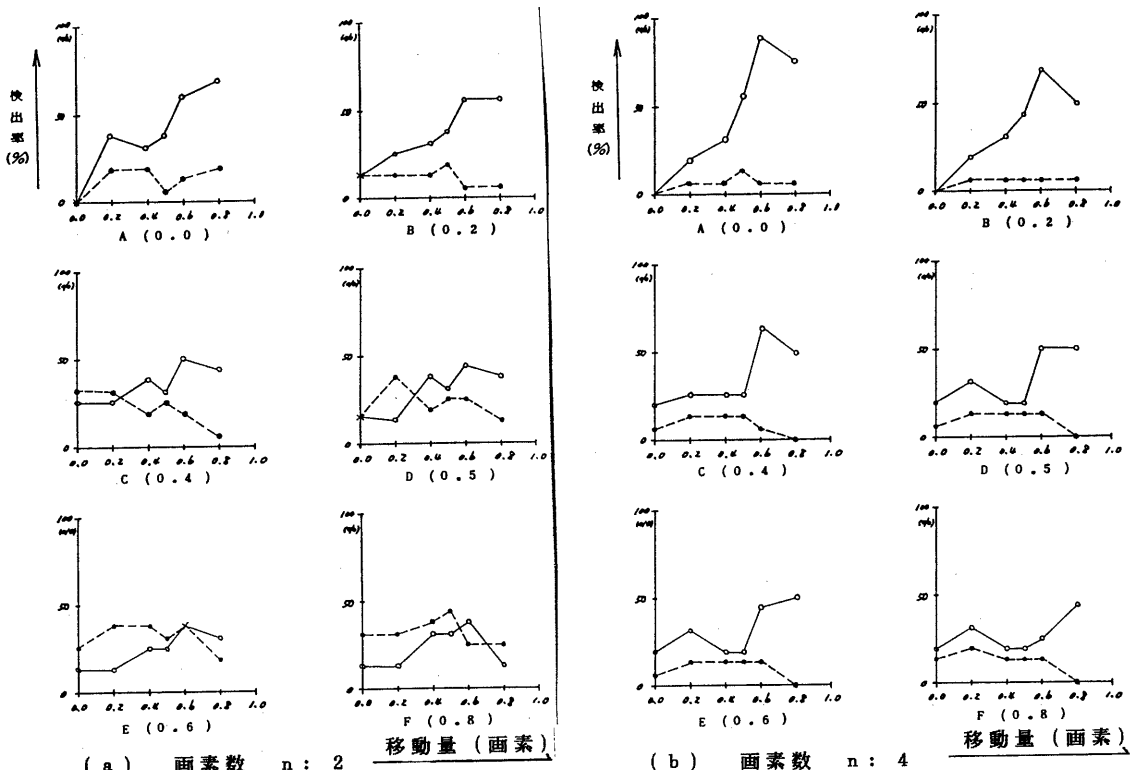


図8 検出器の画素数に対するブレ検出率  $n = 2 \sim 16$

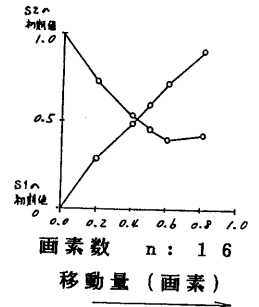
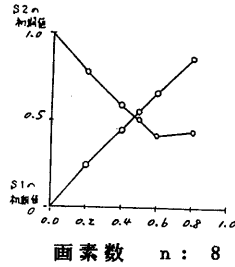
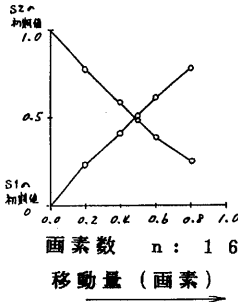
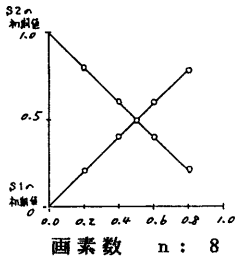
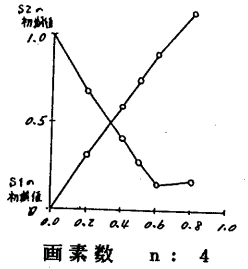
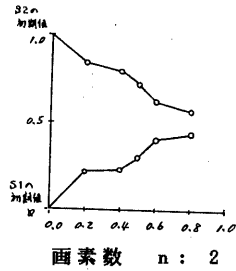
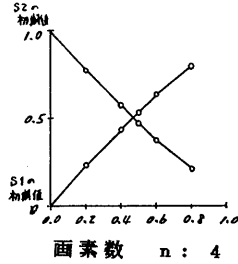
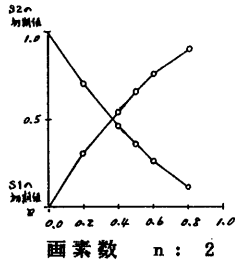


図9 画素並び方向の移動における S1とS2の変化の様子

図10 斜め45度方向移動における S1とS2の変化の様子

図9：画素数（ $n=2, 4, 8, 16$ ）共、画素並び方向の移動としては図6（a）に示すように理想的な結果を示しているが $n=2, 4$ においてS1とS2の一致点が0.5画素移動点よりズレている。

図10：画素数が $n=2$ ではS1とS2の一致点がない。S2の変化が直線的でなくS1の変化の傾きが大きい。

これらのS1とS2のグラフより共通に次のように言うことができる。

1. 検出部画素数 $n=8$ と16の場合は画素並び方向および斜め45度方向移動でもS1の変化はほぼ直線的であることがわかる。画素数 $n=2, 4$ では、S1の変化が直線的でなくバラツキている。
2. S2の変化は、画素並び方向の移動については、斜め45度方向の移動では直線的でない。
3. 画素並び方向移動では、画素数 $n=8$ と16ではS1とS2の一致点がほぼ0.5画素移動点であるが画素数 $n=2$ と4の場合は0.5画素移動点よりズレている。また、斜め45度方向ではS1とS2の一致が0.5画素移動点よりズレていて画素数 $n=2$ では一致しない場合もある。

4章におけるシミュレーション実験の結果を以下にまとめる。

1. 画素並び方向の移動では、検出部画素数 $n=8, 16$ では0.6画素移動点で100%移動検出し、S1とS2の変化も図6（a）に示すように理想的な結果を示している。

2. 検出部画素数が $n=2, 4$ では0.8画素移動点であっても検出率が50%と低くS1とS2の変化も直線的でなくバラツキがある。画素数が少ないとそれだけ情報を失うことになり検出率も低く、逆移動誤検出が多くなる。

3. 斜め方向の移動検出では、画素並び方向より直角方向移動成分の影響が増大するが、 $n=8$ 以上であれば、高い検出率で移動検出が可能である。

## 5. プレ検出装置の構成

4章に示した実験結果より（1）、（2）式を用いた微小動きの検出方式がプレ検出に有効であることが分った。そこで実際にプレ検出装置を構成する方式について示す。

### 5.1 検出部の配置

一般の写真撮影では、カメラの手ブレ方向としてシャッターを押すという作業に伴い発生すると考えられるため上下方向のブレが多いものと考えられる。そこで、カメラ内に配置する検出部の画素並びは、図11に示す様に上下方向にすることが望ましい。また、検出部の個数は、多い方が良いと考えられるが、検出部が多い程コストの上昇と演算時間が長くなるという欠点がある。また、検出部の配置は、画面内均等に配置することが望ましい。そこで、プレ検出部は、4行4列の合計16個で図12に示すように配置した。例えば、青空などのように全く変化のない部分に対しては、本方式によりプレ検出が不可能なの

で、全画面に均等に配置されることが望ましい。この16個の全検出部が同時にブレ検出の演算を行い、S3 (T3) の値が0または負となった個数をカウントして、複数の検出部が同時にブレの検出を行った時点でブレが生じたと判定する。

### 5.2 検出部画素数と階調レベルの影響

第4章で示した実験結果より、画素数は、16以上は不必要と考えられるので、 $n=4$ と8に設定する。また、S1, S2を計算するための階調レベルは、6, 7, 8, 10, 12ビットの5つの階調について実験を行った。図13は、 $n=4$ における16個の検出部に対するブレ検出結果を示すものであり、図14は $n=8$ における結果を示したものである。これらの結果より次のことが言える。

- 1 画素並び方向の検出であれば $n=4$ であっても $n=8$ と同様充分検出できることが分った。
- 2 0.6~0.8画素の移動点で平均検出率が9.4%と良好な結果を得ている。
- 3 階調レベル値は多いほど良好な結果を示すが、8ビットもあれば充分であり6ビットでも検出は行なえることが明らかとなった。

### 5.3 斜めのブレの検出

5.2では、上下方向のブレに対する検出結果を示した。多

くのブレは上下方向と考えられるが、多少斜め方向の移動も検出できることが望ましい。

$n=8$ で階調数が12ビットの場合、図8(c)に示す様に、B(0.2)およびC(0.4)において0.6移動時に約90%の検出率を得ているが、D(0.4)になると60%と悪化している。これより、本ブレ検出装置においては、約±20度以内の斜め方向のブレ検出も可能となると考えられる。

### 6. おわりに

実際カメラの手ブレ検出の問題としてブレの方向が予測できないこと、ブレが非常に微妙な変化であること、また実装上の点で検出部の数が制限されることなどがあげられる。本報告では、画素濃度変化の絶対値の総和S1, S2を求め、 $S1 > S2$ となる変化を検出することによりカメラのブレを検出する方式の提案を行っている。通常のカメラのブレは上下方向が多いものと考えられるため、上下方向に並べられた $n=2\sim 16$ の検出部画素数でブレの検出実験を行い、 $n=4$ 、階調レベル64であっても、9.4%以上のブレ検出が行なえることを示した。今後の方向としては、20度以上の斜め方向移動に対しても効果的なブレ検出方式を検討する予定である。

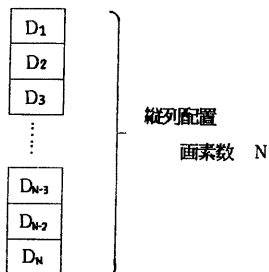
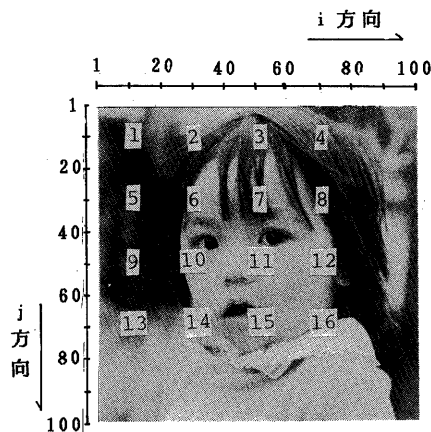


図11 検出部の構成



単位：画素

図12 検出部の配置

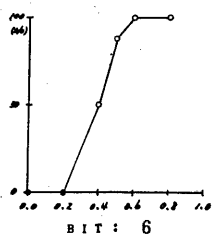
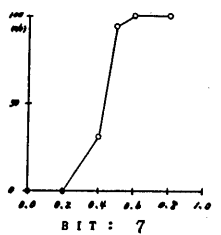
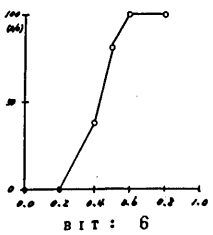
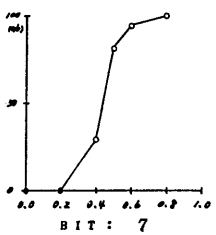
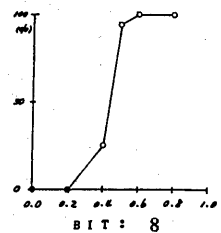
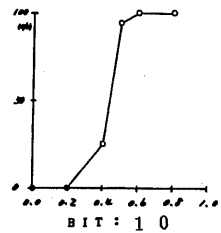
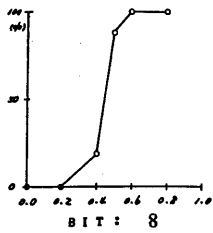
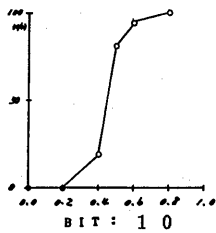
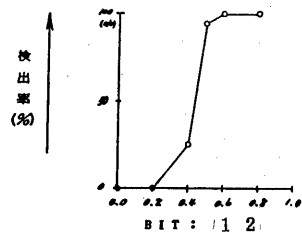
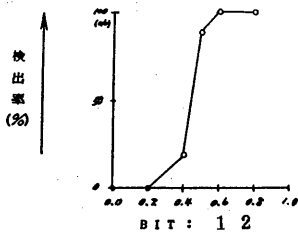


図 1 3  $n = 4$  の場合における  
階調レベルの影響

図 1 4  $n = 8$  の場合における  
階調レベルの影響

参考文献

- 1) Horst Linge, Hans Zimmer, Volker Neuhoff: Focus Adjustments Linear Systems; Proceeding of the first International Symposium on Medical Imaging and Image Interpretation ISMIIL. 82. oct 1982
- 2) 武者利光: ゆらぎの世界, 講談社ブルーバックス