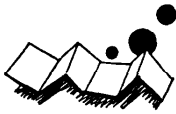


解説



ステレオ画像の三次元自動解析†

小堀 哲雄†† 河野 隆之††† 篠崎 志朗††††

はじめに

物を立体的に見るステレオ写真の方法を計算機に適用してその立体像を数値的に再現し、いままで人が感覚的にしか捉えていなかった形状の数値情報をとり出すシステムについて述べる。

このシステムは、原子炉配管系内部の微小な腐食斑の立体形状を自動的に解析することを目的としたものであるが、用いられている手法は腐食斑の解析だけでなく、航空写真を使った地図作成にも応用が可能である。

ここでは、ステレオ計測法の簡単な紹介から始めてそれを計算機に適用する方法を述べ、最後に実際のステレオ写真の解析に応用した結果を示してみる。

1. ステレオ計測法

1.1 立体視

われわれが物を立体的に見ることができるのは、左右の目が少し違った角度から物を捉えているためである。この時の立体感の強弱は、図-1の(a)に示すように物と左右の目でつくられる二等辺三角形の頂角 θ の

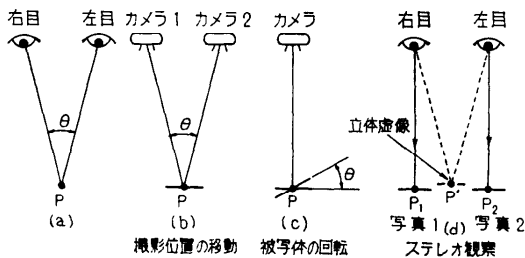


図-1 ステレオ写真の撮影と観察

大きさを決められる。たとえば、遠くの物が平面的に見えるのはこの角度 θ が非常に小さく、左右の目で捉えた像の間にほとんど違いがないためである。ステレオ写真による立体視はこの原理¹⁾を応用したもので、図-1の(d)は人が2枚の写真で立体視をおこなっているところを示している。

ステレオ写真を撮る方法は、図-1の(b)と(c)に示されるように2通りある。1つは被写体から等距離にある異なった2点で写真を撮る方法で、1つは固定された点から被写体を回転させて撮る方法である。前者の方法は空中写真のようなマクロな対象に適用され、後者の方法は顕微鏡写真のようなミクロな対象に適用されている。

1.2 三次元計測

代表的な2つのタイプのステレオ写真として、微小な試料を回転させそれを走査型電子顕微鏡(SEM*)で撮った写真と撮影点を移動させて撮った空中写真とをとりあげ、写真中の任意の点の深さや高さ(比高)を求める方法^{2),3)}を簡単に述べてみる。

a. SEM ステレオ写真

通常、SEMで撮られた写真は非常に鮮明であるため、対象の表面の微細な様相を克明に捉えることができる。これは、SEMが一般の光学顕微鏡に比べて焦点深度が非常に深く、かつ電子プローブ径を非常に小さく絞ることができるためである⁶⁾。図-2はSEMでステレオ写真を撮るときの状況を示している。電子銃から出る細い電子ビームは試料上を縦横に走査すると同時に、試料の表面から二次電子をたたき出す。この二次電子は検出器で集められ、その多少に応じて電子ビームの走査と同期した画面上の位置に明暗のスポットで表示される。試料表面の微小な突起部では、特に多くの二次電子を放出するため明るく写り、エッジの強調された鮮明な写真になるのがSEMの特徴である。

† Three Dimensional Analysis of Digitized Stereograph by Tetsuo KOBORI, Takayuki KAWANO (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) and Shiro SHINOZAKI (IBM Japan, Ltd.).

†† 動力炉・核燃料開発事業団, 新型転換炉開発本部

††† 動力炉・核燃料開発事業団, 大洗工学センター部品機器試験室

†††† 日本 IBM (株) 東京第一 DC 情報技術

* SEM: Scanning Electron Microscope

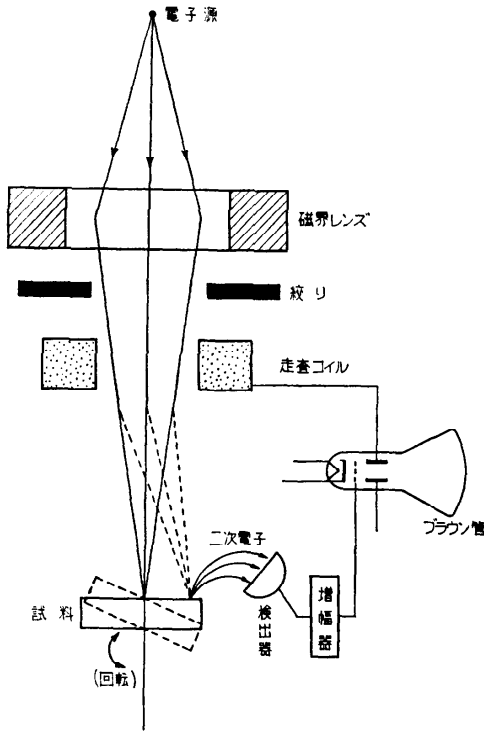


図-2 走査型電子顕微鏡での撮影

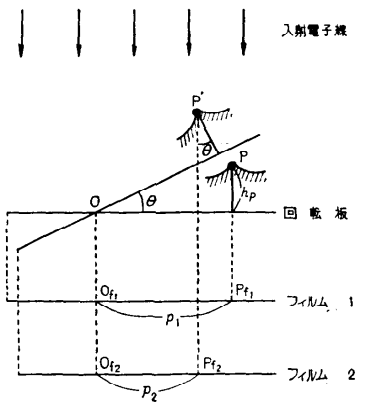
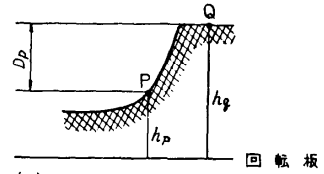
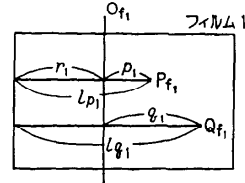


図-3 SEM ステレオ写真

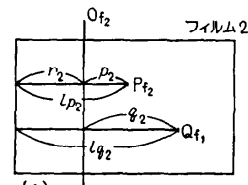
図-3は試料上の点が高さに応じてステレオ写真中のどの位置に写るかを示している。ここでは簡単のため(また、実際近似的に成り立つとみてよい)、入射電子線は互いに平行とし、得られる写真は試料の完全な正射影で歪みもないものとする。図-3からわかるように、試料上の勝手な点Pの回転板からの高さ h_p は写真(またはフィルム)上の回転軸 O_{f1}, O_{f2} と



(a)



(b)



(c)

図-4 視差の計測

P点 P_{f1}, P_{f2} との間の距離 p_1, p_2 を用いて、

$$h_p = \frac{p_1}{\tan \theta} - \frac{p_2}{\sin \theta} \quad (1)$$

と表わせる。しかし、実際には軸位置を写真中から読みとることができないため、図-4の(b), (c)に示すように写真縁からの距離 l_{p1}, l_{p2} を p_1, p_2 の代りに用いる。この場合、式(1)の右辺が与えるP点の高さ h_p' は

$$h_p' = \frac{p_1 + r_1}{\tan \theta} - \frac{p_2 + r_2}{\sin \theta} = h_p + \hat{h} \quad (2)$$

と、回転板からの真の高さ h_p に軸位置と回転角に依存する項が付け加わった形で与えられる。軸位置が不明なためにあらわれる \hat{h} は、試料上のすべての点について同じ値であるため、図-4の(a)に示すように試料上のQ点を基準としたP点の深さ(この図の場合は深さ。もしP点、Q点の位置が逆転している場合は比高と呼ぶようここでは区別する。)を求める場合には相殺される。

すなわち、この場合のP点の深さ D_p

$$\begin{aligned} D_p &= h_p' - h_p' \\ &= h_p + \hat{h} - (h_p + \hat{h}) \\ &= h_p - h_p \end{aligned} \quad (3)$$

と、回転板からの高さ h_p, h_q の差を正しく反映した形で求められる。

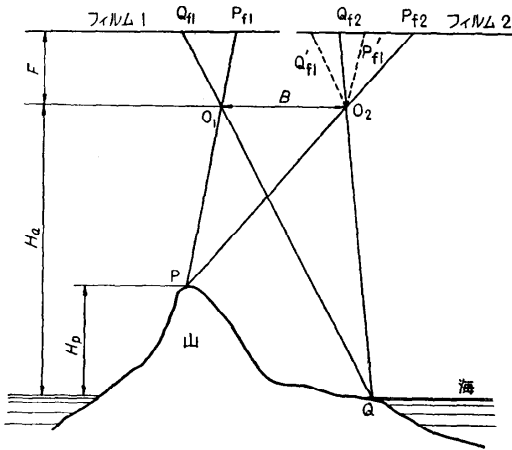


図-5 ステレオ空中写真

b. 空中ステレオ写真

現在では、地図の作成にあたって空中ステレオ写真は不可欠なものとなっている。図-5は、土地の起伏状態がステレオ写真上にどのように写されるかを簡単に示している。いま、Q点の高さを基準としたとき、P点の比高 H_p は撮影高度 H_c 、撮影基線長 B 、カメラ焦点距離 F 、および両点間の視差差 δl ($Pf_2P'f_1$ と $Qf_2Q'f_1$) の差を用いて次のように与えられる。

$$H_p = \frac{K \cdot \delta l}{1 + K \cdot \delta l / H_c} \quad (4)$$

$$K = H_c^2 / F \cdot B$$

この場合にも、ステレオ写真から横視差を求めるには写真縁からのP点、Q点までの距離を測定する。

実際には写真が中心投影であるため、また写真周辺に歪みがあるために、それらに応じた補正が必要になる。さらにまた、撮影時における飛行機の傾きや若干の高度の違いに対しても同様に補正が加えられる。地図作成に用いられるステレオ図化機では、これら必要な補正をすべておこない、得られる等高線などは精度の高いものとなっている。

1.3 計測の精度

ここでは、式(3)または式(4)において $p, \theta, \delta l$ などに誤差が含まれる時、計算される値にどの程度の誤差があると予想すればよいかを示す。

式(1)において、 p_1, p_2 の持つ誤差を $\Delta p, \theta$ の誤差を $\Delta \theta$ とする。いま回転角 θ が小さいという近似をとると、式(3)から計算される深さ D (以下、添字 p をとる) の相対誤差の上限は

$$\frac{\Delta D}{D} \leq \frac{1}{\theta} \left(\frac{2\Delta p}{D} + \Delta \theta \right) \quad (5)$$

と与えられる。通常 $\Delta \theta$ は 10^{-3} ラジアン程度の小さなものであるため、深さの誤差 ΔD からこの項をとり除き、 ΔD を

$$\Delta D \leq 2\Delta p / \theta \quad (6)$$

と近似することができる。ここで誤差 Δp は、写真上から距離を測定する際に用いるものさしの最小目盛の大きさ d とフィルム倍率 f を使って

$$\Delta p = d / f \quad (7)$$

とあらわせる。

一方、式(4)の場合は、比 H/H_c が小さいという条件のもとで、相対誤差の上限を

$$\frac{\Delta H}{H} \leq 2 \frac{\Delta l}{\delta l} + 2 \frac{\Delta H_c}{H_c} + \frac{\Delta F}{F} + \frac{\Delta B}{B} \quad (8)$$

と与えることができる。ここで Δl は視差差の持つ誤差であり、その大きさは前の Δp に同様としてよい。

式(8)でも、第2項以上の影響が小さいものとして無視できる場合には、比高の誤差 ΔH は

$$\Delta H \leq 2 \cdot K \cdot \Delta l \quad (9)$$

と近似することができる。

1.4 撮影の条件

SEM で写真を撮るにあたっては、試料をどの程度の倍率で、またどのくらいの回転角を与えて撮影すればよいかが問題になる。このことは、空中ステレオ写真の場合でも同様であり高度と撮影基線長がそれに対応する。

この撮影時の条件は、対象の計測をどの程度の正確さでもとめるか、すなわち許容される誤差をいくにするかで与えられる。たとえば、許容誤差の大きさとして、腐食斑の場合は予想される最大深さの1割程度を、また地上の起伏であれば描くべき等高線間隔の1/3程度を与える。この値が決まれば、撮影条件の目安は前節の式(6)と(9)を逆にながめることにより導き出すことができる。

今、式(6)で与えられる誤差 ΔD が許容誤差 ΔD^* よりも常に小さくなるという条件をおけば、式

$$\theta \cdot f \geq 2d / \Delta D^* \quad (10)$$

が得られる。ただし、 Δp に式(7)で与えられる関係を使っている。 d は所与のものであるから、上式を満たすような回転角 θ と倍率 f の組合せでステレオ写真を撮ればよいことがわかる。しかし、ここで上式を満たすため θ をあまり大きくすることはできない。回転角 θ が大きい場合、一方の写真がほかの写真に対し

てあまりにも歪んでしまい、同じ点を見つけ出すことが困難となりかえって計測の誤差を増すことになる。これは、人が計測をおこなう場合でも、計算機がおこなう場合でも同様である。通常、 θ の大きさの上限は 15 度ぐらいまでを目安とすればよいであろう。

空中ステレオ写真の場合、比高の許容誤差を ΔH^* とおけば、式(9)から同様にして H_0 と B に対する条件

$$\frac{H_0^2}{B} \leq \frac{F}{2d} \cdot \Delta H^* \quad (11)$$

が得られる。通常、ステレオ写真のオーバーラップ率を 60% 程度の値にするため、 B と H_0 の間では定まった関係がとられている。このことを上式に反映させれば、条件式(11)は高度 H_0 に対するものとなり、その際右辺にはカメラの見開き角という装置定数が新たに加わる。

2. 計算機によるステレオ写真の解析

今まで述べてきたように、1組のステレオ写真が与えられれば人手で対象の形状を数値的に把握することは可能である。しかし、写真上の点をくまなく計算するには余りにも労が多すぎるし、たとえ手計算でどうか対象の等高線を得たにしても、それから体積や断面積を求めるのは並大抵ではない。ましてや、多くのステレオ写真を処理しなければならないとなれば、もはや別の手段に頼るほかはない。空中ステレオ写真を用いた航空測量では、ステレオ図化機を使用していくつかの難点を除いてはいるが、それにしても1組のステレオ写真の解析に多くの日時を必要としているのが現状である。

ステレオ写真の解析に計算機を利用するならば、それらの手作業を省くことができ、同時に等高線・断面線・面積・体積等の必要とされる数値が要求される精度に応じて短時間のうちに手にすることができる。また、処理がルーチンワーク化されるため、限られた期間に多くの対象を処理することも可能である。さらに、もし対象の画像が鮮明でない低劣なものや歪みを持ったものであれば、デジタル画像処理の技術を用いて画像を修復し解析の精度を上げ、得られた解析結果の情報を要求に応じたさまざまな形で提供できる柔軟性を持たすことができる。

2.1 計算機システムの概略

システムの構成を図-6に、SEM 写真の処理の概要を図-7に示す。撮影されたステレオ写真はフィルムを

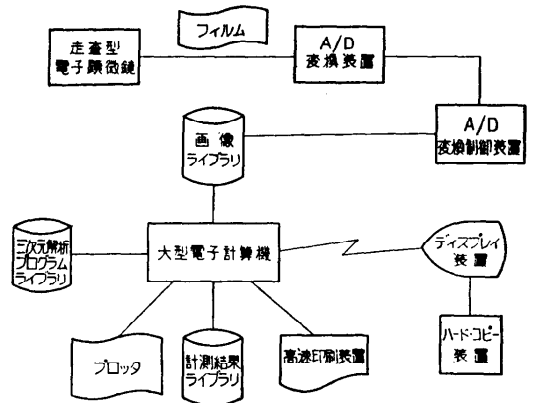


図-6 システムの構成

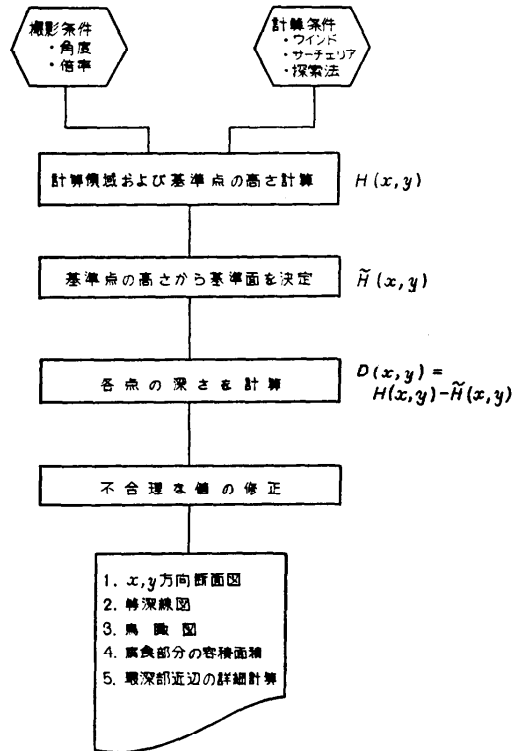


図-7 深さ計算の概略フロー

媒体として A/D 変換器によりデジタル画像に変換され、テープまたはディスクに記録されたのち大型計算機に入力される。この画像はターミナル装置からの指示により大型計算機で処理され、形状の数値情報は高速印刷装置に、等高線・断面図・鳥瞰図などはディスプレイ装置またはプロッタへ出力される。

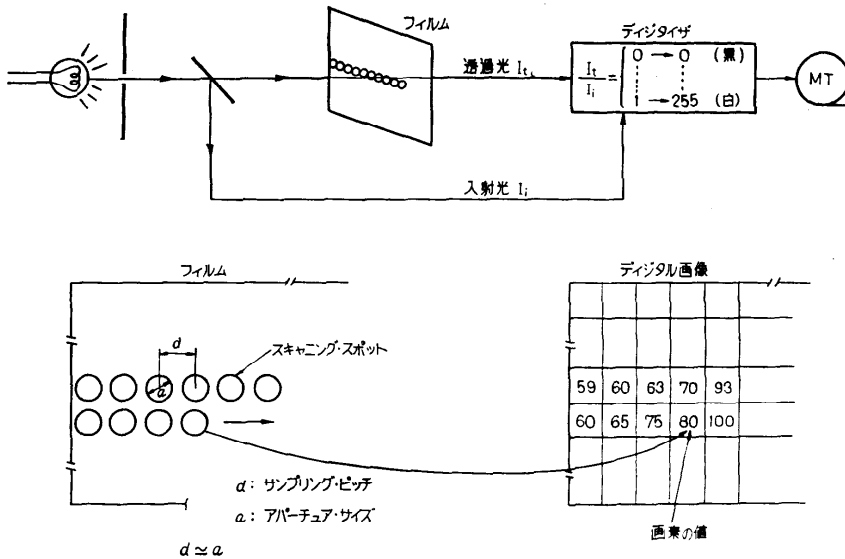


図-8 画像のデジタル化

また、解析にあたっては、1章で導いた式(1)から式(9)までをそのままの形で採用する。その際、式のなかにあらわれる d は写真をデジタル化する際のサンプリング・ピッチにおきかえられる。

2.2 ステレオ写真のデジタル化

ステレオ写真を計算機で処理するためには、アナログ信号である写真像の明暗を数値におきかえ、計算機で処理可能なデジタル画像に変換する必要がある。その概略を図-8に示してある。フィルムを固定し、一方から光ビームスポットを一定間隔で照射しながら走査させ、フィルム上の各点における透過光と入射光との比によって各点の明暗を0から255までの数値におきかえる。この結果、2枚のステレオ写真は光ビームスポットの拡がりをも1画素とし、明るさを数値で表わした2つの二元マトリックスの形に変換される。通常、サンプリング・ピッチとビームスポット径を同程度にするため、ピッチを d 、フィルム倍率を f としたとき、1画素が表わす試料上または地上での実際の長さは式(7)で与えられる d/f に等しくなる。

この変換をおこなう機器としてはフライング・スポット・スキヤナ (FSS)、メカニカル・スキヤナなどがある。これらの装置で1枚のフィルムを縦横 1000×1000 のデジタル画像に変換するには十数分を要する。

2.3 同一点の探索方法

図-7の処理の流れに示されるように、対象の深さまたは比高は、まず写真中の各点での高さを計算し、次いで高さまたは深さを測る基準となる点(基準点)の情報から高さの基準面を設け、この面からの差によって与えることができる。一般に、この基準面の高さはステレオ像間の非平行性や計測面の曲面性を考慮して位置の関数として与える。

高さを求めるにあたって、まず両方の写真から対応する点を計算機により探し出す必要がある。通常1枚の写真のデジタル画像は数十万から数百万程度の画素からなっているため、1点1点の明暗を表わす画素の値を単純に比較しただけでは同じような数値を持つ所が多く、同定は困難である。

計算機により同じ点を見出す方法を図-9に示す。まず、像の一方を基準画像とし、これを数十画素の幅で格子状に区切りその格子点を計算点とする。今、そのなかの1点 P_1 と同じ点をもう一方の画像から見出すには、この点を左上隅に持つ部分画像 W (ウインド) を基準画像より切り出し、これをもう一方の画像のより広い部分画像 S (サーチエリア) 内に順次に重ねていき、ウインドと同じ明暗パターン(数値配置パターン)を捜し出す。そして、うまく重なった所でウインドの左上隅点と重なるサーチエリア内の点を同一点 P_2 とする。(図-9の下の方の図は、この捜し出しの状況を一次元の場合について示してある。)つまり、点

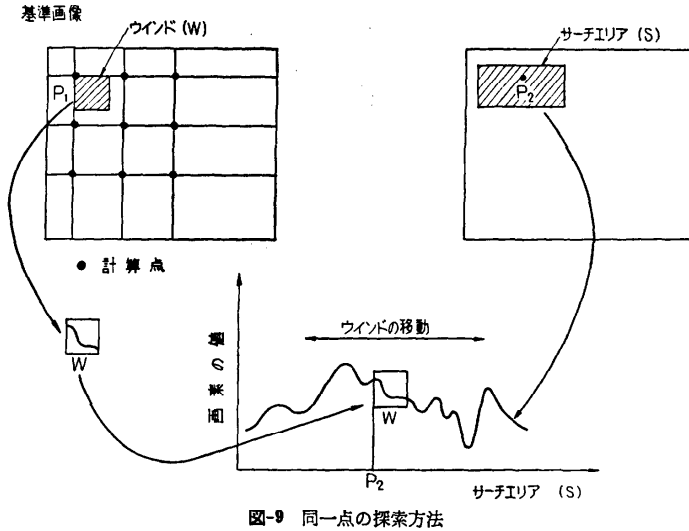


表-1 類似度の関数

類似度	
(1) 相互相関値	$R_{IJ} = \frac{\sum_{Im} W_{Im} \cdot S_{Im}^{IJ} - N \cdot \bar{W} \cdot \bar{S}^{IJ}}{\sqrt{\sum_{Im} W_{Im}^2 - N \cdot (\bar{W})^2} \sqrt{\sum_{Im} (S_{Im}^{IJ})^2 - N \cdot (\bar{S}^{IJ})^2}}$
(2) 残差の絶対値和	$R_{IJ} = \sum_{Im} S_{Im}^{IJ} - W_{Im} + \bar{W} - \bar{S}^{IJ} $
	$l=1 \sim W_x$ $m=1 \sim W_y$ N: ウインド内の画素数 $W_x \cdot W_y$ W_{Im} : ウインド内 (l, m) の画素の値 S_{Im}^{IJ} : ウインドの左上端点がサーチエリア内の (I, J) に来たとき、ウインド内の (l, m) に重なるサーチエリアの画素の値 \bar{W} : 画素の値 W_{Im} のウインド内での平均値 \bar{S}^{IJ} : 画素の値 S_{Im}^{IJ} のウインドと重なる範囲での平均値

と点の照合ではなく、面と面の照合をおこなうのである。

実際には、写真のうちの一方が角度 θ だけ傾いているため、全く同じパターンを持つ所はなく、ただ非常によく似たパターンが存在するだけである。したがって、この照合を類似度を表わすある関数の値の大小比較にかえ、その値が最大（または最小）となる所でパターンが一致したものとみなすことにする。類似度関数としては、表-1に示すように部分画像間の

- (1) 相互相関値、
- (2) 重なる画素間の残差の絶対値和

の2つを用いている。(1)は、よく用いられている類似度の1つであって、画像パターンが比較的単調な場合にも良い成果を上げるが計算に時間がかかりすぎる

難点がある。(2)はSSDA法²⁾のなかで用いられる類似度で、表-1の式からわかるようにウインドとそれに重なり合うサーチエリアの対応する画素間の値の差が最小になるとき、パターンが一致したとみなす方法である。全く異なる点を照合したときにはこの累積和が過大な値になるため、あらかじめしきい値を設け累積和がしきい値を超えたら演算を打ち切り、早めに次の点の照合に移ることができる³⁾。このため、相関法と比べて計算時間の短縮を図れる利点がある。しかし、この類似度はパターンが豊富な鮮明な画像に対しては相関法と同程度の成果を上げるが、単

調なパターンの画像に対しては相関法には及ばない。

2.4 ウインド幅の設定

同一点の探索にあたって、ウインド幅の大きさはその成功率を大きく左右する重要な因子である。また、ステレオ写真解析に要する計算機使用時間のほとんどが同一点の探索についやされているため、システムのパフォーマンスはウインド幅として最適なものを与えられるかどうかにかかっている。すなわち、ウインドを小さくすればその中に含まれるパターン情報が少ないため探索の成功率は低く、ウインドを大きくすればパターン情報も多く成功率は高くなるが、類似度の計算に時間がかかる。そこで、探索の成功率をある値以上に保ちつつウインドを小さくしていった場合、その限界に相当するウインド幅の大きさを見出すことが不可欠となる。

このシステムでは、次のようにして最適なウインド幅を求めている。まず、SEMステレオ写真の場合、ウインド幅をある大きさにした時に、そのなかに含まれる一方の画像パターンが他方の $\cos \theta$ の因子で歪んだ対応するパターンと、そのウインド幅の範囲内で1画素以下のずれしか生じないという条件をおく。さらに、許容誤差程度の深さに相当する視差差が画像の最小単位である1画素以上のずれに反映されるという条件を付け加えると、ウインド幅 W の画素を単位とした上限は

$$W \leq \frac{f \cdot \Delta D^*}{\theta \cdot d} \tag{12}$$

で与えることができる。同様にして、空中ステレオ写

真の場合には、

$$W \leq \frac{F \cdot \Delta H^*}{d \cdot B} \quad (13)$$

と与えられる。ただし、この2つの式を導き出した条件には、画像のパターンに関する情報が欠けているため、あくまで1つの目安としてしかこの値を利用できない。一方、パターンに関する情報をとり入れる場合には、表-1の類似度式(1)を2つの関数のたたみ込みと解釈しそれにフーリエ変換を適用して、ウインド幅の下限を求めることができる。この場合、画像パターンを保持するため波長の長いものから短いものへと順に波長入までのフーリエ成分までを考慮しなければならないなら、ウインド幅の下限は波長 λ 程度であることが導き出される。

2.5 システムのパフォーマンス

a. 計算の精度

計算結果が含むうる誤差の評価には、前に導いた式(5)から式(9)までが用いられる。その際、式(7)の d はデジタル化の際のサンプリング・ピッチに読みかえることは前に述べた通りである。これらの式と与える誤差は同一点の位置を決める際に生じる誤差 Δp 、すなわち写真を有限の幅でデジタル化するため生じる位置ぎめ誤差によるものである。たとえば、SEM写真の場合 $\cos\theta$ の因子がデジタル画像中では不連続にしか反映されないため、本来同じ高さであるべき一連の点の計算結果が周期的に増減を繰り返す。このデジタル化に因る誤差を増減振幅の大きさから求めると、前に導いた式(6)と同じものが得られる。

b. 計算時間

ここでは、多くの場合に良い成功率を与える縦横30画素のウインドを用いておこなった、計算時間の短縮化のあらましを示すにとどめる。

- | | |
|---------------|---------------|
| (1) 相関法 | 3.67 秒 (100%) |
| (2) 二段階相関法 | 0.81 (22%) |
| (3) 二段階SSDA法 | 0.78 (21%) |
| (4) 先行探索情報の利用 | 0.23 (6%) |

ただし、所要時間の計測機種はIBMシステム370モデル168である。

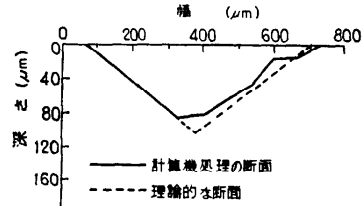
3. ステレオ写真の解析例

3.1 ビッカースくぼみによる精度の検定

この計算機システムによる解析精度を検定するには、ビッカースくぼみのように形状と深さがあらかじめ



(a) ビッカースくぼみのSEM写真



(b) 断面AA'での形状比較

図-10 ビッカースくぼみによる精度の検定

めわかっているものが良い。そこでビッカース硬度計を用いて金属表面に微小な疵をつけ、それをSEMで撮った写真を検定に用いてみた。くぼみ疵は対角線の長さ812 μm 、最大深さ116 μm であり、解析条件はフィルム倍率16.3倍、回転角7度、サンプリング・ピッチ25 μm 、計算間隔は実際のビッカースくぼみ上で77 μm である。図-10に検定結果の例を示す。これを見ると、計算結果と実際のビッカース疵の断面とがよく一致している部分と、25~30 μm 浅く計算している部分とがあるのがわかる。これをステレオ写真と対比してみると、前者はくぼみの微細な部分まで鮮明に写っている部分に対応し、後者はハレーションをおこし画像パターンが単調となっている部分に対応している。また、理論的に求めた深さからのずれの大きさが、式(6)で与えられる大きさ程度であることから、ハレーションのある単調なパターンのところでは同一点の同定の際に1画素程度の誤差を生じやすいことがわかる。

これらのことは、同一点の探索がきわめて精度良くおこなわれていることを示すと同時に、写真が鮮明であれば誤認はほとんどなく解析精度は非常に良いことを示している。普通、解析箇所にはハレーションが生じるような撮影はしないため、SEMのような鮮明な画像の解析精度は十分満足のいくものとみて良い。

3.2 ミクロ分野への適用—腐食疵の解析⁴⁾

ビッカースによる検定をふまえ、この三次元解析の手法を実際の腐食疵に適用してその実用性を調べた。

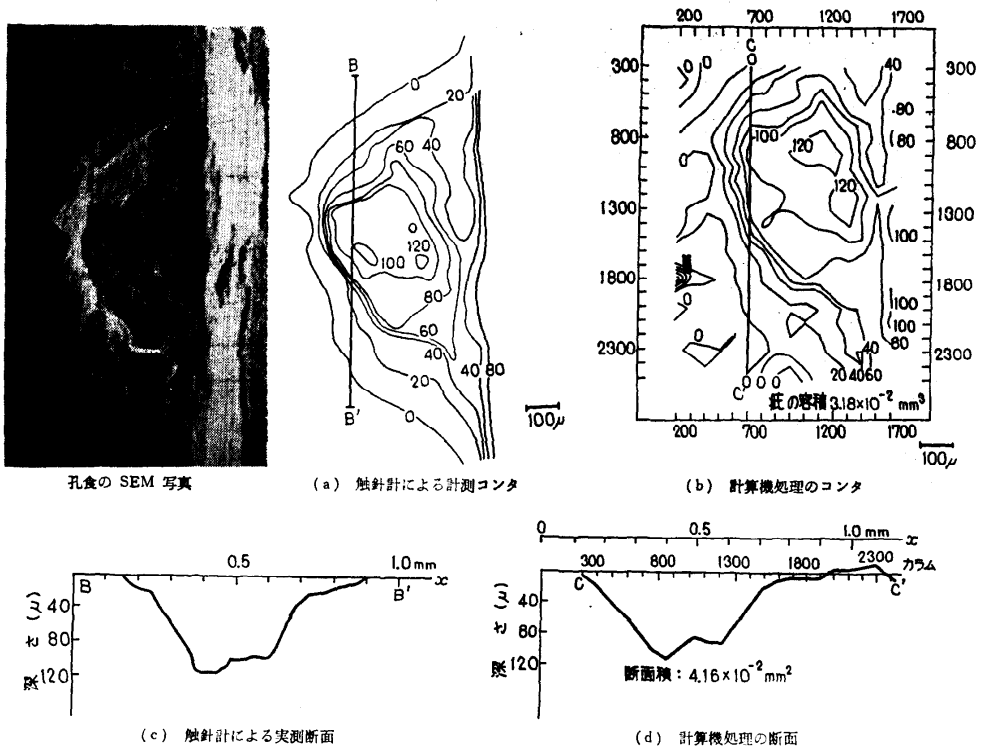


図-11 腐食斑の解析

解析に供した腐食斑(図-11)は、オートクレーブ(加熱炉)腐食試験で得た金属表面上に発生する孔食のSEM写真である。孔食の幅500μm、長さ1,000μm、最大深さ120μmであり、解析条件はフィルム倍率55.5倍、回転角5度、サンプリング・ピッチ25μmである。

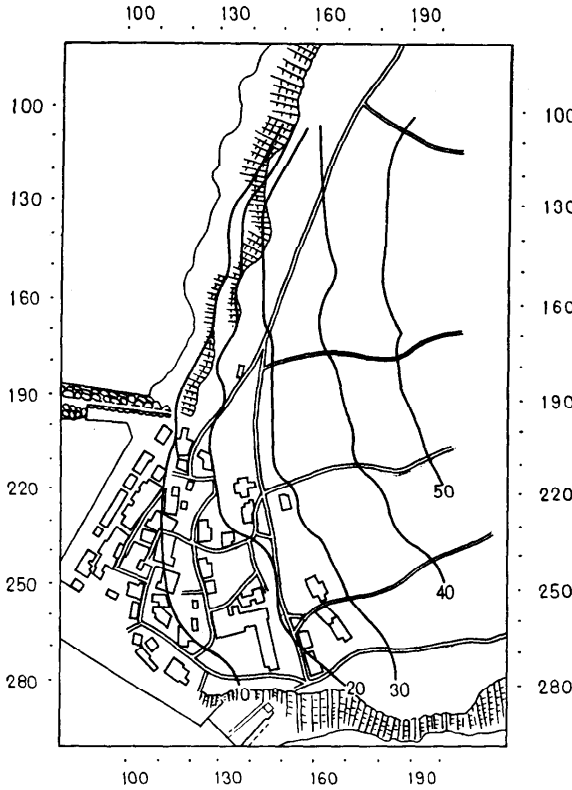
図-11の写真から明らかなように、ピッカーズくぼみにあったようなハレーションはほとんどみられず、画像パターンは微細な部分にまでわたって非常に鮮明である。解析結果と比較するため、機械式触針計による粗さ計での測定結果を併せて示してみた。図-11の(c)、(d)は対応する場所の断面形状を示している。触針を用いた粗さ計による断面図が滑らかな曲線を描くのに対して、計算結果は格子交点での点解析のため計算点を直線で結んだゴツゴツした折れ線になる。しかし、両者は良く一致していることがわかる。図-11(a)、(b)は斑の形状を深さのコンタで示したもので、数字の単位はμmである。(b)図にある枠の縦横の目盛りは、それぞれデジタル画像のライン(行)番号、カラム(列)番号に対応している。なお、計算結果の図

が実測図に対して1割程度大ききになっているのは縮尺の違いによるためである。

3.3 マクロ分野への適用——地形の解析⁵⁾

マクロな対象として、地形の起伏をとり上げ、その空中ステレオ写真による解析を試みた。図-12に示す写真は解析に用いられた福岡市小呂島の南部で、港から写真右端の島中央部にかけてゆるやかな上り斜面の続く所である。解析条件は、撮影高度620m、カメラ焦点距離151.42mm、撮影基線長424m、サンプリング・ピッチ0.5mmである。この場合、1画素が持つ地上での広がり約2m四方で、式(9)から計算される比高の誤差の上限は約6mとなる。図-12の(a)、(c)には、式(4)を用いて比高を計算した結果を示してみた。

断面図を見ると、海岸における断崖絶壁の形状が、また海岸から山の中腹にかけてのダラダラ坂の続いている様子が良く示されている。比較のために、この空中ステレオ写真を用いてステレオ図化機により作成した地図を図12の(b)に併せて示してみた。なお、計算結果の等高線は地図から得た島の海岸線、道路、建



(c) 計算機処理の等高線

図-12 地形の解析

物等の上に重ねてある。この両者の等高線を比較すると、計算結果のほうはその間隔が広く、このため島の中央部になるにしたがって低めの結果を与えている。この違いは、前にも触れたようにステレオ図化機では写真の歪みを修正しているのに対して、計算機システムではそれを省いているために生じたものである。この点は、修正機能を付加すれば良いわけで、その場合にはこのシステムで空中写真測量も十分可能であると考えられ、これを用いて地形の断面やその面積、山や谷の容積、ダム貯水量の算出などその応用範囲は広いものと思われる。

おわりに

対象を三次元的に解析する方法の1つであるステレオ法は、対象が計算機で同一点を判定できるような鮮

明な画像で与えられるなら、そのマイクロ・マクロのいかに関係なくシステム化できる。この計算機システム化された手法により、従来人が感覚的にしか捉えられなかった立体像が数値的に把握でき、また人手による機械的計測法にくらべて、大幅に労力を減らすことが可能となった。たとえば3.2で示した腐食疵の測定についてみれば、等高線図を描くまでに約7日/人、一方このシステムでは電子顕微鏡観察の前処理までを含めても2日/人と、約1/3以下になっている。

今後、SEMと計算機が直接結合すれば、写真処理や画像のデジタル化の作業が省けるため、なお一層の労力が節減できるばかりでなく解析精度や使いやすさなども格段に向上するものと思われる。

なお、走査型電子顕微鏡のステレオ写真は(株)日本電子、空中ステレオ写真は(財)日本造船振興財団よりご提供いただいた。あらためて、ここで謝意を表します。

参考文献

- 1) 紀本, 菅沼, 大島: 走査型電子顕微鏡による凹凸の測定第1報, 写真測量, Vol. 8, No. 1, pp. 8-12 (1969).
- 2) Barnea, D. I. and Silverman, H. F.: A Class of Algorithms for Fast Digital Image Registration, IEEE Trans. on Computer, Vol. C 21, No. 2, pp. 179-186 (Feb. 1972).
- 3) 尾上, 前田, 齊藤: 残差逐次検定法による画像の重ね合わせ, 情報処理, Vol. 17, No. 7, pp. 634-639 (July 1976).
- 4) 小堀, 河野, 篠崎: ステレオ映像による金属表面腐食疵の三次元解析, 第10回画像コンファレンス, 8-10 (1979).
- 5) 小堀, 河野, 篠崎: 電算機によるステレオ像の自動解析, 第11回画像コンファレンス, 4-7 (1980).
- 6) Oatley, C. W. 著, 紀本静雄訳: 走査型電子顕微鏡装置編, コロナ社 (1972).
- 7) 日本写真測量学会編: 立体写真のみかた・とりかた・つくりかた, 技報堂出版 (1980).
- 8) 渡辺恵一郎: 写真計測, 光学技術シリーズ 5, 共立出版 (昭和51年).

(昭和56年3月26日受付)