

平成13年度 卒業研究

合成開口レーダ画像のマッチングに関する一考察

2002年2月12日

島根大学 総合理工学部 数理・情報システム学科

計算機科学講座（田中研究室）

s 9 8 4 2 1 - H 驛 範之

# 目次

## はじめに

### 第1章 SAR

- 1-1 JERS - 1
- 1-2 SAR観測原理
- 1-3 合成開口技術
- 1-4 SARデータ

### 第2章 マッチング手法について

- 2-1 相関法によるマッチング
- 2-2 ラプラシアンによるエッジ検出
- 2-3 バイナリオーバーラップ法によるマッチング

### 第3章 マッチング手法の実装

- 3-1 プログラムの作成、実行環境について
- 3-2 作成したプログラムおよびプログラム内で使用している画像データ

### 第4章 テスト・結果

- 4-1 テスト方法
- 4-2 テスト結果
- 4-3 結果比較

### 第5章 まとめ

- 5-1 まとめ
- 5-2 今後の課題

### 参考資料・参考文献

## はじめに

レーダ画像のなかでも地球資源衛星 1 号 J E R S - 1 の合成開口レーダ ( S A R ) 画像は 1992 年より稼働を続けている能動型のマイクロ波センサで取得されるため、雲や昼夜の制約を受けずに得ることができる。

また、S A R 画像データにはその地点での位相値があり、位相の差を取ると、その位相差にはさまざまな情報が含まれる。情報の中には標高値が含まれているため、例えば、地震前の画像と地震後の画像の位相差から地殻の変動などを調べることなどに用いられている。

そこで、本論文では位相差を求める前段階の重要な手順である S A R 画像を重ねるための方法についての考察を行った。方法については、昔ながらの画像マッチング法の相関法と S A R 画像を 2 値画像に変換し行うバイナリオーバーラップ法について、それぞれの方法についてのマッチングポイントの精度の比較を行った。

# 第1章 SAR

## 1-1 JERS - 1

地球資源衛星1号JERS - 1 (Japanese Earth Resources Satellite-1)とは、地球資源情報の収集を主目的とし、国土調査等の能動的な観測を行うことを目的に1992年2月に種子島宇宙センターからH - 1ロケットで打ち上げられた。衛星地上高は約568km、周期は約96分、回帰日数は44日である。

## 1-2 SAR観測原理

合成開口レーダ(SAR)は、Synthetic Aperture Radarの略で、JERS - 1に搭載された能動型マイクロ波センサである。

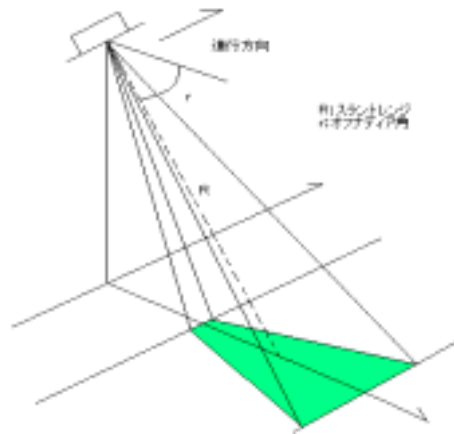


図1 - 1

SARは衛星進行方向に直行した斜め下方向にパルス電波を次々と投射し、地表面からの散乱・反射波を受信する。散乱・反射が大きいところは明るく、小さいところは暗く現れる。また滑らかな面は暗く、荒い面は明るい等、地表面の状態によって異なり、この明暗が画像となって現される。また、マイクロ波であるため、植生、乾いた砂地等を透過しその下の情報(地表面等)を得ることができる。

受信された散乱・反射波は衛星上でデジタル化等の処理をされた後、ミッション送信機(MDT)によって地上に送られ、データ処理が行われる。

### 1-3 合成開口技術

アジマス(衛星進行方向)の分解能はアンテナの長さによって制限される。そこで、さらに分解能を向上させるために合成開口技術が使われた。

これは、衛星の進行方向に沿って連続したポジションに比較的短いアンテナを搭載して進行方向に移動することで、図1-2のように、SARは総合的に、人工的な非常に長いアンテナを持つことができる。このことから、合成開口レーダと呼ばれている。

また、アンテナの実開口長の分解能を得ることができるので、アンテナを小さくすることで分解能は向上するが、一方でノイズが大きくなるため、ある適当な値をとる。JRES-1のSARでのアンテナの長さは11.9mである。

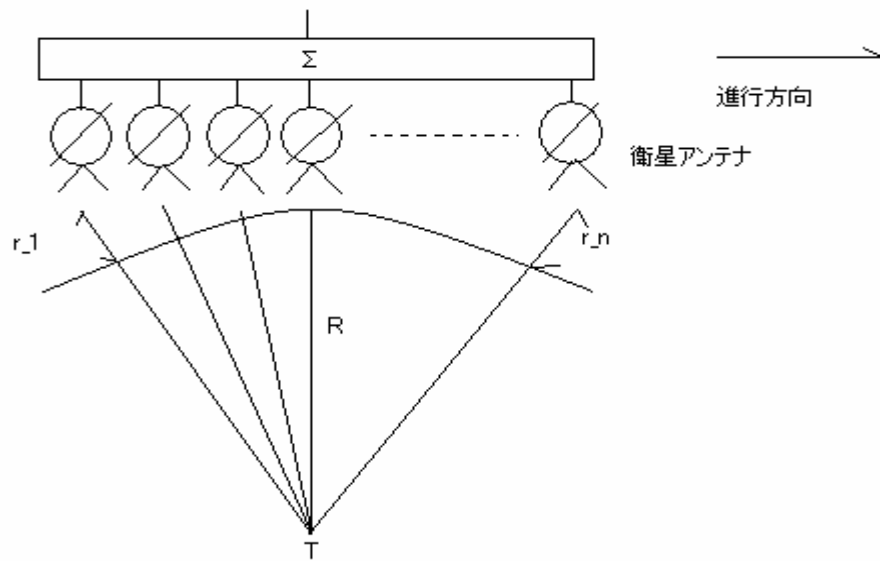


図1-2

#### 1-4 SARデータ

SARデータは表1-1のように10の段階に処理され、そのそれぞれによってデータの表現方法が異なっている。

表1-1

処理レベル	ピクセルスペーシング	データフォーマット形式	格納形式(レンジ×アジマス)	1ピクセル
0		Complex integer × 1	6144 × 19904	2 Byte
1.0		Complex real × 4	5968 × 19904	8 Byte
1.1/1ルック		Complex real × 4	5936 × 16896	8 Byte
1.1/3ルック		real × 4	5936 × 8448	4 Byte
2.0/2.1	12.5m	integer × 2	6400 × 6000	2 Byte
	18.0m	integer × 2	4450 × 4200	2 Byte
	25.0m	integer × 2	3200 × 3000	2 Byte
3.0/4.0	12.5m	integer × 2	6000 × 6000	2 Byte
	18.0m	integer × 2	4200 × 4200	2 Byte
	25.0m	integer × 2	3000 × 3000	2 Byte

本論文で使用したデータはレベル2.1、ピクセルスペーシング12.5mの

- ・画像A：1994年12月17日に取得された富士山周辺の画像を600×600に切り取った画像
- ・画像B：1993年11月16日に取得された富士山周辺の画像を600×600に切り取った画像

の2つの画像である。

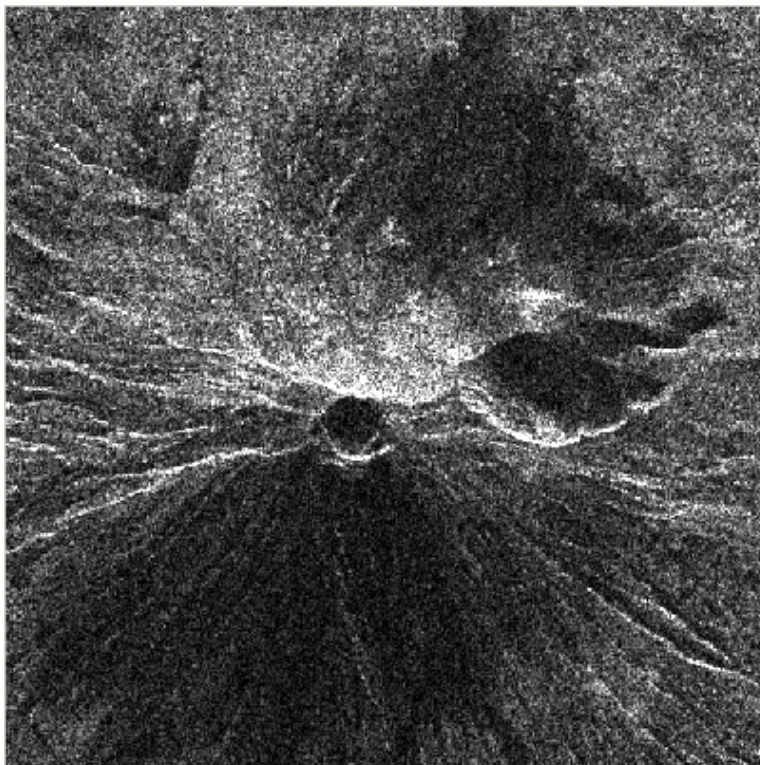


図1-3：画像A

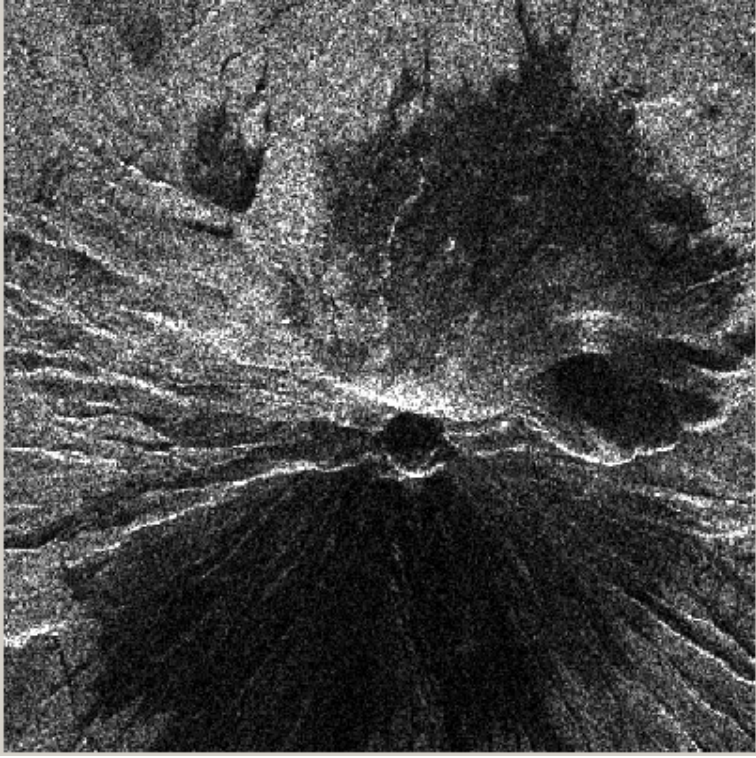


图 1 - 4 : 画像 B

## 第2章 マッチング手法について

### 2-1 相関法によるマッチング

画像のマッチングを行う上で最も一般的な方法の1つが相関法である。( Franz W. Leberl , 1990 )

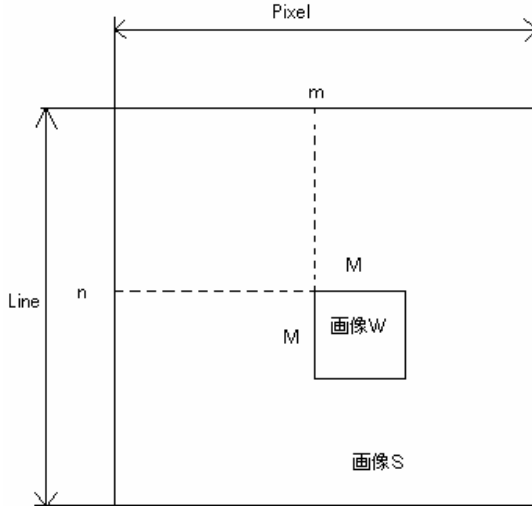


図 2 - 1

図 2 - 1 のように、片方の画像から  $M \times M$  の画像ウインドウ  $W$  を取り出し、もう一方の画像領域内で 1 画素ずつずらしながら  $W$  と画像  $S$  との間の相関値を求める。相関値は次の式で求められる。

$$R(m,n) = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^M W(i,j) \cdot S(i+m, j+n)}{\left| \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^M W^2(i,j) \right|^{1/2} \cdot \left| \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^M S^2(i+m, j+n) \right|^{1/2}}$$

上の式を  $1 \leq m \leq Pixel - M + 1$  ,  $1 \leq n \leq Line - M + 1$  の範囲で計算し、 $R(m,n)$  が最大値をとる  $(m,n)$  が一致するポイントであるとみなす。



## 2-2 ラプラシアンによるエッジ検出

エッジ検出とは画像内の特徴を検出することで、特徴が急激に変化する場所を探し、対象物の境界線を求めるための方法である。(田村秀行, 1985)

ここで、ラプラシアン (Laplacian)

$$\nabla^2 f \equiv \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

は、2次の微分オペレータで、画像処理でよく用いられる。デジタル画像におけるラプラシアンは、

$$\nabla^2 f(i, j) \equiv [f(i+1, j) + f(i-1, j) + f(i, j+1) + f(i, j-1)] - 4f(i, j)$$

と定義され、図2-2のように表すことができる。これを用いて空間フィルタリングを行うことで、画像のラプラシアンが求まり、エッジの下端と上端でそれぞれ正と負のピークが生じる。このため、エッジの位置は正負両ピークの中央に存在する。

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

図2-2 : ラプラシアンフィルタ

実際にエッジ画像を求めるためには、フィルタをかけた画像のデータを適当な閾値で2値に分ける必要がある。閾値を求めるための最も一般的な方法は、画像データのヒストグラムを求め、そのとき図2-3のように2つのピークが現れる場合、2つの山の間の谷のところを閾値とする方法である。しかし、必ずしも谷のところで、きれいにエッジが検出されるとは限らない。その場合は、自分自身で画像を見て閾値を補正していく必要がある。

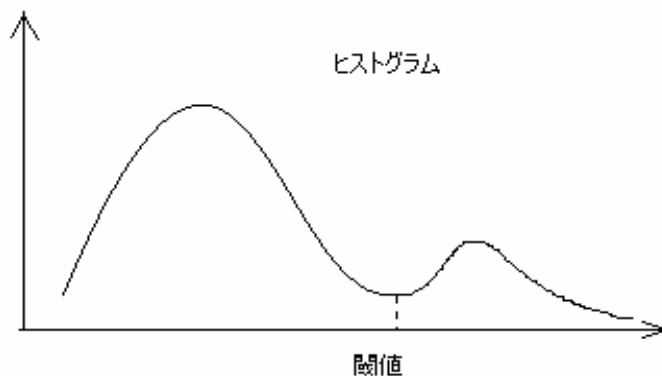


図2-3

### 2-3 バイナリオーバーラップ法によるマッチング

この方法は、2つの2値画像から図2-1のようにウィンドウWとSの重なっている部分の一致しているピクセル数を計算する。ここで、一致しているピクセルの数を求めるために次のような関数を仮定する。

$$F(a,b) = \begin{cases} 0 & (a \neq b) \\ 1 & (a = b) \end{cases}$$

2つの画像の一致点は、この関数  $F(a,b)$  を使って次の式で求められる。

$$P(m,n) = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^M F[W(i,j), S(i+m, j+m)]$$

$P(m,n)$ には、 $(m,n)$ でのウィンドウWと画像S間の一致するピクセル数が求まる。ここで、 $P(m,n)$ が最大となる $(m,n)$ を一致する点とみなしている。(Franz W. Leberl, 1990)

### 2-4 その他のマッチング手法

このほかにも、いくらかマッチング方法がある。ここでは、例としてSSDA法について述べる。

SSDA法は、画像間の誤差の累積である残差を用いて、一定の順序でサンプリングを行い、残差が早く増加していれば、閾値を越えた時点で処理を打ち切るという高速マッチング手法である。(Franz W. Leberl, 1990)

## 第3章 マッチング手法の実装

### 3-1 プログラム作成、実行環境について

本研究で利用したソフトウェア、言語及びOSは

- ・ソフトウェア

ER Mapper 5.5

- ・言語

Microsoft

Visual C++ 6.0 Professionalエディション

- ・OS

Microsoft

WindowsXP Professional (プログラム作成、実行)

以上である。対象OSにWindowsを選択した理由は一般に最も普及しているOSという理由からである。

### 3-2 作成したプログラムおよびプログラム内で使用している画像データ

#### <プログラム>

registration2.c : 相関法によるマッチングポイント検索プログラム

lap2\_1.c : ラプラシアンフィルタをかけるプログラム

binary\_imaging.c : 画像データを2値に分け、2値画像にするプログラム

overlap.c : バイナリオーバーラップ法によるマッチングポイント  
検索プログラム

#### <画像データ>

cutdata2\_1 : 画像A

cutdata3\_1 : 画像B

lapdata2\_1 : ラプラシアンフィルタをかけた画像A

lapdata3\_1 : ラプラシアンフィルタをかけた画像B

binarydata2\_1 : lapdata2\_1を2値にした画像A

binarydata3\_1 : lapdata3\_1を2値にした画像B

< プログラムのアルゴリズム >

registration2.c

最大相関値を求める

```
for(n=0; n<N-M+1; n++){
  for(m=0; m<L-M+1; m++){
    相関値の計算に使うデータの初期化;
    相関値の計算を行う;
    if(現在最大の相関値 < 求めた相関値){
      現在最大の相関値に求めた相関値を代入し、
      そのときの m,n を保存しておく;
    }
  }
}
```

最後に最大相関値となった  $m, n$  が一致地点

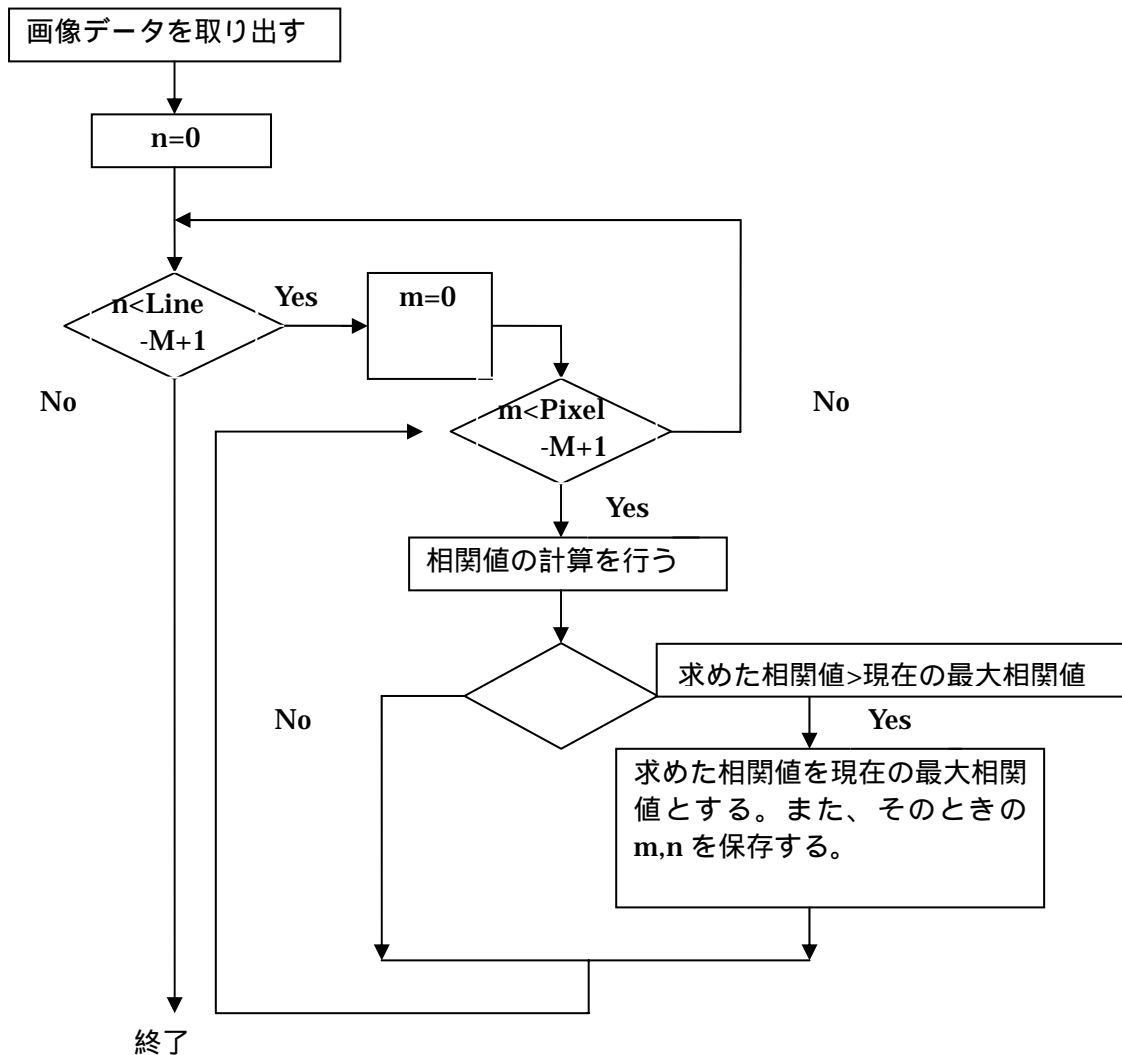


図3 - 1 : registration2.c のフローチャート

```

rap2_1.c
ラプラシアンフィルタをかける
for(j=0; j<Line-1; j++){
  px=0;
  for(i=0; i<Pixel-1; i++){
    px=(f(i-1,j)+f(i,j-1)+f(i,j+1)+f(i+1,j))-4*f(i,j);
    pxの絶対値を取る。short intの最大値である32767を超えた場合は、32767とする
    データを保存する;
  }
}

```

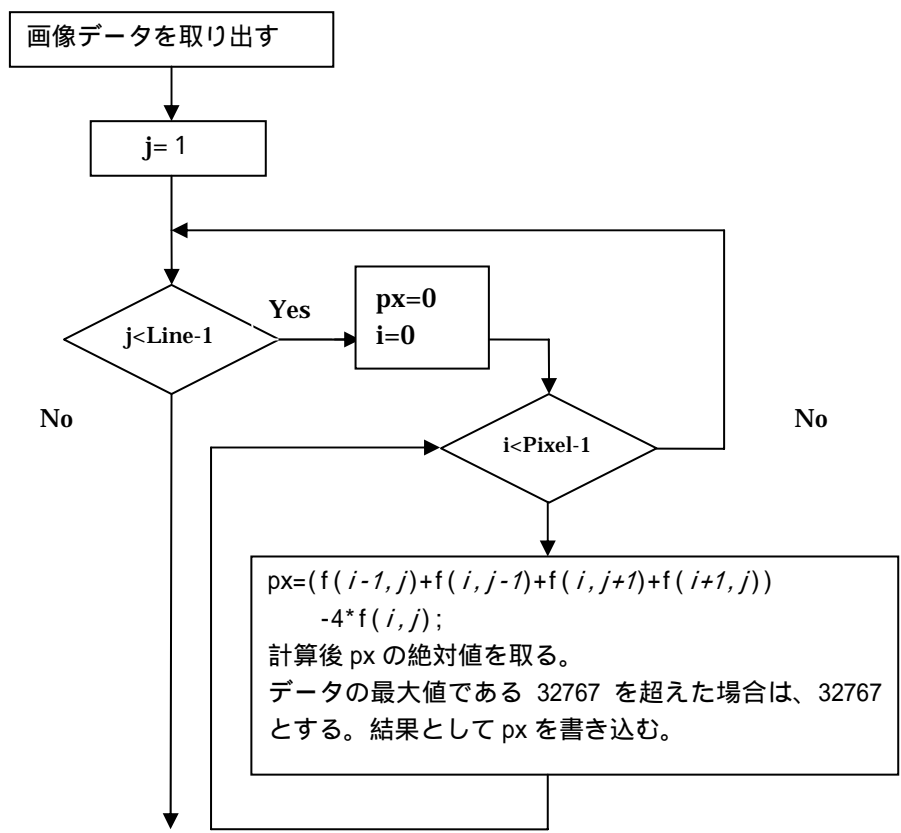


図3 - 2 : rap2\_1.c のフローチャート

```

binary_imaging.c
前処理として rap2_1.c で求めた画像データのヒストグラムを出し。
閾値を決定する。

```

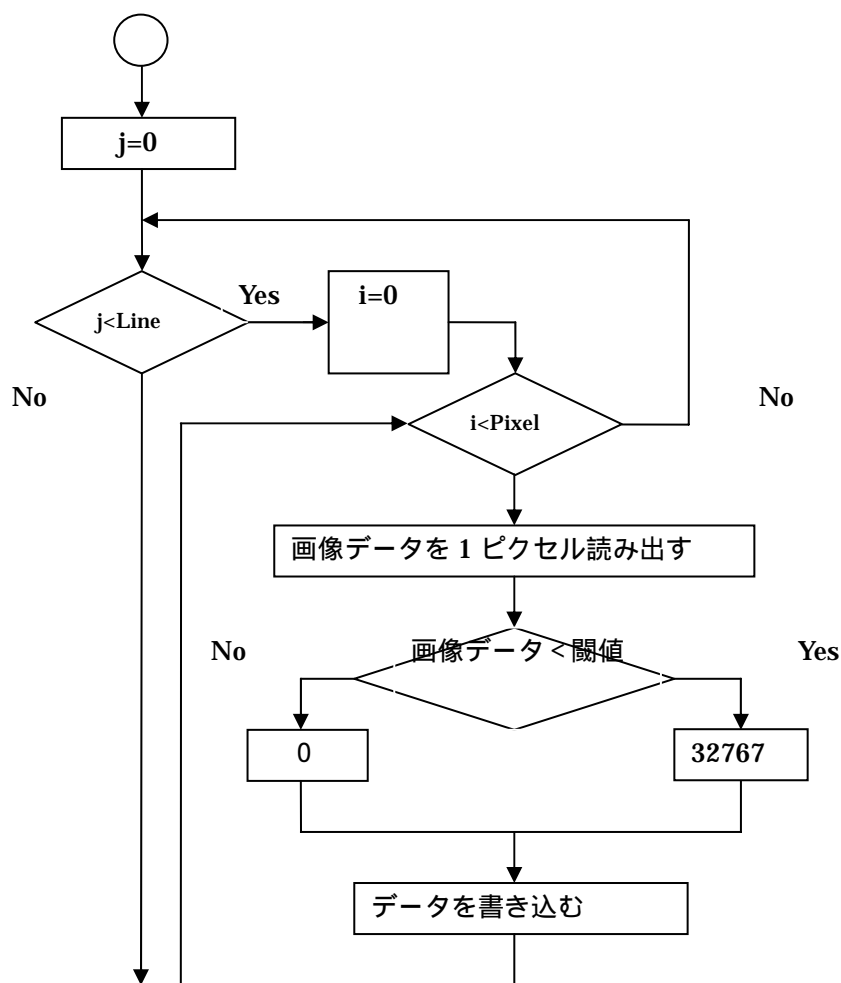


図3 - 3 : binary\_imaging.c のフローチャート

```

overlap.c
最大一致 Pixel 数を求める
for(n=0; n<N-M+1; n++){
  for(m=0; m<L-M+1; m++){
    計算に使うデータの初期化
    一致 Pixel 数の計算を行う
    if(現在最大の一致 Pixel 数 < 求めた一致 Pixel 数){
      現在最大の一致 Pixel 数に求めた一致 Pixel 数を代入し、
      そのときの m, n を保存しておく
    }
  }
}
最後に最大一致 Pixel 数になった地点が一致地点
  
```

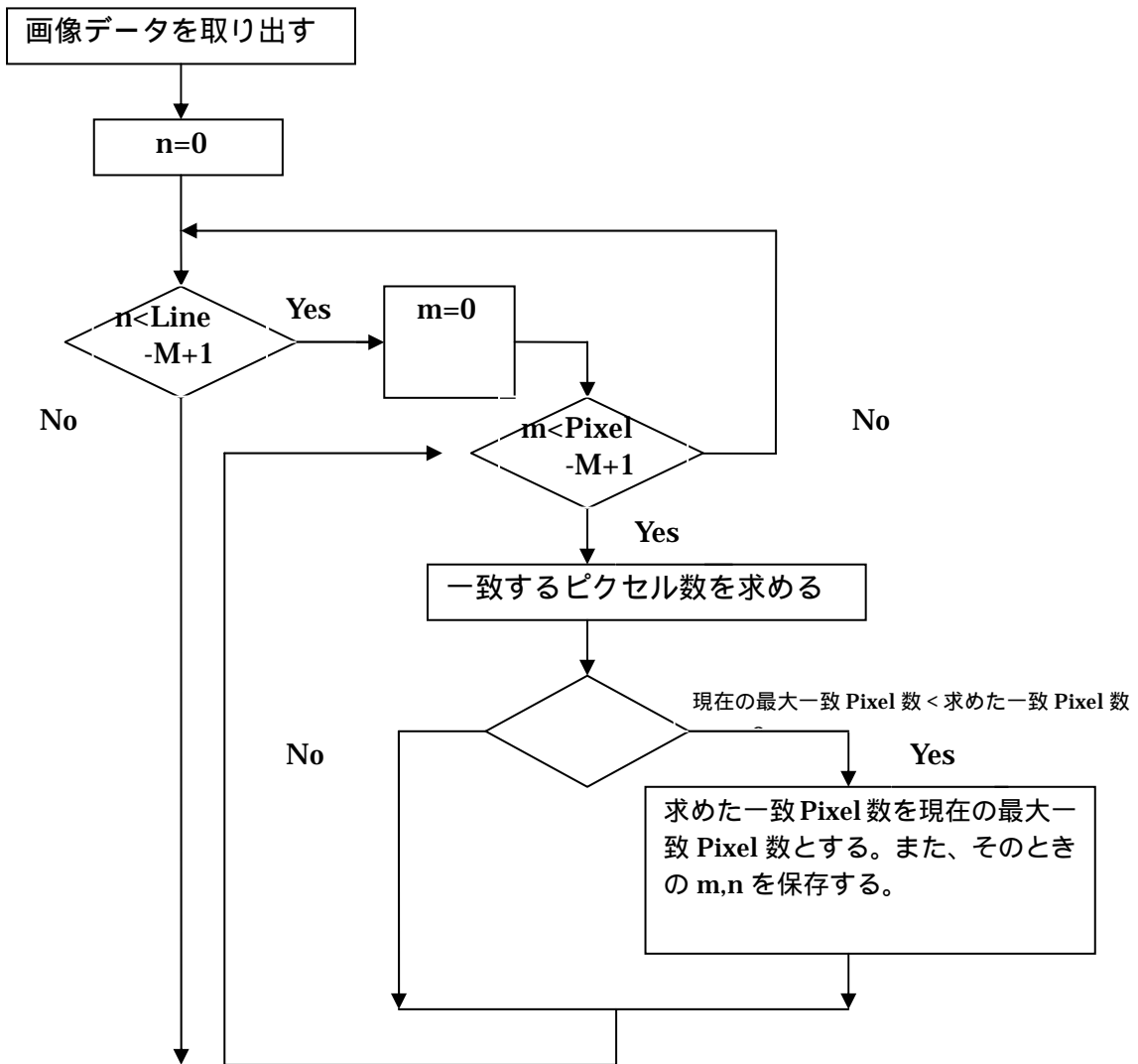


図 3 - 4 : overlap.c のフローチャート

## 第4章 テスト・結果

### 4-1 テスト方法

画像Aから(100,100) ,(300,100) ,(500,100) ,(100,300) ,(300,300) ,(500,300) ,(100,500) ,(300,500) ,(500,500)の9点を左上端とするM×Mのウィンドウを取り出し、それをもう片方の画像Bに重ねる。

- ・テスト1：相関法プログラム registration2.c を実行し、相関値が最初に最大となった点を一致する点とする。
- ・テスト2：バイナリオーバーラップ法プログラム overlap.c を実行し、マッチングピクセル数が最初に最大となった点を一致する点とする。

このテストではウィンドウサイズMを32とした。

マッチング方法の精度の評価としては、テストによって得られた画像AのBに対応する点を画像上に示し、画像Aと見比べる。

### 4-2 テスト結果

画像AとBの一致する点は下表のように得られた。

表4-1：相関法の結果

A(m, n)	B(m, n)
(100,100)	(310,239)
(300,100)	(313,481)
(500,100)	(567,137)
(100,300)	(480,104)
(300,300)	(219,10)
(500,300)	(552,114)
(100,500)	(324,346)
(300,500)	(83,180)
(500,500)	(169,297)

表4-2：バイナリオーバーラップ法

A(m, n)	B(m, n)
(100,100)	(394,77)
(300,100)	(148,454)
(500,100)	(406,61)
(100,300)	(387,439)
(300,300)	(244,371)
(500,300)	(406,61)
(100,500)	(143,432)
(300,500)	(181,397)
(500,500)	(140,453)

### 4-3 結果比較

図4-1：画像Aから取り出した部分を示す画像。

図4-2：相関法により得られた点。

図4-3：バイナリオーバーラップ法により得られた点。

図4-1と図4-2、図4-3のそれぞれと比較を行う

ここで、同色のバツ印が画像AとBの対応する点を示している。



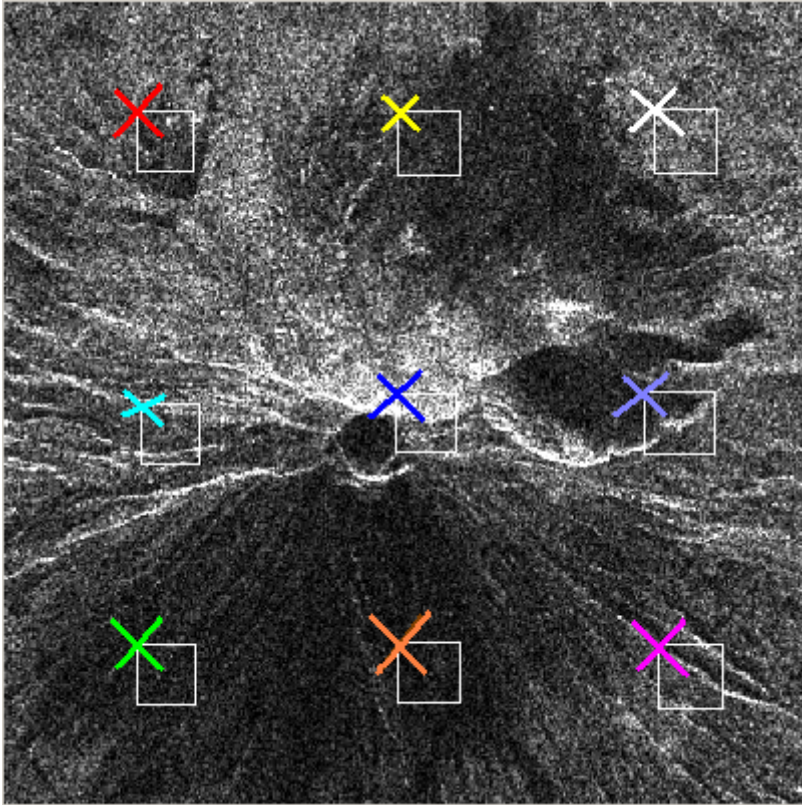


図 4 - 1 : 画像 A から取り出した部分

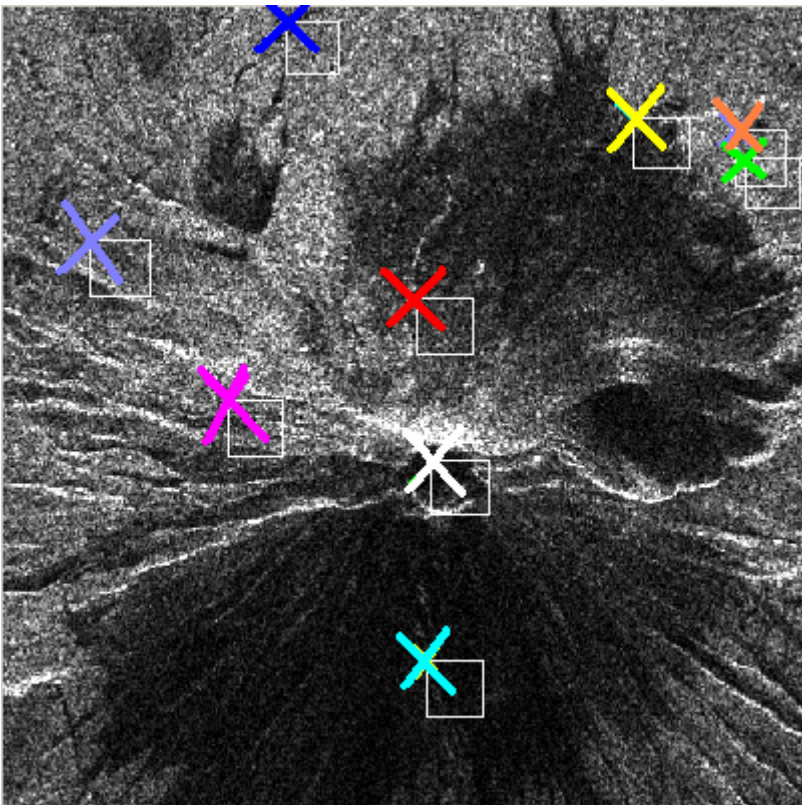


図 4 - 2 : 画像 B の相関法による結果

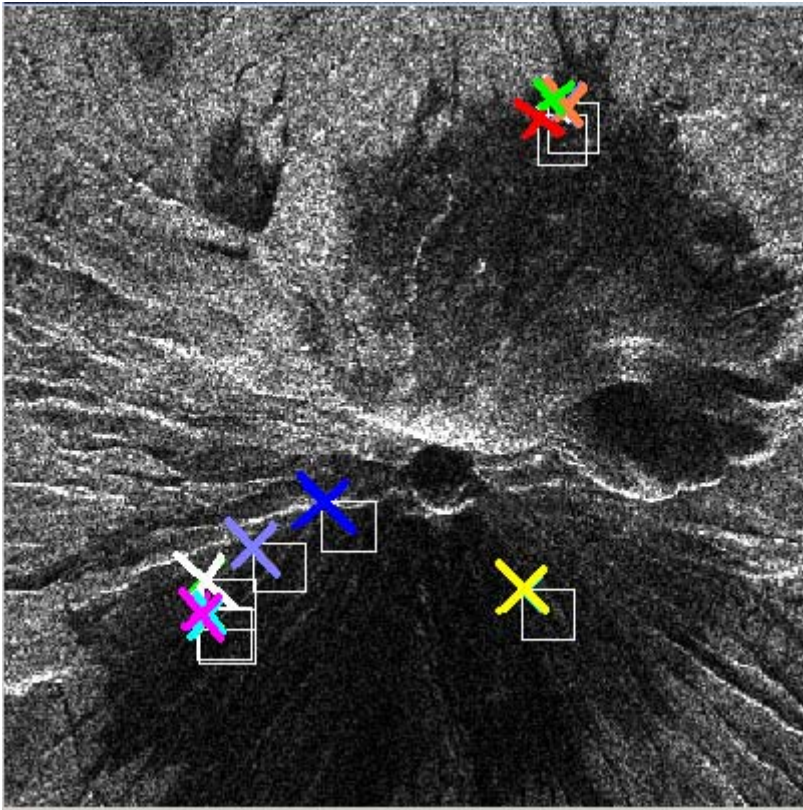


図4 - 3 : バイナリオーバーラップ法による結果

図を見比べた結果、どちらの方法でも、もし一致するような点であればある程度規則的に点が求まるはずだが、実際には、規則性のないばらばらな点を取ってしまった。そのため結果としては、一致している点を取っていない。そのため精度の比較を行うことはできなかった。

## 第5章 まとめ

### 5-1 まとめ

テストの結果、どちらの方法についてもよい結果は得られなかったために精度の比較にならなかった。

よい結果が得られなかった理由としては、相関法では2つのSAR画像間のデータの差が大きかったために本来一致している場所で相関値が最大とならなかったことが考えられる。これは、使用した2つのSAR画像自体が異なる衛星軌道上から取得されたものであるため、レーダの照射角が異なってくる。その結果、反射波の強度が異なるために画像間の濃度値に差が現れてしまったためであると考えられる。この理由から、SAR画像に対して相関法を用いるのは適していないと考えられる。

バイナリオーバーラップ法ではSAR画像をエッジ画像にする際に、明確なエッジが現れなかったことが原因であると考えられる。また、画像Aからエッジを含まないところを取り出してしまった部分では、正しくない場所で一致してしまう可能性が高いためエッジが含まれている部分の画像を取り出す必要がある。

### 5-2 今後の課題

エッジ画像を作成する際に、明確なエッジを検出することができなかった。そのため、今後SAR画像での明確なエッジの検出方法を考える必要がある。また、実際には、SAR画像間には歪みが生じるので、画像を重ねる際には歪みを補正する必要がある。

## 謝辞

本研究を御指導して頂いた田中教授に心から感謝致します。  
また、この1年共に頑張った本研究室の平田さん、藤井さん、森本さん、江野本さん、貫目さん、辰己さん、森下さん、荒木君、高木君、富岡君、中村君、森岡君に感謝致します。

なお、本論文、プログラムの著作権は田中教授に譲渡致します。

## 参考資料・参考文献

- [ 1 ] Franz W . Leberl , *RADARGRAMMETRIC IMAGE PROCESSING*  
ARTECH HOUSE , INC . , 595pp , 1990
- [ 2 ] R . C . Olsen , *Remote Sensing from Air and Space* Naval Postgraduate School  
, 199pp , 2001
- [ 3 ] 宇宙開発事業団地球観測センター , 地球観測データ利用ハンドブック - JERS-1 編 - 「  
(財)リモート・センシング技術センター」 , 298pp , 1996
- [ 4 ] 田村秀行 , 「コンピュータ画像処理入門」 , (株)総研出版 発行 , 288pp , 1985