

## ランドマーク解析を用いたHRITデータの位置補正 Correction of HRIT Image Displacement

伊達 謙二\*

DATE Kenji

### Abstract

Correction of HRIT image displacement using the landmark method started in June 2006.

Pattern matching using correlation coefficients is applied for landmark analysis. The satellite images are overlapped on the map and shifted to obtain the maximum correlation coefficient. The shifted amount at the maximum correlation coefficient equals the amount of displacement at each calculated point. The displacement amounts are used to modify the "#130 Image Compensation Information Header" in HRIT data.

The results of landmark analysis are also used to make a quick-look image which shows the image displacement, and to make the time sequence graph of image displacement. These pieces of information are provided to HRIT data users on the Internet.

### 要 旨

気象衛星センターでは、2006年6月にランドマークによるHRITデータの位置補正処理を開始した。

ランドマーク解析は、相関法によるパターンマッチングを応用したもので、衛星データと地形データを重ね合わせ、1画素ずつずらしながら相関係数を計算し、もっとも相関が高くなったところで、衛星画像の位置ずれ量を求める。こうして求めた各地点ごとのずれ量からHRITデータのラインごとの位置補正量を算出し、HRITデータのヘッダー部（#130 Image Compensation Information Header）に位置補正情報を書き込むことで、HRITデータの位置補正を実現している。

また、ランドマーク解析の結果は、HRITデータの位置補正のみでなく、クイックルック画像としてユーザに観測ごとの画像ずれ情報を提供したり、過去の画像ずれの時系列グラフ作成など、HRITデータの品質管理の一環としても利用されている。

### 1. はじめに

気象衛星センターでは、MTSATが取得したHRITデータから各種画像プロダクトを作成し、国内外の利用者に配信している。しかし、南北制御の時や、MTSAT-1Rのシステムに障害が発生しMTSAT-2でバックアップ運用を実施する場合など、数十キロと画像が大きくずれることがあり、画像プロダクトの品質

低下を引き起こすことがある。このような場合にプロダクトの品質低下を抑えるためには、プロダクトを作成する前に、HRITデータの画像ずれを検出し位置ずれを補正すればよい。

そのためには、①HRITデータの画像ずれを自動的に検出し、②適正な位置補正をHRITデータに反映する必要がある。

①のために、パターンマッチングを応用したランドマーク解析ソフトを開発し、②については、HRITデータのヘッダー部に用意されている「#130 Image

\*気象衛星センターデータ処理部システム管理課  
(2007年7月27日受領、2007年12月21日受理)

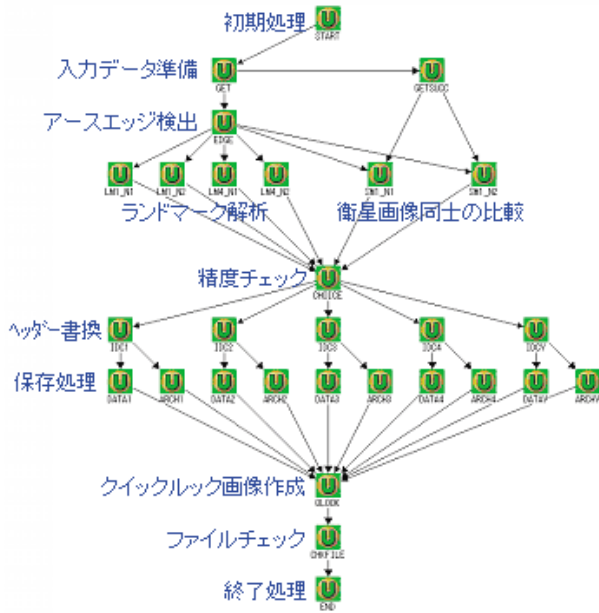


図1 全体の処理の流れ。まず、ディレクトリ作成等の初期処理を行い、入力データを準備する。続いて、HRITデータからアースエッジを検出し、ランドマーク解析・衛星同士の比較を行って画像のずれ量を求める。求めたずれ量の精度評価を行い、位置補正したHRITデータを作成して保存し、クイックルック画像を作成する。最後にファイルのチェックをして、処理を終了する。

Compensation Information Header」に補正量を書き込むことで実現している。

気象衛星センターでは、HRITデータの画像ずれ量を自動で検出し、位置ずれを補正したHRITデータを作成する処理を2006年6月に開始した。

## 2. 全体の処理の流れ

MTSATで取得された衛星データは、気象衛星通信所でHRITデータに加工され、気象衛星センターのスーパーコンピュータシステムに送られる。気象衛星センターでは、気象衛星通信所から配信されたHRITセグメントデータを結合して、全球/半球のHRITデータを作成し、位置補正処理を施してから、各種画像プロダクトを作成する。

図1は、北半球のHRITデータ位置補正処理のジョ

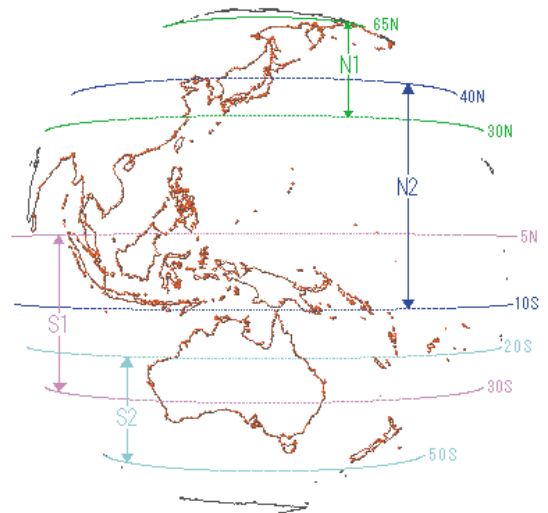


図2 ランドマーク算出地点と対象領域。地図上の赤い点はランドマーク算出地点。緑色の点線ではさまれた領域はN1領域 (65° N-30° N)、青色はN2領域 (40° N-10° S)、桃色はS1領域 (5° N-30° S)、水色はS2領域 (20° S-50° S)。

ブネットである。

まず、作業ディレクトリを作成し、HRITデータや過去の位置ずれに関する履歴ファイル等の入力ファイルを作業ディレクトリにコピーする。

次に、HRITデータのアースエッジ検出を行い、衛星画像上で地球の中心となるライン番号・ピクセル番号を計算する。HRITデータの全球投影の投影中心は、ほぼ衛星直下点の緯度・経度に等しいので、算出された衛星画像上の地球中心とフレーム中心を比較して、HRITデータのフレーム中心のずれを求める。以降のランドマーク解析では、衛星画像と地形データをパターンマッチングする際に、このフレーム中心のずれをオフセットとして用いる。

ランドマーク解析は、海岸線データからおおよそ45kmの分解能で計算対象地点を抽出し、衛星画像と地形データのパターンマッチングを行って、各地点ごとのずれ量を算出する。最終的に、ランドマークが検出できたすべての地点から、信頼度の高い地点のデータのみを抽出し、各地点ごとの補正量として結果ファイルに記述する。後述のHRITデータのヘッダー書き換え処理では、この結果ファイルを利用する。

ランドマーク解析は、回転ずれ等、場所による細かいずれ量・向きの違いを検出するために、全球を4つに分けた各領域に対して行う(図2)。東西は東経80度から西経160度に固定で、北から順に、北緯65度から30度、北緯40度から南緯10度、北緯5度から南緯30度、南緯20度から50度の帯状の領域に分割し、それぞれをN1領域、N2領域、S1領域、S2領域と呼んでいる。

また、海岸付近が曇っていたり、海陸の階調差が小さくて、信頼できるランドマークが算出できなかったのための、数時間前のHRITデータとのパターンマッチングによる画像ずれも計算している。しかし、この方法で求めた位置ずれ量は、ランドマーク解析に較べて精度が劣るため、すべての領域でランドマークが算出できなかったときのみ使用する。

なお、衛星画像同士の比較で対象とする領域は、南北についてはランドマーク解析と同様だが、東西については東経90度から西経170度とランドマーク解析の対象領域より狭くしてある。これは、観測範囲の縁辺では、衛星画像の解像度が悪く、画像ずれの算出精度が著しく低下するためである。

ランドマーク解析・数時間前の衛星画像との比較計算が終了すると、求められた位置ずれ量の品質チェックを行い、一定の基準を満たしたもののみをHRITデータの位置補正処理に使用する。

品質チェックは、まず、各領域ごとに、多くの地点でずれ量が一致とされているかどうかをチェックする。多くの地点でずれ量が一致している場合、回転ずれや画像に歪みがないということの意味しており、求めたずれ量について精度が高いと判断して良い。

さらに、隣り合う領域同士でずれ量が大きく違わないかどうかをチェックし、過去の履歴とも照らしあわせて、あまりにもずれが突出していないかどうかを調べる。

HRITデータのヘッダー書き換え処理では、品質チェックで問題なしと判定されたデータを使用して、おおよそ50ラインごとに補正量を算出し、HRITデータの「#130 Image Compensation Information Header」

に補正量を書き込む。

ここで、「#130 Image Compensation Information Header」は、単純な平行移動による位置補正しかできない点に注意が必要である。すなわち、回転ずれや画像に歪みがある場合には、場所ごとに画像のずれ量や向きが異なり、単純な平行移動では位置補正できない。このような場合には、データ部を書き換えて位置補正する必要があるが、後続のLRIT画像作成等の処理が締め切り時刻に間に合わなくなる恐れがあるため、ルーチン業務ではそのよう補正は行っていない。言い換えると、現在の処理方法では、回転ずれや画像の歪みを適切に補正することはできない。

位置補正されたHRITデータは、ルーチン業務で使用するディレクトリにコピーされ、各種プロダクト作成に利用される。

また、あわせて、ヘッダー部のみを切り出してアーカイブディレクトリにコピーする。過去のHRITデータを使用するユーザは、ヘッダー部をアーカイブされている位置補正済みのヘッダー部と入れ替えれば、いつでも位置補正済みのHRITデータとして利用することができる。

最後に、位置補正後のHRITデータを使用して、ランドマーク解析の結果を示したクイックルック画像を作成し、後続の処理で利用されるHRITデータファイルが指定されたディレクトリに存在するかどうかを確認し、処理を終了する。

### 3. アースエッジの検出

アースエッジの検出は、HRITデータのおおまかな位置ずれを把握するために行う。

HRITデータの投影中心はほぼ衛星直下点の緯度・経度なので、HRITデータの衛星画像上で地球中心のライン番号・ピクセル番号を計算し、フレーム中心と比較すると、フレーム全体のおおよそのずれ量を求めることができる。HRITデータは生の観測データではなく投影画像なので、アースエッジから求めた

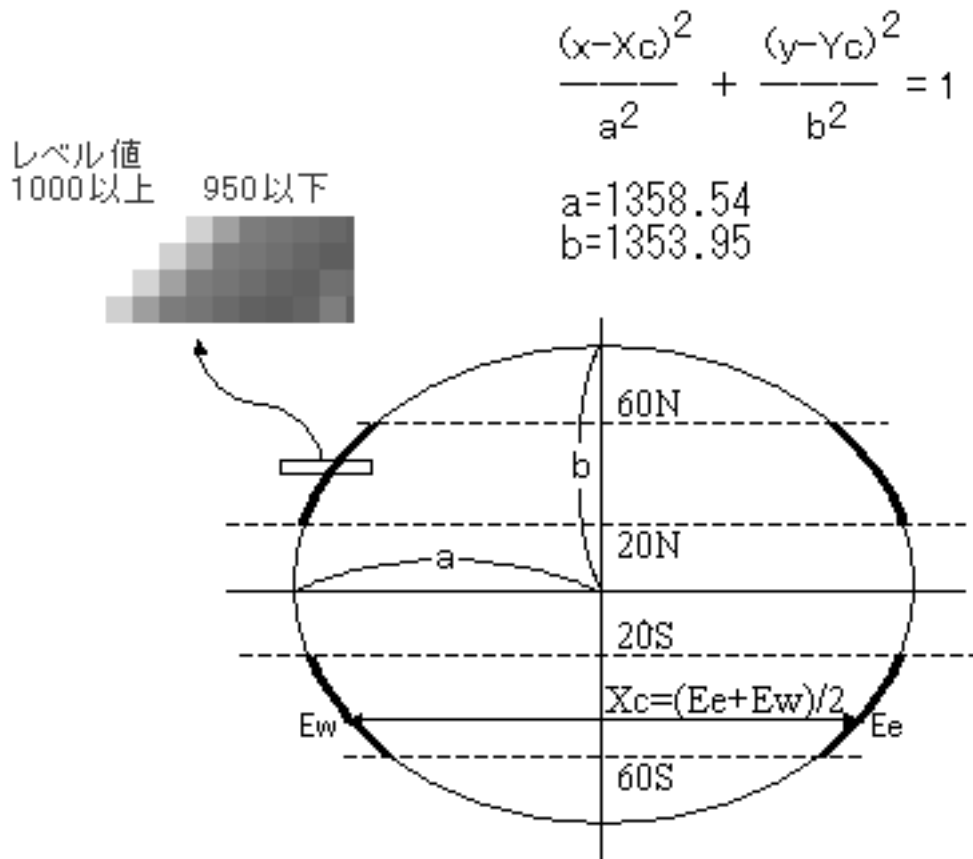


図3 アースエッジ検出。緯度60度から20度の範囲で、東西のアースエッジを検出する。東西のアースエッジの平均から東西方向の地球中心を求めた後、楕円の方程式を使って、南北方向の地球中心を求める。

地球中心は必ずしもフレーム中心とは一致しないが、細かいずれはランドマーク解析で求めるので、ここではおおよそのずれ量が求まれば良い。おおよそのずれ量が求まりさえすれば、ランドマーク解析を行う際にその値をオフセットとして使用することで、ランドマーク解析の探索範囲を狭くすることができ、計算時間の短縮を図ることができる。

アースエッジ検出は、北半球は北緯60度から北緯20度、南半球は南緯60度から南緯20度の範囲を対象として、それぞれの領域の各ラインについて、西側および東側の地球の縁に当たるピクセル番号を求める。

赤外チャンネルのHRITデータでは、MTSATの観測範囲外のレベル値は1023で、観測範囲内の宇宙空間ではおおよそ1000以上1023未満のレベル値になっている。一方、地球の内部では、レベル値はおおむね950以下である。そこで、各ラインについて、西端か

ら順にレベル値を調べ、972以下のレベル値が6個以上続いて現れるピクセルを西側のアースエッジと判定する。東側も同様である。

すべてのラインの西側および東側のアースエッジが求まったら、これを元に地球中心を求めるが、スワス抜けやノイズをアースエッジと誤判定する可能性があるため、使用できないデータを除外しておく必要がある。ここでは、それぞれのラインについて、エッジから求めたピクセル方向の地球中心を他のラインの値と比較して、2画素以上離れている場合は使用しないことにしている。

ピクセル方向の地球中心は、使用できると判定されたすべてのラインについて、西側エッジと東側エッジのピクセル番号を平均して求め、最後にラインごとに求めた地球中心のピクセル番号を平均する。

ピクセル方向の地球中心は、単純に西側エッジと

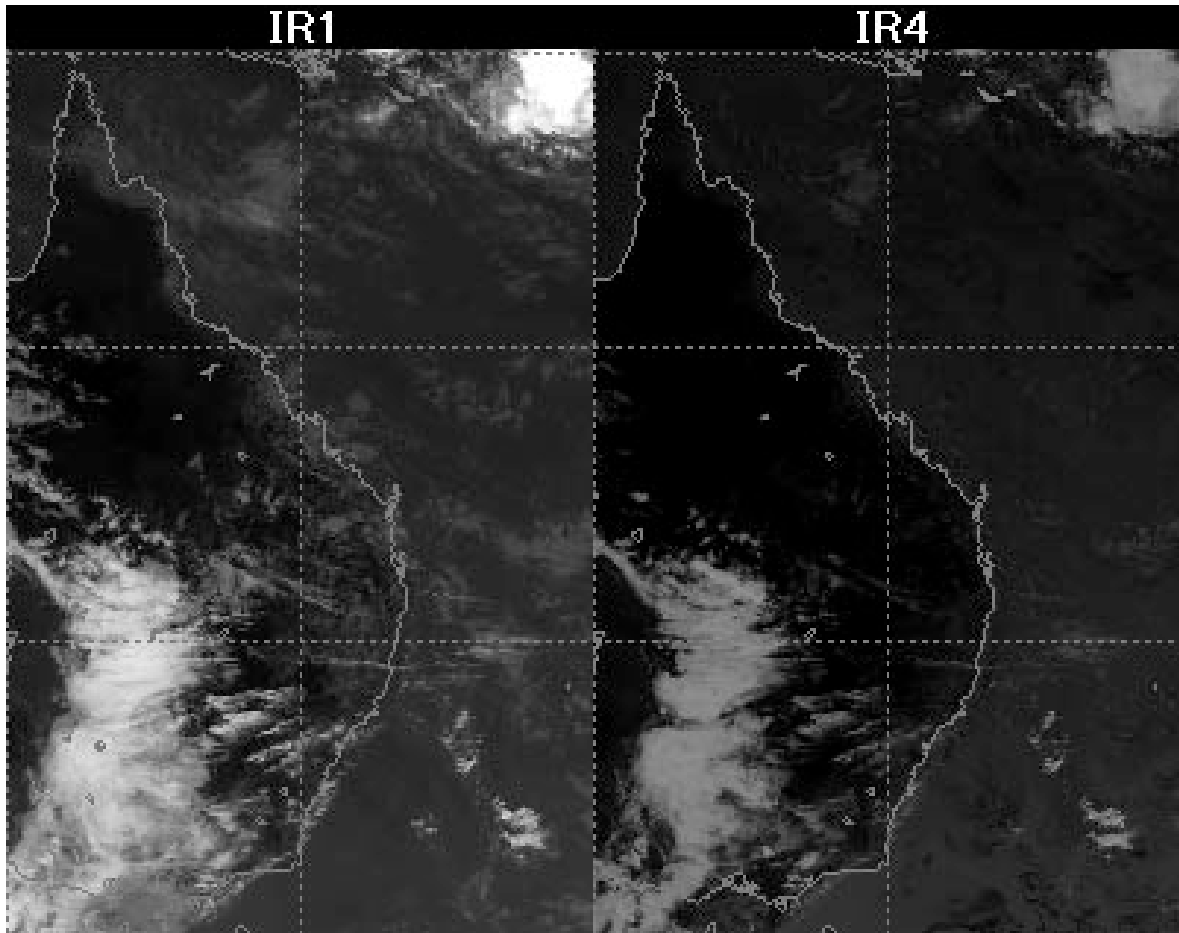


図4 IR1とIR4チャンネルの画像の違い。IR1では下層雲が邪魔して正しくランドマーク解析できないが、IR4では正しくずれ量を求めることができる。

東側エッジの平均値として求めることができるが、ライン方向の地球中心は少しややこしい。図3のように、衛星画像上でのアースエッジを楕円の方程式で表し、ピクセル方向の地球中心( $X_c$ )と各ラインごとのアースエッジの値( $x, y$ )を代入してライン方向の地球中心( $Y_c$ )を求め、最後に、ラインごとに求めた地球中心のライン番号を平均する。なお、図中のaおよびbは、地球の赤道半径を6378.137km、極半径を6356.752kmとしたときの理論値である。

#### 4. ランドマーク解析

ランドマーク解析には、 $10\mu$ 帯(以下IR1と記述)および $3.9\mu$ 帯(以下IR4と記述)のデータを使用する。

IR1は地球放射の波長帯を観測するのに対し、IR4は太陽放射と地球放射が重なる波長帯での観測なので、画像の特性が大きく異なるからである。特に日中については、IR4は太陽光の反射を観測するので、可視画像に近い特性となり、ランドマークの精度向上が期待できる。

たとえば、図4は、2007年5月15日03UTCのオーストラリア東岸のIR1およびIR4画像だが、下層雲が広がっているため、IR1では海岸線の検出が困難だが、IR4では海陸分布がはっきりするため、ランドマーク検出が可能である。なお、空間分解能が小さい可視画像を使用すれば、さらに精度を向上させることができるはずだが、切り出し領域内の画素数が増えるためにパターンマッチングの計算に時間がかかるので、可視画像は使用していない。

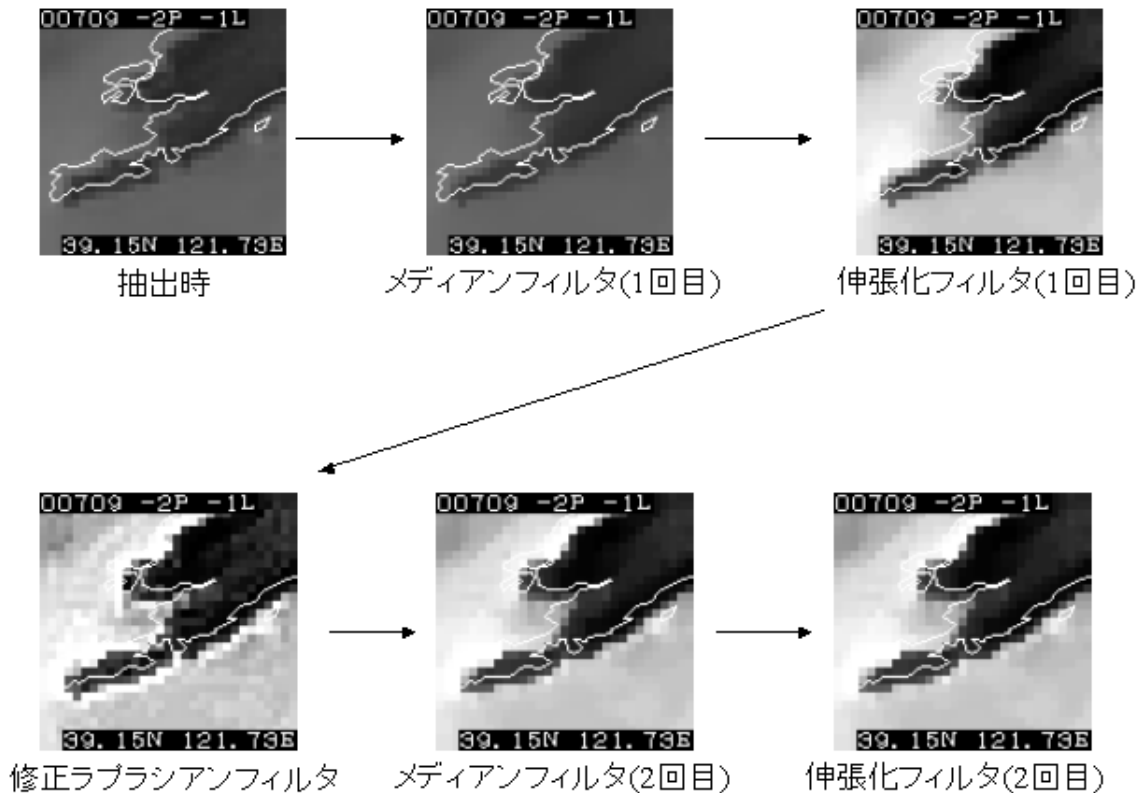


図5 衛星画像のフィルタリング。メディアンフィルタ → ヒストグラム伸張化フィルタ → ラプラシアンフィルタ → メディアンフィルタ → ヒストグラム伸張化フィルタの順にフィルタリングしたときの画像の変化。

ランドマーク解析の計算対象地点は、MTSATの観測範囲内の大陸および島の海岸線データから、ほぼ45km解像度で抽出する。こうして抽出した計算対象地点は、全球観測の場合、およそ3200地点に上る。

これらの地点すべてが利用できればよいのだが、実際には、海岸線付近が曇っていたり、海陸の階調差が小さかったりして、利用できない地点が存在する。

そこで、243K以下がレベル値255、313K以上がレベル値0になるように、31ピクセル×31ラインの大きさで衛星データを切り出し、

- ① 最大レベル値が220より大きい
- ② 最大と最小レベル値の差が20未満

のいずれかの条件を満たす地点をあらかじめ除外している。

パターンマッチングの前に、それぞれの計算対象地点について、まず、切り出した衛星画像を、フィルタリング処理して海陸分布を強調する。フィルタリングは、メディアンフィルタ→ヒストグラム伸張化

フィルタ→ラプラシアンフィルタ→メディアンフィルタ→ヒストグラム伸張化フィルタの順に適用する(図5)。メディアンフィルタで画像を平滑化して細かいノイズを除去し、ヒストグラム伸張化フィルタでコントラストを強める。さらにラプラシアンフィルタで海陸境界を強調するが、この過程でノイズが生じるので、再度メディアンフィルタで画像を滑らかにする。最後にヒストグラム伸張化フィルタでコントラストを強調する。

パターンマッチングは、31ピクセル×31ラインの大きさの領域について、±11ライン・±11ピクセルの範囲で、1画素ずつ動かしながら相関係数を計算し、もっとも相関が高いときのずらし量を画像のずれ量とする相関法を用いている(図6)。東西・南北方向に、それぞれおおよそ±40kmまでしか動かさないことになるが、あらかじめアースエッジでオフセット値を求めてあるので、画像が大きくずれたとしても、この程度の探索で十分である。

対象領域

65-30N 40N-10S 5N-30S 20-50S

算出地点

45KMメッシュの海岸線  
(全球観測で約3200地点)  
31ピクセル×31ライン

相関係数最大値の探索範囲

±11ピクセル×±11ライン

右は地形データの例  
31×31画素と  
周辺±12画素

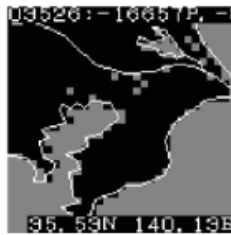


図6 ランドマーク解析のパラメータ

相関係数の最大値は、±11ライン・±11ピクセルの探索範囲について、1画素ずつすべてを計算すれば確実に求めることができるが、実際には、計算時間の短縮のため、山登り法を用いている。初期値が1つの山登り法の場合、局所的な極大値を求めてしまう可能性があるため、ここでは、初期値を5つ与えてある。この方法で、全体の40%くらい計算時間を短縮することができる。

こうして求めた各地点ごとのずれ量には誤差が含まれており、地点ごとによりばらついた値になるので、その中から確からしい地点を抽出しなければならない。そのために、まず、全体としての確からしいずれ量を求め、その値に近い地点のみを抽出する。

各地点ごとのずれ量のばらつきを調べるために、図7のようなピクセル方向・ライン方向のずれ量のヒストグラムを作成する。ここで、ヒストグラムに精度の悪い地点が含まれるのを防ぐために、相関係数が小さいデータは、ヒストグラム作成には使用していない。ヒストグラムができたら、3×3の領域に含まれる地点数が最大になる箇所を探し、この3×3領域内のずれ量を平均して第一推定値とする。

このときに、3×3の範囲に多くの地点が集まっているほど、それらの地点のずれ量は精度が高く、信頼できると考えられる。経験的に、ヒストグラムの作成に使用した地点のうち、およそ20%以上の地点が集まっていれば相当程度に信頼度が高く、10%以下だとあまり信頼できない。

画像に歪みがなく、海岸線付近が良く晴れていれば、多数の地点でずれの向き・量がそろっているので、3×3の領域に多くの地点が集まる。逆に、3×3の領域からはみ出た地点は、雲の影響を受けていたり、海陸の階調差が小さい地点なので、ヒストグラムを利用することにより、これら信頼度の低い地点を除外することができる。

最後に、すべてのランドマーク解析対象地点から、第一推定値からおよそ±1.4画素以内のずれ量の地点を抽出し、図8のように、結果ファイルに格納する。結果ファイルに記述している項目は、左から順に、地点番号、緯度、経度、相関係数、ピクセル方向の補正量、ライン方向の補正量である。ここで、ランドマークの解析結果は、ずれ量の符合を変えて、補正量にしてある点に注意してほしい。

一番下の地点番号-1の行は特定の地点ではなく、全体としての補正量である。これは各地点の単純平均ではなく、第一推定値からの距離の2乗分の1を重みとした加重平均である。

後続の位置補正処理では、この結果ファイルに格納された各地点ごとの補正量を使用する。

## 5. ヘッダーの書き換え

HRITデータの投影に関するノミナルなパラメータは、「#2 Image Navigation」ヘッダーに格納されている。

図9の場合、あたかも東経140.00度の赤道上で地球の中心から42164kmの距離にあるような、仮想的な衛星から地球を観測したときのように投影していることを表している。投影中心の140.00° E、0° Nに該当するライン番号(LOFF)およびピクセル番号(COFF)は

ピクセル方向のずれ量

	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
-8	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
-7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
-6	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
-5	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
-4	0	0	0	0	0	2	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0
-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	18	9	0	1	2	0	0	0	1	0	1	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	78	43	6	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	4	5	15	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
3	0	0	1	0	1	0	0	0	1	2	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
4	0	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	2	0	1	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

図7 ずれ量のヒストグラム。3×3の領域で地点数が最大になるのは、(0,1)を中心とする範囲。この範囲内の地点のずれ量の平均値はピクセル方向が0.26でライン方向が0.96画素。これをずれ量の第一推定値とする。

地点番号	緯度	経度	相関係数	ピクセル方向	ライン方向
00596	+43.14	+134.29	0.96576	+0.0000	+0.0000
00595	+43.30	+134.77	0.95965	+1.0000	+0.0000
00725	+39.41	+119.27	0.95123	+0.0000	+1.0000
00724	+39.59	+119.23	0.94471	+1.0000	+1.0000
00577	+48.99	+140.41	0.94440	+0.0000	+1.0000
⋮					
⋮					
⋮					
00422	+55.37	+155.55	-0.40317	-1.0000	+1.0000
00439	+60.03	+161.42	-0.40396	+0.0000	+2.0000
03481	+43.12	+145.20	-0.40571	+0.0000	+0.0000
03653	+37.88	+138.20	-0.40970	+0.0000	+2.0000
00437	+59.59	+160.62	-0.43480	+1.0000	+1.0000
03655	+38.33	+138.47	-0.44098	+0.0000	+1.0000
00715	+40.45	+122.31	-0.53454	+1.0000	+1.0000
-1	+0.000	+0.0000	0.00000	+0.3155	+0.9177

図8 ランドマーク解析の結果出力。地点ごとの緯度・経度、最大の相関係数、ピクセル方向とライン方向の補正量を記述している。



バイト目	内容	例
1	Header Type	2
2	Header Record Length	51
4	Projection Name	GEOS(140.00)
36	CFAC	10233128
40	LFAC	10233128
44	COFF	1375
48	LOFF	1375

図9 「#2 Image Navigation」ヘッダー。0° N, 140° Eが1375ライン・1375ピクセルに該当するような全球投影。

バイト目	内容	例
1	Header Type	2
2	Header Record Length	5493
4	Image Compensation Information	*

```
*LINE:=1<CR>COFF:=1375.2<CR>LOFF:=1374.9<CR>
LINE:=101<CR>COFF:=1375.3<CR>LOFF:=1374.8<CR>
LINE:=201<CR>COFF:=1375.4<CR>LOFF:=1374.8<CR>
LINE:=275<CR>COFF:=1375.4<CR>LOFF:=1374.5<CR>
```

図10 「#130 Image Compensation Information」ヘッダー。全球投影の投影中心が、画像上のどこにあるのかをラインごとに記述してある。

どちらも1375である。

一方、図10のように、HRITデータの「#130 Image Compensation Information Header」には、とびとびにそれぞれのラインを処理するとき使用するべきピクセル方向とライン方向のオフセット値が格納されている。このオフセット値が「#2 Image Navigation」の値と異なるときには、画像が本来の投影からずれていることを示している。

すなわち、HRITデータに位置ずれがまったくないならば、地図投影等の処理をするときに、「#2 Image Navigation」ヘッダーに格納されているCOFF,LOFFを使用して問題ないが、位置ずれがある場合は、「#130 Image Compensation Information」ヘッダーの値を使用しなければならないことになる。

したがって、前述のランドマーク解析の結果から、ラインごとの補正量が求めれば、その補正量をオフセットに加えることで、位置ずれを修正できることになる。

HRITデータ位置補正処理では、画像ずれの補正量

を50ラインごとに求めている。それぞれのラインごとの補正量は、該当するラインを中心として、ある一定数の地点をランドマーク解析結果出力ファイルから抽出し、それらの地点の補正量を平均して求める。平均に使用する地点数は、ランドマーク解析結果ファイルに記述されている総地点数の1/20に設定してあるが、あまりにも地点数が少なくなると精度に問題が生じるので、最低でも100地点分のデータを使用するようにしている。

ラインごとの補正量が求めたら、「#130 Image Compensation Information Header」を書き換えた新しいヘッダーを作成する。このヘッダーをアーカイブディレクトリに保存するとともに、データ部を付加した位置補正処理済みのHRITデータを作成し、後続の各種プロダクトの作成で使用する。

## 6. クイックルック画像

図11は、2007年6月1日06UTCのランドマーク解析の結果を衛星画像上に表示したクイックルック画像である。このようなクイックルック画像は観測ごとに作成され、インターネットで公開されている。

黄色い四角はランドマーク解析の対象地点で、水色の線はIR1画像のランドマーク解析から得られた補正量、緑色の線はIR4画像から求めた補正量である。左下には紫の線で赤外1画素の画像上の大きさを示してある。この図では見えないが、同時に水色で画像全体としてのずれも示している。また、ひと目で画像のずれ量がわかるように、全球を4つの領域に分けて、右側にオレンジ色の文字でそれぞれの領域のずれ量を表示している。

前項で述べたように、ずれ量のヒストグラムを利用することにより、完全ではないが、雲のある領域を避けていることがよくわかる。

図11では、雲のない領域では満遍なくランドマークが得られているが、クイックルック画像で注意すべきなのは、晴れているにも関わらず、ランドマー

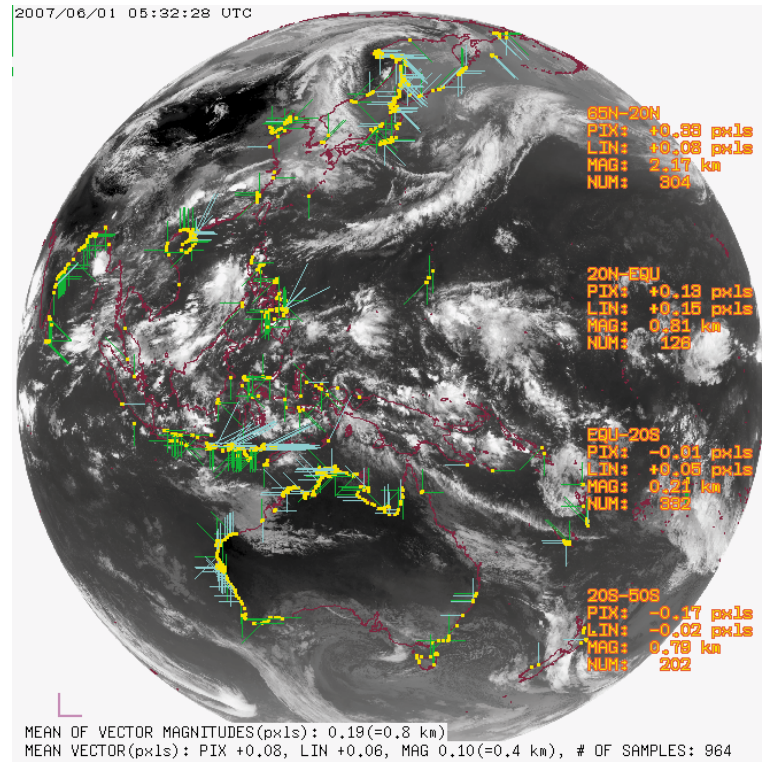


図11 クイックルック画像 (2007年6月1日 F06)。黄色の四角は計算対象地点。水色と緑色の線分はそれぞれIR1とIR4のランドマーク解析結果。線分の向きは位置ずれを修正するために画像を補正する向き。左下の紫色の線分は1画素の大きさ。オレンジ色の文字は各領域全体としての補正量。

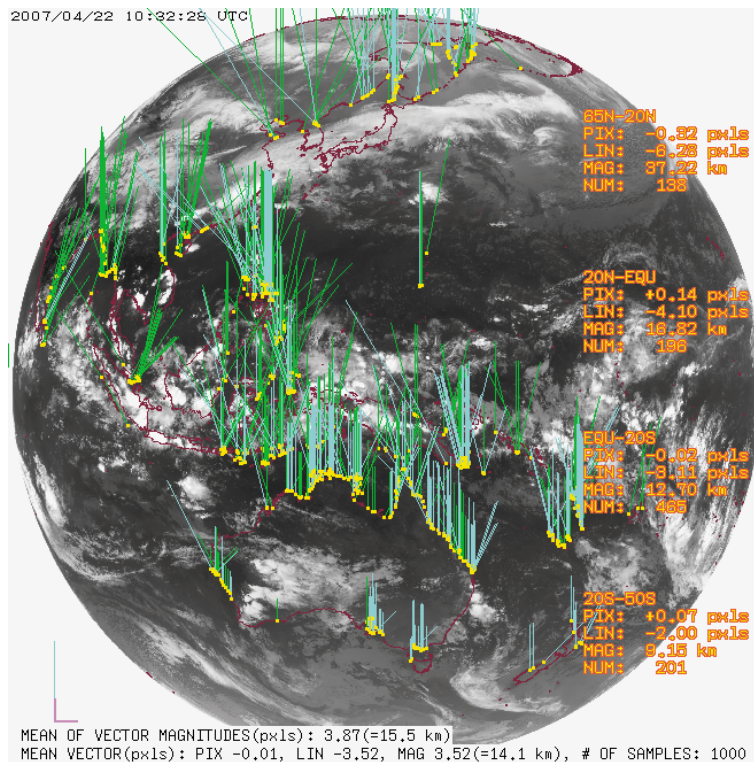


図12 画像が南に大きくずれた例。各地点ごとの線は補正量なので北向きになっている。

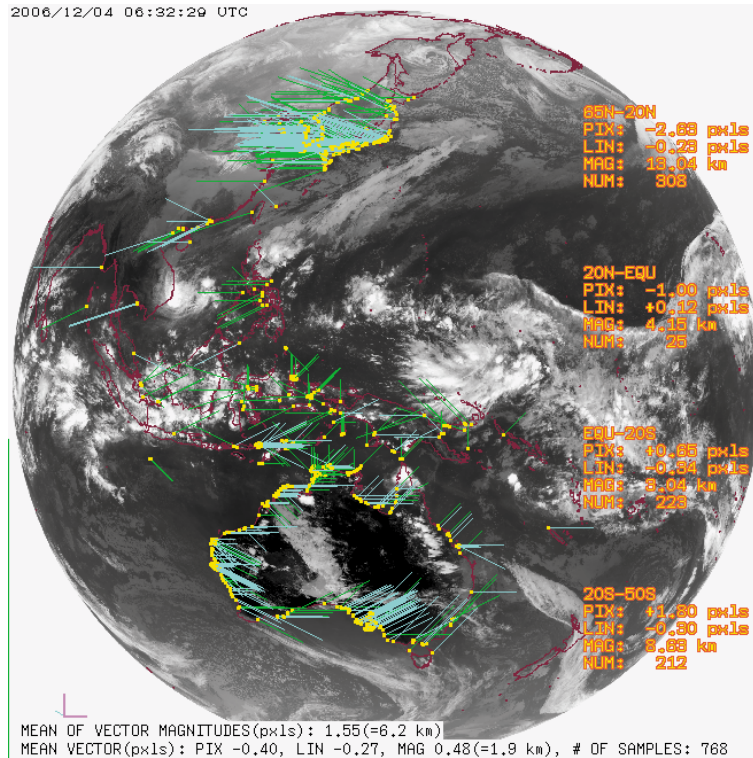


図13 回転ずれがある例。北半球と南半球が反対向きにずれており、回転ずれがあることがわかる。

クが得られていない地域が見られる場合である。クイックルック画像に表示されている地点は、ずれ量のヒストグラムから求めた第一推定値の近傍の地点のみである。画像に歪みがあったり、回転ずれがあったりすると、地点ごとにずれの向き・量がまちまちになるため、第一推定値から離れた地点が増えて、結果として晴れているのにランドマークが得られないということになる。

図11は位置ずれが小さいときの例だが、図12は2007年4月22日F11の画像で、画像が南に大きくずれたときのクイックルック画像である。

さらに図13は、2006年12月4日F07で回転ずれがある場合である。日本付近で画像が東にずれ、オーストラリアでは西にずれているので、回転ずれがあることがひと目でわかる。この図をよく見ると、インドシナ半島付近では、晴れているのにほとんどランドマークが取れていない。これは、N2領域で各地点のずれの向きが一定方向にそろわなかったためである。

図14と図15は、それぞれ、図12と図13のときの位置補正前と後の画像の比較である。画像はオーストラリアの南海岸、スペンサー湾付近を切り出したものである。いずれの場合においても、多少のずれはのこっているものの、大きなずれは適切に修正できている。しかし、大きな回転ずれをランドマークに合わせて平行移動のみで位置補正した場合、ランドマークの得られない海上では、画像に歪みが残る原因になる点に注意が必要である。

## 7. 時系列グラフ

ランドマーク解析の結果を時系列グラフにしたものも、インターネットで公開している。図16はN1領域のもので、期間は8月28日00UTCから9月11日00UTCの2週間である。図は省略するが、他の領域についても、同様のグラフを作成している。

グラフは上から順に、南北方向のずれ(北が正)、東

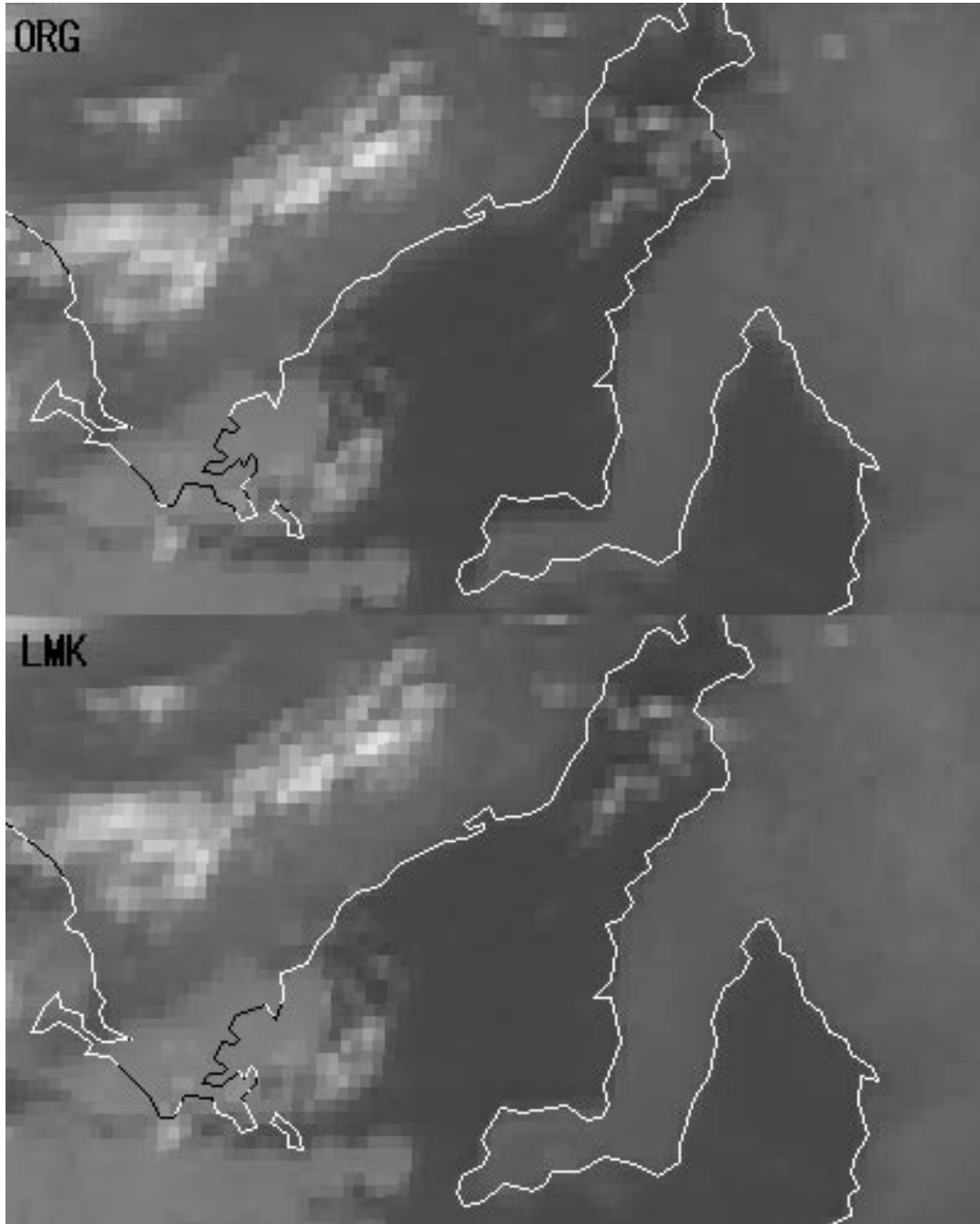


図14 位置補正前と後の比較(図12の場合)。ORGは位置補正前。LMKは位置補正後。

西方向のずれ(東が正)、ずれの大きさ、ずれの向き、ランドマークの地点数である。地点数が多いほど、精度が高いと考えてよい。

ずれの大きさに注目すると、東西軌道制御や蝕に伴う北地球センサ抑止運用の影響で、夜間、一時的にずれが大きくなり、赤外3～4画素(15km)程度のずれとなっているが、その他はおおむね1画素(4km)

以内のずれに収まっている。

図17は、図16と同じ期間・領域について、位置補正後の画像に残っている位置ずれを、ランドマーク解析を用いて調べた結果である。ずれの大きさは、最大で赤外1画素(4km)程度、全体的には0.5画素(2km)以内のずれに収まっており、軌道制御後や蝕期間の比較的位置ずれが大きい場合にも、適切に位置

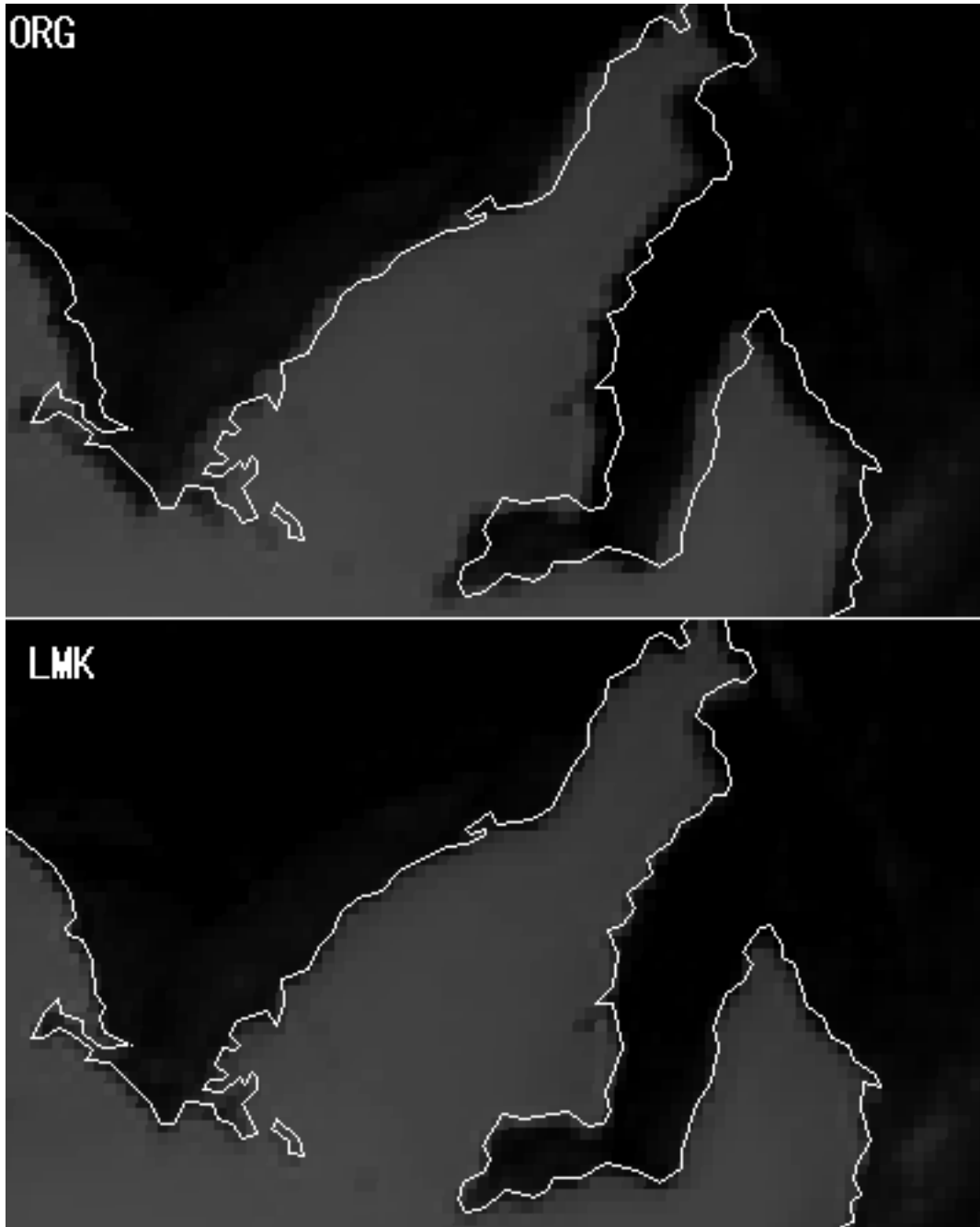


図15 位置補正前と後の比較(図13の場合)。ORGは位置補正前。LMKは位置補正後。

補正できていることがわかる。

図18は図16と同様で、期間がMTSAT-1Rの運用開始以降の時系列グラフである。2006年11月以降は、ほぼ0.5画素以内の位置ずれに収まっており、運用開始当初に較べて、大幅に位置精度が改善されていることがよくわかる。

## 8. まとめ

気象衛星センターでは、2006年6月から、ランドマークによるHRITデータの位置補正処理を開始した。ラインごとに適切な位置補正量を決定することにより、HRITデータの位置補正を行うことができる。

ランドマーク解析の結果は、クイックルック画像

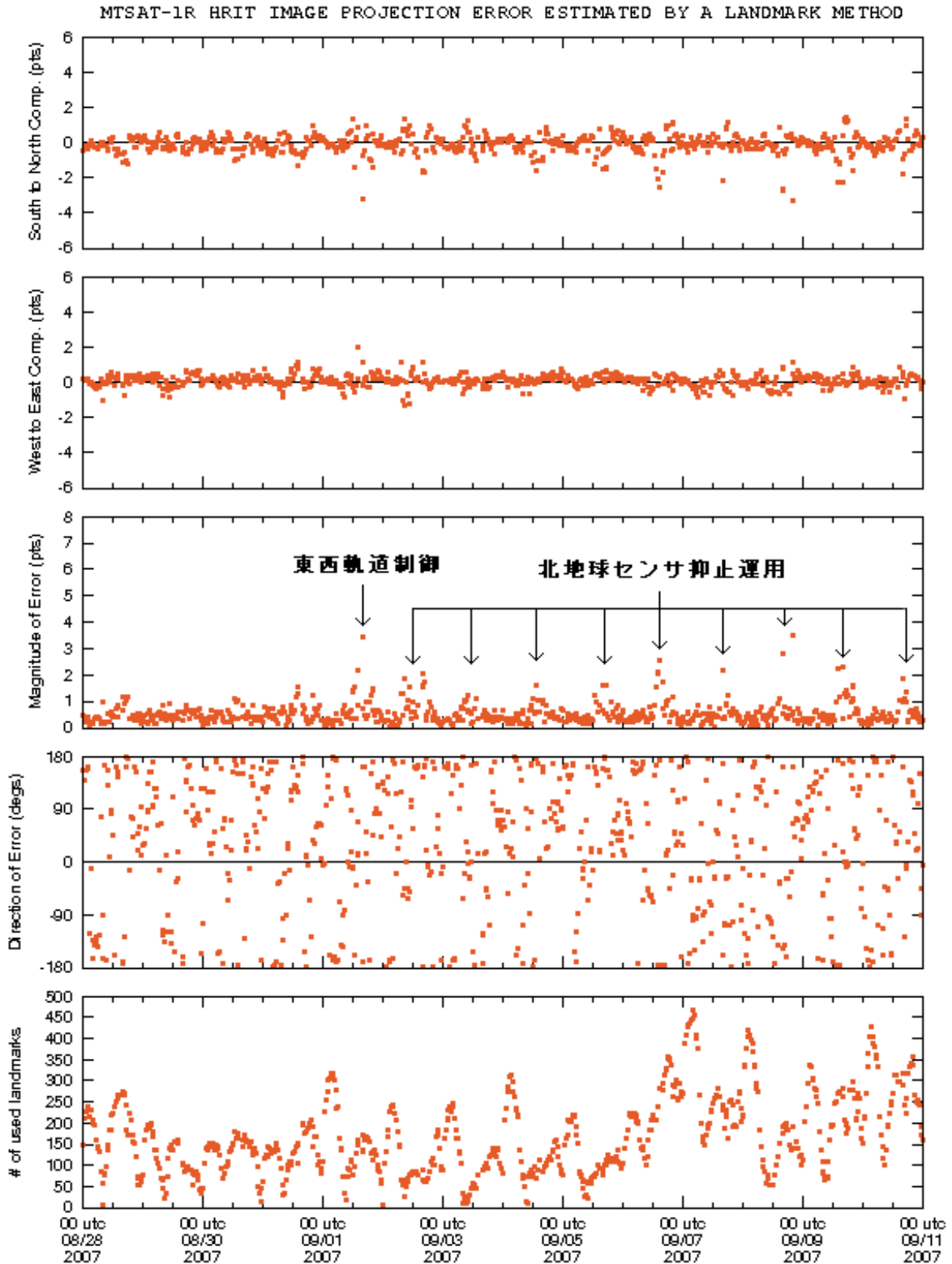


図16 ランドマーク解析結果の時系列グラフ (2週間)。上から順に、南北方向のずれ(北が正)、東西方向のずれ(東が正)、ずれの大きさ、ずれの向き、ランドマーク解析の算出地点数。

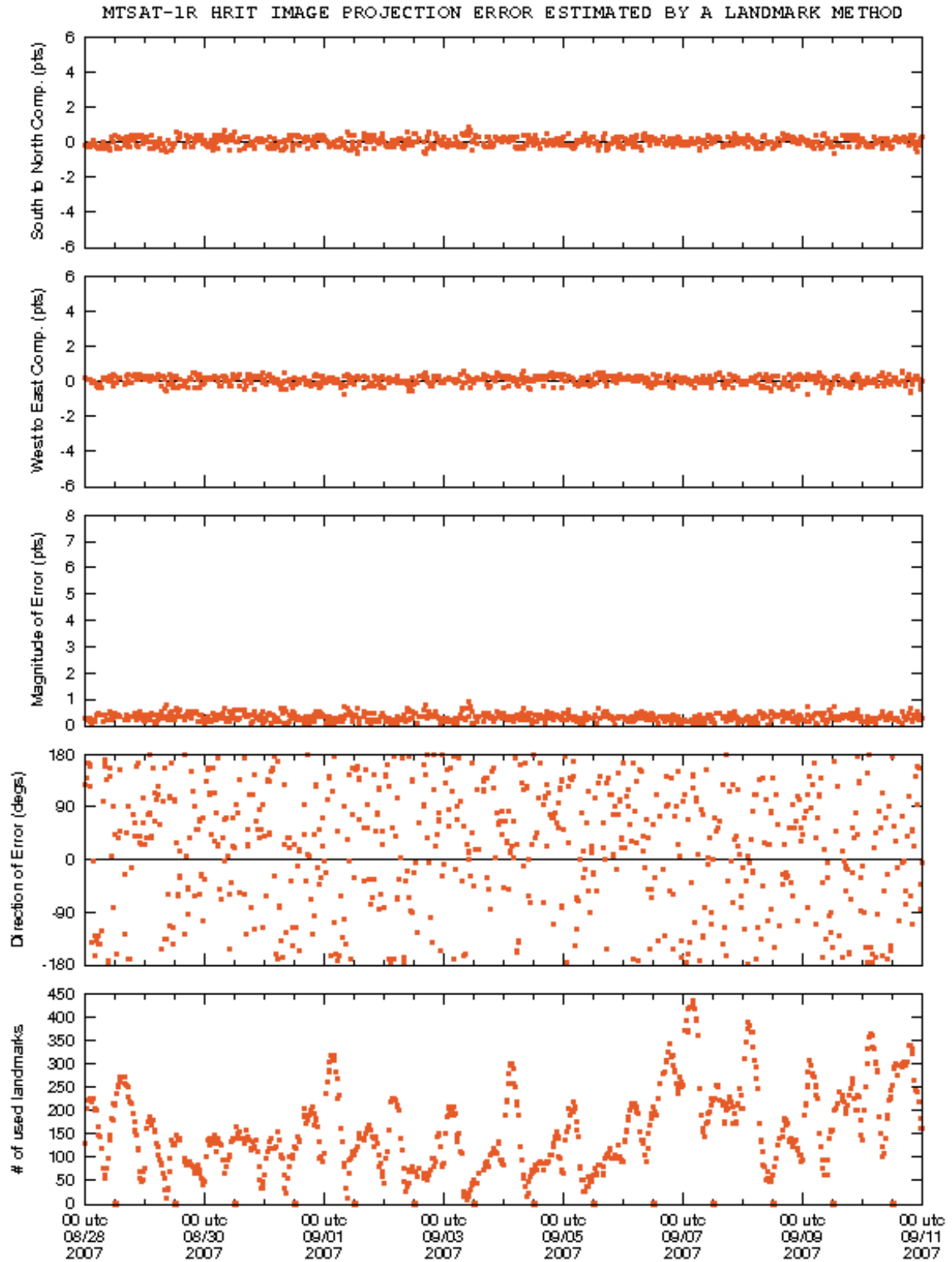


図17 位置補正後の画像に残っているずれの時系列グラフ。期間・領域は図16と同じ。

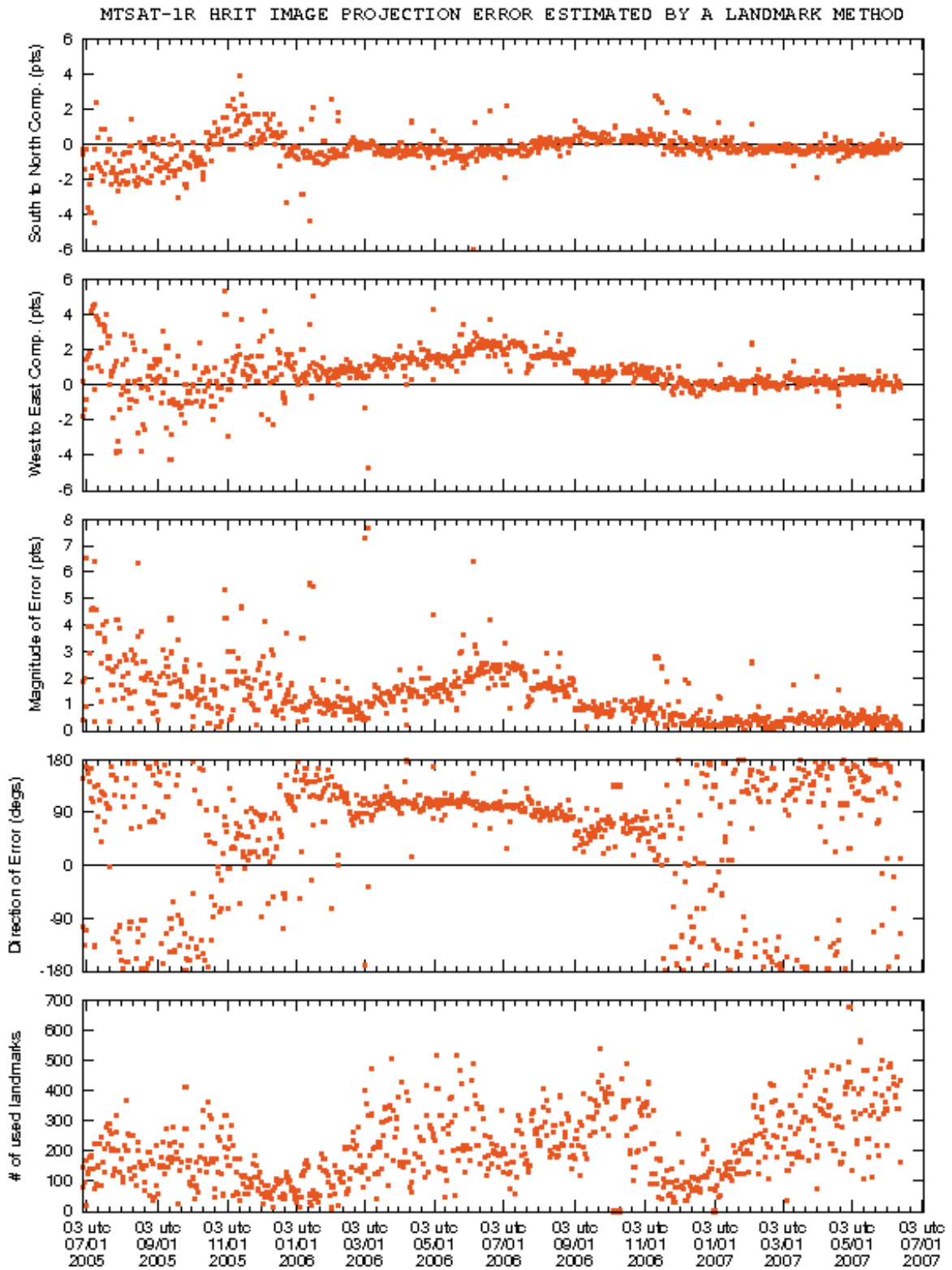


図18 運用開始からの時系列グラフ



や時系列グラフの作成に使用され、HRITデータの品質管理に役立てるとともに、インターネット経由でユーザに品質情報として提供される。

しかし、画像に回転ずれや歪みがある場合は、位置補正後にも、場所によって位置ずれが残ることもありうる。

参考文献

JMA, 2003 : JMA HRIT Mission Specific Implementation Issue 6 (1 January, 2003)  
 JMA, 2003 : JMA LRIT Mission Specific Implementation Issue 1.2 (1 January, 2003)

付録 1 フィルタリング

画像上で、海陸境界などの特徴を強調したり、ノイズを取り除いたりする処理をフィルタリング処理という。

(1) メジアンフィルタ

メジアンフィルタは、3×3の範囲で、中央値を真ん中の画素の値とするようなフィルタで、画像の平滑化のために使用する。

たとえば、

120 125 130  
 122 128 135  
 108 110 126

のような場合を考えると、これら9つの数のメジアンは、125なので、真ん中の128を125に置き換える。画像全体にわたって上のような操作をすると、ノイズを除去する効果があり、画像が平滑化される。

図Aは、原画像とメジアンフィルタを適用した画像の比較である。全体に画像がぼやけた感じになり、滑らかになっているのがわかる。

(2) ラプラシアンフィルタ

ラプラシアンフィルタは、

-1 -1 -1  
 -1 8 -1  
 -1 -1 -1

をオペレータとするフィルタで、境界を取り出すためのフィルタである。

図Bは、図Aの原画像にラプラシアンフィルタを適用したものである。この図からもわかるように、ラプラシアンフィルタで海陸境界を取り出すことができる。

(3) ヒストグラム伸張化フィルタ

ヒストグラム伸張化フィルタは、画像のヒストグラムの幅を引き伸ばすフィルタで、コントラストを強くして明暗をはっきりさせる効果がある (図C)。

画像上の最大レベル値をmaxL、最小レベル値をminL、レベル数をnLevelとすると、与えられたレベル値levelは、

$$level'=(level-minL) \times nLevel/(maxL-minL)$$

に変換される。

付録 2 相関係数

ランドマーク解析では、地形データと衛星データを重ねあわせ、衛星データを1画素ずつずらしながら地形データと衛星データの相関係数を計算し、もっとも相関が高い場合のずらし量を求めている。

地形データの標本をx、衛星データの標本をyとし、個々の値をxi、yi、平均値は上に「-」をつけて表すと、相関係数ρは、

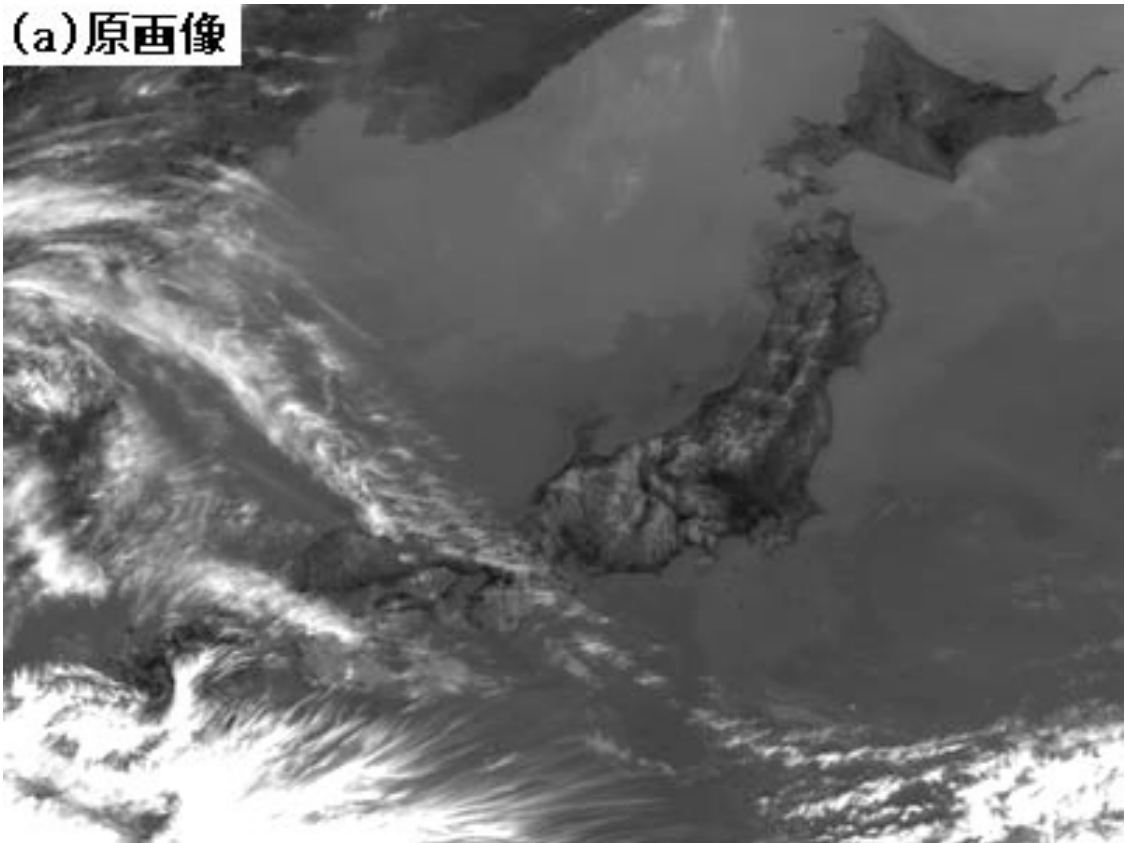
$$\rho = \frac{1}{N} \frac{\sum (xi-\bar{x})(yi-\bar{y})}{\sigma_x \sigma_y}$$

となる。ここで、σは標準偏差、Nは画素数である。標準偏差σは分散の平方根として定義され、分散は、

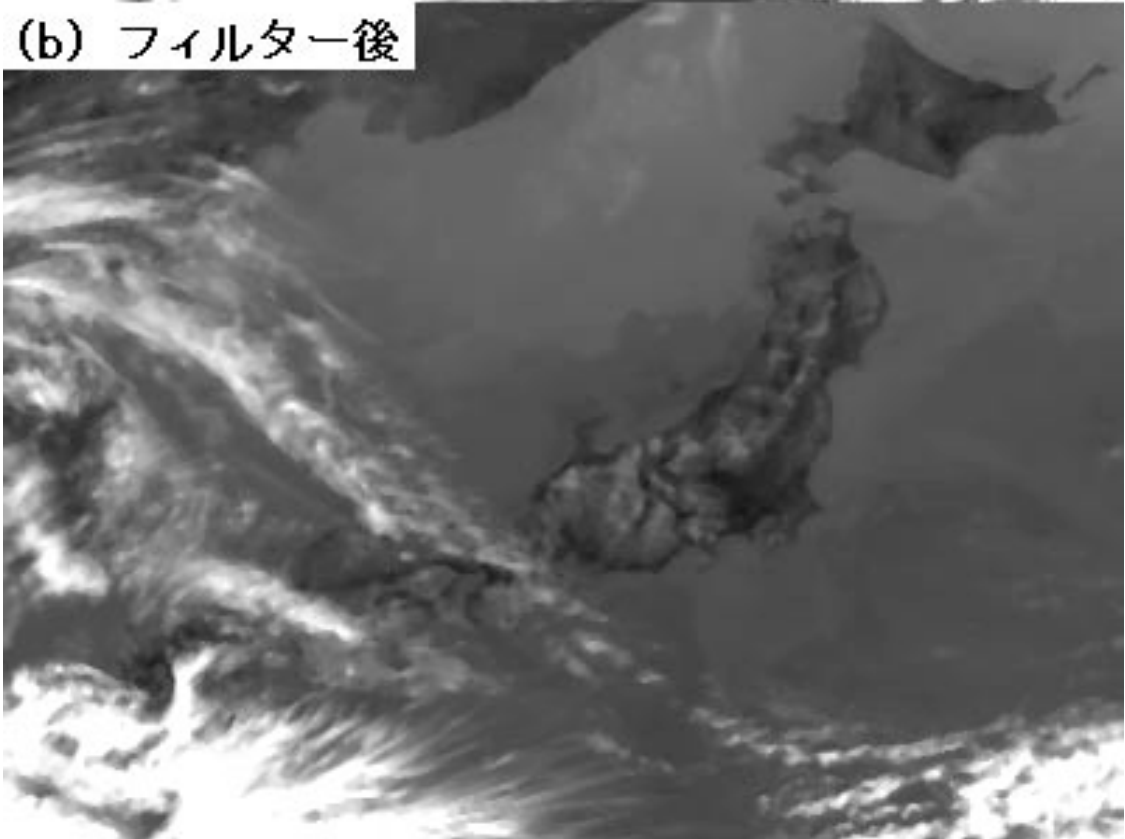
$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum (xi-\bar{x})^2$$

で与えられる。

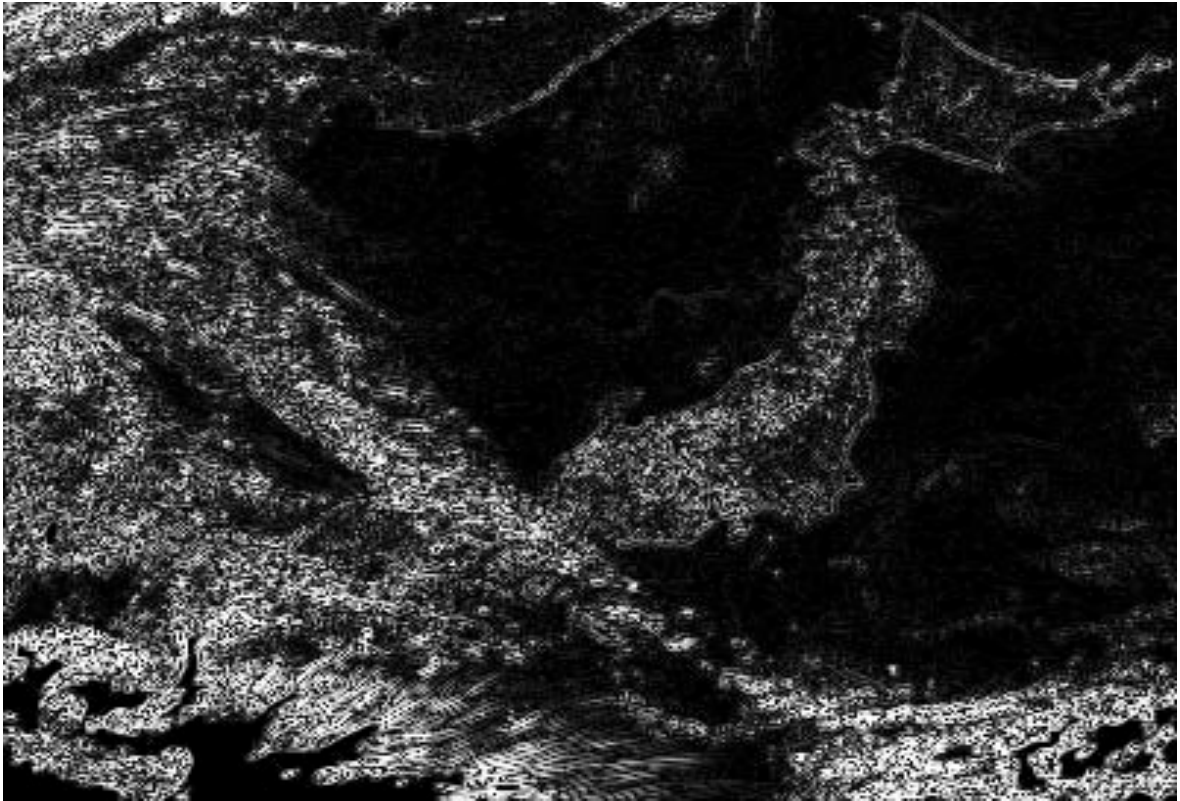
(a)原画像



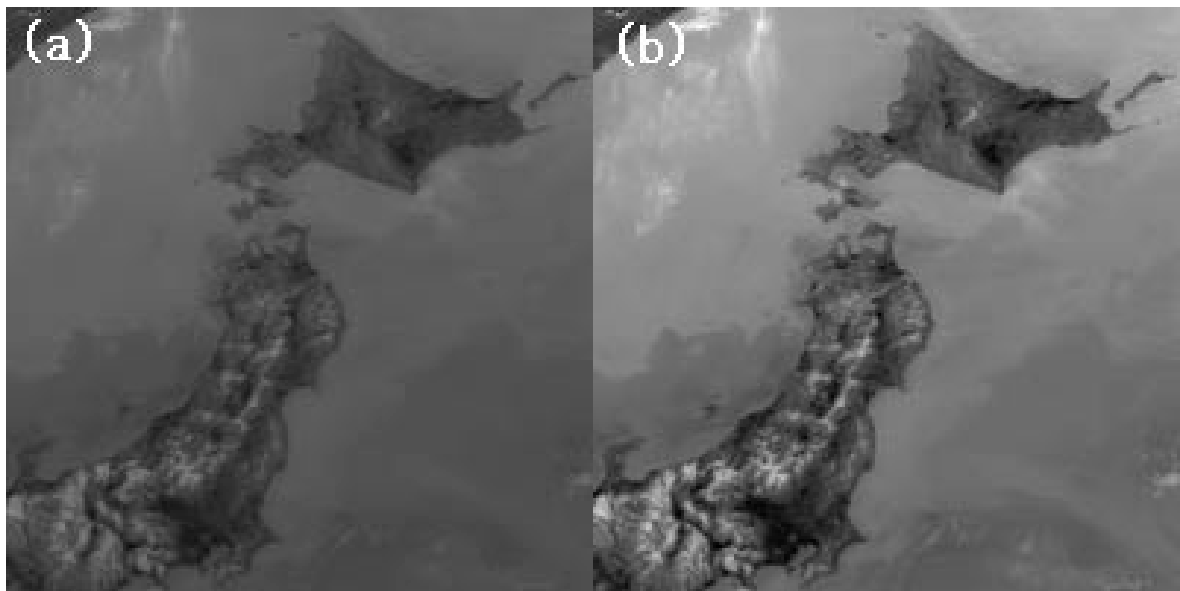
(b) フィルター後



図A メジアンフィルタ。(a)原画像、(b)フィルター後。



図B ラプラシアンフィルタ。図Aの(a)にラプラシアンフィルタを適用。



図C ヒストグラム伸張化フィルタ。(a)原画像、(b)フィルター後。

付録3 山登り法

ある限られた平面内で、 $f(x, y)$ の最大値を求めたい場合、 $x, y$ が整数値で与えられるならば、すべての $x, y$ について $f(x, y)$ を求めれば、かならず正しい値を求めることができる。

しかし、もっと効率よく最大値を求めるために山登り法が使われる。山登り法は、ある1点とその周囲について $f(x, y)$ を求め、 $f(x, y)$ が大きい方に向けて計算領域を広げていく探索法である。

たとえば、

$$f(x, y) = |(x-4)(x-4) + (y-2)(y-2) - 25|$$

の最大値を、 $0 \leq x, y \leq 5$ の範囲で求めることを考える。

たとえば、

$y \setminus x$	0	1	2	3	4	5
0	5	12	17	20	21	20
1	8	15	20	23	24	23
2	9	16	21	24	25	24
3	8	15	20	23	24	23
4	5	12	17	20	21	20
5	0	7	12	15	16	15

のように、すべての $x, y$ について $f(x, y)$ を求めれば、確実に、 $x=4, y=2$ のときに $f(x, y)=25$ になることがわかる。

この例を山登り法で解いてみる。

まず、初期値として、 $(x, y)=(0, 0)$ を与え、その周囲の $(x, y)$ について $f(x, y)$ を求めてみると、 $(x, y)=(1, 1)$ のときの $f(x, y)=15$ がこれらの点での最大値となる。

今度は、 $(x, y)=(1, 1)$ を中心としてその周囲の $f(x, y)$ を求めてみると、 $f(2, 2)=21$ が最大となる。さらに、 $(x, y)=(2, 2)$ 中心として周囲の値を求めると、 $f(3, 2)=24$ が最大値となる。同様に $(x, y)=(3, 2)$ を中心として、その周囲の値を求めると、 $f(4, 2)=25$ が最大値となり、 $f(4, 2)$ を中心として、その周囲の値を求めると、すべて25未満なので、最終的に、 $f(x, y)$ の最大値として、 $f(4, 2)=25$ を得ることができる。

山登り法で $f(x, y)$ を求めた地点を囲んでみると、

$y \setminus x$	0	1	2	3	4	5
0	5	12	17	20	21	20
1	8	15	20	23	24	23
2	9	16	21	24	25	24
3	8	15	20	23	24	23
4	5	12	17	20	21	20
5	0	7	12	15	16	15

となり、19点の計算で最大値が求まったことになる。全地点数36点を求めた場合と較べて、47%計算を省略できたことになる。