

6. 補正処理とデータ処理

以下に衛星画像を解析するのに必要な処理について、ツリー図を示す。ツリーの項番は、後述の目次と対応付けている。最初に補正処理を行い、その後、データ処理を行う。どの処理を実施するかは、作成する主題図により異なり、利用者が容易にデータ判読できるための処理を行う。SAR 画像データ処理は、光学センサによる画像データ処理とは異なるので、分けて記述している。

6.1 補正処理

- (1) 補正係数の算出
 - a システム補正
 - b 精密幾何補正
- (2) 内挿処理 (リサンプリング)
 - a ニアレストネイバー法
 - b バイリニア法
 - c キュービックコンボリューション法

6.2 データ処理

- (1) 画像演算に関する処理
 - a 二値化画像処理
 - b ヒストグラム変換 (表示)
 - c フィルタリング処理
 - d 画像間演算
 - e バンド間演算
 - (a) 比演算処理
 - (b) NDVI 算出
 - (c) その他の処理
- (2) 画像補正に関する処理
 - a 一般的な画像補正処理
 - (a) ラプラシアンフィルターを用いたフィルタリング処理
 - (b) スライス処理
 - b 衛星画像特有の画像処理
 - (a) ストライピング・ノイズ除去処理
 - (b) パスラジアンズの除去

- (3) データ検証に関する処理
 - a 教師付き分類と教師なし分類
 - b 教師付き最尤法
- (4) 画像表示に関する処理
 - a 表示色による分類
 - (a) シュードカラー画像作成
 - (b) カラー合成処理
 - b 表色系の変換
 - c 画像強調処理
 - (a) H S I 変換処理
 - (b) エッジ抽出処理
 - (c) エッジ強調処理
 - d その他
 - (a) 3次元表示 (地形鳥瞰図作成)
 - (b) マルチスペクトルデータ作成

6.3 SAR 画像解析

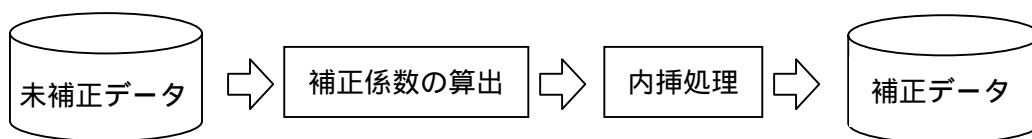
- (1) コントラストストレッチング
- (2) スペックル除去
- (3) 濃度スライス
- (4) データフュージョン

6.1 補正処理

リモートセンシングで得る画像には、幾何学的な歪（主に衛星の移動、姿勢の変化、地球の回転、センサ自身の観測データに対する幾何学的特性などに起因する）が含まれており、この歪を除去する処理を幾何学的補正という。また地表面に関わる画像情報は地図と対応づけられることが一般的であることを考慮すると、これらの幾何学的な歪みは、画像上に示される位置と、実際の地図上に示される位置との差異と言い換えることもできる。

つまり衛星の画像データを利用するためには、衛星の画像と地上の位置との対応を正しく対応づけるために幾何補正が必要となる。

以下には、プロバイダから配布された衛星画像に対し幾何補正する一連の流れを記す。



(1)補正係数の算出

a システム補正（バルク補正）

衛星データの幾何学的歪を、衛星の位置・姿勢データ、地球の幾何学的なモデル、及びセンサの幾何学的特性データを用いて系統的に補正する方法をシステム補正、またはバルク補正という。主として使用される衛星の位置・姿勢データの精度が十分でないため、幾何学的な歪の補正精度は低いが、地上基準点（GCP）を使う精密補正と比べ処理が簡単である。前述されたレベル0のデータ（生データ）をシステム補正するには、衛星画像データに付加された「付帯データ」が必要である。通常はシステム補正された画像データが、衛星画像プロバイダから提供される。

b 精密幾何補正

上記のように幾何学的補正は、衛星の位置・姿勢データ、地球の幾何学的モデル、及びセンサの幾何学的特性データを用いて行われる（システム補正）。しかしこれらの諸データ自身にも誤差が含まれているため、十分な幾何補正精度が得られないことが多い。そこで、地図上などの緯度、経度が既知の点（GCP）と対応する観測画像上の点の画像座標値とを対とするデータを用いることにより、補正精度の向上を図ることを精密幾何補正という。

精密幾何補正を行うために必要な地上基準点を Ground Control Point（GCP）という。GCPを用いてセンサの位置・姿勢を求める手法は、写真測量学では評定と呼ばれ、多くの専門書に記述されている。GCPと位置・姿勢データを併用することにより、必要なGCPの点数を減らすことが可能となるが、精度良く位置・姿勢を求めるためにはGCPが数点必要となる。オルソ補正処理の外部オリエンテーションに使用される各GCPの精度は、高分解能画像データのセンサ位置を決定する上で極めて重要である。外部オリエンテーションが正確でない場合は、オルソ補正処理した画像に誤差が発生する。画像全体にGCPが分散させる必要がある。

(2)内挿処理（リサンプリング）

幾何学的歪補正係数が算出されれば、補正済み画像上の画素が未補正画像のどこに位置するかが分る。その位置の値を決定するための内挿(補間)処理をリサンプリングという。

a ニアレストネイバー法

図 6-1 に元画像（破線）と幾何補正した画像（実線）を示す。図中のピクセル a をリサンプリングにより、幾何補正することを考える。ニアレストネイバー法は、ピクセル a に最も近い実線で囲まれたピクセルに変換する手法である。入出力に利用される画素比が 1 : 1 であるので、出力されるオルソ補正画像のピクセルサイズが大きくなる。従って入力である衛星の画像のサイズを調整する必要がある。

b バイリニア法

図 6-1 のピクセル a と b の 4 ピクセルの画素値に対し、距離に重みづけした平均を取る手法であり、2次元の内挿処理に相当する。隣接画素値を複数利用しているので、単に 1 : 1 で対応させただけの a の手法よりも滑らかで実際に近い概観のオルソ補正画像を得ることができる。

c キュービックコンボリューション法

図 6-1 のピクセル a と b、c の 16 ピクセルを処理することにより変換された「合成ピクセル値」が決定される。b の手法よりも多くの隣接画素値を利用しているので、さらに

画像の復元が改善される。

このようにして補正データを得ることができるが、元画像への復元は困難であり、さらに良い補正を行える可能性があることを考えると、元画像は保存しておく必要がある。

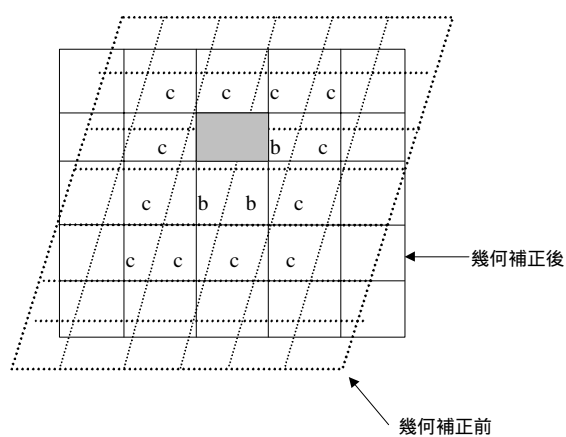
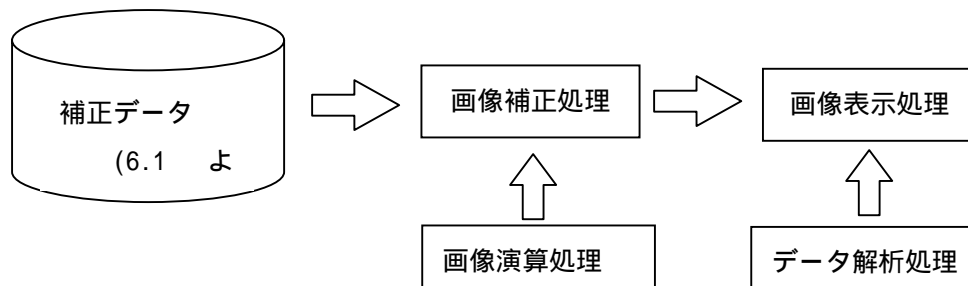


図 6-1 リサンプリングによる幾何補正のイメージ図。元画像を（破線）、幾何補正した画像（実線）を示す

6.2 データ処理

リモートセンシングデータ解析処理を行う上で、幾何補正された後の主なデータ処理を以下に記す。



(1) 画像演算に関する処理

幾何補正により得られたオルソ補正データに関して、一般的な画像処理を行うことによりデータ解析を行う。以下に画像処理を行う上で使用される主な演算処理手法を記す。

a 二値化画像処理

通常さまざまな値を持つ画像を、0と1の二値で表現する手法。目的に合わせた基準値を定め、各画素を0と1に振り分ける。画像の中から処理の対象を形として抽出することができ、処理範囲を限定するためのマスク（表現したくない領域を隠す処理）画像としても頻繁に使用される。ノイズに弱いため、平滑化処理と組み合わせられて使用されることが多い。

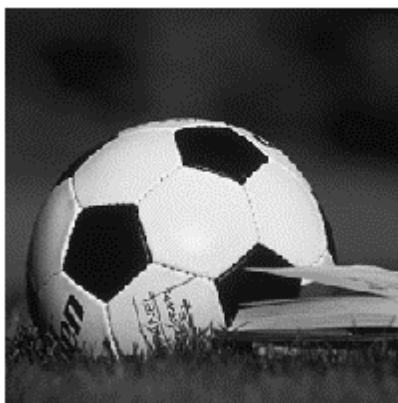


図 6-2(a) 原画像



図 6-2(b) 二値化画像

b ヒストグラム変換（表示）

画像中における各濃度値の頻度（画素数または画素数の全画素数に対する割合）を求めたものをヒストグラムという。このヒストグラムに注目して濃淡の変換を行う手法をヒストグラム変換という。変換には主に図 6-3(a)(b)に示すような偏ったヒストグラムを広げる手法の他、図 6-4 に示すような平滑化手法などがある。

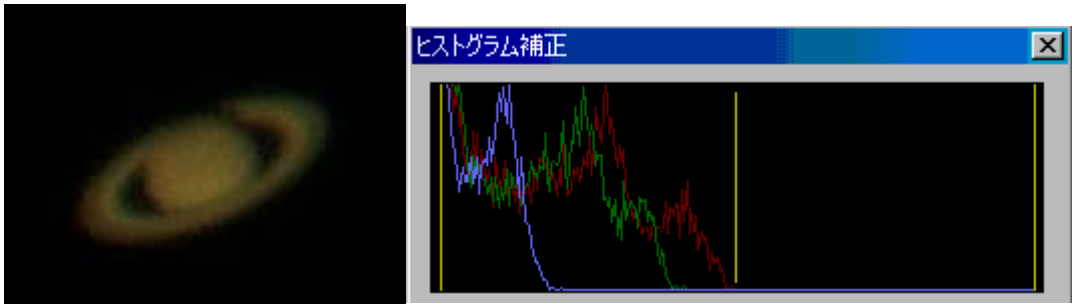


図 6-3(a)原画像とそのヒストグラム

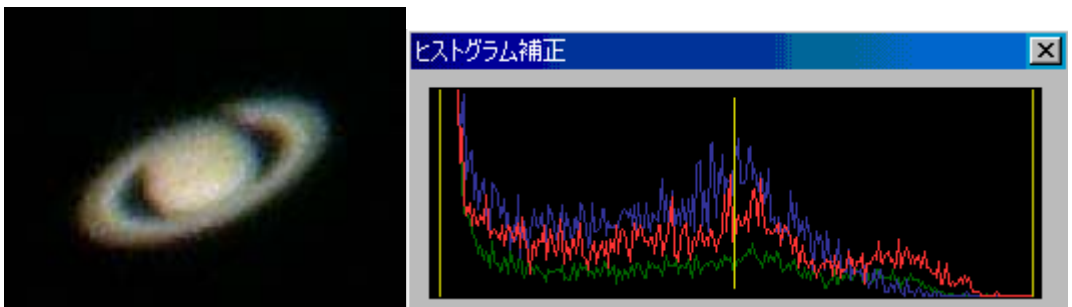


図 6-3(b)変換後の画像とヒストグラム

(<http://home.att.ne.jp/red/Mopar/dc/xoom/imgprc.html> より参照)

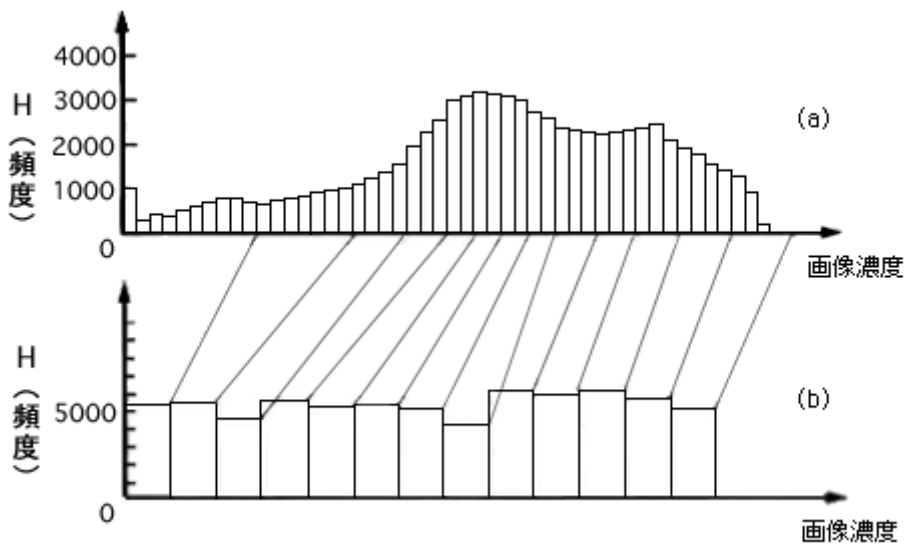


図 6-4 ヒストグラムの変換（平滑化）

(<http://nis-lab.is.s.u-tokyo.ac.jp/~nis/CG/cgtxt/index2.htm> より参照)

c フィルタリング処理

一枚の画像内において画素ごとの値を操作する手法の一つである。注目画素の画素値を、周辺画素値を利用して決定する。周辺の画素値に対する重み付けをフィルタリングと呼ぶ。重み付け係数をまとめたものをフィルターと呼び、フィルターによってさまざまな出力を得ることができる。図 6-5 に平滑化と呼ばれるフィルターを用いた例を示す。

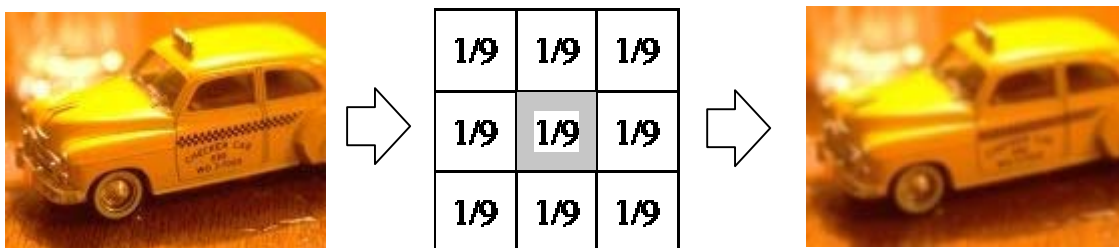


図 6-5 平滑化フィルターを用いた画像変換

(http://water.si.hirosaki-u.ac.jp/~slmizu/jikken_gazo/jikken_gazo/node3.html

<http://pegasus.sfc.keio.ac.jp/~cgsoft/Release/Textbook/image04.html> より参

照)

d 画像間演算

互いに関連を持った複数の画像間で演算を行うことを画像間演算という。具体的な処理は、同じ位置の画素同士を演算する（加減など）ことにより、出力画像を生成する。使用される画像としては、同じ対象領域（対象物）を異なる時期に撮影した時系列画像や、複数の波長帯（バンド）に分けて撮影したマルチスペクトル画像がある。

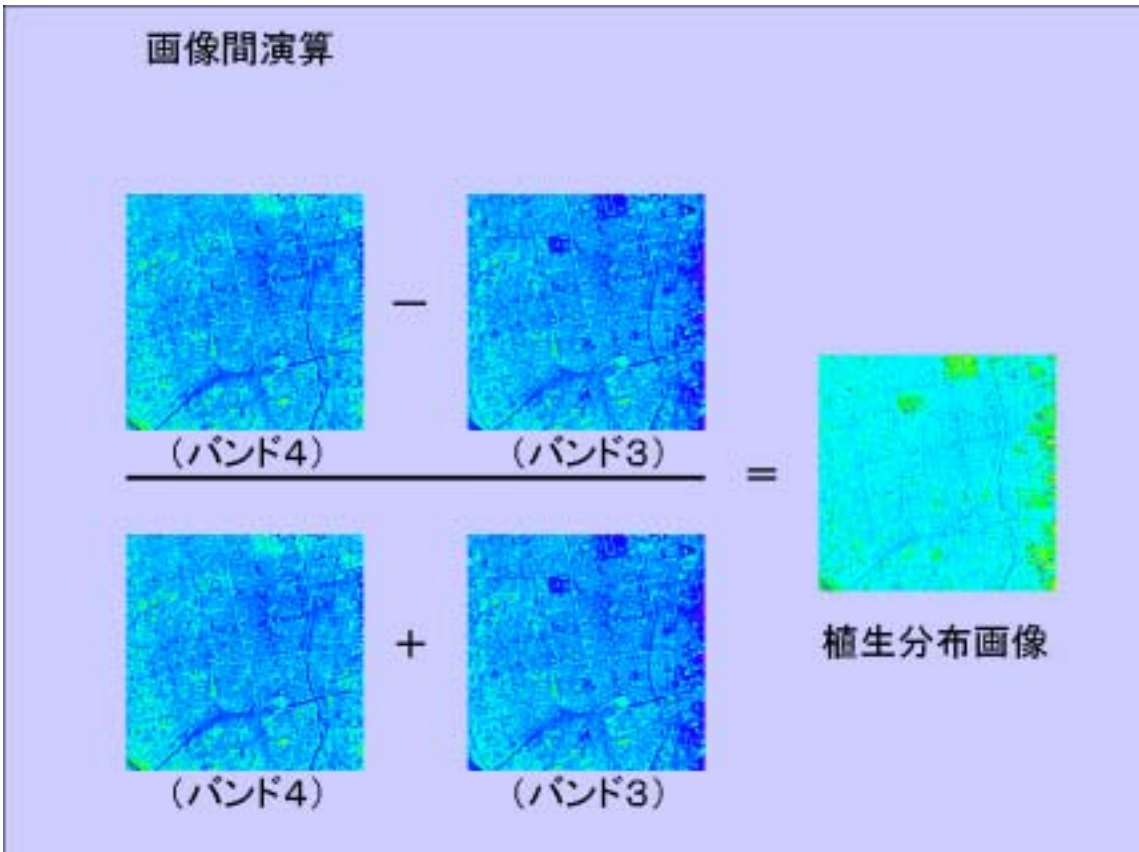


図 6-6 画像間演算の例 (マルチスペクトル画像)

(<http://vega.dj.kit.ac.jp/infrared/gakubu/guide/bandc.html> より参照)

e バンド間演算

画像間演算の中でも、特にマルチスペクトル画像を利用した、複数のバンドデータ間の演算処理をバンド間演算と呼ぶ。またバンドデータ数が二つであるときを特にバイバンド法と呼ぶ。主なものを以下に記す。

(a)比演算処理

バイバンド法の代表的な演算方法である。処理としてはバンド間の輝度値の比を取ることによって演算を行う。この処理は(1)地形による太陽のあたり方の違いを弱めること、(2)太陽光の強弱の影響が除去できること、からしばしば使用される。

(b)NDVI 算出

リモートセンシングデータの多バンドデータから求められる植生の有無・多少・活性度を示す指標(vegetation index)のひとつ。NDVI(Normalized Difference Vegetation Index: 正規化植生指標)は以下の式で求められる。

$$NDVI = (IR - R) / (IR + R)$$

ここで IR は近赤外バンドの反射率、R は可視の赤バンドの反射率である。画素に対応する地表上での植物の葉が多いほど、NDVI の値は高くなる。

(c)その他の処理

バイバンド法による代表的な演算として(a)比演算処理の他に TDCS(Two Dimensional Contrast Stretch)処理がある。一方、任意の数のバンド間演算処理には主成分分析処理、無相関ストレッチ処理、HSI(Hue-Saturation-Intensity)変換などがある。

(2) 画像補正に関する処理

前述の一般的な画像演算処理を使用し、衛星画像特有のノイズ除去や一般的な画像補正を行う。

a 一般的な画像補正処理

(a) ラプラシアンフィルターを用いたフィルタリング処理

一般的な画像補正技術で、フィルタリング処理の中でエッジ強調の手段として用いられる。エッジ強調処理には、一次微分（グラディエント）フィルターと二次微分（ラプラシアン）フィルターが用いられ、前者はベクトル量でエッジ方向（垂直、水平方向）に依存したフィルタとなるのに対し、後者はスカラー量でエッジ方向に依存しないという特性がある。特に二次微分のフィルターをラプラシアンフィルターと呼び、等方的でサイズも小さいためよく用いられる。

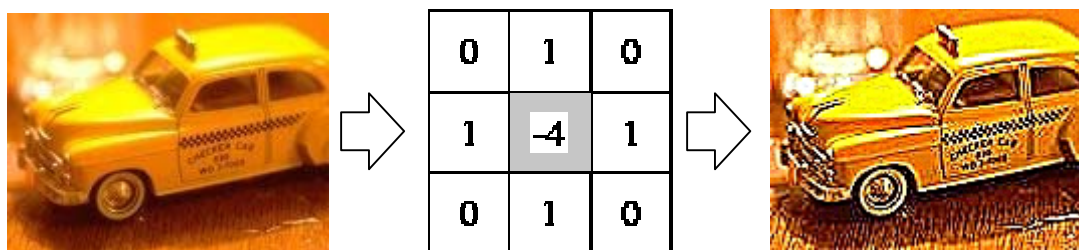


図 6-7 ラプラシアンフィルターを用いた変換

(http://water.si.hirosaki-u.ac.jp/~slmizu/jikken_gazo/jikken_gazo/node3.html
<http://pegasus.sfc.keio.ac.jp/~cgsoft/Release/Textbook/image04.html> より参照)

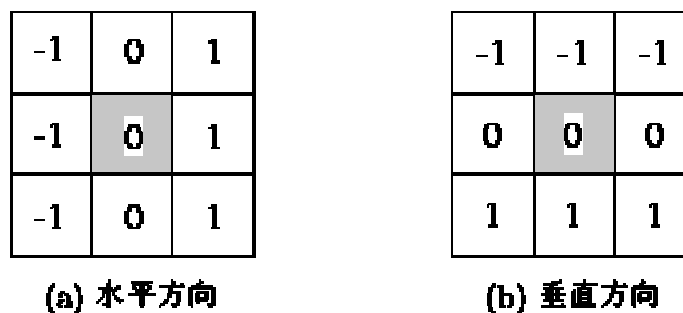


図 6-8 一次微分フィルター

(http://water.si.hirosaki-u.ac.jp/~slmizu/jikken_gazo/jikken_gazo/node3.html より参照)

(b) スライス処理

画像を特定の値に注目して複数個の区分に分割し、各区分に特定の色や濃度レベルを割り当てることをレベルスライス処理という。濃度分割ともいう。

図 6-9 に植生活性度に注目して分割、値が高い方から赤 橙 黄 緑 水色 青 青紫で表現したものを示す。

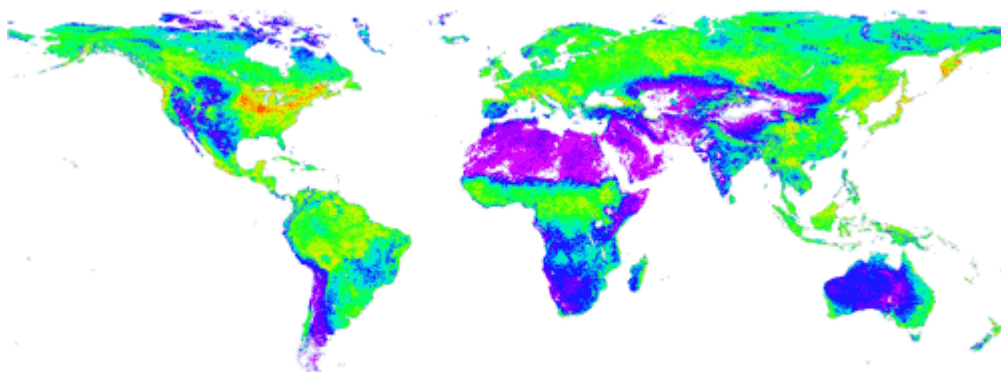


図 6-9 レベルスライス処理の例

(<http://www-cger.nies.go.jp/cger-j/db/enterprise/gwdb/C00/C0n/c02.html> より参照)

b 衛星画像特有の画像処理

(a) ストライピング・ノイズ除去処理

人工衛星に搭載された走査型センサでは、複数個の検出器で並列して測定している場合がある。この場合、各検出器の感度の違いにより収集された画像データには縞状のノイズが現れる（通常ストライピング・ノイズと呼ばれる）。このノイズを補正することをノイズ除去処理（デストライピング）という。



図 6-10 (a) ストライピングノイズが生じた画像



図 6-10 (b) 処理後の画像

(<http://www.kikulab.naruto-u.ac.jp/~yshino/study.html> より参照)

(b) パスラジアンズの除去

衛星で得られたセンサ出力から、地表対象物の固有の値と考えられる反射率を推定するためには、地表対象物からの反射が大気を通過することによる減衰分と、パスラジアンズ（大気からの放射）の大きさを推定し、これを除去する必要がある。このために必要な一連の処理を大気補正と呼んでいる。

(3) データ検証に関する処理

画像補正されたデータに対して、陸域情報抽出でよく用いられるデータ処理法の一つに「分類」がある。分類を行う処理には、教師付き分類法と教師なし分類法の二つの手法がある。

a 教師付き分類法と教師なし分類法

「教師」とはデータが分類される際に使用されるグラントゥールースデータから求めた「閾値」のことである。従って教師付き分類法とは、分類後の各区分に入るデータ値をあらかじめ把握している場合にのみ使用できる分類法である。一般的にリモートセンシングでは、それぞれのセンサに対する植林地帯の値、都市地帯の値等を統計的に予測できるため、教師付き分類法が用いられる。このような閾値をまとめてトレーニングデータと呼ぶ。

一方で分類後の各区分の予測がまったくできない場合には、教師なし分類法を用いる。教師なし分類法は一般的な画像処理ではクラスタリングと呼ばれ、任意の閾値を動的に設定することができるが、画像により有効な閾値が異なるため実用的な分類を行うことが難しい。

b 教師付き最尤法

教師付き分類法の主なものとして最尤法(maximum likelihood classifier)があげられる。最尤法とは、画素データごとに各クラス(分類項目)の尤度関数から尤度を求め、最大尤度をもつクラスに分類する方法のことである。尤度関数とは各クラスのデータに対する確率密度関数のことである。尤度関数は、各クラスのトレーニングデータの分散共分散行列と重心で定義される多次元正規分布を仮定する。

(4)画像表示に関する処理

補正、解析された画像をさらに解析者が画像を判読するため、実際に画像表示を行う必要がある。画像表現手法は表示技術や画像の使用目的により分類されている。以下に主な画像表現手法を示す。

a 表示色による分類

画像を表示する使用色により、濃淡表現とカラー表現とに分類される。濃淡表現とは、各ピクセルの有している輝度値に比例または反比例させて、黒～灰～白の明るさを割り当てることにより表現する手法で、得られる画像は白黒画像のようになる。主にレーダ画像のように1つの波長域のみを利用した画像の表示などに用いられる。カラー表現とは、複数の波長域で観測されたデータ表示や、熱映像画像を温度別に色分け表示する場合に多用され、濃淡表現よりも多くの情報を得ることができる。

(a)シュードカラー画像作成

元々単バンドデータの濃淡表現であったものに対して便宜、色彩を用いて表現する手法で、人間の視覚が濃淡より色彩の変化に鋭敏な点を利用している。例として図6-11に熱赤外バンドにこの手法を用いた場合を示す。ここでは低温部には寒色系の色、高温部には暖色系の色を割当てるなどの配慮をしている。

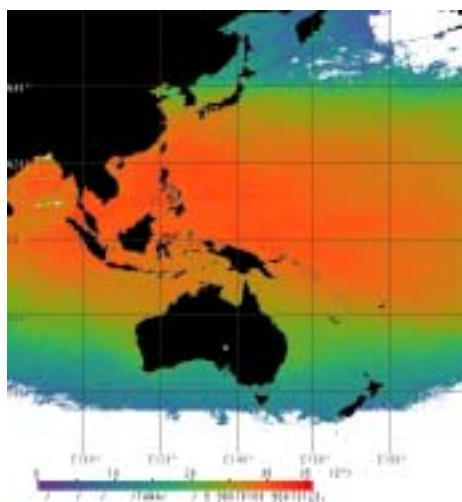


図6-11 GMS 熱赤外バンドから作成した海面水温の画像

(b)カラー合成処理

マルチバンドデータから3つのバンドを選び、3原色を割当てて表示するとカラー画像が得られる。これがカラー合成の基本である。可視域の青、緑、赤の波長域のデータにB,G,Rを割当てて加法混色によりカラー合成すると、普段見慣れたカラー写真のような天然色の画像が得られる。これらのうちイメージに近い色合成をナチュラルカラー合成(図6-12(a))、実際に目にする色合成をトゥルーカラー合成(図6-12(b))という。対して画像の色が人間の目に見える自然の色と違うカラー合成を、フォルスカラー合成(図6-12(c))と呼ぶ。

フォルスカラー合成はマルチスペクトルセンサで複数の波長帯に分けて撮影した画像において、互いに異なる3つの情報を3原色に割り当てて濃淡画像を作成、混色しカラーが増加したものである。



図 6-12(a)ナチュラルカラー合成



図 6-12(b)トゥルーカラー合成



図 6-12(c)フォルスカラー合成

(http://hdsn.eoc.nasda.go.jp/experience/rm_kiso/image_processing.html より参照)

b 表色系の変換

表色系とは色を表現する体系を言い、最も有名なものがRGB表色系である。

これは互いに独立した3つの色を混色することにより、すべての色を表現できるとした考え方(三色性)に基づいた表色系である。光の三原色であるR(red:赤)、G(green:緑)、B(blue:青)で示される。しかし人間の目は色相、明度、彩度の各々の変化に対して違った尺度を持っているのに対し、RGBでその三要素を独立に表現することは難しい。従って表色系を変換する処理が必要となる。

HSI表色系は、上記の三要素に注目した表色系でH(hue:色相)、S(saturation:彩度)、I(intensity:明度)で示される。SIGGRAPHの式(HSI変換式)によりRGBへの変換が可能である。

またその他の表色系として代表的なものに、CMY表色系(C:cyan, M:magenta, Y:yellow)、XYZ表色系などがある。

図6-13にHSIカラーモデルを示す。ここで各アルファベットは各表色系(RGB, HSI, CMY)を示し、Wは白である。

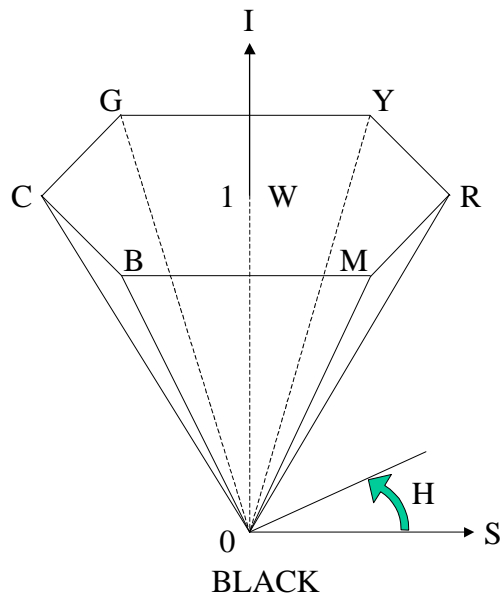


図 6-13 HSI 六角錐カラーモデル

c 画像強調処理

画像データの解析者が画像内容を視覚的に把握しやすくするために、元の画像に解析目的に応じた加工を施すことを画像強調という。主な画像強調には、カラー合成、ヒストグラム変換、HSI 変換、エッジ処理がある。

(a) H S I 変換

特にフォルスカラー画像の場合、画像に固有の H、S、I に特徴強調をかければ、それらの情報を十分保持した形でより有意な情報を抽出することができる。図 6-14 は、SPOT XS フォルスカ-画像と SPOT PA 白黒画像の合成の処理フローであるが、破線で囲んだ部分が HSI 変換に相当する部分である。

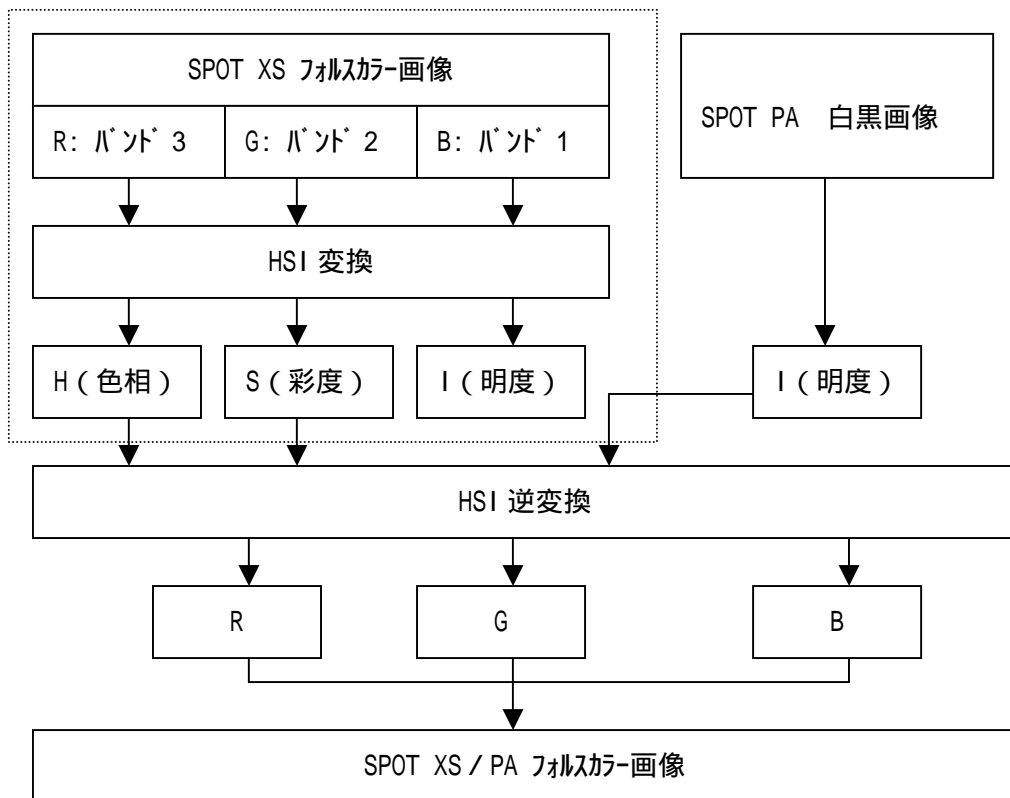


図 6-14 HSI 変換による画像の合成例

(b) エッジ抽出処理

線画という言葉があるように、画像や情景は、線・輪郭だけによってある程度表現することができる。デジタル画像処理においてもこれらは重要な意味を持ち、物体の認識や画像の解析を行うためには、まず線・輪郭の要素を画像から抽出することが多い。人間が線・輪郭を検出するのは、下図のような濃淡変化パターンが連続している場合であるといわれている。こうした濃淡パターンを計算機によって抽出するために、いろいろな手法が考えられている。

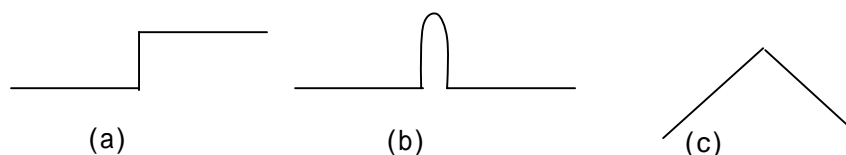


図 6-15 画像中で認識できる濃淡変化パターン

図 6-15(a) step に示したステップ状の濃淡変化は、一般にはエッジと呼ばれ、明るさが急激に変化している場所と考えることができる。たとえば暗い背景の上に明るい物体が映っている場合のように、エッジは対象物体の輪郭上に現れることが多い。このため、画像解析において重要な情報として頻繁に使われる。

国土管理における衛星画像データの利用では、画像内の道路、沿岸、河川などの情報をエッジ処理すると、対象とする部分の視覚認識が良くなるため、画像解析が容易になる。実際にエッジ抽出処理を行った例を図 6-16 に示す。



図 6-16(a) 原画像



図 6-16(b) エッジ抽出画像

(<http://www.asr.co.jp/user/nobo/bk/bk07.html> より参照)

(c)エッジ強調処理

リモートセンシング画像においてリニアメント（線状構造）や水系、稜線、農地境界などの地形的情報の抽出を容易にするために、原画像に適切なフィルタ（ある周波数成分の保存、除去などを行うこと）をかけ画像の尖鋭化を図ることをエッジ強調という。エッジとして認識できる部分では、画像の濃淡の急激な変化が期待されるため、その濃淡差を微分処理により強調する方法がとられる。



図 6-17(a) 原画像

図 6-17(b) エッジ強調処理後

(<http://www.kiui.ac.jp/~tac/Photonick/contents/basic.html> より参照)

d その他の処理

(a) 3次元表示（地形鳥瞰図作成）

地形の起伏を斜めから眺めた画像を鳥瞰図という。鳥瞰図は地形の平面的情報のほかに高さの情報を含むので3次元景観ともいわれる。鳥瞰図を作成するには、斜投影を利用する方法と、中心投影を利用する方法があるが、前者の方法でほとんどの場合十分である。

リモートセンシングにより得られる画像データと同じ画素の位置の地形標高が与えられていれば斜投影変換が可能であり、画像データとしてリモートセンシングデータをあてはめればよい。地形データのみしかない場合には地形データから勾配、斜面方位、陰影等の地形的情報を求め、これに赤、緑、青、あるいは色相(H)、彩度(S)、明度(I)を適当に割当てて出力すれば地形の起伏がよく表現できる。図6-18にリモートセンシングデータの鳥瞰図の例を示す。

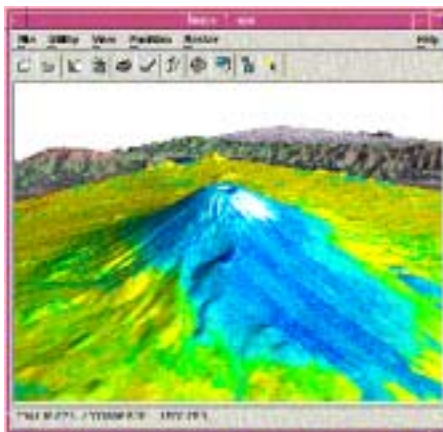


図6-18 リモートセンシングデータの鳥瞰図（株式会社パスコホームページより）

(b) マルチスペクトルデータ作成

ある対象に対して、複数の観測帯でその対象からの電磁エネルギーの反射・放射を測定したデータをマルチスペクトルデータ（マルチバンドデータ）という。一般に、物質は電磁エネルギーに対してそれぞれ固有の波長帯でスペクトル反射・吸収帯を有している。（図 6-19）

リモートセンシングでは、物質によるこの反射・吸収帯の違いを利用して対象物を識別する。可視近赤外域から熱赤外域までをいくつかの観測帯に分けて取得したマルチスペクトルデータをカラー合成、比演算処理、主成分分析等の画像処理することによりスペクトルの違いを強調し、地表被覆等の区分を行っている。

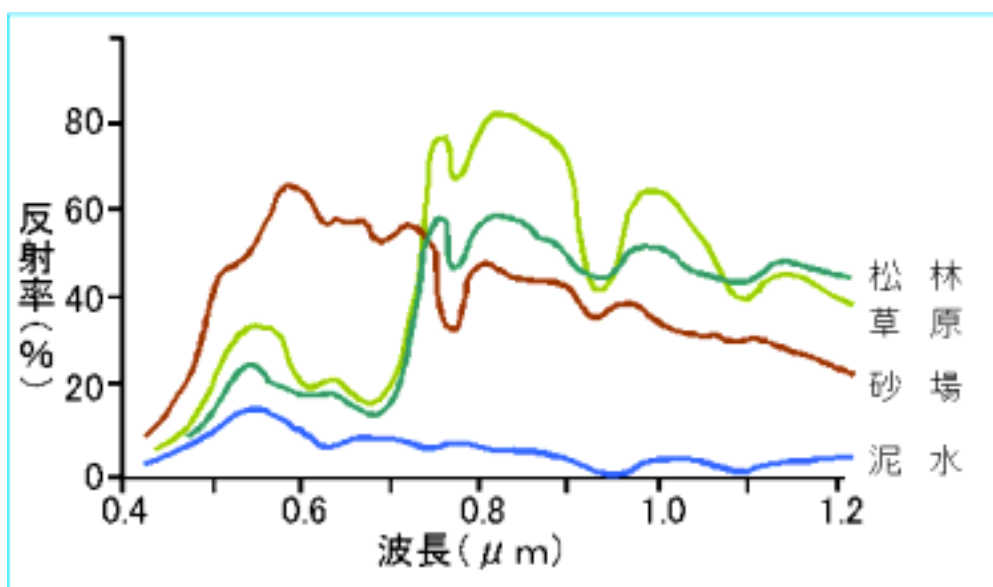


図 6-19 物質による反射率の変化

(<http://www.sci.osaka-cu.ac.jp/~masumoto/vuniv2000/gis09.html> より参照)

6.3 SAR画像解析

合成開口レーダ(SAR)画像についても、光学センサで得られた画像と同様、表示機能をはじめ、幾何補正、解析処理が可能である。

(1) コントラストストレッチング

レーダデータの値は広い範囲にあり、画像をコントラスト強調して見やすくするために、階調をストレッチング(拡張)する操作を行う。Square-Root(平方根)ストレッチにより、指定された範囲のグレースケールにレーダデータを拡大でき、レーダ画像の表示性能を改善することができる。 図6-20にSquare-Rootストレッチを適用したドイツ、ボンのRADARSAT画像を示す。



図6-20 Square-Rootストレッチを適用したドイツ、ボンのRADARSAT画像

(2) スペックル除去

SAR画像にはスペックルと呼ばれるノイズがあり、これを除去するためにフィルタ処理を行う。データの空間特性に影響を及ぼさずに画像からレーダのスペックルを除去したものを図6-21に示す。



図6-21 SAR画像(RADARSAT)データからレーダのスペックルを除去したもの

(3) 濃度スライス

画像の輝度に基づいてレーダの差を視覚的に強調することができる。濃度スライスしたSAR画像(RADARSAT)を図6-22に示す。

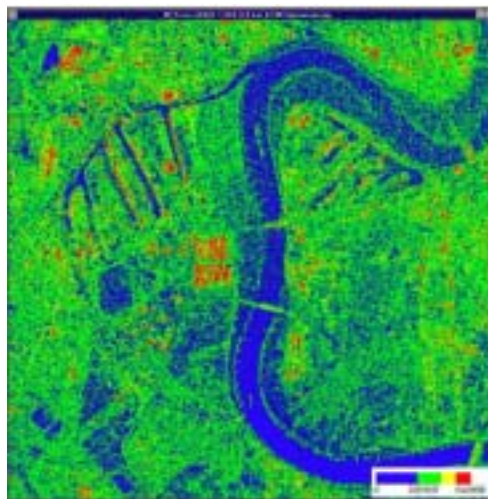


図6-22 濃度スライスしたSAR画像(RADARSAT)

(4) データフュージョン

SAR画像データには大量の空間的な情報が含まれている反面、マルチスペクトル光学センサによる成分情報が含まれていない。従って、両者を組み合わせることにより、視覚的に改善される。RADARSAT画像とLandsat TM画像を融合(フュージョン)した画像を図6-23に示す。



図6-23 RADARSAT画像とLandsat TM画像を融合(フュージョン)した画像