

## 8 . リモートセンシングを使った解析方法

### 8.1 教師付き分類と教師無し分類（土地被覆分類）

土地被覆分類を行う手段として、教師付き分類と教師無し分類に大別することができる。教師付き分類とはグラントゥールス（地上での実測値）を使用する分類法であり、教師無し分類はグラントゥールスを使用しない分類法である。

教師付き分類は、画像からあらかじめ定められたカテゴリー（土地分類）を最もよく代表していると思われる領域を抽出する手法である。このとき指定される領域をトレーニングエリアと呼ぶ。トレーニングエリアは、例えば、オペレータがあらかじめ地図データから現地の情報を把握している場合に、その領域と画像データとの対応付けを行い、画像データの土地被覆分類を行う手法である。教師付き分類は、標本の無作為性および独立性に問題が生じる可能性がある。

教師無し分類では、画像データの画素をランダムに選択し、統計的手法を使用して、いくつかのクラスに分類し、カテゴリーに対応づける手法である。教師無し分類では、生成されたクラスとカテゴリーとの対応づけが困難であるという欠点がある。

図 8-1 は、Landsat TM の画像で、フォルスカラー赤外写真と同じものである。赤い部分は赤外線の高反射率を示し、耕作地や河川沿いの健康な植物に対応する。



図 8-1 Landsat TM の画像、フォルスカラー赤外写真と同じもの

図 8-1 と同一シーンの画像に対して、教師付き解析処理（平行六面体分類）を行った画像を図 8-2 に示す。図中の赤、緑の領域が何を示すかは、グラントゥールスが必要である。グラントゥールスとは、地上での実測値による検証データを意味する。

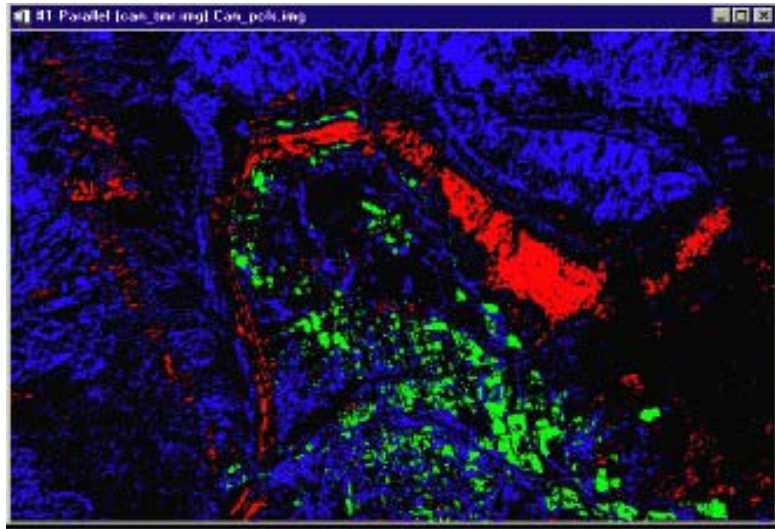


図 8-2 教師付き解析処理（平行六面体分類）による画像

## 8.2 植生指標・土壌分布・土地利用

### (1) 光学センサによるアルゴリズム

上記観測物理量に相当する土地被覆分類識別(裸地の土壌分類、植物被覆地の植物種類分類、その他人工物の識別)のアルゴリズムの概要を以下に示す (Sabins 1996)。

原理として、観測対象(ここでは土地被覆状態)の波長依存性の差異を利用する。例えば乾燥土壌では波長に対する大きな変化がないのに対し、植物が繁っている場所では葉緑素による光の吸収や、葉の細胞構造に起因する赤外の反射による顕著な波長依存効果が見られる。このような違いを利用して様々な指標が提案されているが、代表的なものとしてNDVI (normalized difference vegetation index)が挙げられる。その定義式を以下に示す。(  $\rho$  : reflectance)

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}}$$

NDVIとして取り得る値の範囲は、 $1.0 \sim -1.0$ である。数値が高いほど緑の植生が濃いことを示し、値が小さいほど非植物、例えば水域、雪氷域、雲などを示す。NDVIの利点として、太陽照度の影響をほとんど受けない点が挙げられる。

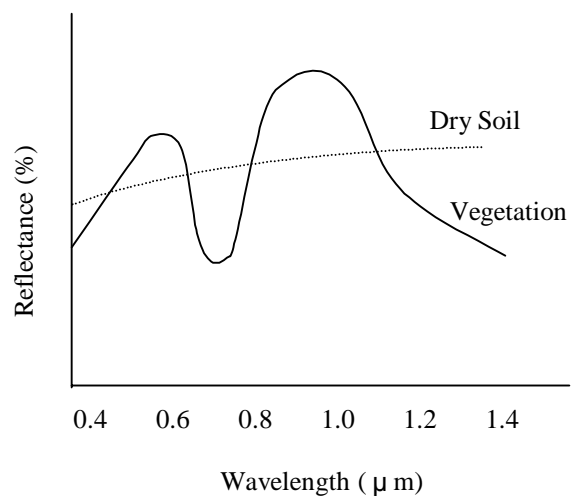


図 8-3 土地被覆による波長依存性の例

一般的な土地被覆分類プロダクトの場合、雲除去のためにモザイク処理が行われる。これは1回の衛星の観測ではどうしても雲がかかった領域が混じってしまうため、複数の観測画像から雲のない領域を合成して一枚のプロダクトを作成する処理である。この前提として、土地被覆状態の変化は、衛星による複数(4回程度)の観測期間内では大きくないものとしている。

土地被覆分類の算出手順例を以下に示す。

幾何補正：モザイク処理を行うためには、各画素の位置誤差を 0.5 画素以内に収めなければいけない。そのための補正処理である。通常、衛星からのテレメトリ情報だけからこの精度を達成することは困難であるため、地上特徴点(GCP: Ground Control Point)とのマッチングを用いた幾何補正処理が考案されている。この場合、画像の分解能に応じた GCP データ(地図データもしくは衛星観測画像)と緯経度・標高などの情報が必要である。計算量の多い処理である。

大気補正：大気の散乱などの影響を排除する。衛星 - 地上観測点 - 太陽の幾何学的な位置に依存するため、これらの情報(衛星天頂角・太陽天頂角・相対方位角)が必要である。また、太陽照度や大気状態(エアロゾル量・種類など)なども利用される。散乱モデルをどの程度複雑にするかにより計算量が異なるが、一般的に計算量の多い処理である。

NDVI の算出：前述の数式に従って NDVI を算出する。計算量は小さい。

モザイク処理：雲域除去のため、複数の観測画像から晴天画素のみを選別・抽出する。雲識別の方法には様々な方法が考案されている。一つの方法として、NDVI の最大値を採用する方法がある。計算量は小さい。データの 1/0 の比重が高い。

画像出力：出力画像形式に応じてカラーパレットの付加(植生の高いところを緑に、など)、地図投影・スケーリングなどを行う。

さらに詳細な植物分類を得るためには、NDVI の季節変化を追う手法がある。植物によりその生育期間(NDVI の変化の早さ)、葉が緑である期間(NDVI が高い期間)などが異なるため、時間に対する NDVI の変化傾向を見ることにより、さらに詳細な分類に関する情報を得ることが可能となる。

## (2) SARによるアルゴリズム

近年、合成開口レーダー：SAR (Synthetic Aperture Radar) のデータ解析に関する研究が活発に行われている。土地利用区分として、市街地と森林とその他の区分が明瞭に区別できることが分かっている。また、SAR干渉法のコヒーレンス解析を応用

して水田面積推定を実施したところ、統計値と良い一致を示した（大塚1999）<\*5>。

SARによるアルゴリズム処理では多くのフーリエ変換処理(FFT)を実施するので、要求される計算機のサイジングは、比較的高速のUNIXワークステーション(多CPU、大容量メモリ)の導入が必要である。

### 8.3 洪水観測・地滑り観測

洪水観測のためには、陸水判別アルゴリズムと平常時との差異抽出アルゴリズムが基本要素となる。基準画像として平常時の陸水分布を予め保有しておき、洪水時の陸水分布と比較することにより、洪水状況の把握を行う。全体処理アルゴリズムを以下に示す。地滑り観測についても同様の処理が有効であると考えられる。

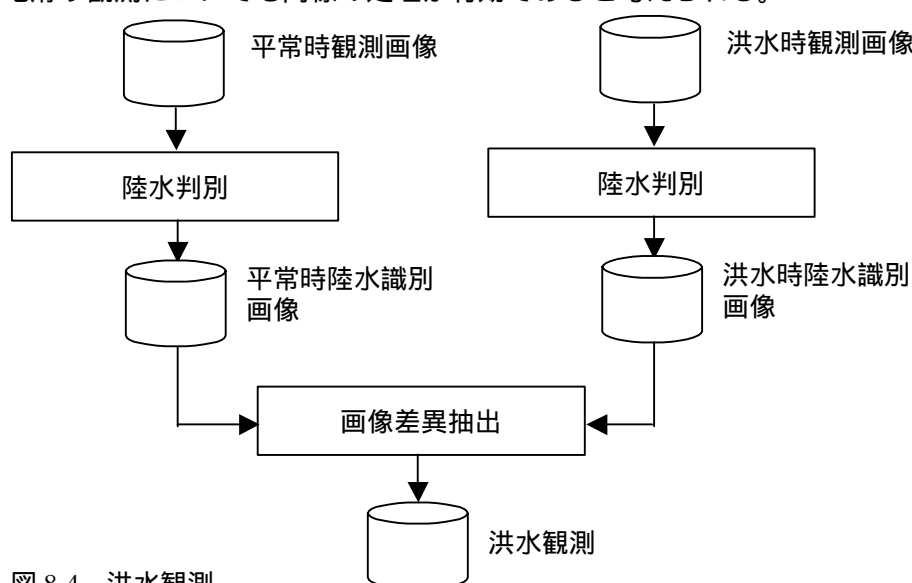


図 8-4 洪水観測

以下、それぞれのアルゴリズムの内容について記す。

#### (1) 陸水判別

土地被覆分類アルゴリズムで使用したNDVIが利用可能である。水域でのNDVIは非常に小さいので、閾値を設定することにより水域と陸域を識別できる。

#### (2) 画像差異抽出

画像の差分を算出し、陸水境界の変化を算出する。特に洪水観測では、基準画像(平常時の画像)で陸域だった領域から水域へ変化した領域を抽出し、洪水時画像に重ね合わせることにより、冠水範囲の把握などが可能となる。

### 8.4 水質・濁度

NOAA AVHRRの可視チャンネルを使用して長江等の河口付近の混濁物による反射率の変化を捉えることが試みられている(藤原 他 1999)。濁りの強い領域に対して可視チャンネルの特性を調べたところ、極めて混濁物濃度が高い時のモデルチャンネル

特性が再現されている。上記、植生指標として使用されているNDVIの値の低い領域が混濁度の高い領域である。より高い空間分解能の多チャンネル可視センサの使用により、河川の混濁物の推定が可能であることが予想される。ADEOS衛星のOCTSセンサや、ADEOS-2衛星搭載予定のGLIセンサにより、さらなる研究が進められることが期待されている。

海洋に流出した油などの判別には、紫外線画像、可視画像、熱赤外画像、レーダー画像を目視することにより流出状況を判断することが可能である (Sabins 1996)。

## 8.5 地形・植生合成

### (1) 光学センサによるアルゴリズム

上記、植生分布・土壌分布・土地利用で記述した方法で得られた情報を標高データをもとに作成された立体画像データに貼り付けることにより、地形・植生合成画像を作成することが可能である。この処理は米国のJPL(Jet Propulsion Laboratory)で活発に行われている。

### (2) SARによるアルゴリズム

SARによるレーダー画像を使用し、上記、植生分布・土壌分布・土地利用で記述した方法で得られた情報を標高データをもとに作成された立体画像データに貼り付けることにより、地形・植生合成画像を作成することが可能である

## 8.6 水温

NOAAのAVHRRセンサによる海面水温の推定は、比較的容易に画像を受信できることと、画像データの利用が自由であるため、多くの研究機関において実施されている(Barton, I. J., 1995)。NOAAのAVHRR 画像は1画素が10ビットで構成されているため、rms(root mean square)エラーで0.5 の精度で海面水温を推定することが可能である。しかし、極軌道衛星の周回は1日に2回であるため、2衛星のデータを受信しても約6時間毎のデータしか得られない。静止気象衛星からは1時間毎のデータが受信可能であり、GOES-8の画像は10ビットで構成されているので、晴天域での高い精度のSST推定を毎時行うことが可能である(Legeckis, R. 1997)。水温推定アルゴリズムはMay et al. (1998)のMCSST法及びNLSST法がある。Split Window法において衛星天頂角の項の取り扱いが重要であり、NLSST推定法が衛星画像データを利用した広域海洋における海面水温推定に有効である。

海面水温を推定するために使用した推定式を以下に記す。衛星天頂角を考慮しないMCSST1, NLSST1と衛星天頂角を考慮したMCSST2, NLSST2により比較を行った。NLSST1, NLSST2はスプリットウィンドウの項の係数にSSTの気候値を含めている。

$$\begin{aligned} \text{MCSST1} &= aT_1 + b(T_1 - T_2) + d \\ \text{MCSST2} &= aT_1 + b(T_1 - T_2) + c(T_1 - T_2)(\sec \theta - 1) + d \\ \text{NLSST1} &= aT_1 + bT_f(T_1 - T_2) + d \\ \text{NLSST2} &= aT_1 + bT_f(T_1 - T_2) + c(T_1 - T_2)(\sec \theta - 1) + d \end{aligned}$$

ここで、 $T_f = -\frac{1}{2} \left( \frac{1}{\sec \theta} + \frac{1}{\sec \theta} \right) + \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\sec \theta} - \frac{1}{\sec \theta} \right)$

$T_1$  : 赤外 1 センサの輝度温度 ( )

$T_2$  : 赤外 2 センサの輝度温度 ( )

$\theta$  : 緯度

$\alpha$  : 衛星天頂角

同様のアルゴリズムで、高い空間分解能 (1m程度) を持つ精度の良い赤外センサ (0.1 程度のNE T (Noise equivalent temperature difference) ) の画像データから 100 m 程度の川幅を持つ河川の水温を rms エラー 0.5 程度の精度で推定することが可能であると考えられる。

## 8.7 標高

リモートセンシングによる地形の計測には、光学センサまたは SAR 画像ペアによる立体視、SAR インターフェロメトリ、レーダーまたはレーザ高度計、の 3 つの方法がある。SAR による立体視は、全天候型という利点があるが、マイクロ波の後方散乱強度の入射依存性が高く、異なる観測角度で取得された立体視画像ペア間での対応点の検索は光学センサよりかなり難しいと言われている。高度計は高さ方向の計測精度がよいが、計測密度が衛星の軌道間隔に依存し、画像センサのような二次元的に緻密な計測が期待できない。SAR インターフェロメトリは期待されている技術で、立体視のように対応点を検索するといった煩雑な作業は必要ない。また、理論的には cm 以下の地形変化を検知できると言われ、これが実用化されれば、地質災害の防止に絶大な効果が期待できる。しかし、現状では衛星高度から地形計測を可能とするような SAR データは極めて少ない。こうしたことから、今までに最も広く用いられているのが光学センサである。

上記の地形観測の結果、空間的に連続変化する起伏をデジタルで表現した標高モデル (Digital Elevation Model, DEM) を作成する。DEM は衛星から地上を立体視し作成する。この場合の立体視は、衛星の進行方向に対して、前方視、後方視のデータを処理することにより立体視を実現している。その他航空機による空中写真、地上測量やソナー、レーダーを用いた測器によっても得られる。

DEM の表現方法としては、線モデル : 高さの変化具合を伝える一種のコンター、点モデル : 地上のメッシュでの高さを表現したもの、三角形不規則ネットワーク : 連

結された小三角形を用いて地形を表現したもの、が代表的である。DEMも用いることによって、ブロックダイアグラム、垂直断面図、水平断面図、等高線図等を得ることができる。