

3 . データ処理と適用分野

3.1 幾何補正、オルソフォト

プロバイダ等から入手した衛星画像データに幾何補正やオルソ補正がされていない場合、これらの処理を行う必要がある。データ利用者はリモートセンシングソフトを使用することにより、幾何補正やオルソ補正を行うことが可能である。また、独自の地図投影法を構築することができる。具体的には、Image ウィンドウと Zoom ウィンドウを使用して、地上基準点：G C P (Ground Control Point) を選択することで、衛星画像に地理座標を参照付けし、画像の幾何補正、地図画像の作成と衛星画像との重ね合わせを行うことができる。これらの処理はG U I の画面操作で実施できる。 詳細な手順はリモートセンシングソフトの使用手引書に記載されている。出力結果は、画像または postscript ファイルに出力し、編集、印刷、保存が可能である。

オルソフォトはオルソ補正処理により得られる画像(写真)である。オルソ補正処理は、画像の幾何学的な歪の性質と程度をモデル化することで、画像の幾何特性を地図の精度で平面的にする処理である。衛星モデルを限定されたG C P と共に使用することで、正確で幾何学的に正しい、地図に適した画像を生成するための補正ができる。デジタル標高モデル (DEM) を使用して衛星画像データを偏位修正することができる。DEM のピクセルサイズは、生成するオルソ補正画像 (オルソフォト) のピクセルサイズ以下とするのが理想的である。

具体的なイメージを得るために、幾何補正する前の画像 (図 3-1) と幾何補正した後の画像 (図 3-2) を示す。これらの図は、1999 年のネバダ州 Cuprite の画像データである。著作権は、Analytical Imaging and Geophysics(AIG)と HyVista Corporation に帰属している。また、オルソフォト処理する前の画像を図 3-3 に、オルソフォト処理した後の画像を図 3-4 に示す。



図 3-1 幾何補正する前の画像



図 3-2 幾何補正した後の画像

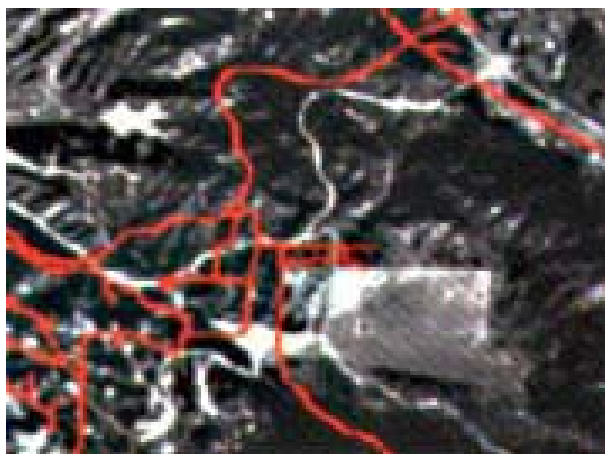


図 3-3 オルソフォト処理する前の画像（赤線：地図上の線）

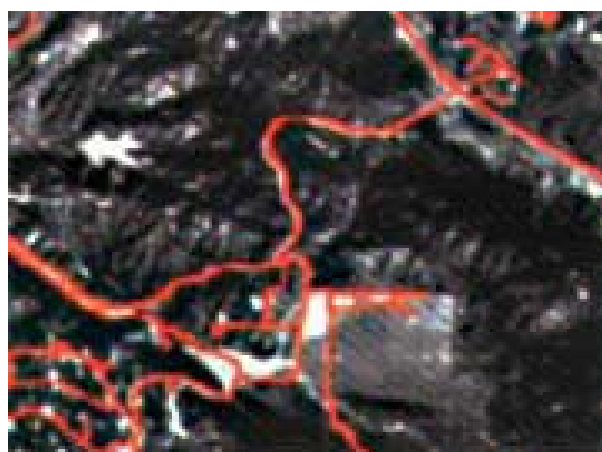


図 3-4 オルソフォト処理した後の画像（赤線：地図上の線）
（<http://www.imageone.co.jp/geo/hcc/> より参照）

3.2 教師付き解析処理とグラントゥルースの収集

画像の幾何補正、オルソ補正が完了したら、その画像からどのような情報が得られるかが重要な課題となる。衛星画像データから得られる情報を地上における実データ（グラントゥルース）とを比較して、信憑性のあるデータ処理を可能とする処理を行う必要がある。その代表的な処理として、教師付き分類がある。この手法は衛星画像から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。利用者はあらかじめ、地図データから現地の情報を把握し、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。教師付き分類も、リモートセンシングソフトを利用して実施することが可能である。

以下に、教師付き解析処理とグラントゥルースの事例を示す。図 3-5 は、米国コロラド州 Canon City の 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反射率が高いことを示し、耕作地や河川沿いの健康な植物に対応する。黒っぽい赤の部分は山岳域の自然の植生（針葉樹林）を示している。



図 3-5 Landsat TM の画像、フォルスカラー赤外画像に相当

図中の中央左側の赤枠で囲まれている領域は、Canon City 郊外の住宅域の植生があることが分かっている。この領域のマルチスペクトルの情報を持てば、住宅であると判断することができる。衛星画像データの特定と領域を分析した値と、地上における実情報（グラントゥルース）を対応づけ、衛星画像を解析することで教師付き解析処理が可能となる。教師付き解析処理を正しく実施するためには、季節や衛星観測の条件を考慮し、できるだけ多くのグラントゥルースを収集し、判別条件を特定するように注意することが必要である。

図 3-5 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 3-6 に示す。図中の赤、緑の領域が何を示すかは、グラントゥルースが必要である。グラントゥルースとは、地上での実測値による検証データを意味する。グラントゥルースで住宅域の植生と判断された、白い四角の枠で囲まれた領域は緑で表現されている。その他の緑の領域も住宅域の植生であることが分かる。また、崖の領域は赤く、針葉樹林は青く表示するように、教師付き解析処理が行われている。

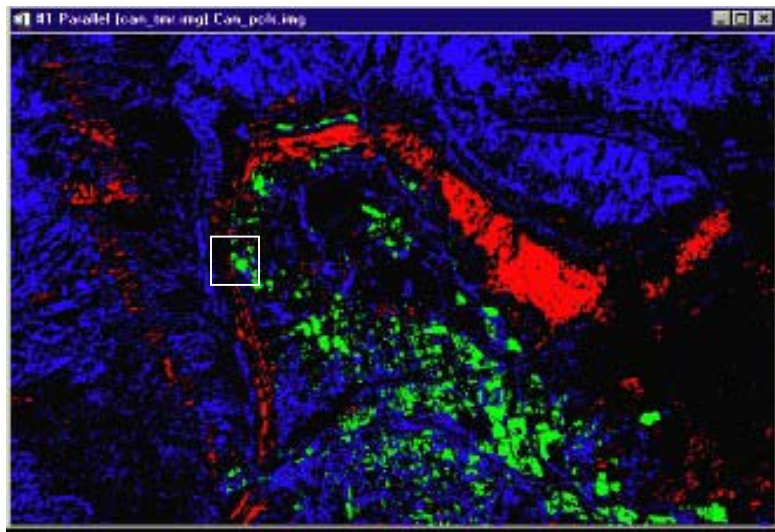


図 3-6 教師付き解析処理（平行六面体分類）による画像

3.3 データ判読と解析処理のノウハウ

国土管理で利用する衛星画像は、表示のための処理を行うことにより画像判読が容易になる。工事事務所での衛星画像データ表示（利用）について以下のような表示を行うことが可能である。この表示を行う場合、衛星画像配布先にて全ての前処理を実施し、事務所では確認を行うためだけの表示を行うことが可能である。また、事務所の要求に応じて、簡単な操作で表示データを加工・表示するようにすることも可能である。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には、濃淡表現を行い、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は、カラー表現が多用される。

（1）暗い画像を明るくして見やすくする方法（濃淡表現の変換）

画像の濃淡表現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方法である。得られる画像は図 3-7 のように、白黒写真のようになる。画像全体が暗く、土砂災害が発生している領域等が判別しにくいことがある。その場合の改善策としては、特定の階調領域についてのみ、輝度値への変換を拡大して濃淡を強調する、画像全体に対してヒストグラム変換を行うことで全体的な明るさを調整する、ことがあげられる。



図 3-7 画像の濃淡表現

(2) 河川等の線情報の強調、水害地域を強調する方法 (画像調整)

衛星画像データのコントラスト調整、RGBへ各々画像を割り当てるコントラストストレッチ等の手法で画像調整を行うと、河川等の線情報の強調、水害地域の強調ができ、目視では判別できない情報が確認できる。

(3) 衛星画像データから特に関心のある現象を強調する方法 (画像強調)

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。衛星画像データから特に関心のある現象を強調することにより発見しやすくなる。図 3-8 は、合成開口レーダ (SAR) 画像とデジタル標高モデル (Digital Elevation Model: DEM) を使用して作成した陰影強調画像である。地図座標と地理座標を重ね合わせて表現することも可能である。SAR 画像は光学センサの画像と比べて見難いことが多いので、画像強調処理が有効になることが多い。



図 3-8 合成開口レーダ (SAR) 画像とデジタル標高モデル (Digital Elevation Model: DEM) を使用して作成した陰影強調画像

(4) 複数の画像を用いて時間変化を解析する方法(連続表示)

衛星画像データから得られる情報の時間変化を見たいとき、複数枚の画像データを並べて表示する方法もあるが、複数枚の衛星画像データを時間順で連続表示し、動画でモニタ確認すると分かりやすいことがある。水域の温度変化、河川氾濫の変化、河道の変化等の確認に利用できる。

(5) 複数の画像を用いて画像間の変化を解析する方法(変化量抽出)

複数枚の衛星画像データから、自動的に変化量を抽出する。計算機による画像処理にて画像を比較することにより、変化を自動的に抽出する。最終的には操作員による確認が必要と考えられる。気象分野では、雲の判別とその時間による変化を半自動的に処理している例がある。水害地域の変化、植生地域の変化、水質変化(汚染地域の変化)などが判別できると考える。

(6) 複数の画像をつなぎあわせる方法(モザイク処理)

衛星画像のシーンは解析対象とする領域に対し、地理的に連続しないで撮像されることが多く、各シーンを張り合わせて1枚の画像を作成しなければならないことがある。モザイク処理とは隣接する複数の衛星画像をつなぎ合わせ広域をカバーした画像のことである。衛星画像配布先でも広域を参照したい場合、画像をつなぎあわせる処理を行うが、事務所にて独自の地域を参照したい場合には、地域を指定してモザイク画像を作成する必要がある。図3-9の左側の図は、単一バンドの2シーンの画像である。モザイク処理により、両者を結合した画像(右側)を作成できる。

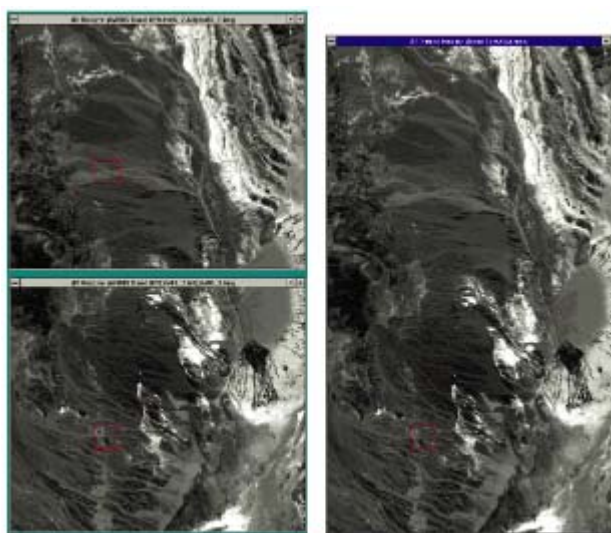


図3-9 左側の図は、単一バンドの2シーンの画像。モザイク処理により、両者を結合した画像(右側)が作成される。

(7) 分解能が高いカラー画像を作る方法(カラー合成)

白黒画像の分解能が良く、カラー画像の分解能が悪い場合に、両者の画像を合成することにより、見かけ上、分解能の良いカラー画像を作成することができる。その手法がカラー合成である。カラー合成の事例を図 3-10 に示す。イギリス、ロンドンを撮像したもので、右の図が SPOT の 10m 解像度のパンクロマティック(白黒)画像であり、左側が Landsat TM のトゥルーカラー合成図(28m 解像度)である。



図 3-10 カラー合成の事例。イギリス、ロンドンを撮像したもので、右の図が SPOT の 10m 解像度のパンクロマティック(白黒)画像。左側が Landsat TM のトゥルーカラー合成図(28m 解像度)。

また、異なる衛星画像データを融合させることにより、より分かりやすい画像データを作成することが可能になる。図 3-11 は、左が Landsat TM のデータであるが、SPOT のパンクロマティックデータをフュージョン(融合)させることにより、10m 解像度のカラー画像(右図)を作成したものである。



図 3-11 左が Landsat TM のデータ。SPOT のパンクロマティックデータをフュージョン(融合)させることにより、10m 解像度のカラー画像(右図)が作成される。

「参考文献」：ENVI Tutorials, (2000), Research Systems Inc. , PP590.

3.4 地理情報システム(GIS)とリモートセンシング

地理情報システム(GIS)は、地図をはじめとする多様な地理情報を同一の座標系(あるいは相互に関連づけられた座標系)のもとにデータベースとして管理する。従って、情報の一元管理を可能にし、必要な情報を正確、迅速に検索することができる。測量・調査成果が直接数値データとして得られる。GISは計算機ハードウェア、地理情報処理ソフトウェア、データの入出力機器等を中心に構成される。

国土数値情報の土地利用データあるいは各種の指定東経メッシュデータは、全国レベルでほぼ同時期に取得されたデータであり、広範囲の地域の土地利用や経済社会活動の分布を把握する上で極めて貴重なデータである。これらのデータは数値データとして整備されているため、GISの構成データとしての意義も大きい。しかし、これらの全国レベルのメッシュデータは一般に標準3次メッシュ(約1km²)単位に整備されているため、対象とする地域の大きさや分析の目的によっては、より小地域区分のデータが必要になる。近年の高分解能画像データの空間分解能は、一般的な地理情報の空間的集計単位と比較して十分に小さなものである。従って、リモートセンシングデータによって、GISで管理されている土地利用などの古いデータの更新、あるいは信頼性の確認に利用できる。また、衛星画像データとGISを重ねあわせる処理を行うことによる視覚化は画像解析に有効である。

前項で述べたオルソ画像をGIS上、地図と重ねるためのレイヤに置くことになるが、一般的にはオルソ画像と地図とは若干のずれを有しているため、地図と精度よく重ねられるよう、地上基準点GCP(Ground Control Point)を用いたGCP処理を事前に施す必要がある。具体的には地図上、目印となる地点と画像上の対象地点を目視識別し、画像上の画素に当該地点の緯度・経度座標を付与する。現在利用可能な画像処理ソフトにおいては、画像上の地点、及び対応するデジタル地図上の地点をマウスでクリックするだけで、このデータ取り込みを済ませることが出来るものが多い。これを画像上、標高がほぼ等しいと見なすことができ、かつ同一箇所に固まらないでなるべく均等に散らばるように5から10箇所の異なる地点について求め、上述のようなソフトで演算処理を起動すると数秒の内にGCP補正した画像を得ることが出来る。GCP選定は、上空からみて判別が容易であるとともに、経年変化が少ない事物を選ぶのがよい。具体的には以下のようなものがあげられる。

- 大規模建築物の角や端点
- 岬の突端(形状が大きく特定し易い地形形状の特徴点)
- 橋の中央
- 道路交差点
- 空港滑走路の交差点、など

この画像はほぼ 1 画素の精度で地図と合致しているので、このままGISのレイヤーに置き、地図と交互に利用する、また地図との部分的なはめ込み合成として利用することが可能である。はめ込み画像例を図 3-12 に示す。地図では総描で近似される施設区域が衛星画像に置き換えることにより、より詳細に状況を把握することができる。



図 3-12 地図と衛星画像とのはめ込み合成利用

地図との重ねあわせを利用する方法（情報の重ねあわせ表示）は、衛星画像データは解析判読に熟練した人でないと判読が困難であることが多い。特に地上との対応をつけることが難しく、特別な海岸線等が無い場合は地図データとの重ね合わせが必要になる。衛星画像データ（画像）には位置情報、投影方法等の情報が付加されるので、それを利用し、投影法の変更等を経て、その地域に様々な情報（道路、水系、植生、土地利用、地図情報など）を重ねあわせて、図 3-13 のように表示することができる。様々なデータのレイヤ管理により表示を実現する。

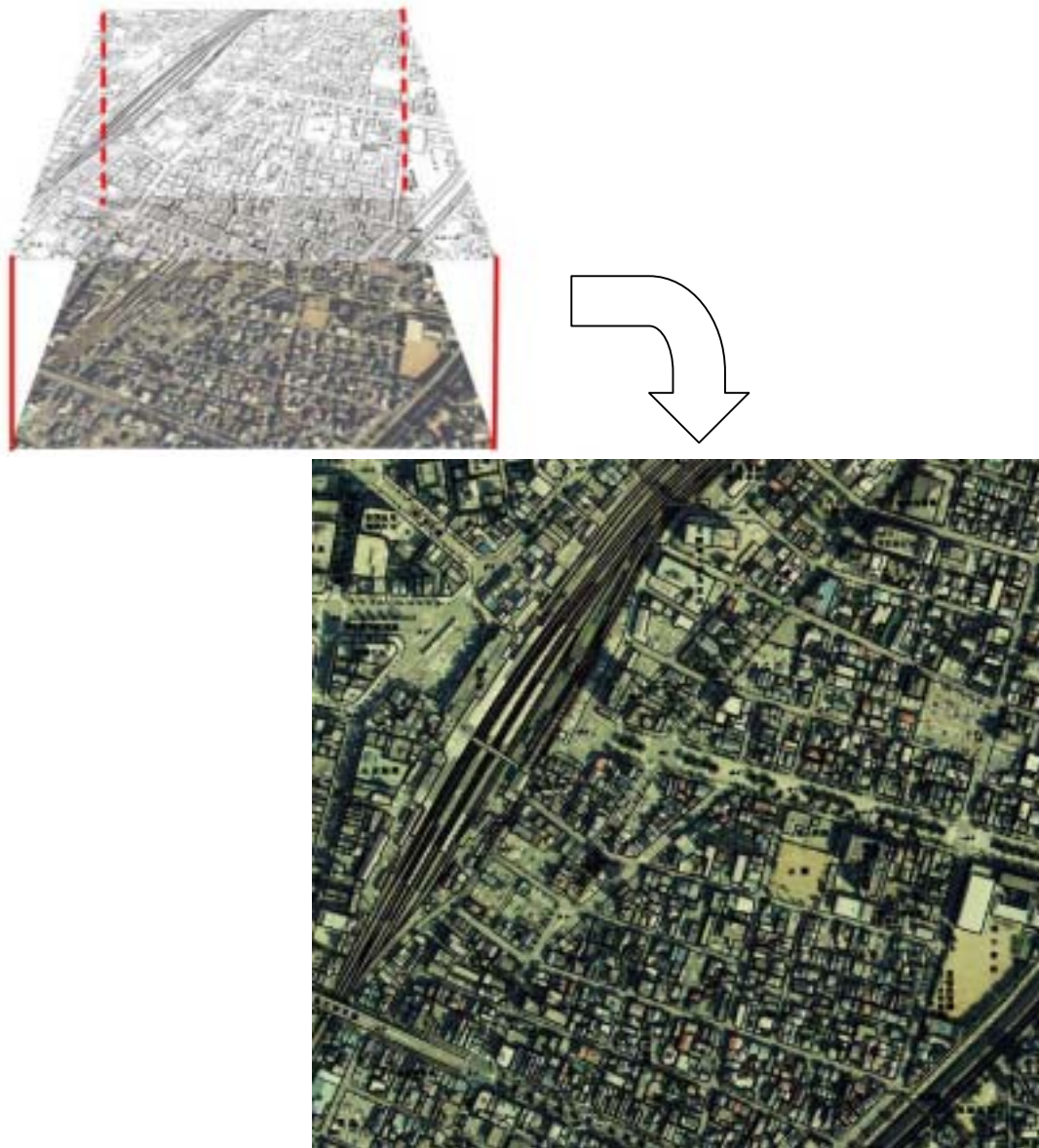


図 3-13 画像に地図情報を重ねた事例

(<http://www02.so-net.ne.jp/~cmc/digital/ort/index.htm> より参照)

また、衛星画像データ利用（表示）に当たって地図情報、他の衛星画像データとのマッチングを行うとき、縮尺の変換、投影法の変換、画像のモザイク処理などが必要となる。図 3-14 はリモートセンシングデータのレイヤ管理を模式的に表したものである。実際の管理では、レイヤを各々の要素で管理する。各々の要素とは、植生、土壌、水質、地形、土地利用、道路等である。

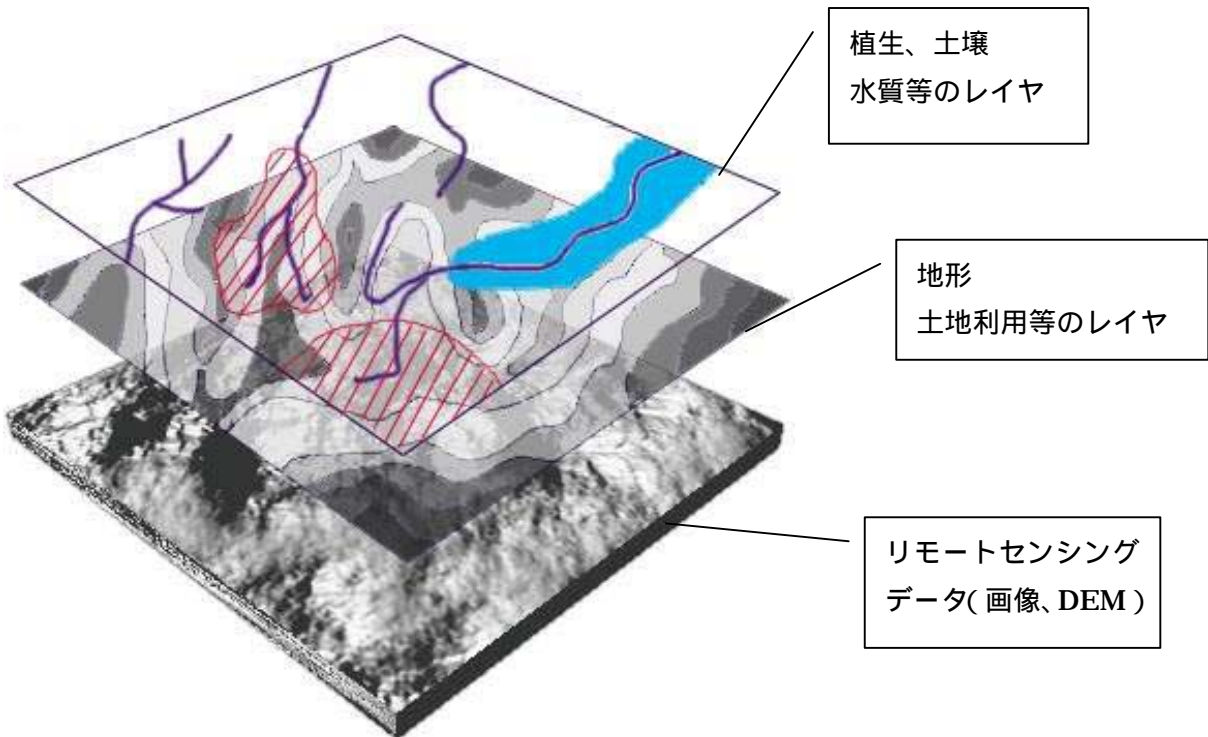


図 3-14 リモートセンシングデータのレイヤ管理模式図

衛星画像データとGISを重ねあわせるために必要なことを以下に記す。衛星画像配布先で収集、解析された衛星画像データを必要に応じて衛星画像配布先から取得し、データの表示等の処理を実施する。そのためには、以下の機能が必要である。

衛星画像データの一時保存・管理

GIS (Geographical Information System) との連携

衛星画像データの表示

画像データを出力するための機器整備 (写真設備、メディア)

国土管理を行う上での他データとの統合的管理

3.5 立体視、ハイパースペクトル

将来の発展技術として、立体視、ハイパースペクトルがある。以下にその事例を示す。

(1) 3次元(3D)表示

3次元地図情報、リモートセンシングで得られたDEMデータと建築物（橋梁、ダム、構造物）のCADデータ情報等を合成し立体視する(図3-15参照)。一般的に3DソフトウェアではCADデータの取り込みが可能であるし、DEMデータは一種のラスターデータであり、ラスターデータからソフトウェアによって立体可することは容易である。3D画像では、ウォークスルー等の操作が可能で、現実に近い目視確認が可能となる。また、工事の進捗管理として、建築物（ダム等）の完成予定をワイヤーフレーム表示し、建設途中のデータを重ね合わせれば、進捗を定性的に確認することが可能。要求精度が得られれば工事用ルート候補の予測が可能であると考えられる。この場合、DEM画像、植生、地質、道路地図等の情報が必要と考えられるが、衛星画像データから工事用ルートを確認できるまでの地質情報、地中の詳細な情報は得られない。

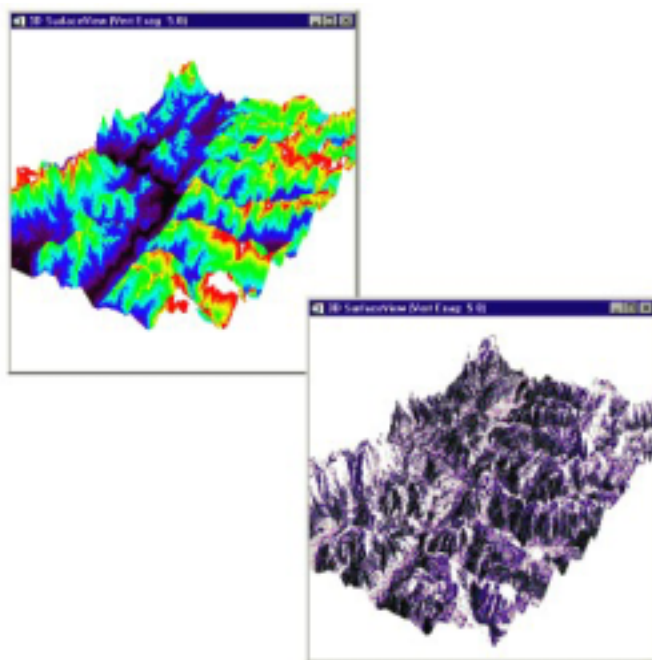


図 3-15 3次元地図情報、リモートセンシングで得られたDEMデータと建築物（橋梁、ダム、構造物）のCADデータ情報等を合成し立体視した画像。

(2) ハイパースペクトル

超多バンドの光学センサをハイパースペクトルと言い、そのデータに基づく一連の処理・解析（利用）技術のことをハイパースペクトロメトリーと呼ぶ。0.4~2.35 μm の波長域に数百バンドを有するものを指すことが多い。このようなスペクトル分解能の大幅な向上により、岩石・鉱物をはじめ農作物、土壌、海洋諸現象の多分野にわたり従来、困難だった微細な分類、同定精度の改善が期待されている。マッチドフィルタリングと呼ばれる処理により、特定の鉱物を検出することが可能である。マッチドフィルタリングによりカラー合成した図を図 3-16 に示す。赤が Kaolinite(高陵石)、緑が Alunite、青が Buddingtonite を表している。

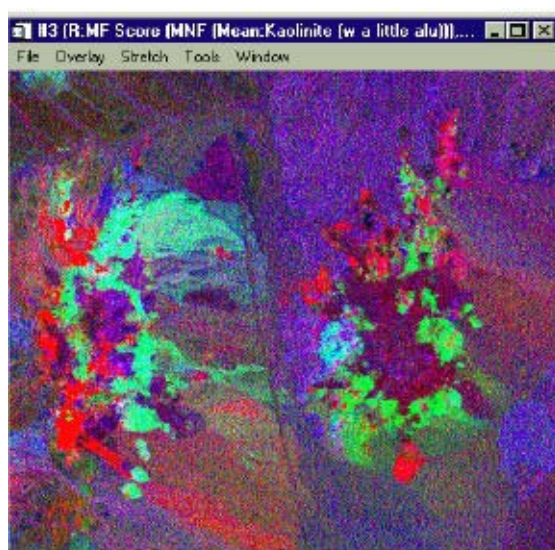


図 3-16 ハイパースペクトルによる地表面の地質鉱物分類図

3.6 リモートセンシング解析ソフトウェア

リモートセンシングデータの表示を行うために、市販ソフトウェアを利用する方法もある。市販ソフトウェアはリモートセンシングデータ利用に特化し、廉価で利用が可能であるが、衛星データに依存した処理に追従するのに時間が掛かる事や、ユーザ独自の処理については対応できない欠点もあるが、機能を検討の上、衛星画像配布先での解析処理、事務所での表示処理の一部として利用可能か判断することは有益である。

リモートセンシングデータの処理ソフトウェアには主にラスター形式を分析するもので、機能的にはペイント系ソフトウェアと同じであるが、緯度、経度情報を保持させ、幾何補正が可能となるものでラスター形式のGISに特化したソフトウェアである。

これらのソフトウェアはあらゆる衛星画像の取り込み、衛星のデジタル情報を合成させて、地表面の状態を推定する機能を備えている(図 3-17)。また、標高値などを用いて3D表示(図 3-18: 鳥瞰図表示)を行い、その上に新たな画像を貼り付ける、テクスチャ機能を備えたものもある。

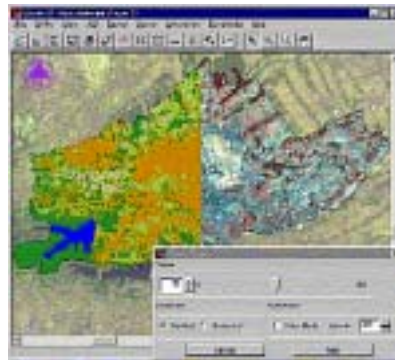


図 3-17 IMAGIN によるリモートセンシングデータの表示 (株パスコホームページ)

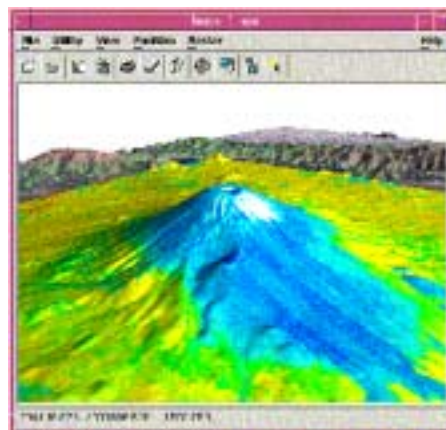


図 3-18 IMAGIN によるリモートセンシングデータの鳥瞰図 (株パスコホームページ)
リモートセンシング解析ソフトウェアは、パソコンでの操作も可能であり、GUI 処理に

より一般の人でも衛星画像データを閲覧でき、学習すれば解析もできると考えられる。
以下に、リモートセンシング解析ソフトウェア（ENVI）の主な機能を示す。

- ・マルチスペクトル分類
- ・画像の幾何補正とレジストレーション
- ・入力ゲートマトリを使用した画像の幾何補正
- ・オルソ補正
- ・モザイク補正
- ・光学衛星画像データのフュージョン
- ・光学衛星画像データと SAR 画像データのフュージョン
- ・ベクタオーバーレイと GIS 解析
- ・リモートセンシングによる地図作成
- ・ハイパースペクトル解析
- ・マルチスペクトル解析
- ・HDF フォーマットと NASTER データ処理
- ・長波長赤外線 MSI データ概要
- ・SAR 解析
- ・DEM と TOPSAR 解析
- ・地形解析
- ・3D サーフェイスモデルとフライスルー

国土交通省における現場での実運用に、リモートセンシング解析ソフトウェアをどのように適用するかは今後、検討が必要である。「衛星データの利用事例」で紹介されている各種アルゴリズムを、適切に組み込むことが望まれる。さらに、「システム運用の構成」、「計
算機システム構成と運用の流れ」を考慮した利活用が必要であると考えられる。