

はじめに

本書は、TNTmips[®] に含まれるハイパースペクトル画像解析処理について紹介しています。この処理は、新世代のハイパー スペクトル・リモートセンサーによって生み出される画像を視覚化、処理、解析するための特別なツールです。本書の練 習問題を通して、ハイパースペクトル画像解析における次のような基本的な操作方法に慣れていただきます:画像スペク トルの収集と保存、スペクトル・ライブラリの操作、反射率に合わせた画像の較正、スペクトルのマッチングと分類など。

必須基礎知識 本書では、読者が『TNT 入門:地理空間データ表示』、『TNT 入門:基本操作』の練習問題を完了している ものと仮定しています。必須知識や基本操作についてはこれらの練習問題で説明されており、本書では繰り返して説明し ませんので、必要に応じこれらのマニュアルで調べてください。また、ハイパースペクトル画像解析に関するその他の背 景は『TNT 入門:ハイパースペクトル画像とは』を参照して下さい。

サンプルデータ本書の練習問題では、CUP97 データのファイルを使用します。データセットのファイルサイズが大きいため、これらのファイルは TNT 製品には含まれておりません。CUP97 データはマイクロイメージ社のサイトからダウンロードできます。

その他の資料 本書では、ハイパースペクトル画像解析処理に関する概要しか示されておりません。ハイパースペクトル 画像とその解析に関する背景知識は『TNT 入門:ハイパースペクトル画像とは』で紹介しています。他にテクニカルガイド、 クイックガイドにさらに詳しい説明を準備中です。

TNTmips ProとTNTmips Free TNTmips には3つのバージョンがあります。プロバージョン(TNTmips Pro)と、低価格版のTNTmips Basic、無料バージョンであるTNTmips Free です。どのバージョンもTNT製品のDVD(またはダウンロード版)からインストールでき、同じコードを実行しています。ほぼ同等の機能を持っています。プロ版(ライセンスキーが必要)またはBasicを購入していない場合は、TNTmips はTNTmips Free モードで動作します。TNTmips Free では、マイクロイメージ社から入手可能なサンプルの地理データを使用してすべての練習問題を実行することができます。

Randall B. Smith 博士、2013 年 8 月 23 日

ハイパースペクトルの世界にようこそ 3 主成 ハイパースペクトル画像を開く 4 最小 3次元ハイパーキューブ表示 5 Pixel RGB表示のためのバンド選択 6 n次 ハイパースペクトル・エクスプローラの起動 7 n次 エクスプローラウィンドウの表示 8 エン ハイパースペクトル・エクスプローラの起動 10 エン バンド特性のチェック 10 エン 画像スペクトルの表示 11 フィ 波長範囲の設定 12 USG 画像スペクトルをスペクトル・ライブラリに保存する 13 反射 スペクトルを分類に使用する 15 Equal 整合フィルタ処理 16 反射 Spectral Angle Mapper (スペクトル角マッパー) 17 スペ 相互相関 18 画像	分分析による変換22ノイズ割合による変換23IPurity Index24元ビジュアライザの起動25元散布図の回転26ドメンバー・クラスをマークする27ドメンバー・クラスをマスクとして保存する28ドメンバー・スペクトルの選択29ールドまたは実験室でのスペクトルのインポート30Sのスペクトル・ライブラリを開く31率補正32ット・フィールド補正33al Area Normalization (等面積正規化)34マペクトル・マッチング36からの包絡線除去37
相互相執 18 画像 線形アンミキシング・ 19 ライ アンミキシング結果の評価 20 その Self-Organizing Map Classifier (自己組織化マップ分類)・ 21 地理	からのご路線味云

ー部のイラストでは、カラーコピーでないと重要な点がわかりにくい場合があります。マイクロイメージ社のウェブサイトから本書を入手されれば、カラーで印刷したり表示できます。また、このウェブサイトからは、『TNT 入門』のその他の テーマに関する最新の入門書も入手できます。インストールガイド、サンプルデータ、および最新バージョンの TNTmips を ダウンロードできます。アクセス先は次の通りです。

http://www.microimages.com

ハイパースペクトル画像解析の世界にようこそ

ハイパースペクトル・リモートセンサーは、バンド幅の狭い隣接した 多数のスペクトル・バンドで画像データを収集します。結果として得ら れるデータセットには多数の画像バンドが含まれ、それぞれのバンド は狭い波長帯域で見える画像を示します。このようなマルチバンドの 概念化はマルチ・スペクトル画像に関する我々の経験からの自然な成り 行きですが、ハイパースペクトル・データの解析や解釈には別のアプロー チの方が役に立ちます。ハイパースペクトル画像は、各画像セルごとに 輝度値のスペクトルが保存された1つの画像と考えることができます。 これらの画像スペクトルをフィールドや実験室でのスペクトルと比較す ると、緑の植物や特定の鉱物などの地上物質のスペクトルの特徴を認識 して地図化することができます。

TNTmips の Hyperspectral Analysis (ハイパースペクトル画像解析) 処 理の試作版には専用の対話型解析ツールが用意されており、ハイパース ペクトル・データセットから得られるスペクトル領域やスペクトル解像 度をフルに活用することができます。この処理では、画像スペクトルを 表示、保存したり、画像スペクトルをスペクトル・ライブラリに格納さ れた実験室で測定したスペクトルと比較したりすることができます。い くつかのスペクトル分類方法も用意されています。

ハイパースペクトル画像解析処理の使い方を説明するため、NASA の Airborne Visible / InfraredImaging Spectrometer(航空機搭載可視 / 赤 外画像処理スペクトルメータ:AVIRIS)から得られたサンプル画像を使 用します。このセンサーは、バンド幅 0.10 μ m の隣接する 224 個のス ペクトル・バンドのデータを収集します。画像の中の 20m 四方に相当す るそれぞれのセルには、0.4 ~ 2.5 μ m の範囲の連続スペクトルが含ま れています。この画像は、米国ネバダ州西部のカプライト鉱山地区をカ バーしています。この画像のいくつかの領域で見られる岩は、熱水溶流 により変質し鉱化しており(熱水変質)、変成鉱物が集中しているためス ペクトル解析の対象に適しています。 ステップ ✓ TNTmips を起動します。 ✔ メニューから画像 / ハイパースペ クトルを選択します。 本書の概要 4~10ページ ハイパースペクトル画像を開く ・バンド情報のチェック ◆Hyperspectral Explorer (ハイパースペ クトル・エクスプローラ)を使用して 解析の際に参照画像として役立つバン ドのRGB組み合わせを見つける方法 11~14ページ ◆画像スペクトルを取り込む ◆表示,保存する 15~21ページ ◆画像スペクトルを用いたハイパース ペクトル画像の分類方法 22~23ページ 次数減少手順の説明 24~29ページ ◆画像解析のためのスペクトル・エン ドメンバーの見つけ方について 30~36ページ ▶反射率に合わせて生の画像値を補正 する方法 ◆実験室での反射スペクトルとスペク トル・マッチングの使用方法 37~39ページ ◆包絡線除去や他のいくつかの画像処 理オプションについて

ハイパースペクトル画像を開く

注意:この練習問題で使用するサンプルは TNTmips の CD には添付されていません。 このファイルはマイクロイメージ社のウェ ブサイトからダウンロードすることができ ます。また、このファイルがコピーされ た無料のCDが必要な場合は、マイクロイ メージ社にお問い合わせ下さい。

ステップ

Hyperspectral Analysis (ハイパースペクトル画像 解析)ウィンドウでOpen (開く) アイコンボタンをクリック し、ドロップダウン・メニューから HyperCube Object (ハイパーキューブ・ オブジェクト)を選択

選択)ダイアログを使用 して、CUP97CUB.rvc プ ロジェクト・ファイル内 の Cuprite97 オブジェク

ハイパースペクトル画像をインポー トする場合は、マルチラスタ形式ま たはハイパーキューブ形式を選択で きます。また、Image(画像)メニュー を用いて、Hyperspectral Analysis (ハ イパースペクトル画像解析)処理の 中で画像形式を変換することも可能 です。

ハイパースペクトル画像は、次のいずれかの方法で TNTmips のプロ ジェクト・ファイル (.rvc) 内に保存出来ます:各波長バンドに対して一 つのオブジェクトを持つ別々のラスタ・オブジェクトとして、または一 つのハイパースペクトル・オブジェクトとして保存されます。ハイパー スペクトル (あるいはハイパーキューブ)・オブジェクトはハイパース ペクトル画像内の全バンドに対してラスタ値と波長情報を持っています。 ハイパースペクトル・オブジェクトには、損失の無い画像圧縮が組み込 まれているため、マルチラスタ形式よりも非常に小さいサイズでファイ ルを保存できます。Hyperspectral Analysis(ハイパースペクトル画像解析) 処理での画像表示に関しても、ハイパーキューブ・オブジェクを用いた 方がより早く表示することができます。



3次元ハイパーキューブ表示

3D Hypercube Display (3次元ハイパーキューブ表示) は、ハイパー スペクトル画像のスペクトル内容を強調します。また、個別の波長バン ドを素早く調べることも可能にします。3D Hypercube Display (3次元 ハイパーキューブ表示) ウィンドウはハイパースペクトル画像を3次元 の「画像立方体」として描画します。立方体の上面と右側面は各波長バ ンドに対応するエッジセルを表しており、波長の長いバンド程立方体の 後ろにいきます。もっとも波長の短いバンドが立方体の前面にデフォル トで表示されます。Band Number(バンド番号)スライダや矢印アイコン・ ボタンを用いて、任意の波長バンドを立方体の前面に表示することがで きます。

■3D Hyper Cube Display

File

Snapshot...

Edit Color Map..

ステップ

- Hyperspectral Analysis (ハイパー スペクトル画像解析)ウィンドウ の Image (画像) メニューから 3D Hypercube Display (3次元ハイ パーキューブ表示)を選択します。
- 3D Hypercube Display (3次元ハ イパーキューブ表示)ウィンドウ の下部で Band Number (バンド番 号)スライダを動かし、立方体の 前面に異なる波長のバンドを表示 します。
- ✔ 3D Hypercube Display(3次元ハ イパーキューブ表示)ウィンドウ のFile (ファイル) メニューから Close(閉じる)を選択します。

ハイパーキューブの縁の「不明瞭な」ゾーンは2 グループのノイズが非常に多いバンドを表してい ます。2つのグループのそれぞれは大気中の水蒸 気がほとんど全ての入射する太陽放射と反射した 太陽放射を吸収する波長域に広がっています。結 果としてこれらの波長域(およそ 1.4 ~ 1.9 マイ クロメートル)のバンド画像内容はほとんどなく、 ノイズだけになっています。



_ 🗆 ×

Help

RGB 表示のためのバンド選択

✓ Hyperspectral Analysis ウィ ンドウのツールバーにおい て、RGB Bands (RGB バンド) アイコンボタンをクリックします。

✔ Select Band(バンド選択)ウィン ドウにおいて Red、Green、Blue メニューを使って表示用に選択 されたバンドを変更し [OK] を押 します。

≡ Sej	lect Bands	
Red	207	<u>_</u>
Green	123	_
Blue	36	_
		OK Cancel

バンド選択ウィンドウ

キューブレイヤーのアイコ ンをクリックします。

✓ Red、Green、Blue に割り当てられ たバンド番号と波長を確認した後、

[OK] をクリックします。

🗹 Layer Manager ウィンドウ において、Cuprite ハイパー

Hyperspectral Analysis (ハイパースペクトル画像解析)処理では、 Hyperspectral Image (ハイパースペクトル画像) ウィンドウで RGB 表示 をするために3つのバンドを自動的に選択します。そのバンドは、ノイ ズが多かったりデータの無いバンドを避ける一方で、データのスペクト ル領域の全体に広がるように選択されます。表示のためのバンド選択は 解析処理には影響を与えないので、参照画像として用いたいバンドの組 み合わせを Select Bands (バンド選択) ウィンドウを使用して手動で変 更することができます。Raster Layer Controls (ラスタ・レイヤ・コント ロール)ウィンドウには、赤、緑、青の色成分に割り当てたバンド番号 と該当する波長が表示されています。また、各カラーチャンネルに対して、 任意の自動コントラスト強調法を選択することができます。バンド選択 とコントラスト設定はハイパーキューブ・オブジェクトに関する表示パ ラメータの一部として自動的に保存されます。

次のページで説明する Hyperspectral Explorer (ハイパースペクトル・エ クスプローラ)は、多くのバンドの組み合わせを評価するための迅速な 手法を提供します。



ほぼナチュラルカラーとなるようにバンドが選択されているカプライトの画像。カプラ イト地区はほとんど植生のない砂漠である。また、扇状地で囲まれた丘がいくつかあり、 東側は乾燥した湖床(Stonewall Playa)により境界がつけられている。熱水変質を起こ した岩がハイウェーの両側の丘に露出している。

ステップ

ハイパースペクトル・エクスプローラの起動

Hyperspectral Explorer(ハイパースペクトル・エクスプローラ)は、 ハイパースペクトル画像を視覚化するためのユニークな自動ツールです。 このツールを使用すると、サンプルエリアに対して多数の RGB バンドの 組み合わせを自動的に作成します。これにより、さまざまな組み合わせを 動画シーケンスとしてプレビューし、1 つを選択して以後の解析時に参照 画像として使用できます。

Explorer (エクスプローラ) ツールを選択後、マウスを使用して Hyperspectral Image (ハイパースペクトル画像) ウィンドウの中に四角形の検 査ボックスを開きます。右クリックしてボックスを確定すると、各バンド のボックスに含まれる部分がメモリにロードされ、異なる RGB の組み合 わせを高速に表示することができます (検査ボックスのサイズはラスタ・ セル 256 × 256 個分を超えることはできません)。この手順に関するそ の他の操作には Explorer (エクスプローラ) ウィンドウからアクセスしま すが、これらについては後のページで説明します。

| ステップ





Explorer(エクスプローラ)の検査ボックスが確定された Hyperspectral Image(ハ イパースペクトル画像)ウィンドウ。(描画中にボックスのサイズがエクスプロー ラのサイズ限界値に達した場合は、最初のボックスが消え、現在のカーソル位置 で新しいボックスの描画が開始されます。)

この練習問題は次ページに続きます。

エクスプローラウィンドウの表示

✓ Explorer (エクスプローラ) ウィンドウで、Parameters (パラメータ) ボタンを 押します。

✓ Parameters (パラメータ) ウィン ドウの Interband Interval (バン ドの間隔)の値を15に変更して [Close (閉じる)] を押します。

■Parameters _	×
Display Method: Band Scan -	-
Cross Section: Horizontal	-
Spectral Magnification: 1 -	-
Interband Interval: 15 Band	s
Close Help	

Red (赤)、Green (緑)、Blue (青) の成分 に対応する色付きのスライダをドラッグし て RGB の最初の組み合わせを設定すること もできます。これにより、すべての RGB 組 み合わせに関する波長順とバンドの間隔が 設定されます。

Hyperspectral Explorer (ハイパースペクトル・エクスプローラ) は、 赤 - 緑、緑 - 青の間隔が(バンド数で)一定な RGB バンド組み合わせの 組を生成します。Parameters (パラメータ) ウィンドウの Interband Interval (バンドの間隔) フィールドを使用して、両方の間隔用に1つの値 を設定できます。このオプションを使用した場合は、各組み合わせの中 の波長が最も短いバンドが赤の表示チャネルに、波長が最も長いバンド が青の表示チャネルに割り当てられます。たとえば Interband Interva (1 バンドの間隔)が15である場合は、少くとも1つのRGB画像の中で各 バンドが使用されるまで、バンド1、16、31、および2、17、32、およ び3、18、33...を使用して RGB 組み合わせが生成されます。

Explorer (エクスプローラ) ウィンドウの下の部分(*)を理解するために、 検査ボックス内のすべての RGB 画像の組み合わせが、より短い波長の組 み合わせが上になるように互いに積み重ねられている場合を想像してく ださい。さらに、検査ボックスの中央を横に通る線(表示ウィンドウで 破線で示される)に沿ってそれらの直線を上から下に向けてに切断しま す。Explorer ウィンドウに表示されるのは、この縦の断面です。ウィン ドウ内のピクセルからなる横の線はそれぞれ、断面の線に沿ういずれか の RGB の組み合わせにより生成されたカラーを示します。この表示から、 各バンド組み合わせにより生成されるカラーの範囲が大体分かりますの で、有効な組み合わせ範囲に焦点を当てることができます。



示されます。

下の部分(*)

AVIRIS バンドは幅が狭く、各バンドの間に波長ギャップ がないため、隣接するバンドが非常に似通って見えま す。Interband Interval(バンドの間隔)に小さい値(初 期デフォルト値の3など)を使用した場合、各RGBセッ トは非常に似通った3つのバンドから構成されます。 したがって、各 RGB 画像セルの赤、緑、青の成分はほとんど 等しくなります。結果として得られるカラー画像(および Explorer (エクスプローラ) ウィンドウ表示) は、グレー階調的 性格が強くなります(前ページの図を参照)。Interband Interva(I バンドの間隔)を大きくすると、成分ラスタの類以性が減少し、 よりカラフルな RGB 組み合わせが生成されます。

この練習問題は次ページに続きます。

ステップ

ハイパースペクトル・エクスプローラの実行

Explorer (エクスプローラ) ウィンドウの Play (再生) ボタンを押すと、 用意された一連の RGB 組み合わせを、波長が大きくなって行く順に 1 秒 間隔で検査ボックスに表示して行く処理を繰り返します。また、その他 のアイコン・ボタンを使用してシーケンス処理を休止、逆方向再生、再 開したりすることができ、縦のスライダを使用してシーケンス内の位置 を変えることもできます。注目している地物を際立たせる組み合わせを 見つけたら、Full View (全体表示) アイコン・ボタンを押すと、その組 み合わせが画像全体に適用されます。





元の RGB 画像の中の検査ボックス内に新しい RGB 組み 合わせが表示されている。

Explorer(エクスプローラ)の画像を連続再生すると、 色の付いたスライダが移動し、現在の組み合わせに使用 されているバンドの波長がわかります。そして、縦のス ライダはウィンドウの下部に示された組み合わせの重な りの中における現在の位置を示します。



Explorer ウィンドウ内の水平の縞のノイズは、RGB セットの一団の中に1つまたは複数のバンドに顕 著なノイズがあることを示しています。解析操作 では、ノイズを多く含むバンドは有益な情報をも たらさないので使用は避けた方がよいでしょう。

 Fater R, G, B として表示されたバンド172 (1.989 μ m), 187 (2.1319 μm), 202 (2.288 μm)。 このバンド組み合わせは、

カプライト画像の中の、熱水変質した岩を際立たせ、異なる変質タイプ

を区別します。

 Explorer(エクスプローラ) ウィンドウを非表示にする
 には、Hyperspectral Image (ハイパースペクトル画像) ウィン ドウの Zoom Box (ズーム・ボック ス) アイコン・ボタンを押します(他 のアイコンを押す)。



バンド特性のチェック

Hyperspectral Analysis (ハイパースペクト ル画像解析)処理では、ハイパースペクト ル画像の各バンドに関するスペクトル情報 を必要とします。この情報の表示と編集に 関する操作は Hyperspectral Analysis (ハ イパースペクトル画像解析)ウィンドウの Image (画像)タブ付きパネル上で行います。

ステップ

- Hyperspectral Analysis (ハイパー スペクトル画像解析) ウィンドウ で Image (画像) タブをクリック します。
- ✓ Band Numbe (バンド番号) スラ イダを移動して Wavelength (波 長)と Bandwidth (バンド幅)の値、 およびさまざまなバンドのヒスト グラムをチェックします。

Image (画像) パネルの Band Number (バンド番号) スライダを使用 すると、任意のバンド成分をすばやく選択して各バンドの特性をチェック することができます。現在のバンドのヒストグラムはパネル下部に表示 されます。Wavelength (波長) フィールドにはバンドの中心波長が μ m 単位で表示され、Bandwidth (バンド幅) フィールドにはバンドの幅が表 示されます。AVIRIS 画像の場合、インポート処理時にスペクトル・バン ドとともにこの情報も自動的に組み込みます。まだ TNTmips でサポート されていない他のソースからハイパースペクトル・データをインポート する場合は、各バンドに対応するスペクトル情報をユーザが入力する必 要があります。波長の値 (μ m 単位) がオブジェクト記述の中に含まれ ている場合は、Auto Define (自動定義) ユーティリティを使用して適切 な波長を各バンドに割り当てることができます。処理時に必要な場合は バンド幅の近似値が計算されます。



Display(表示)メニューには、輪郭(上図)、棒グラフ、帯状グラフなどのヒスト グラムを表示するためのいくつかのモードが用意されています。

画像スペクトルの表示

✓ Hyperspectral Analysis (ハイパー)

✓ Display Spectral Plot(スペクトル・ プロット表示)トグル・ボタンを

スペクトル画像解析)ウィンドウ

で Info (情報) タブをクリックし

ステップ

ます。

オンにします。

が表示されます。

れます。

Hyperspectral Image (1)1

パースペクトル画像)ウィ ンドウのツールバーから

Spectral Profile (スペクトル・プ

ロファイル)ツールを選択します。

中央部にカーソルを移動して左ク リックすると、選択用のカーソル

プロファイルが読み込まれ表示さ

✓ Stonewall Playa (図を参照)の

✓ 右クリックすると、スペクトル・

Spectral Profile (スペクトル・プロファイル) ツールを使用すると、画 像セルを選択して Spectral Plot (スペクトル・プロット) ウィンドウに そのスペクトルを表示することができます。また、小さい領域を指定し てその平均スペクトルを表示することもできます。スペクトル・プロッ トとは、スペクトルの輝度値を縦軸に、μ m 単位の波長を横軸にしたグ ラフです。Spectral Plot (スペクトル・プロット) ウィンドウでは、ハイ パースペクトル画像から抽出された1 つまたは複数のスペクトルや、ス ペクトル・ライブラリに格納されているスペクトルを表示できます。値 と波長の範囲およびプロットのグリッド間隔は、選択されたスペクトル から自動的に計算されます。また、Spectral Plot (スペクトル・プロット) ウィンドウ下部のコントロールを使用して、2 つのプロット軸の範囲を手 動で設定できます。



Sample Window(サンプル・ウィンドウ) オプション・メニューから四角形のサンプル 領域の大きさを選択できます。デフォルト値 は1であり、この場合は1つの画像セルのス ペクトルが表示されます。AVIRIS 画像セルに 1つのマテリアルしか含まれていないことは ほとんどないため、単一セル・スペクトルの

ほとんどは事実上複数のマテリアルが混ざった状態(コンポジット)になります。スペクトル解析においては、サンプル領域を、関心のある特定の物質の最も純粋な例であるような1つのセルに制限すると有利な場合がよくあります。

_ 🗆 🗙

Multiple Spectra(複数のスペクトル)トグル・ボタンをオンに すると、Spectral Plot(スペクトル・プロット)ウィンドウで一 連のスペクトルを異なるカラーで表示することができます。

スペクトル・プロット内を左クリックすると十字線が現れます。 十字線はプロット内で移動でき、十字線の位置に対応する値が、 プロット下部の Wavelength (波長) フィールドと Reflectance (反 射率) フィールドに表示されます。



波長範囲の設定

ステップ

- Hyperspectral Analysis (ハイパー スペクトル画像解析) ウィンドウ でImage (画像) タブをクリッ クします。
- ✓ Use Wavelength Range(波長範囲 を指定)オプション・メニューか らSubset(サブセット)を選択 します。
- From (開始) テキスト・フィール
 ドに 1.989、To(から) テキスト・
 フィールドに 2.457 と入力します。
- Hyperspectral Image (ハイパース ペクトル画像) ウィンドウ内にカー ソルを移動してマウスの右ボタン をクリックすると、現在の画像の スペクトルが再計算されます。

カプライト画像の中の多くの変質鉱物の特徴的な吸収特性の波長範囲 は 2.0 ~ 2.46 μ m です。Use Wavelength Range(波長範囲を指定)メ ニューの Subset(サブセット)オプションを使用すると、指定された波 長範囲内のハイパースペクトル画像バンドだけに処理を制限することが できます。一度サブセットの範囲を指定すると、画像スペクトルとすべ てのスペクトル解析関数は、そのグループの画像バンドだけに制限され ます。波長サブセットを指定することで、処理をスピードアップしたり、 スペクトル分類の結果の精度を向上することができます。解析セッショ ンの間はいつでも、サブセットの範囲を変更できます。





Exclude Atmospheric Absorption Bands (大気吸収バンドの除外)ト グルは二つの前もって設定された波長範囲(1.33~1.41 μ mと1.81 ~ 1.95 μ m)を処理から除外します。大気中の水蒸気はこれらの波 長域のエネルギーの大部分を吸収するため、この範囲に含まれる画 像バンドは多くの不規則なノイズを含み、地表面の物質に関する情 報をほとんど持ちません。これらの範囲はスペクトル・プロットで は左にプロットされているようにギャップとして表れます。

画像スペクトルをスペクトル・ライブラリに保存する

場合によっては、ハイパースペクトル画像の解析や分類に使用するた めに多数の画像スペクトルを取り込みたいことがあります。このために はスペクトルをスペクトル・ライブラリ・オブジェクトに保存する必要 があります。New Spectral Library (新規スペクトル・ライブラリ)アイ コン・ボタンを押すと、暫定的なライブラリが開きます。1つまたは複数 のスペクトルをライブラリに追加した後、プロジェクト・ファイルにオ ブジェクトとして保存することができます。

画像バンドのサブセットから取り込んだ画像スペクトルを保存する場合 は、選択した波長範囲に対応するスペクトル部分だけがライブラリに保 存されます。スペクトルを比較するハイパースペクトル画像解析処理で は、スペクトルの範囲や解像度の違いは自動的に補正されます。比較関 数を適用する前に、重なり合うスペクトルは共通のスペクトル範囲に切 り取られ、バンド幅の異なるスペクトルは最も低い入力スペクトル解像 度に合わせてリサンプリングされます。

Spectral Profile (スペクトル・プロファイル) ツールで画像スペクトルを 抽出すると、ImageXX,YY という形式のデフォルト・スペクトル名が生成 されます。ただし XX はラスタの列番号、YY はラスタの行番号です。必 要ならば、スペクトルをライブラリに保存する前に、Spectrum Name(ス ペクトル名)テキスト・フィールドを編集してスペクトル名を変更する ことができます。

> 現在開いているスペクトル・ライブラリを含むファイルの名前 がテキスト・フィールドに表示されます。



ル画像解析ウィンドウの左側にリスト表 示されます。

Spectrum(スペクトルを削除)ボタンを 使用して削除できます。

ステップ





一つの画像スペクトル内のスペクトル値は、Image(画像)タブの Calibration(較正)サブパネルで選択されるパラメータ次第で、 プロットや処理を行う前に自動的に調整されます。これらのパラメータはセンサーによって観測された放射輝度値を地上物質の 分光反射率を近似する値に適合させるために使用されます。これに関しては、後の練習問題で説明します。

スペクトルをテキストで保存する

ステップ

- ✓ Info(情報)パネルで Save As Text (テキストとして保存)ボタンをク リックします。
- 標準のSelect File(ファイルの選択)
 を使用して、スペクトルに対応する出力ファイルに名前を付けます。
- テキスト・エディタで出力.csv ファ イルを開き、その形式をチェック します。
- チェックが終わったら、テキスト・ エディタを閉じます。

さらに進んだ解析やプロットを行うために他のソフトウェアを使用 する場合、スペクトルをエクスポートする必要があるかも知れません。 Save As Text(テキストで保存)ボタンは選択されたスペクトルのデータ をファイル拡張子.csv(comma-separated values)のテキストファイル 形式で保存します。ファイル形式は下の例で説明しています。ファイル は各スペクトル・バンドに対して一つの行を持ち、最初のヘッダの行に 続いて、データの行があります。コンマにより分割された3つのデータ 列があります。それらの列は、波長、反射率(または較正されていない 輝度値)、標準偏差(バンド幅)です。この形式でのファイルはほとんど の表計算プログラムで直接開くことができます。一つ以上のスペクトル をエクスポートしたい場合は、各スペクトルはそれ自体のファイルに別々 に保存されなければなりません。



Save As Text(テキストで保存)ボタンを使用して 選択されたスペクトルを CSV ファイルで保存します。

wavelength	, reflecta	ance, standard	deviation (bandwidth)
1.98867, 0	.91535,	0.010990	
1.99869, 0	.88486,	0.010970	
2.00870, 0	.85609,	0.010950	
2.01872, 0	.89134,	0.010940	
2.02873, 0	.92012,	0.010920	
2.03874, 0	.93310,	0.010900	
2.04875, 0	.93234,	0.010880	
2.05876, 0	.93215,	0.010870	
2.06876, 0	.94171,	0.010850	
2.07877, 0	.94504,	0.010830	
2.08877, 0	.94841,	0.010810	
2.09877, 0	.95240,	0.010800	
2.10876, 0	.96267,	0.010780	

画像スペクトルを分類に使用する

ハイパースペクトル画像の一部に含まれる重要な地表面物質の位置が わかっている場合は、これらの位置から得られる画像スペクトルを使用 することで画像内の他の場所にもこの物質があるかどうかを識別する ことができます。この手順は教師付き分類といくつかの点で似ており、 Classify(分類)タブパネルにいくつかの手法が用意されています。

スペクトル・ライブラリ SAMPLIB1 には、カプライト画像の中の一般的な3つの変質鉱物が比較的高純度に存在している部分からの画像スペク

Hyperspectral Analysis

トルが含まれています。しかし、 画像内のほとんどのセルには、そ れぞれが固有な特性スペクトルを 持つ複数の物質または鉱物が含ま れています。このようなセルのス ペクトルは複合的な形状を持ち、 この形状は、含まれている物質の スペクトル形状や相対的な量に依 存します。ハイパースペクトル分

類法では、各画像スペクトルとターゲット・スペクトルとの間の類以性 を示すセル値を持つラスタが生成されます。ただし、ターゲット物質の 量が多い場合や、同様なスペクトルを持つ別の物質がある場合は、「類似 性」の値が等しくなりうるため、このラスタ内の値を解釈する場合には 注意が必要です。 ステップ

- ✓ [Spectral Library (スペクトル・ラ イブラリ)]をクリックします。
- ✓ SAMPLIBS プロジェクト・ファイ ルから SAMPLIB1 オブジェクトを 選択します。
- ✓ Info(情報)パネルでスペクトル・ プロット用の Multiple Spectra(複数のスペクトル)トグルをオンにします。



 Hyperspectral Analysis (ハイパー スペクトル画像解析) ウィンドウ の左側のパネルにリストされる3 つのスペクトルをそれぞれ選択し て、Spectral Plot (スペクトル・プ ロット) ウィンドウに追加します。

✓ Classify (分類) タブをクリックし ます。

この練習問題は次ページに続きます。



整合フィルタ処理

ステップ

- Algorithm (アルゴリズム)オプション・メニューから Matched Filtering (整合フィルタ処理)を選択します。
- ✓ 337,336_Alunite というスペクトル を選択します。
- 【▲ [Add (加える)]を押し、このス ペクトルを End Member (エンド メンバー)リストに追加します。
- ライブラリ内の残りの2つのスペクトルに対しても、上記の最後の2つのステップを繰り返します。
- 【✓ [Classify (分類)]を押します。
- 標準の Select Object (オブジェ クト選択)ダイアログを使用し て各出カラスタに名前を付け、 新しいプロジェクト・ファイル に保存します(この処理には数 分かかる場合があります)。
- Hyperspectral Image (ハイパースペクトル画像)ウィンドウ用のLayerControls (レイヤー・コントロール)を使用して出力ラスタを表示します。

Matched Filtering(整合フィルタ処理)アルゴリズムでは、 Constrained Energy Minimization(制限エネルギー最小化)の技法を使 用して各画像セルのスペクトル構成を評価します。各画像スペクトルは、 ターゲット・スペクトルと複数の未知のスペクトルの線形混合であると 仮定されています。この処理では、各コンポジット画像スペクトルのど の位の割合がターゲット・スペクトル(エンドメンバー)によって作ら れているかを判断します。完全に一致する場合は出力値が1になります が、一致する程度が低い場合は正の小さい値、または負の値になります。 この処理では、それぞれのターゲット・スペクトル(エンドメンバー) ごとに別々の浮動小数点出力ラスタが生成されます。



[※]分類を実行する前に波長範囲の設定を確認してください。[波長レンジを使用]で [サブセット]を選び、1.989 ~ 2.457 の範囲を指定します。→ 12 ページ参照



337,336_Alunite スペクトルに対して整合フィルタ処理 をした結果を線形コントラスト強調した。輝度は、ター ゲット・スペクトルに一致する程度を示します。ターゲッ ト物質を高い信頼性で識別できるのは最も輝度の高い部 分だけです。

メニューでは2種類の変形整合フィルタ処理を利用でき ます。それは、Derivative Matched Filtering(導関数整合 フィルタ処理)とLocally Adaptive Matched Filtering(部 分適応整合フィルタ処理)です。Derivative(導関数)法 は、実際のスペクトル値では無くスペクトル曲線の一次導 関数(傾き)を用い、曲線の形に影響されやすく全体の 輝度の違いには影響されにくい類似性をチェックします。 Locally Adaptive(部分適応)法は、各画像セルの部分的 に不明なバックグラウンド・シグネチャを決定します。ま た、それは画像内の比較的稀な物質を見つけるのに最も適 した方法です。

Spectral Angle Mapper (スペクトル角マッパー)

Spectral Angle Mapper (スペクトル角マッパー)では、ターゲット・ スペクトルと画像スペクトルをn次元スペクトル空間内のベクタとして 処理します。各スペクトルはスペクトル空間に点として定義され、この 点は座標系の原点を始点とするベクタの終点として扱うこともできます。 2 つのベクタの間の角度はスペクトルの類似性を示し、スペクトル角が 小さいほど類似性が大きくなります。この方法は、地形やセンサー・ゲ インが原因で生じるスペクトル間の平均輝度の違いには影響されません。 この理由は、これらの因子によってスペクトル・ベクタの長さは変わっ ても向きは変わらないからです。

この処理では2つの出力ラスタが生成されます。各画像セルのスペク トル角の値を含む Spectral Angle(スペクトル角)ラスタと、ユーザが Threshold Value(しきい値)パラメータに設定した角度値に従ってセル がエンドメンバー・クラスに割り当てられる Class(クラス)ラスタです。

複数のエンドメンバー・スペクトルを選択した場合は、 画像スペクトルと各エンドメンバー・スペクトルとの 間のスペクトル角が計算され、Spectral Angle(スペク トル角)ラスタ内に最小値が示されます。ただし、エ ンドメンバーが1つしか使用されない場合はこのラス タを使って解釈が行われます。 | ステップ

- ✓ End Member (エンドメンバー) リ スト内の Kaolinite 画像スペクトル を選択して [Remove (削除)] を 押します。
- Chalcedony 画像スペクトルに対し ても同じ操作を繰り返します。
- Algorithm (アルゴリズム) メニュー から Spectral Angle Mapper (スペ クトル角マッパー)を選択します。



各出カラスタに名前を付けて分類 用のプロジェクト・ファイルに保 存します。

Enfo Math E	dit Image Classify PCA/MNF	
Classify	Algorithm: Spectral Angle Ma	pper 💷
	Threshold Yalue: 5.00	
	Filter Window Sizy: 80x80 🗖	
nd Members		
Add	Renove Renove All	
337,336_Aluni	te	

スペクトル角の値が Threshold Value(しきい値)より小さいセ ルは、Class(クラス)ラスタ内のエンドメンバー・クラスに割 り当てられます。特定のターゲット・スペクトルに適した値を 見つけるには試してみる必要があります。



Alunite ターゲット・スペクトルに対応するスペクトル角ラス タ。値が小さい部分(最も暗い色調の部分)はスペクトルが最 も良く一致することを示します。



Spectral Angle(スペクトル角)ラスタに重ねて表示された Class(クラス)ラスタ。ちなみに、エンドメンバー・クラス に割り当てられたセルは赤で表示されています。

相互相関

ステップ

- ✓ End Member (エンドメンバー) リストから Alunite 画像スペクト ルを削除します。
- End Member (エンドメンバー) リ ストに Kaolinite 画像スペクトルを 追加します。
- Algorithm (アルゴリズム)メニュー から Cross Correlation(相互相関) を選択します。
- ✓ Threshold Value (しきい値) に 0.87 と入力します。
- ✓ [Classify (分類)]を押します。
- 各出力ラスタに名前を付けて分類 用のプロジェクト・ファイルに保 存します。

Cross Correlation (相互相関) マッチング法では、異なるマッチング位 置 (スペクトル・バンド・シフト)に対して各画像スペクトルとターゲット・ スペクトルとの間の1 次相関係数を計算します。各画像セルの最も良い マッチング位置における相関値が、Correlation(相関)ラスタ内に示さ れます(値の範囲は0~1であり、完全に一致する場合は1になります)。 Class (クラス)ラスタ内のセルは、ユーザが Threshold Value (しきい値) パラメータで指定した相関値に従ってエンドメンバー・クラスが割り当 てられます。この方法は平均輝度による影響を比較的受けません。

分類に関するこれらの練習問題の結果を比較すると、MatchedFiltering (整合フィルタ処理:MF)による画像が不明瞭であるのに対し、Cross Coffelation(相互相関)法やSpectral Angle Mapper(スペクトル角マッ パー)法によって生成される出力ラスタは一貫性のある画像に見えます。 ほとんどの画像では指定されたターゲット・スペクトルに対するマッチ ング値が低く、このような低い値の間には空間的な相関がほとんど存在 しないため、実際に最良の結果が得られるのはMFの場合です。さまざ まなコンポジット(さまざまな物質が含まれた)画像スペクトル内でター ゲット・スペクトルを認識する上ではMF法がより優れています。

Info Math Ec	lit Inage Cl.	assify PCA/MNF	
Classify	Algorithm:	Cross Correlation	
	Threshold Val	.ue: 0.87	
	Filter Window	Size: 80x80 🗖	
End Members			
Add	Renove Renov	ve All	
550,94_Kaolin	ite		



Kaolinite ターゲット画像スペクトルの Correlation(相関)ラス タを自動線形コントラスト強調したもの。値が大きい(明るい 色調の)部分はスペクトルが最も一致することを示します。



Correlation (相関) ラスタに重ねて表示された Class ラスタ (しきい値 0.87)。エンドメンバー・クラスに割り当てられたセルは黄色で表示されています。

線形アンミキシング(分離)

Linear Unmixing (線形アンミキシング)法は、複数のエンドメンバー・ スペクトルを使用して、各画像セルのスペクトル構成を評価します。セ ルには選択したエンドメンバーの物質がさまざまな比率で含まれ、結果 として得られる画像スペクトルはエンドメンバー・スペクトルの1 次結 合であると仮定します。この処理では、各画像セルに対してエンドメン バー物質の割合を示すラスタが各エンドメンバーに対して生成されます。 この処理では Error (誤差) ラスタも作成されます。

この処理を成功させるには、適切なエンドメンバー・スペクトルを選択 することが重要です。選択したエンドメンバーが画像内に存在するとし たら、「純粋な(1 つだけの)物質」でなければなりません。そのような 画像セルを見つける手順は 21 ~ 27 ページで説明します。これらの手順 は SAMPLIB2 スペクトル・ライブラリに含まれるスペクトルを同定する ために使用されます。カプライト地域のスペクトルの形と公表されてい る情報を元にして、これらのスペクトルの内の4つが単一物質(alunite, calcite, kaolinite, muscovite)であると考えることができます。ライブラ リの他の2つのスペクトルはおそらく2つまたはそれ以上の 鉱物の空間混合と考えられます。それらの鉱物は画像内のい かなる画像セルにおいても純粋な形は存在しません。 |ステップ

- ✓ ステップエンドメンバーリストから Kaolinite 画像スペクトルを削除します。
- Algorithm メニューから Linear Unmixing(線形アンミキシング)を 選択します。
- ✓ [Spectral Library... (スペクトルラ イブラリ)]をクリックします。
- ✓ SAMPLIBS.rvc プロジェクトファイル 内の SAMPLIB2 オブジェクトを選択 します。
- すべてのスペクトル(全部で6つ) をエンドメンバーに追加します。
- [Classify(分類)] ボタンを押します。
- それぞれの出力ラスタに名前を付けて、分類用プロジェクトファイルに保存して下さい。



自動正規化コントラスト強調に よって表示された IEM_Alunite -エンドメンバーの比率画像



アンミキシング結果の評価

IEM_Kaolinite(上)、IEM_Calcite(真中)、 IEM_Muscovite(下)の各エンドメンバー による分類画像(すべて自動正規化コン トラスト強調によって表示)







理想的な線形アンミキシングの場合、個々のエンドメンバーの割合の 値は0~1の範囲になり、各画像セルに対する存在比の合計は1にな ります。しかし、余りにも少ない数のエンドメンバーや不適切なエンド メンバーを使用すると、各画像セルに対する存在比の合計は1にならな い場合もあります。選択されたエンドメンバーがミクセルで、その構成 要素を表す「純粋な」セルが画像内に存在する場合は、純粋なセルの存 在比が負になったり、いくつかのエンドメンバーに対してその存在比が 1以上になったりします。アンミキシング画像内にそのような「範囲外」

> の値が多く存在する場合は、エンドメンバー・スペクトルを追 加したり交換する必要があります。

線形アンミキシング方程式は誤差項を含み、それを最小化する ことで最適なエンドメンバーの存在比を見つけ出します。各画 像セルに対して計算される誤差は、Error(誤差)ラスタに組み 込まれます。Error(誤差)ラスタ内の明るいセル(誤差の値が 大きい)は、選択された一連のエンドメンバーによって十分に モデル化されていない地域を示します。そのため、これらの地 域の追加エンドメンバーを探すことに集中する必要があります。



SAMPLIB2のエンドメンバー・スペクトルを利用したカプラ イトの線形アンミキシングでのError(誤差)ラスタ(自動 指数関数コントラスト強調で表示)。明るい地域にはエンド メンバーに含まれていない物質が存在すると考えられます。

Self-Organizing Map Classifier (自己組織化マップ分類)

Self-Organizing Map Classifier はハイパースペクトル画像を教師無し分類します。ユーザがターゲット・スペクトルを指定する必要はありません。 Spectral Angle Mapper のように画像スペクトルは n 次元空間内の点として処理されます。この処理では、ニューラル・ネットワーク法を使用して最適近似できる 512 個のクラス中心のセットを見つけ、スペクトル角を類似性の尺度に使用して、すべての画像スペクトルをこれらのクラスのいずれかに割り当てます。

クラス中心ベクタの決定に使用されるニューラル・ネットワークは、 それぞれが1つのクラスを示す、16×32の方形配列からなるノー ドです。最初、各ノードのスペクトル値はランダムに割り当てられ ます(ランダムな向きのクラス・ベクタが生成されます)。サイズの 大きい画像スペクトルのサンプルが1 つずつノード・セット全体と 比較されます。各テスト・スペクトルに対して、最も類似性の高い スペクトルを持つノードがマッチングを改善するように調節された スペクトル値を持っています。さらに、配列内の付近のノードも、 より小さい範囲に調整されます。多くのサンプル・スペクトルを処理す ると、ノード値は、n次元空間内のすべての画像スペクトルの分布を近似 するクラス中心ベクタのセットに収束します。似たようなクラス・ベク タはノード配列内の近い場所にあります。ハイパースペクトル画像内で 類似した物質の占める面積が大きいほど、これらを表現するのに使用さ れるクラスが多くなります。このような分類特性により、一般的に広く 存在するさまざまな物質のスペクトルを適切に識別することが可能にな ります。

ステップ

- ✓ Image(画像)メニューから Self-Organizing Map Classifier を選択し ます。
- 標準のオブジェクト選択ダイアロ グを使用して各出力ラスタに名前 を付け、分類用のプロジェクト・ ファイルに保存します。



Distance(距離)ラスタは、Self-OrganizingMap の最終的な状態をグラフィ カル表示したものであり、16 × 32 個の ノードの配列を使用してクラス中心を決 定しています。各セルは1つのクラスを 示し、セル値は付近のクラスまでの平均 スペクトル距離です。暗い部分は、クラ ス中心が密に集まっていることを示しま す。



Self-Organizing Map Classifier で作成さ れた 512 個のクラスを含むクラス・ラ ー スタ。ランダム・カラーマップを使用。

主成分分析による変換

ステップ

- ●像タブの波長レンジを使用:で
 [サブセット]を選び、右の数値フィー
 ルドに 2.0 から 2.4 と入力します。

 PCA/MNF タブをクリックします。

 ✓ [Calculate Eigenvectors (固有ベク)
 - 」トルを計算)]をクリックします(処 理には数分かかります)。
- ✓ Display (表示) オプション・メ ニューの4つのオプションをそれ ぞれ選択して、結果として得られ るプロットを確認します。
- [Forward Transform (正方向変換)]
 を押して P C 成分ラスタのセット
 を作成します。
- 標準の Select Object (オブジェク ト選択) 手順を使用して出カラス タを新しい ProjectFile (プロジェ クト・ファイル) に保存します。
- Hyperspectral Image (ハイパースペクトル画像) ウィンドウの Layer
 Controls (レイヤー・コントロール)
 を使用して PCA ラスタを表示します。

固有値のプロットは、各成分軸の画像の分散 を示します。固有値の和は、元画像のバンド 分散の和に等しくなります。また、Component Variance (成分の分散) と Band Variance (バンドの分散) のプロッ トも表示できます(全体の分散に対する割合で)。

隣接するハイパースペクトル画像バンドは、視覚的にも数値的にも 似ているため、重複する情報(冗長性)がたくさん含まれています。 Principal Components(主成分分析)変換は、スペクトル重複を減らし た新しい画像セットを求めるための標準的な方法です。この処理は、各 画像セルのスペクトルを新しい1組の直交座標軸に投影する線形変換で す。これらの軸は、出力画像間には相関がなく、分散が小さくなってい く順序で、第1主成分軸がスペクトル空間において最大の分散になる方 向に選択されます。通常、重要な画像情報は低次成分に集中するのに対し、 ノイズは、成分番号が大きくなるに従い大きくなります。元の画像バン ドの代わりに低次 PC ラスタを使用すると、ハイパースペクトル画像の視 覚的解析や分類をスピードアップできます。



各主成分に対する固有ベクトルのプロットは、その成分の座 標変換に使用する一連の加重係数(各画像につき1つ)を示 します。スライダまたは矢印ボタンを使用して希望する成分 を選択します。



第2の主成分ラスタ



最小ノイズ割合による変換

ハイパースペクトル画像内の各バンドのノイズ量が異なる場合は、これらから得られる標準的な主成分分析では、通常のように成分番号が大きくなるに従ってノイズが一貫して大きくなって行くという傾向が見られません。Minimum Noise Fraction(最小ノイズ割合:MNF)は、信号とノイズの比が小さくなって行く順序に出力成分が並ぶように Principal Components(主成分分析)変換を修正したものです。

MNF 処理では最初に、輝度値の空間的な分散を使用して各画像 バンドに含まれるノイズを評価します。次に2回続けて主成分 分析変換を実行します。最初の変換では、ノイズ評価値を使用し て、ノイズの相関がなく各要素のノイズが等しい座標系にデータ セットを変換します。次に、標準的な主成分分析変換がノイズ調 整されたデータに対して適用されます。これにより、分散が小さ くなって行く順序に出力成分が並びます。この手順を使用すると、 成分番号が大きくなって行くに従い、ノイズ・レベルが均等に大 きくなって行く成分セットが生成されます。結果として得られる 低次成分には、画像情報の大部分が含まれており、画像ノイズは ほとんど除去されています。





最初の 4 つの MNF 成分の RGBI 表示(3=赤、2=緑、 4=青、I=強度)。



Save (保存) ボタンと Load (読み込み) ボタンを使用すると、 Principal Components (主成分分析) 変換や MNF 変換で計算 した統計量を保存したり読み込んだりすることができます。 たとえば、1つのセッションで変換計算を行い、後で統計量 をリロードして成分ラスタを作成することもできます。MNF 変換の場合は、Statistics (統計量) ボタンの選択肢を使用して、 画像統計量とノイズ統計量を保存できます。

・MNF変換で生成されるプロットは、元の入力バンドから計 算されたノイズ統計量が表示されます。

Forward Transform(正方向変換)オプションを使用した MNF 成分ラスタの作成には、 入力成分の数によって数時間以上かかる場合があります。MNF_CUP Project File (プロジェ クト・ファイル)では、カプライト画像に関する初めの 5 MNF 成分を見ることができます。

Pixel Purity Index

ステップ

- ✓ Open (開く) アイコンをク リックし、ドロップダウン・ メニューから RVC Image List (RVG 画像リスト)を選択しま す。
- MNF_CUP Project File (プロジェク ト・ファイル)中の全ラスタを選 択します。
- ✓ Image(画像)パネル上で、AdditiveOffset(加法オフセット)と Atmospheric Correction(大気補正)の較正用メニューから None(なし) を選択します。
- ✓ Image (画像) メニューから Compute Pixel Purity Index (PPI の計算) を選択します。
- ✓ Pixel Purity Index (PPI) ウィンド ウで、Test Direction PerPass (パ ス毎のテスト方向) メニューから 200 を選択し、Threshold Value 値 を 0.10 に変えます。
- ✓ [Run (実行)]をクリックし、出力 PPI ラスタを新しい Project File (プ ロジェクト・ファイル)に保存し ます。

低次の MNF 成分は、ハイパースペクトル画像から抽出・蒸留された画 像であり、Linear Unmixing (線形アンミキシング)処理の際にスペクトル・ エンドメンバーとして用いられる比較的"純粋な"画像スペクトルを簡単 に見つけるために使用することができます。Pixel Purity Index (PPI)処 理は、これらのエンドメンバー・スペクトルを見つけるための第一段階 です。

画像スペクトルがn次元空間に点としてプロットされる時、エンドメン バー・スペクトルはデータ集団の縁に沿った尖点にあるはずです。(この ことは、元のスペクトル・バンドを使っても、変換された MNF 成分を使っ ても成り立ちます)。PPI は座標系の原点から始まる多くのランダムな向 きのテスト・ベクタを作成します。スペクトル・ポイントは各テスト・ ベクタに投影され、最小と最大の投影距離のしきい値内のスペクトルが 極値として伝えられます。この処理は、方向をテストしながら、画像セ ルが極値として認識される回数を集計します。結果の PPI ラスタにおい て高い値を持つセルは、画像の「エッジ」スペクトルの場所に基本的に 対応します。



成分 1

PPI 処理が整数値を持つラスタに対して実行される時、しきい値のデフォルト値である1は1デジタルナンバーの距離に対応します。PPI 処理が MNF 成分セットのような整数で、 は浮動小数点のラスタに対して実行される時は、デフォルト値は1標準偏差として解釈されます。0.10 に近いデフォルト値が MNF 成分セットには適しています。

Pixel Purity Index がどのように潜在的な 極値画像スペクトル(赤い大きなドット) を認識するかを二次元で説明した図

> PPI 処理が画像スペクトル全体に行われるパスの回数と パス毎にチェックされるテスト方向の数の両方を選択す ることができます。Resume PPI(PPIの続行)トグルを 使用して、再実行や今ある PPI ラスタに追加することが でき、パス毎に認識されるセルの数が0に近くなるまで 続きます。

Pixel Purity Index
🔷 New PPI 🕹 Resume PPI
PPI Raster
Number Of Passes: 10
Test Directions Per Pass: 200 -
Pixels Per Test: 200 -
Pixels Per Test: 200 - Threshold Yalue: 0.10

n 次元ビジュアライザの起動

PPI処理の結果を評価するために、n次元ビジュアライザツールを使用 します。このツールは、ハイパースペクトル画像やMNF成分セット内 の領域についてスペクトルのn次元散布図を作成したり表示したりする ことを可能にします。様々な視点から散布図を表示でき、手動または自 動でプロットを回転することができます。ハイパースペクトル画像ウィ ンドウにポリゴンを描くことによってエリアを選択することができます。 このツールを使い、画像内のスペクトル特性を調べたり、純粋なエンド メンバーを示すと考えられるスペクトル値の極値を持った画像セルを探 すことができます。

PPI ラスタをマスクとして利用する場合、指定したしきい値より大きな PPI 値を持った(さらに選択したポリゴン内の)セルだけが散布図に表示 されます。しきい値はわずかなスペクトル方向にのみ極値として認識さ れたセルを除去します。マスクを使用しない場合は、小さな選択ポリゴ ンを使って扱いやすいサイズのスペクトル点を求める必要があります。



Style (スタイル) アイ コン・ボタンは、点の 表示スタイルを2つの モード、すなわち単一 ピクセル (ボタンが押 し込まれた状態) と ボックス (この状態) の間で切り換えます。

グレー階調の値0(ヌル) を透過にしたPPIマスク・ ラスタが MNF 画像の上 に表示されています。



|ステップ



この練習問題は次ページに続きます。

n 次元散布図の回転

ステップ

- ✓ Visualizer (ビジュアライザ) ウィ ンドウ上で、Speed (スピード) スライダをスピード2まで動かし ます。
- [Spin (スピン)]を押すと、ボタンの表示が Stop(停止)に変わります。
- プロットが自動的に回転する様子 をしばらく確認したら、[Stop(停止)]を押します。
- 方向矢印アイコン・ボタンを使用して、プロットを少しずつ回転させます。
- Change Viewpoint(視点を 変更)ボタンを数回押しま す。
- ✔ Visualizer (ビジュアライザ) ウィ ンドウの中でマウス・カーソルを 移動し、マウスの左ボタンを押し ながら希望する方向にドラッグし、 プロットを手動で回転させます。

この練習問題は次ページに続きます。

n-Dimensional Visualizer (n 次元ビジュアライザ)を使って、PPI 処理 によって認識された極値セルの中から最大極値のセルを見つけたりマー クすることができます。n 次元分散図を使うと、ある特定のスペクトル方 向から見る場合の方が、他の方向から見るよりも点の集団の分離の具合が はっきり見えます。このような方向を見つけて点の分布を理解するために は通常プロットを回転させる必要があります。n-Dimensional Visualizer (n 次元ビジュアライザ)の回転オプションは非常に柔軟性が高く、手動回転、 断続回転、自動回転モードが用意されています。

Spin (スピン) ボタンは、ランダムに選ばれた方向に連続的に散布図を 回転します。Speed (スピード) スライダを使用すると回転速度が変わり ます。回転速度は、スペクトル点の数や次元の数によっても変わります。 次元数を小さく (15 未満) にした方が動画の動きはなめらかになります。 矢印アイコン・ボタンを使用して、特定の方向にほんのわずかずつプロッ トを回転させることができます。ウィンドウモードが Rotate (回転) に 設定された状態では、Visualizer (ビジュアライザ) ウィンドウ内でカー ソルをドラッグすることで、どの方向にも手動でプロットを回転できま す。



エンドメンバー・クラスをマークする

n 次元散布図を回転させながら、様々な方向に分布のエッジを定義する 点の集団を探して下さい。これらは孤立した小さな点の集団の場合もあ りますし、2つのエンドメンバーの間の混合線を定義する長くのびた点 の集団の終わりになっている場合もあります。いくつかのエッジ・クラ スタに区別できる時、回転を停止して下さい。

n-Dimensional Visualizer(n 次元ビジュアライザ)では、各スペクトル 点の集団を選択してクラスに分類することができます。クラスに割り当 てた点は、選択したカラーでウィンドウ内に表示されます。他の集団に グループ化操作を繰り返して同じクラスに割り当てたり、新しいカラー を選択して別のクラスを作成することもできます。プロットを回転して もクラス・カラーはそのままに保たれますので、スペクトル点の分布を より良好に視覚化できます。ShowClasses(クラスを表示)オプションは、 少数のスペクトル点だけがそれぞれに割り当てられた時、クラスの視覚 化を強調します。また、連続線を使って、クラス内のスペクトル点とク ラスの平均値を結合します。 ステップ ▶ いくつかのエッジ・クラス 00 タを認識した場合、Clas -sify (分類) アイコン・ボ タンを押して、カーソル・モード を変更します。 ✓ Show Classes (クラスを表 示) アイコン・ボタンが押 🂦 された状態になっているこ とを確認します。 ✓ プロット領域内で左クリックして、 点の集合を囲むポリゴンを定義す る頂点を配置します(下の図1を 参昭)。 ▶ 右クリックしてポリゴンを確定し ます。(図2) ✔ Class (クラス) というラベルの付 いた色付きボタンをクリックし、 例えば cyan (シアン)のような他 の色を選択します。 画し(2)、右クリックします(3)。 🗹 [Spin (スピン)] を押し、マーク された集団がどのように残りの集 団に関連づけられているかを観察 して下さい。 ✓ [Stop (停止)]を押します。。

クラスをマークするためのカラーを選択 するには、Class color(クラス・カラー) オプション・メニューを使用します。



Classify(分類)モードでは、マウス・カー ソルを使用してポリゴンを描画し、点の 集合を選択して1つのクラスに割り当て ることができます。

1番目のクラスの例



Clear Class(クラスをクリア)アイコン・ ボタンを押すと、現在選択されているク ラス・カラーに割り当てられたすべての 点が解放されます。



Clear All Classes(すべてのクラスをクリ ア)アイコン・ボタンを押すと、すべて の分類された点がそれぞれのクラスから 解放されます。

エンドメンバー・クラスをマスクとして保存する

- 6つか7つのクラスがマークできるまで、プロットの回転と点のグループ化を続けます。
- ✓ 満足するクラスセットがで きたら、Visualize(ビジュ アライザ)ウィンドウ上の Classes to Source アイコン・ボタ ンを押します。
- クラス・セルを含む新しいマスク・ ラスタを作成するために)開く1 番目の確認(Verify)ウィンドウで [Yes(はい)]をクリックします。
- ▼ 現在のマスク・ラスタを保存する かどうかを尋ねる2番目のVerify (確認)ウィンドウでは[No(いい え)]をクリックします。(保存を 必要とする変更はありません)

マーク済みクラスのセル位置を示す 一時的なマスク・ラスタが(現在まで マスクとして使用していた) PPI ラス タの代わりになります。



✓ 一時的なクラス・マスクを永久保 存するため、[Save As (別名保存)] をクリックします。

 以前作成した PPI ラスタのプロ ジェクト・ファイルにクラス・マ スクを保存します。
 視点の変更とプロットの回転を継続し、別のエンドメンバー・クラス タを見つけて下さい。プロットを表示する時、3次元の立体としてそれ を視覚化したくなりますが、その衝動は抑えましょう。いつでもそのプ ロットはn次元超空間(この例では5次元)の2次元平面に投影してい ます。ポイントクラスタの空間的関係は多くの視点から調べることによっ てのみ決定できます。例えば、同じ2つのエンドメンバー・クラスタ間 の直線上に常に位置するように見えるポイント・クラスタは別のエンド メンバーではなく、おそらく2つのエンドメンバーの混合物です。

Classes to Source(クラスをソースに変換)オプションでは、クラス・セ ルの位置を現在のマスク・ラスタや、新しいマスク・ラスタに変換する ことができます。各クラスには特定のラスタ値が割り当てられ、クラス・ カラーを含む Colormap(カラーマップ)サブオブジェクトが自動的に作 成されます。この手順により作成される新しいマスクは自動的に現在の マスクの代用となる一時的なオブジェクトです。このオブジェクトを再 利用するためには、Info(情報)パネルの Image Mask(画像マスク)セ クション上の Save As(別名保存)ボタンを用いて保存しなければなりま せん。



n 次元ビジュアライザで様々な視点から見たカプライト MNF 成分セットの エンドメンバー・クラスの例。作成するクラスは作成者によって大小、色使 いが異なります。エンドメンバー・クラスタはある視点から見た時のみエッ ジの上に表示されます。

ステップ

エンドメンバー・スペクトルの選択

画像からエンドメンバーを定義する最後の段階では、エンドメンバー・ クラス・ラスタを元のカプライト・ハイパースペクトル画像に関するマス クとして利用して、エンドメンバー・スペクトルを選択し保存します。マ スク内の色の付いたセルはエンドメンバー・スペクトルになり得る画像ス ペクトルの位置を同定します。マスク内の他のセルは透明になっており、 下にある画像が見えています。色の付いたクラス・セルが良く見えるよう にするために、参照ラスタとしてグレー階調の MNF 成分ラスタの1つを 追加することができます。また、すべてのクラス・セルを定めるために、 Layer Controls (レイヤー・コントロール) ウィンドウでマスクを除いた 全てのレイヤーを一時的に隠したい場合もあるかもしれません。

各エンドメンバー・クラスに対して、Spectral Profile(スペクトル・プロ ファイル)ツールを使用して個別のクラス・セルに関する画像スペクト ルを抽出し表示して下さい(Spectral Plot (スペククトル・プロット)ウィ ンドウには Multiple Spectral (複数のスペクトル)を選択しておきます)。 最も典型的なスペクトルを選択しスペクトル・ライブラリに保存します。 各エンドメンバー・クラスに関するスペクトルを保存し終えるまで繰り 返して下さい。

カプライト画像の北 東地域の一部を拡大 表示したもの。異な るエンドメンバー・ クラスを表す3つの クラス・セルの空間 クラスタを表示して



ステップ



フィールドまたは実験室でのスペクトルのインポート

ステップ

- ✓ Layer Manager ウィンドウで、M NF参照レイヤーで右クリックし、 ドロップダウン・メニューから Remove Layer (レイヤーの削除) を選択します。
- Info(情報)パネルの Image Mask (画像マスク)セクションで、[Clear (消去)]をクリックします。
- ✓ Image(画像)パネルで、Wavelength Range(波長範囲)オプション・メニューから Full(全範囲)を選択します。

前練習のクリア作業が終わりました。 ここからインポート操作に入ります。

New Spectral Libraly (新規 スペクトル・ライブラリ) アイコン・ボタンをクリッ クします。 ある特定の波長に関して、物質に入射するエネルギーとその物質が反 射するエネルギーの比を分光反射率といいます。波長に伴う分光反射率 の変動は物質の反射スペクトルを構成し、物質の化学的な組成と物理的 な構造により決まります。土壌、岩石、植生などの物質の分光反射率を 計測するのに、分光計とよばれる装置を用います。反射スペクトルは自 然光条件下のフィールドで計測することができ、また、光源がコントロー ルされた条件下の実験室内で計測することも可能です。フィールドある いは実験室でのスペクトルはハイパースペクトル画像内の様々な物質を 同定するために用いることができる既知のスペクトル情報となります。

ハイパースペクトル画像解析処理で Import Spectral Curve(スペクトル 曲線のインポート)操作を行うことで、外部から TNTmips のスペクトル・ ライブラリにスペクトルをインポートすることができます。いくつかの 一般的な分光計ファイル・フォーマットを選択でき、一般的な ASCII フォー マットも選択可能です。ASCII フォーマットは前出の『スペクトルをテキ ストで保存する』の練習問題で説明した.csv フォーマットでなければな りません。各スペクトルは別々の外部ファイルになければなりません。

■Hyperspectral Analysis		
File Image		
New Spectral Library	C:\temp\TEMP000	2.THP /
Open Standard Spectral Library	> <u> </u>	
Open Spectral Library	Edit Image Cla	ssify
Open USGS Spectral Library		Canaa
Import USGS Spectral Library	CON GRANNING LOND	0.002
Import Spectral Curve	ASCII Format	81 SP.I.
Open Hyperspectral Image	Spectron SE590	
Save As	PIMA Spectrometer	
Exit	FieldSpec FR Form	at

- ✓ Hyperspectral Analysis (ハイパー スペクトル画像解析) ウィンドウ 上の File (ファイル) メニューか ら Import Spectral Curve (スペク トル曲線のインポート)を選択し、 さらに ASCII Format (ASCII フォー マット)を選択します。
- 標準の Select File(ファイル選 択) ウィンドウを使って、GRANG-RASS.CSV ファイルに移動し選択し ます。
- Info タブの Display Spectral Plot (スペクトル・プロットの表示)ト グルボタンをオンにして、新しい ライブラリ・スペクトルを選択し ます。





USGS のスペクトル・ライブラリを開く

米国地質調査所の分光学研究所(Spectroscopy Lab)は、標準的な実 験室条件の下で約 500 種類の鉱物(岩や土壌の基本成分)の分光反射率 を測定しています。測定結果を USGS Spectral Library (USGS スペクトル・ ライブラリ)にまとめており、無料で利用できます。マイクロイメージ 社は USGS スペクトル・ライブラリをインポートし、標準スペクトル・ラ イブラリ(Standard Spectral Library)としてハイパースペクトル画像解 析処理に組み込んでいます。他の公的なスペクトル・ライブラリも将来 的に標準ライブラリに追加されるでしょう。

USGS スペクトル・ライブラリの反射スペクトルは、0.2 ~ 3.0 µ m の波 長範囲をカバーし、スペクトル・バンド幅は 0.01 µ m 未満です。(これ は AVIRIS 画像スペクトルのスペクトル解像度に匹敵します)。鉱物スペ クトルの他に、USGS スペクトル・ライブラリは様々なタイプの植物の葉 から得られたスペクトルもいくつか含んでいます。植生スペクトルは鉱 物スペクトルのアルファベット順のリストの後ろにあります。 ステップ



http://speclab.cr.usgs.gov において USGS Imaging Spectrops copy プログラ ムと USGS Spectral Library に関するその 他の情報を得ることができます。

次の練習問題に備え SpectralPlot(スペ クトル・プロット)ウィンドウは開いた ままにしておいてください。



反射率補正

ステップ

🖌 Image(画像)パネルで Additive Offset (加法オフセット)、Atmospheric Correction(大気補正)才 プションメニューの両方から None (なし)を選択します。

Hyperspectral Image

す。

飛行機や衛星に搭載されたハイパースペクトル画像取得装置はスペク トル放射輝度を測定します。スペクトル放射輝度とは、多数の狭い波長 バンドに対してセンサーの位置において生ずる放射エネルギーのことで す。これらの放射輝度値は、画像内の地表物質の分光反射率特性によっ て部分的にしか決定されません。その他多くの因子が放射輝度の測定値

	Help
Library c:/tnt/win32/speclib.ref	
Info Math Edit Image Classify PCA/MNF	
Calibration	
Additive Offset: None 💷 0.0	
Atmospheric Correction: None 💷	0.0

に影響し、その影響の程度も波長によっ て異なります。たとえば、地表に照射さ れる太陽エネルギー量は、波長によって 異なる(この変化が太陽光放射照度曲線 になります)ほか、画像が撮影されたと きの太陽高度(太陽の天頂角度)によっ ても異なります。その他の因子としては、 特定の波長における大気中のガスや微粒 子による吸収と散乱、および地形(斜面 の方向と角度、陰など)による照度の違 いなどがあります。

(ハイパースペクトル画像) ウィンドウのツールバーか ら Spectral Profile (スペクトル・ プロファイル)ツールを選択しま ✓ 画像の東端付近の Stonewall Playa 地区(11ページを参照)から画像 スペクトルを取得します。(左ク リックして右クリック)

画像スペクトルと実験室での反射スペクトルとの比較を意味のあるものに するためには、このような他の影響を除去して、画像の放射輝度値を補正 (較正)して反射率にする必要があります。TNTmips のハイパースペクト ル画像解析処理には、一般的に使用される、経験による較正方法がいくつ か用意されています。これらの方法は、処理中に生のハイパースペクトル 画像に適用されますので、異なるバージョンの画像をユーザが再計算した り保存したりする必要はありません。生の放射輝度スペクトルをチェック できるよう、この練習問題の手順ではこれらの較正機能を無効にします。

Stonewall Playa の生の放射輝度スペクトル。スペクトル の全体形状は、可視光範囲内に最大輝度があり、太陽放 射照度曲線の特性と似ています。また波長が大きくなる につれて大気中の散乱により減衰しています。



放射輝度スペクトルの中にいくつかの大きな凹部(ラベル A ~ D で示した部分)があるのは、特定の波長で強力な大 気吸収があるからです。画像内の領域で大気が均一であり 極端な標高の違いがない場合は、すべての画像セルからの 生のスペクトルに、大気による散乱と吸収の影響がほとん ど同程度に現れ、太陽の放射照度スペクトルも同じになる はずです。

フラット・フィールド補正

Flat Field 補正法では、ユーザが Flat Field Calibration ツールで指定し た領域の平均スペクトルを使用することで、大気や太陽放射照度による 影響を少なくします。選択する領域は、地形的に、またスペクトル的に 平坦でなければなりません。すべての波長における分光反射率が均一で なければならず、大きな吸収特性部分があってはなりません。このよう な「フラット・フィールド」から得られる平均スペクトルは、太陽放射 照度曲線に大気による散乱と吸収の影響を重ねたほとんど純粋なシグネ チャになります。Flat Field 法では、フラット・フィールド・スペクトル で各画像のスペクトルを割ります。フラット・フィールド・スペクトル が適切であれば、大気や太陽放射照度の影響を大幅に削減できます(補 正時にランダム画像ノイズを削減するには、選択された領域が明るくな ければなりません)。画面の領域に大きな標高の変化がある場合や、画像 の領域上で大気が不均一な場合は、較正後の画像スペクトル内に地形や 大気の影響が多少残ります。

この補正方法においては適切なフラット・フィールドを選択する作業が 重要であることは明らかです。天然の物質で反射スペクトルが完全に平 坦なものはありません。コンクリートなどの明るい人工の物質はかなり 平坦なスペクトル応答を示しますので、市街化区域のハイパースペクト

ル画像内のターゲットとして適しています。カプ ライト画像の領域では、明るい、塩分で覆われた Stonewall Playaの地形では鉱物による大きな吸収が ないため、フラット・フィールド・スペクトルに近 いものが得られます。

Maximum (最大値)補正法では、各スペクトル・バンドの中の最大値を 使用して自動的に近似的なフラット・フィールド・スペクトルを生成し ます。画像スペクトルを最大値スペクトルで割ることで、補正された画 像スペクトルを生成します。この方法は、全体の輝度値が異なる様々な 物質を含む画像に適しています。

ステップ ✓ View ウィンドウのツールを使用し て Stonewall Playa を拡大します。 Hyperspectral Image ウィンド ウのツールバーから Flat Field Calibration(フラット・フィー ルド較正)ツールを選択します。 🖌 Line / Polygon Edit Controls(線 / ポリゴン編集コントロール)を使 用して Stonewall Playa の最も明る い部分をカバーするポリゴンを描 画します (図を参照)。 🗉 Line/Polygon Edit Control 💶 🗖 🗙 Operation Hode Action 8949888828 Apply Help ✓ Atmospheric Correction (大気補)

 Atmospheric Correction (大気袖 正) オプション・メニューから Flat Field (By Region) (フラット・フィー ルド(区域別)を選択します。

Info Math Edit	Inage	Classify	PCA/MNF		
Calibration					
Additive Offset:		None	- -	0.0	
Atmospheric Corre	ection:	Flat Field	(By Region)		0.0

✓ Stonewall Playa から、画像スペク トルを求めます。



Flat Field Calibration(フラット・フィール ド較正)ツールを使用してポリゴンを描 画し、フラット・フィールド・スペクトル を求めるのに使用する領域を指定します。

Equal Area Normalization (等面積正規化)



ハイパースペクトル画像解析において大気補正を行う際のデフォルト の方法とされているのが Equal Area Normalization (等面積正規化)であ り、処理を起動すると自動的にこの方法が有効になります。この較正方 法では、画像の領域の地上物質に関する知識はまったく必要ありません。 まず、各画像セルに対応する値の和が画像全体に渡って一定になるよう に、各画像スペクトル内の放射輝度値がスケーリングされます。この処 理では、物質による全体的な輝度の差や、地形による照度の差が除去され、 すべての画像スペクトルが、ほとんど同じ相対輝度にシフトされます。続 いて、正規化されたスペクトルから、画像全体の平均スペクトルが計算 されます。さまざまなタイプの土地被覆が含まれる画像の場合は、平均 化することにより地上物質に起因するスペクトル上の特徴部分が大幅に 除去されます。こうすると、平均スペクトルは、前の練習問題で説明し たフラット・フィールド・スペクトルに似たものになるはずです。最後に、 正規化された各画像スペクトルを平均スペクトルで割ります。結果とし て得られるスペクトル値は、平均スペクトルに対する相対的な反射率を 示し、理想的な場合は真の反射スペクトルと同程度になるはずです。

画像内の標高や大気の状態の差が大きいと、画像スペクトルに対する大 気の影響が大きくなり過ぎて Equal Area Normalization(等面積正規化) では除去できない程度になることがあります。また、2、3 種類の物質 が画像領域内に広く分布していると、平均スペクトルの中にこれらの地 上物質に関連する吸収特性部分が含まれてしまい、大気や太陽放射照度 の影響だけを反映したものにならないことがあります。このような場合 は、Equal Area Normalization(等面積正規化)で得られた較正後のス ペクトルが、真の反射スペクトルとは大幅に異なるものになる可能性が あります。

Info Math Edit	Image Classify PCA/MNF
Calibration	
Additive Offset:	/ Minimum 💷 🛛 0.0
Atmospheric Corre	ction: Equal Area Normalization 💷 🗌 0.0

Additive Offset Calibration (加法オフセット較正)オプション・ メニューの各方法は、大気の後方散乱や計測器の不自然さに より画像バンドの各セルごとに一定値だけ放射輝度の測定値 が大きくなるのを補正します。デフォルトの Minimum (最小値) 法では、各バンドの最小値を求め、バンド内のすべてのセル からこの最小値を減算します。

Dark Field Calibration(ダーク・フィールド較正)では、 Hyperspectral Image(ハイパースペクトル画像)ウィ ンドウで Dark Field Calibration(ダーク・フィールド較 正)ツールを使用してアウトラインを指定した領域から求めら れた平均値を各セルから減算します。ユーザが選択する領域は、 すべてのバンドにおいて暗くなければなりません。水深の深い 場所や常に陰になるような場所は目標として最適です。

注意:ハイパースペクトル画像が既に反射率に変換されている場合は、2つの Calibration(較正)メニューの Manual(手動)オ プションを選択でき、オフセットとスケーリングの数値を設定することができます。例えば、NASA が反射率に較正した AVIRIS サンプル画像は、反射率0から1.0の範囲に対応する整数値として0から10,000を用いています。この場合、Additive Offset (加法オフセット)値を0に、Atmospheric Correction(大気補正)値を10,000に設定します。

HypeCube オブジェクトを開きま

メニューから[最小]、大気補正メ

ニューから[等面積正規化]を選択

▶ [画像]タブの加法オフセット較正

反射スペクトルによる分類

ステップ

 $\overline{\mathbf{V}}$

す。

します。

ハイパースペクトル画像を較正して反射率に合わせたら、USGS スペク トル・ライブラリ(またはその他の反射スペクトル・ライブラリ)内の 物質の反射スペクトルを使用して、類似したスペクトルを持つ画像セル を捜して分類することができます。この本で前出のスペクトル分類で行っ た練習問題で説明したのと同じ分類方法を使用し、それと同じ手順に従 いますが、今回はエンドメンバーとして保存されている画像スペクトル ではなくライブラリの反射スペクトルを選択します。これらのスペクト ル分類処理を使用すると、ユーザが設定したしきい値の範囲内のターゲッ ト・スペクトルと一致する画像セルの分布を示す一連の物質地図(クラス・ ラスタ)を生成することができます。

現在実装されている経験的な較正法を使用し、Spectral Angle Mapper(ス ペクトル角による地図作成処理)法やCross Correlation(相互相関)法で 反射スペクトルを使用すると、最も良い結果が得られます。カプライトの 画像の場合、Matched Filtering(整合フィルタ処理)で反射スペクトルを 用いてもデフォルトの Equal Area Normalization (等面積正規化)では、 良い結果を生み出す正確な反射率の較正が得られないと思われます。





て開きます。

Hyperspectral Image

(ハイパースペクトル画像)

ウィンドウで Full (全体) アイコン・ボタンを押します。



\checkmark USGS Spectral Library (USGS \land クトル・ライブラリ)のスペクトル・ リストで、Alunite スペクトル(反 射率) で最後から2番目を再び選 択します。

- Classify (分類) タブパネルの [Add (加える)]を押し、Alunite スペク トルを End Membe (エンドメン バー)リストに追加します。
- デフォルトの Spectral Angle Mapper (スペクトル角による地図 作成)アルゴリズムを使用して Threshold Value (スレッショルド 値)を15に設定します。
- [Classify (分類)] を押し、出力ラ スタを分類用の Project File(プロ ジェクト・ファイル)に保存します。

スペクトル・マッチング

- Hyperspectral Analysis (ハイパー スペクトル解析) ウィンドウで [Spectral Library... (. スペクトル・ ライブラリ ...)] をクリックします。
- ✓ SAMPLIBS.rvc プロジェクト・ファ イルから Samplib3 オブジェクト を選択します。
- Info(情報)パネルのPlot(プロット)コントロールでMultiple
 Spectra(複数のスペクトル)ラジオ・ボタンをオンにします。
- ✓ Spectral Plot (スペクトル・プロット) ウィンドウのManual Range (手動範囲) トグル・ボタンをオンにし、Wavelength Range (波長範囲)を1.98 ~ 2.46 に設定します。
- ✓ スペクトル・リストの最後までス クロールして 337,336_Alunite を 選択します。
- Math (計算) タブをクリックし、 Spectral Matching (スペクトル・ マッチング) コントロール・パネ ルの Algorithm (アルゴリズム) オプション・メニューから Band Mapping (バンド・マッピング) を選択します。
- [Find Match (照合検索)]
 を押します。一致するスペ クトルのリストから最初の スペクトルを選択します。

 一致するスペクトルのリストから最初のスペクトルを 選択します。

337,336_Alunite 画像スペクトル

2095 0.95 0.95 0.75

USGS Spectral Library(USGS スペク トル・ライブラリ)の中で最も良く 一致するスペクトルである、明礬石 の反射スペクトル。 スペクトル・マッチング処理は、ハイパースペクトル画像に含まれる 特定の未知の物質を識別するのに役立ちます。ターゲット物質に対応す る画像スペクトルを参照スペクトル・ライブラリのコピーに保存してお き、ライブラリを検索して未知のスペクトルに最も良く一致する反射ス ペクトルを捜すことができます。(この練習問題では、カプライトの3つ の画像スペクトルとともに、USGSスペクトル・ライブラリ内の反射スペ クトルを含むライブラリを使用します)。マッチング処理では、ターゲッ ト・スペクトルに最も良く一致する20個のスペクトルを見つけ、最も近 いものから順にランク付けします。

2つのスペクトル・マッチング法を利用できます。Spectral Angle Mapper (スペクトル角による地図作成処理)法は、以前に説明した分類方法とまっ たく同じです。Band Mapping (バンド・マッピング)法では、吸収特性 部分 (スペクトル曲線の局所的な最小値)の位置と相対的な深さに基づ いてスペクトルを比較します。いずれの方法も比較的、平均輝度の違い による影響は受けません (スペクトル・プロットにおいてターゲット・ スペクトルと最も良く一致するスペクトルとが縦方向に大きく離れてい ることに注目してください)。



ステップ

画像からの包絡線除去

多くの鉱物は、スペクトルの特定の部分にあ る1つまたは少数の狭い吸収特性部分の位置と形 状により識別することができます。このような特 徴(通常は「バンド」と呼ばれます)は、スペク トルの中では谷となって現れます。ハイパースペ クトル画像から得られたコンポジット(合成)ス ペクトルでは、吸収バンドの周囲のスペクトル曲 線の形状はさまざまです。より広範囲の曲線形状 (「包絡線」といいます)は、スペクトルを構成す るすべての物質の応答が重なったものです。包絡 線が傾斜していると、吸収バンドの反射率最小の 位置が明らかにシフトします。マッチング処理の 前にスペクトルから包絡線を除去すると、(Band Mapping法などのような)個々の吸収バンドの



このスペクトル・プロットには、Samplib3 スペクトル・ライブラリの Kaolinite に含まれている画像スペクトル(下の曲線)、これに対して 計算された包絡線(平滑な曲線)、および包絡線を除去した Kaolinite のスペクトル(上の曲線)が示されています。

スペクトル・マッチングがもっと正確になります。これは各チャンネル のスペクトル値を包絡線の値で割ることを意味します。

Image(画像)メニューで Remove Continuum(包絡線を除去)オプショ ンを使用すると、(現在の波長サブセットに関する)ハイパースペクトル の包絡線除去バージョンを生成できます。この操作は各画像セルに対す る包絡線を計算し、そのセルに関して対応する包絡線除去スペクトルを 生成し保存します。この処理をした画像から抽出したスペクトルは包絡 線を除去してライブラリ・スペクトルと直接比較できます。次の練習問 題では、ライブラリ・スペクトルからの包絡線を除去する方法について 説明します。

注意: 包絡線除去画像は1つのハイパースペクトル・オブジェクトとしてでは なく、バンド毎の別々のラスタ・オブジェクトに対して生成されます。 ステップ

- ✓ Hyperspectral Analysis (ハイパー スペクトル画像解析) ウィンドウ の Image (画像) メニューから Remove Continuum (包絡線を除 去)を選択します。
- ✓ Select File (ファイル選択) 手順 を使用して、包絡線を除去した画 像バンドを含む新しい Project file (プロジェクト・ファイル) に名 前を付けます。



包絡線を除去したバンド 172、187、202 の RGB 表示。これらの練習問題の流れを妨げることな く画像をチェックするには、別の Hyperspectral Analysis (ハイパースペクトル画像解析) 処理を 立ち上げて、そこに包絡線除去画像を開いて下 さい。

ライブラリ・スペクトルからの包絡線除去

ステップ

- ✓ HyperCube オブジェクトを開きます。
- ✓ SAMPLIB3 スペクトル・ライブラ リから 550,94_Kaolinite を選択し ます。
- ✓ Info(情報)パネルのPlot(プロット)部分で、Single Spectrum(シングル・スペクトル)ラジオ・ボタンをオンにして、次にMultiple Spectra(複数のスペクトル)をオンにします。
- ✓ Spectral Plot (スペクトル・プロット) ウィンドウで、下部の Manual Range (手動範囲) トグル・ボタンをオンにして、Value Range (値域) を 0.5 から 1.0 に設定します
- ✓ Edit (編集) タブをクリックします。
- ✓ Operation (操作) メニューから Continuum (包絡線)を選択し、 [Apply (適用)]を押します。
- [Restore (回復)]を押します。
- ✓ Operation (操作) メニューから Remove Continuum (包絡線の除 去)を選択するし、[Apply(適用)] を押します。
- ✓ [Save Spectrum (スペクト ルの保存)]を押し、ライ ブラリ内に包絡線除去スペ クトルを保存します。

Set	\sim
Add	
Substract	
Multiply	
Interpolate	
Smooth	
Normalize	
Continuum	
Renove Continuum	
Derivative	
Binarize	
Parabolic Fit	

この練習問題のステップは前の ページにある図に似たスペクト ル・プロットを生成します。 Edit(編集)タブ付きパネル上のコントロールを用いて、ライブラリ内 の個別スペクトルから包絡線を除去することができます。ライブラリか ら選択したスペクトルこのパネルに表形式で表示されます。Operation(操 作)メニューから Continuum (包絡線)を選択すると、スペクトル・プロッ トに表示するための包絡線を計算するだけであり、Remove Continuum(包 絡線の除去)を選択すると、元のライブラリ・スペクトルから包絡線除 去スペクトルを計算します。

Operation (操作) メニューから選択したいずれかの数学的変換を適用す る場合、Edit (編集) パネル上のスペクトル・テーブルは更新され、その 結果は一時的にメモリに保存されます。Restore (回復) ボタンを使うと 変換が除去され、Save Spectrum (スペクトルの保存) ボタンを使うと結 果がライブラリ内に新しいスペクトルとして保存されます。このスペク トルには元のスペクトルと同じ名前が付きます。Info (情報) パネルのコ ントロールを使って、この名前を編集し、スペクトルを再保存すること ができます。

	Utyperspectral Hnalysis			
l	File Inage		Help	
l		tral Libraryc:\Data\Cuprite\samplibs.rvc / SAM	IPLIB3	
l	Find:	Info Math Edit Image Classify PCA/MNF		
	Vermiculite	Wavelength Yalue Bandwidth Error		
	Vermiculite	1,988670 0,956881 0,010990	0.000000	
	Witherite	1,998690 0,940945 0,010970	0.000000	
	Hollastonite	2,008700 0,942444 0,010950	0.000000	
	Zincite+Franklin	2,018720 0,946829 0,010940	0.000000	
J	Zircon	2,028730 0,964234 0,010920	0.000000	
1	Aspen Leaf-A	2,038740 0,952706 0,010900	0.000000	
	Aspen_Leat_B	2.048750 0.952440 0.010880	0.000000	
	Blackbrush	2.058760 0.928478 0.010870	0.000000	
	Blue_Spruce	2.068760 0.914903 0.010850	0.000000 🚽	
	Lneatgrass Dru Long Grass	Have bength Ranget 1 9887 to: 2 4572 811		
	Fir_Tree	Harolangen Hanget 1:3007 oot E:437E HII		
	Juniper_Bush	Operation: Remove Continuum - Value: 0.00		
	Lawn_Grass	Save As New Record		
	Haple_Leaves			
	Pathithrush	Hpp1y Save Spectrum	kestore	
1	Russian_Olive			
	Sage_Brush			
	Saltbrush			
	lumbleweed			
	337,336_Alunite			
	550,94_Kaolinite			
	529,267_Chalcedon			

その他の画像処理オプション

ハイパースペクトル解析ウィンドウの Image(画像)メニューにはこの他にもいくつかの処理オプションがありま すので、以下に簡単に説明します。

Log Residuals (対数残差)は、各画像セルごとの放射輝度の観測値を、地表面の反射率、地形的な因子、照度に関す る因子の積としてモデル化する較正手法です。地形的な因子(傾斜の方向と陰)は、どの画像セルでもすべての波長 バンドに渡って一定ですが、空間的には異なります。照度に関する因子(太陽放射照度)は、画像全体に渡って一定 (空に雲がないと仮定した場合)ですが、各波長によって異なります。測定された放射輝度値から反射率を求めるには、 地形と照度の因子による影響を除去する必要がありますが、通常はいずれの影響もわかっていません。Log Residuals (対数残差)アルゴリズムでは、測定したバンド値、すべての波長バンドに渡る幾何学平均、および各画像バンドの 空間的幾何学平均を使用して、各セルごとに一連の割り算を実行して、これらの因数を数学的に除去します。幾何学

平均は、測定値の対数の算術平均から計算され ます。これらの計算は処理の途中で行うには 複雑過ぎますので、Log Residuals(対数残差) 処理により画像バンド・セットを変換したもの を生成します。結果として得られる対数残差画 像スペクトルでは、元の画像の情報の一部が抜 けている場合があります。スペクトルがすべて の画像スペクトル内に存在するような物質で は、この処理によってそのスペクトル成分は除 去されます。また、対数残差画像は画像ノイズ を強調する傾向があります。

VQ Filtering(VQ フィルタ処理)は、この本 で以前に説明した Self-Organizing Map(SOM) 分類処理に概念的に関係のある画像変換手順 です。この手順では、SOM 分類処理を画像に 適用して 256 個のスペクトル・クラスを求め、 各画像セルをスペクトル空間内の最も近い平 均値を持つクラスに割り当てます。続いて、観



それぞれが R、G、B として表示されたバンド 172、187、202 の対 数残差(元の RGB の組み合わせは 8 ページに示されています)。

察された各スペクトルから、割り当てられたクラスの平均スペクトルが減算されます。結果として得られる各入力バ ンドの (フィルタ処理後の)残差画像から、その波長において各セルが割り当てられたクラスに一致する (一致しない) 程度がわかります。この結果を使用すると、画像内の通常と異なる(が興味深いものである可能性のある)物質の位 置を正確に割り出すこともできます。

地理空間解析のための先進的ソフトウエア

マイクロイメージ社は、高度な地理空間データの視覚化、解析、出版を行う専門家向けソフトウェアを提供しています。 製品に関する詳細は、マイクロイメージ社にお問い合せになるか、ウェブサイトにアクセスしてください。 TNTmips Pro TNTmips Pro は、GIS、画像解析、CAD、TIN、PC を用いた地図印刷、地理空間データベース管理機能

を統合した専門家のためのシステムです。

Bryst

TNTmips Basic TNTmips Basic は、TNTmips の廉価版で小規模プロジェクト向けのシステムです。

o isar

TNTmips Free TNTmips Free は、学生や小規模プロジェクトを行う専門家向けの無料バージョンです。

TNTedit TNTedit はベクタ、画像、CAD、TIN、リレーショナルデータベースなど様々な形式の地理データを作成

志

座標付け、編集するための専門家のための対話的ツールです。

- **TNTview** TNTview は TNTmips と同じ強力な表示機能があります。TNTmips の持つ解析機能やデータ編集機能はありません。
- **TNTatlas** TNTatlas を使用すると、自分のプロジェクトデータを CD-ROM にプレスして、低コストで出版や配布ができます。TNTatlas の CD は Windows や Mac で使用できます。

引

/		215
	波長の自動定義	
	バンドマッピング(スペクトルマッチング)	
	包絡線 , 除去	
	分類	
	画像	
	n 次元ビジュアライザ	
	反射スペクトル	
	包絡線	
	相互相関	18
	等面積正規化	
	反射率のフラットフィールド補正	
	ハイパースペクトルエクスプローラ	7-9
	ハイパースペクトル(ハイパーキューブ)オブ	ジェクト4
	3 次元表示	5
	RGB 表示	
	照度効果	
	画像スペクトルメーター	
	インポート , スペクトル	
	放射輝度,太陽光	
	線形アンミキシング	
	対数残差較正手法	

[翻訳]

Opén

GIS

整合フィルタ処理	16,18
最小ノイズ割合による変換	
n 次元ビジュアライザ	
Pixcel Purity Index	24
主成分分析による変換	
自己組織化マップ分類	
スペクトルアングルマッパー	
スペクトルライブラリ	13,15,29,31
USGS スペクトルライブラリ	
スペクトルマッチング	
スペクトルプロファイルツール	11,29
スペクトル放射輝度	
分光反射率	
スペクトルへの放射輝度補正	
エンドメンバー	19,20,24-29
画像	3,11,13-20
反射率	
ライブラリに保存	13
テキストとして保存	14
表示	11

NORMANI

Alenco

Eleche

'our

doon

Auch

R

11

Parallele

株式会社 オープン GIS

〒 130-0001 東京都墨田区吾妻橋 1-19-14 紀伊国屋ビル 1F Kinokuniya Bld. 1F, 1-19-14 Azumabashi, Sumida-ku, Tokyo 130-0001, JAPAN TEL(03)3623-2851 FAX(03)3623-3025