

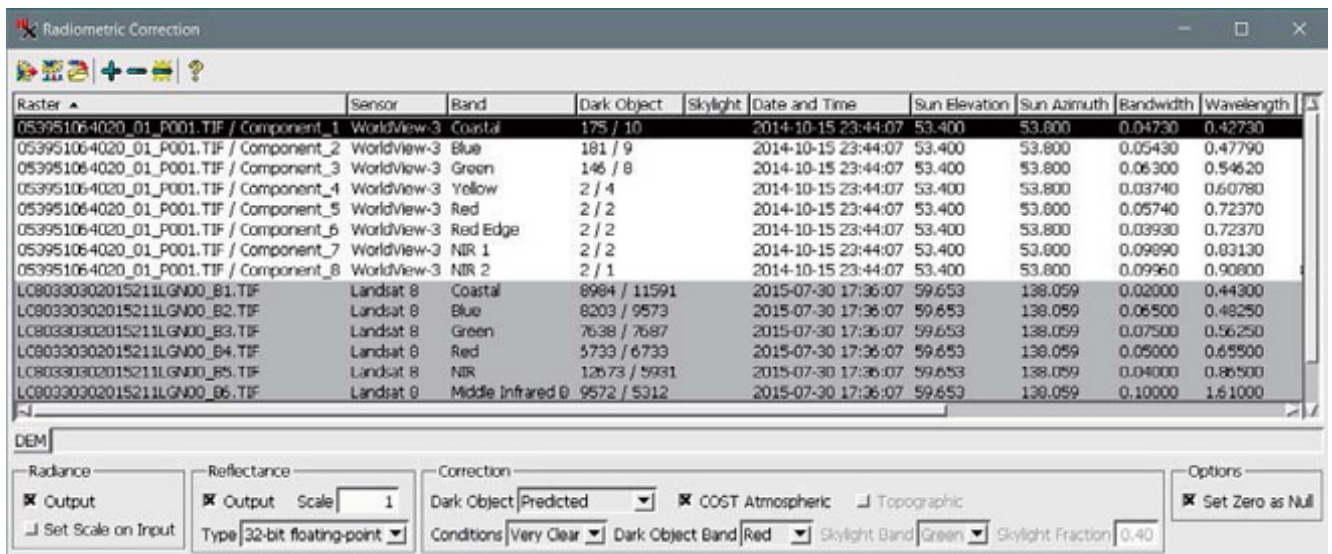
# 衛星画像のラジオメトリック補正

TNTmips のラジオメトリック補正処理 (画像 / ラジオメトリック補正) では、衛星の光学センサが取得した画像を放射輝度や反射率の値に較正します。これらの補正をすると地表面特性がより正確に評価され、異なる時間や異なる地域で取得された画像の比較を容易にすることができます。この処理では以下のことが出来ます：

- ・ 画像のデジタルナンバーをセンサ上の放射輝度に変換
- ・ 画像のデジタルナンバーを指定のラスタデータ型やスケールで大気上部の反射率に変換
- ・ 画像のヒストグラムや散乱モデルから、または手入力や表示ウィンドウの暗い領域を指定することで、暗い部分 (パスラジアンズ) の補正を行う
- ・ コサイン TZ(COST) 大気透過率補正の適用
- ・ DEM を使って地形補正を行う

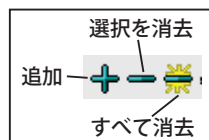
現在サポートされている衛星センサを右の一覧に記載しています。TIFF/GeoTIFF や JP2/GeoJP2 画像は元の形式のまま使用できます。これらの画像の補正パラメータは、指定形式のメタデータファイルから自動的に読み込まれます。他の形式の画像 (HDF、NITF など) は、まずマイクロイメージのプロジェクトファイルにインポートする必要があります。センサのメタデータは、メタデータサブオブジェクトとしてインポートされ、ラジオメトリック補正処理で利用されます。パラメータのデフォルト値で足りないものは、TNTmips のリファレンスファイルから提供されます。補正パラメータは手動でも入力できます。

サポートされている衛星の光学画像センサ		
センサ	メタデータ形式	メタデータファイルの拡張子
ASTER	HDF	embedded in HDF
DMC	DIMAP	*.dim
GeoEye1	Digital Globe	*.xml
IKONOS	GeoEye	*_metadata.txt
KOMPSAT-3	KOMPSAT	*_aux.xml
KOMPSAT-2	KOMPSAT	*.eph, *.txt
Landsat 8 OLI	ODL	*.mtl
Landsat 7 ETM+	ODL	*.mtl
Landsat 4,5 TM	ODL	*.mtl
Pleiades	DIMAP	DIM_*.xml
RapidEye	RapidEye	*_metadata.xml
QuickBird2	Digital Globe	*.xml
SPOT 6,7	DIMAP	DIM_*.xml
WorldView 2,3	Digital Globe	*.xml



## ラジオメトリック補正ウィンドウ

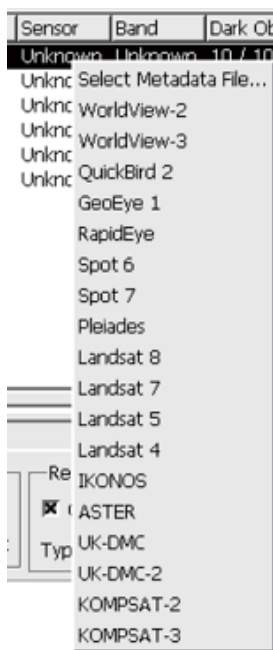
〈ラジオメトリック補正〉ウィンドウツールバーの [追加] アイコンを押して、処理する画像バンドを選択します。TIFF か JP2 ファイル (1 バンドで 1 ファイルまたは 1 ファイルに複数バンドを含む場合があります)、あるいはマイクロイメージのプロジェクトファイルからラスタオブジェクトを選択できます。選択したすべての画像バンドが列で区切られたリストに表示されます (上図参照)。一度に複数の画像の選択・処理ができます。異なる画像のリストは交互に違う背景色で自動的



にグループ化されます。画像も自動的に〈表示〉ウィンドウに表示されます。誤って選択したバンド (複数可) は、リストの行の上を左クリックして強調表示して、[選択を消去] アイコンを押すと削除できます。([Shift] キーを押したまま行の範囲を強調表示したり、[コントロール] キーを押して強調表示した行のオン / オフを切り替えることもできます)。すべてのバンドを削除するには、[すべて消去] アイコンを押します。

添付されたメタデータがある場合は、センサ名、バンドの割り当て、補正パラメータが自動的に読み込まれ、リ  
(次ページに続く)

ストのそれぞれの列に表示されます。センサのメタデータファイルやオブジェクトが自動的に検出されない場合は、[センサ]と[バンド]列に「不明」と表示されます。サポートされている形式のメタデータファイルを手に入れる場合は、[センサ]列で画像バンドのいずれかを左クリックしてポップアップメニューで[メタデータファイルを選択]を選択し、<メタデータ>ウィンドウを使って格納場所へ移動してからファイルを選択します。適切な形式のメタデータファイルがない場合は、[センサ]列のポップアップメニューでセンサを選択すると、その画像の全バンドに割り当てられます。[バンド]列ではバンド毎に左クリックして、ポップアップメニューからスペクトルバンドを選択できます。シーン別ではない補正パラメータがTNTmipsのセンサリファレンスファイルから自動的に入力されます。



メタデータにない補正パラメータの値は「未定義」として表示されます。これらの値はバンド毎、パラメータ毎に手入力することができます。

[オプション]ボックス( <ラジオメトリック補正> ウィンドウの右下)には、[0(ゼロ)をヌルとして設定する]トグルボタンがあります。このトグルをオンにすると、バンドにヌルマスクがないか、ヌル値が設定されていない場合は入力画像バンドの0の値が画像なし(ヌル値)と解釈されます。対応するセルは、出力ラスタでヌルと設定されません。

## 放射輝度

各画像バンドの値に対するセンサ上のスペクトル放射輝度は、画像のデジタルナンバーから各バンドのゲインとオフセット値を適用して計算されます。この計算は一般的に次の式で表わされます：

$$\text{放射輝度} = \text{ゲイン} \times \text{セル値} + \text{オフセット}$$

この計算の正確な式は、格納されている放射輝度の校正係数の式によってセンサ毎に異なります(例えば、スケールファクタがゲインの逆数または加工前(raw)の結果をスペクトルバンドのバンド幅で割る必要がある場合など)。スペクトル放射輝度はワット / (m<sup>2</sup> × sr(ステラジアン) × μm) の単位で表わされます。

[放射輝度 (Radiance)] ボックスには相互排他的なオプションが2つ提供されています。[出力]トグルをオンにすると、入力画像バンド毎に放射輝度値を持った出力ラス

タが作成されます。[入力画像にスケールを設定]トグルをオンにすると、入力画像バンドにスケールとオフセット値が設定されるため、rawのセル値が放射輝度として表わされます。(スケール値とオフセット値は、TNTmipsの多くのラスタ処理で自動的に使用されています。)

## 反射率

スペクトル反射率は、特定の波長での地表面から反射された放射輝度とその波長での地表面へ放射されたエネルギー入射(放射照度)の比です。画像バンドに対する放射照度の値は、波長バンド別の太陽放射照度(ESUN)、撮影日の地球-太陽間の距離(d)、画像取得時の太陽高度(θ)から計算されます。

$$\text{反射率} = \frac{\pi \times \text{放射輝度} \times d^2}{ESUN \times \sin \theta}$$

Landsat 8の画像メタデータには、反射率スケールと反射率オフセットが含まれており、これには太陽高度を除くすべての係数がカプセル化されています。Landsat 8画像の反射率の計算式は次の通りです：

$$\text{反射率} = \frac{\text{反射率スケール} \times \text{セル値} + \text{反射率オフセット}}{\sin \theta}$$

[反射率 (Reflectance)] ボックスの[出力]トグルをオンにすると、各入力バンドの反射率のラスタが計算されます。「暗い部分 (Dark Object)」や「COST 大気」補正を適用しない場合の結果は、大気上部の反射率、すなわち大気の影響を含んだ見かけ反射率です。

反射率は比率なので、rawの反射率の値は0から1.0の間で変化します。したがって、反射率のラスタのデフォルトのラスタデータ型は、32ビットの浮動小数点です。スケール化された整数の反射率で作業したい場合は、[タイプ]メニューから整数データ型を選択し、[スケール]フィールドに適切なスケール値を設定することができます。

## 暗い部分補正

太陽放射は水蒸気やその他の気体分子、大気中の小粒子と相互に作用し、太陽放射の一部は全方向に散乱されます。散乱する量は短い波長(青バンド)で最も強く、波長が短くなるにつれて急激に減少します。また、散乱は大気中の水蒸気やちり(ヘイズ)の量とともに増加します。これによる衛星センサに向かう上方散乱光は、地表面特性に関する情報を含まない、単なる大気のノイズです。このパストラジアン(経路光)は、各画像バンドのセンサが地表面から受け取る放射輝度に加えられます。

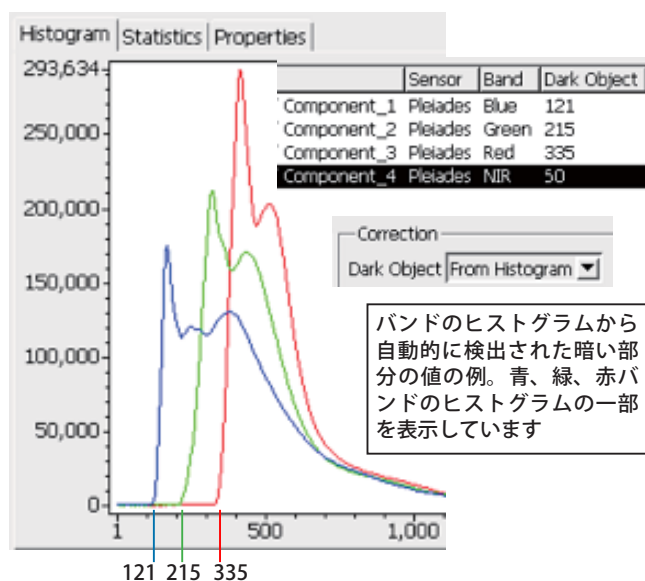
暗い部分補正では、シーンの暗い部分の画像値を使ってバンド毎のパストラジアンの影響を除去するよう試みます。ほとんどの衛星画像には、地形や建造物による暗い影やくっきりとした濃い水域といった、反射率がほぼゼロの事実上の黒いセルが少なくとも多少は含まれています。これらの領域からの地表面の放射輝度に対する貢献はないので、測定値は大気のパストラジアンによるものと考えられます。そのため、各バンドの「暗い部分の値」を全画像値

(次ページに続く)

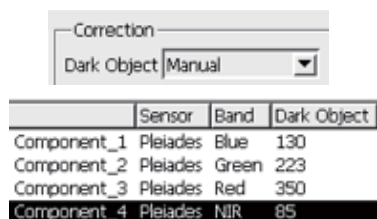
から引いて、パスラジアンズ補正された画像を生成します。暗い部分補正は、反射率と放射輝度の出力ラスタに対し、両方でも片方でも適用することができます。

暗い部分の値は、[補正 (Correction)] ボックスの [暗い部分] メニューの選択肢で指定できる数種類の方法で算出されます。オプションには「なし」、「ヒストグラムから」、「マニュアル」、「予測」があります。各バンドの結果は、画像リストの [暗い部分] 列に表示されます。

**ヒストグラムから：**この手法は、バンドのヒストグラムからセル数がセル値の増加に伴い急激に上がり始める値の範囲の下端の変曲点を特定することで、暗い部分の値を自動的に算出します。前提として、暗い部分のセルは他の画像セルと比べて極めて数が少なく、センサのノイズに起因する暗い部分の値には一定の範囲があるとします。この手法では、この暗い部分の値の範囲の上限を特定します。下図は Pleiades 画像の赤、緑、青バンドの例です。



**マニュアル：**この手法では、2通りの手動の方法で暗い部分の値を設定できます。個別に算出した暗い部分の値 (バンドヒストグラムの独自調査など) がある場合は、画像リストの [暗い部分] 列に値を直接入力できます。別の方法として、表示ウィンドウの [リージョンの定義] ツールセットを使用して複数のポイントや図形を描き、暗い地物を特定するリージョンを定義することができます。(このツールの使用方法については、テクニカルガイド



暗い部分の値は、建物の暗い影の輪郭ポリゴンを描くことによりマニュアルで設定されました

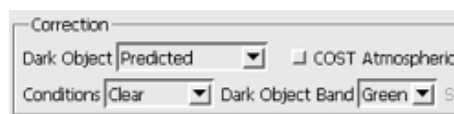


『リージョンの定義ツールセット (Define Region Toolset)』を参照)。その後、定義されたリージョンからバンドの平均値が自動的に計算され、[暗い部分] 列に表示されます (下図では、都市の建物の影のリージョンを用いて、暗い部分の値を定義しています)。

**予測：**前出の手法の欠点は各バンドの暗い部分の値が他に依存せずに算出されることですが、大気散乱は波長に依存します。放射輝度補正された暗い部分の値は、波長の増加に応じて負の指数関数に従うと推定されます。

「予測」を選択すると、[補正] ボックスの [条件] と [暗い部分のバンド] メニューがアクティブになります。シーンの大気条件の自身の視覚による定性的評価に基づいて、[条件] メニューで対応する散乱モデルを選択し、暗い部分の値の波長依存度を定義します。メニューの選択肢には「快晴」、「晴れ」、「普通」、「かすみのかった」、「非常にかすんだ」があります。これらの各選択肢では、対応する散乱モデルの波長関数の指数に異なる値が設定されます。[暗い部分のバンド] メニューでは、「緑」か「赤」バンドのいずれかを波長関数に固定される暗い部分の初期値として選択します。詳しい方法については、以下の参考文献を参照してください：

Chavez, Pat S., 1988, An Improved Dark-Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data. *Remote Sensing of Environment*, vol. 24, pages 459-479.



Sensor	Band	Dark Object
Landsat 8 Coastal		8984 / 9013
Landsat 8 Blue		8203 / 8303
Landsat 8 Green		7638 / 7638
Landsat 8 Red		5733 / 7307
Landsat 8 NIR		12673 / 7162
Landsat 8 Middle Infrared B		9572 / 7509
Landsat 8 Middle Infrared C		7106 / 8987

「予測」を使用すると、[暗い部分] 列の左側にヒストグラムから得た値、右側に予測値が表示されます

「予測」を使用すると、画像リストの [暗い部分] 列には、各バンドのヒストグラムから得た値と予測値の両方が比較として表示されます。表示される予測値は raw のデジタル画像値ですが、指数関数を適用する場合、この手法では放射輝度補正された値が使用されます。現在の選択で他のバンドに過剰補正があると思われる場合は、[条件] と [暗い部分のバンド] メニューから選択内容を変更することができます。

### COST 大気補正

COST 大気補正は、大気吸収の影響の主要因である反射率に一次補正を適用します。シーンを照らす太陽光の一部は、大気を通過する道筋の中で気体に吸収されている可能性があります。ある一連の大

(次ページに続く)

気条件において、入射する放射エネルギーの減衰量は大気を通る経路の長さ依存します。この影響に対する反射率の補正は、各バンドの値に太陽天頂角 (TZ) のコサイン、つまり頂点 (天頂) と画像取得時の空の太陽位置との間の角度をかけることで行われます。太陽天頂角は 90 度から画像メタデータに記録された太陽高度を引いたものと同じです。この補正の専門的な解説については、以下の文献を参照してください。

Chavez, Pat S., Jr., 1996. Image-Based Atmospheric Corrections — Revised and Improved. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 62, pages 1025-1036.

## 地形補正

ラジオメトリック補正処理での地形補正は、デジタル標高モデル (DEM) を用いて地形の影響による画像の反射率を正規化します。[地形] トグルをアクティブにするには、画像リストの下にある [DEM] プッシュボタンを押して、補正する画像 (複数可) の全体範囲をカバーする DEM ラスタを選択します。DEM ラスタはセルサイズや画像範囲が正確に一致している必要はありませんが、セルサイズがほしいものか画像のセルサイズより小さい必要があります。

地球の表面は、一部は直射日光により、また一部は大気散乱のもう一つの結果である空全体からの散乱光によって照らされます。局所的な地表面から反射する直射日光の量は、太陽の方角に対する地表面の向きによって変化するので、画像値から算出される反射率が地形に依存することになります。第一次近似として、散乱光は全ての方向で等しいと考えられるため、散乱光から生じる地表面反射率の部分は地形の向きには左右されません。

地形補正では、DEM から計算される起伏陰影値を使って、反射率を調整します。DEM の各セルの起伏陰影値は、太陽光の方向 (画像メタデータの太陽高度と太陽方位角から算出) と局所地表面への垂線との間の角度、つまり入射

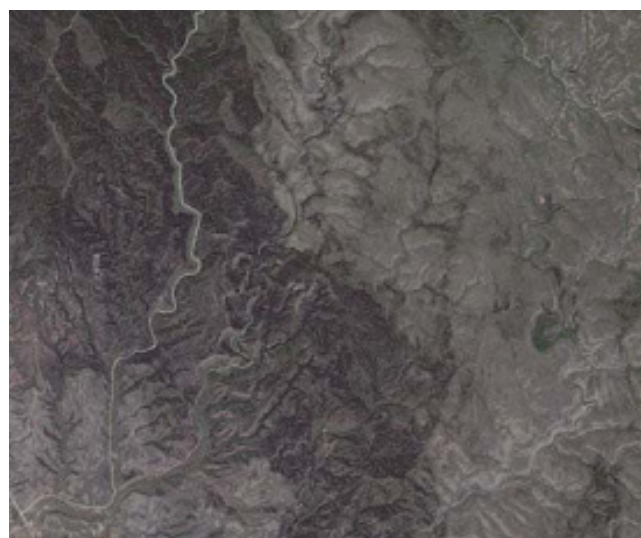
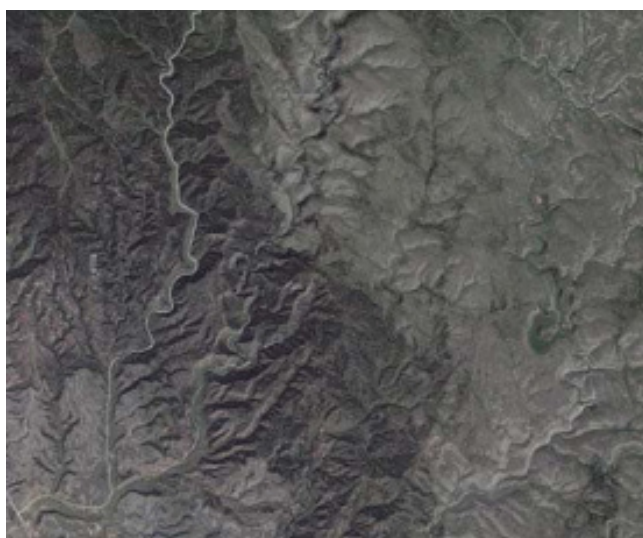
角のコサインです。反射率の補正は、起伏陰影値に直接の太陽照射によると思われる反射率の割合をかけて行われます。

衛星が測定する太陽光の一部は大気散乱の結果なので、暗い部分補正の予測で選択した対応する散乱モデルと同じモデルを使用して、バンド波長に応じて変化すると考えられます。[散乱光のバンド] メニューを使用し、[散乱光の割合] フィールド (デフォルト 0.40) の値を割り当てるバンド (緑、赤、なし) を選択します。個々のバンドで算出された値は、画像リストの [散乱光] フィールドに表示されます。



Sensor	Band	Dark Object	Skylight
Landsat 8	Coastal	8984 / 9013	0.64
Landsat 8	Blue	8203 / 8303	0.54
Landsat 8	Green	7538 / 7538	0.40
Landsat 8	Red	5733 / 7307	0.30
Landsat 8	NIR	12573 / 7162	0.17
Landsat 8	Middle Infrared B	9572 / 7509	0.05
Landsat 8	Middle Infrared C	7106 / 8987	0.03

地形補正をすると、太陽に向いていない斜面の画像セルが明るくなります。(散乱光の調整を組み入れない地形補正を適用すると、これらの画像セルを過剰に補正 (過度に明るく) する傾向があります)。反射率への地形の影響を削減または除去すると「より平坦」に見える画像を生成するため、画像分類をする際に未補正の画像に比べてより適した開始点となります。しかし、自然の植生も地形の向きに強く影響されるため、地形補正された反射率の画像であっても植生の違いにより地形の特性がはっきりと現れることがあります。



Landsat 8 画像バンドのナチュラルカラー表示：地形の影響を受けている反射率 (左) と地形補正後の反射率 (右)。