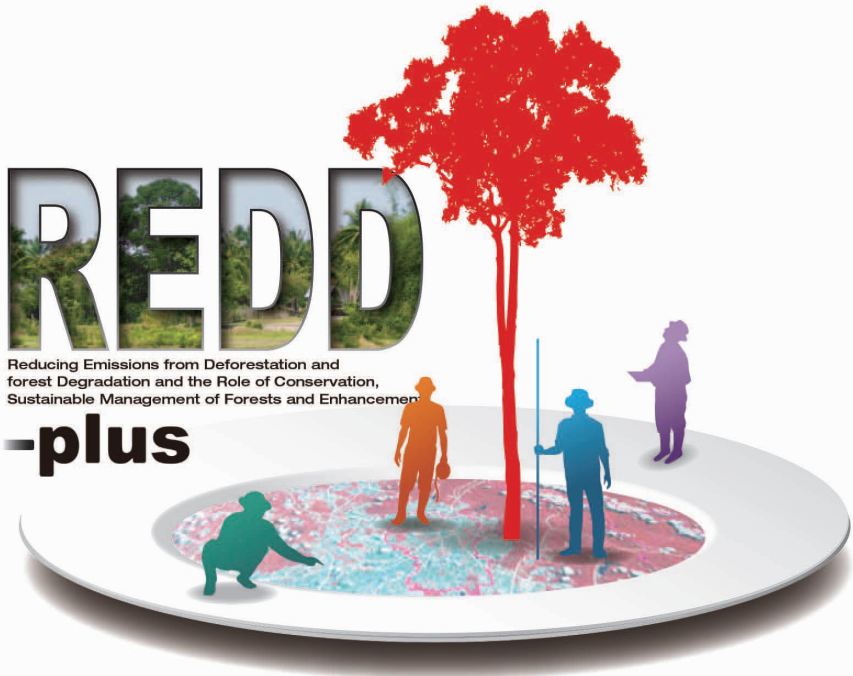




COOKBOOK

ANNEX

調査マニュアル Vol. 5

リモーセンシングを用いた面積推定のための衛星画像解析法

齋藤 英樹

第4期 中長期計画成果 10（森林管理技術－9）

はじめに

REDD プラスは、途上国が行う森林減少・森林劣化を抑制する取組みによる CO₂ の排出削減、森林保全等（「プラス」活動）による CO₂ の排出防止および炭素固定による大気中の CO₂ の削減に対して、何らかの経済的インセンティブ（資金やクレジット）を与えるというのが基本的な考え方です。このため、排出削減量の評価には科学的なアプローチによって森林炭素の変化量をモニタリングすることが求められます。

森林総合研究所 REDD 研究開発センターでは、REDD プラスに取り組むための基礎知識や技術について、特に森林炭素モニタリングに注目して平易に説明した技術解説書「REDD-plus Cookbook」を 2012 年に発行しました。REDD-plus Cookbook は、REDD プラスの導入に取り組む政策立案者や、REDD 活動の計画に取り組む実施者や技術者を読者と想定して、必要となる知識や技術に関する項目を、Recipe（レシピ）という解説の単位でとりまとめています。

一方で REDD-plus Cookbook は、基礎知識や技術について要点を絞って解説していることから、REDD 活動に携わる技術者が現場で活用するために必要な情報が十分に得られない可能性があると想定されます。そこで、REDD-plus Cookbook の各 Recipe で解説されている手法について、より詳しく学習でき、現場で実際に活用できる調査マニュアル「REDD-plus Cookbook Annex」を作成しました。本調査マニュアルでは、トピックスを絞って、計測手法をより具体的に解説しており、能力向上のための教材としても利用できるように作成されています。REDD-plus Cookbook と組み合わせて読んでいただくことで、トピックスに関する技術的な理解が深まるように構成されています。

本調査マニュアルを通じて、REDD 研究開発センターが、世界各地での REDD プラスの推進に貢献できればと願っております。

2018 年 3 月

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
REDD 研究開発センター

目 次

1 概要	1
1.1 本マニュアルの目的	1
1.2 本マニュアルの使い方	1
1.3 REDD-plus Cookbook との関係（関連する事項）	1
2 衛星画像解析に必要なもの	2
2.1 パソコン	2
2.2 ディスプレイ	2
2.3 インターネット回線	2
2.4 ソフトウェア	2
2.5 プログラミング環境	3
3 衛星画像の取得	4
4 大気補正、雲の除去、季節性の考慮	8
4.1 大気補正の手順	8
4.2 雲マスクについて	13
4.3 季節性について	14
5 クラスの定義	15
6 グランドトゥールース	15
7 分類	16
7.1 ピクセルベース分類	16
7.2 オブジェクトベース分類	17
8 精度評価	18
参考文献	18

1 概要

1.1 本マニュアルの目的

森林総合研究所が2012年に発行した「REDD-plus Cookbook」は、REDD プラスの取組むための基礎知識や技術について、特に森林炭素モニタリングに注目して平易に説明した技術解説書である。本衛星画像解析マニュアルは、REDD-plus Cookbook で示された森林炭素蓄積量の推定手法の中で、リモートセンシングを用いた面積推定に必要な衛星画像解析に焦点を絞り、その解析手法を解説したマニュアルである。

本マニュアルは、主に現場で衛星データを利用して森林面積を実際に推定する技術者を想定して作成している。また林学や森林生態学を学ぶ学生、REDD プラスに関心のある NGO 等の組織にも有益な情報となれば幸いである。

1.2 本マニュアルの使い方

ここで、取り上げたデータや解析手法は REDD プラスで用いられることが想定される標準的な方法である。衛星画像解析による面積推定では、使用するデータ、データ取得時期、解析手法などにより得られる結果が異なってくる。信頼性の高い面積推定には、適切なデータおよび取得時期、解析手法を選択する必要がある。また精度評価をしっかりと行い、地図が持つ精度やバイアスを評価することも重要である。したがって、衛星画像解析の前には、本マニュアルを一読して、処理過程を確認しておくことが重要である。

リモートセンシングを用いた面積推定のための衛星画像解析の分類や精度評価については、個々のソフトウェアによって操作方法やデフォルト設定のパラメータが異なる。ソフトウェアのマニュアルやチュートリアルを事前によく読んで解析に始めることが重要である。

1.3 REDD-plus Cookbook との関係（関連する事項）

本マニュアル内で関連する REDD-plus Cookbook 内のレシピは【 】で示し、Cookbook にてその解説を参照することができる。

REDD-plus Cookbook は以下の URL でダウンロードできる。

http://redd.ffpri.affrc.go.jp/pub_db/publications/cookbook/index_ja.html

2 衛星画像解析に必要なもの

2.1 パソコン

画像解析や解析結果を用いた GIS 解析を行うためにはスペックの高いパソコンが必要である。例えば、よく使用されている画像解析ソフトウェアの ERDAS Imagine では、マルチコアプロセッシングが可能な 64-bit の CPU や 8GB 以上のメモリが推奨されている。ディスクスペースのソフトウェアだけで 4GB 必要とされている。またマッピングプロジェクトによっては、データ格納や中間ファイル、結果保存に数 TB の容量が必要で、かつ高速なディスクアクセスが望まれる。オペレーティングシステムは、64-bit のシステム（Windows10 Pro 64-bit など）が望ましいとされている。画像解析ソフトウェアは一般的に OpenGL などを用いた 3D 表示が可能である。また演算に GPU が使用可能なソフトウェアもある。こうした機能を最大限に発揮するためには、高性能のグラフィックカードが必要となる。

2.2 ディスプレイ

画像解析を行うので大型のディスプレイが必要である。また画像間の比較や参照画像を見ながらの解析の際にはデュアルディスプレイが便利である。デュアルディスプレイ出力のためにも高性能グラフィックカードが必要である。

2.3 インターネット回線

REDD プラスプロジェクトでよく使用されているランドサット衛星画像は、米国の USGS のサイトからダウンロードするのが一般的であるが、ランドサット衛星画像は、1 シーン 800 ～ 1000MB の容量があるため、高速のインターネット回線が必要である。また最近では分類の際に参照データとして Google Earth を用いることがあるが、これを使用する際にも高速インターネット回線が必須である。さらに解析方法のヒントやソフトウェアのマニュアル、ユーザーコミュニティや無償で公開されているツールへのアクセスにもインターネットが必要となる。

2.4 ソフトウェア

画像解析を行うソフトウェアには、ERDAS Imagine、PCI、ENVI、TNTmips などがあり、それぞれ有償で提供されている。オープンソースでは、GIS ソフトウェアの QGIS とセットで配布されている GRASS がある。代表的な GIS ソフトウェアの ArcGIS にも Spatial Analyst などのプラグインがあり、ある程度の処理は可能である。またオブジェクトベース分類専用ソフトウェアの eCognition など、特定の処理に特化したソフトウェアもある。

2.5 プログラミング環境

最近の画像解析ソフトウェアは、GUI が充実しておりプログラミング環境は必ずしも必須というわけではない。しかし複数のランドサット衛星画像をまとめてダウンロードするスクリプトや雲取り処理など画像解析を行う無償のツールがインターネット上で配布されており、こうしたツールを使用するためには、C 言語や Python といったプログラミング環境とそれを使いこなすスキルが必要となる。

3 衛星画像の取得 [Recipe-T05]

森林面積推定に用いられる衛星画像には様々な種類のデータがある。REDD プラスのための森林面積推定では、対象国が途上国であることや、対象が国レベルであること、モニタリング自体に多額の費用をかけることができないなどの制約があることから、一般的に無償でオンライン配布されているランドサット衛星画像が用いられている。以下、USGS の Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) からランドサット衛星画像をダウンロードする手順を示す。このサイトの利用には USGS にユーザ登録しておく必要がある。なお詳細なダウンロード手順は URL(<https://earthexplorer.usgs.gov/documents/help/tutorial.pdf>) よりチュートリアルがダウンロード可能である。

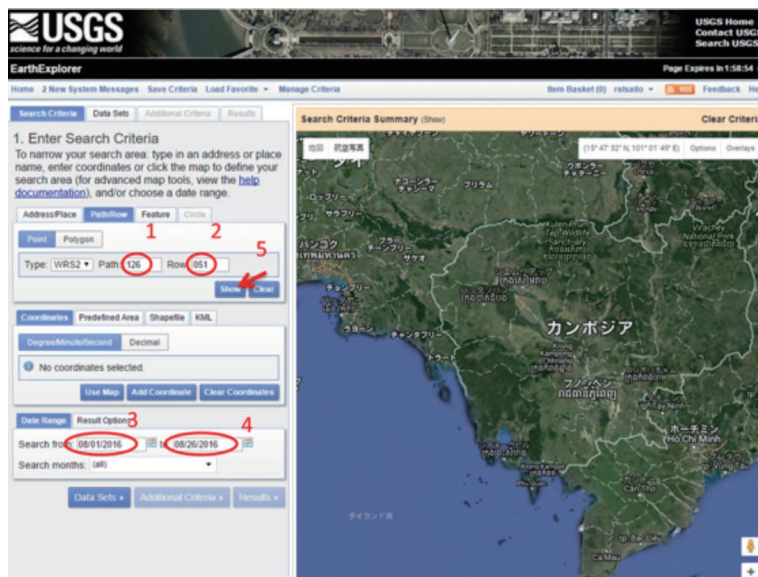


図 1 Earth Explorer の検索条件指定画面

Earth Explorer, USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>)

ランドサット衛星画像のシーンは軌道で決まるパスとシーン中心の緯度で決まるロウで示されている。まず観測対象地のパスとロウを入力する (図 1)。

- 1: パスを入力。
- 2: ロウを入力。
- 3: 検索対象画像の取得開始日を入力。

- 4：検索対象画像の取得終了日を入力。
- 5：Show を押すと観測対象地が示される。

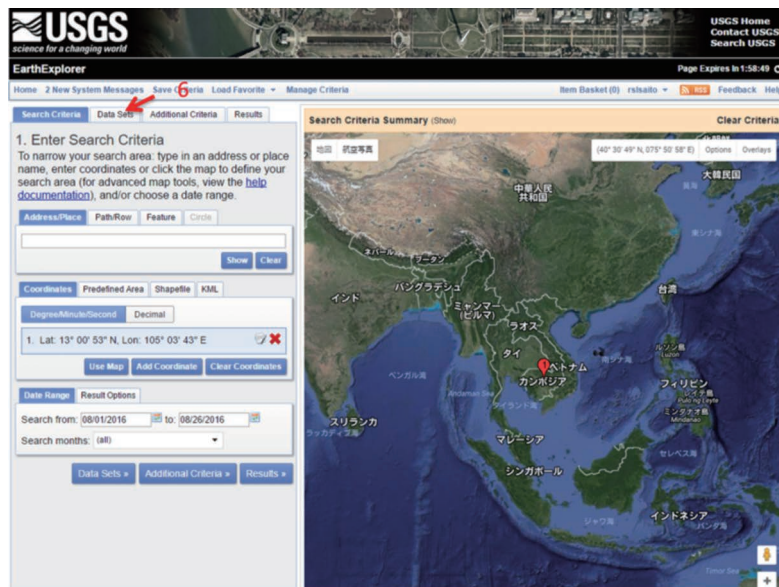


図2 Earth Explorer データセット選択タブ

Earth Explorer, USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>)

パス・ロウが合っていれば、6のデータセットタブを選択（図2）。

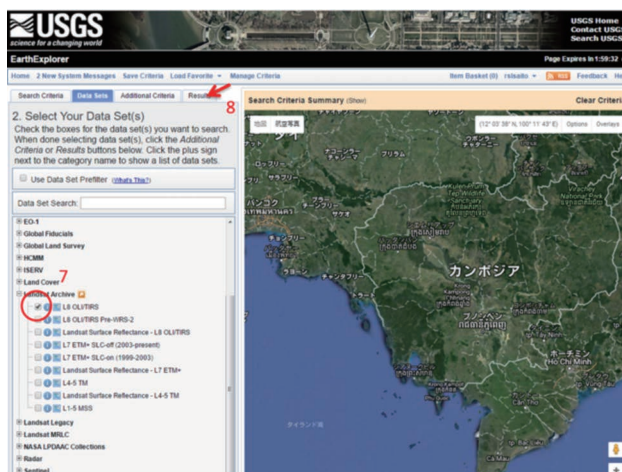


図3 データセット選択画面

Earth Explorer, USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>)

7. データセットから L8 OLI/TIR を選択し、8. Results タブを選択 (図3)。

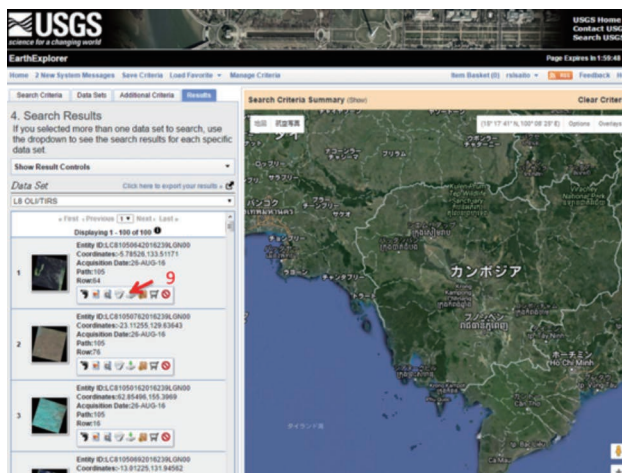


図4 検索結果

Earth Explorer, USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>)

検索結果が表示される (図4)。

9. ダウンロードしたい画像のダウンロードボタンを押す。

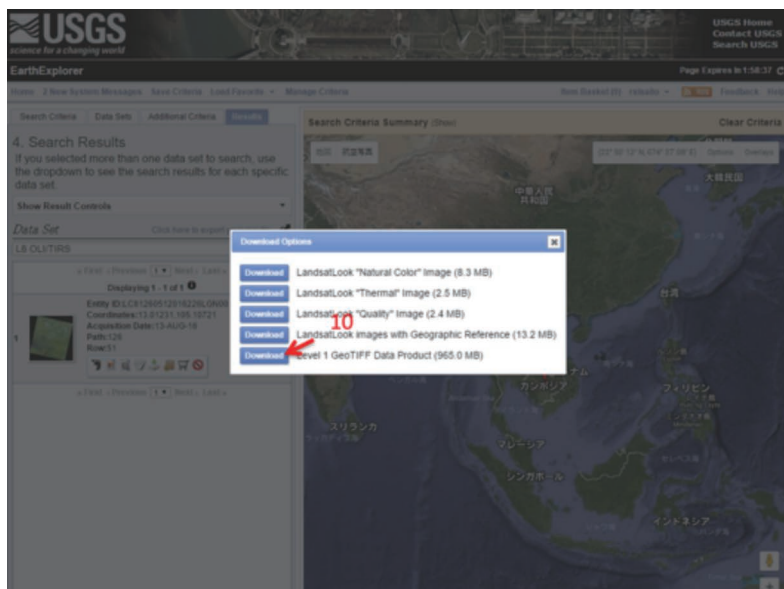


図5 ダウンロードオプション選択画面

Earth Explorer, USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>)

ダウンロードするデータのオプションが示される（図5）。10. Level1 GeoTIFF Data Product（データの容量は800～1000MBほどである）のダウンロードボタンを押すとダウンロード先フォルダとファイル名を指定するダイアログが現れ、フォルダ、ファイル名を指定してOKボタンを押すとダウンロードが始まる。

Landsat Surface Reflectance Higher-Level Data Productsといった高次処理プロダクトは、注文されてから処理が開始される。処理が終わるとメールで案内があり、指定のサイトからダウンロードする。この際、Pythonのスクリプトが用意されており、これを用いることで複数画像をバッチ処理でダウンロードすることが可能である。

4 大気補正、雲の除去、季節性の考慮

ダウンロードされた衛星データは、センサが衛星軌道上で取得した放射輝度値が格納されている。この値は、森林などの対象物からの反射だけでなく大気中のエアロゾルや水蒸気からの反射光や散乱光成分を含んでいるため、これらの影響を軽減して、地表面からの反射率に変換する必要がある。この処理を大気補正といい、ENVI のモジュールである FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes)、または ATCOR for Imagine などの市販ソフトウェアを用いることで容易に行える。6S は、GRASS のモジュールや Py6S (<http://www.py6s.rtwilson.com/>) といったコードが無償で公開されているが、これを実行するためにはプログラミング環境とそれを扱うスキルが必要となる。

大気補正については、USGS のサイトから Landsat Surface Reflectance Higher-Level Data Products という高次処理が施され、地表面反射率に変化済みのデータも配布されている。大気補正のソフトウェア、あるいは大気補正を施すための十分なスキルを持っていない場合は、こちらのデータを利用することが選択肢として考えられる。

4.1 大気補正の手順

ここでは、ERDAS に組み込まれた ATCOR for Imagine 2014 を使った大気補正について説明する。まず3. でダウンロードしたデータを ERDAS Imagine に読み込み、レイヤースタッキングを行う。そして、キャリブレーションファイル (Calibration file) と呼ばれるデジタルナンバーを放射輝度値に変換するためのパラメータファイルを作成する。以下に、例としてランドサット 8 号 OLI センサのキャリブレーションファイルを示す。

	c0	c1	[mW/cm2 sr micron]
1	-6.366048		0.001273
2	-6.518911		0.001304
3	-6.007121		0.001201
4	-5.065543		0.001013
5	-3.099860		0.000620
6	-0.770907		0.000154
7	-0.259837		0.000052

1 行目の 1 列目はバンド数、2 行目から 8 行目に各バンドの変換パラメータと記述されている。変換パラメータは、シーンごとに異なっている。

また処理の過程でデータ取得日時、シーン中心の緯度経度が必要になるのでこれらも用意

する。

DATE_ACQUIRED = 2014-03-10

SCENE_CENTER_TIME = 03:14:00.1527749Z

CENTER LAT: 13.00646

CENTER LON: 106.624715

これらのデータは、「*****.MTL.txt」というファイルの中に格納されている。

次に ATCOR での処理に移る。

①ATCOR2 を起動する。(ATCOR2 は平坦地、ATCOR3 は山地用である。)そして新しいプロジェクトファイルを作成する。

②入力ファイルと出力ファイルを指定する (図 6)。

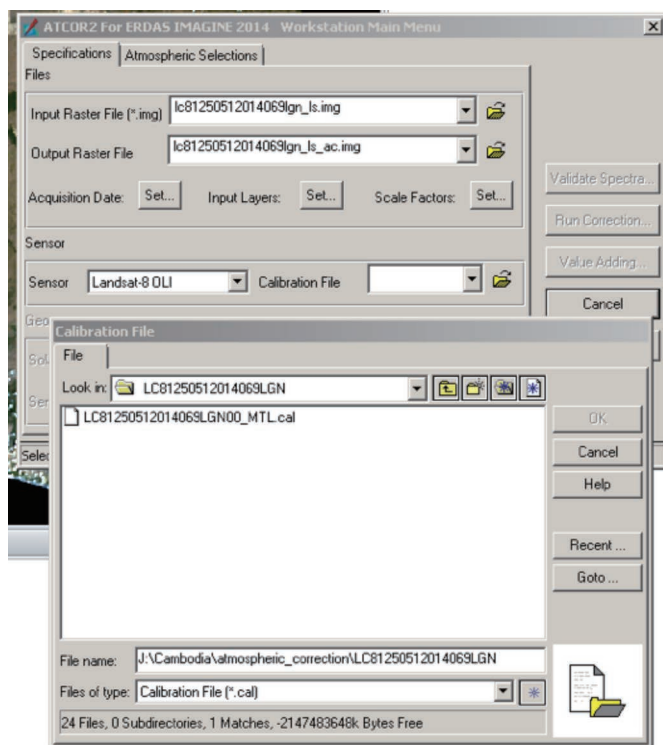


図 6 入力ファイルと出力ファイルの指定画面

③センサを選択し、先に作成したキャリブレーションファイルを指定する（図7）。

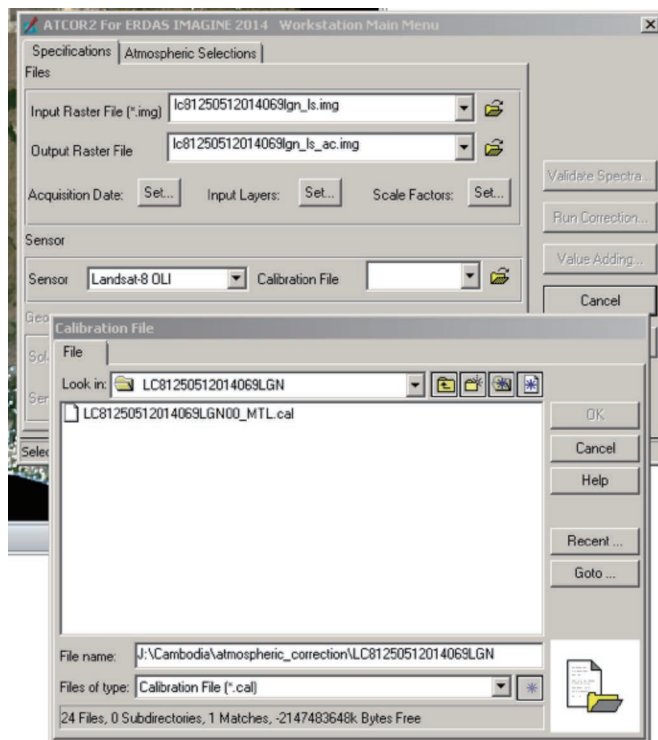


図7 キャリブレーションファイルの指定画面

④太陽位置計算機(図8)で太陽天頂角(Solar Zenith)を計算し、適用する。ここでは、ヘッダファイルに書いてあるデータの取得日時、時間、画像中心の緯度、経度を入力する。計算された結果は、メインメニューのジオメトリ欄に適用される(図9)。

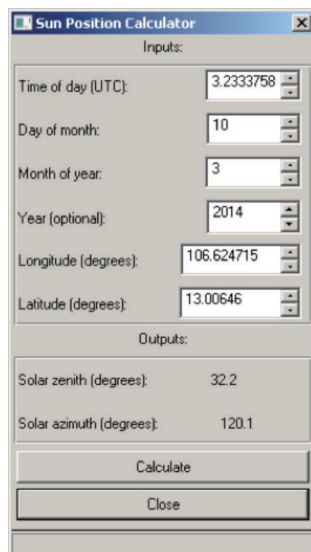


図8 太陽位置計算機

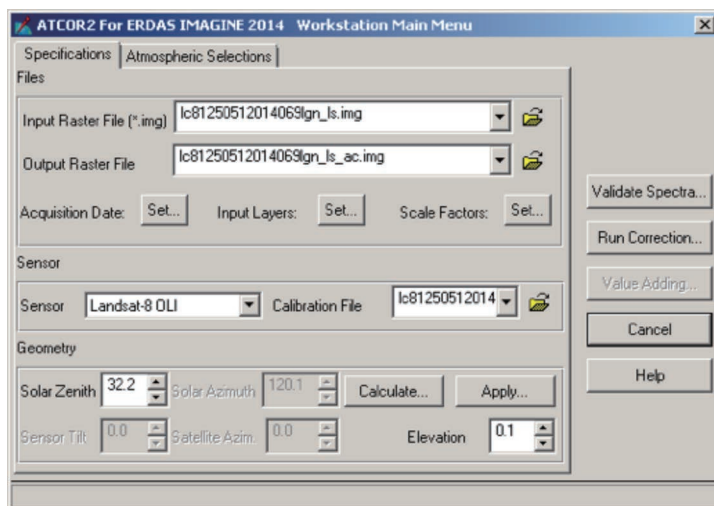


図9 ジオメトリが適用された結果

⑤大気を選択タブ（図 10）でエアロゾルタイプを選択し、視程の推定を行う。そして「Run Correction」を押す。

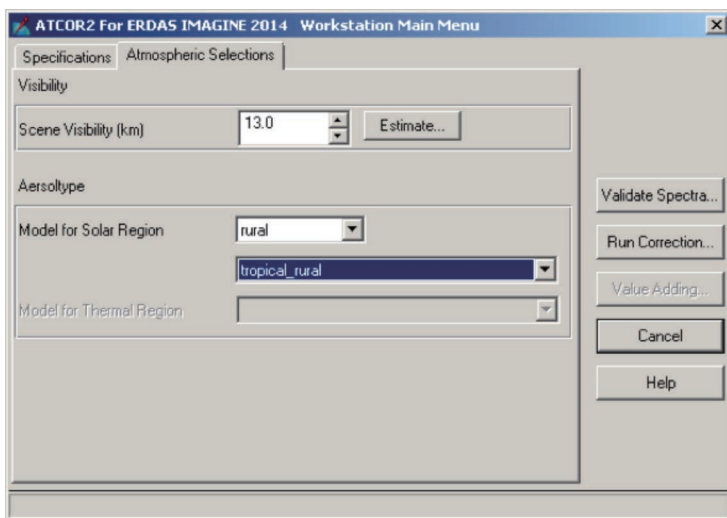


図 10 大気を選択タブ

⑥大気補正画面（図 11）で「Atmospheric Correction」をおして大気補正を実行する。

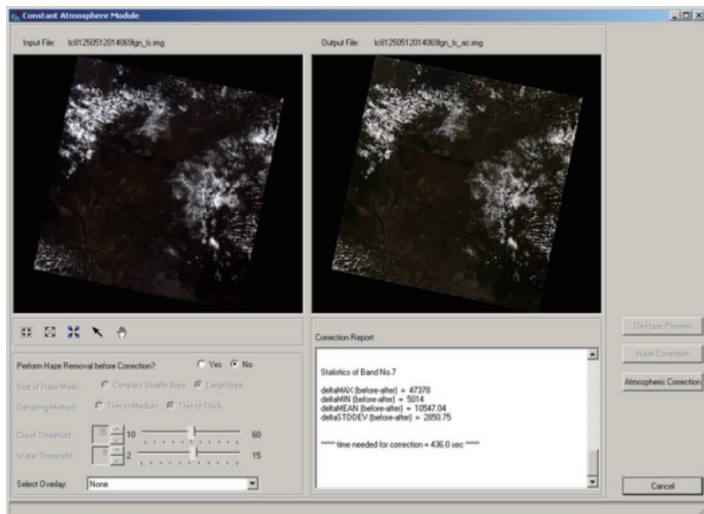


図 11 大気補正画面

これで大気補正済みの反射率画像が得られる。

ここでの例は、DTM (Digital Terrain Model, デジタル地形モデル) を用いない ATCOR2 である。この場合は地形の影響による放射輝度の補正はされない。ATCOR では、地形の影響による放射輝度の補正も行われるが、入力として DTM およびそこから計算される地形特徴量が必要である。途上国では SRTM、ASTER GDEM、ALOS DSM などが DTM として利用可能である。地形の影響による放射輝度の補正では、過補正となることもあるので、利用の際には補正処理結果を慎重に検討する必要がある。

ATCOR について

ATCOR for IMAGINE は、ERDAS IMAGINE のアドオンモジュールである。

差分抽出や分類の前処理として、ATCOR for IMAGINE は衛星データに対して大気補正を行うことができる。この製品は GEOSYSTEMS Germany によって独占的に提供されている。

詳しい情報については、<https://www.geosystems.de/en/products/atcor/> を参照すること。

問い合わせ先：info@geosystems.de

4.2 雲マスクについて [Recipe-T06]

衛星画像には、雲やヘイズおよびその影などが含まれている。こうした部分は面積推定に用いることができないので除く必要がある。これをマスク処理という。ランドサット衛星画像データに関しては、Fmask という無料で配布されているソフトで、雲、ヘイズ、それらの雲を除くマスクを作成することができる。Fmask は以下のサイトから入手することができる。

<https://github.com/prs021/fmask>

Fmask は、USGS からダウンロードしたランドサットデータを解凍したフォルダに Fmask.exe (実行ファイル) をコピーして、コマンドプロンプトから実行する。結果は実行したフォルダの中に画像解析ソフト ENVI で開くことが可能なフォーマットで出力される (図 12)。結果の画像のピクセル値は次のクラスを意味している。

- 0 => クリアな陸域
- 1 => 透明な水域
- 2 => 雲の影
- 3 => 雪
- 4 => 雲
- 255 => 観測値がないピクセル

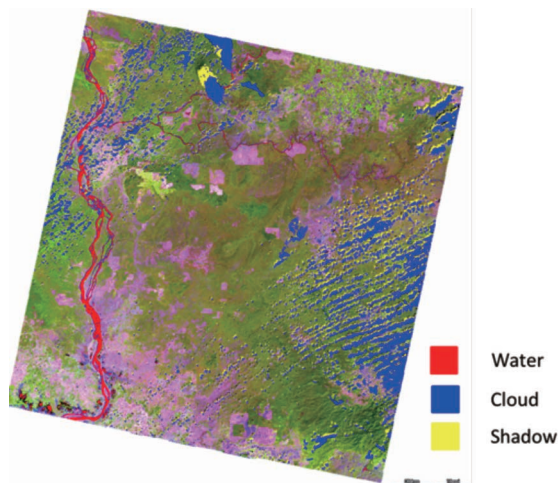


図 12 水域、雲、雲の影の抽出例

1 が、雲のないエリアを示すので、画像解析ソフトウェア、GIS ソフトウェアなどでマスク処理を行う。

TIPS

ランドサット 8 号は TIRS（熱バンド）が故障していた時期があり、これに応じて Fmask にも、TIRS を使うものと使わないバージョンがある。

4.3 季節性について **[Recipe-T06]**

衛星画像は、人工衛星が回帰するたびに画像が定期的に取得されるので 1 年を通じて画像を取得することができるが、森林には常緑林と落葉林があるため季節によって見え方が異なる。また太陽高度が変化することにより、太陽、観測対象、人工衛星の位置関係も変化することになり、センサに入力される放射輝度も変化する。大気補正によってこうした影響はある程度は軽減されるものの、一般的にはこうした影響を考慮して、経年変化をみる時系列解析では取得時期を特定して衛星データを選択し、解析を行う（White 2017）。この際、落葉期の画像を選択すると常緑林と落葉林の識別は容易であるが、落葉林を農地など他の土地被覆・利用と誤分類しやすく、一方で着葉期の画像を選択すると森林と非森林の区別は容易で、常緑林と落葉林の区別は難しくなる。このため解析に用いる季節は、目的に応じて選択する必要があるとともに、異なる季節のデータを用いて分類を行うことも重要な選択肢である。

5 クラスの定義 [Recipe-T07]

REDD プラスにおける森林炭素量は活動係数と排出係数の積で求められる。リモートセンシングから推定される森林面積は、活動係数に相当する。このため森林を分類する際には、分類されたクラスごとの排出係数が定まっている必要がある。既存の地図があれば、それに合わせたクラスを設定することも可能であるが、排出係数が求められないクラスは意味がない。また人工衛星のセンサの能力も考慮し、解析によって分類できないクラスがないか検討する必要がある。

6 グランドトゥールース [Recipe-T08]

グランドトゥールースは、各クラスのスペクトル特徴量把握のための教師および精度評価用として用いるための真値とみなすデータである。このため各クラスの代表的な場所を選んで実際に地上で行い土地被覆状況の確認、森林タイプ、バイオマスなどの調査を行う。中分解能衛星データから土地被覆図を作成する場合など、グランドトゥールースが土地被覆のみの場合には空中写真や高解像度衛星の判読で代用される場合もある。

調査地点はデータ解析に恣意的な影響を与えないようにするためにランダム、あるいはシステムティックにサンプリングする。抽出方法としては完全無作為抽出と層化抽出が挙げられる。システムティックな完全無作為抽出としては、一定間隔の格子点のすべてを調査点とする方法が一般的である（図 13）。資金、労力が制限される場合は、土地被覆ごとに点を選ぶなど層化抽出が有効である。森林の場合アクセスが制限されるなどで調査地点に到達できないこと多く、アクセスが悪い点のサンプル数が少ないというバイアスが生じるのでこの点を考慮したサンプリングも必要である。

TIPS

画像取得日時とグランドトゥールース取得日時（地上調査実施日あるいは空中写真撮影日）が異なっている場合、その間に土地被覆変化が起きている可能性があるため、注意が必要である。

TIPS

より詳細なグランドトゥールース調査方法については、【Cookbook Annex Vol. 4】を参照されたい。

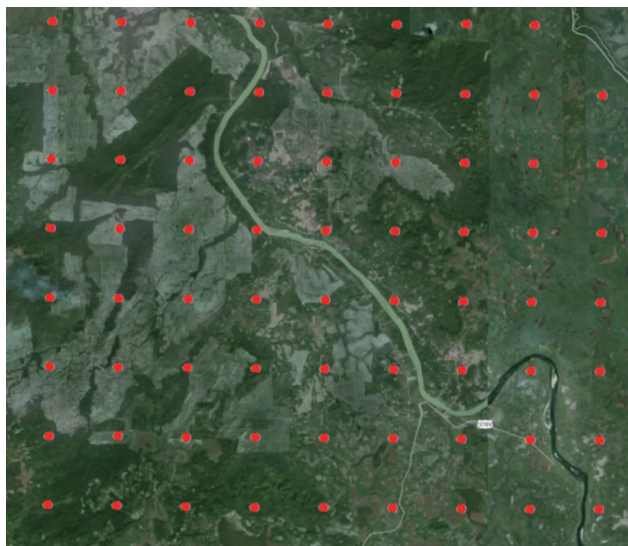


図 13 システマティックに配置したグランドトゥールース点

7 分類 [Recipe-T09]

現在、熱帯諸国では、ランドサットなどの衛星データからカラー合成画像を作成し、これを目視判読することで土地被覆図を作成している。しかしこの方法には、熟練した判読者が必要であること、判読者により判読結果が異なることがあること、時間がかかることなどの問題点がある。またランドサットなどは複数バンドのデータを持っているが、カラー合成画像には3つのバンドしか使えないため、他のバンドの情報が無駄になってしまう。一方でコンピュータによる分類では、衛星データにおける各バンドの反射率などの特徴量から統計学的処理を用いて土地被覆クラスを求める。

分類には、画素単位のピクセルベース分類とオブジェクト単位のオブジェクトベース分類がある。ここではそれぞれの特徴について説明する。

7.1 ピクセルベース分類

ピクセルベース分類は、各バンドのスペクトル情報をピクセル単位で統計学的処理を行い似たもの同士に分類する手法である。具体的には、クラスタリング、最尤法、最短距離法などがあり、リモートセンシングソフトウェアの主な機能として実装されている。教師なし分

類であるクラスタリングでは、初期クラスタ数や繰り返し数などのパラメータの設定が必要である。これらデフォルト値から試して、適切な結果が出るまでパラメータを試行錯誤して調整する必要がある。また得られたクラスは、オリジナル画像、空中写真、現地調査結果、または Google Earth 画像などを参照しながら、分類クラスを割り当てる必要がある。また教師あり分類では、目的とする分類クラスに対応するトレーニングエリアを選定する必要がある。トレーニングエリアには十分なピクセル数が必要であり、かつピュアな領域から選択する必要がある。トレーニングエリアも分類結果を見ながら大きさ、領域などを、オリジナル画像、空中写真、現地調査結果または Google Earth 画像などを参照しながら適切に選んでいく必要がある。さらに最近ではニューラルネットワークや機械学習を取り入れた手法も用いられているが、こちらは専門的な統計ソフトウェアやプログラミングにより実行する必要がある。

TIPS

初期クラスタ数は、目的とするクラスの数によるが一般的に 30 - 50 くらいである。また農地や都市が含まれる画像にクラスタリングを施す場合、それらの部分に多くのクラスが発生し、森林域ではあまりクラスタが発生しない。このため、最初の分類で植生と非植生（雲、影、水域も含む）に分類し、植生マスク画像を作成してから植生域を分類すると良い。

7.2 オブジェクトベース分類

オブジェクトベース分類は、各バンドのスペクトル情報をオブジェクト単位で統計学的処理を行い似たもの同士に分類する手法である。オブジェクトとは、領域分割によって得られるピクセルの集合のことである。オブジェクトが似た特徴をもち、空間的にまとまりを持って生成されるため、目視判読による地図作成に近い結果が得られるという利点がある。オブジェクトを生成する際には、色やスケールなどのパラメータを設定する必要がある。特にオブジェクトのパッチサイズは最小地図単位（minimum mapping unit; MMU）とも関連してくるので、パラメータ設定の際には注意が必要である。

ピクセルベース分類では、ピクセルの値を使っていたが、オブジェクトベース分類では、オブジェクトに含まれるピクセルの値の平均値、標準偏差と言ったスペクトル属性、オブジェクトの面積、周囲長、円形度、延長性（縦横比）などの空間属性、およびデータレンジ、分散、エントロピーなどのテクスチャ属性を用いて分類を行う。これらの属性はソフトウェアによって自動で計算され、分類の際には、ユーザが用いる属性を選択する。分類に有効な属性が明らかでない場合、教師を与えることで分類に有効な属性を自動で選択してくれる機能を持ったソフトウェアもある。

オブジェクトベース分類は、従来のソフトウェアには標準で実装されていない場合が多く、エクステンションや専用ソフトウェアとして提供されている。

TIPS

eCognition におけるカラーおよびスケールパラメータは、衛星画像の分解能だけでなく、データのビット数に影響も受けるので、ランドサット 7 ETM+ データ（8 ビット）とランドサット 8 OLI データ（16 ビット）では同じパラメータは使えない。

8 精度評価 [Recipe-T09]

衛星画像の分類による土地被覆図は、現実の土地被覆とは一致せず、一定の誤りを含んでいる。この土地被覆図の利用にあたっては、その分類精度やバイアスがどの程度あるかを知っておく必要があり、地図製作者は、分類結果の精度評価を行い、分類精度やバイアスについて明らかにすることが重要である。分類精度の評価には、判別効率表が用いられ、そこから総合精度、利用者精度、作成者精度、Kappa 係数などの精度の指標が導かれる。精度評価については、ほとんどのソフトウェアで標準、またはプラグインとして、精度評価機能が備わっている。

精度評価に用いるグランドトゥルースデータについては、6. で述べたようにシステムティック、またはランダムに取得されたデータを用いる必要がある。

参考文献

White, J.C., Wulder, M.A., Hermosilla, T., Coops, N.C., Hobart, G.W. (2017). A nationwide annual characterization of 25 years of forest disturbance and recovery for Canada using Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, 194: 303-321



発行日	平成 30 年 3 月 16 日
発行者	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 REDD 研究開発センター
執筆者	齋藤 英樹（国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所）
企画・構成・編集	佐藤 保・高橋 正義
本書の引用記載	齋藤 英樹（2018）REDD-plus Cookbook Annex. 調査マニュアル Vol.5. リモーセンシングを用いた面積推定のための衛星画像解析法。 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 REDD 研究開発センター，18pp.