



REDD+

Reducing Emission from Deforestation
and Forest Degradation-plus

平成25年度 基礎講習

第 7 章

リモートセンシングを用いた 森林面積の把握手法

一般社団法人 日本森林技術協会
鈴木 圭



リモートセンシングデータを用いた 土地利被覆区分の時系列解析の流れ

前処理

- ・幾何補正
- ・大気補正
- ・地形補正

単時点の分類

- ・オブジェクト分類
- ・ピクセル分類
- ・目視判読

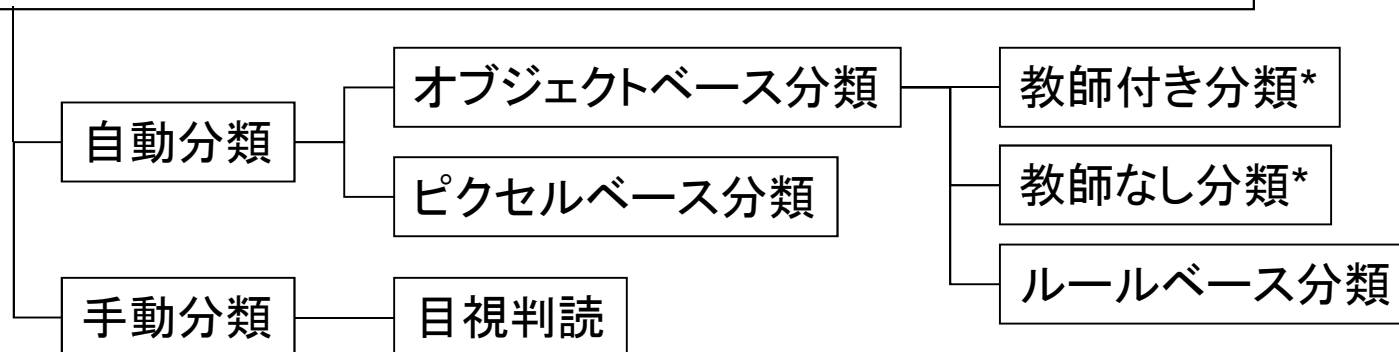
時系列解析

- ・分類結果の差によるもの
- ・2時点の画像間の変化を直接検出する方法



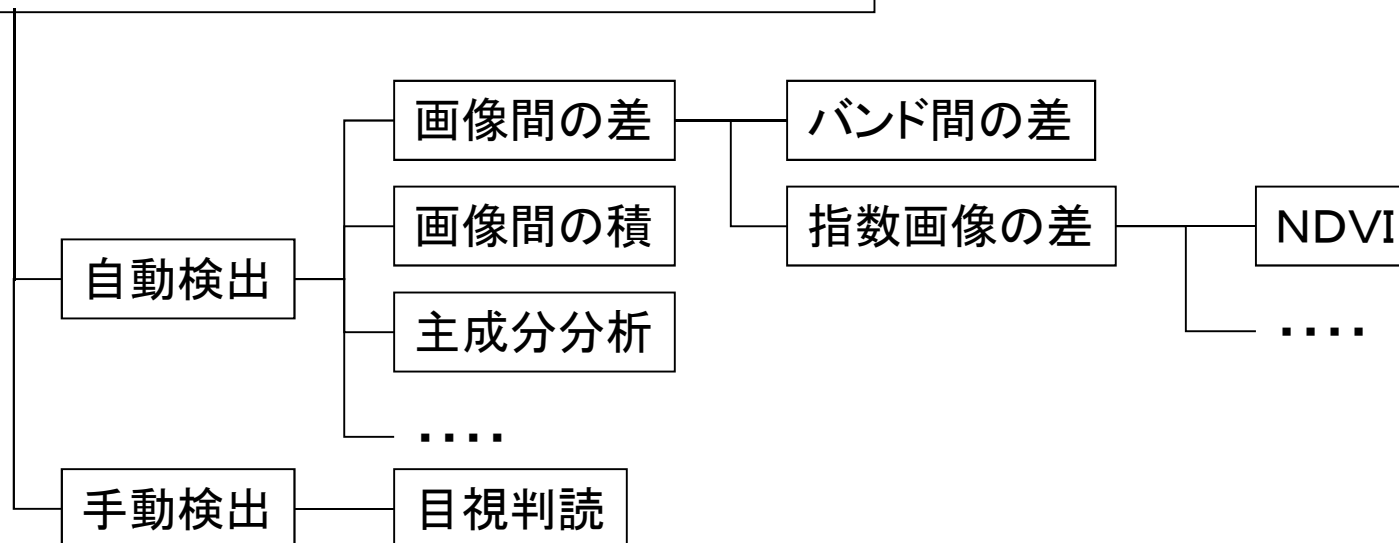
変化抽出技術の分類

[1] 各時点でそれぞれ森林タイプ分類図を作成して差分をとる方法



*:ピクセルベース分類でも

[2] 2時点の画像間の変化を直接検出する方法





変化抽出技術の特徴(1)

	長所	短所
[1] 各時点でそれぞれ森林タイプ分類図を作成して差分をとる方法	作成した分類図から炭素量への換算が比較的容易	分類精度が高くないと、変化がない箇所を誤抽出する可能性がある
[2] 2時点の画像間の変化を直接検出する方法	変化のある箇所の検出精度は比較的高い	炭素量への換算が困難



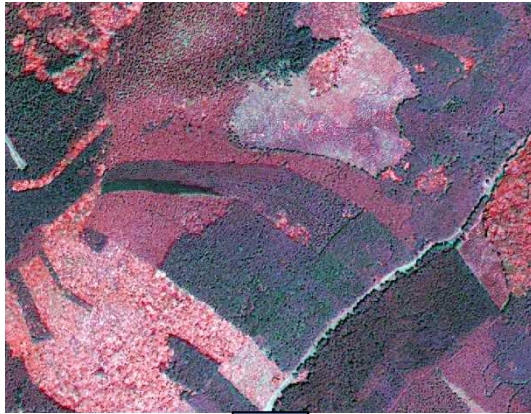
変化抽出技術の特徴(2)

『[1]各時点でそれぞれ森林タイプ分類図を作成し差分をとる方法』の各分類手法

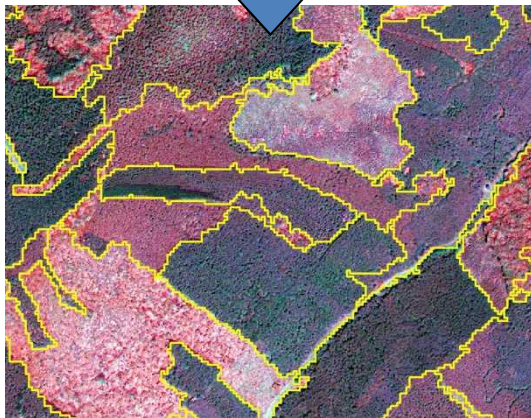
	長所	短所
自動分類 - オブジェクトベース分類	高分解能の衛星画像の分類に適しているため、詳細な分類図を得られる	分類のためのパラメータ設定が複雑
自動分類 - ピクセルベース分類	作業者の技術力によらず、比較的均質な成果を得られる	高分解能の衛星画像の分類には適さない
手動分類 - 目視判読	分類精度が高い	経験にもとづく技術力が必要であり、また作業量が多くなる



[1]各時点でそれぞれ森林タイプ分類図を作成し差分をとる方法 オブジェクトベース分類

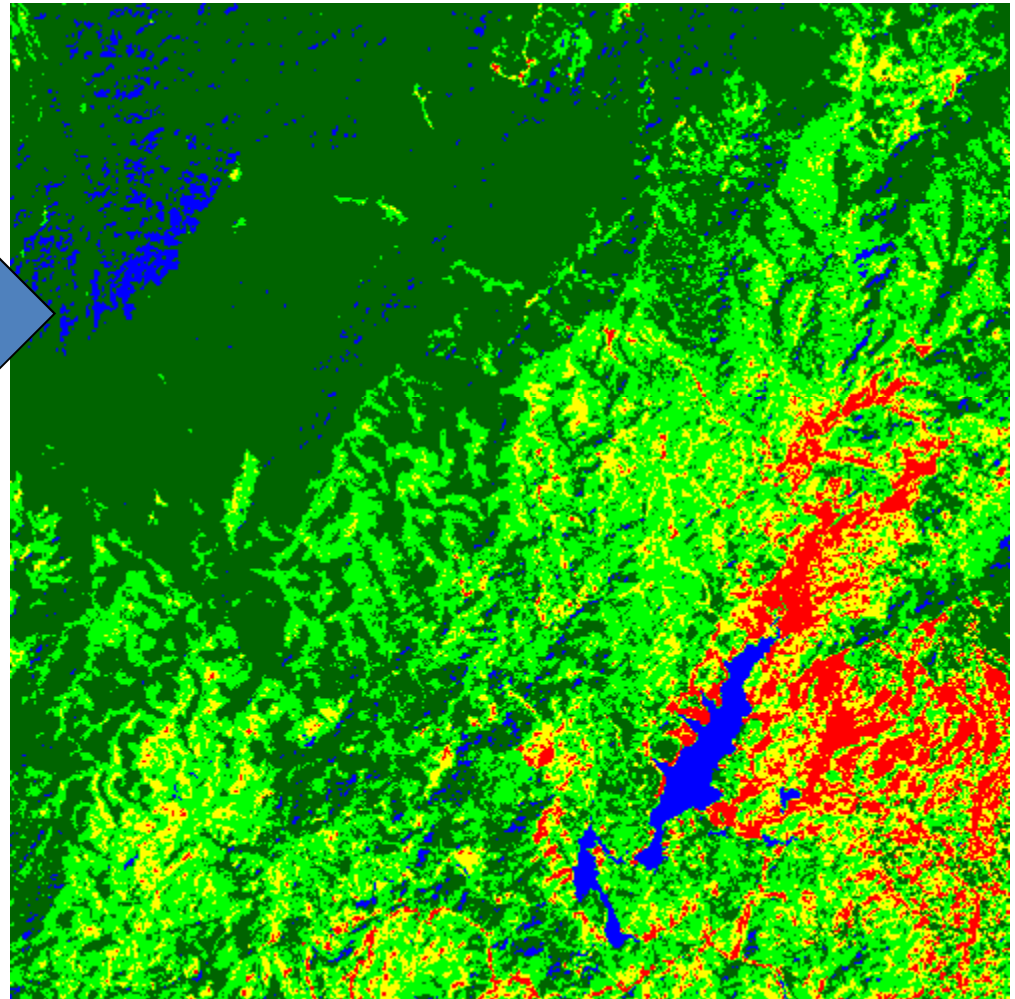
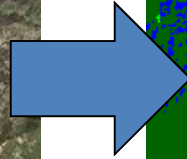


セグメンテーションと呼ばれる処理により、
スペクトル情報や形状情報に基づいたオ
ブジェクト(ピクセルの集合)が生成される





[1]各時点でそれぞれ森林タイプ分類図を作成し差分をとる方法 ピクセルベース分類



類似したスペクトル情報を持つピクセルをまとめることにより分類する。空間分解能の低い衛星画像の分類に適す



[1]各時点でそれぞれ森林タイプ分類図を作成し差分をとる方法

目視判読



対象物の持つ『色調』『形状』『大きさ』
『きめ』『模様』などを手がかりにした作
業者の判断により分類する





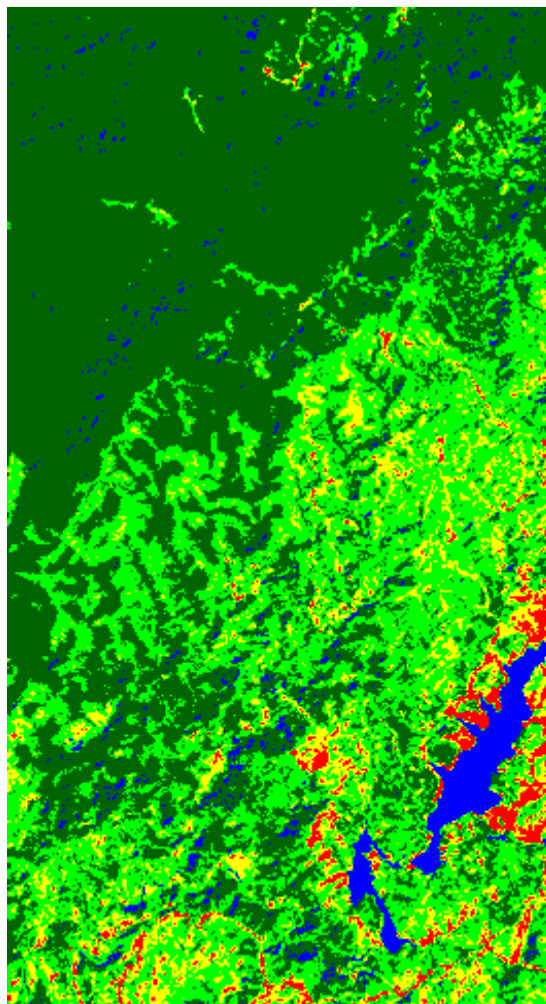
[1]各時点でそれぞれ森林タイプ分類図を作成し差分をとる方法

3つの分類方法の比較

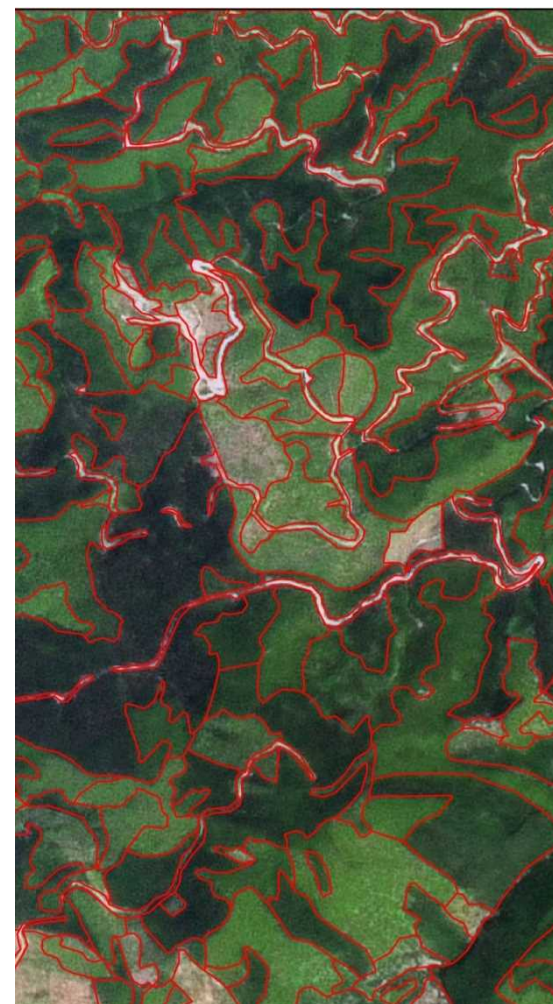
オブジェクトベース分類



ピクセルベース分類

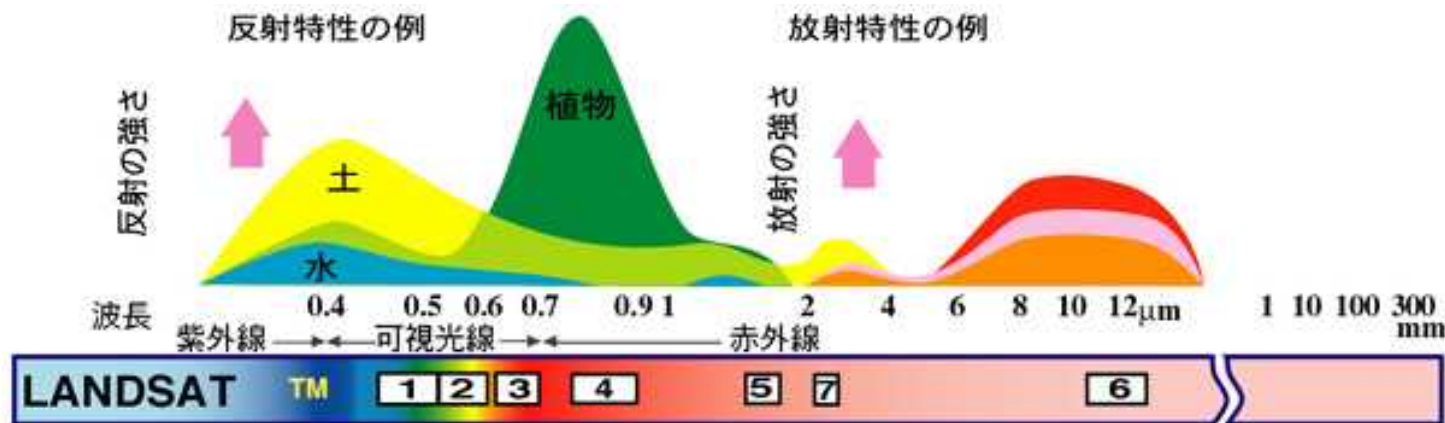


目視判読



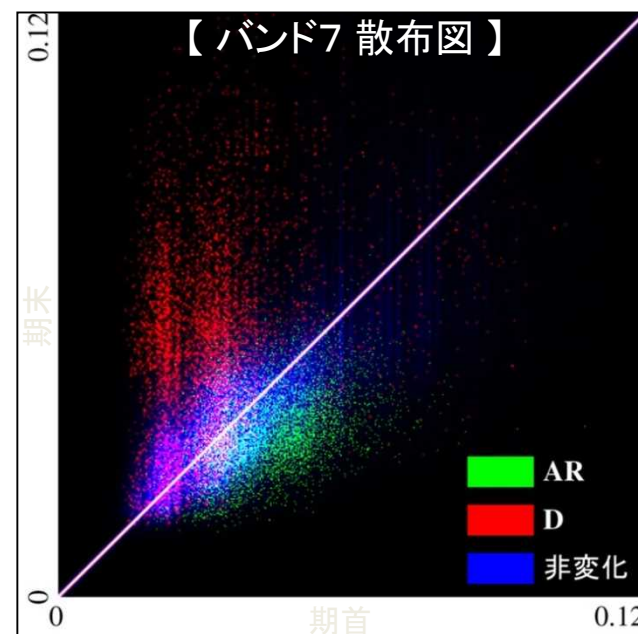


[2] 2時点の画像間の変化を直接検出する方法 バンド間の差分による検出



- ・各バンドは地表面の様々な特徴をとらえている。
- ・森林の変化検出にはLANDSATバンド7(短波長赤外線)がよく用いられる。
- ・一般的に、植林による変化より伐採による変化のほうが検出しやすい。

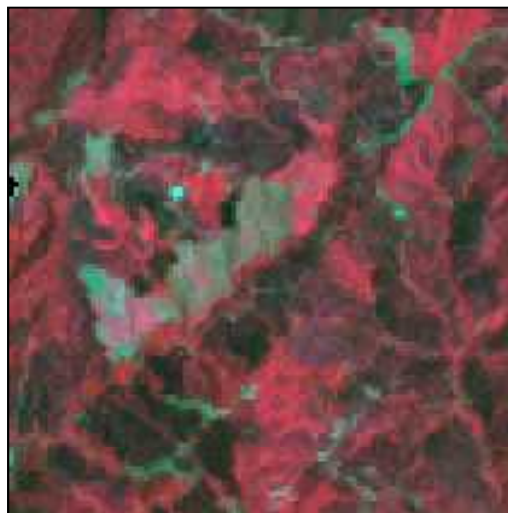
RESTECホームページより引用



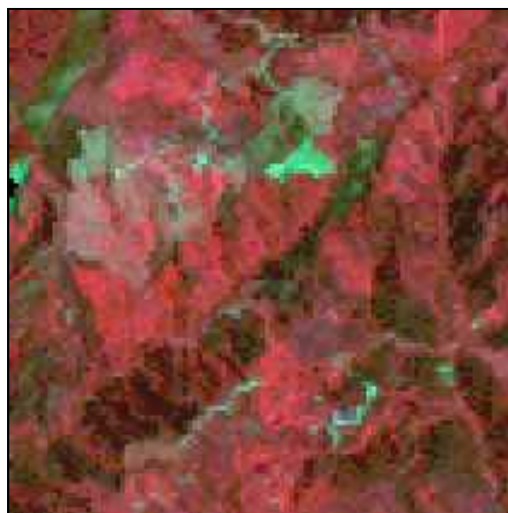


[2] 2時点の画像間の変化を直接検出する方法 バンド間の差分による検出

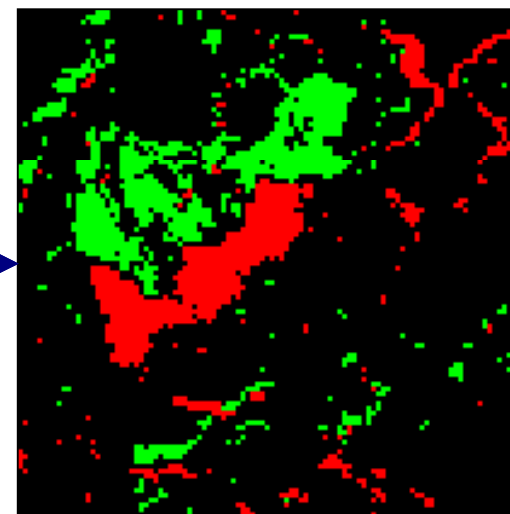
期首画像
LANDSA 1992年



期首画像
LANDSA 2002年



バンド7差分画像
(緑: 植林、赤: 伐採)





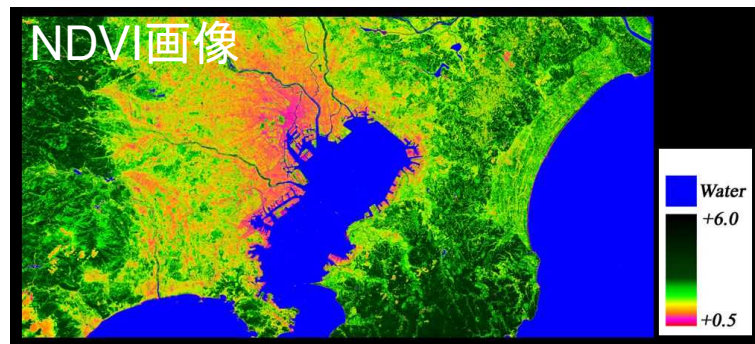
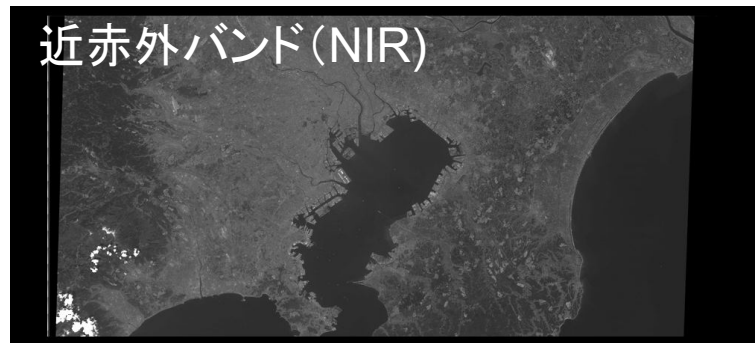
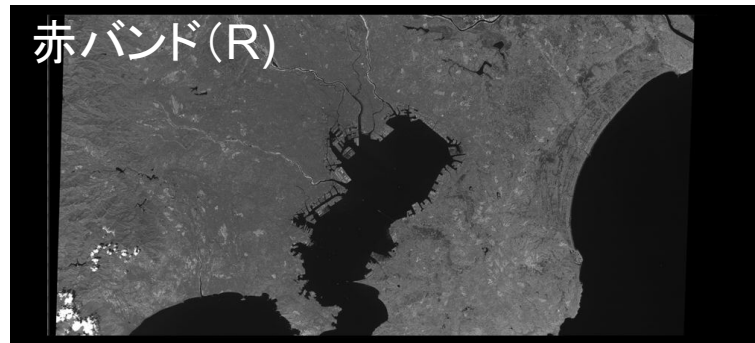
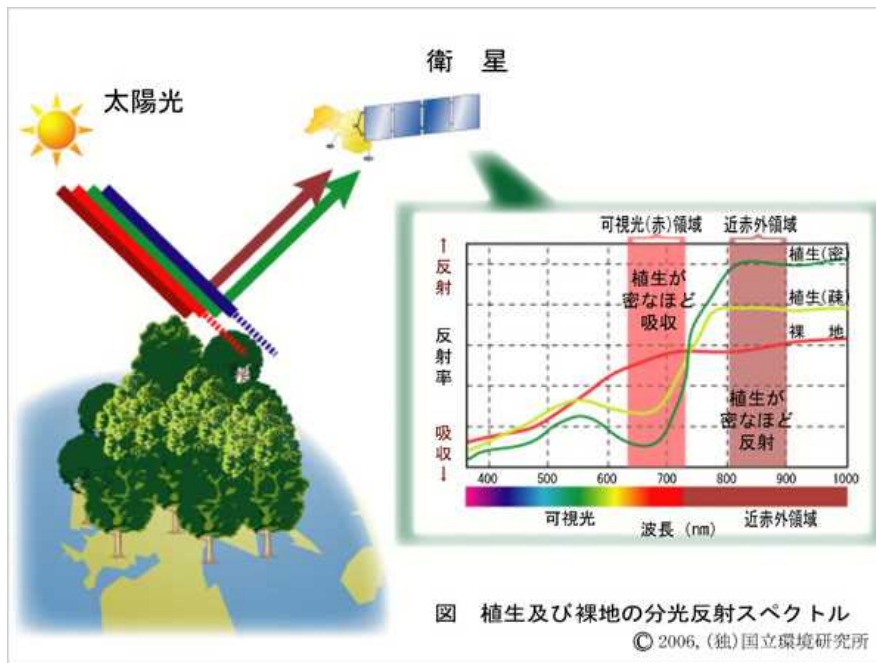
[2] 2時点の画像間の変化を直接検出する方法

NDVI画像の差分による検出

NDVI: 正規化植生指標

$$NDVI = \frac{[NIR] - [R]}{[NIR] + [R]}$$

(NIR: 近赤外バンド
R: 赤バンド)





[2] 2時点の画像間の変化を直接検出する方法 NDVI画像の見え方(例)

● 赤バンド(R)



● 近赤外バンド(NIR)



正規化植生指標

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$





画像解析ソフトの紹介

オブジェクト分類に対応した主なソフトウェア

ソフトウェア	開発会社
eCognition	Trimble
Feature Analyst for ArcGIS	Overwatch Systems
ENVI EX	EXELIS
Picasso	(株) つくばアグリサイエンス

オブジェクト分類に対応したソフトウェアの特徴としては、Segmentation処理を行うことにより画像分類をおこなう機能を持っている。

Segmentation ?



画像解析ソフトの紹介

eCognitionの画像分割の仕組み

- Segmentation: 隣接画素との均質性を基に画素をグループ化
 - 色調や形から算出した異質性 (Heterogeneity) の指標を用いて、分割是非を判断する。

異質性(f)は色調(**Color**)と形状(**Shape**)の合計(2.1式)。

$$f = w * h_{color} + (1 - w) * h_{shape} \quad (2.1)$$

h_{color} と h_{shape} は w によって重み付けされ合計が1となる。

$$h_{shape} = w_{cmpct} * h_{cmpct} + (1 - w_{cmpct}) * h_{smooth} \quad (2.2)$$

形状(**Shape**)は**Smoothness**と**Compactness**の2因子の合計(2.1式)。

(2.1式)に(2.2式)を代入すると次式を得る。

$$f = w * h_{color} + (1 - w) * \{w_{cmpct} * h_{cmpct} + (1 - w_{cmpct}) * h_{smooth}\} \quad (2.3)$$



画像解析ソフトの紹介

eCognitionの画像分割の仕組み

- 異質性 (Heterogeneity) の算出
 - 色調の異質性 (h_{color}): 輝度値分散の総和とみなす。

$$h = \sum_c w_c * \sigma_c \quad (2.4)$$

σ : レイヤーCのポリゴン内輝度値の分散

w : そのレイヤーCの重み付けした値

SegmentationではObject1とObject2を統合する場合、それぞれの標準偏差を合計し、統合後のObjectの標準偏差との差をとる。これにレイヤーの重み付けを乗算した値が h_{color} である(2.5式)。

$$h_{\text{color}} = \sum_c w_c (n_{\text{Merge}} * \sigma_c^{\text{Merge}} - (n_{\text{Obj1}} * \sigma_c^{\text{Obj1}} + n_{\text{Obj2}} * \sigma_c^{\text{Obj2}})) \quad (2.5)$$



画像解析ソフトの紹介

eCognitionの画像分割の仕組み

- 異質性 (Heterogeneity) の算出
 - 形状の異質性 (h_{smooth}) : 周長と短辺の比によって形状を評価する。

$$h = \frac{l}{b} \quad (2.6)$$

l : ポリゴンの周長、 b : ポリゴンの短辺

Object1とObject2を統合する場合、(2.6式)から個々に算出した h の値を合計し、統合後のObjectの h との差をとった値が h_{smooth} である(2.7式)。

$$h_{\text{smooth}} = n_{\text{Merge}} * \frac{l_{\text{Merge}}}{b_{\text{Merge}}} - (n_{\text{Obj1}} * \frac{l_{\text{Obj1}}}{b_{\text{Obj1}}} + n_{\text{Obj2}} * \frac{l_{\text{Obj2}}}{b_{\text{Obj2}}}) \quad (2.7)$$



画像解析ソフトの紹介

eCognitionの画像分割の仕組み

- 異質性 (Heterogeneity) の算出
 - 形の異質性 (h_{cmpct}): 周長と画素数の平方根の比によって形状を評価する。

$$h = \frac{l}{\sqrt{n}} \quad (2.8)$$

l : ポリゴンの周長、 n : ポリゴン内の画素数

Object 1とObject 2を統合する場合、(2.8式)から個々に算出した h の値を合計し、統合後のObjectの h との差をとった値が h_{cmpct} である(2.9式)

$$h_{\text{cmpct}} = \frac{l_{\text{Merge}}}{\sqrt{n_{\text{Merge}}}} - \left(\frac{l_{\text{Obj1}}}{\sqrt{n_{\text{Obj1}}}} + \frac{l_{\text{Obj2}}}{\sqrt{n_{\text{Obj2}}}} \right) \quad (2.9)$$



画像解析ソフトの紹介

eCognitionの画像分割の仕組み

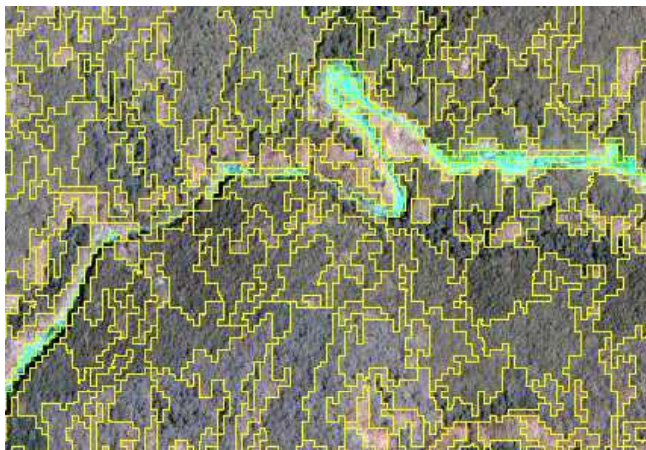
- 異質性 (Heterogeneity) の算出
 - (2.5式)、(2.7式)、(2.9式)によって算出された h_{color} 、 h_{smooth} 、 h_{cmpct} の3因子を(2.3式)に代入することで異質性(f)が求められる。
- Segmentation処理では異質性(f)は**Scale parameter**として設定する。
 - 値を小さくすると異質性の許容範囲が狭まり画像をより細かく分割するにとどまる結果となり、大きくすると粗い分割結果となる。そのほかに先に述べた3つの因子の重み付けや、Segmentation処理時に使用する各レイヤー(例えばRed、Blue、Nirなど)の重み付けによりSegmentation結果は左右される。



画像解析ソフトの紹介

eCognitionの画像分割の仕組み(異なるScale parameterによる区画線)

SP=50



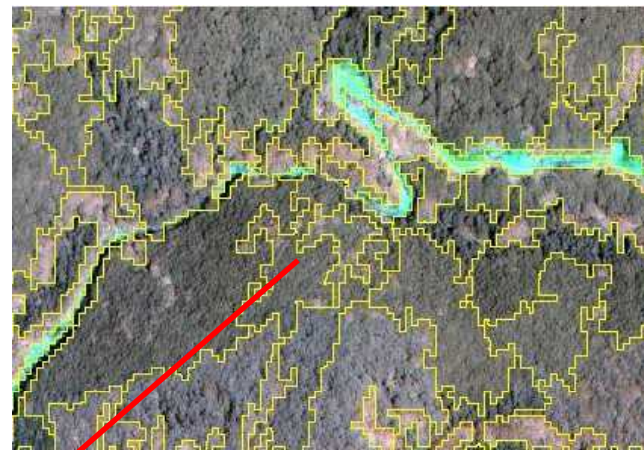
区画されて
いない

SP=200

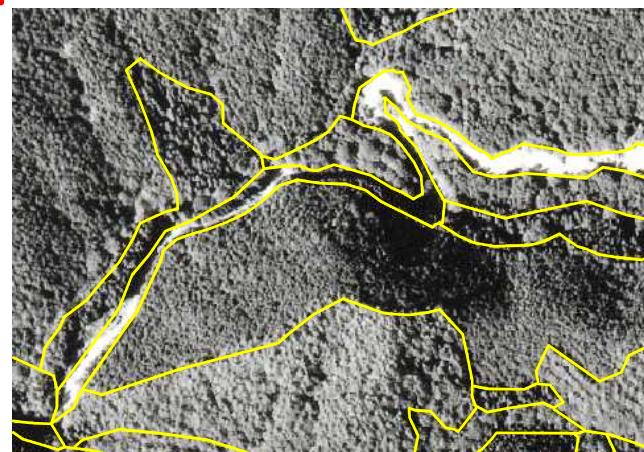


まだ細かいが必要な
区画はされている

SP=100



空中写真の目視判読(正)





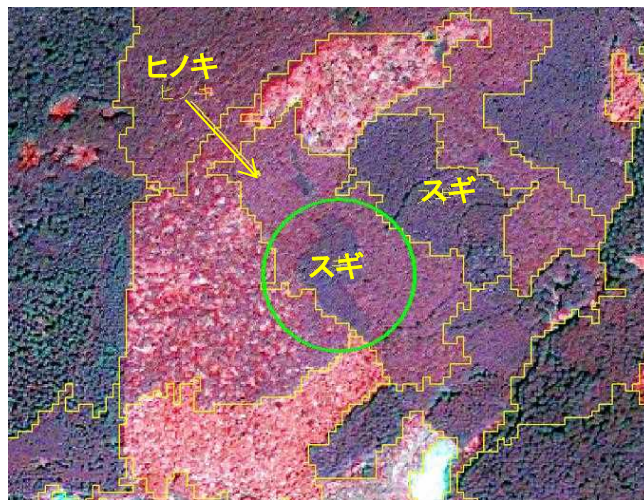
画像解析ソフトの紹介

eCognitionの画像分割の仕組み(異なる林相における区画線)

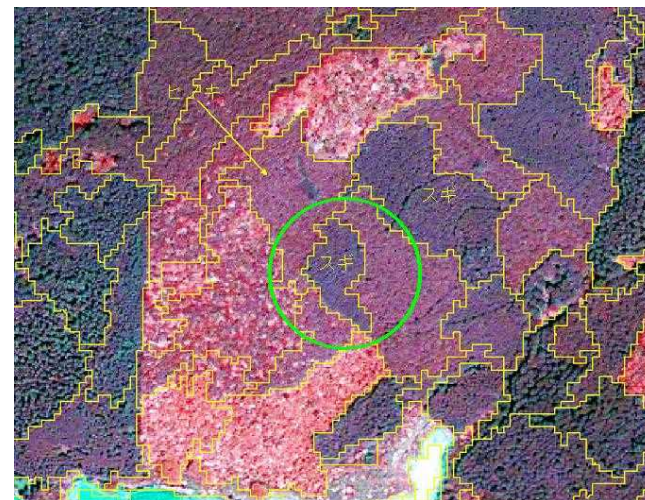
スギとヒノキ

異質性が低い
のでSP80では
区分されない。

SP=80

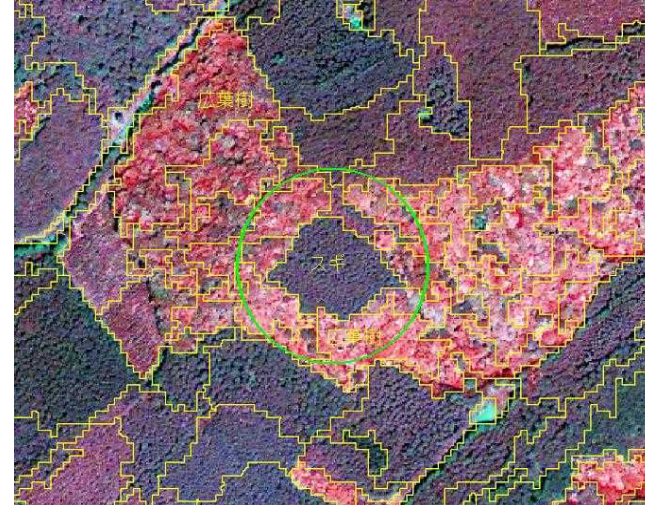
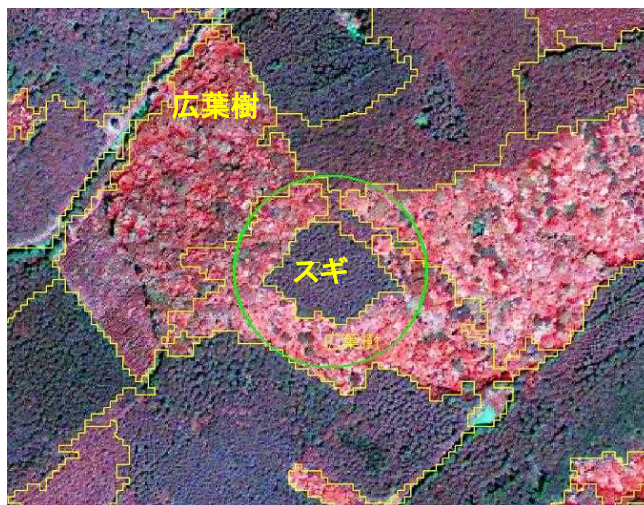


SP=30



スギと広葉樹

異質性が高い
のでSP80でも
区分される。





画像解析ソフトの紹介

eCognitionの画像分割の仕組み(画像分類結果の比較)

空中写真 - 目視判読



IKONOS - eCognition



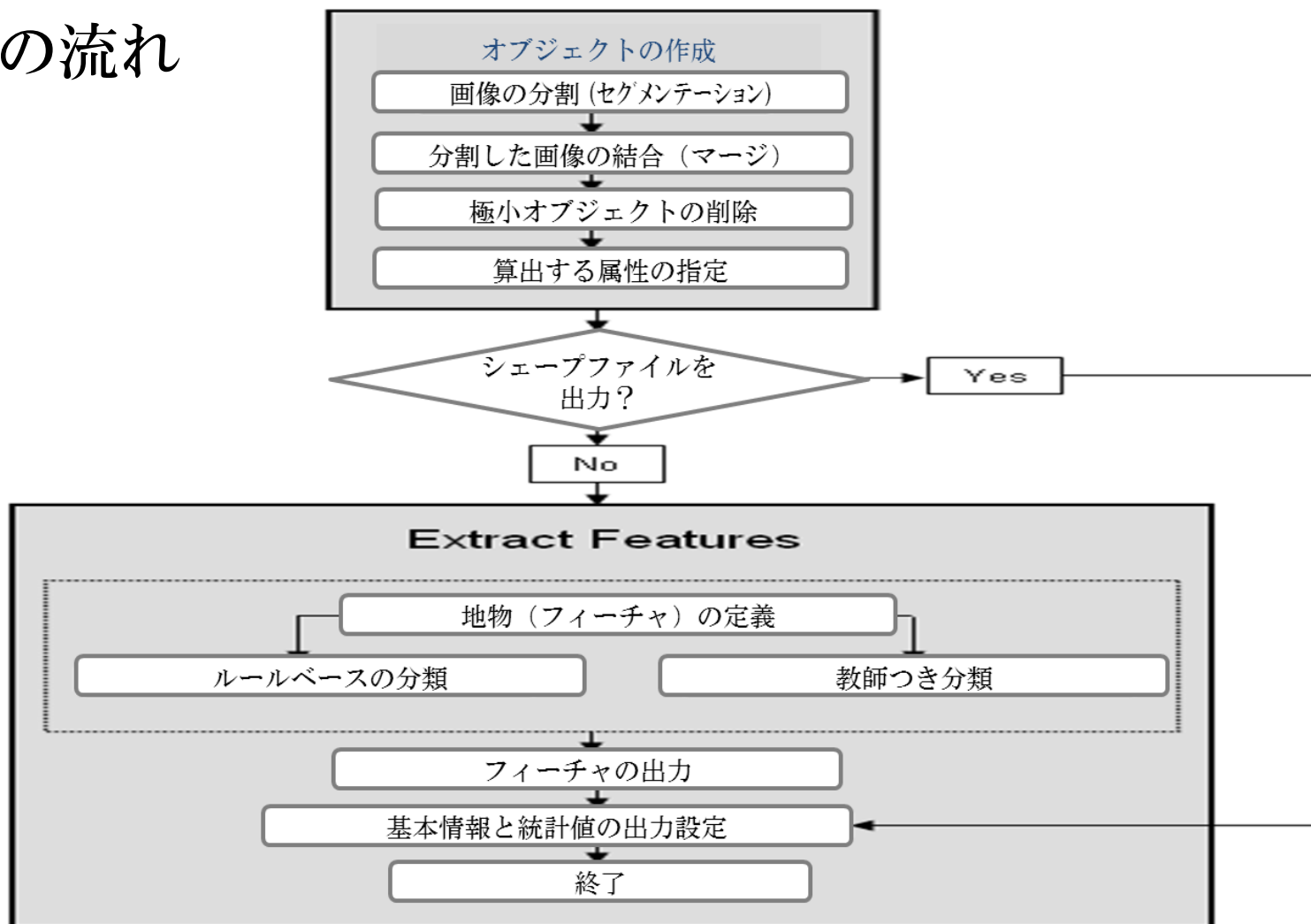
平成14年度森林資源モニタリング調査データ地理解析事業(リモートセンシング資源解析事業)報告書より



画像解析ソフトの紹介

ENVI EXの画像分割の仕組み

- 作業の流れ





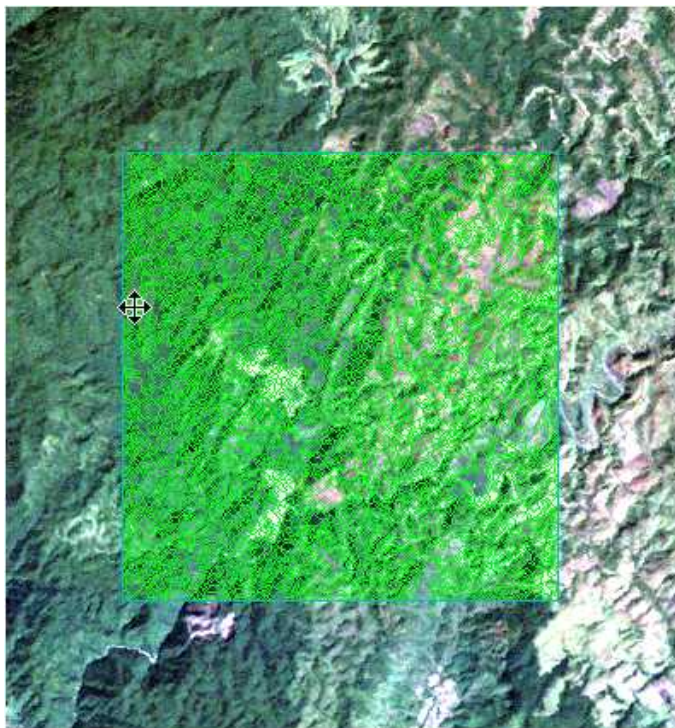
画像解析ソフトの紹介

ENVI EXの画像分割の仕組み

- Segmentation

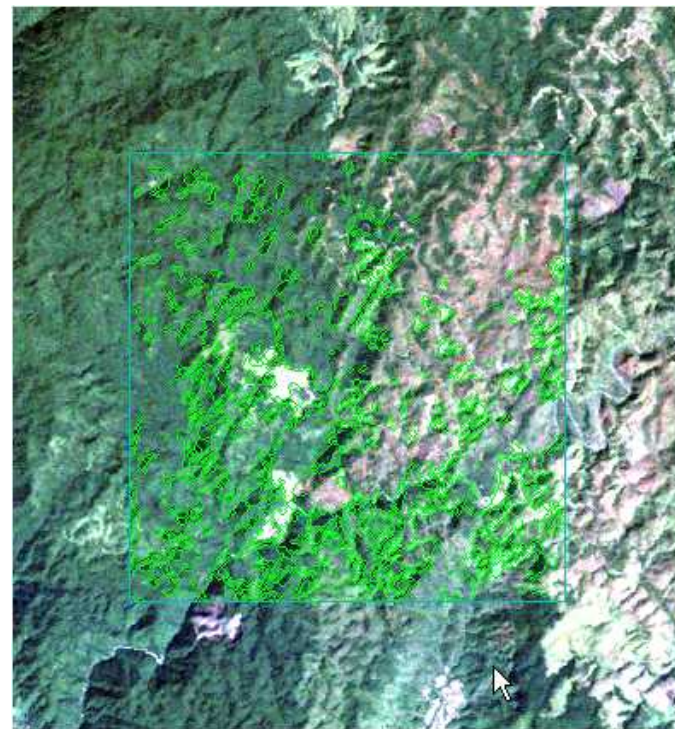
明るさ、テクスチャ、色などの数値が似ている近隣ピクセルをScale Levelを設定することでグループ化し、画像を分割する。

Scale Level 20



境界を作りたいところに線がある

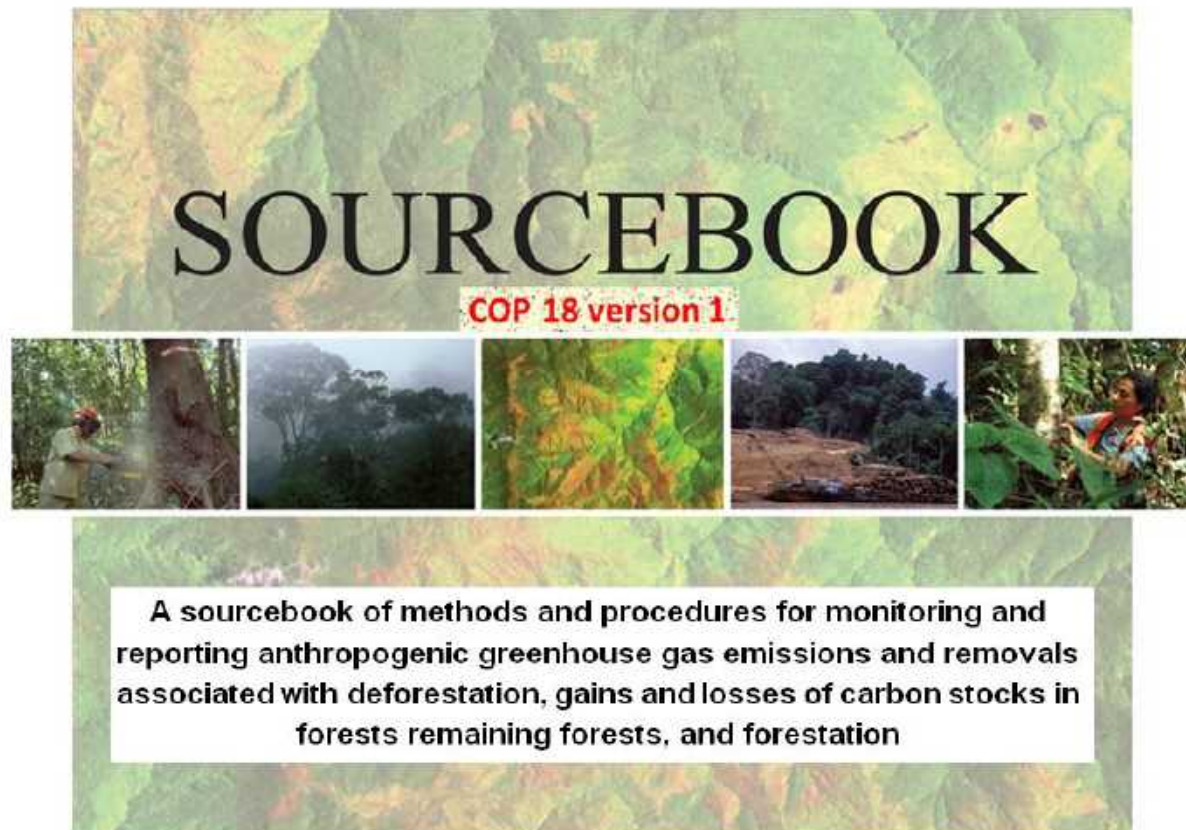
Scale Level 60



土地利用の境界に線がない箇所が多い



森林－非森林変化のモニタリング (GOFC-GOLD / COP18)



GOFC-GOLD 
Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics

GOFC-GOLDホームページ <http://www.gofcgold.wur.nl/redd/>



モニタリングアプローチの選択と実施

2.1.2.4 Selection and implementation of a monitoring approach - deforestation

モニタリングアプローチの選択と実施－森林減少

- Step1: Selection of the forest definition
森林の定義の選択
- Step2: Designation of forest area for acquiring satellite data
衛星データを必要とする森林域
- Step3: Selection of satellite imagery and coverage
衛星画像と適用範囲
- Step4: Decisions for sampling versus wall to wall coverage
サンプリングvs全域の決定
- Step5: Process and analyze the satellite data
衛星データの処理と解析
- Step6: Accuracy assessment
精度検証

2.1.2.5 Monitoring of increases in forest area – forestation

森林回復のモニタリング



Step1: Selection of the forest definition

森林の定義の選択

Table 1.2.1. Existing frameworks for the Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF) sector under the UNFCCC and the second commitment period of the Kyoto Protocol.

Land Use, Land Use Change and Forestry		
UNFCCC (2003 GPG and 2006 GL-AFOLU)	Kyoto	Kyoto-Flexibility
Six land use classes and conversion between them: Forest land Cropland Grassland Wetlands Settlements Other Land	Article 3.3 Afforestation/Reforestation, Deforestation Article 3.4 mandatory Forest management Article 3.4 elective Cropland management Grazing land management Forest management Revegetation Wetland drainage and rewetting	CDM Afforestation/ Reforestation
Deforestation= forest land converted to another land category	Controlled by the Rules and Modalities (including Definitions) included in COP/MOP Decisions (for a full set of, see www.unfccc.int)	



Step2: Designation of forest area for acquiring satellite data 衛星データを必要とする森林域

- 国土（対象エリア）のすべての森林を含める必要がある。
- 現存している全森林は、評価期間中すべての森林変化をモニタリングする必要がある。



Step3: Selection of satellite imagery and coverage

衛星画像と適用範囲

・光学センサーの 解像度と利用状況

Table 2.1.1. Utility of optical sensors at multiple resolutions for deforestation monitoring.

Sensor & resolution	Examples of current sensors	Minimum mapping unit (change)	Cost	Utility for monitoring
Coarse (250-1000 m)	SPOT-VGT (1998-) Terra-MODIS (2000-) Envisat-MERIS (2004 - 2012) VIIRS (2012-)	~ 100 ha ~ 10-20 ha	Low or free	Consistent pan-tropical annual monitoring to identify large clearings and locate "hotspots" for further analysis with mid resolution
Medium (10-60 m)	Landsat TM or TM+, Terra-ASTER IRS AWiFs or LISS III CBERS HRCCD DMC SPOT HRV ALOS AVNIR-2	0.5 - 5 ha	Landsat & CBERS are free; for others: <\$0.001/km ² for historical data \$0.02/km ² to \$0.5/km ² for recent data	Primary tool to map deforestation and estimate area change
Fine (<5 m)	RapidEye IKONOS QuickBird GeoEye WorldView Pleiades Aerial photos	< 0.1 ha	High to very high \$2 -30 /km ²	Validation of results from coarser resolution analysis, and training of algorithms



Step3: Selection of satellite imagery and coverage

衛星画像と適用範囲

・中解像度光学 センサの利用現況

Table 2.1.2. Present availability of optical mid-resolution (10-60 m) sensors.

Nation	Satellite & sensor	Resolution & coverage	Cost for data acquisition (archive ¹⁷)	Feature
USA	Landsat-7 ETM+	30 m 60×180 km ²	All data archived at USGS are free	On April 2003 the failure of the scan line corrector resulted in data gaps outside of the central portion of images, seriously compromising data quality
USA/ Japan	Terra ASTER	15 m 60×60 km ²	60 US\$/scene 0.02 US\$/km ²	Data is acquired on request and is not routinely collected for all areas
India	IRS-P2 LISS-III & AWIFS	23.5 & 56 m		After an experimental phase, AWIFS images can be acquired on a routine basis.
China/ Brazil	CBERS-2 HRCCD	20 m	Free in Brazil and potentially for other developing countries	Experimental; Brazil uses on-demand images to bolster their coverage.
Algeria/ China/ Nigeria/ Turkey/ UK	DMC	22 - 32 m 160×660 km ²	3000 €/scene 0.03 €/km ²	Commercial; Brazil uses alongside Landsat data
France	SPOT-5 HRVIR	10-20 m 60×60 km ²	2000 €/scene 0.5 €/km ²	Commercial Indonesia & Thailand used alongside Landsat data



【資料】代表的な光学衛星センサのスペックおよびデータ価格 (REDD-plus Cook Book)

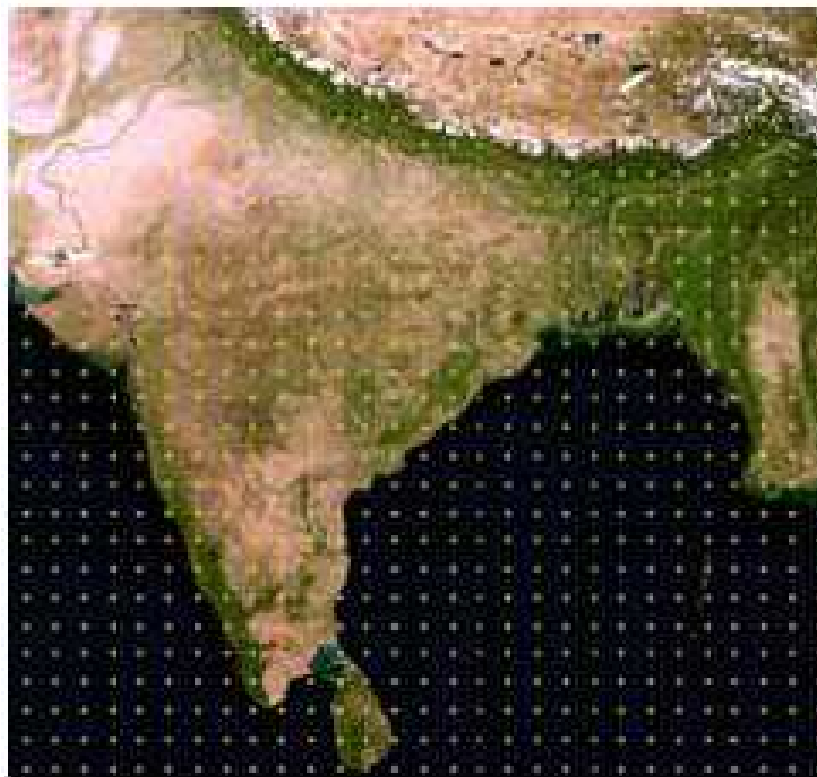
表 T05-1 代表的な光学衛星センサのスペックおよびデータ価格

衛星	センサ	打ち上げ年	運用開始年	地上解像度	観測幅 (km)	観測 頻度	観測波長帯 (括弧内はバンド数)	高度 (km)	回帰日数 (日)	再帰観測日 (日)	往文撮影	フルシーンの価格 (円)	単位 (円/km ²)	センサ開発・運用	コメント
Landsat 1-3	MSS	1972	1983	68 × 83cm	185	×	可視 (2)、近赤外 (2)	915	18	18	×	40,740 ≒	1.3	合衆国 (NASA)	※合衆国 USGS アーカイブ Landsat データは無料で公開 (http://glvis.usgs.gov/ 、 http://earthexplorer.usgs.gov/)
Landsat 4-5	MSS	1982	1995*	68 × 83cm	185	×	可視 (2)、近赤外 (2)	705	16	16	×	40,740 ≒	1.3	合衆国 (NASA)	*2012 年に 1 回観測再開
	TM	1982	運用中*	30cm (バンド 6: 120cm)	185	×	可視 (3)、近赤外 (1)、中間赤外 (2)、熱赤外 (1)				×	88,200 ≒	2.8		*2011 年より休止中
Landsat 7	ETM+	1999	運用中*	30cm (バンド 6: 60cm, バンド 8: 15cm)	183	×	可視 (3)、近赤外 (1)、中間赤外 (2)、熱赤外 (1) 可視 ~ 近赤外 (1)	705	16	16	×	88,200 ≒	2.8	合衆国 (NASA)	*2003 年より SLC-off
Eo 1	ALI-Pan, MS	2000	運用中	MS: 30cm Pan: 10cm	37	×	Pan: 可視 (1) MS: 可視 (4)、近赤外 (3)、中間赤外 (3)	705	16	16		0	0	合衆国 (NASA)	http://eo1.usgs.gov/ より無料ダウンロード可
	Hyperion			30cm	7.5	×	可視 ~ 中間赤外 (220)			16					
EOS-Terra/ EOS-Aqua	MODIS	1999	運用中	250m/500m/ 1km	2330	×	250m: 可視 (1)、近赤外 (1) 500m: 可視 (2)、近赤外 (1)、中間赤外 (2) 1km: 可視 (7)、近赤外 (5)、中間赤外 (9)、熱赤外 (8)	705	16	16		0	0	合衆国 (NASA)	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/ より無料ダウンロード可
SPOT 1-3	HRV-XS,P	1986	1993	X: 20m P: 10m	60	○	XS: 可視 (2)、近赤 (1) P: 可視 (1)	822	26	3.7	×	294,000*	8.2	フランス (Spot Image 社)**	*XS と P は同価格、SPOT シーン-レベル 2A 価格 ** 現 Astrium 社
SPOT 4	HRVIR-X,M	1998	運用中	X: 20m P: 10m	60	○	X: 可視 (2)、近赤外 (1)、中間赤外 (1) M: 可視 (1)	822	26	3.7	○	294,000*	8.2	フランス (Astrium 社)	*XS と P は同価格、SPOT シーン-レベル 2A 価格
SPOT 5	HRG-X,P	2002	運用中	X: 10/20m P: 5/2.5m	60	○	X: 可視 (2)、近赤外 (1)、中間赤外 (1) M: 可視 (1)	822	26	2-3	○	521,850*	145.0	フランス (Astrium 社)	*10m 解像度 X と 5m 解像度 P は同価格、SPOT シーン-レベル 2A 価格



Step4: Decisions for sampling versus wall to wall coverage サンプリングvs全域の決定

Example of systematic sampling



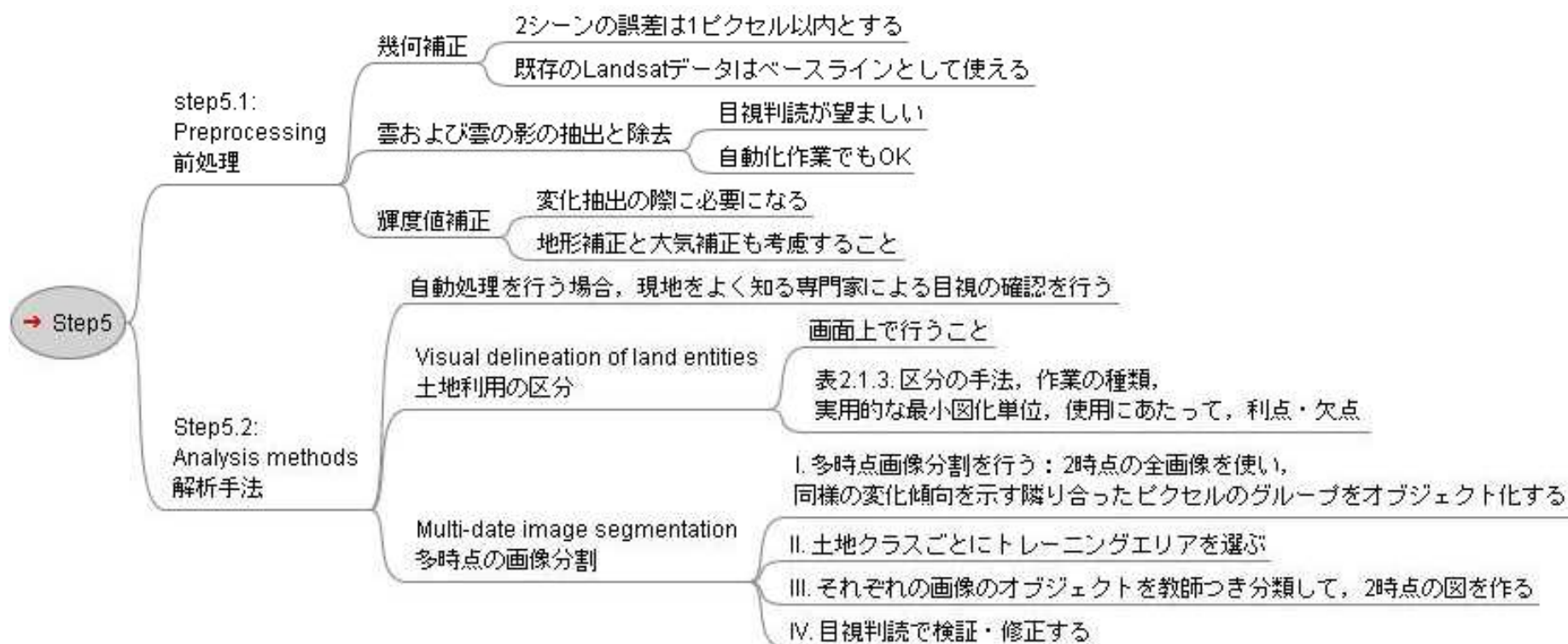
Example of stratified sampling





Step5: Proccess and analyze the satellite data

衛星データの処理と解析





○解像度に応じた適切な区分(解析)手法

Table 2.1.3. Main analysis methods for moderate resolution (~ 30 m) imagery.

Method for delineation	Method for class labeling	Practical minimum mapping unit	Principles for use	Advantages / limitations
Dot interpretation (dots sample)	Visual interpretation	< 0.1 ha	- multiple date preferable to single date interpretation - On screen preferable to printouts interpretation	- closest to classical forestry inventories - very accurate although interpreter dependent - no map of changes
Visual delineation (full image)	Visual interpretation	5 - 10 ha	- multiple date analysis preferable - On screen digitizing preferable to delineation on printouts	- easy to implement - time consuming - interpreter dependent
Pixel based classification	Supervised labeling (with training and correction phases)	<1 ha	- selection of common spectral training set from multiple dates / images preferable - filtering needed to avoid noise	- difficult to implement - training phase needed
	Unsupervised clustering + Visual labeling	<1 ha	- interdependent (multiple date) labeling preferable - filtering needed to avoid noise	- difficult to implement - noisy effect without filtering
Object based segmentation	Supervised labeling (with training and correction phases)	1 - 5 ha	- multiple date segmentation preferable - selection of common spectral training set from multiple dates / images preferable	- more reproducible than visual delineation - training phase needed
	Unsupervised clustering + Visual labeling	1 - 5 ha	- multiple date segmentation preferable - interdependent (multiple date) labeling of single date images preferable	- more reproducible than visual delineation



○解像度に応じた適切な区分(解析)手法

Table 2.1.3. Main analysis methods for moderate resolution (~ 30 m) imagery.

Method for delineation	Method for class labeling	Practical minimum mapping unit	Principles for use	Advantages / limitations
Dot interpretation (dots sample)	Visual interpretation	< 0.1 ha	- multiple date preferable to single date interpretation - On screen preferable to printouts interpretation	- closest to classical forestry inventories - very accurate although interpreter dependent - no map of changes
Visual delineation (full image)	Visual interpretation	5 - 10 ha	- multiple date analysis preferable - On screen digitizing preferable to delineation on printouts	- easy to implement - time consuming - interpreter dependent
Pixel based classification	Supervised labeling (with training and correction phases)	<1 ha	- selection of common spectral training set from multiple dates / images preferable - filtering needed to avoid noise	- difficult to implement - training phase needed
	Unsupervised clustering + Visual labeling	<1 ha	- interdependent (multiple date) labeling preferable - filtering needed to avoid noise	- difficult to implement - noisy effect without filtering
Object based segmentation	Supervised labeling (with training and correction phases)	1 - 5 ha	- multiple date segmentation preferable - selection of common spectral training set from multiple dates / images preferable	- more reproducible than visual delineation - training phase needed
	Unsupervised clustering + Visual labeling	1 - 5 ha	- multiple date segmentation preferable - interdependent (multiple date) labeling of single date images preferable	- more reproducible than visual delineation



Step6:Accuracy assessment 精度検証

不確実性評価のキーとなる要因について
(森林タイプ面積、炭素蓄積量の推定)

- ・計測、測定によるエラー(人為的な要因)
- ・データのキャリブレーション(調整)に起因するエラー
- ・モデリングによるエラー
(現象を説明しきれないモデルを作成してしまう)
- ・サンプリングによるエラー
(不適切なサンプリング間隔の設計)
- ・不適切な分類項目や定義に起因するエラー
(カウントもれ、ダブルカウント)



Step6:Accuracy assessment

精度検証

森林タイプ面積の不確実性について

(単時点の地図評価)

- ・ アクティビティーデータとしてリモセン由来の森林タイプ面積を使用する場合
 - 分類(classification)エラーや、判読者によるバイアスが含まれる。
 - パラメータのチューニングによるバイアスの修正(恣意性が含まれる。)
 - どの程度の恣意性が含まれるか評価することが重要
- ・ 高精度なリファレンスデータが入手できる場合
 - 統計的にしっかりしたデータ(層化サンプリング、システムティック...)
 - オリジナルデータをこれらのデータでキャリブレート(調整)する。
 - IPCC GPG 5章にいくつか方法論のリコメンデーション有り

(複数年度の地図の経年変化評価)

- ・ アクティビティーデータとしてリモセン由来の森林タイプ面積を使用する場合
 - 土地利用・被覆面積の量的な不確実性の評価ができるような工夫が必要
 - 主題となる分類項目(森林タイプ)に着目した精度計測、信頼区間算定
 - 既存の統計情報やバイアスを数値化したものでキャリブレーションする等



Step6:Accuracy assessment

精度検証

衛星画像データに関するエラーの要因、考慮事項について

(考慮する事項)

- ・衛星画像データの質、特徴(空間情報、スペクトラル情報、撮影周期、雨季、乾季のようなフェノロジー的な要素・・・)
- ・衛星画像入手時には、センサーの処理レベルに応じて地理的な位置精度や画質のチェック
- ・異なるセンサー間でのデータの取扱い
- ・幾何補正(地理的な歪みの取除き)、大気補正等
- ・主題図作成の基準(土地分類カテゴリーや最小作図単位など)
- ・画像判読の手順(分類アルゴリズム、目視判読基準など)
- ・地図作成後の処理(後処理・・・ベクタ／ラスタ変換、0値の取扱いなど)
- ・精度評価のためのレファレンスデータの入手(グラントルース、キャリブレーション用データなど)
- ・地図作成時には、主題図作成の統一的かつ透明性のある基準に従って専門家による適切な判読、モニタリングが為されるべき。→「Consistent mapping」
 - 判読キーなどの文書化が必須(統一性、透明性)
 - トレーニングデータの取得方法、検査方法の手順化(統一性、透明性)
 - 雲や雲陰などのNo dataの取扱い、処理方法も手順化する必要有り。



2.1.2.5 Monitoring of increases in forest area – forestation 森林回復のモニタリング

- 森林の回復スピードは遅いので、森林減少よりも見つけにくい。
- スタンダードな手法はない。
- 樹冠疎密度で推定などが考えられる。



森林内での変化モニタリング

2.2.2.1 Direct approach to monitor selective logging

択伐モニタリングの直接的アプローチ

- Step1: Define the spatial resolution
利用する空間分解能
- Step2: Enhance the image
画像強調の方法
- Step3: Select the mapping feature and methods
マッピング(図化)機能と方法の選択

2.2.2.2 Indirect approach to monitor forest degradation

森林劣化モニタリングへの非直接的アプローチ



2.2.2.1 Direct approach to monitor selective logging 択伐モニタリングの直接的アプローチ

Figure 2.2.1. Very high resolution Ikonos image showing common features in selectively logged forests in the Eastern Brazilian Amazon.



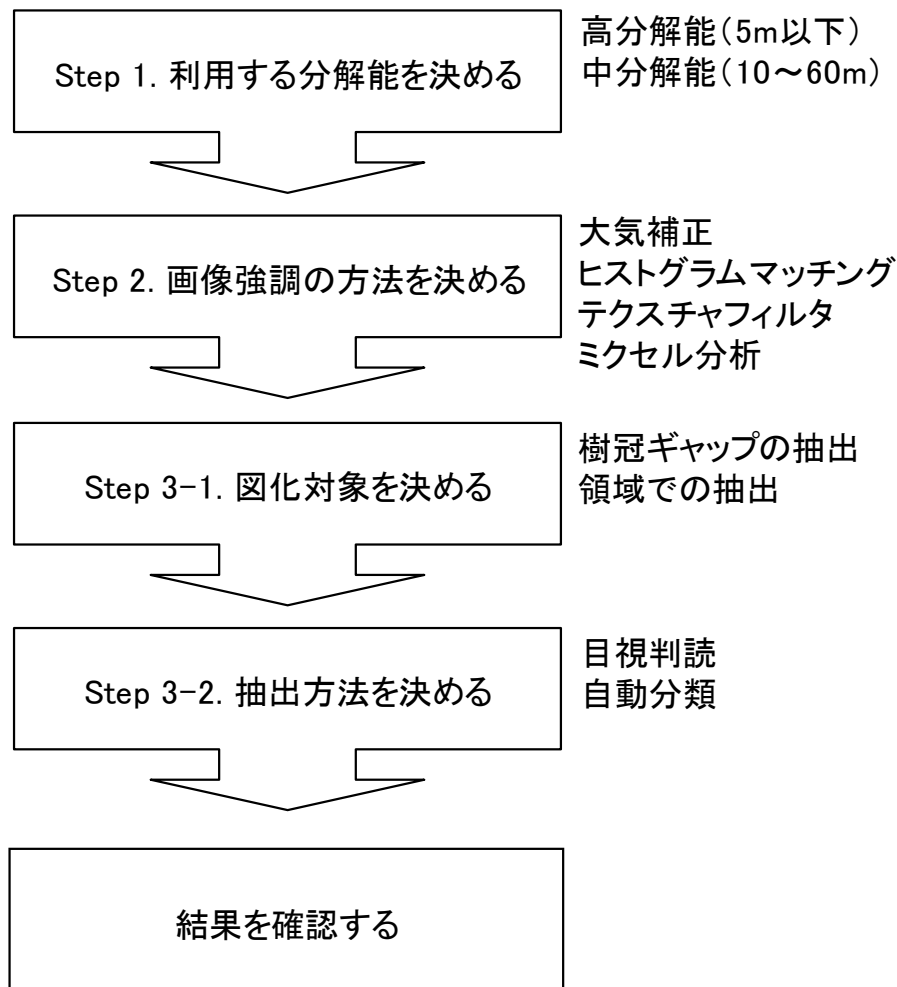
(image size: 11 km x 11 km)

- 様々な土地被覆の状態で見えるので、択伐地域の抽出は難しい。
- 高分解能衛星の利用が必要



2.2.2.1 Direct approach to monitor selective logging

択伐モニタリングの直接的アプローチ





Step1: Define the spatial resolution 利用する空間分解能

Figure 2.2.2. True color Landsat (left) and RapidEye (right) scenes acquired on 22 May 2009 within an unplanned selectively logged peat swamp forest in Central Kalimantan on Borneo.

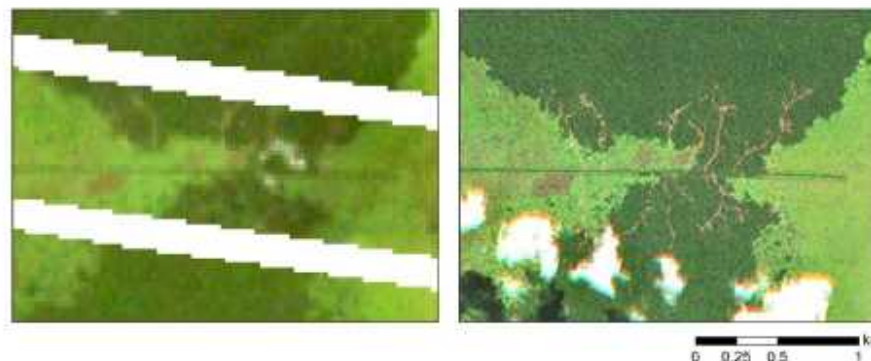
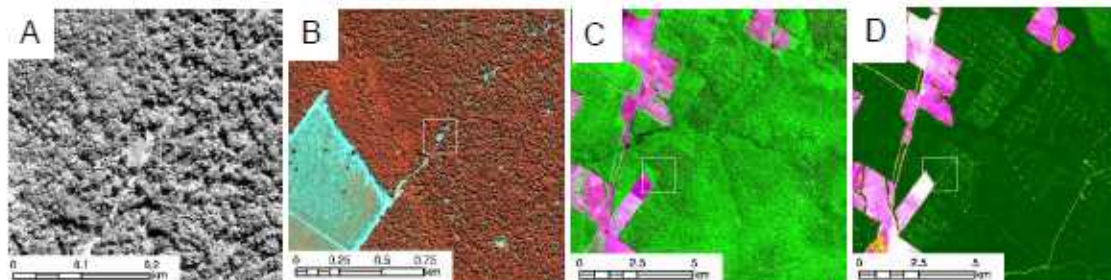


Figure 2.2.3. Unplanned logged forest in Sinop, Mato Grosso, Brazilian Amazon in: (A) IKONOS panchromatic image (1 meter pixel); (B) IKONOS multi-spectral and panchromatic fusion (4 meter pixel); (C) Landsat multi-spectral (R5, G4, B3; 30 meter pixel); and (D) Normalized Difference Fraction Index image (sub-pixel within 30 m). These images were acquired in August 2001.





Step2: Enhance the image

画像強調の方法

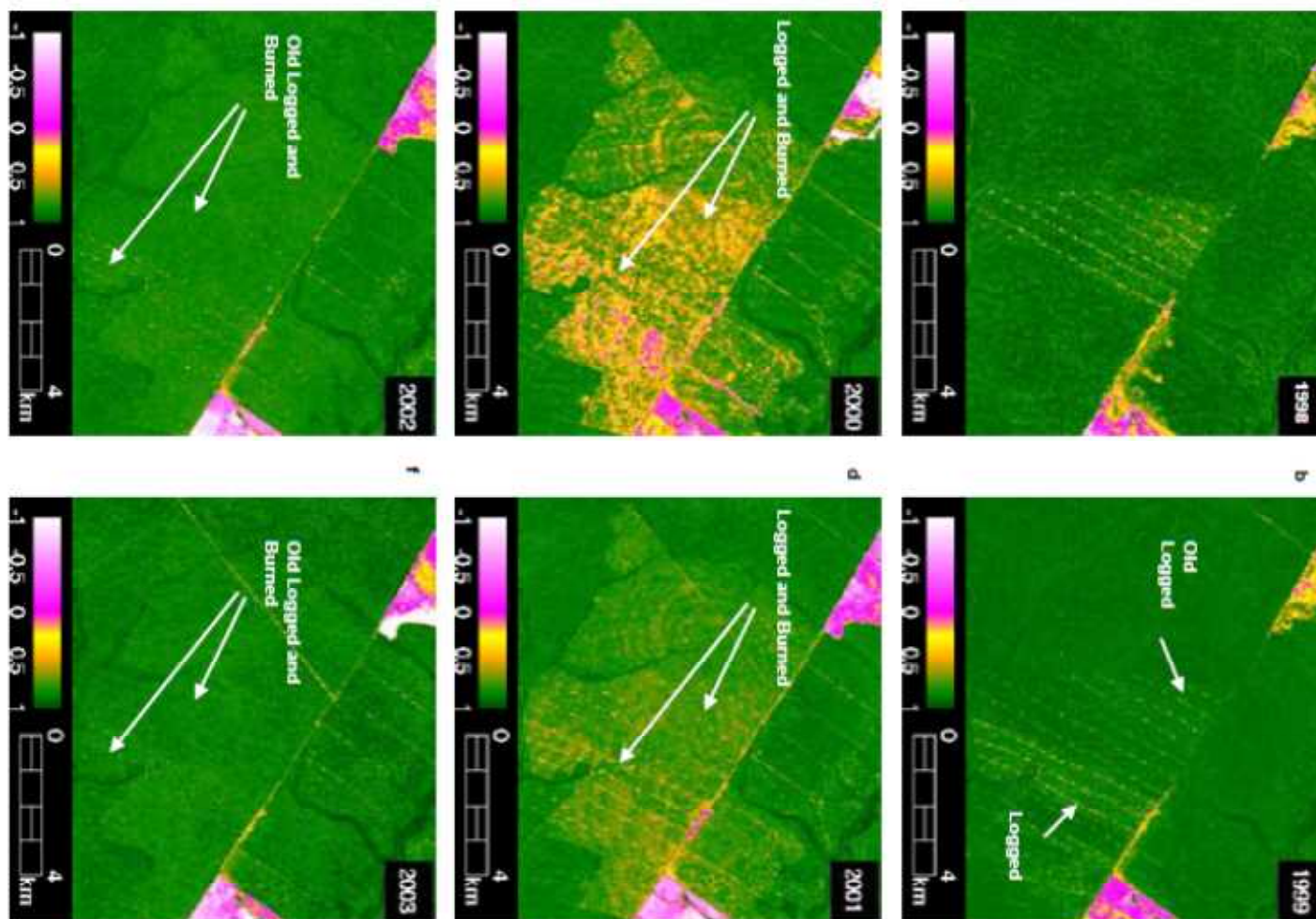


Figure 2.2.6. Forest degradation annual change due to selective logging and logging and burning in Sinop region, Mato Grosso State, Brazil.



Step3: Select the mapping feature and methods

マッピング(図化)機能と方法の選択

Table 2.2.1. Remote sensing methods tested and validated to map forest degradation caused by selective logging and burning in the Brazilian Amazon.

Mapping Approach	Sensor	Spatial Extent	Objective	Advantages	Disadvantages
Visual Interpretation	Landsat TMS	Local and Brazilian Amazon	Map integrated logging area and canopy damage of burned forest	Does not require sophisticated image processing techniques	Labor intensive for large areas and may be user biased to define the boundaries of the degraded forest.
Detection of Logging Landings + Harvesting Buffer	Landsat TMS and ETM+	Local	Map integrated logging area	Relatively simple to implement and satisfactorily estimate the area	Harvesting buffers varies across the landscape and does not reproduce the actual shape of the logged area
Decision Tree	SPOT 4	Local	Map forest canopy damage associated with logging and burning	Simple and intuitive binary classification rules, defined automatically based on statistical methods	It has not been tested in very large areas and classification rules may vary across the landscape
Change Detection	Landsat TMS and ETM+	Local	Map forest canopy damage associated with logging and burning	Enhances forest canopy damaged areas.	Requires two pairs of radiometrically calibrated images and does not separate natural and anthropogenic forest changes.
Image Segmentation	Landsat TMS	Local	Map integrated logged area	Relatively simple to implement	Not been tested in very large areas. segmentation rules may vary across the landscape
Textural Filters	Landsat TMS and ETM+	Brazilian Amazon	Map forest canopy damage associated	Relatively simple to implement	Very difficult to interpret and to validate; confused with forest structure
CLAS ²⁰	Landsat TMS and ETM+, MODIS	Brazilian Amazon, Peruvian Amazon, Indonesia, Global	Map total logging area (canopy damage, clearings and undamaged forest)	Fully automated and standardized to very large areas.	Requires high computation power and pairs of images to detect forest change associated with logging.
CLASlite ²¹	Landsat TM, ETM+, ASTER, ALI, SPOT4, SPOT5, MODIS	Regional to national	Rapid mapping of deforestation and degradation	Highly automated, uses a standard computer, requires little expertise	Not available for Apple Macintosh computers
CLAS-BURN ²²	Landsat TM, ETM+	Regional to national	Rapid mapping of sub-canopy fire burn scars	Uniquely sensitive to burn scars, and not logging	Requires testing outside of the Amazon basin
NDFI+CCA ²³	Landsat TMS and ETM+	Local	Map forest canopy damage associated with logging and burning	enhances forest canopy damaged areas.	It does not separate logging from burning
Spatial mixture analysis	RapidEye	Local	map forest degradation associated with small scale selective logging	High temporal resolution allows monitoring of unplanned small scale selective logging despite fast regrowth	not fully automated

- 森林劣化の程度は?
- 解析対象領域の広さは?
- 解析手法は?



2.2.2.2 Indirect approach to monitor forest degradation 森林劣化モニタリングへの非直接的アプローチ

自然林 (Intact Forest) の抽出

- Positive approach
 - 画像解析で自然林 (Intact Forest) を抽出
- Negative approach
 1. GISデータなどで人為改変地域および周辺地域を除く。
 2. 目視判読でFine Shapingする。



リモートセンシングを用いた森林面積の推定 (出典:REDD-plus COOKBOOK)



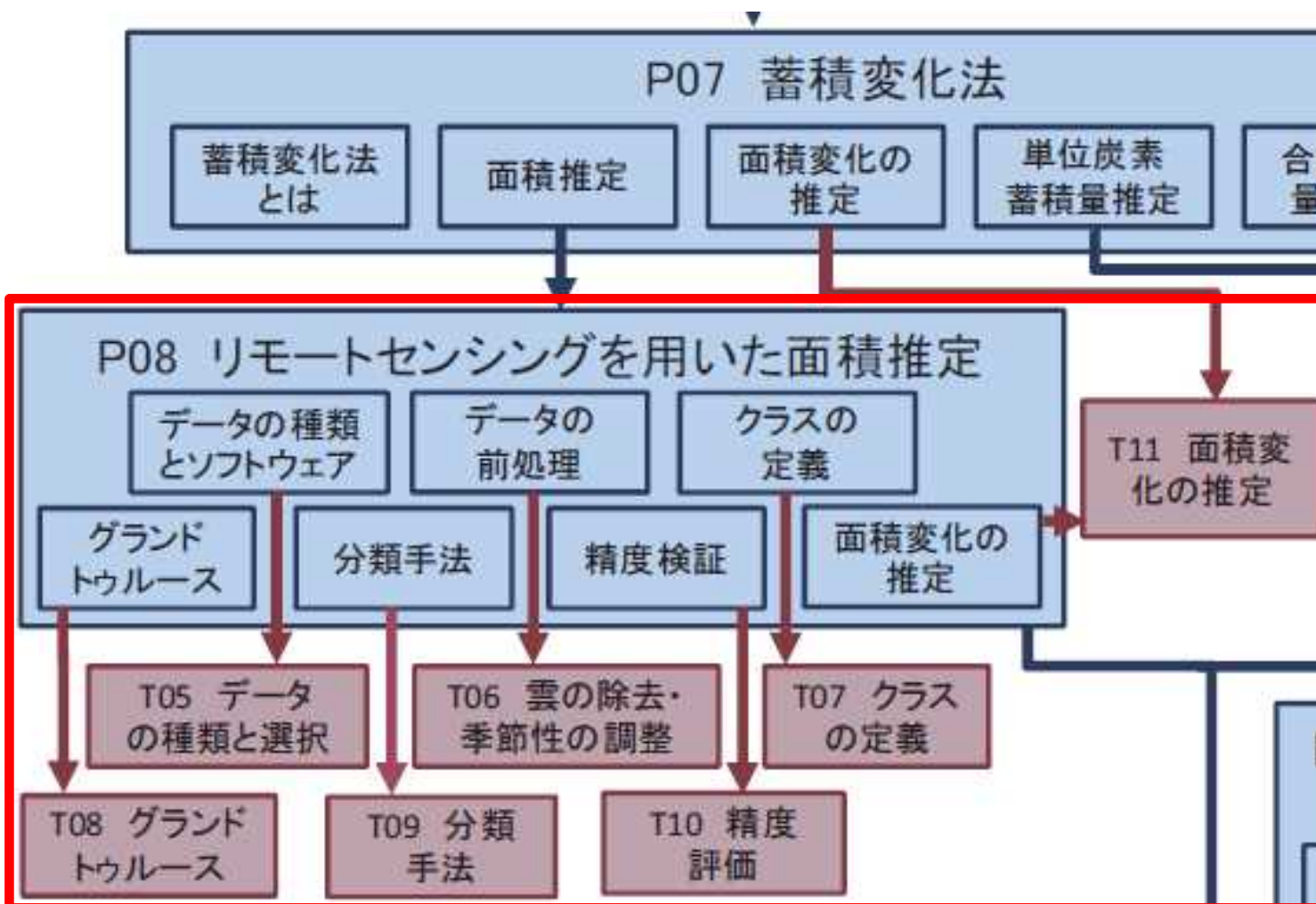


COOKBOOKの該当目次

第7章 リモートセンシングを用いた森林面積の推定	86
Recipe - T05 データの種類と選択	88
プラットフォーム / センサ / 空間分解能、波長分解能と時間分解能 / 現在・過去・未来 / データの選択 / ソフトウェア	
Recipe - T06 雲の除去・季節性の調整	94
雲の除去 / 季節性の調整	
Recipe - T07 クラスの定義	96
完全かつ排他的なクラス / 求められる分類クラス / 分類後のクラスの統合	
Recipe - T08 グランドトゥールース	98
グランドトゥールースとは / グランドトゥールースの位置情報と精度 / 抽出方法 / サンプル数	
Recipe - T09 分類手法	100
リモートセンシングにおける分類 / 画素単位の分類とオブジェクトベース分類	
Recipe - T10 精度評価	102
判定効率表と精度の指標 / 精度評価のためのグランドトゥールース	
Recipe - T11 面積変化の推定	108
2 時期それぞれの分類結果の比較 / 多時期画像の一括分類による変化抽出 / 画像比較の注意点と現在の流れ	



COOKBOOKの該当レシピ



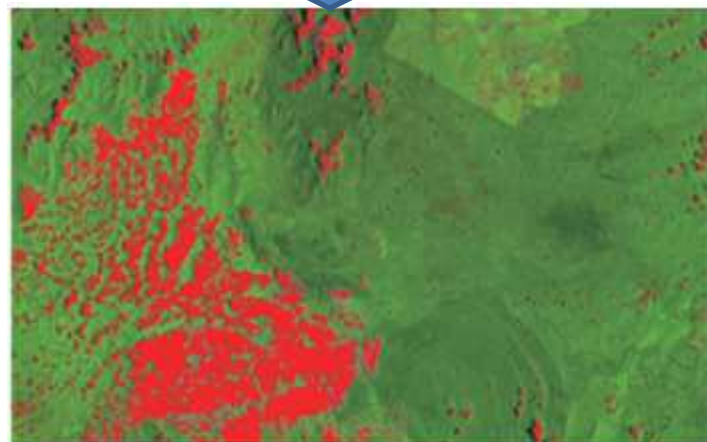


雲の除去(Recipe-T06)

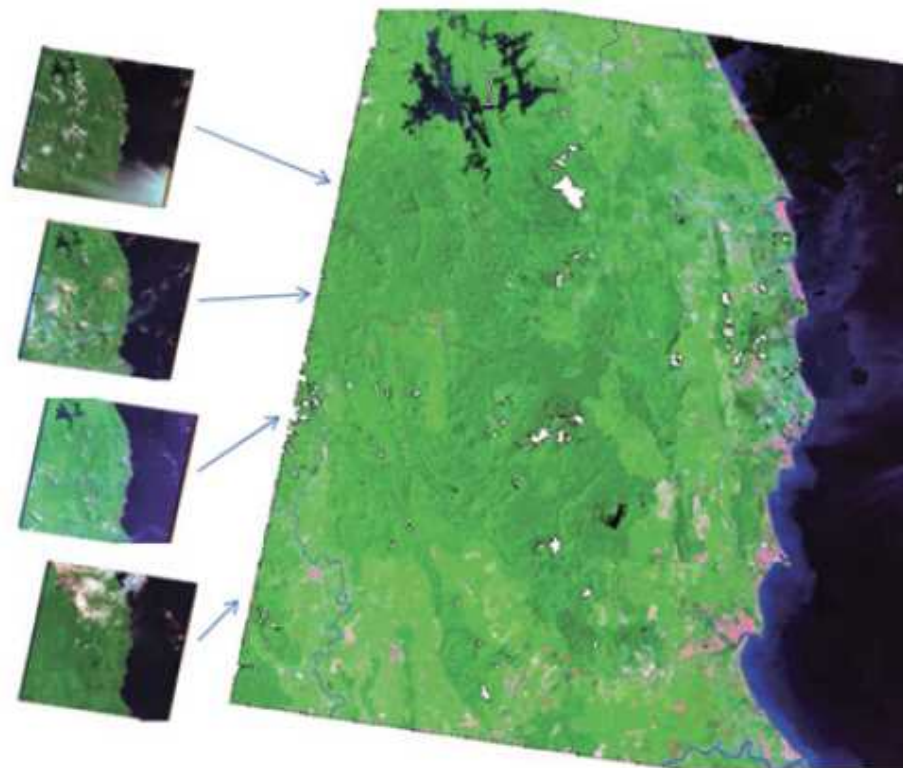
処理前



処理後



雲、ヘイズ(もや)及びそれらの影の抽出



前後の時期の画像から雲のない部分を抽出し、モザイク処理



季節性の調整 (Recipe-T06)

- ・熱帯落葉樹林では、着葉期と落葉期があることから、同季節の画像を収集することが基本となる。
- ・同季節の画像の入手が困難な場合は、季節性の影響を画像処理で調整してから分類するなどの処理が必要となる。

処理前



処理後



季節変化の影響の除去の例



グランドトゥールース(Recipe-T08)

グランドトゥールース:リモートセンシングデータと観測対象物(森林)との対応関係を明らかにするために観測・測定・収集した地上の実態に関する情報。現地調査が難しい場合は、より高分解能の衛星画像や空中写真の判読で代用する場合もある。

グランドトゥールースの位置情報:現地調査で取得する際には、GPSや既存の地図情報、空中写真の画像判読などを利用する。

グランドトゥールースの抽出方法:抽出方法は単純無作為抽出、層化抽出、系統的抽出など様々、統計的に適切に抽出する必要がある。

サンプル数:教師つき分類の教師データ(分類に用いるデータ)として必要なクラスごとのサンプル数は、用いる説明変数の10倍(例えばバンド数)といわれている。また、精度検証に用いるサンプルは、分類に用いるデータと異なるサンプルである必要があり、クラス毎に60か所は必要といわれる。