



# REDD+

Reducing Emission from Deforestation  
and Forest Degradation-plus

平成26年度

# 基礎講習

## 第 9 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 土地利用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

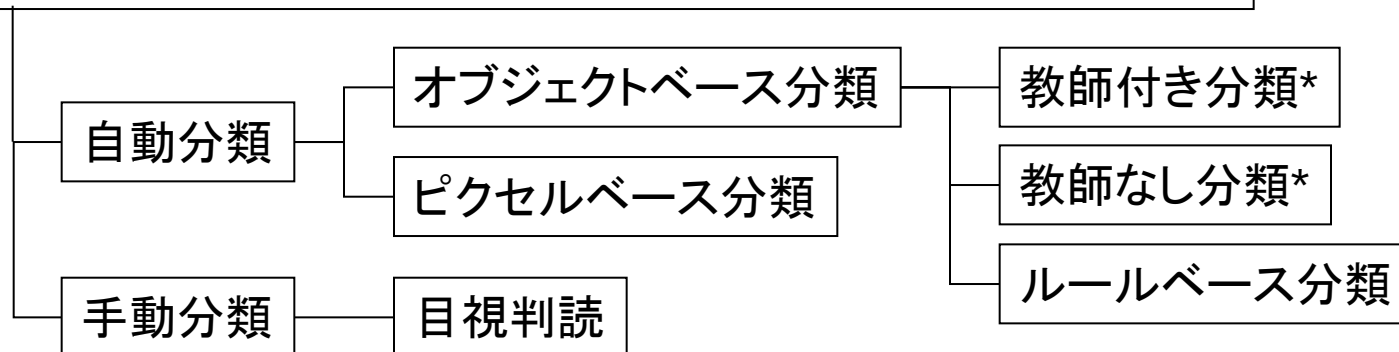
時系列解析

- ・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



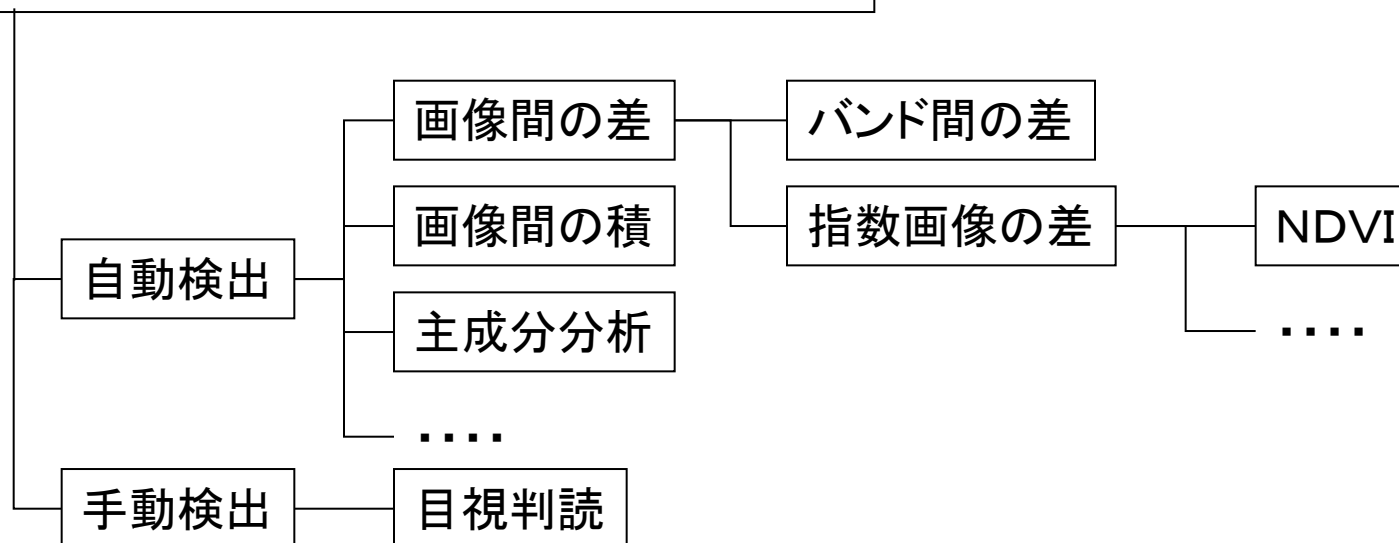
# 変化抽出技術の分類

## [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)

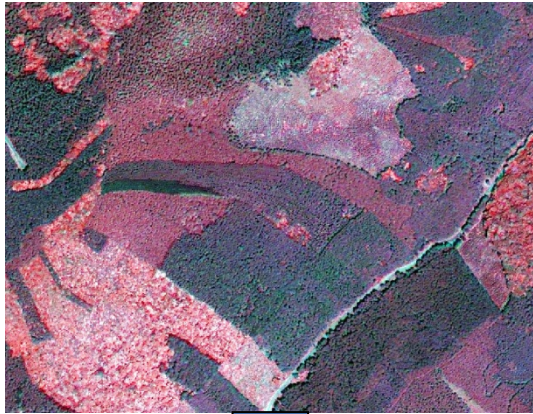
『[1]各時点でそれぞれ森林タイプ分類図を作成し差分をとる方法』の各分類手法

|                       | 長所                               | 短所                          |
|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 自動分類<br>- 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<br>- 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<br>- 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 |

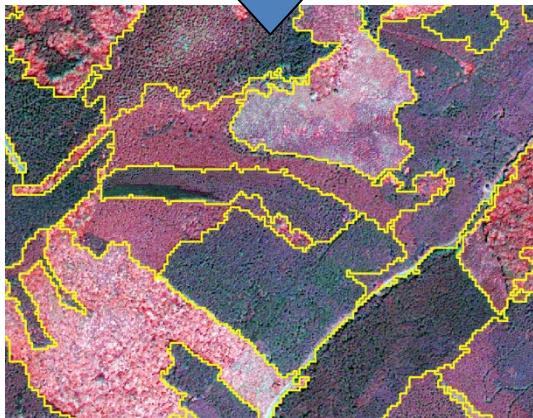




# [1]各時点でそれぞれ森林タイプ分類図を作成し差分をとる方法 オブジェクトベース分類



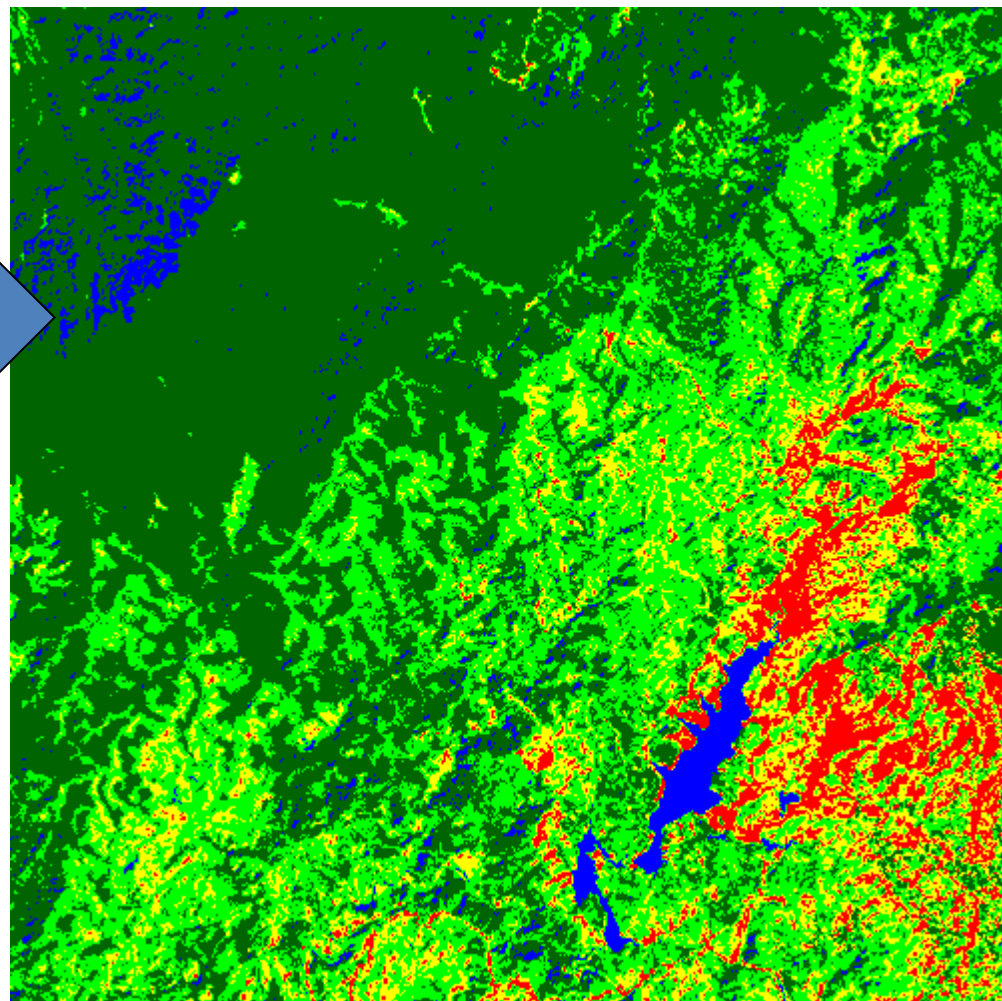
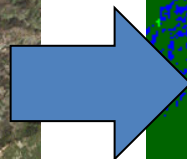
セグメンテーションと呼ばれる処理により、  
スペクトル情報や形状情報に基づいたオ  
ブジェクト(ピクセルの集合)が生成される







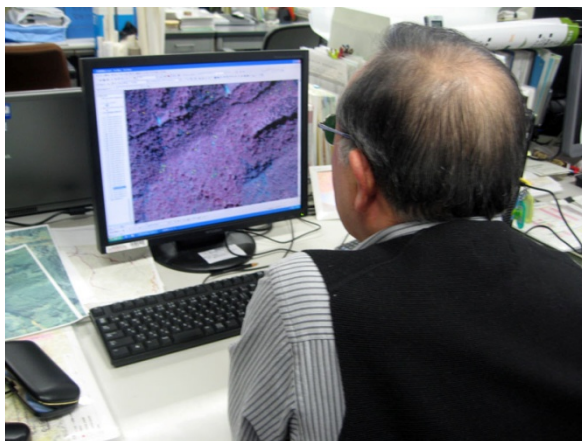
# [1]各時点でそれぞれ森林タイプ分類図を作成し差分をとる方法 ピクセルベース分類



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



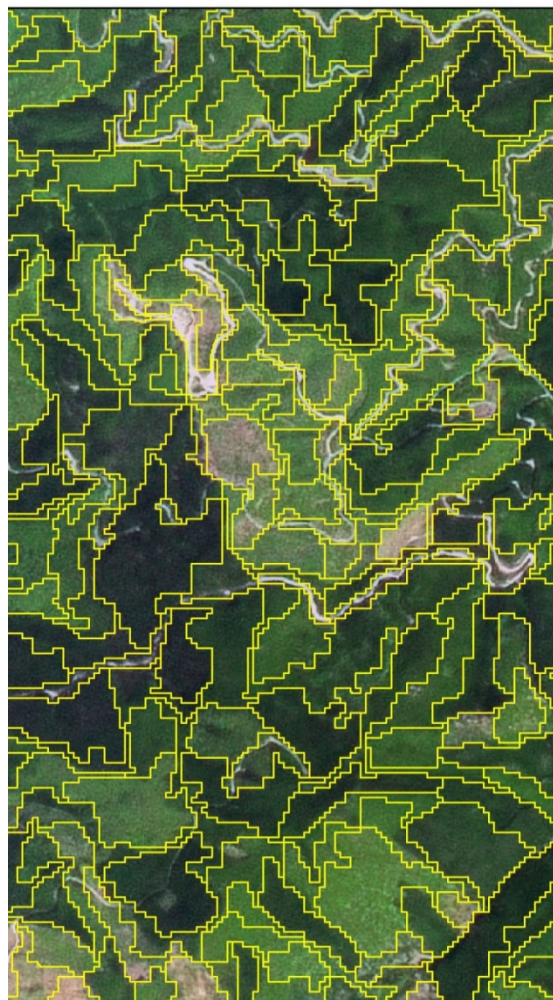




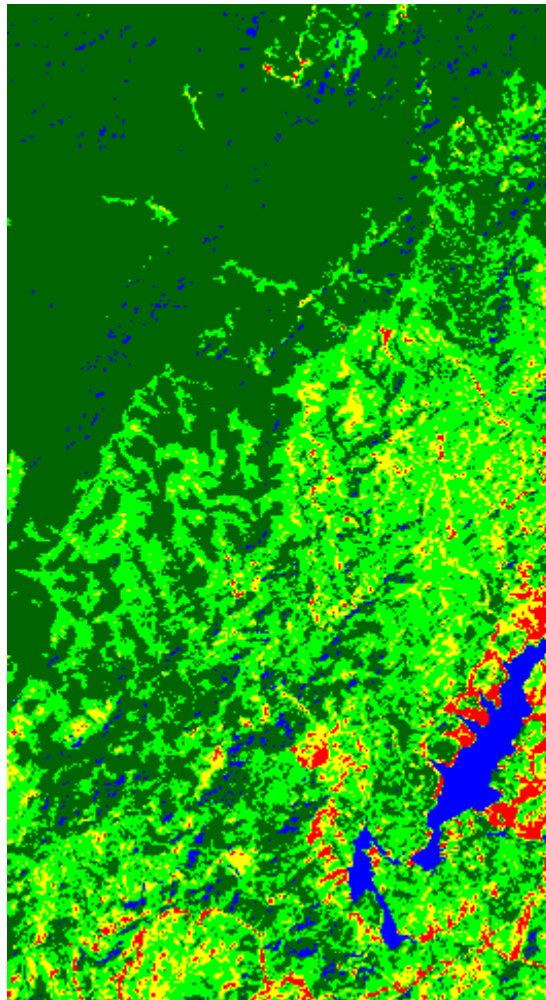
[1]各時点でそれぞれ森林タイプ分類図を作成し差分をとる方法

# 3つの分類方法の比較

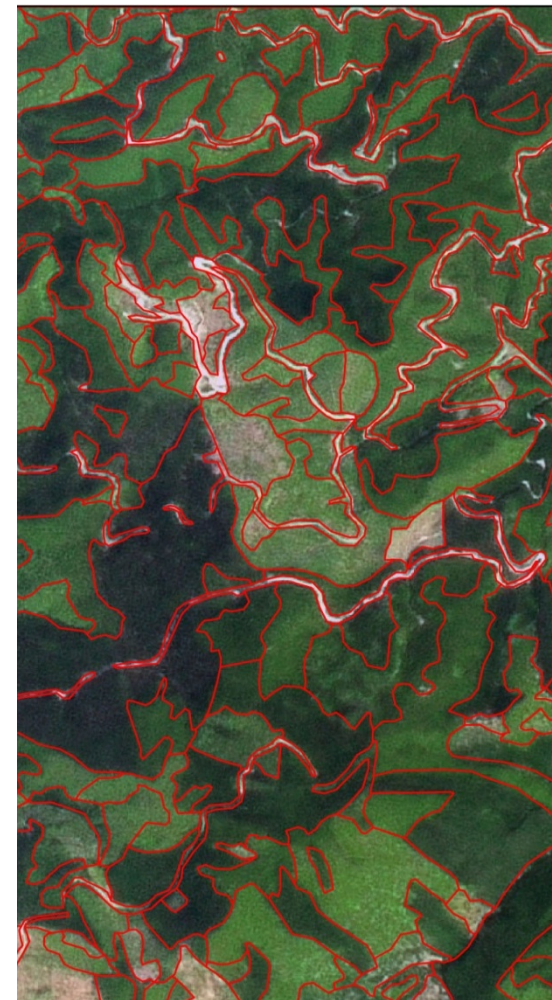
オブジェクトベース分類



ピクセルベース分類

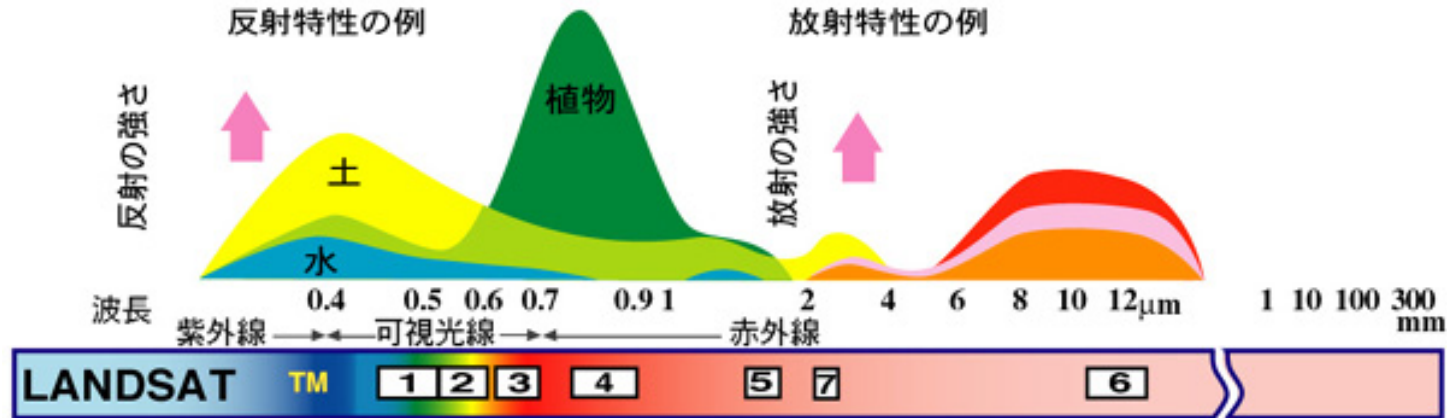


目視判読



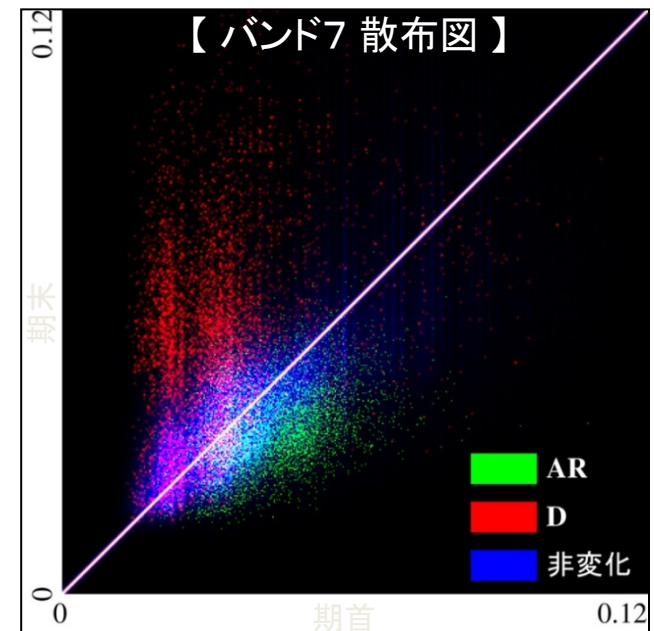


## [2] 2時点の画像間の変化を直接検出する方法 バンド間の差分による検出



- ・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

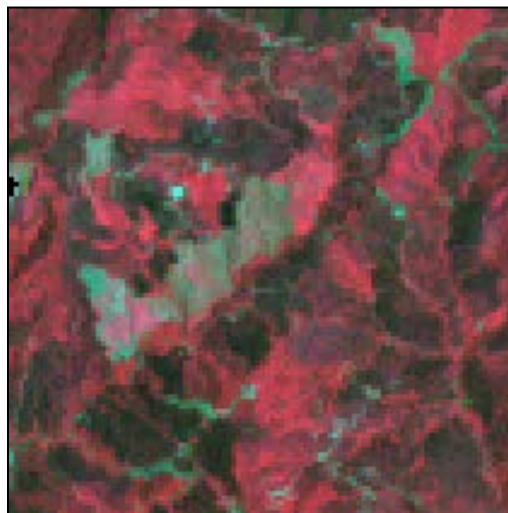




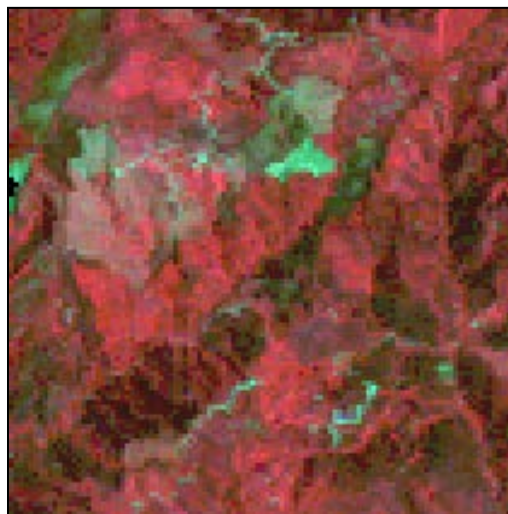


## [2] 2時点の画像間の変化を直接検出する方法 バンド間の差分による検出

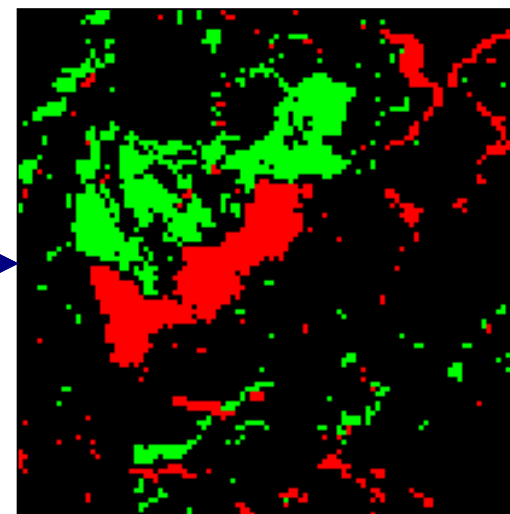
期首画像  
LANDSA 1992年



期首画像  
LANDSA 2002年



バンド7差分画像  
(緑:伐採、赤:植林)







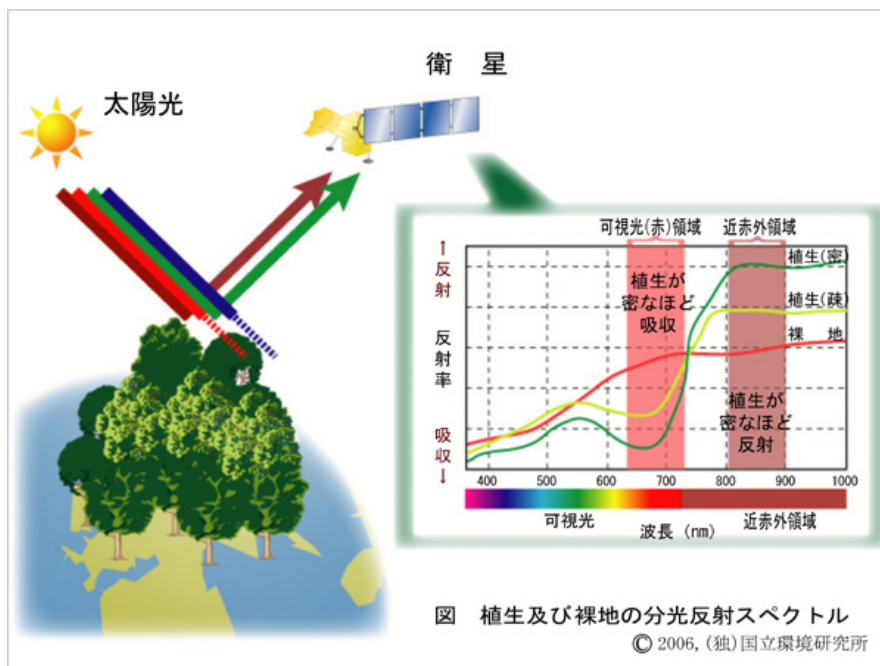
## [2] 2時点の画像間の変化を直接検出する方法

# NDVI画像の差分による検出

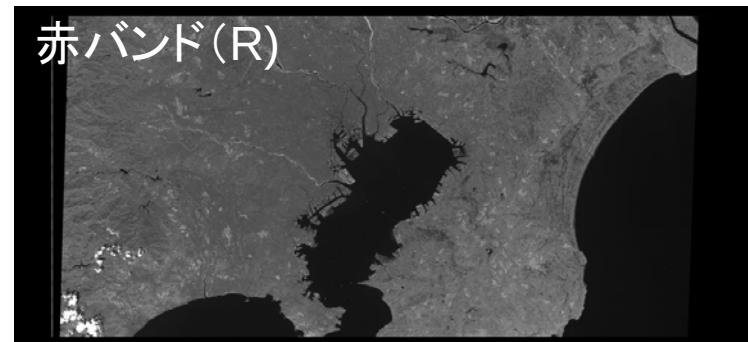
NDVI: 正規化植生指数

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

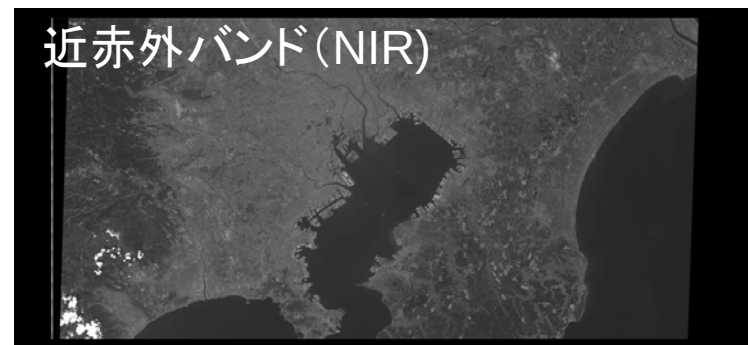
( NIR: 近赤外バンド  
R: 赤バンド )



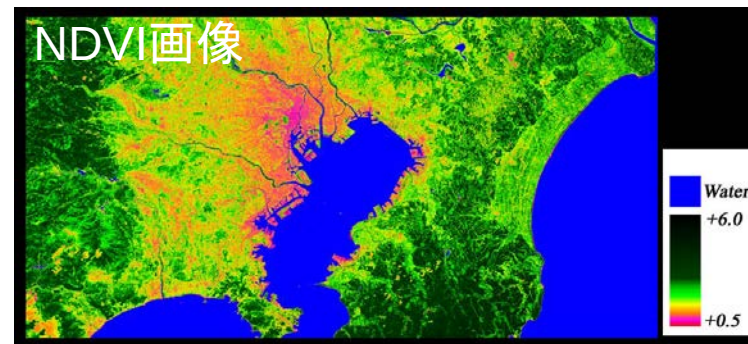
赤バンド(R)



近赤外バンド(NIR)



NDVI画像





# 画像解析ソフトの紹介

## オブジェクトベース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<br>for ArcGIS | Overwatch Systems |
| ENVI EX                       | EXELIS            |
| Picasso                       | (株) つくばアグリサイエンス   |

オブジェクトベース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 ( $h_{\text{color}}$ ): 輝度値分散の総和とみなす。

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

$\sigma$ : 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 $h_{\text{color}}$ 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 ( $h_{\text{smooth}}$ ) : 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  $h_{\text{smooth}}$  である(2.7式)。

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



# 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 ( $h_{\text{cmpct}}$ ): 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 $h_{\text{cmpct}}$ である(2.9式)

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





# 画像解析ソフトの紹介

## eCognitionの画像分割の仕組み

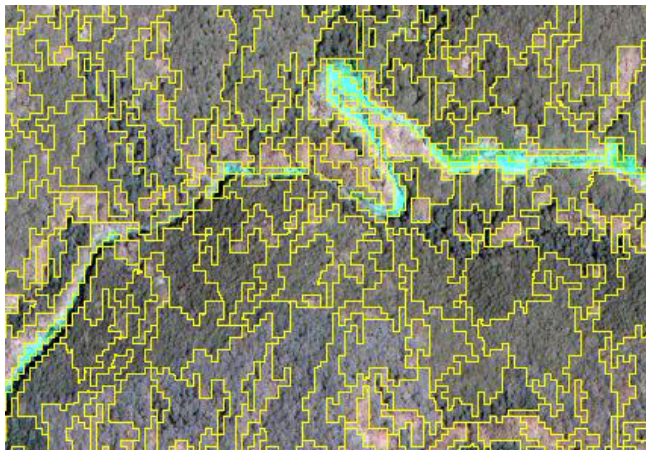
- 異質性 (Heterogeneity) の算出
  - (2.5式)、(2.7式)、(2.9式)によって算出された $h_{\text{color}}$ 、 $h_{\text{smooth}}$ 、 $h_{\text{cmpct}}$ の3因子を(2.3式)に代入することで異質性( $f$ )が求められる。
- Segmentation処理では異質性( $f$ )は**Scale parameter**として設定する。
  - 値を小さくすると異質性の許容範囲が狭まり画像をより細かく分割するにとどまる結果となり、大きくすると粗い分割結果となる。そのほかに先に述べた3つの因子の重み付けや、Segmentation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

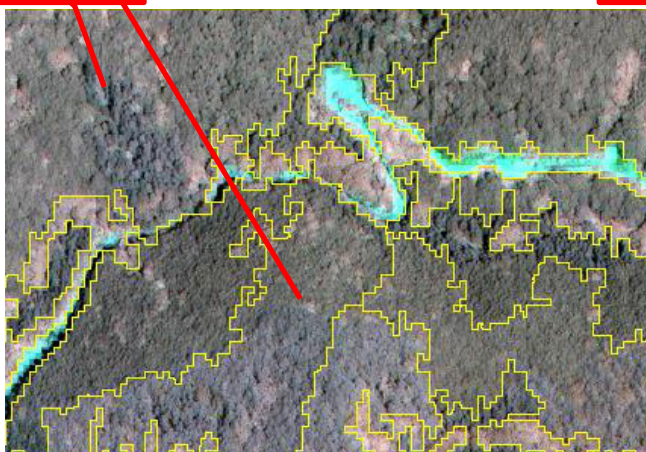
eCognitionの画像分割の仕組み(異なるScale parameterによる区画線)

SP=50



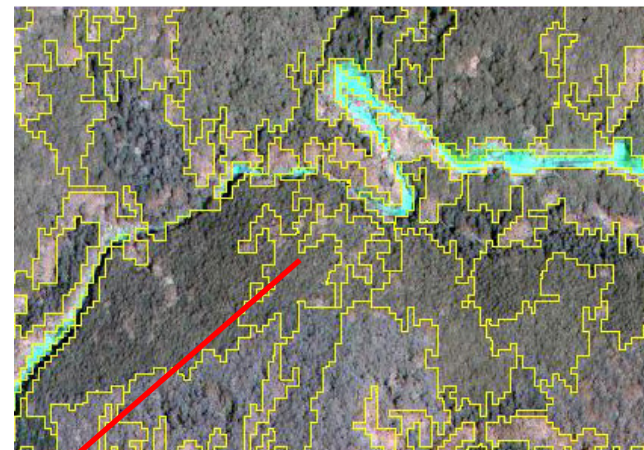
区画されて  
いない

SP=200

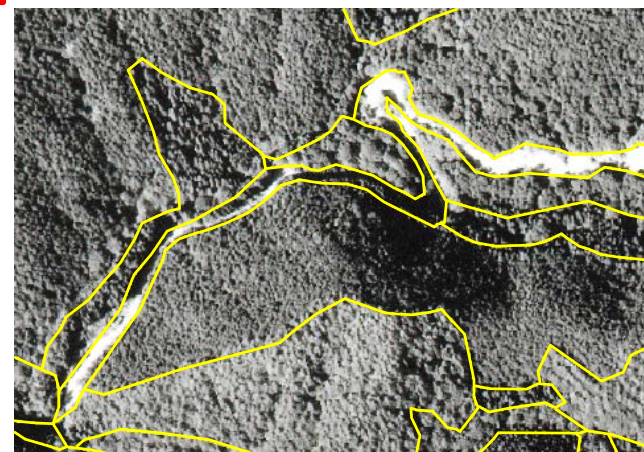


まだ細かいが必要な  
区画はされている

SP=100



空中写真の目視判読(正)







# 画像解析ソフトの紹介

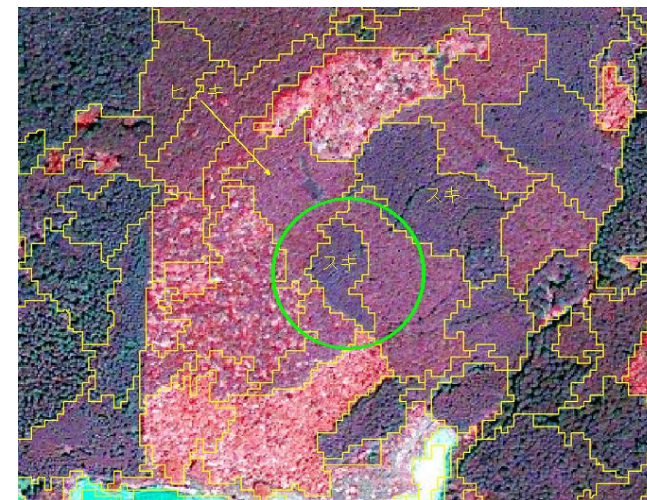
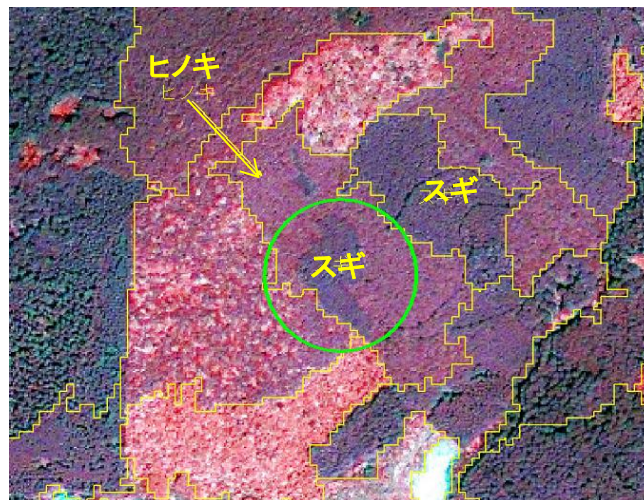
eCognitionの画像分割の仕組み(異なる林相における区画線)

SP=80

SP=30

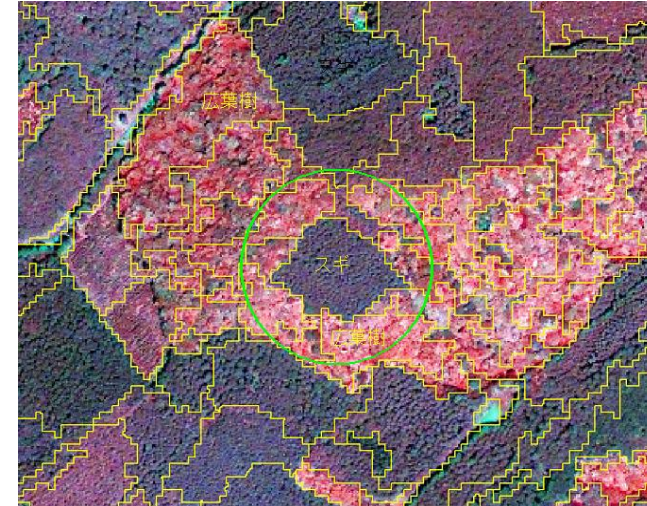
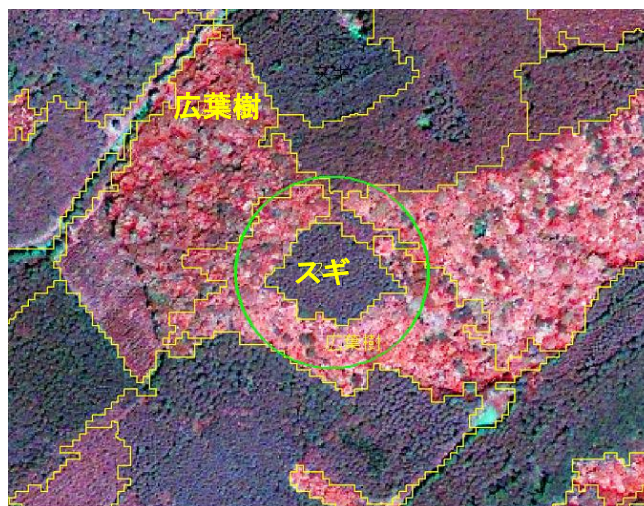
スギとヒノキ

異質性が低い  
のでSP80では  
区分されない。



スギと広葉樹

異質性が高い  
のでSP80でも  
区分される。



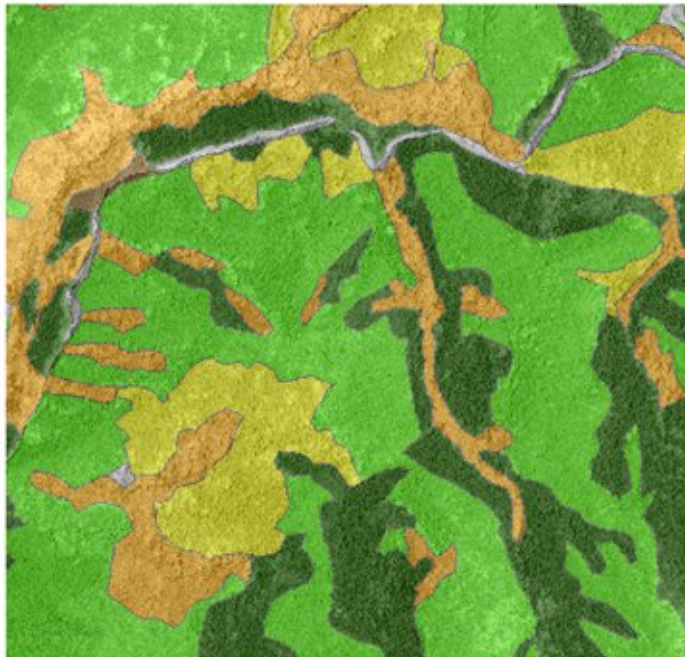




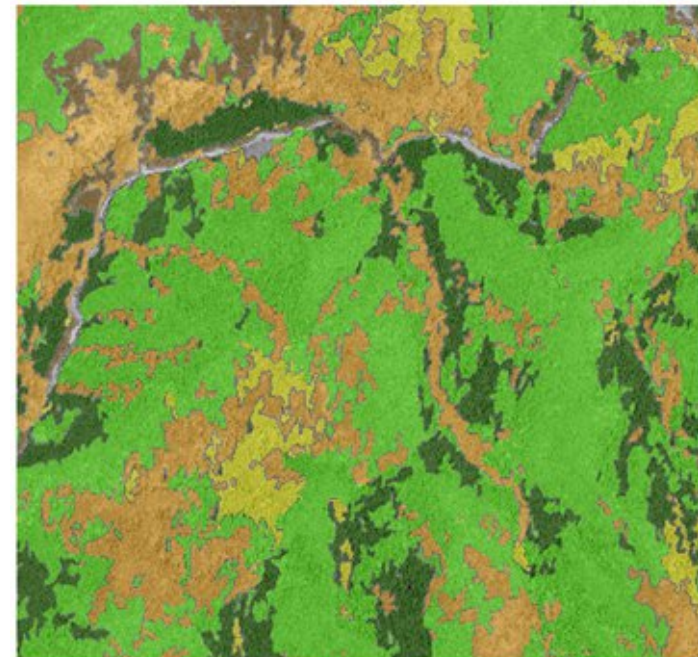
# 画像解析ソフトの紹介

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

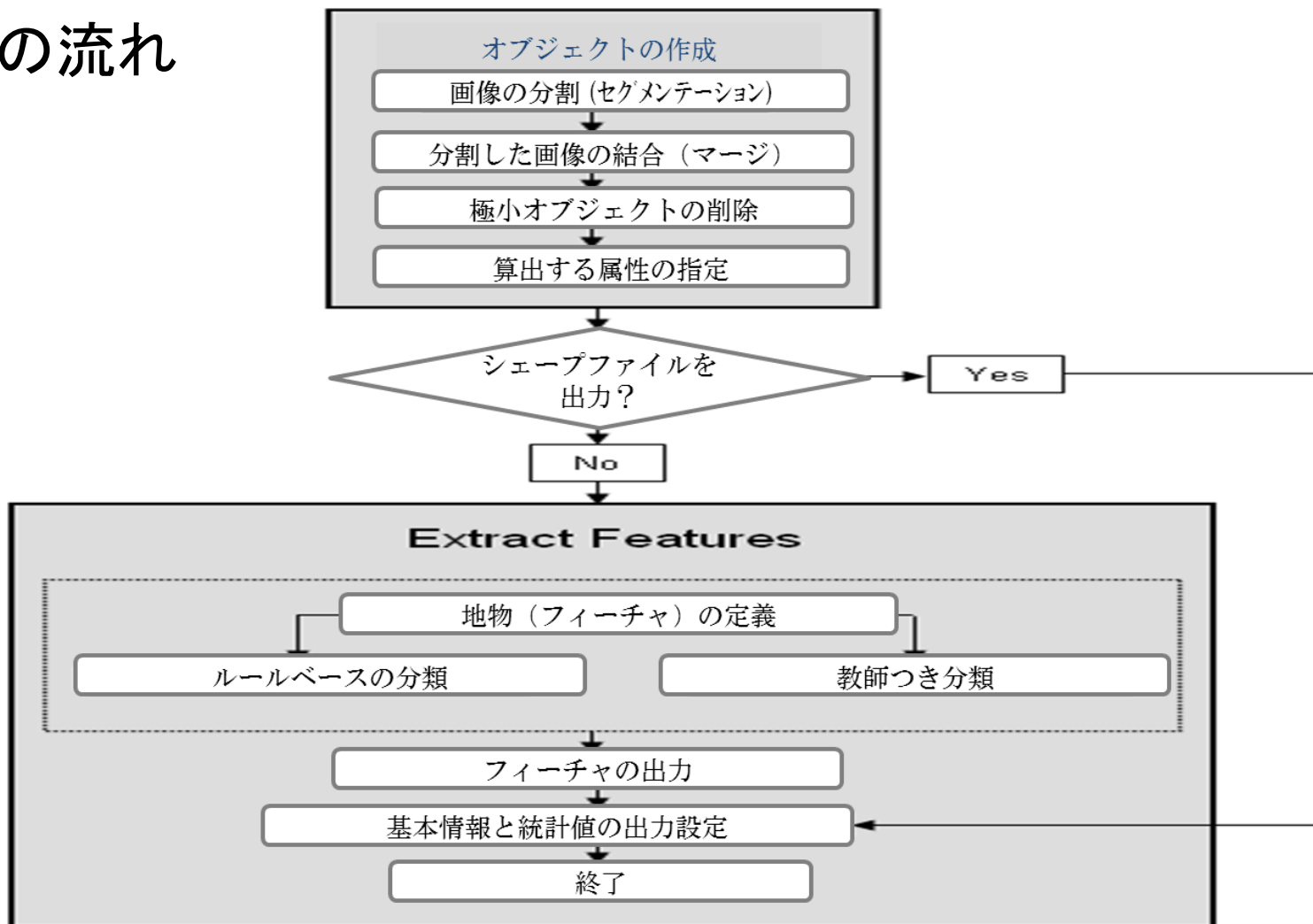
ENVI EXによる  
オブジェクトベース分類の実演



# 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

### 使用する画像の情報

- Landsat TM
- ベトナム社会主義共和国
- 2010年7月5日撮影



トゥルーカラー表示



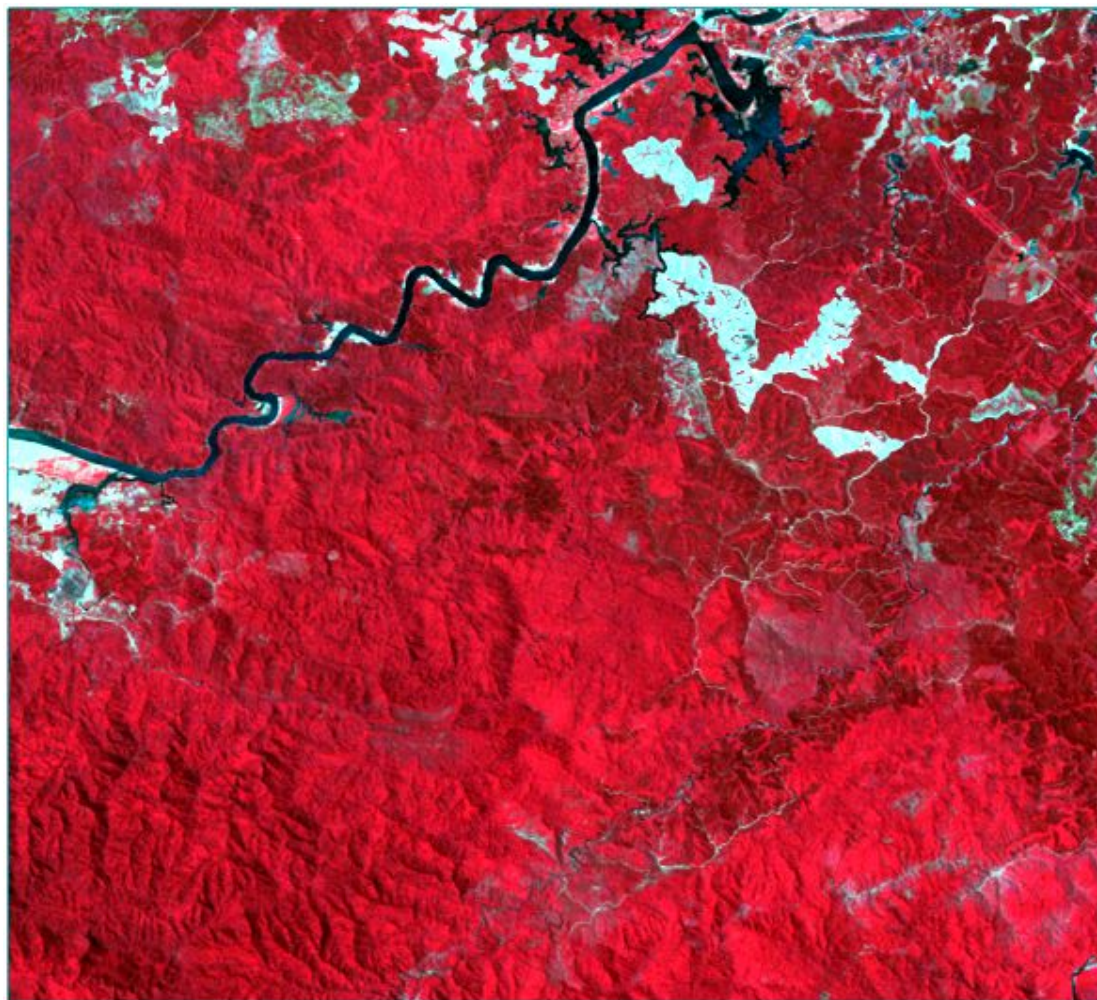


# 画像解析ソフトの紹介

## ENVI EXの画像分割の仕組み

### 使用する画像の情報

- Landsat TM
- ベトナム社会主義共和国
- 2010年7月5日撮影



フォールスカラー表示



# 画像解析ソフトの紹介

## ENVI EXの画像分割の仕組み

### 使用する画像の情報

- Landsat TM
- ベトナム社会主義共和国
- 2010年7月5日撮影



NDVI表示





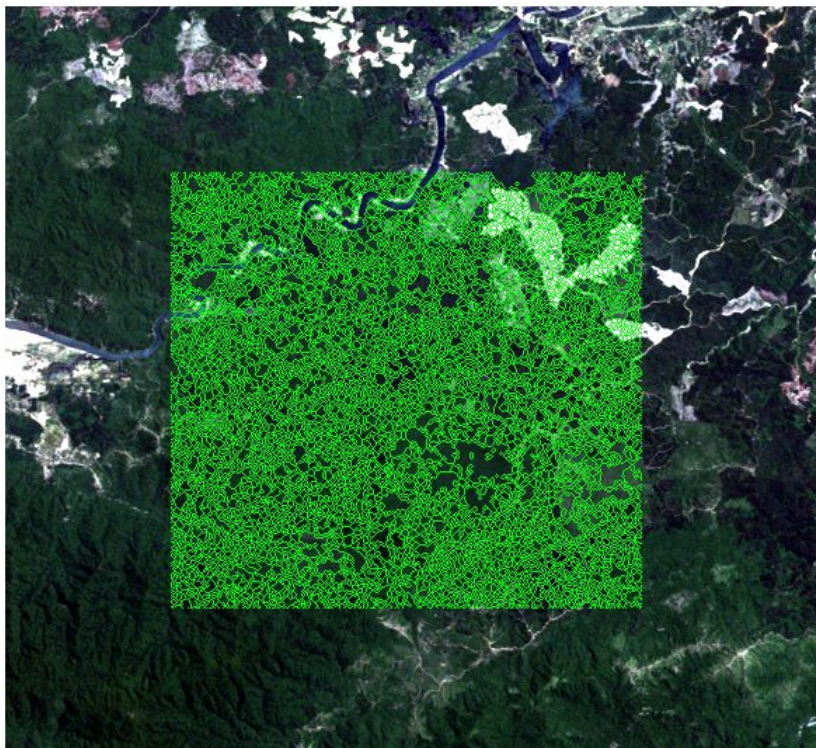
# 画像解析ソフトの紹介

## ENVI EXの画像分割の仕組み

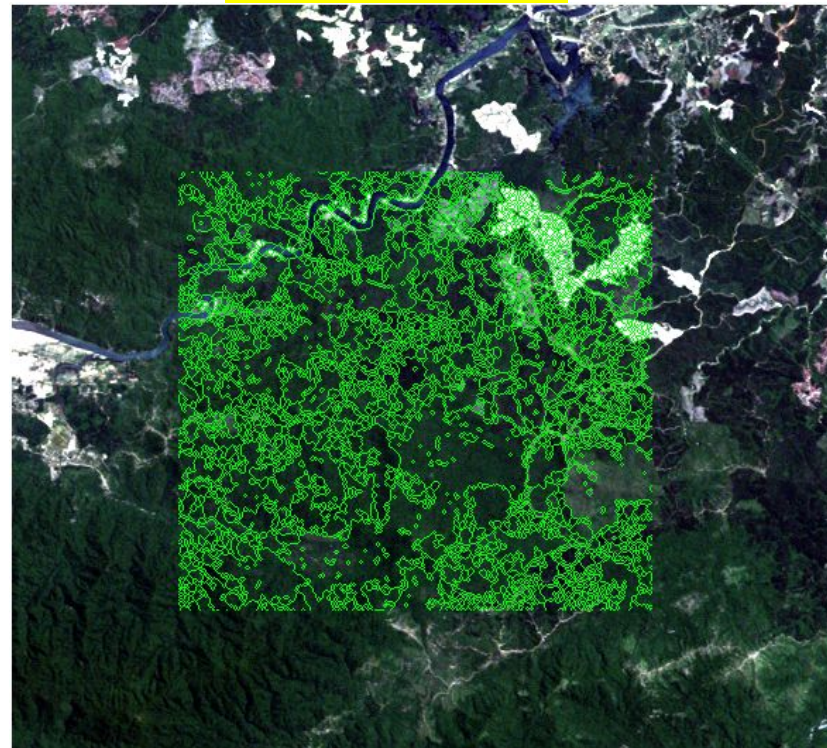
- Segment(Segmenation)の実施

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 (Scale parameter)を設定することでグループ化し、画像を分割する。

Scale Level 20



Scale Level 40



境界を作りたいところに線はあるがかなり細かい



境界を作りたいところに線がある





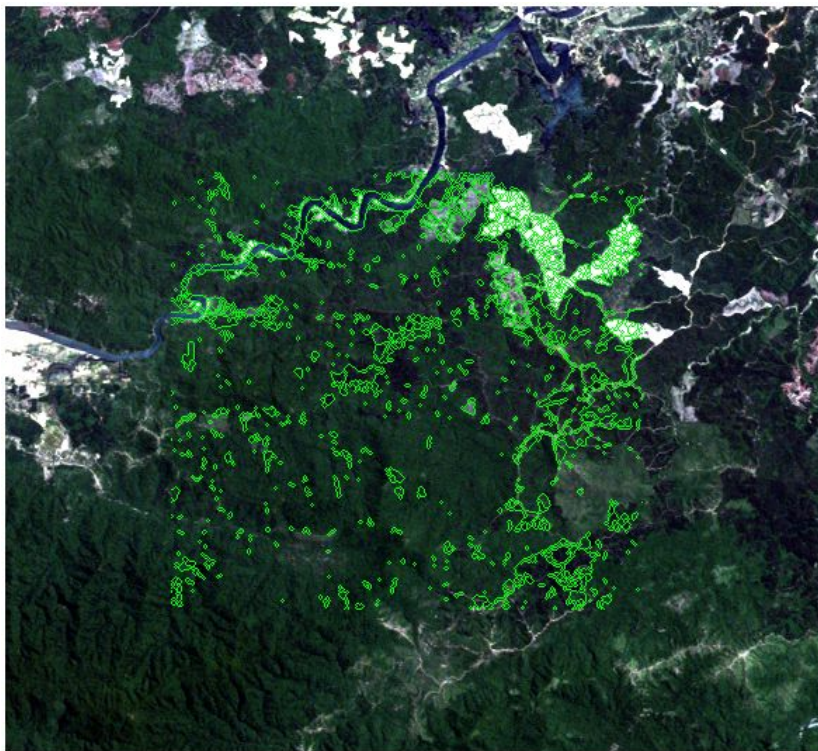
# 画像解析ソフトの紹介

## ENVI EXの画像分割の仕組み

- Segment(Segmenation)の実施

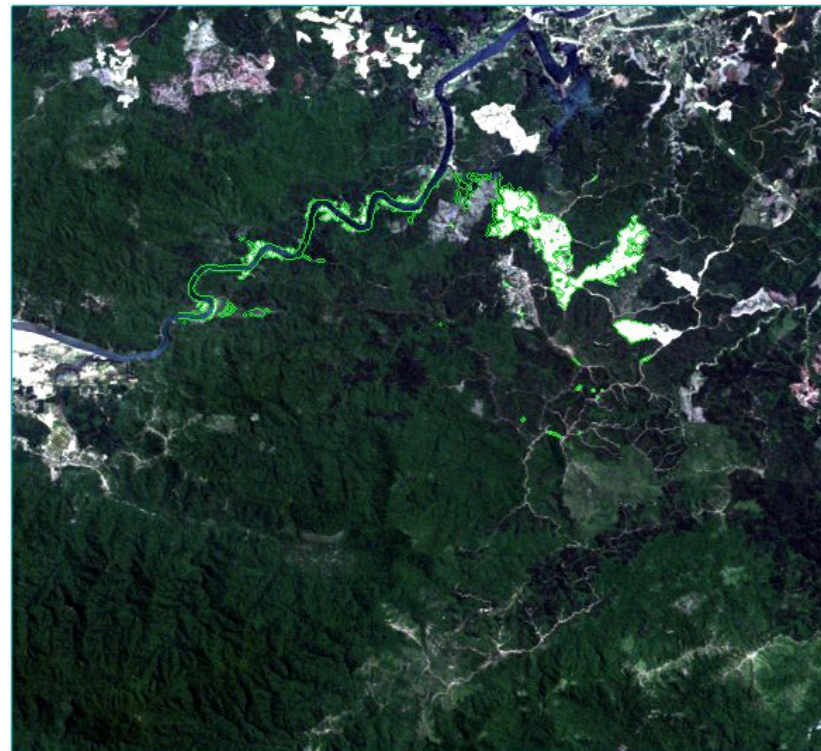
明るさ、テクスチャ、色などの数値が似ている近隣ピクセルをScale Level (Scale parameter)を設定することでグループ化し、画像を分割する。

Scale Level 60



境界を作りたいところに線がない個所が多い

Scale Level 90



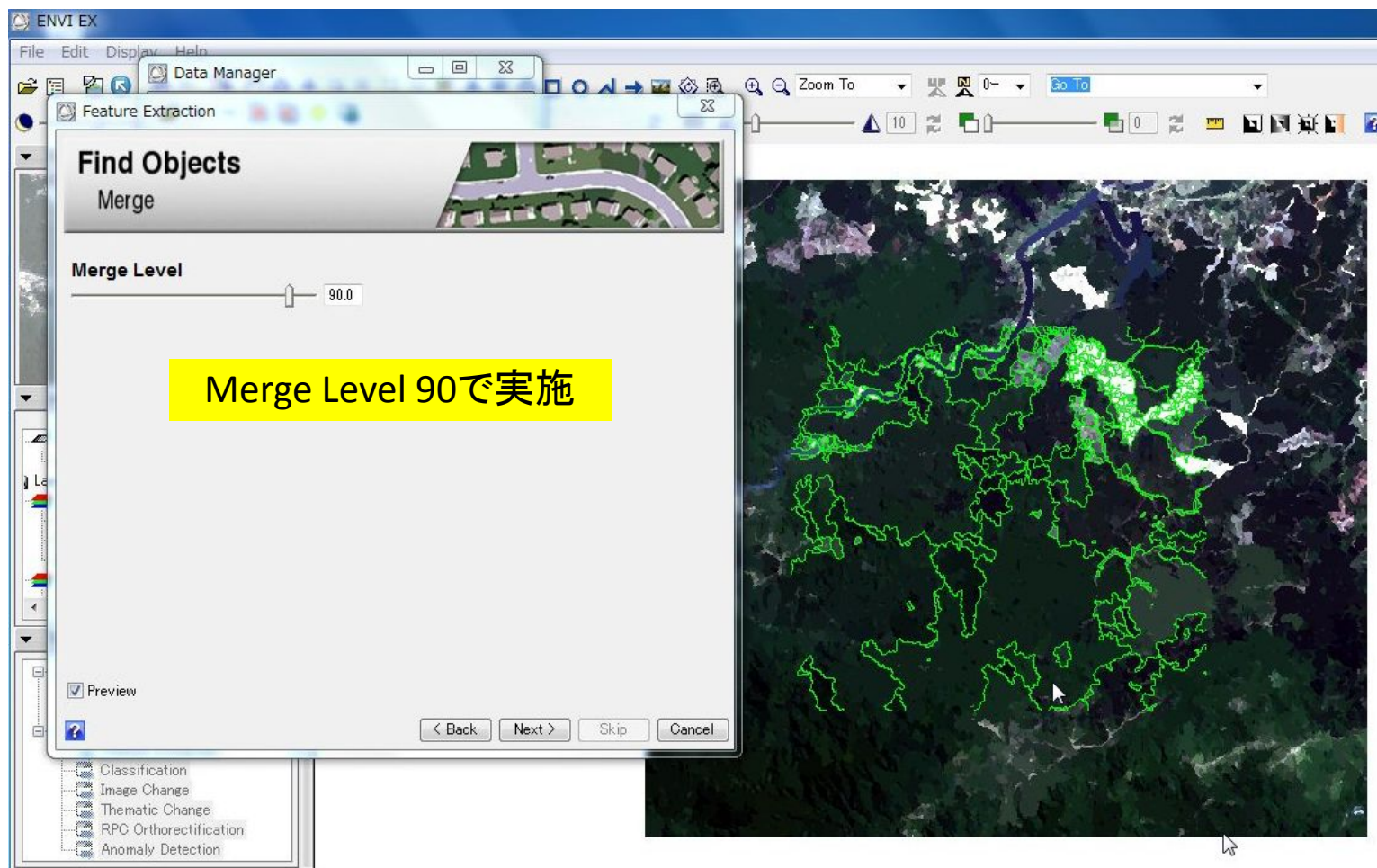
明らかにセグメントが少ない



# 画像解析ソフトの紹介

## ENVI EXの画像分割の仕組み

- Marge(結合)の実施 隣接する類似したオブジェクトを結合する。





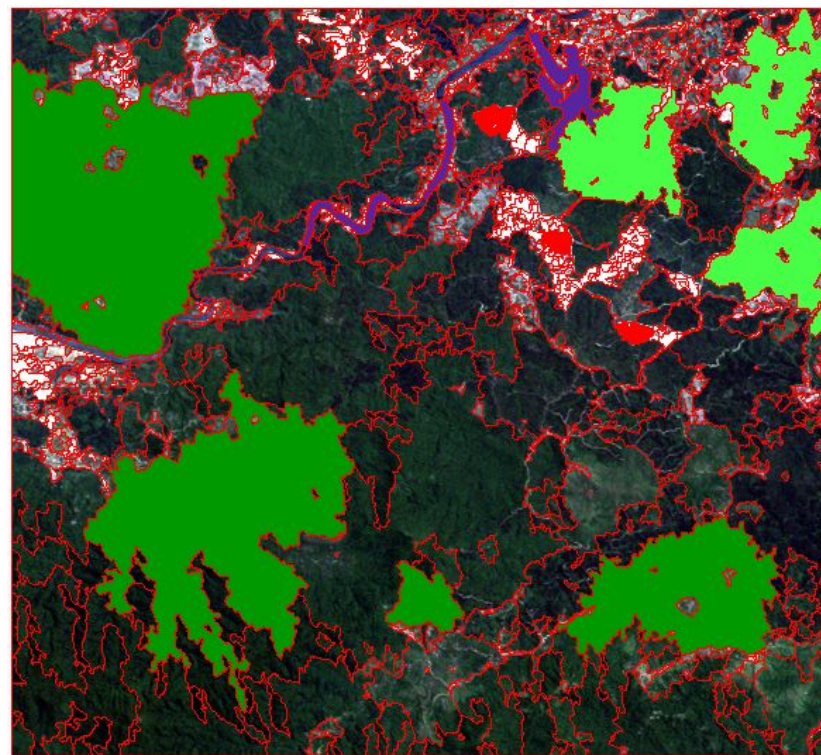
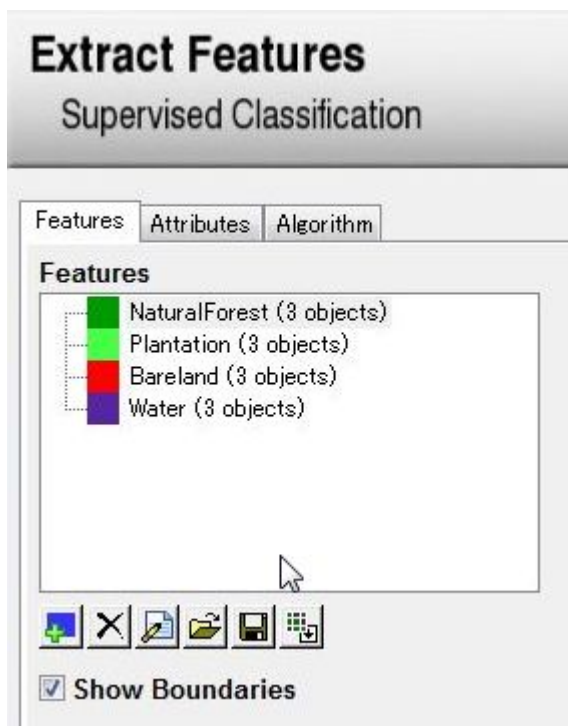


# 画像解析ソフトの紹介

## ENVI EXの画像分割の仕組み

- 教師つき分類の実施

- 作成したオブジェクトがどの土地被覆に該当するかを判読し、分類カテゴリーを作成する。
- 区分カテゴリーごとに、該当するオブジェクトを選択する(教師データの追加)。





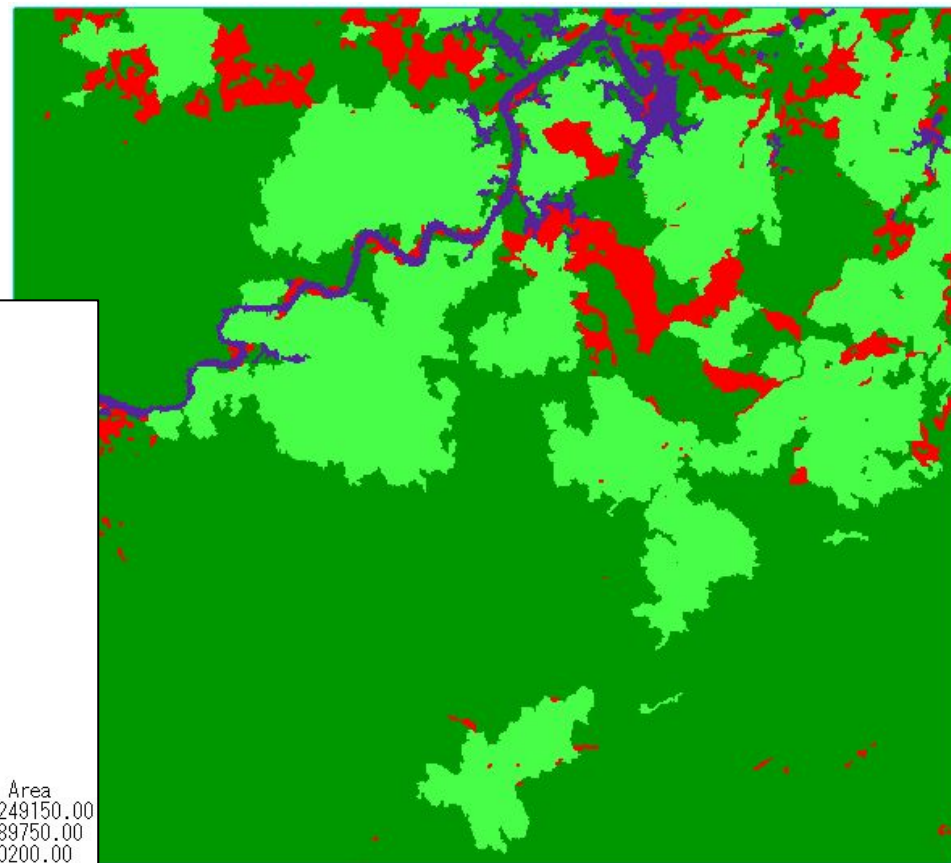


# 画像解析ソフトの紹介

## ENVI EXの画像分割の仕組み

### ・ 教師つき分類の結果

- ・ 教師データを基に、画像全体を分類する。分類結果は、Shapeデータで出力する。この作業を複数時点で実施し、GIS上で時点間の森林の変化を計算する。



File Name: SampleC\_1996\_2010\_subset

Segment Scale Level: 40.0  
Merge Level: 90.0  
Refine: No Thresholding

Attributes Computed:  
Spatial  
Spectral  
Texture

Classification: Supervised (K Nearest Neighbor)

Export Options:

Vector Output Directory: C:\Users\USER\AppData\Local\Temp\

Feature Info:

NaturalForest Type: Polygon

Plantation Type: Polygon

Bareland Type: Polygon

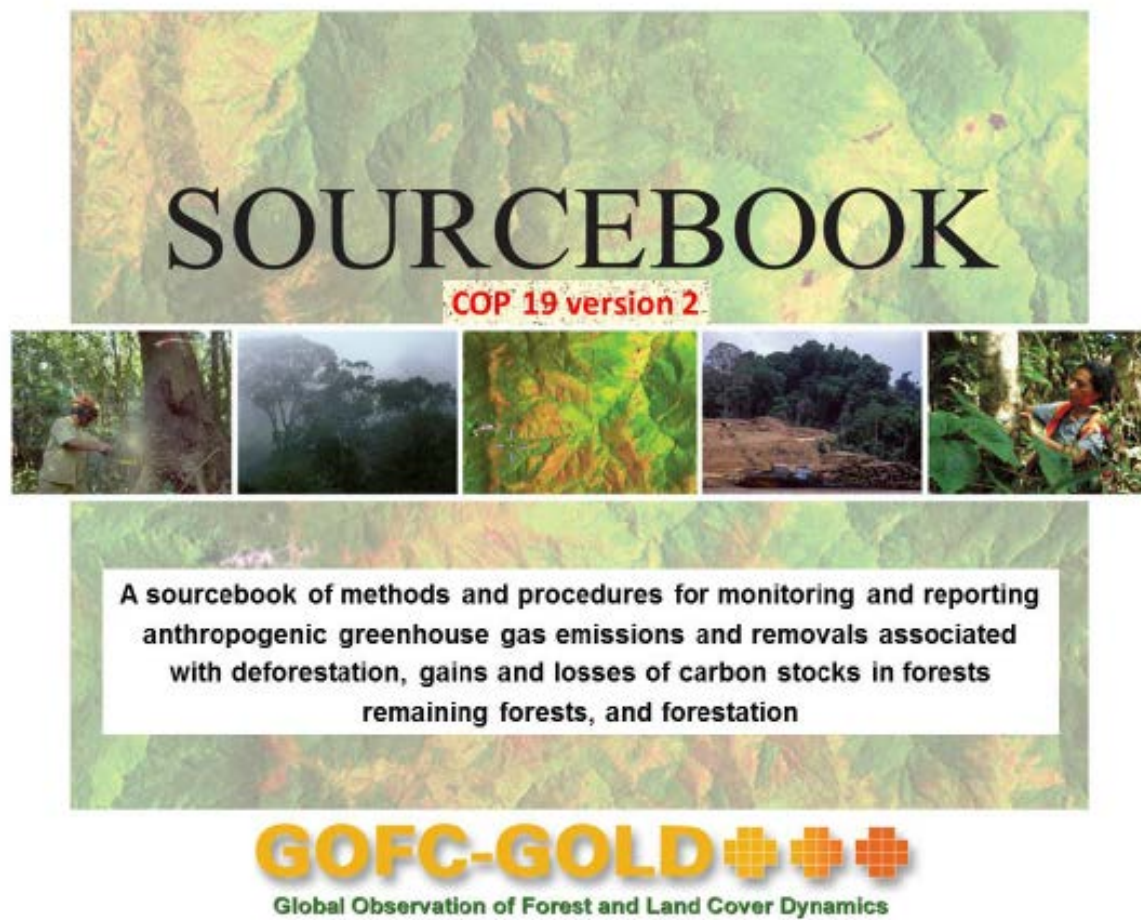
Water Type: Polygon

Smoothering: Threshold of 1

| Feature Name  | Feature Count | Total Area   | Mean Area  | Min Area | Max Area     |
|---------------|---------------|--------------|------------|----------|--------------|
| NaturalForest | 158           | 183329550.00 | 1160313.60 | 900.00   | 132249150.00 |
| Plantation    | 29            | 71605800.00  | 2469165.50 | 4500.00  | 15189750.00  |
| Bareland      | 211           | 16990650.00  | 80524.41   | 900.00   | 2950200.00   |
| Water         | 43            | 7196400.00   | 167358.14  | 2700.00  | 4793400.00   |



# 森林－非森林変化のモニタリング (GOFC-GOLD / COP19)





# 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:<br>Forest land<br>Cropland<br>Grassland<br>Wetlands<br>Settlements<br>Other Land | <b>Article 3.3</b><br>Afforestation/Reforestation,<br>Deforestation<br><br><b>Article 3.4 mandatory</b><br>Forest management<br><br><b>Article 3.4 elective</b><br>Cropland management<br>Grazing land management<br>Forest management<br>Revegetation<br>Wetland drainage and<br>rewetting | <b>CDM</b><br><br>Afforestation/<br>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 <a href="http://www.unfccc.int">www.unfccc.int</a> )                                                                                                                   |                                                   |



## 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<br>(250-1000 m) | SPOT-VGT (1998- )<br>Terra-MODIS (2000- )<br>Envisat-MERIS (2004 - 2012)<br>VIIRS (2012-)                  | ~ 100 ha<br>~ 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<br>(10-60 m)    | Landsat TM or ETM+,<br>Terra-ASTER<br>IRS AWiFs or LISS III<br>CBERS HRCCD DMC<br>SPOT HRV<br>ALOS AVNIR-2 | 0.5 - 5 ha                    | Landsat & CBERS are free;<br>for others:<br><\$0.001/km <sup>2</sup> for historical data<br>\$0.02/km <sup>2</sup> to \$0.5/km <sup>2</sup> for recent data | Primary tool to map deforestation and estimate area change                                                                           |
| Fine<br>(<5 m)         | RapidEye<br>IKONOS<br>QuickBird<br>GeoEye<br>WorldView<br>Pleiades<br>Aerial photos                        | < 0.1 ha                      | High to very high<br>\$2 -30 /km <sup>2</sup>                                                                                                               | 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 <sup>17</sup> )            | Feature                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| USA                                 | Landsat-7 ETM+          | 30 m<br>60×180 km <sup>2</sup>       | 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<br>60×60 km <sup>2</sup>        | 60 US\$/scene<br>0.02 US\$/km <sup>2</sup>                    | 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<br>160×660 km <sup>2</sup> | 3000 €/scene<br>0.03 €/km <sup>2</sup>                        | Commercial; Brazil uses alongside Landsat data                                                                                                           |
| France                              | SPOT-5 HRVIR            | 10-20 m<br>60×60 km <sup>2</sup>     | 2000 €/scene<br>0.5 €/km <sup>2</sup>                         | 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)

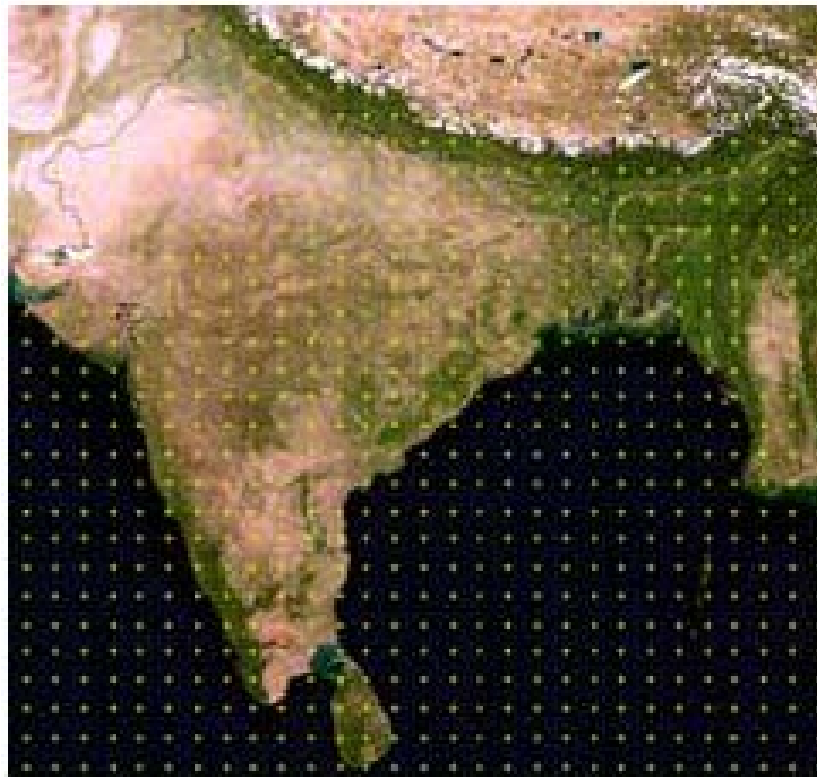
表 T05-1 代表的な光学衛星センサのスペックおよびデータ価格

| 衛星                     | センサ         | 打ち上げ年 | 運用終了年 | 地上解像度                          | 観測幅 (km) | 傾斜 観測 | 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) | 注文 撮影 | フルシーン 価格 (円) | 単位 (円/km <sup>2</sup> ) | 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 ( <a href="http://glvis.usgs.gov/">http://glvis.usgs.gov/</a> 、 <a href="http://earthexplorer.usgs.gov/">http://earthexplorer.usgs.gov/</a> ) |
| 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 度観測再開                                                                                                                                                                |
|                        | 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)<br>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<br>Pan: 10cm          | 37       | ×     | Pan: 可視 (1)<br>MS: 可視 (4)、近赤外 (3)、中間赤外 (3)                                                    | 705     | 16       | 16       |       | 0            | 0                       | 合衆国 (NASA)            | <a href="http://eo1.usgs.gov/">http://eo1.usgs.gov/</a> 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/<br>EOS-Aqua | MODIS       | 1999  | 運用中   | 250m/500m/<br>1km              | 2330     | ×     | 250m: 可視 (1)、近赤外 (1)<br>500m: 可視 (2)、近赤外 (1)、中間赤外 (2)<br>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)            | <a href="http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/">http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/</a> より無料ダウンロード可                                                                               |
| SPOT 1-3               | HRV-XS,P    | 1986  | 1993  | Xs: 20m<br>P: 10m              | 60       | ○     | XS: 可視 (2)、近赤 (1)<br>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<br>P: 10m               | 60       | ○     | X: 可視 (2)、近赤外 (1)、中間赤外 (1)<br>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<br>P: 5/2.5m         | 60       | ○     | X: 可視 (2)、近赤外 (1)、中間赤外 (1)<br>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

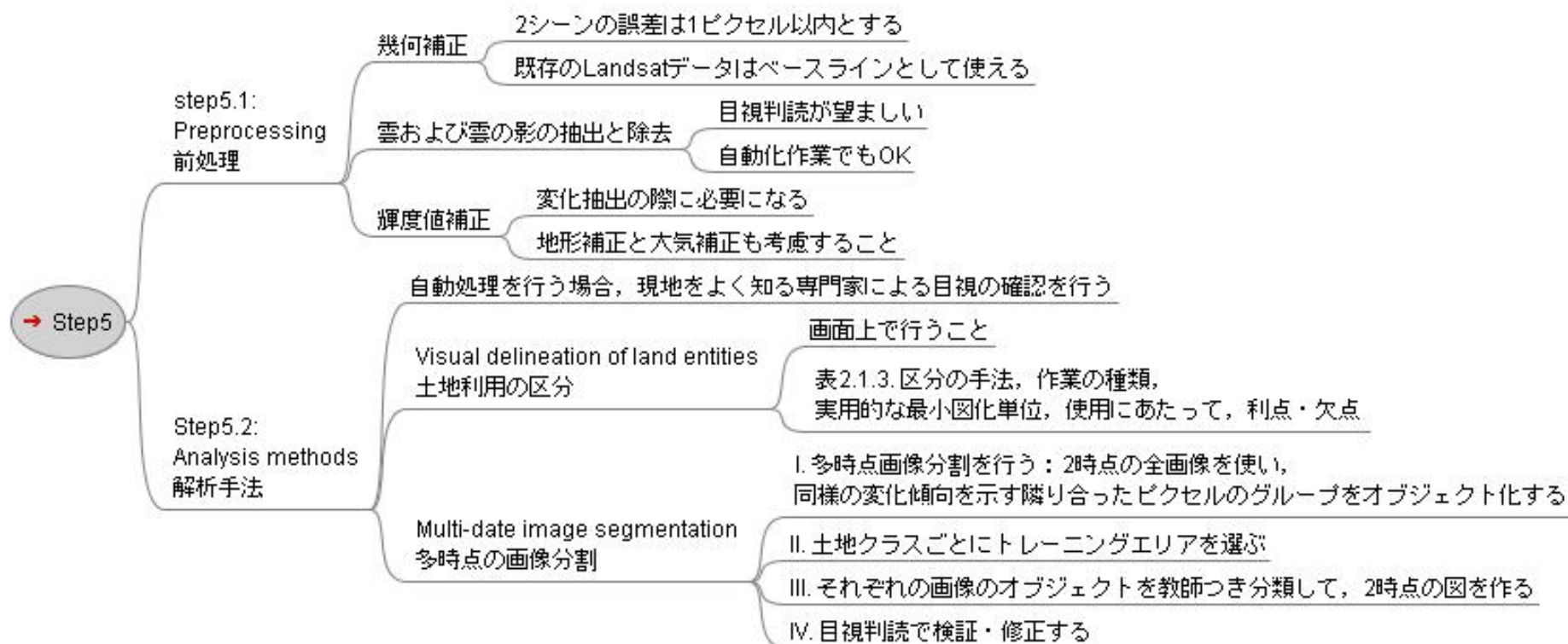






# Step5: Proccess and analyze the satellite data

## 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                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- multiple date preferable to single date interpretation</li> <li>- On screen preferable to printouts interpretation</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- closest to classical forestry inventories</li> <li>- very accurate although interpreter dependent</li> <li>- no map of changes</li> </ul> |
| Visual delineation (full image)  | Visual interpretation                                     | 5 – 10 ha                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- multiple date analysis preferable</li> <li>- On screen digitizing preferable to delineation on printouts</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- easy to implement</li> <li>- time consuming</li> <li>- interpreter dependent</li> </ul>                                                   |
| Pixel based classification       | Supervised labeling (with training and correction phases) | <1 ha                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- selection of common spectral training set from multiple dates / images preferable</li> <li>- filtering needed to avoid noise</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- difficult to implement</li> <li>- training phase needed</li> </ul>                                                                        |
|                                  | Unsupervised clustering + Visual labeling                 | <1 ha                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- interdependent (multiple date) labeling preferable</li> <li>- filtering needed to avoid noise</li> </ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- difficult to implement</li> <li>- noisy effect without filtering</li> </ul>                                                               |
| Object based segmentation        | Supervised labeling (with training and correction phases) | 1 - 5 ha                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- multiple date segmentation preferable</li> <li>- selection of common spectral training set from multiple dates / images preferable</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- more reproducible than visual delineation</li> <li>- training phase needed</li> </ul>                                                     |
|                                  | Unsupervised clustering + Visual labeling                 | 1 - 5 ha                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- multiple date segmentation preferable</li> <li>- interdependent (multiple date) labeling of single date images preferable</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- more reproducible than visual delineation</li> </ul>                                                                                      |



# 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.



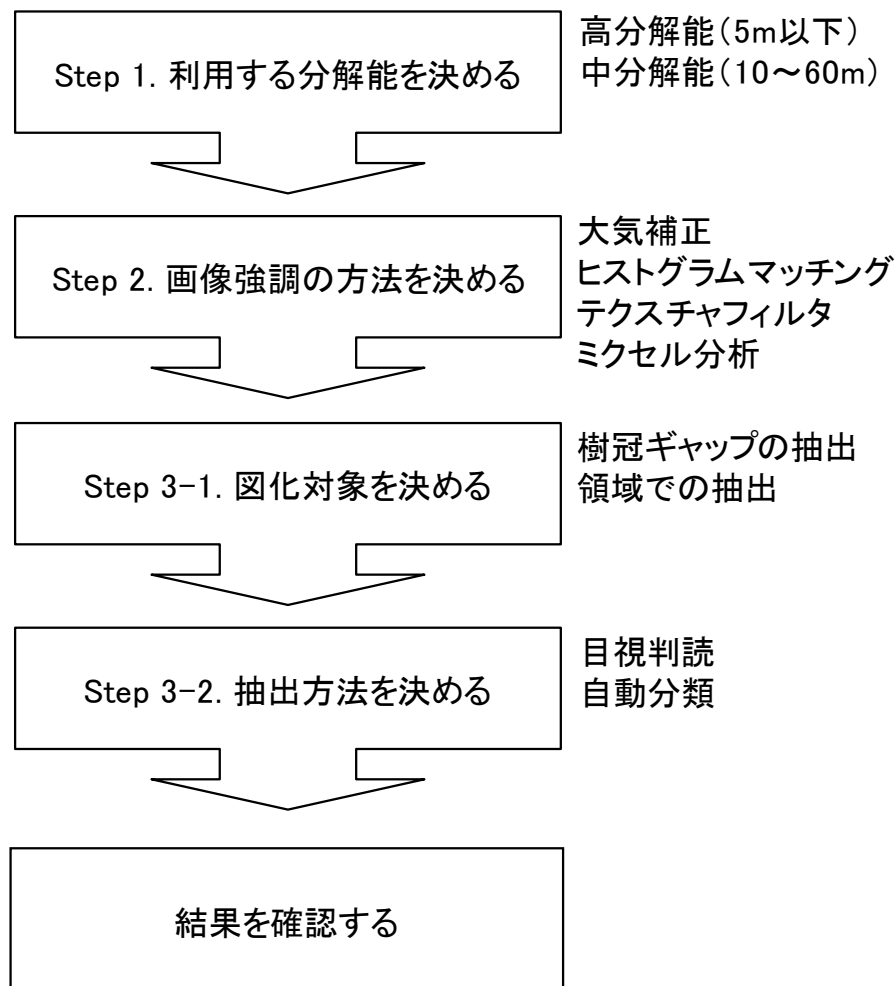
(image size: 11 km x 11 km)

- 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

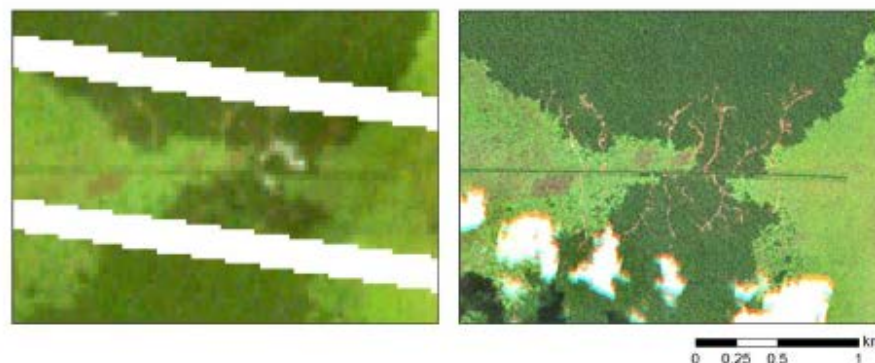




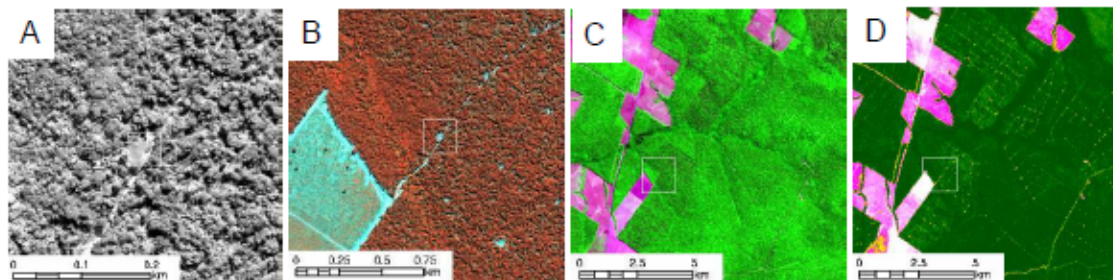


# Step1: Define the spatial resolution 利用する空間分解能

**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.





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

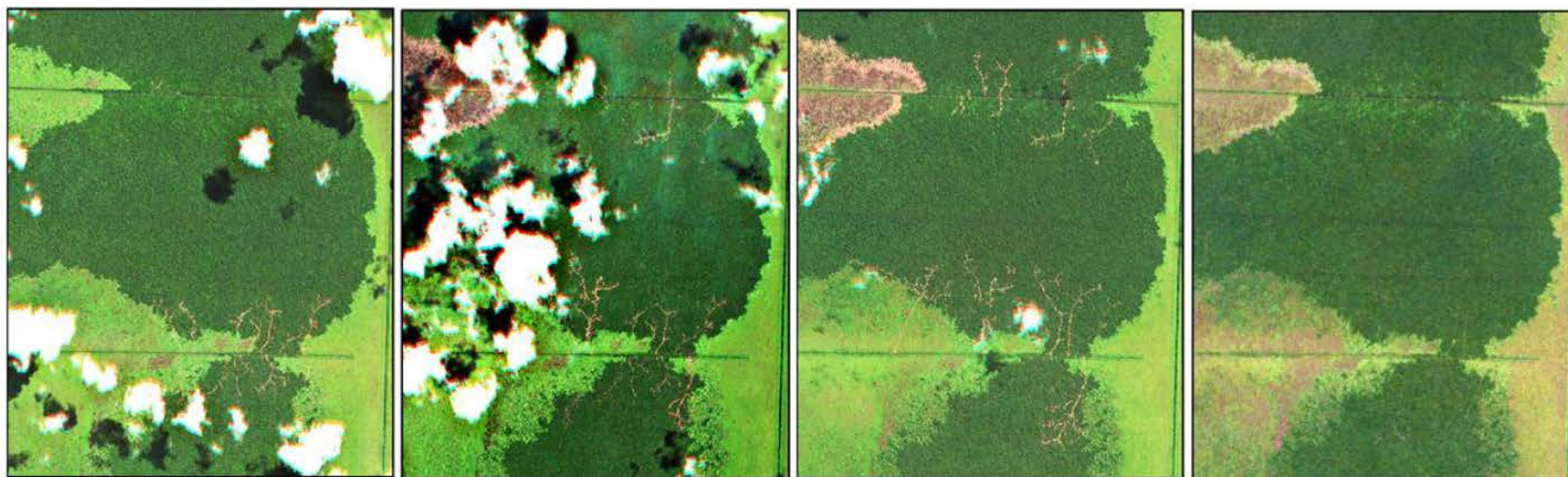
**Figure 2.2.4.** Temporal progress of unplanned selective logging activities in a tropical peat swamp forest in Central Kalimantan (Borneo) is shown with true color RapidEye images. The acquisition date is depicted above the scenes.

22/05/2009

10/02/2010

21/06/2010

29/07/2012

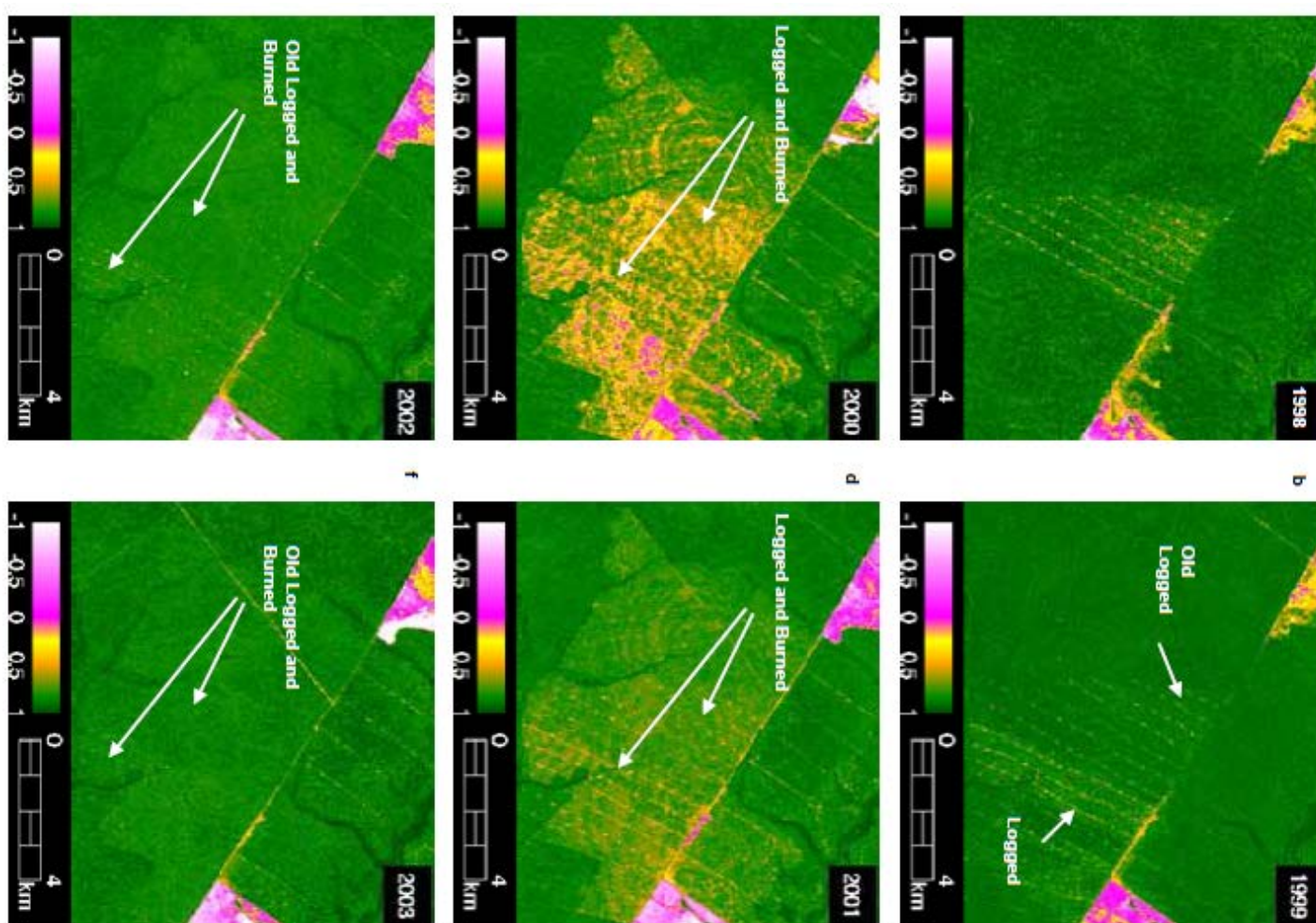






# Step2: Enhance the image

## 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 <sup>20</sup>                                | 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 <sup>21</sup>                            | 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 <sup>22</sup>                           | 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 <sup>23</sup>                            | 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?





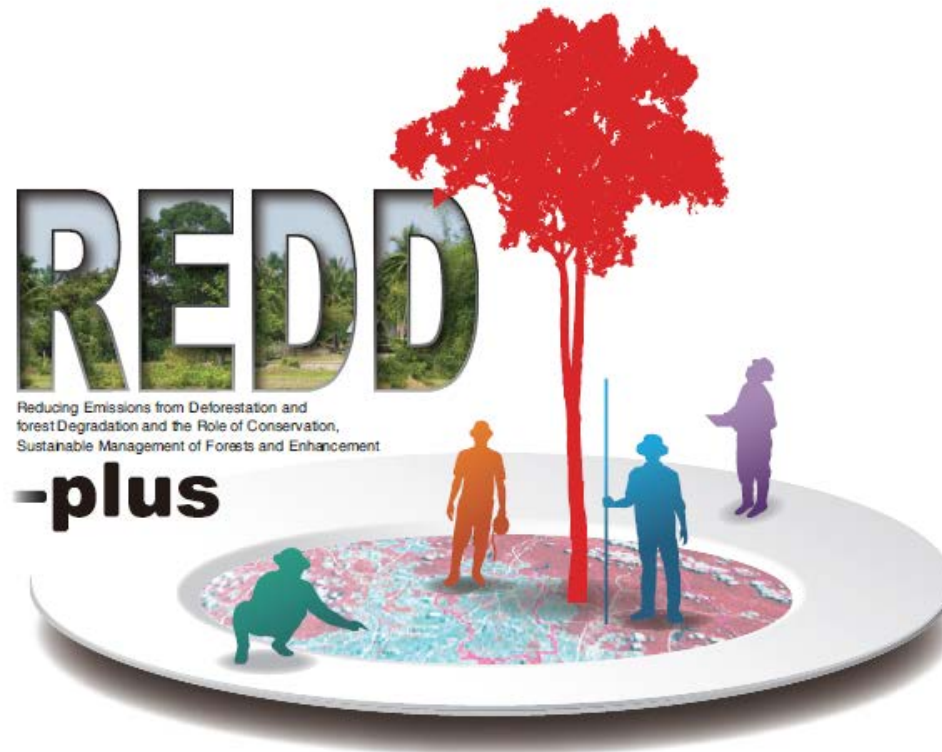
## 2.2.2.2 Indirect approach to monitor forest degradation 森林劣化モニタリングへの非直接的アプローチ

### 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 (REDD-plus COOKBOOK)



## COOKBOOK

HOW TO MEASURE AND MONITOR FOREST CARBON



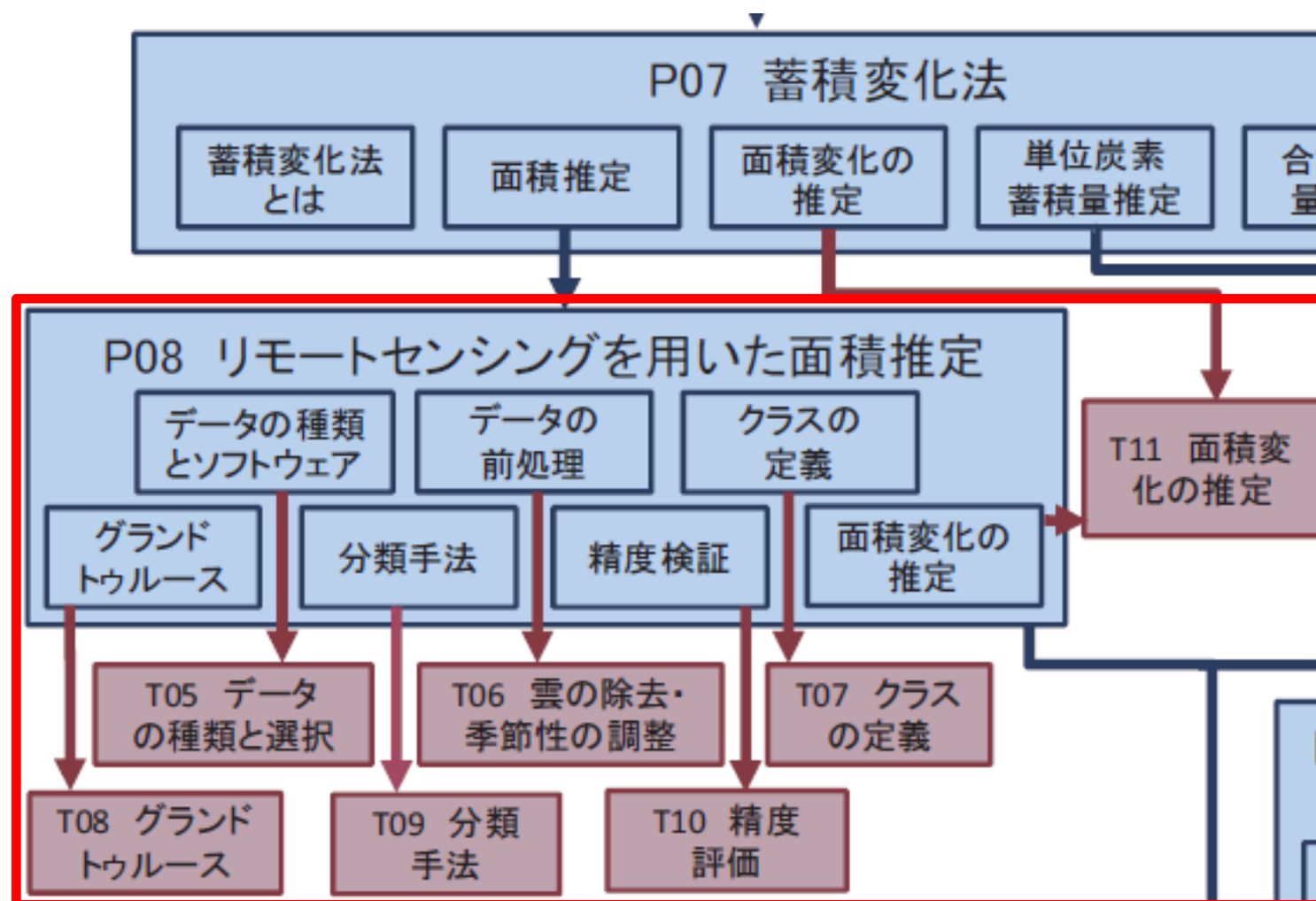
# COOKBOOKの該当目次

|                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------|-----|
| 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 /<br>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 /<br>画像比較の注意点と現在の流れ           |     |





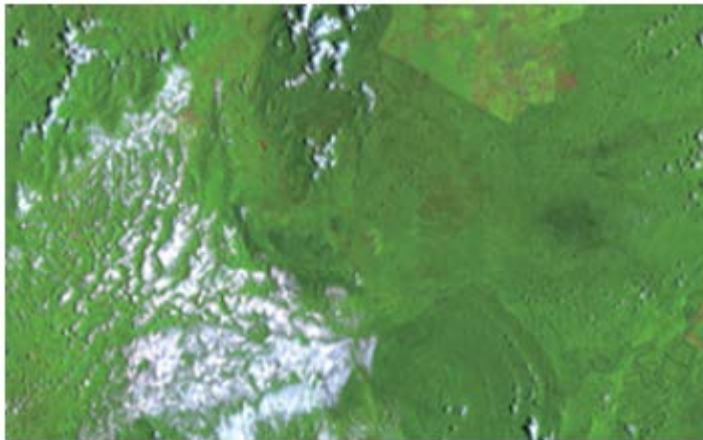
# COOKBOOKの該当レシピ



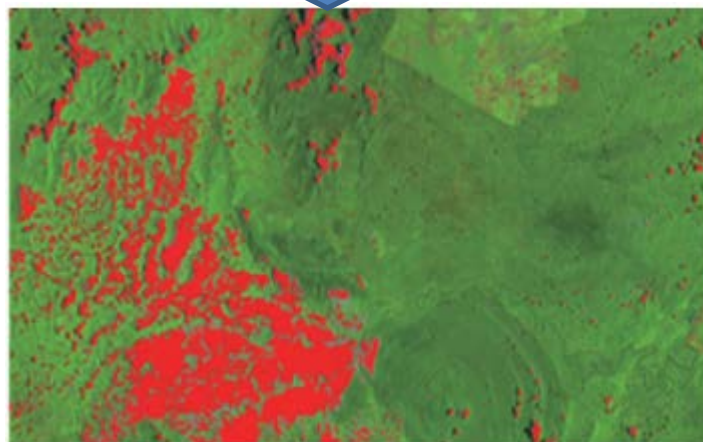


# 雲の除去 (Recipe-T06)

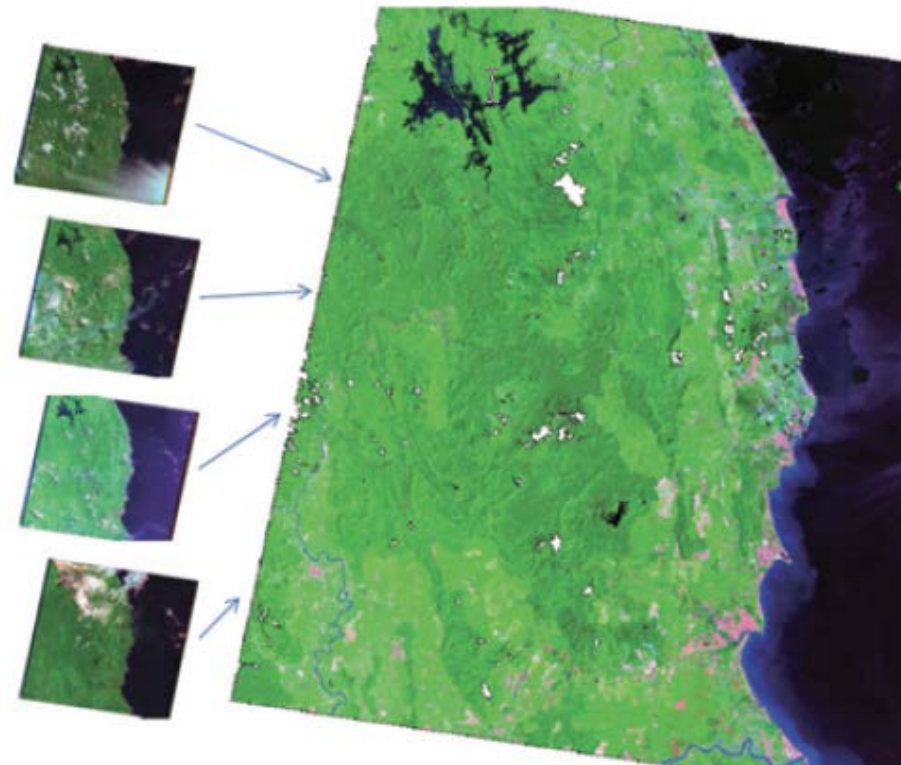
処理前



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。