

# 航空写真を用いた森林資源調査手法に関する研究開発

范 海生\* 後藤 真太郎\* 平 沼 茂\*\*

キーワード：画像セグメンテーション処理、森林変化抽出、オルソ画像、GIS

## 1. はじめに

航空写真オルソ画像データ（以下は「オルソ画像」と呼ぶ）、または空間分解能が1 mを切る高分解能衛星画像（IKONOS や Quick-Bird）を利用する森林資源調査業務では、森林計画図（縮尺は5千分の1、構成単位は小班ポリゴン）の修正を定期に実施する。そのため、森林計画図修正予察業務（県森林政策課より）を行い、作成された森林計画図修正案（小班変化抽出結果データ）を市町村森林組合に渡し、現場状況と照らし合わせた上で、森林計画図・森林簿の修正を行う（埼玉県庁2008）。

大縮尺の森林計画図更新には、オルソ画像の利用は有効であるが、その反面、画像データ量が膨大なため、画像処理と変化抽出には効率向上の必要がある。図1に示した一例の作業手順では、中分解能の衛星画像より得た変化抽出結果は森林計画図上の可能な変化箇所を示しているが、次のステップのオルソ画像を用いた森林変化マッピングは手作業レベルに留まっている。そのため、地域規模の作業には膨大な工数が生じる。

本研究では、地域規模の森林計画図修正予察作業の効

率向上を目標とし、オルソ画像を用いた画像分類、小班単位の変化抽出から森林計画図変化の図化に至る一連の工程実施手法を検討した。

## 2. 作業手法

### 2.1 オルソ画像処理手法

図1に示した従来の作業手法で生じた工数の膨大化問題について、通常に採用したピクセル（画素）ベースでの画像処理（画像分類と変化抽出含み）手法は次のような問題点が存在する。

まずは、画像上同質変化域のポリゴン化が困難。ピクセルベースの画像変化抽出結果には分散したノイズ（変化した画素）が大量に存在する。なお、同質変化ポリゴンを作成するためのノイズ除去には、ピクセルベースの画像フィルター処理手法は適用し難い：

同質変化画素集合体の面積が計算できないので、指定面積（画素数）以下のノイズの除去が難しい。

変化画素集合体間の空間隣接関係を把握できないため、同質変化画素集合体の合併、または異質変化画素集合体間の（面積比較より）吸収処理はできない。

画像フィルター演算により変化域の境界線を大幅に変動させる可能性がある。それにより、変化ポリゴンデータの図形補修作業（主に手作業）時間を膨大化させる。

それから、画像上の変化域をポリゴン化しても、ノイズポリゴンの除去、同質ポリゴン合併と異質ポリゴン吸収など煩雑な図形データ処理が必要となり、結果として変化マッピング作業時間は膨大化する。

更に、高分解能画像上は、樹冠の日照条件の異なりなどによる同一森林植生の不均一さが顕在化する。

従って、高分解能画像を用いた林相区分および変化抽

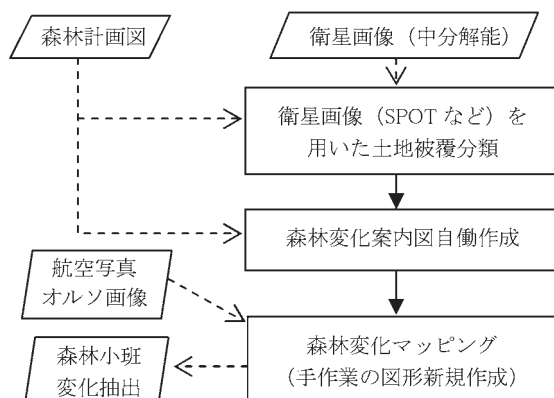


図1 従来の工程実施手法

\* 立正大学地球環境科学部

\*\* 株式会社いであ

出には、森林を同質の集合体に区分し解析単位とする必要がある ( 加藤 2004 )。そこで本研究では、オブジェクトベースの画像処理手法を試み、その工程作業方法の実証結果を以下に報告する。

## 2.2 全体の流れ

オルソ画像処理から森林計画図小班変化マッピングに至る一連の作業は二つ段階に分ける。図2と表1参照。

フェーズⅠの「画像処理」では、画像処理ソフトを用いて画像分類と変化抽出を行い、森林計画図小班の変化データ ( ポリゴン ) を作成する。

フェーズⅡの「変化マッピング」では、GISソフトを利用して上記の変化ポリゴンデータの確認と編集 ( 図形と属性 ) を行い、森林計画図修正案を作成する。

## 2.3 画像処理

### 2.3.1 データ前処理

森林計画図データは、次の画像分類と変化抽出用参照

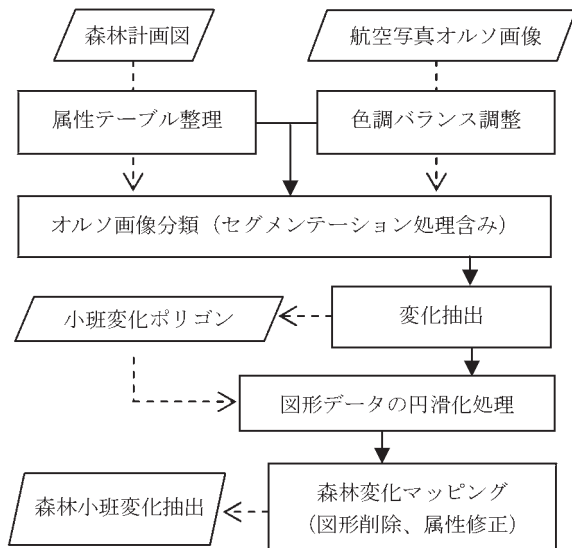


図2 オルソ画像を用いた森林変化マッピング手法

表1 森林計画図修正予察業務作業手順

フェーズ	作業項目	説明
Ⅰ	データ前処理	森林計画図データ整理、オルソ画像色調バランス調整
	オルソ画像前処理	画像セグメンテーション処理よりオブジェクト単位の階層型データ構造の作成
	画像分類と変化抽出	オブジェクト単位の階層型データ構造に基づく画像分類、小班変化分析と変化抽出
Ⅱ	森林計画図変化マッピング	小班変化抽出結果の確認と編集、図形データの円滑処理

表2 小班属性フィールド「樹種」のコード転換一覧表

新「樹種」コード	元フィールドよりコード転換定義	説明
1	「樹種」 = { 1, 2, 3, 4, 5, 7 }	針葉樹
2	「樹種」 = { 6, 8, 9, 10, 11, 12 }	広葉樹
9	「小班 ID」 = { 9 - 99, 9 - 98 } AND 「樹種」 = 0	森林計画区外
10	「小班 ID」 = { 0 } AND 「樹種」 = 0	無立木地*1

\*1 森林計画図上は小班が記載されているが、現況では伐採跡地や草地、竹林等、林分が存在しない区域のことを指す

データとし、その属性テーブルは、後述の画像分類体系と合わせ再整理した。表2参照。

オルソ画像の前処理では、作業全域のオルソ画像間の色調統一処理を行った。この作業により、後述の画像分類では、画像毎の ( 分類用 ) サンプル ( オブジェクト ) の手動採集時間を有効に節約できた。

### 2.3.2 画像セグメンテーション処理

本研究では、画像セグメンテーション処理機能を有すドイツ DEFINIENS AG 社製ソフト「eCognition」を利用した ( DEFINIENS AG, 2004 )。画像初期処理結果は表3と図3に示す。

#### (1) オブジェクトのスケール

これからの画像処理は、各レベルのオブジェクトを処理単位とし実施した。レベルⅠ作成用パラメータ「スケール」の設定は、森林同一樹種の集合体を最小限に区分できることを標準とした。レベルⅤは最上位であり、元小班ポリゴンと等しく作成した。

#### (2) オブジェクトの属性情報

各レベルのオブジェクトには、元樹種コード、オブジェクト内画素の輝度統計量 ( 平均値、標準偏差 )、オブジェクトの形状指数 ( 面積、長幅比率など )、隣接オブジェクトの種類情報または隣接関係 ( 共通境界線割合など ) など属性情報が付与された。

#### (3) 階層型構造の特徴

上位と下位レベルの間には、空間包含関係に基づき、各レベルでの解析には互いに属性情報が参照できる。また、元森林計画図小班ポリゴンは各レベルの共通主題図に指定したことにより、各レベルにおける画像処理 ( 後述の画像分類と変化抽出 ) はいずれも所属した元小班ポリゴンをマスクとした。これは、画像変化抽出処理の本来と一致している。

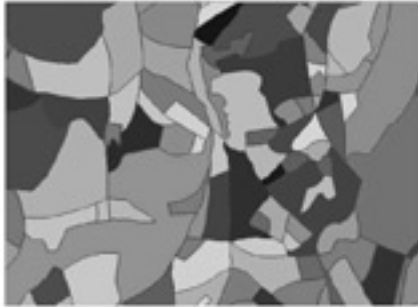
#### (4) 処理特徴

画像セグメンテーション処理では、画像毎の解析パ

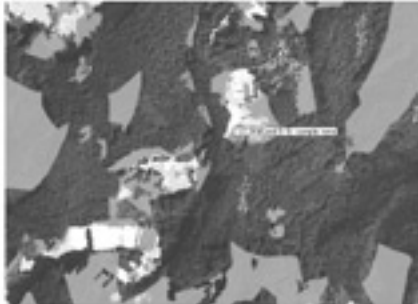
表3 階層型オブジェクトデータの初期構造

レベル	解析上役割	説明
I	画像分類用	オブジェクトベース画像分類用(基礎)レベル
V	小班主題図	元森林計画図小班ポリゴンより作成され、下位レベル情報のまとめに利用

レベルV  
小班オブジェクト



レベルI  
基礎オブジェクト(分類付)



ソースデータ  
オルソ画像

図3 オルソ画像の前処理結果イメージ

ラメータ調整はほとんど必要がなく、バッチ処理の形で完全自動化を実現した。

なお、中間レベルII~IVは、後述の画像分類と変化抽出段階で順に作成する。

### 2.3.3 画像分類

#### (1) 基礎分類

上記のレベルIにおいて、表4で示した分類系に従ってオブジェクト分類を実施した。

分類精度を向上させるため、輝度情報の他、元小班樹種コードを加えた。また、輝度特徴は近似する種類(道路、裸地、建物用地)を区別するため、形状指数 - オブジェクト長幅比率を利用した。

表4 画像分類体系(レベルI)

種類	内容	利用したオブジェクト情報項目		
		輝度	元小班樹種	形状
樹木	広葉樹と広葉樹を含む			
裸地	植物被覆なし区域、一部の農地を含む			
草地	ゴルフ場、スキー場を含む			
農地	作物植えた状態の農地			
建物用地	別荘、住宅と工場など用地			
道路				
水面				
陰影	地形、樹木又は建物の陰影区域			

表5 画像分類体系(レベルII)

種類	利用したオブジェクト情報項目					
	下位	隣接		形状指数		主題図
	分類情報	境界線	分類情報	面積	長幅比率	樹種コード
針葉樹						
広葉樹						
裸地						
草地						
農地						
建物用地						
道路						
水面						
伐採地						
陰影						

#### (2) 分類結果の統合

レベルIの分類結果を統合するため、まずレベルIIを作成してから(より大きいスケール値を指定する)、レベルIIにおいて、次の処理項目を含んだ再分類を行った。

針葉樹と広葉樹の区分。オルソ画像上両者の輝度特徴は近似するため、樹種識別にはオブジェクト模様特徴を反映するユーザ定義指標を加えた。その内、陰影面積割合は重要な判断指標として採用した。表6参照。

伐採地の区分。伐採地の既存定義より、樹木と非樹木類面積比率というユーザ定義指数を利用した。

ノイズオブジェクトの除去。面積閾値を指定した上、孤立したオブジェクトの除去、同質オブジェクトの合併、または異質オブジェクトの吸収などの処理を実施した。例えば、非樹木類の各種類オブジェ

表6 新種類分類方法（レベルII）

種類	レベルIの関連種類			判断の仕方
	樹木	非樹木	陰影	
針葉樹				陰影面積割合より 区別
広葉樹				
伐採地				樹木と非樹木の面積比率

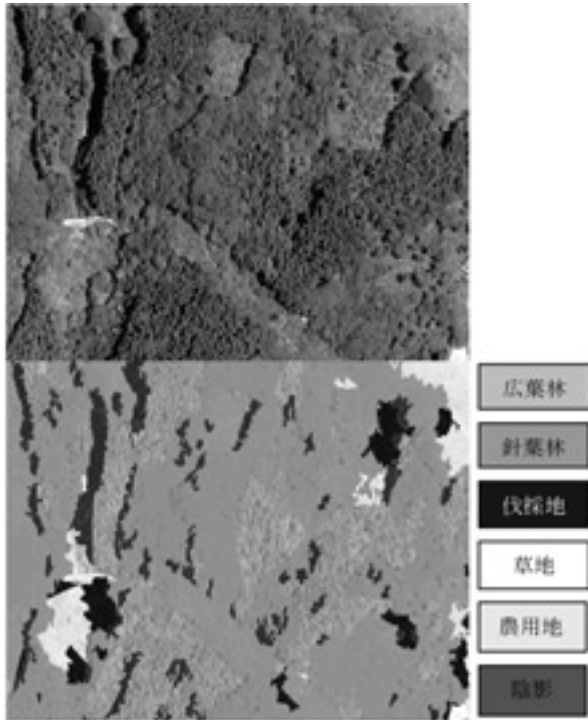


図4 イメージオブジェクト分類効果図（レベルII）

クトを一つの非森林種類に合併することと、一定条件（面積と隣接オブジェクトと共通境界線割合）を満たした針葉樹と広葉樹間の吸収処理など。

図4には、レベルIIにおけるオブジェクト再分類と統合した結果例を示す。その結果は次の変化抽出に利用する。

## 2.3.4 変化抽出

### (1) 初期変化抽出

レベルIIと同じオブジェクト構造を持つレベルIIIにおいて、レベルIIの分類結果に基づき森林計画図小班の変化抽出を行った。

処理仕様の変化コードを表7に示す。

レベルIIIの変化抽出結果に基づき、下記の処理を行った。

元小班変化面積割合の計算。前述の主題図レベルVにおいて、下位オブジェクト（レベルII）の変化

表7 小班変化コード表(1)

区分	変化方向	
	針葉樹へ	広葉樹へ
針葉樹から		021
広葉樹から	031	
無立木地から	053	063

表7 小班変化コード表(2)

	変化方向		
	針葉樹から	広葉樹から	無立木地から
田	100	200	300
畑	101	201	301
樹園地	102	202	302
採草放牧地	103	203	303
ゴルフ場	104	204	304
スキー場	105	205	305
住宅、工場、別荘用地等	110	210	310
	106	206	306
採石採土地	107	207	307
ダム敷	108	208	308
道路敷	109	209	309
その他民有地	111	211	311
未開墾地、荒野	113	213	313

【補足】森林計画区以外から森林への変化（“9-99”、“9-98”区域適用コードは「090」とする。

面積を合計し、元小班オブジェクト（レベルV）を変化面積割合ランクに分類した（表8参照）。

レベルIVの作成。（同一小班以内）隣接した同一変化オブジェクトを合併する方法で上位のレベルIVを作成した。

### (2) 統合変化抽出

レベルIVで行う変化抽出は、小班変化データ作成の最後段階とし、次の処理を行った。

ノイズ変化オブジェクトの除去。面積閾値を指定した上、孤立した変化オブジェクトの除去や同質変化オブジェクトより吸収の処理を行った。

異質変化オブジェクトの合併。その内、非森林化した各種類の小さいオブジェクト群を一つの変化オブジェクトに合併すること（上位面積を持つ種類を採用、表7-2中の変化種類）や、面積と共通境界割合など情報項目を参照した樹種変化種類（表7-1中の053と063）間の合併も実施した。

図5に示すように、レベルIVの処理結果には、変化ポリゴン境界を正確に保つ一方、様々なノイズ（変化オブ



表8 小班変化面積割合ランクの定義表

ランクコード	変化面積割合範囲	説明
1	[0% - 10%]	小班内の変化は少ない
2	[10% - 50%]	小班内に変化あり
3	[50% - 80%]	小班大部が変化あり
4	[80% - 100%]	小班はほぼ全体に変化

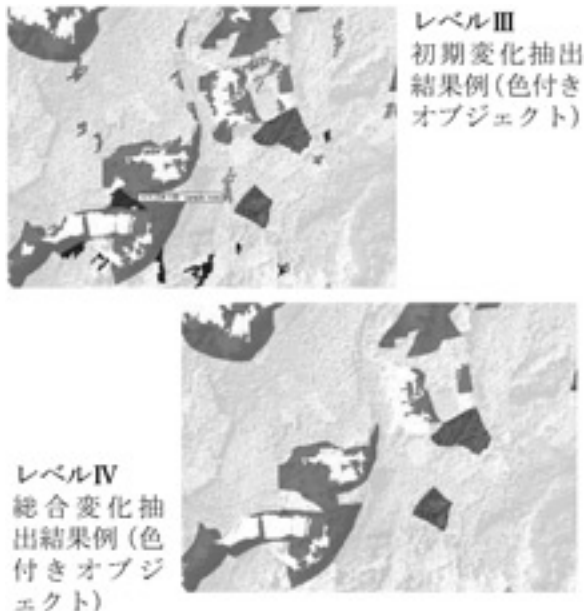


図5 変化抽出結果効果図 (レベルIII - IV)

オブジェクト)を有効に除去し、変化ポリゴンを有効に集約したことにより、次の変化マッピング作業の効率向上に役に立った。

#### 2.4 変化マッピング

工程作業フェーズIIの「変化マッピング」では、GISソフトを利用して、レベルIVで出力された小班単位の変化ポリゴンデータの確認と編集(図形と属性)を行い、最終的に森林計画図修正案を作成する。作業手順は、次の作業項目に分けた。

##### 2.4.1 変化ポリゴンの円滑化処理

画像処理ソフトより出力されたポリゴンデータ境界線は次のような問題点を持っているため、GISソフト(MapInfoを採用)で編集前のポリゴン円滑化処理(ソフトArcInforを利用)を行うことが必要となる。

ラスターデータから作られた境界線はこぎり歯の形となった。

ポリゴン境界線の冗長性問題があった。



図6 ポリゴンの円滑化処理効果

表9 作業実績比較

年度	作業面積 (km <sup>2</sup> )	作業工数 (人月)
平成13	852	12
平成14	818	5

#### 2.4.2 図形データと属性の編集

円滑化処理効果(図6参照)により、変化ポリゴン境界の細かい編集はほぼ必要となくなった。そのため、図形データと属性編集には、まだマニュアル操作が必要だが、ただし、主な作業内容は図形の合併・削除及び属性修正といった簡単な作業項目となったため、従来の作業パターンより作業工数は大幅に縮減できた。

#### 2.5 作業手順の全体特徴

画像処理部分の「画像分類」と「変化抽出」アルゴリズムが全てモデル化することにより、バッチ処理による自動化処理が可能となる(画像上地物色調変化により分類サンプルを手動採集する場合がある)。変化マッピング段階では、ほぼすべてのノイズが削除できる。図形の細かい修正をする必要がなくなるため、作業工数は大幅に削減できると考えられる。

### 3. 実証実験の結果

平成14年度群馬県森林計画図修正(案)予察業務では、本文で提案した手法を実験した。平成13年度の業務実績と比較したところ、平成14年度の業務実績は大幅に改善されたことを明らかになった。表9参照。

#### 4. まとめ

実際の業務運用実験結果により、本文で提案したイメージオブジェクトベースの高分解能画像処理 ( 画像分類と変化抽出 ) 手法の実用性が明らかになった。特に、画像分類と変化抽出アルゴリズムのモデル化は地域規模の画像解析による資源調査業務の効率向上において有力な手段だと考えられる。また、これからの画像処理ソフトの機能進化と共に、より効率的な画像処理モデルの研究開

発成果が期待される。

#### <参考文献>

- 1) 埼玉県庁, 2008, 森林簿・森林計画図の修正, 埼玉県ホームページ (<http://www.pref.saitama.lg.jp>).
- 2) 加藤正人, 2004, 森林リモートセンシング, (株)日本林業調査会.
- 3) DEFINIENS AG, 2004, User Guide of Definiens eCognition Version 3.0, DEFINIENS AG, Germany.

## Research on Large-scale Forest Change Mapping Method Using Aerial Ortho-photo

FAN Haisheng\*, GOTO Shintaro\*, HIRANUMA Shigeru\*\*

\*Faculty of Geo-environmental Science, Rishso University

\*\*IDEA Co. Ltd.

#### Abstract:

Traditional pixel-based image processing method, including image classification and change detection, cannot meet requirements on large-scale forest change mapping by using high resolution ortho-image, such as Quick-bird image or aerial ortho-photo. This paper proposed image-object-based method for image classification and change detection on aerial ortho-photo with spatial resolution of 0.5 meter. It was proved that, pixel noise existing within image classification and image change detection outcome from high-resolution image could be avoided and erased efficiently by applying image segmentation method. Also, efforts were made to improve whole-process efficiency, including modelling of image processing algorithms and data-process automation. High efficiency was proved by application of proposed method within large-area forest change mapping project in mountainous area of GUNNMA Pref., Japan.

Keywords: Image segmentation, Forest change mapping, Ortho-photo, GIS