

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 25 日現在

機関番号：13101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24780145

研究課題名(和文) リモートセンシングデータを駆使した人工林間伐支援画像処理システムの構築

研究課題名(英文) Development of the image processing system with remotely sensed data for plantation forest thinning support

研究代表者

村上 拓彦 (Murakami, Takuhiko)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：20332843

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：林野庁ならびに国土地理院が撮影してきた過去の空中写真の時系列解析により、施業区画(小班)を抽出する手法の開発を試みた。輝度値及びDSM(Digital Surface Model)の2時期合成画像の主成分分析により得られた第2主成分画像を用いて伐採地ならびに植栽地の抽出を試みた。今回提案する手法によって、人工林のより正しい施業区画の描画の可能性が示された。

単木梢端抽出法の一つである局所最大値フィルタ法に着目し、GeoEye-1パナクロマチック画像(分解能0.5m)においてスギ人工林の密度推定が可能かどうか検討した。今回、フィルタサイズ、ローパスフィルタ処理の有無について検討した。

研究成果の概要(英文)：We propose a new method of extracting plantation boundary through multi-temporal image analysis using past aerial photos which have been taken by the Forestry Agency and the Geographical Survey Institute, Japan. Clear cut and planted sites were extracted with the second principal component of the principal component analysis of a two-year composite image of brightness or DSM data. This proposed method presented the possibility to delineate the boundary of the plantation.

We focused on local maximum filtering method as one of the extraction methods for single tree apex, and performed the stand density estimation of Japanese cedar plantation using GeoEye-1 panchromatic image (0.5-m spatial resolution). In this paper, we examined about the effect of filter size of maximum filter or low-pass filter for noise reduction on stand density estimation.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：空中写真 施業区画 人工林 境界 林齢 立木密度 局所最大値フィルタ法 ローパスフィルタ

1. 研究開始当初の背景

2009年12月に公表された「森林・林業再生プラン」によって人工林経営の立て直しが急務となっている。成熟期を迎えている国内の人工林は将来の木材資源の確保のみならず、炭素固定機能や再生可能エネルギー促進においても重要視されている。

この人工林において間伐の遅れが重要な課題となっている。間伐を効率的に進めていく上で、「境界情報」「林齢情報」「立木密度情報」が重要となる。これは間伐の目的が、標準的には林齢に応じた立木密度の管理だからである。これらの情報を提供するものとして各都道府県に導入が進んだ森林GISが期待されるが、その位置精度、面積精度、林齢精度は十分なものではなく(松村, 2007)、近年注目されている施業の集約化の基礎情報としても耐えられる情報ではない。

このような状況を踏まえると、「境界情報」「林齢情報」「立木密度情報」を既存のデータベースに頼らず、むしろ一から構築する方が有効と考えられる。そこで申請者が注目したのが空中写真である。中でも、1940年代から存在する過去の空中写真(時系列空中写真)である。戦後の日本では地図作製を主な目的として、国土地理院と林野庁により膨大な数の空中写真が定期的(およそ5年ごと)に撮影されてきた。この空中写真を時系列に組み合わせることで、伐採直後や植栽当時の人工林の状況を可視化し、林齢情報を有したポリゴン(境界情報)を提供できる。また、高分解能衛星データ(特に近年打ち上げられたGeoEye-1, WorldView-1など)のパンクロマチックデータは現在最高で50cm程度の空間分解能を有しており、立木密度の推定に耐えられるレベルにまで至っている。今回、「境界情報」「林齢情報」「立木密度情報」を組み合わせ、一連の人工林間伐支援画像処理システムの構築を目指すものである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、リモートセンシングデータ(空中写真データ, 高分解能衛星データ)の記録性, 客観性, 広域性に着目し, これらを用いて人工林の境界情報, 林齢情報と立木密度情報を得ることである。最終的にこれらを一連の画像処理システムとして統合させる。

境界情報, 林齢情報

戦後から現在に至る時系列空中写真を全てオルソフォト(正射投影写真)データとして処理し, それらから多時期合成画像を作成する。この合成画像データから森林変化領域を効果的に抽出し, 人工林境界とその林齢の推定手法を確立する。さらに森林変化領域の境界画定手法を, オブジェクトベース画像分類にヒントを得て, 多時期合成画像の最適なセグメンテーション手法(領域分割手法)を開発し, 境界抽出をほぼ全自動で行える手法を検討する。

立木密度情報

空中写真データや高分解能衛星データから立木密度を推定する先行研究(Wulder et al., 2000など)を参考にしつつ, 人工林内の単木樹冠抽出手法を開発する。高分解能衛星データを局所最大値フィルタ法で処理する。これに加え, watershed法やvalley-following法による樹冠抽出についても検討し, 国内の人工林に適合したパラメータを探索する。

人工林間伐支援画像処理システムの構築

時系列空中写真から得られた境界情報と林齢情報, 高分解能衛星データから得られた立木密度情報を組み合わせ、効果的な可視化手法(マッピング手法)を検討する。一連の画像処理の流れを人工林間伐支援画像処理システムとしてまとめる。このシステムが森林組合等の林業事業者, 地方自治体における森林計画業務に効果的に活用できるようにシステムの公開方法を検討する。

3. 研究の方法

境界情報, 林齢情報(新潟県)

新潟県村上市勝木地区(旧山北町勝木)を対象地として解析を実行した。1963年から2002年の期間に林野庁により撮影された7時期各3枚の計21枚の空中写真を準備した。人工林分布の図化には2006年5月4日取得のSPOT-5パンクロマチック画像(空間分解能5m)を使用した。森林GISには, 新潟県農林水産部治山課より提供を受けた2006年時点の森林GISを使用した。森林GISデータが有する施業区画情報(新潟県では林班, 小班の下に施業区画が存在する)と属性情報(林種, 林齢)を用いて, 今回の手法で得られる林齢情報, 区画情報と比較した。

現在の人工林分布を把握するため, SPOT-5パンクロマチック画像を用いて人工林とその他の土地被覆の分類を行った。

空中写真のオルソ幾何補正には写真測量ソフトLeica Photogrammetry Suite 9.2(Leica Geosystems社)を使用した。参照画像には水平方向に簡易オルソ空中写真を用い, 垂直方向には10mメッシュDEMを使用した。

各時期のステレオペアデータからDSM(Digital Surface Model)を作成した。このDSMからDEMを差し引くことDCHM(Digital Canopy Height Model)を求めた。今回, 色調だけでなく, 林分の高さ情報を用いることで, 高さの異なる林分の識別を試みた。特に, 色調の類似する若齢林と壮齢林の分離をDCHMデータに期待した。

LPSにおいて, DSMをポイント形式で出力した後, ポイントからTIN(Triangulated Irregular Network)を生成し, 空間分解能1mでラスタ形式に変換したDSMを林分分類に使用した。最初に出力するポイント形式の高さ情報(マスポイント)は, 10m×10mに1点程度で生成されたが, 影の部分は画像同士のマッチングが難しいため十分にマスポイントが生成されなかった。なお, LPSのオブシ

ンモジュールである ATE (Automatic Terrain Extraction) を用いてステレオペアデータから高さ情報を抽出した。

本論では隣接する 2 時期をそれぞれ組み合わせ、2 時期合成画像を使用して林分分類を行った。分類に使用する画像は輝度値の 2 時期合成画像及び DSM の 2 時期合成画像の主成分分析により得られた第 2 主成分画像(以下, Brightness-PC2, DSM-PC2)である。抽出された Brightness-PC2 と DSM-PC2 を合成したものを分類対象とした。本研究では 7 時点を使用した解析を行うため、隣接した 2 時期を 1 組とした計 6 つの 2 時期合成画像を作成した。分類は eCognition を使用し、オブジェクトベースで実行した。

分類クラスとして no change (変化なし), cut (伐採地), plant (植栽地) の 3 クラスを設定した。分類手法には CART 法 (Classification And Regression Trees) を用いた。使用したソフトは R 2.10.0 であり、関数 tree を使用した。CART 法に用いる説明変数は, Brightness-PC2 と DSM-PC2 のオブジェクト内でのデジタルナンバーの平均値である Mean を使用した。

境界情報, 林齢情報 (福島県)

福島県会津美里町の旭無量地区と佐賀瀬川地区を対象地として、時系列空中写真を用いた人工林の境界抽出、林齢推定を行った。IKONOS パンシャープン画像を用いて、針葉樹林のみを抽出したマスク画像を作成した。

隣接する 2 時期の間で変化抽出を行った。2 時期の画像は 1976 年と 1987 年の撮影の空中写真を用いた。分類に使用した画像は輝度値の 2 時期合成画像の主成分分析により得られた第 2 主成分画像(以下, Brightness-PC2)である。

オブジェクトベースで分類を行った。セグメンテーションには eCognition を使用した。分類クラスは 3 つ設け、伐採地を "Cut", 植栽地を "Plant", 樹高成長のみの場所を "No Change" とした。分類は CART 法を用いて行った。分類の際に用いた説明変数は Brightness-PC2 の Mean (平均) および Standard deviation (標準偏差) である。抽出結果から人工林施業区画マップを作成した。

立木密度情報

新潟県東蒲原郡阿賀町(旧上川村)のたきがしら湿原周辺を研究対象地として、高分解能衛星データに局所最大値フィルタ法 (LMF 法) を適用し、スギ林分の立木密度推定を行った。使用データは GeoEye-1 のパンクロマチックデータ (2010/5/18 撮影) である。

画像のノイズを軽減するためパンクロマチックデータに対してローパスフィルタを適用した。本研究では 3×3 のローパスフィルタを適用した。今回、最大値フィルタのフィルタサイズとして 3×3, 5×5, 7×7 の 3 種類を設定した。最大値フィルタ処理後、最大値フィルタ処理後画像と最大値フィルタ処理前画像の差分画像を作成した。差分画像に対し

て 2 値化処理を行い、梢端候補のみを抽出した。2 値化画像にマスク処理を行い、調査プロットのみを抽出した。マスク処理した 2 値化画像のピクセル値 1 の箇所をポイントデータ (シェープファイル) に変換し、パンクロマチック画像と重ね合わせた。

本論ではローパスフィルタ処理の効果を確認するため、未処理での立木密度推定を試みた。

4. 研究成果

境界情報, 林齢情報 (新潟県)

CART 法による分類には主に Brightness-PC2 が使用され、5 期間で最初の分岐に使用されていることから、2 時期合成画像 (輝度値合成画像) の第二主成分は変化抽出において主要な要素であるといえる。DSM-PC2 は 1965 ~ 1981 年の変化抽出において最初の分類に使用され、分類過程全体に対して影響が強いことが示された。この期間の変化抽出には伐採後植栽され、輝度値変化量において成林との差異が表現されていない事を確認し、例外的に "cut and plant" のクラスを設けている。このように時間の経過により成長した林分を抽出するために DSM-PC2 が有効といえる。他にも 1981 ~ 1986 年の cut と no change の分類で DSM-PC2 が使用されていた事から、DSM の変化量情報は伐採地の把握に有効に使用できると考えられ、特に、撮影年次の開いた場合に効力を発揮する事が分かった。以上のように、2 つの特徴量はその特性を補完し合い、精度の向上を実現していると評価できる。

森林 GIS との局所的な比較の結果、抽出結果により森林 GIS の区画情報の精度を向上できる可能性がある事がわかった。区画については、前述のように施業区画単位でのデータを元にして上位区分の林分情報が作成されるため、森林現況の整備には施業区画単位での精度向上が不可欠である。本手法は実際の伐採、造林単位と合致した小班情報を取得するものであるため、この問題に対して真値に近いデータを提供し、改善につながる事が期待できる。また林齢情報についても、更新の申告漏れによるものと考えられる、林齢が大幅に超過している小班に対し、修正の可能性を例示した。本手法によりこれらを合理的に推定できる事は有益であると言える。

境界情報, 林齢情報 (福島県)

林齢推定について検証したところ、林齢が正確に推定されている箇所も多かったが、一方で、画像分類による推定結果が実際の林齢よりも若干高い箇所も数々見受けられた。今回は、伐採後ただちに植栽が行われたと仮定して林齢の推定を行った。そのため、その過程が成り立たない場合、すなわち、伐採後にある程度の時間をおいてから植栽が行われた場合、抽出結果から推定される林齢は実際の林齢よりも高くなってしまふ。その結果として、推定結果と森林簿データとの間にずれ

の生じた箇所が発生したものと考えられた。

伐採地を正確に捉えられていたところもあったが、一方で、伐採地であるにもかかわらず、No Change と分類されてしまっているところや陰影部を Cut として分類してしまっているところも確認された。陰影部の誤分類については、陰影部を抽出して除外する、または地形効果補正を行うことによりその改善を図ることが可能である。Cut と No Change の誤分類については、オブジェクトベースでの分類を行う際に取得するサンプルの質を上げることによりそれを減らすことが可能であると考えられる。

画像分類抽出結果と森林 GIS データの施業区画の精度比較を行った。Omission Error は画像分類による抽出結果の方が低かった。一方、Commission Error は森林 GIS の方が低い結果であった。また、全体として、区画によって精度のばらつきが大きかった。画像分類による抽出結果の方が区画を正確に捉えていたところもあったが、今回の抽出精度では森林 GIS を補う形で使用するの難しいと考えられた。

立木密度情報

現地の立木密度が 1,250 本/ha だったプロット 1, 2 で 3×3 フィルタ, 583 本/ha だったプロット 3 で 5×5 フィルタと 7×7 フィルタ, 300 本/ha だったプロット 4 で 7×7 フィルタでの推定立木密度がそれぞれ真値に近い値を示した。立木密度が低くなるにつれフィルタサイズが大きくなり、この両者に負の相関関係が認められた。フィルタサイズごとに推定立木密度に大きな違いが見られたこと、プロット 4 において 3×3 フィルタで処理すると一つの立木が複数の立木として抽出されていたことから、林分にあったフィルタサイズを設定することが重要であると考えられる。樹冠サイズの大きな林分において 3×3 フィルタを使用すると梢端が過大に抽出されてしまうのは既往の報告 (Wulder et al., 2000) でも指摘されており、国内のスギ人工林でも同じ事が生じることを確認できた。

ローパスフィルタ処理画像とローパスフィルタ未処理画像で推定立木密度に大きな差が出た。フィルタサイズが大きくなるにつれ、推定立木密度の差は小さくなったものの、画像上で確認するとローパスフィルタ未処理画像では立木が無い箇所でも立木が抽出されていた。このことから、LMF 法を行う際の前処理としてノイズ除去は必須であるといえる。

本研究では立木密度に応じて適切なフィルタサイズを変動することが確認できたが、LMF 法が実用化されるためには現地データを用いずに立木密度を推定しなければいけない。そのためには画像から林分情報を取得し、取得したデータに応じてフィルタサイズを決定する仕組みが必要であろう。これには単木樹冠の範囲を watershed 法 (Persson et al., 2002), valley following 法 (Gougeon, 1995)

などで求め、樹冠直径推定の指標にする方法も考えられる。可変ウインドウサイズを検討している研究 (Wulder et al., 2000; Popescu and Wynne, 2004) もあることから、今後は梢端候補周辺の画素情報に基づいてフィルタサイズを自動的に決定していく手法を検討することが必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

村上拓彦・番場和徳・望月翔太 (2013) 時系列空中写真を用いた人工林小班区画抽出手法の開発. 森林計画学会誌 47: 27-36, 査読有

村上拓彦・高橋雅博 (2012) スギ人工林の密度推定を行うために局所最大値フィルタ法を GeoEye-1 パンクロマチックデータに適用した研究. 新潟大学農学部研究報告 65: 49-55, 査読無

<http://dspace.lib.niigata-u.ac.jp:8080/dspace/handle/10191/22574>

村上拓彦 (2012) 時系列空中写真合成画像を用いた境界情報の抽出と人工林林齢の推定. 現代林業 2012 年 4 月号: 40-44, 査読無

〔学会発表〕(計 2 件)

村上拓彦, リモートセンシング・GIS 技術の森林保全・管理への応用, 日本学会会議公開シンポジウム「農林水産業への地球観測・地理空間情報技術の応用」, 2013/3/21, 東京
Takuhiko MURAKAMI, Ecological applications of digital canopy height model derived from stereo pair aerial photo imageries. The 33rd Asian Conference on Remote Sensing, 2012/11/27, Pataya (Thailand)

〔図書〕(計 1 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 1 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6．研究組織

(1)研究代表者

村上 拓彦 (MURAKAMI, Takuhiko)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：20332843