

画像処理による空撮画像を用いた樹冠解析手法の開発

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/16616

氏名	小村 良太郎
生年月日	
本籍	石川県
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第607号
学位授与の日付	平成15年9月30日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	画像処理による空撮画像を用いた樹冠解析手法の開発
論文審査委員(主査)	村本健一郎(工学部・教授)
論文審査委員(副査)	長野 勇(自然科学研究科・教授) 橋本 秀雄(工学部・教授) 八木谷 聡(自然科学研究科・助教授) 松浦 弘毅(工学部・教授)

学位論文要旨

Abstract : Forests play an important role in maintaining environmental conditions suitable for life on the earth. Forests have seasonal cycles and change from year to year. External factors such as harmful insects may cause damage, and the surrounding conditions are not constant. All these factors have an effect on the tree crown, therefore crown size measurement is an important task in forest management. The goal of this study was to measure the distribution of the tree crown size in the forest including closed canopies by image processing methods. We assumed that one crown consists of leaves and branches of similar color and that there are shadow areas around the crowns. Additionally each crown grows differently and has different structure. These features are used to identify a circular crown area. The size of a circle representing the crown is computed using the brightness distribution and local fractal dimension within the circular area. To measure the crown size distribution, forest was photographed from a helicopter, and the images were analyzed using the suggested technique. Comparing the analysis results and visual inspection of the same area, we concluded that the proposed technique was effective for measuring the crown size distribution.

1. はじめに

森林は生物の生活環境において重要な役割を果たしている。また、資源としても重要である。その森林は季節や年を経るに従い自らを変化させている。また人間の活動、害虫、病疫等の外的な要因によっても様々に変化する。森林には様々な樹種が繁茂しており、多種多様な形態をとっている。形態のなかでも樹冠の大きさは樹齢、植物種によって様々である。森林を管理するには木々の状態を把握するための調査が不可欠である。また、京都議定書では二酸化炭素の吸収源として森林が注目されている。吸収量の算出には森林中の樹冠の割合を用いており、樹冠に関する情報を効率的に収集する方法が求められている。

森林等の樹木の調査を行うには現地へ赴いて実際に計測するのが最も詳細な情報を得るための手段であるが、広域を定量的に調査を行うには費用、労力の面で現実的ではない。広域を定量的かつ定期的、長期的に調査を行うには、航空機や人工衛星に搭載した観測機器から得られた画像データを解析するリモートセンシングが有効である。しかし、Landsat等の人工衛星による画像の空間解像度は樹冠の大きさに比べて低いため、樹冠を解析するには不十分である。一方、ヘリコプタなどの航空機による観測は人工衛星に比べ高い空間解像度の画像を取得することができ、目視によって樹冠の認識が可能である。画像処理によって樹冠を自動的に抽出することができれば、空撮画像より広域な森林の形態を解析することができる。

樹木等の植生の状態を観測画像より解析する場合、これまでは光合成などの植生の生理的メカニズムに起因する分光特性を利用してマルチスペクトル画像の輝度値を用いて、樹種分類や森林変化を調査する方法が多く用いられてきた。この方法では結果画像より植物領域と背景領域を分離することによって画像中に占め

る樹木の面積を求めることはできるが、輝度値の空間的な広がりの特徴としてとらえておらず、樹木の大きさとその数について調査を行うことができない。

論文では、林冠が閉鎖しているが目視によって樹冠を判定できる森林の空撮画像を用いて、樹冠の定量的解析を目視判読に相当する精度で行える手法を開発することを目的とした。近似色領域、すなわち構成画素の輝度値が一定の範囲となる領域の大きさを数値化し、樹冠の大きさを目視判定と同程度の精度で解析する手法を考案した。考案手法では「近似色円」という概念を導入し、近似色円を算出することにより樹冠の大きさを求めた。また、実際にヘリコプタから撮影された画像に本手法を適用することにより、考案手法の有効性を検討した。さらに、輝度値情報のみに基づく手法では適切な近似色円の算出が難しい画像においても、精度の高い解析が可能となるように局所フラクタル次元を導入し、その有効性についても検討した。

本手法で用いたデータは、一般的な民生用デジタルカメラで撮影した空撮画像であり、簡単な観測装置によってデータが取得できるため、低コストの森林調査が可能である。また、一般的な空撮画像への応用が容易であり、既に撮影された空撮画像を利用した、過去に遡った分析も可能となる。

2. 観測及び撮影方法

観測には6名搭乗可能なヘリコプタにて行った。観測は好天時に観測対象の上空にてヘリコプタをホバリングさせ、ヘリコプタの窓を開放し、カメラをほぼ真下にむけ撮影し垂直写真画像を得た。ヘリコプタと観測対象との距離は300mとした。実際の空撮画像の一部を図1に示す。図1の画像の地上分解能は約20cm/pixelであり、目視判読が十分可能な分解能を有している。解析結果と実際の樹冠の大きさの比較を行うために、観測画像中に樹冠のサンプル地点を設定し、樹冠の大きさを目視により判定を行い真値として用いた。図1中の円領域がサンプル樹冠である。サンプル樹冠は計20個設定した。更に、現地の樹木の繁茂状態と比較を行うために撮影された森林の単位面積当たりの樹木本数を現地調査を実施し取得した。

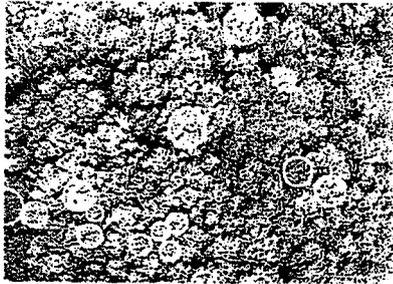


図1 観測された空撮画像の一部
(円領域：評価に用いたサンプル樹冠，空間解像度：
20 cm/pixel，画像サイズ：576 × 416 [pixel])

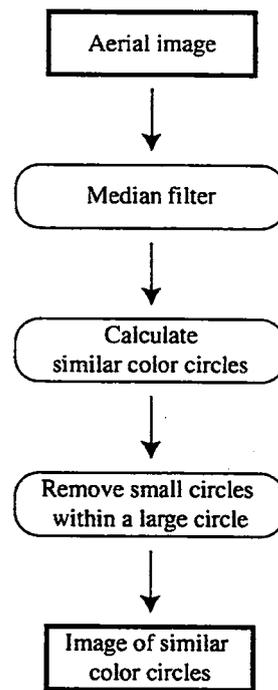


図2 解析手順の流れ図

3. 近似色円による解析

空撮画像において、樹木の樹冠やその集合は目視によってある程度判別することが可能であるが、画素毎に行う画像処理では樹冠の大きさとその位置分布を推定することは容易ではない。樹冠の大きさを推定するには同じ性質を持った画素がどれだけ広がっているかを特徴としてとらえる必要がある。

本研究では撮影された空撮画像に含まれる樹冠は円形であると仮定し、1つの樹冠を1つの円として描写することによって樹冠の大きさとその位置分布を推定する。円を描写する際に円内が一つの樹冠であるか否かの判定が必要である。同じ樹種からなる樹冠はほぼ同じ色をした葉や枝から構成されており、人は樹冠の判定時に葉や枝の構造とともに色情報とその判定基準ととしていると考えられる。そこで本解析では判定時の基準として円内の画素の輝度値を用いた。

3.1 解析方法

解析手順の流れ図を図2に示す。解析は、中間値フィルタを適用、近似色円分布算出、重複円の除去の手順で行った。

中間値フィルタによる処理

本研究では円近似の誤り判定の原因となる要素の除去を目的として観測画像に対して前処理を行った。前処理には中間値フィルタを用いた。影である画素の周辺画素が樹冠であった場合に、中間値フィルタを用いることによって誤り判定の原因となる影の画素が取り除かれることが期待できる。

近似色円算出

本解析では同じ色情報を持つ画素から構成される円を「近似色円」と定義した。解析において近似色円の直径を樹冠の大きさとして用いた。本解析で近似色円の算出の際に円領域画素の輝度値の頻度分布を求め、その輝度値が一定の範囲内に収まっているならば近似色である領域であると判定している。つまり円内の色情報に一定の許容幅を持たせる

まず注目画素を設定する。注目画素を中心として近似色の判定のための領域円を設定する。円の大きさの初期値は1 [pixel]とし、判定領域円を徐々に大きくしながら判定を繰り返し行う。近似色ではないと判定された時点で判定領域円の拡大を停止し近似色と判定された最大の円の半径を算出結果とする。

近似色判定に用いるのは円内画素の輝度値の最大値と最小値である。判定円の中心である注目画素のRGB各チャンネルの輝度値を基準値 v_{std} とする。判定円内画素のRGB各チャンネルの輝度値ヒストグラムを求め、各チャンネルの最大輝度値 v_{max} 、最小輝度値 v_{min} を求める。これらと基準値 v_{std} との差 dv_{max} 、 dv_{min} を式(1),(2)より求め、条件式(3)により近似色判定を行う。

$$dv_{max} = v_{max} - v_{std} \quad (1)$$

$$dv_{min} = v_{std} - v_{min} \quad (2)$$

$$\text{Similar color} = \begin{cases} \text{Ture} & (dv_{max} \leq th_{max} \text{ and } dv_{min} \leq th_{min}) \\ \text{False} & (\text{others}) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 th_{max} 、 th_{min} はそれぞれ、輝度値の最大値、最小値に対する許容値であり、 th_{max} は右方向が正、 th_{min} は左方向が正である。 $(th_{max} + th_{min})$ が許容幅となる。すべてのチャンネルで dv_{max} 、 dv_{min} が一定許容値 th_{max} 、 th_{min} 以内であれば近似色、いずれかのチャンネルで差が一定許容値より大きい場合には、近似色ではないと判定する。

画像中の全ての画素を順に注目画素としているため、算出した近似色円分布では同一樹冠内に複数の円が重複して存在しており、重複円の除去処理が必要となる。

重複円除去

近似色円算出で作成した近似色円分布には、大きな円の中にそれより小さな円が存在する。これは画像の全画素について近似色円を算出するため、大きな円の内部には必ず小さな円が分布することになるからである。この小さな円は大きな円で表される樹冠に含まれているため冗長な情報である。樹冠の位置を知る際には不要であるため小さな円の除去を行った。この処理により、1つの樹冠を1つの円で表現した樹冠分布を求めることができる。

3.2 結果および考察

評価用のサンプル地点20箇所の目視判読による樹冠直径を真値として、算出結果から平均相対誤差率 E 、平均絶対誤差率 E_{abs} 、相関係数 ρ を算出し、解析結果の精度を調べた。本解析で用いた E 、 E_{abs} は式(4)、(5)より算出した。

$$E = \left\{ \sum_n (d_{cal} - dv) / dv \right\} / n \quad (4)$$

$$E_{abs} = \left(\sum_n |d_{cal} - dv| / dv \right) / n \quad (5)$$

ここで、 dv は真値として用いた目視判読による樹冠の直径、 d_{cal} は解析により算出された円の直径である。また、サンプル地点の個数 n は20である。

許容幅を変化させ、樹冠の大きさを算出した際の誤差率と相関係数を表1に示す。目視判読を高い相関(許容値 $th_{max}=40$, $th_{min}=50$ のとき 0.75)と一定の誤差率(許容値 $th_{max}=35$, $th_{min}=45$ のとき 16.7%)で樹冠の算出が可能であり、本手法により目視判読の半自動化が可能となった。

表1 許容幅による誤差率 E , E_{abs} と相関係数 ρ
(基本手法)

条件	E	E_{abs}	ρ
$th_{max}=20, th_{min}=30$	-30.0%	31.2%	0.51
$th_{max}=25, th_{min}=35$	-19.4%	23.8%	0.53
$th_{max}=30, th_{min}=40$	-8.20%	19.8%	0.51
$th_{max}=35, th_{min}=45$	2.90%	16.7%	0.63
$th_{max}=40, th_{min}=50$	16.1%	21.0%	0.75

表2 許容幅による誤差率 E , E_{abs} と相関係数 ρ
(局所フラクタル導入後)

条件	E	E_{abs}	ρ
$stdth_{max}=15, stdth_{min}=25$	-18.6%	23.1%	0.51
$stdth_{max}=20, stdth_{min}=30$	-2.17%	13.9%	0.79
$stdth_{max}=25, stdth_{min}=35$	20.2%	23.3%	0.79

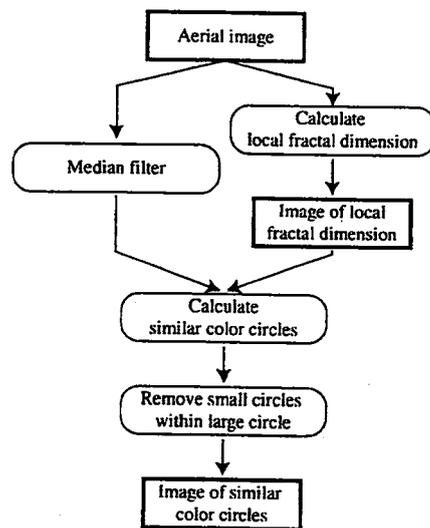


図3 解析手順の流れ図

4. 局所フラクタル次元導入手法

3で提案した近似色円による樹冠解析において、誤差や誤判定の原因となっていた樹木の繁茂状態による枝葉の影の影響を軽減する改良手法を考案した。輝度値情報のみによる解析手法では影の影響に対応することが難しいため、画像特徴量として、画像の自己相似性を数値化することが可能な局所フラクタル次元を導入した改良手法を考案し解析結果の検討を行った。

4.1 解析方法

3で提案した手法を基本手法と呼ぶ。図3に解析手順の流れ図で示す。基本手法との違いは、画像の局所フラクタル次元を求め、近似色円算出に導入している点である。

樹冠を構成する枝や葉の構造にはフラクタル的特徴があり、枝や葉の繁茂状態によりフラクタル特徴量であるフラクタル次元は異なる。そこで、局所フラクタル次元に応じて、近似色円算出時の許容値 th_{max} , th_{min} を変化させ、枝葉の影の影響に対応した。

まず、許容幅の基準となる基準許容値の上限 $stdth_{max}$ と下限 $stdth_{min}$ を定める。次に、画像全体の局所フラクタル次元 lfd の最大値 lfd_{max} と最小値 lfd_{min} を求め、式(6)を用いて、正規化局所フラクタル次元 $nlfd$ を算出する。 $nlfd$ は lfd が最大値となるときに1、最小値となるときに0となる。

$$nlfd = (lfd - lfd_{min}) / (lfd_{max} - lfd_{min}) \quad (6)$$

そして、式(7), (8)により、 $nlfd$ に比例して許容値 th_{max} , th_{min} を変化させた。

$$th_{max} = stdth_{max} \times (1 + nlfd) \quad (7)$$

$$th_{min} = stdth_{min} \times (1 + nlfd) \quad (8)$$

$nlfd$ の値は0~1であるので、 th_{min} は $stdth_{min} \sim 2 \times stdth_{min}$, th_{max} は $stdth_{max} \sim 2 \times stdth_{max}$ の値となる。これにより、樹木の繁茂状態に応じた許容幅が設定されることが期待できる。

4.2 結果および考察

基準許容幅を変化させ、樹冠の大きさを算出した際の誤差率と相関係数を表2に示す。許容幅の基準上限を20、基準下限を30とした場合に、 E の絶対値と E_{abs} が共に最小となった。また、 ρ は許容幅の基準上限

と基準下限を 20 と 30, 25 と 35 とした場合に 0.79 と大きな値となった。以上より、許容幅の基準上限を 20, 基準下限を 30 とするのが最適であると判断した。E, E_{abs} , ρ いずれも基本手法に比べ改良手法の方が良好な値となっており、サンプルとした樹冠において、より目視判読に近い結果が得られた。

5. 円の統廃合処理

これまでの近似色円による解析では、樹冠を円形にて近似表現しているため、複雑な形状をしている樹冠を複数の円で表現している。また、空撮画像全体について一様に解析を行っているため、樹冠以外の樹木間の影のような領域についても近似色円を算出している。このような円が存在している領域では、一つの樹冠を一つの領域で表現することができない。この問題を解決するために、円の統廃合処理を行った。

5.1 解析方法

まず、近似色円による解析を行い、樹冠を円によって表現する。これらの円には、樹冠間の影等の樹冠ではない円が含まれている。この樹冠ではない円は、不要であるので除去を行う。その後、円のみでは表現の難しい樹冠に対応するために、円の統合処理を行う。

非樹冠円の除去

近似色円の内部に多くの影が含まれている場合、その近似色円が示す領域は樹木ではなく、樹木間の隙間であると考えられる。このような円は樹冠を表現するには不必要であるので除去を行う必要がある。まず、空撮画像中の樹冠領域と影である領域の輝度値分布を調査して閾値を設定し、影領域を抽出する。次に各円領域について、影の割合を算出する。そして、円領域内の 30% 以上が影領域と判定されている円を選択し、除去を行う。

近似色円の統合

樹冠ではない円を取り除いた円分布を用いて、円の統合処理を行う。統合の基本的なルールは、大きな円が小さな円を統合することである。統合の際の条件は以下の 2 つである。

- 1) 2 つの円の中心間距離が 2 つの円の半径の和の 70% 以下であること。
- 2) 大きな円の近似色判定条件が、小さな円で適用可能であること。

2 つの条件が満たされた場合に、大きな円を小さな円に統合する処理を行う。

以上の統廃合処理を行うことにより、不要な円を除去し、円による近似の難しい樹冠を表現することが可能となる。

5.2 結果および考察

目視判読結果、近似色円による解析結果、円の統廃合処理を行った結果より、誤差率と相関係数の二乗の値である R^2 を求め結果の比較を行った。表 3 に比較結果を示す。誤差率、 R^2 の値共に統廃合処理を行った結果の方が良好な結果が得られており、統廃合処理によって、より目視判読に近い解析結果が得られることが明らかとなった。

6. まとめ

本論文の目的は、森林を上空から撮影した空撮画像を用いて、画像に撮影されている樹冠の大きさの解析を行うことである。3 では近似色円による解析の基本となる手法を考案した。そして 4 で局所フラクタル次元を、5 にて円の統廃合処理を導入して手法の改良を行った。解析手法によって得られる結果は、目視判読結果と現地調査結果とよく一致していると言える。本手法を用いて半自動的な樹冠の解析を行うことにより、空撮画像の判読作業における判読者への負担を軽減することができ、効率的な空撮画像分析の実施が期待できる。

表 3 解析結果における R^2 と誤差率

	R^2	Error rate [%]
Analysis using circles	0.68	33.5
Analysis using circle unification	0.95	18.2

学位論文審査結果の要旨

平成15年7月31日の第1回学位論文審査委員会、および同8月8日の口頭発表と第2回学位論文審査委員会において審査した結果、以下の通り判定した。

森林は地球環境の維持に重要な役割を果たしており、広域の森林を定量的に調査することが求められている。従来の現地で直接調査する方法は、調査可能な時期と場所は限定されるという欠点がある。これに対して、航空機や人工衛星に搭載した観測機器から取得した画像データを解析するリモートセンシングは、広大な森林調査に有効である。

本論文では、ヘリコプタからの空撮画像を、画像処理して樹冠を自動的に抽出することを目的とした。まず、近似色円という概念を導入し、近似色円分布を算出することにより樹冠の大きさと位置の分布を求めた。さらに、樹木の繁茂状態による解析結果の精度の変動を改善するために、樹木の自己相似性を数値化する局所フラクタル次元を導入し、近似色円算出のパラメータに加えた。また、円以外の形状の樹冠にも対応可能な処理も加えた。本解析結果は、目視判読とほぼ同精度となり、現地調査結果ともよく一致した。本解析手法により、空撮画像を用いた自動樹冠解析が可能となった。

以上の研究成果は、空撮画像を用いた広域の森林調査や森林管理に有効であり、また今後の発展性も高く、本論文は博士（工学）論文に値するものと判定する。