

空中写真の新たな活用の可能性 ～画像解析による林況把握～

No. 8 波崎 卓巨

はじめに

間伐や生産事業等を行う際、事前に正確な林況の把握が必要である。しかし、森林調査簿等のデータを参考に現地へ行くと、林分状況が異なっており困惑するというのを、森林官時代に幾度か経験した。

このため、森林・林業再生プランにおいて10年後の木材自給率を50%まで引き上げることが掲げられていることもあり、今後益々増えるであろう間伐等の施業を行う際、事業を計画する上での判断材料とすることができるデータを収集する方法はないかと考えた。

これまで、平均樹冠直径と平均胸高直径及び材積との間には、高い相関関係があることが知られており、空中写真を活用して材積を推定することが可能であるが、誤差が大きく、判読精度を向上させるためには、何度も練習を重ねる必要があった。

現在では、航空機によるレーザー計測技術が開発されており、数千ha規模で、立木の樹高や樹冠面積について、高密度・高精度の計測が可能である。しかし、莫大な費用とともに、地形や標高などの基礎データから解析しなければ樹高等の森林情報を算出できないため、一連のデータ解析に約3か月を要する。

そこで、既に各森林管理署等に配置されており、かつ比較的安価な空中写真（及び空中写真よりも像の歪みが少ないオルソ画像）を活用した簡易な画像解析を行うことにより、単木毎の樹冠面積を算出し林分内の立木配置情報を明確にするとともに、胸高直径・材積を推定することとした。

第1 研究方法

- 1 画像解析が可能なフリーソフトを収集し、必要な情報の取得が可能かを判断。
今回、画像解析のために用いた **ImageJ** というフリーソフトは、アメリカ国立衛生研究所において開発された画像処理用のソフトウェアである。科学・医療研究分野向けの特徴を持っており、細胞や粒子などの輪郭を見つけ出し区画することができる。また、スケール設定を行うことにより区域内の標本数や個々の大きさ、距離・角度まで計測することができる。
- 2 現地調査において収集したデータ（胸高直径・樹高・材積）と、空中写真・オルソ画像から算出した樹冠面積が、どのような相関関係にあるのかを比較。
- 3 他の地域においても同様の結果が得られるかを確認するため、当該地域の画像から平均胸高直径及び材積を推定し、当該林分の毎木調査データとの比較。

第2 画像解析手法及び結果

1 画像解析手法の選定

ImageJ により画像解析を試みた結果、樹冠の境界をうまく読み取れず手作業で樹冠を区切る必要があった。ImageJ のみで樹冠を区切った場合、陰と樹冠部といった明と暗の判読は十分なものの、単木樹冠同士が重なっている箇所等では区画が不十分なことがわかった。閾値を変更すれば判読精度が向上する部分もあるが、他の部分に影響を及ぼすため、今回そのような調整は行わなかった(図-1)。

一方手作業による判読と ImageJ での解析を併用した場合、人間の目で確認しながら判読しているため単木毎の樹冠を判読することができた(図-2)。

以上のことから、判読精度の高い手作業で樹冠を区画したデータを、現地調査との比較に用いることとした。

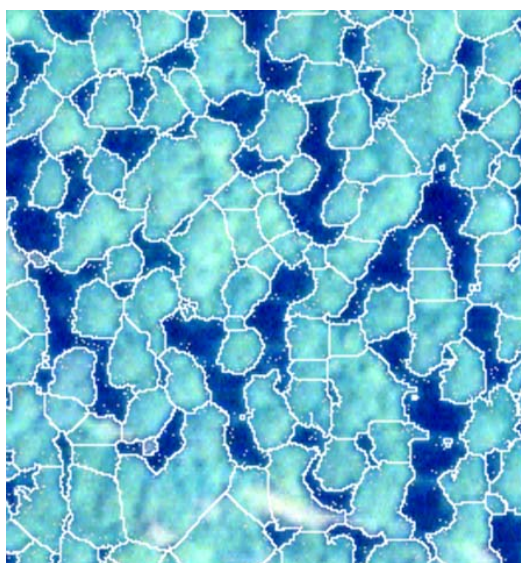


図-1 ImageJ のみで判読

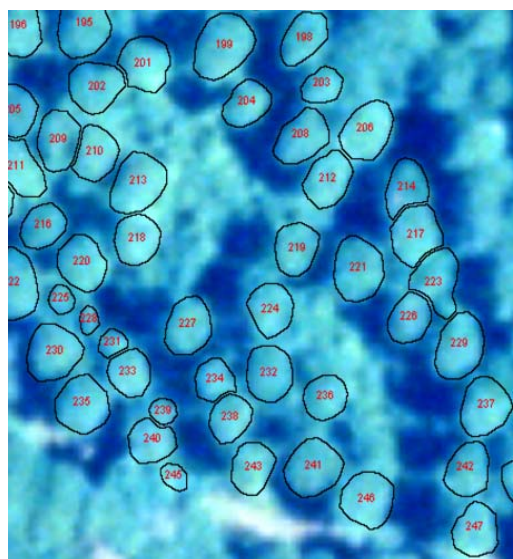


図-2 手作業との併用で判読

2 画像解析に必要な手作業

まず、拡大コピーした空中写真等に、単木毎の樹冠を区画する(図-3)。これをスキャナーでパソコンに取り込み、簡易な描画ソフトで単木樹冠の区画をさらに明確にする。これにより ImageJ に取り込んだ際、より解析精度が向上する。今回初めてこの手法で判読を行ったが、1 ha 当たり 3 時間程度で可能だった(図-4)。

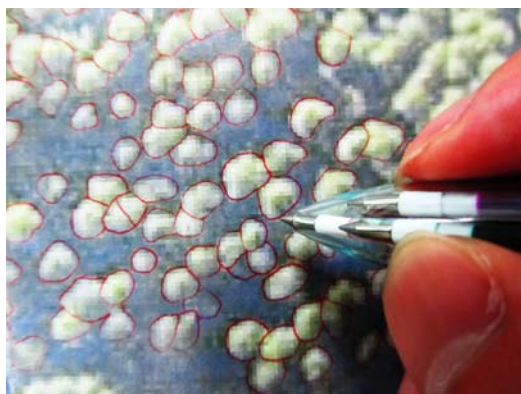


図-3 ボールペン等でわかりやすく区画

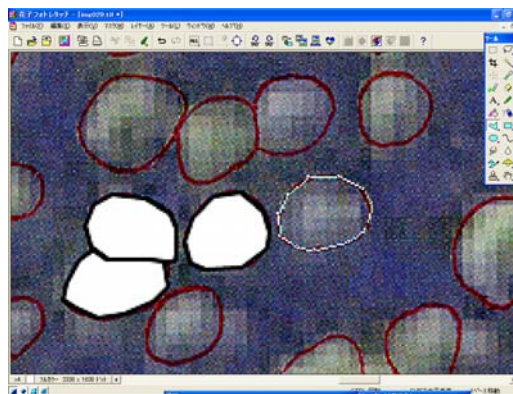


図-4 マウス操作で手早く明確化

3 ImageJ による解析手順

- (1) 前述した手作業において、樹冠を黒抜き若しくは白抜きしておき、周囲を樹冠と反対の色で塗り潰して保存(ファイル形式は **TIFF**)しておく。保存したファイルを ImageJ で開く(図-5)。

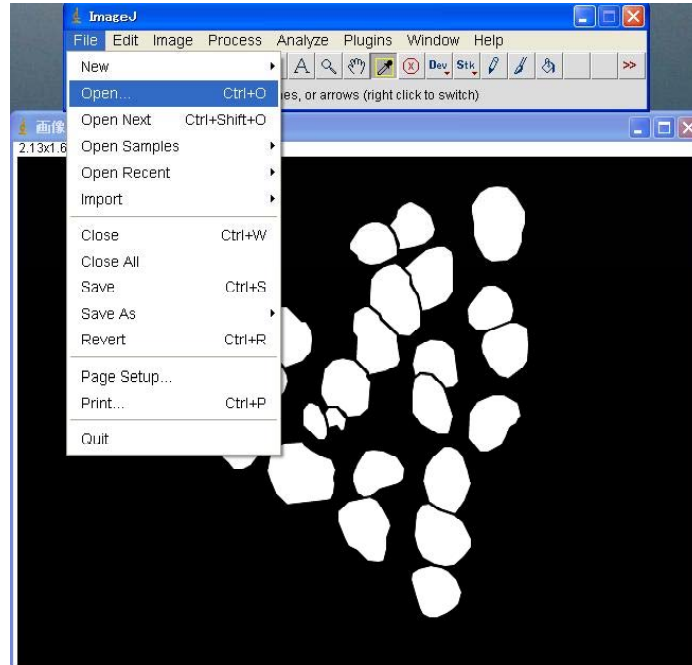


図-5 樹冠と周囲の色が明確に違えば、何色でも構わない

- (2) ファイルを開いた時点では、見た目は白黒画像だが、カラー画像として認識されているので、2値化処理を行う(図-6)。

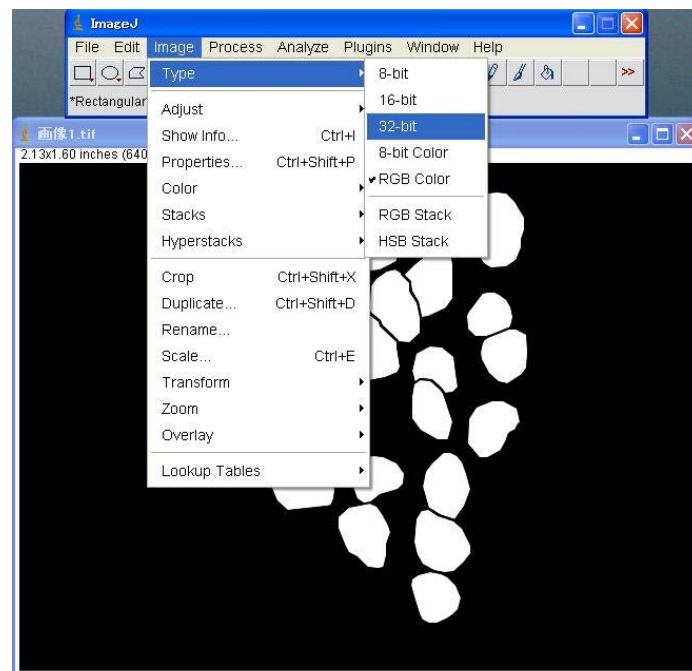


図-6 カラー画像と認識されていれば、8-bit Color 又は RGB Color にチェックが入る

(3) 閾値を設定するため、下図の項目「Threshold」を選択する。

この際、取り込んだファイルの樹冠部分の色が白であれば、後の処理に不具合を与えるので、表示される小ウィンドウ内の「Dark background」にチェックする(図-7)。

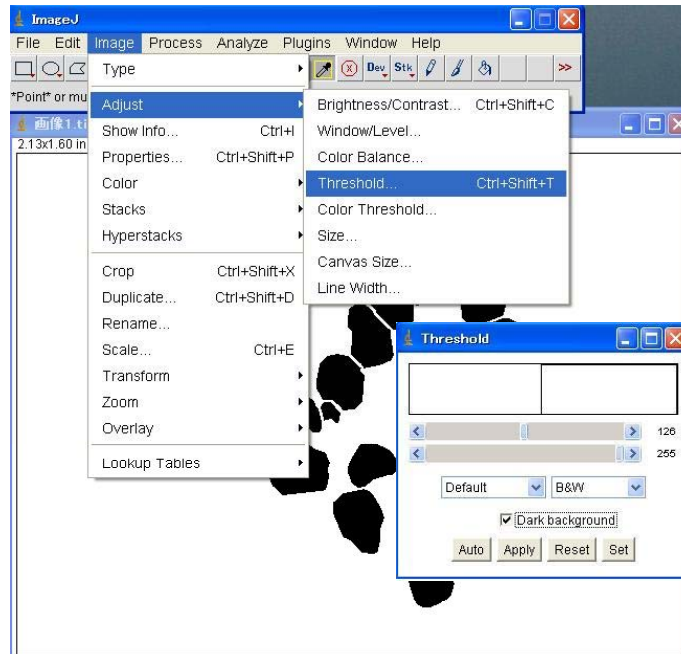


図-7 この処理を行わないと、樹冠以外の部分を計測してしまうので注意

(4) ImageJ が備えている計測機能を使用するためには、スケールを設定する必要がある。

「Analyze」→「Set scale」を選択する(図-8)。

下図内小ウィンドウの下記2箇所に数値を入力する。

- ①「Known Distance」→既知の距離を入力する。
- ②「Unit of Length」→単位はメートルなので、「m」と入力する。

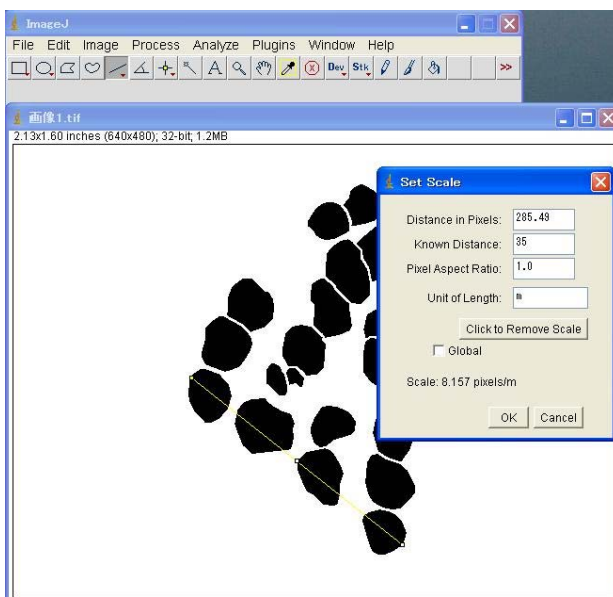


図-8 誤差を少なくするため、長い既知の距離把握が望ましい

ここで注意が必要なことは、既知の距離の算出方法である。

画像内に寸法が分かっている構造物や、距離が把握できている場所等が写り込んでいれば良いが、そうでなければ空中写真については撮影諸元から縮尺を算出し、画像の寸法を既知の距離とする。

オルソ画像については、財団法人日本地図センターが運営している「電子国土ポータル」のものを使用する場合、画像内にスケールバーを表示させ既知の距離とする。

- (5) 最後に、「Analyze」から下図内の小ウィンドウを選択し、表示箇所にチェックをす
 る。「Show」は「Out Line」を選択する(図-9)。

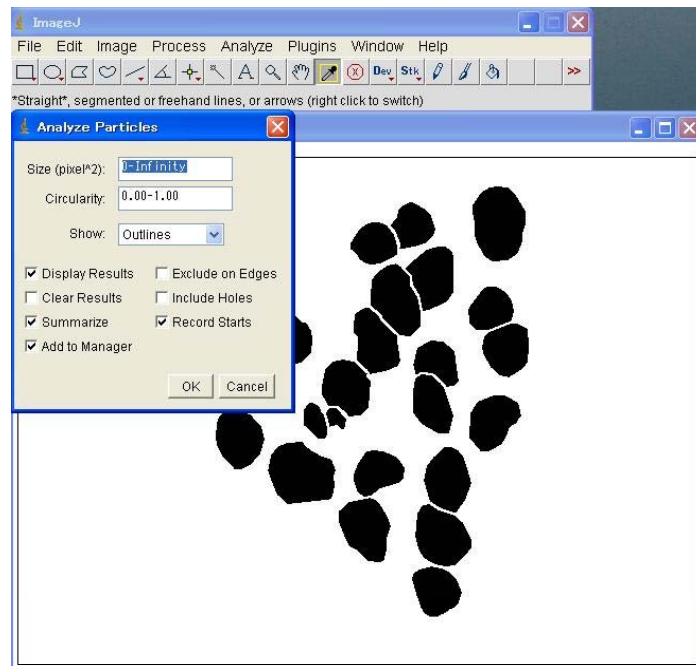


図-9 必要箇所以外はチェックを外す

- (6) 以上の手順により画像解析を行うと、下図のようなデータを得ることができる。
 画像内の樹冠の位置関係・大きさ・それぞれの番号を一目で確認できる「Out Line 画
 像」。前述した個々の番号に対応した単木樹冠面積が確認できる「Results」(図-10)。
 なお、これらは画像ファイルや Excel ファイルとして保存可能なので、後の活用に
 便利である。

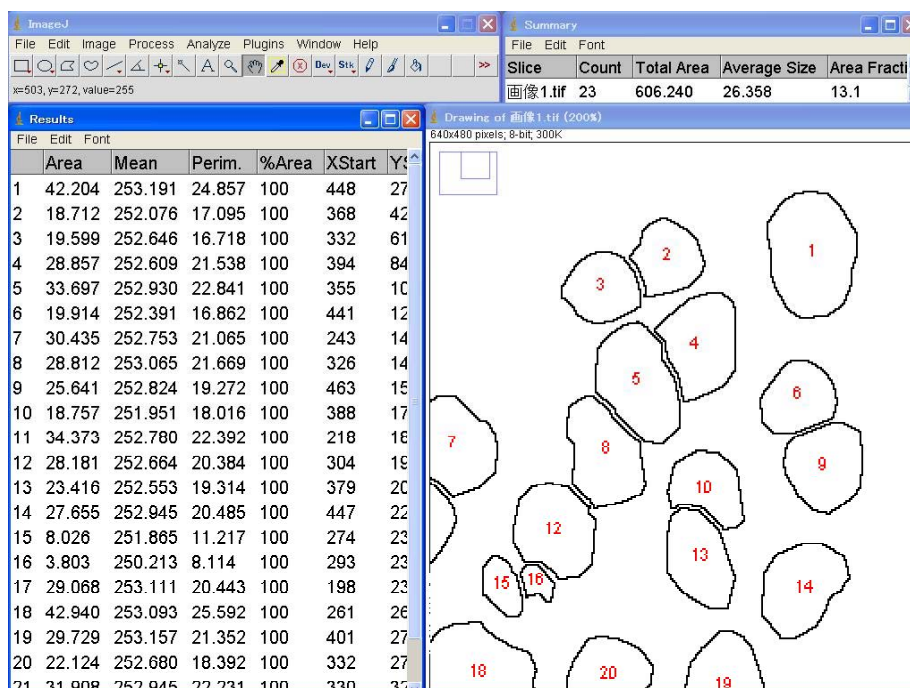


図-10 画像ファイルの保存形式は、ImageJ での操作に適した「TIFF」形式で保存する

第3 データ分析結果

1 今回、高尾山国有林246い10林小班の複層林において、現地調査を実施し得られた毎木データと、空中写真等より算出した樹冠面積を突合せ、どのような相関関係があるかを解析した。

まず、単木毎の樹冠面積との相関関係について調べた結果、胸高直径と樹冠面積との相関関係について、オルソ画像では約0.40、空中写真については約0.53という値が得られた(図-11)。

一方材積と樹冠面積との相関関係についても、胸高直径と同様にオルソ画像約0.40、空中写真約0.47という値が得られた(図-12)。

結果として、単木毎では強い相関があるといえる値は示されなかった。

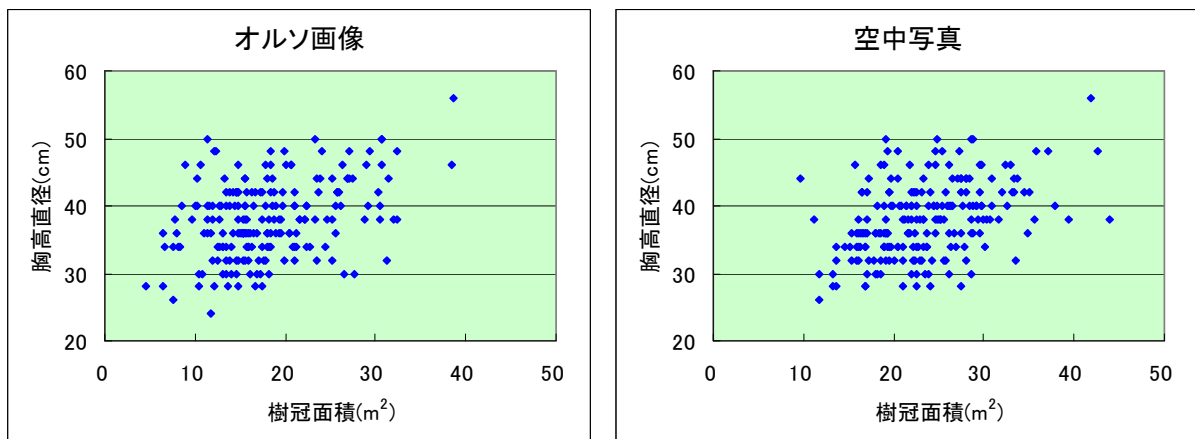


図-1 1 胸高直径と樹冠面積(単木毎)との相関図

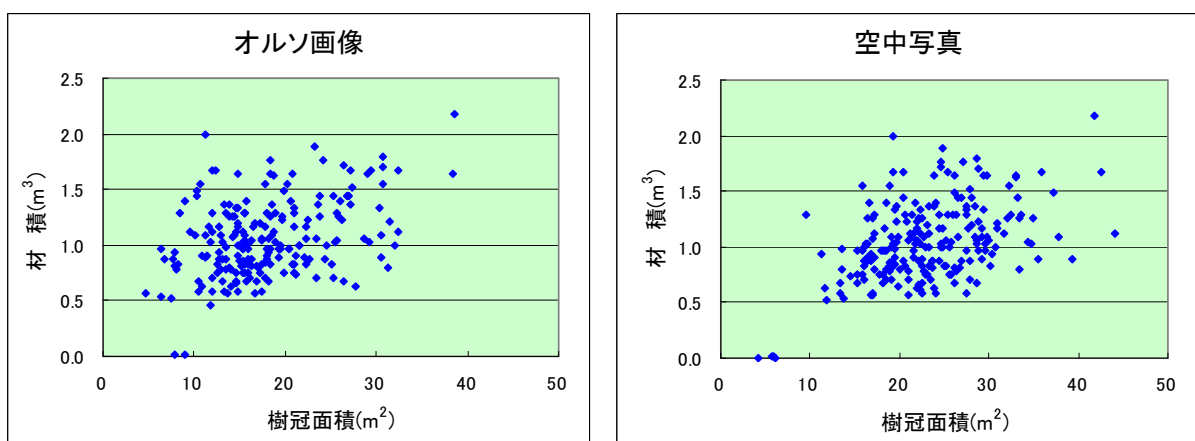


図-1 2 材積と樹冠面積(単木毎)との相関図

2 単木毎の樹冠面積との相関関係については、強い相関があるといえる値を得ることはできなかったが、事業計画段階においては、単木毎の径級・材積といった精度は必要ないと考え、径級毎の平均値での胸高直径と材積についてどのような関係にあるかを調べた。

まず、平均胸高直径と平均樹冠面積との相関関係については、オルソ画像約0.86、空中写真約0.94という値が得られた(図-13)。

平均材積と平均樹冠面積との相関関係については、オルソ画像約0.91、空中写真約0.92、という値が得られ、平均胸高直径・平均材積の双方についてオルソ画像・空中写真どちらを用いても強い相関を示す値を得ることができた(図-14)。

この結果から、使用できる地域が都市部に限定されているオルソ画像を用いなくても良いと考える。

ただし注意点として、空中写真を使用する場合、画像に傾きや位置のズレといった歪みがあり写真の中心から離れば離れるほど歪みが大きくなるため、オルソ画像よりも樹冠面積が大きくなる傾向がある。

このため、双方の画像を同時に比較する場合、樹冠面積に大きな差を生じさせないために、空中写真については調べたい箇所が中心付近にある画像を使用する必要がある。

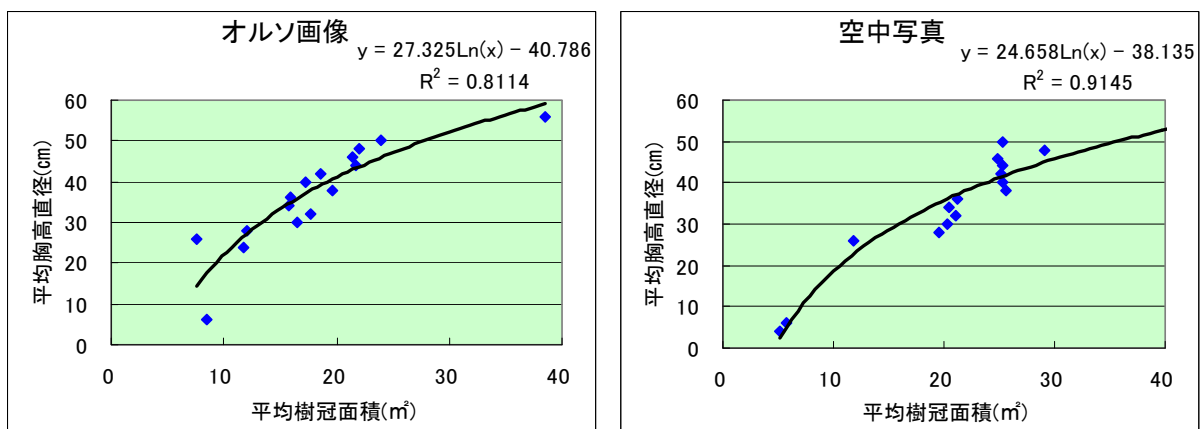


図-13 平均胸高直径と平均樹冠面積との相関図

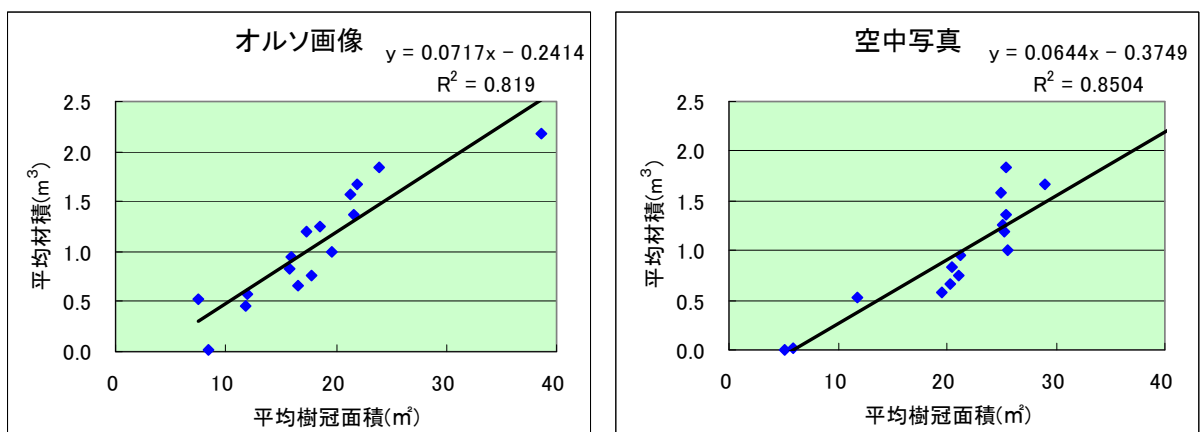


図-14 平均材積と平均樹冠面積との相関図

3 今回、高尾山複層林において得られた相関関係の回帰式を用いて、毎木調査データのある筑波山複層林試験地内の林分について、樹冠面積から算出したデータとの比較を行った(図-15)。この小班においては、単木毎のデータと樹冠面積を突合することができなかったため、区域内の上木の平均胸高直径と材積について比較したところ、下記のような結果が得られた(表-1)。

平均胸高直径の差については齢級や施業の違い等が影響していることも考えられるが、主な原因としては高尾山と筑波山との標高差による樹冠面積の大きさの違いであると考えられる。空中写真のように、撮影諸元が明らかな画像の縮尺計算は次の計算式から求められる。

$$\frac{(\text{撮影高度} - \text{目的地標高})}{(\text{カメラの焦点距離} \times \text{引き伸ばし倍率})} = \text{縮尺の分母}$$

調査を行った高尾山複層林の縮尺を計算すると、

$$\frac{(3,866\text{ m} - 510\text{ m})}{(0.153\text{ m} \times 2\text{ 倍})} = 10,967\text{ となる。}$$

上記の条件では目的地の標高が100m変わると、面積にして約6%の増減が生じる。撮影条件が同じ場合、高尾山複層林と筑波山複層林とは、140m~160mの標高差があるため約9%の差が生じている可能性がある。しかし、今回使用したオルソ画像の撮影諸元が明らかではないため、標高差を考慮した補正は行わなかった。

本数の差については、画像から判読した小班界の微妙なズレが原因していると考えられる。材積の値に大きな開きがあった主な原因については、相関関係の回帰式を導き出すために調査した高尾山複層林との平均樹高の差が影響していると考えられる。この点を考慮し、高尾山複層林の平均樹高を筑波山複層林試験地に合わせデータを補正した結果、樹冠面積より算出した側の補正データは341m³となり、データ間の差が約17%という結果が得られた。

このため、より高い精度を必要とする場合、サンプル調査を行い、地域独自の回帰式を算出することが必要である。しかし、他の地域で活用するためのデータ補正であれば、径級毎の平均的な樹高を目測で計測する程度で十分な場合が多いと考える。

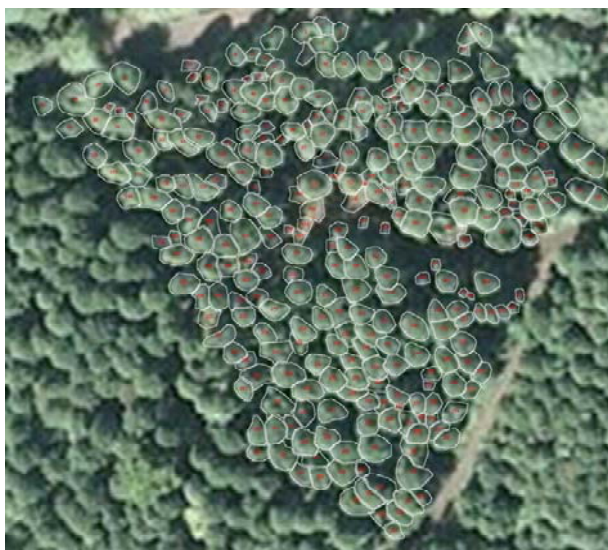


図-15 筑波山複層林試験地(400本区)

表-1 毎木調査と画像解析による算出データとの比較

	毎木調査	樹冠面積より算出
平均胸高直径	46 cm	40 cm
材積	413 m ³	293 m ³
本数	222本	239本

第4 考察

- 1 今回の調査・解析において、単木毎の胸高直径・材積と樹冠面積との相関関係にはばらつきがあったものの、径級毎の平均では強い相関関係があることが分かった。この結果から、間伐等の事業を計画するうえでの判断材料として活用できると考える。
- 2 上記の相関関係から得られた回帰式を他の地域に当てはめて比較しても、毎木調査データとの差が2割以内という値を得ることができたことから、空中写真により林況の概略を把握できると考える。

まとめ

今回取り組んだ手法により、林分内の樹冠配置・胸高直径・材積を推定できたことから、間伐箇所の選定や優先順位の決定、試験林等における現在の林況を記録・整理できる手法として活用できるのではないかと考え、以下の3項目を活用方法として提案する。

- 1 携帯GPSを用いた現地調査と併用することで、高い精度での単木管理が可能となる。試験地等での取り組みとして有用であると考え。
- 2 本数・材積による間伐から、樹冠配置による間伐への転換。例として、間伐時の選木シミュレーションが容易に行うことができるため、列状間伐など実施する間伐方法に対応した出材径級・材積の予測が可能になると考える。
- 3 間伐予定箇所の伐採順序や、搬出路作設等計画作成のための検討材料の一つとして活用するなど、これまでの林齢・ha当たり材積による事業箇所の決定方法から、利用径級などの林分内分布状況を踏まえた事業計画作成方法への転換が可能になると考える。

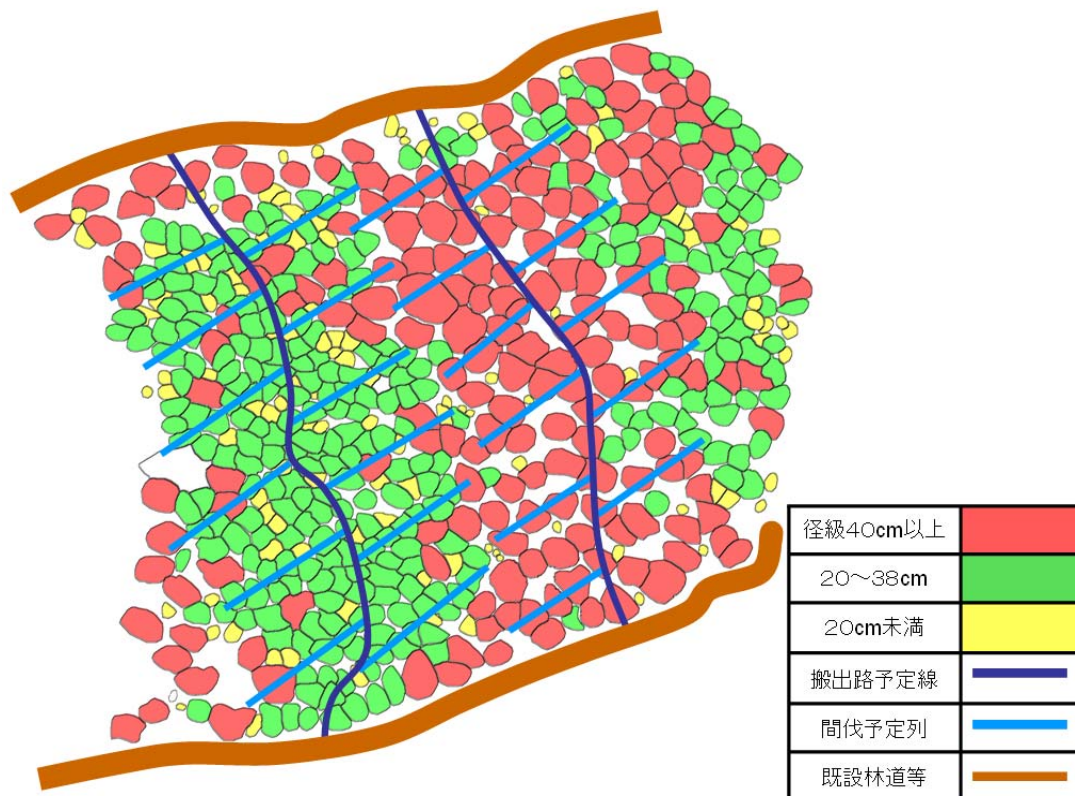


図-16 事業計画のイメージ図

謝 辞

最後に、本研究を進めるにあたりご指導や調査箇所・各種データ等資料の提供にご協力いただいた関係各位に、この場を借りて心から感謝申し上げます。

参考文献・資料等

(1) 書籍

- ・加藤正人 (2007) 「改訂 森林リモートセンシングー基礎から応用までー」、日本林業調査会
- ・社団法人 全国林業改良普及協会 (2009) 「林業GPS徹底活用術」
- ・渡辺 宏 (1993) 「最新 森林航測テキストブック」、日本林技術協会

(2) 論文等

関東森林管理局 森林技術センター

「H20 複層林の受光伐における下層木の被害について」

(3) ホームページ

- ・関東森林管理局 森林技術センター
<http://www.rinya.maff.go.jp/kanto/gizyutu/index.html>
- ・ImageJ ダウンロードサイト
<http://rsb.info.nih.gov/ij/index.html>
- ・ImageJ 日本語訳サイト
<http://www.hm6.aitai.ne.jp/~maxcat/ImageJ.html>

(4) 協力

関東森林管理局 森林技術センター

東京神奈川森林管理署 高尾森林事務所