



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	デジタル空中三角測量による20線群状伐採跡地の時系列解析
Author(s)	坂井, 励; 高木, 健太郎; 野村, 睦 他
Citation	北方森林保全技術, 第25号, 1-14
Issue Date	2007-11-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/73104
Type	departmental bulletin paper
File Information	2006-25_1-1.pdf



I-1 デジタル空中三角測量による20線群状伐採跡地の時系列解析

坂井 励¹，高木健太郎¹，野村 睦¹，上浦達哉¹，
北條 元¹，高橋廣行¹，小塚 力¹，米 康充²

¹天塩研究林 ²K.K. パスコ

1. はじめに

航空写真解析は撮影時点での森林の状態を広範囲に把握する有力な方法である。近年、情報処理におけるハードウェアとソフトウェアの発達により、デジタル空中三角測量を用いて、航空写真から森林の樹冠の高さの情報を比較的容易に抽出できるようになった⁽¹⁾。今回、この手法により天塩研究林で行われた「20線群状伐採」地において、樹冠高と蓄積の推移を解析したので、その結果を報告する。

2. 20線群状伐採跡地の概要と現在までの経過

天塩研究林では1990年から20線地区の針広混交林の密林、中林を対象に「群状的」な伐採を行ってきた⁽²⁾。「群状的」な伐採とは、森林を伐採するブロックと残置するブロックに分けて収穫を行う方法である。伐採するブロックでは強度の択伐、あるいは皆伐を行う。更新は周辺木による天然下種更新に委ねる。この施業方法の特徴は、自然状態に近い形の破壊と更新を収穫に適用しつつ、小面積で計画的に一定規模の収穫ができることである。また仮にササなどによって天然更新が阻害された場合には、伐採跡地が群状であるため、機械による掻起しなど集約的な更新補助作業を行うことができる。群状伐採のブロックの大きさはおおむね150 m²から4,000 m²である。

天塩研究林では今まで伐採は行ってきたものの、まだ更新補助作業は行っていない。その必要性を判断するために、伐採跡地における更新状況の調査を行う必要がある。2006年秋に一部の伐採跡地で調査をしたが、その場所は2mを超すササに覆われ、天然更新は阻害されていた。より広範囲に調査をする必要があるが、冬は積雪、夏はササに覆われ、伐採跡地の特定が困難な場所もある。

そこで正確な伐採跡地の特定と広範囲な更新状況の調査を主な目的として、リモートセンシング技術の一つであるデジタル空中三角測量の利用を試みた。

調査対象域は群状伐採が全域にわたって実行された236林班とした(図-1)。面積は144haであり、針葉樹優先の針広混交林である。1990年から1992年と、2003年から2005年の2回の群状伐採が行われた。伐採量は44.4m³/haである。また1934年以降の伐採量の合計は群状伐採を含め、92.1 m³/haである。

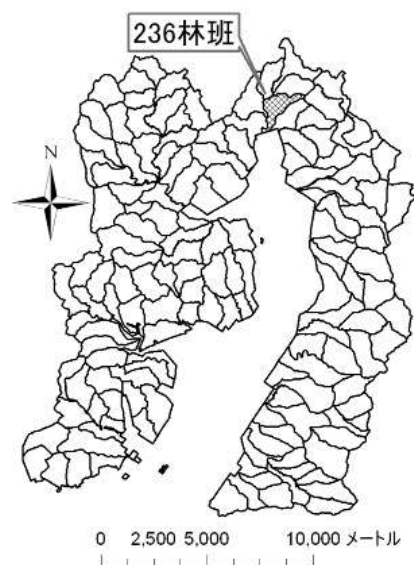


図-1 236 林班位置図

3. デジタル空中三角測量について

デジタル空中三角測量とは、パソコンと専用の写真測量ソフトを用いて、航空写真から写真表面の高さ情報を抽出する測量である⁽³⁾。

オーバーラップ領域を持って撮影されたステレオペア航空写真において、それぞれの写真撮影時におけるレンズの中心である投影中心と、それぞれの写真の同じ場所を写した点（マッチングポイント）を結ぶことによって、高さ情報を抽出することができる（図-2）。

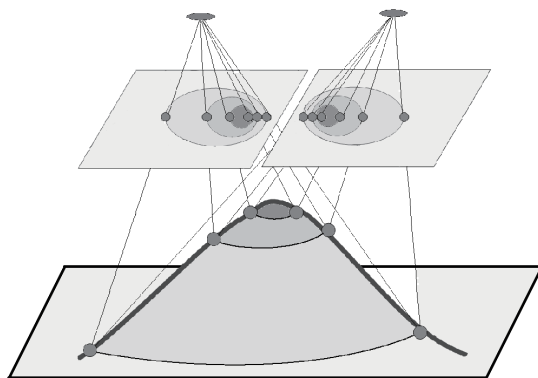


図-2 空中三角測量の概念図

この測量は写真の地物の高さを読み取るので、これを森林域に適用した場合、樹冠表面の標高データである DSM (Digital Surface Model) を抽出することができる。この DSM から地面の標高データである DTM (Digital Terrain Model) を減じることにより、樹冠の高さデータである DCHM (Digital Canopy Height Model) を得ることができる。概念図を図-3 に示す。DSM の増加は樹木の成長や更新、また減少は樹木の伐採、倒木などを表すものと考えられる。このように DSM の変化量を調べることで、森林の状態の変化を捉えることができる。

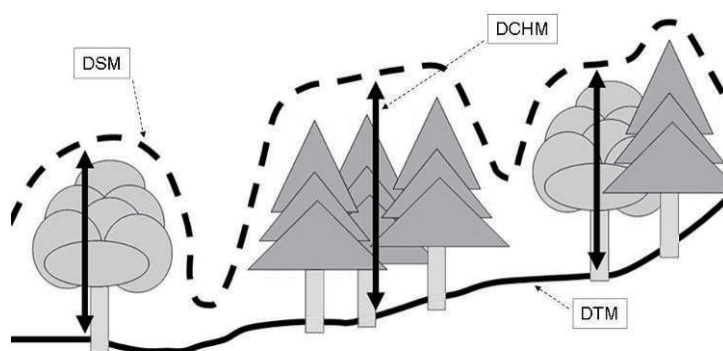


図-3 DSM、DTM、DCHM の概念図

DTM は国土地理院から数値地図 50mメッシュのデータが提供されているが、天塩研究林では 2004 年に全域で航空レーザ測量を行い、より精度の高い DTM (1mメッシュ) を取得したので、今回の解析ではこの DTM を使用した⁽⁴⁾。

4. 作業手順

4-1. 航空写真の準備

日本森林技術協会から、1984 年、1989 年、1999 年、2004 年の計 4 年分の航空写真を購入した。各年とも解析対象域である 236 林班がオーバーラップ領域に入るステレオペアである。ただし、2004 年分は 2 枚に収まる範囲に撮影されていなかったため、3 枚使用した。購入した写真はポジフィルムで、これをスキャニングし、解析に用いた。スキャニングは外注した (20 μ m 1270dpi)。

4-2. GPS 測量による地上基準点の取得

写真が撮影された位置を求めるためには、位置と高度が特定された地上基準点が必要である。このため、航空写真から判読でき、高さの経年変化のない場所で GPS 測量を行い、地上基準点とした。測量には Trimble 社製の GPS Pathfinder を使用した。求めた地上基準点は、おもに林道の交差点や橋の上で、236 林班を囲む 34 ヶ所である (図-4)。

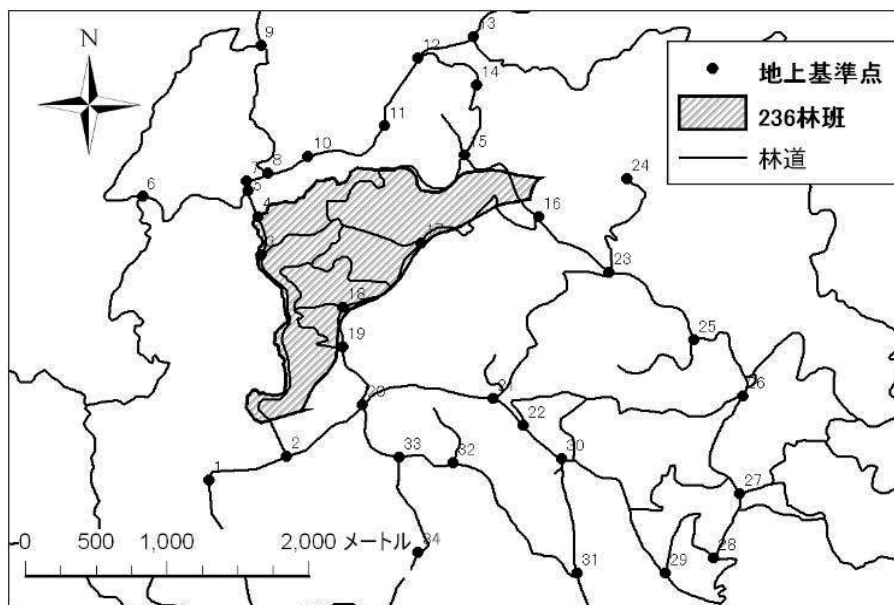


図-4 236 林班と地上基準点位置図

4-3. パソコン上での測量及び解析作業

DSM の作成には写真測量ソフトの Leica Photogrammetry Suite (略称 LPS)、及びそのオプションモジュールである LPS Automatic Terrain Extraction を使用した。このソフトは航空写真に座標を与え、各種設定を行うだけで、高さ情報の抽出をほぼ自動で行う。その後の解析には地理情報システム (GIS) ソフトの ArcGIS 9、及びそのエクステンションの Spatial Analyst を使用した。

5. 結果と考察

5-1. DSM の作成結果

1984 年、1989 年、1999 年、2004 年の DSM (2mメッシュ) を作成し、それらのデータから DTM を減じて、各年の DCHM を作成した。2004 年の画像を図-5 に示す。この画像は作成された DSM を元に航空写真を 3D 化し、その上に DCHM を樹冠の高さ別に濃度分けし、透過させて重ねたものである。色の濃淡から樹冠の高さと広がりを読み取ることができる。この画像の中央辺りを拡大したものを図-6 に示す。この場所は 2004 年に群状伐採が行われた場所である。DCHM が写真上の樹冠を捉えていることがわかる。

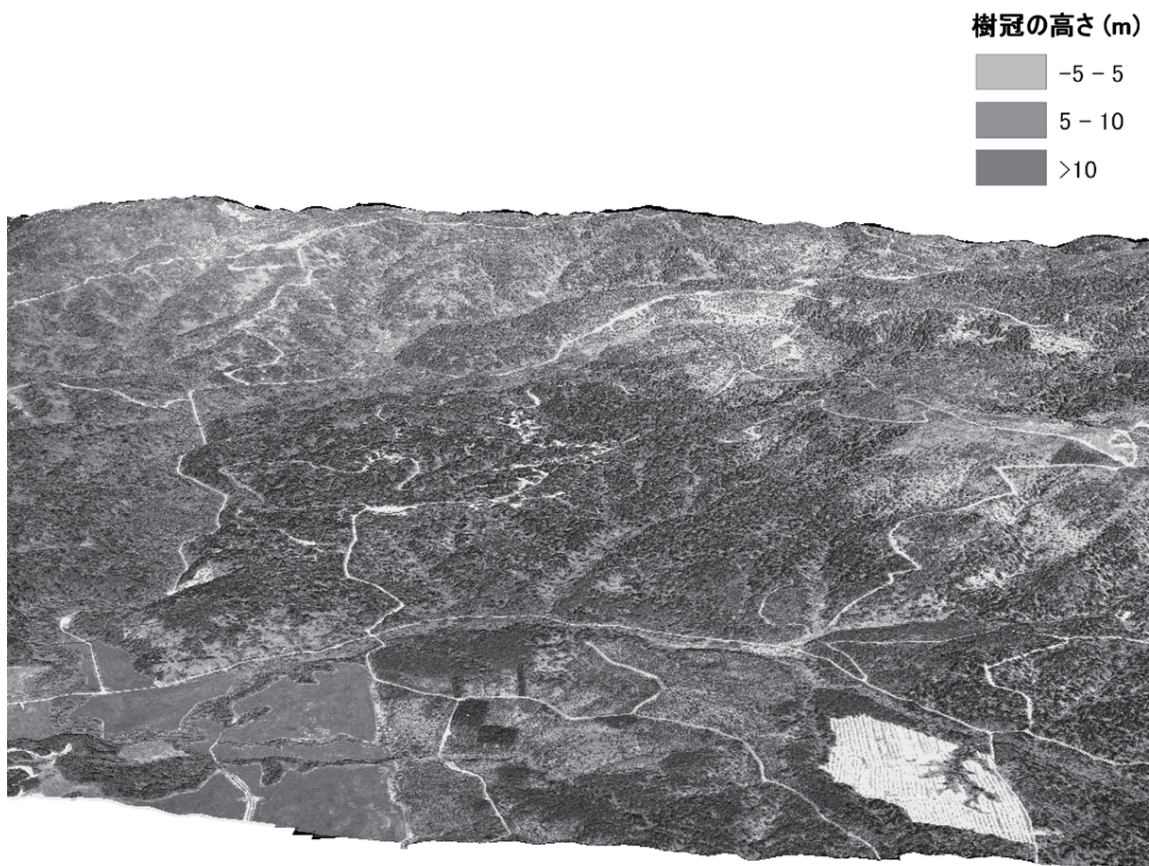


図-5 DSM を元に 3D化した 2004 年航空写真と DCHM

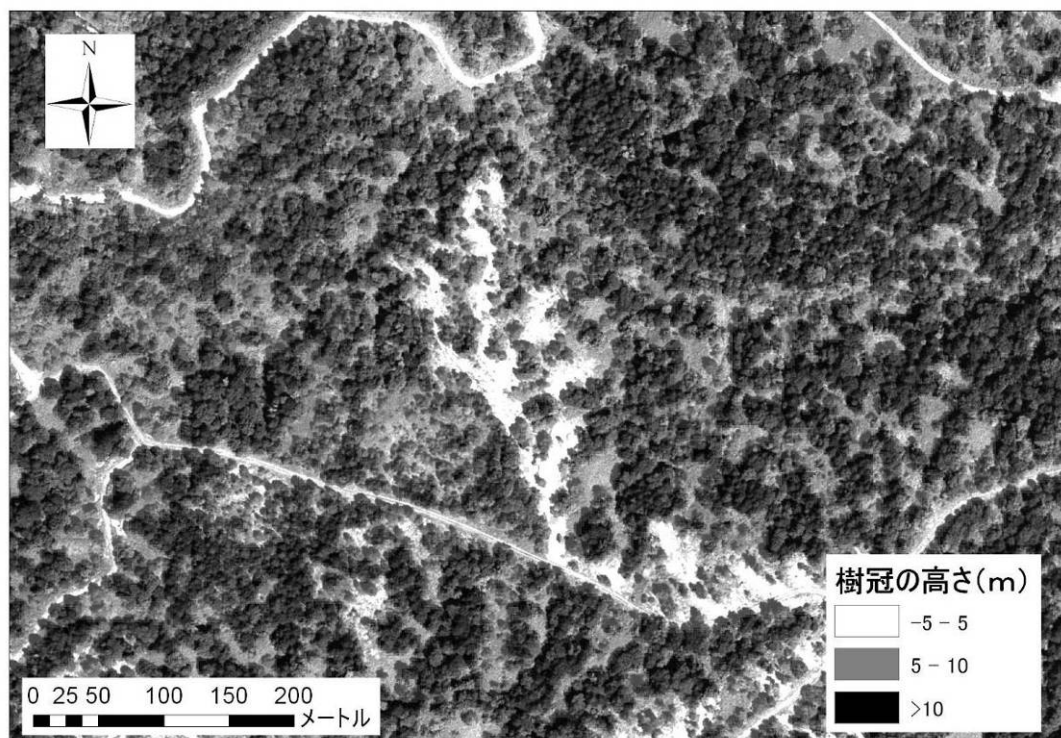


図-6 2004 年の航空写真と DCHM

5-2. 平均樹冠高の経年変化

作成された各年の DCHM から樹冠高の経年変化を調べた。写真から任意の範囲を選択し（図-7 において実線で囲んだ区域）、その範囲内の平均樹冠高（平均 DCHM）を計算した。上の写真は 1976 年の立木処分跡地、下の写真は 1972 年に植栽されたグイマツ F1 造林地である。両林分とも年々成長している様子が明らかになった（図-8）。

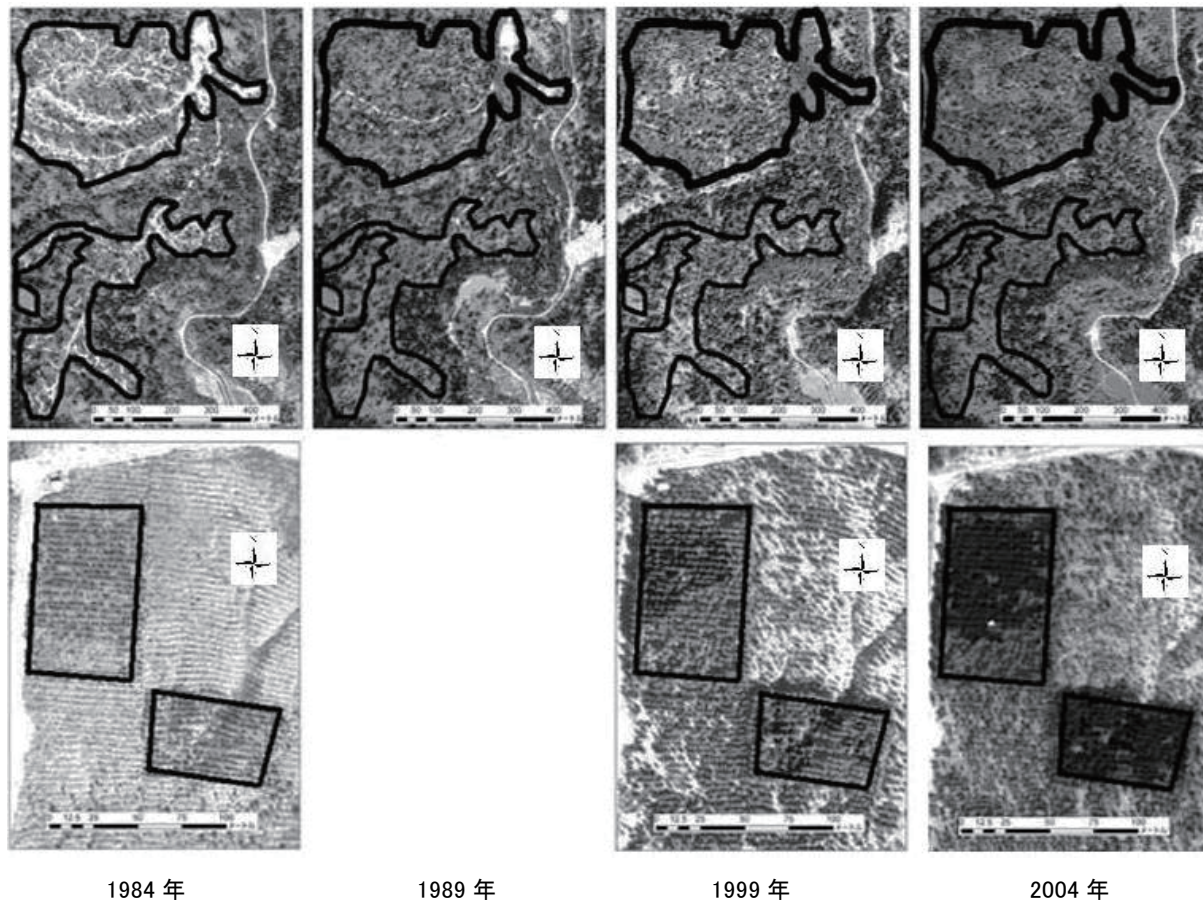


図-7 天然林伐採跡地とグイマツ F1 造林地での DCHM 画像の変化

上: 立木処分跡地 下: グイマツ F1 造林地

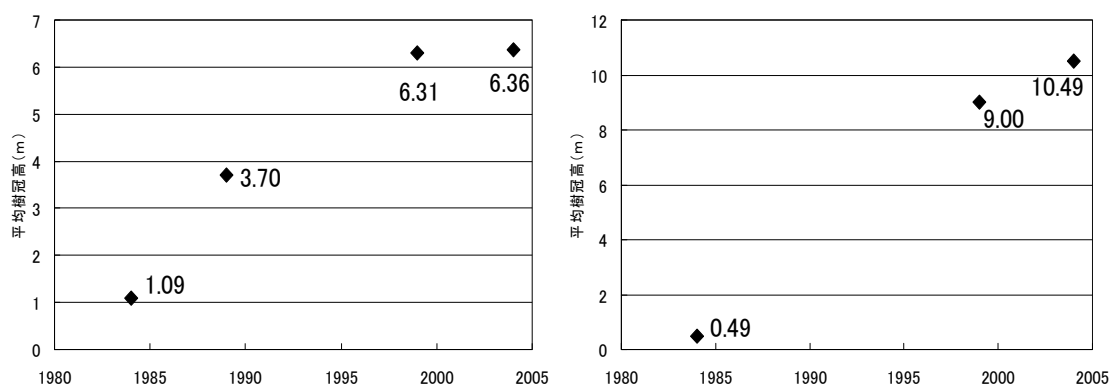


図-8 立木処分跡地とグイマツ F1 造林地の平均樹冠高(平均 DCHM)の変化

左: 立木処分跡地 右: グイマツ F1 造林地

5-3. DSM 差分による伐採跡地の推定

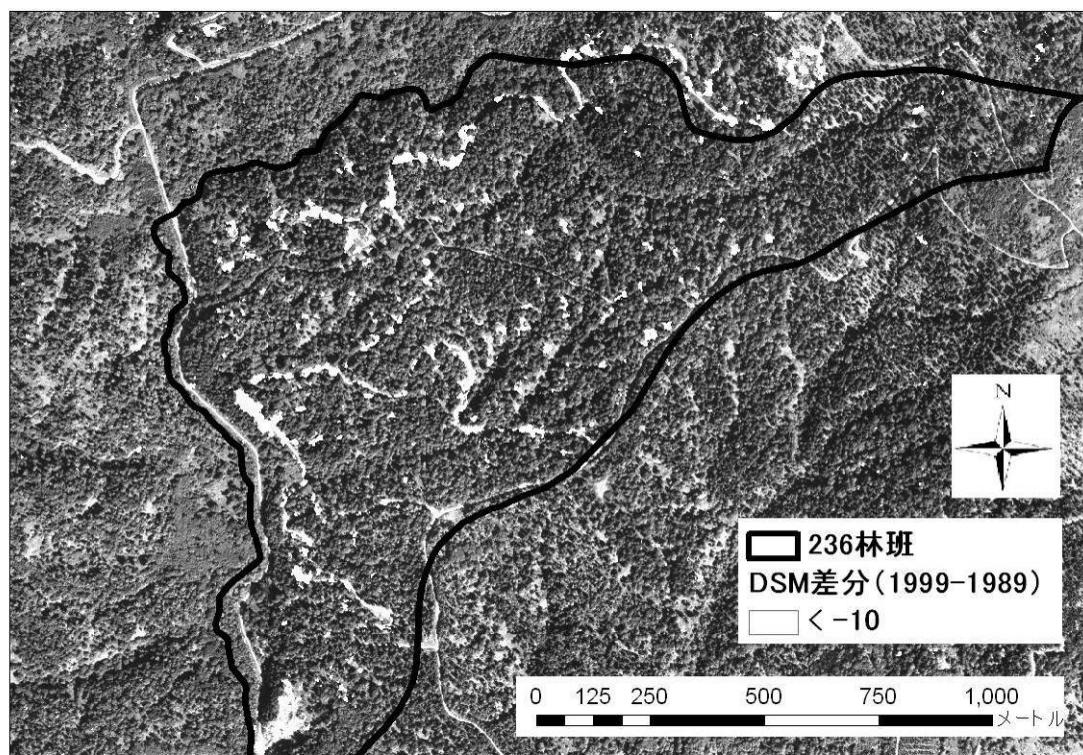


図-9 DSM 差分画像(1999 年－1989 年)

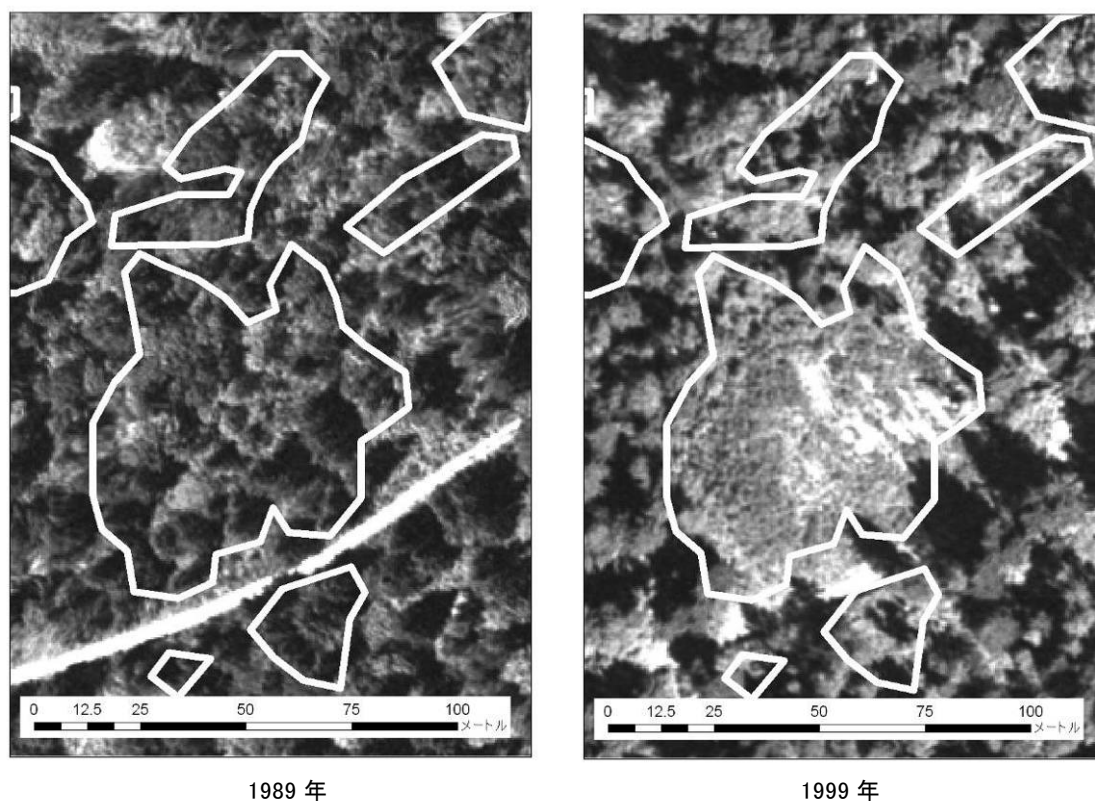


図-10 伐採推定箇所の拡大写真

各年の DSM を比較し、減少しているところを抽出することによって過去の伐採箇所を推定した。図-9 は 1999 年の DSM から 1989 年の DSM を減じ、マイナス 10m 以上と計算されたエリアを、1999 年の写真上に白色で示したものである。これらのエリアが、この 10 年の間に立っている木が倒れた、もしくは伐採されたと考えられる場所である。線状に白色で示されている場所は、1991 年に新設された林道である。林班内で白い小さな群状になっているエリアが、一回目の群状伐採によって伐採された場所であると考えられる。同じように 2004 年から 1999 年の DSM を減じることによって、二回目の群状伐採箇所を推定した。

図-10 は伐採箇所と推定されたエリア（白線の内側）を拡大した写真である。実際に群状に伐採が行われたことが明瞭に捉えられる。

5-4. 林道路面標高の計算による DSM の精度検証

図-11 は 236 林班全域、144ha の平均樹冠高の計算結果である。1999 年に高くなった後、2004 年に低くなるという結果になっており、不自然である。

そこで作成された DSM の妥当性を調べた。検証データとして高さの経年変化がない林道の路面標高を抽出し、各撮影年の比較を行った。各年の写真で路面が明瞭に撮影されている場所を選び、矢印の向きに 450m にわたって、路面の高さを計算した（図-12）。各撮影年間の標高差はほぼ±2m に収まり、DSM の精度はおおむね良好である。

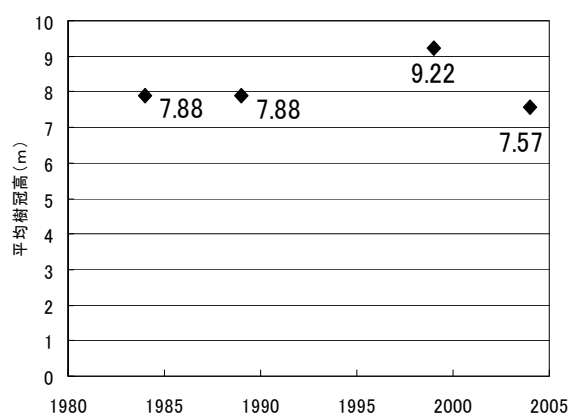


図-11 236 林班の平均樹冠高(平均 DCHM)の変化

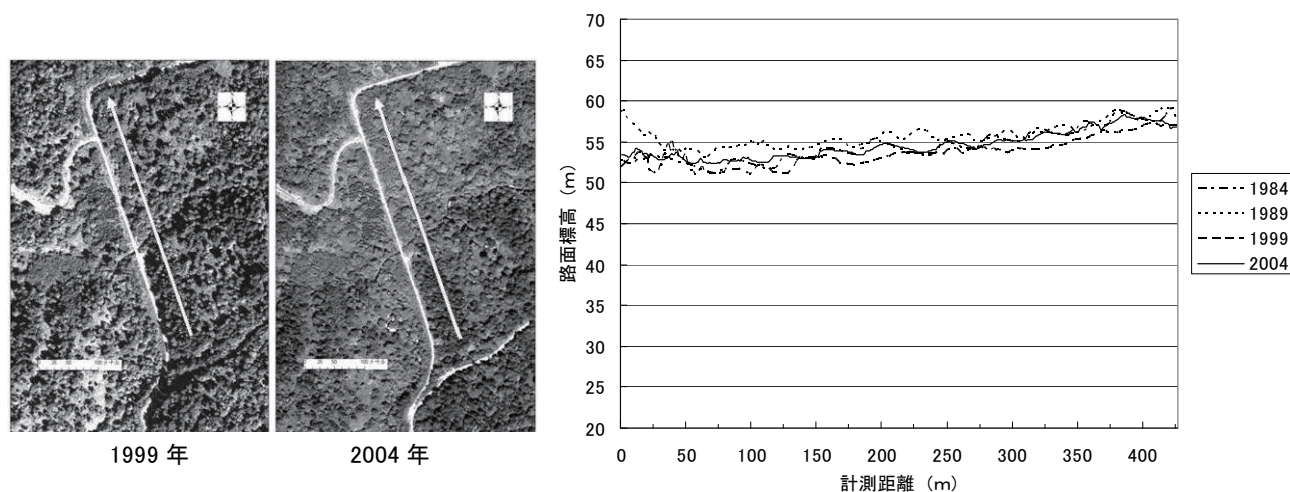


図-12 明瞭に撮影された林道路面標高の撮影年変動

次に撮影年によっては林道に影がかかっている場所を選定して、これも矢印の向きに 500m にわたって路面の高さを計算した（図-13）。図の写真に見られるとおり 1999 年は、林道全体に影がかかっている。この年の航空写真は、太陽高度の低い時間に撮られたようである。図のグラフに見られるとおり、影の強くかかっている 1999 年は、林道路面の標高をより高く評価している。また、他の年も影の部分では DSM が高くなっており、各撮影年の標高差が 10m 以上に達しているところもある。この結果から 236 林班全体の平均樹冠高の計算では、1999 年の樹冠高を過大評価していた可能性が高い。以上のように林道路面を用いて DSM の妥当性を調べたところ、航空写真の撮影状況が、DSM の精度に影響を及ぼすことが明らかになった。

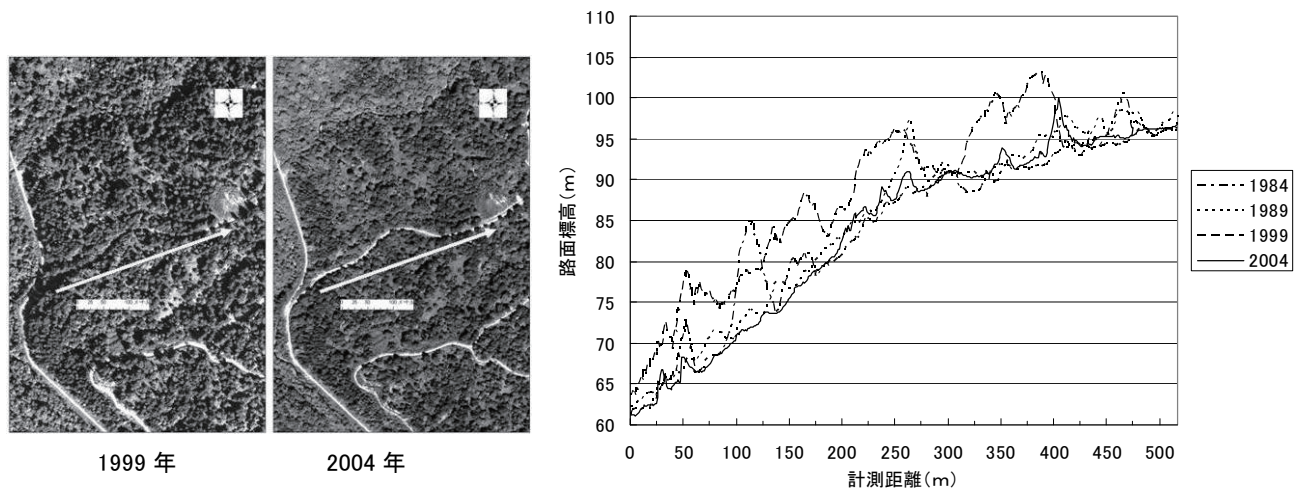


図-13 被陰された林道路面標高の撮影年変動

5-5. 長期観察林の蓄積と樹冠体積の比較

236 林班には 5 ヶ所の長期観察林が設定されている（図-14）。この長期観察林のデータを使用して、DCHM から蓄積の推定をするとともに、撮影年ごとの DSM の測定誤差の除去を試みた。

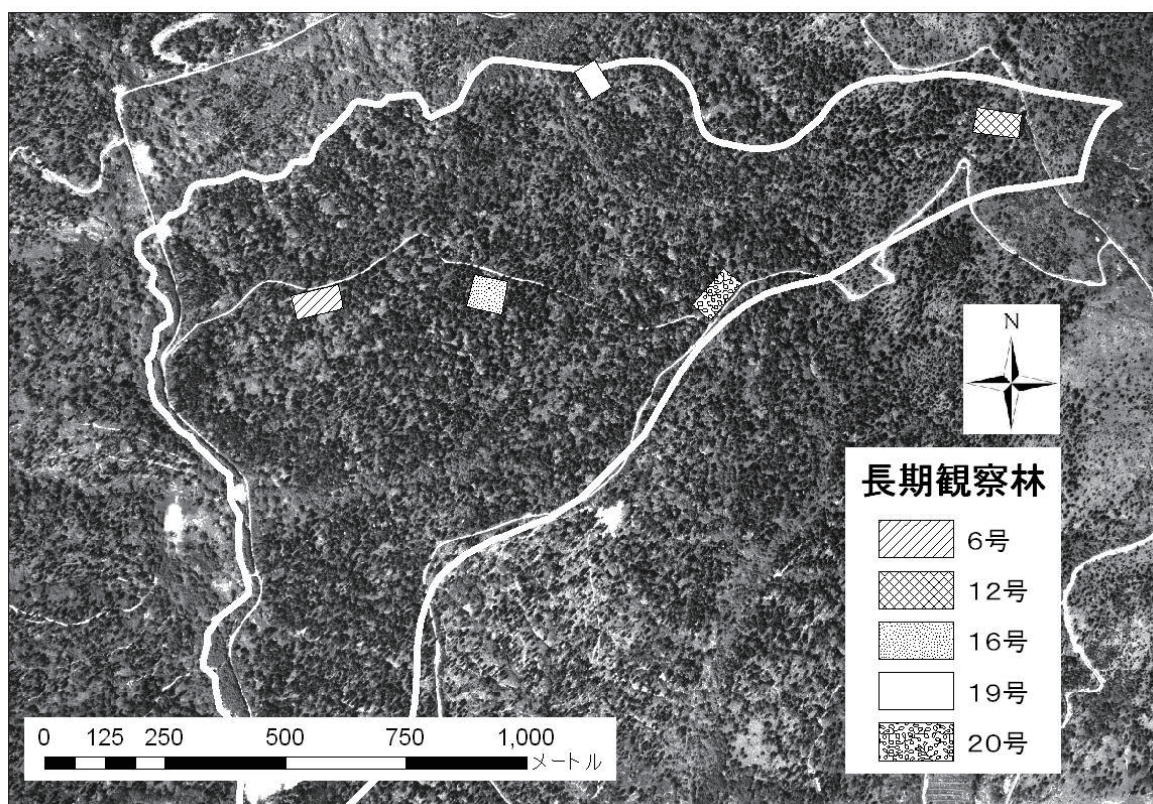


図-14 236 林班の長期観察林位置図

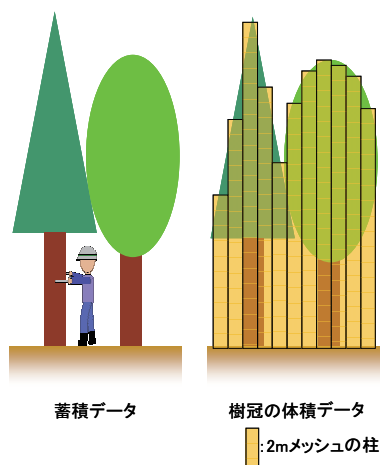


図-15 蓄積と樹冠体積

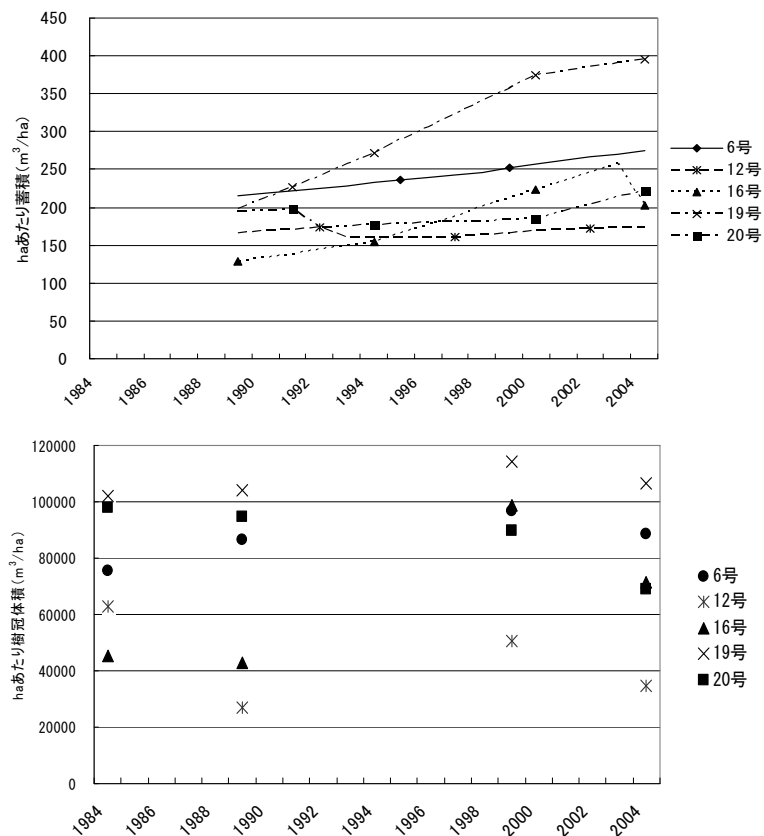


図-16 長期観察林の蓄積(上)と樹冠体積(下)

DCHM からは樹冠最上部から地表面までの体積を求めることができる（以下、樹冠体積と呼ぶ）。図-15 の柱状の部分がこの体積に相当する。デジタル空中三角測量によって得られた樹冠体積と、蓄積量の間に明瞭な関係があるのならば、樹冠体積から蓄積を推定することが可能となる。そこで、毎木調査が行われ、蓄積量のわかっている長期観察林のデータとの比較を行った。

長期観察林の毎木調査によるヘクタールあたり蓄積の推移と、デジタル空中三角測量によって得られた樹冠体積の推移をグラフに表した（図-16）。長期観察林はほぼ5年おきに毎木調査をしているので、それらのデータから成長量を求め、調査の行っていない年の蓄積を補間して推定した（マーカーで示している年が調査年）。

次に、樹冠体積と蓄積の関係を調べた。5-4 で指摘したように DSM には撮影状況による誤差が含まれる。そこで今回は、長期観察林の樹冠体積と毎木調査による蓄積の関係式を撮影年ごとに作成し、それぞれの年ごとにその年の関係式を用いて樹冠体積から蓄積を計算することにした。

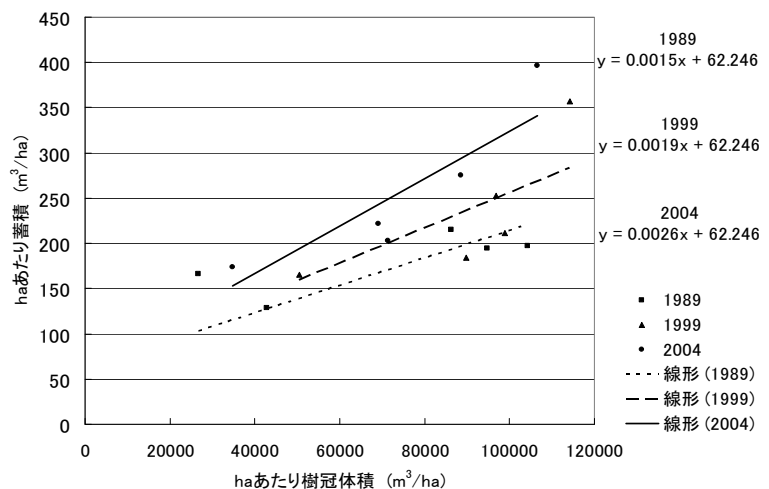


図-17 長期観察林の蓄積と樹冠体積の関係式
x ha あたり樹冠体積 y ha あたり蓄積

得られた蓄積と樹冠体積との関係を図-17 に示す。1989 年、1999 年、2004 年の 3 年分、5ヶ所の長期観察林を使って作られたものである。図中には、樹冠体積と蓄積量の関係を直線回帰で求めた結果を示している。この関係式を求めるに当たっては、樹冠体積がゼロの場合の蓄積量、すなわち直線回帰式の切片は 62.246 で固定した。その理由については、5-7 で述べる。図-17 に見られるとおり、樹冠体積と蓄積量の関係は年ごとに異なるものの、ある程度の相関は認められる。しかし、本来、各年の直線回帰式はほぼ一定になるはずであり、これらが異なる原因は、年ごとの撮影状況の違いに伴う DSM の測定誤差によるものであると考えられる。今後、DSM の作成において、その違いによる影響を軽減する方法を検討する必要がある。

なお、1989 年以前は長期観察林が設定されていなかったため、1984 年分のデータは関係式を作ることができなかった。

5-6. 蓄積の推定

各年における長期観察林の蓄積と樹冠体積の関係式（図-17） から、236 林班全体の蓄積を推定したところ、1989 年が $180\text{ m}^3/\text{ha}$ 、1999 年が $237\text{ m}^3/\text{ha}$ 、2004 年が $259\text{ m}^3/\text{ha}$ であった。第一回目の伐採（1990 年～1992 年）の伐採量 $28.95\text{ m}^3/\text{ha}$ と、第二回目の伐採（2003 年～2005 年）のうち 2003 年と 2004 年の伐採量 $8.28\text{ m}^3/\text{ha}$ を考慮して年成長量を求めたところ、1989 年から 1999 年までが $8.61\text{ m}^3/\text{ha}/\text{y}$ 、1999 年から 2004 年までが $6.00\text{ m}^3/\text{ha}/\text{y}$ であった。これを元に航空写真のない年の蓄積を推定した結果を加えた蓄積量の推移が図-18 である。

高い精度で大面積の蓄積量が求められている中川研究林の照査法試験林（面積 124.33ha ）⁽⁵⁾ と置戸町道有林の照査法試験林（面積 78.65ha ）⁽⁶⁾ の施業区の ha あたり平均年成長量を表-1 に示す。両試験林とも 236 林班と同じく針広混交の天然林である。これらのデータと比較すると、今回の測量から見積もった 236 林班の成長量は、これらの成長量の範囲内にある。

表-1 照査法における ha あたり年成長量

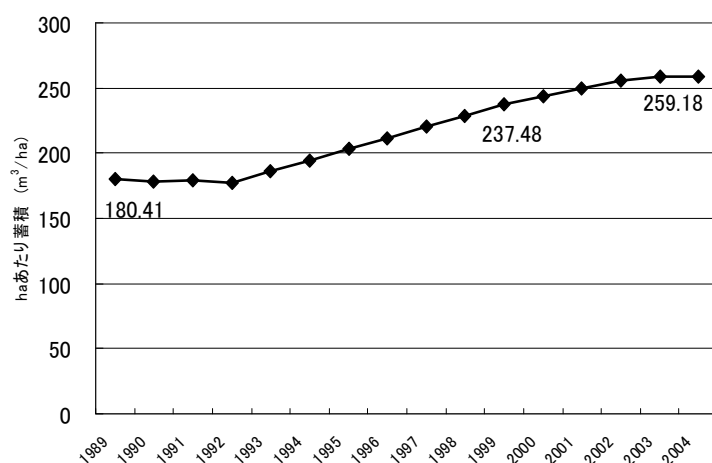


図-18 236 林班の ha あたり蓄積の推移

中川研究林照査法	
	成長量 ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{y}$)
第一経理期	3.1
第二経理期	4.5
1967～1986 (回帰年10年)	

置戸照査法	
	成長量 ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{y}$)
第一経理期	6.47
第二経理期	9.98
第三経理期	10.83
第四経理期	10.91
第五経理期	10.31
1956～2003 (回帰年8年)	

5-7. 航空レーザ測量との比較による推定蓄積の検証

航空レーザ測量では DSM と DTM を同時に得ることができる。2004 年に行われた航空レーザ測量によって天塩研究林全域において樹冠体積を求めることができる。これまでに 16 ヶ所の長期観察林等を使って、蓄積と樹冠体積の関係式が作られている（図-19）。これによって計算された 2004 年の 236 林班の推定蓄積は $252\text{ m}^3/\text{ha}$ であった。デジタル空中三角測量で推定された 2004 年の推定蓄積は $259\text{ m}^3/\text{ha}$ であり、航空レーザ測量の推定値と近い値を示した。

また、この航空レーザ測量から得られた樹冠体積と蓄積量の関係式（図-19）を見ると、樹冠体積がゼロであっても $62.246\text{ m}^3/\text{ha}$ の蓄積が見積もられる。その要因の一つとして、林床

にササが密生する場合、航空レーザ測量によって得られた DTM は地面標高ではなく、ササ上の標高になり、それによって、DCHM が過小評価されるためであると考えられている⁽⁷⁾。また、本報告で使用している DTM も航空レーザ測量によって得られたものであるため、5-5において蓄積と樹冠体積の関係式を作成するにあたって、直線回帰式の切片を 62.246 で固定した。

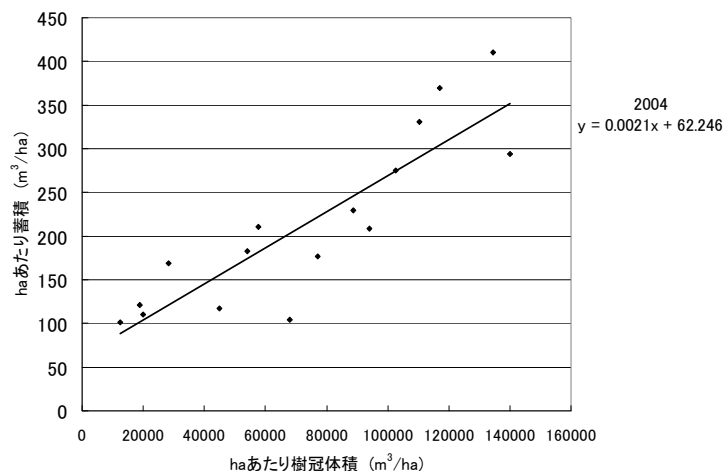


図-19 長期観察林の蓄積と航空レーザ測量による樹冠体積との関係式
x ha あたり樹冠体積 y ha あたり蓄積

5-8. 群状伐採跡地の更新

第一回目の群状伐採跡地の一部について蓄積の変化を調べた。

1989 年と 1999 年の DSM の差分から群状伐採跡地と特定され、かつ当時の収穫調査進行図と野帳から、伐採量が特定できたエリアを解析対象地として選定した (図-20)。解析対象面積は 1.82ha であり、1991 年に 158.8 m³/ha の伐採が行われた。各航空写真撮影年の樹冠体積から蓄積を推定し、それを元に成長量を求めて、航空写真のない年の蓄積を推定した。蓄積の推移を図-21 に示す。年成長量は 1989 年から 1999 年までが 6.39 m³/ha/y で、1999 年から 2004 年までが 4.33 m³/ha/y であった。計算結果から、この伐採跡地はある程度更新していると推測された。

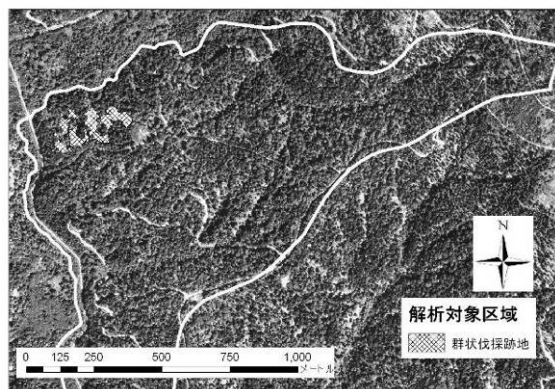


図-20 解析対象群状伐採跡地位置図

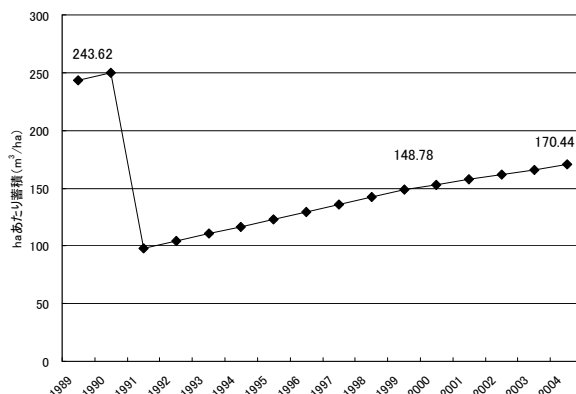
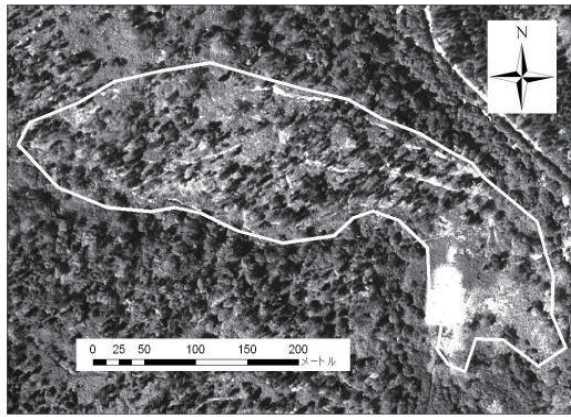
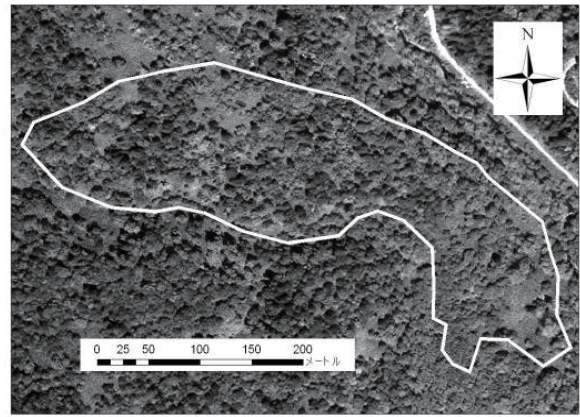


図-21 解析対象伐採跡地の蓄積の推移

次に、236 林班全域における第一回目群状伐採 (1990 年～1992 年) 実行地と、1985 年に 232 林班で伐採された立木処分皆伐実行地 (図-22) の蓄積の推移を計算し比較した。それぞれの位置図を図-23 に示す。群状伐採地の解析対象面積は 9.21ha で、立木処分地は 6.48ha である。群状伐採跡地は DSM 差分からマイナス 10m 以上と計算されたエリアを選定した。群状伐採地、立木処分地とも航空写真のない年の蓄積は、成長量を求めて推定した。また、群状伐採地において、236 林班全体の伐採量は判明しているものの、解析対象エリア内に限った伐採量は特定できず、成長量を求めることができなかったため、1989 年から 1999 年についての蓄積推移は不明である。計算結果を図-24 に示す。



1989 年



2004 年

図-22 立木処分跡地

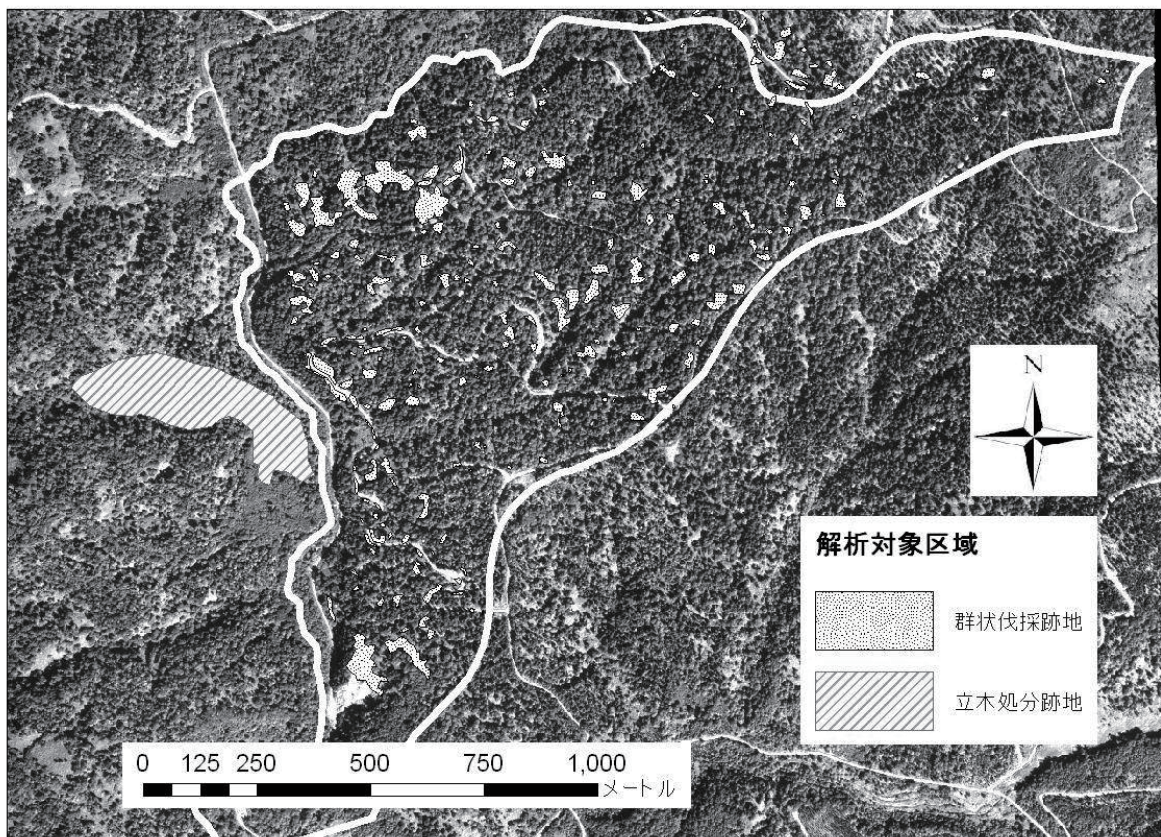


図-23 群状伐採及び立木処分位置図

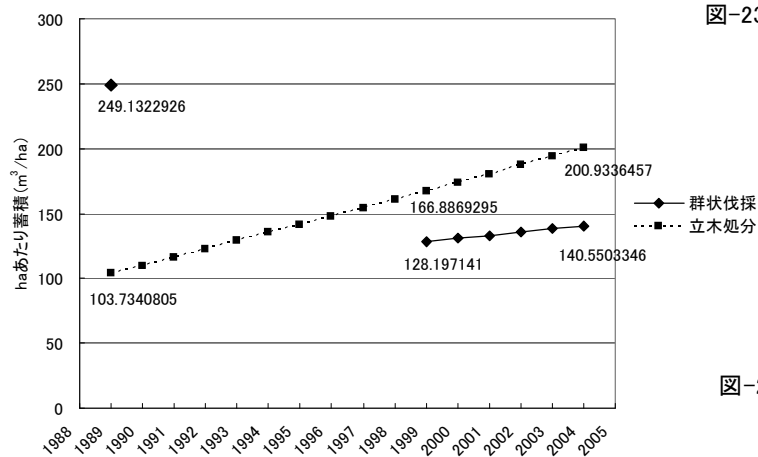


図-24 群状伐採跡地と立木処分跡地の蓄積推移の比較

群状伐採終了7年後から12年後(1999年～2004年)にかけての実行跡地の年成長量は2.47 m³/ha/yであり、一方、立木処分終了7年後から12年後(1992年～1997年)の実行跡地の年成長量は6.30 m³/ha/yであった。群状伐採跡地は立木処分跡地に比べて、伐採後の成長量が低かった。群状伐採は1月から3月の積雪期に行われているが、立木処分の伐採は11月から行われている。群状伐採跡地の成長量が低かった理由として、伐採時期の違いによる地表攪乱の強度の差が、伐採後の更新状況に影響したという可能性が考えられる。これらの結果から、更新状況が良好でない群状伐採跡地について、今後掻起しなどの積極的な更新補助作業を行う必要があると考える。

6. まとめ

6-1. デジタル空中三角測量について

- ・ 比較的容易に樹冠表面の標高データであるDSMを作成することができた。
- ・ 各撮影年のDSMを比較することにより、伐採や更新など、森林の大きな状態の変化を捉えることができた。
- ・ 太陽高度の差による航空写真の撮影状況の違いが、測量結果に影響を及ぼすことがわかった。
- ・ 長期観察林における蓄積とデジタル空中三角測量によって計算された樹冠体積は、ある程度の相関関係にあることがわかった。蓄積の推定精度向上のためには、今後より多くの長期観察林を加える必要があり、またDSMの作成において、各年の撮影状況の違いによる影響を軽減する方法を検討する必要がある。
- ・ 2004年の蓄積推定では航空レーザ測量の推定値と近い値を示した。

6-2. 20線群状伐採について

- ・ 各年のDSMを比較し、減少しているところを抽出することによって、過去の伐採箇所を推定することができた。
- ・ 一部の伐採跡地は更新が良好であると推測されたが、236林班全域において232林班の立木処分の伐採跡地と比較すると、良好であるとはいえない。
- ・ 今後、現地調査をふまえた上で、積極的な更新補助作業を行う必要がある。

7. おわりに

森林の管理方法を決定する上で、それまでの森林の経過を知ることは重要である。しかし、長期観察林などの長期モニタリングプロットの維持には多くの人手を要し、また小面積にならざるをえない。また、後年の目的を意図してプロットを設定することはできるが、過去に遡ることはできない。そのため、伐採や更新方法の決定には、これまで技術者の経験に頼らざるをえない部分が多くあった。

本報告で述べたように、デジタル空中三角測量は過去の森林の変化を、客観的、定量的かつ広範囲に知ることができる手法である。今後、森林管理を効率よく、的確に行っていく上で、この手法は有効であろう。

参考文献

- 1) 独立行政法人国立環境研究所, 2006, 航空写真のデジタル解析による自然再生の目標設定手法の検討調査報告書。
- 2) 笹賀一郎, 1990, 天塩地方演習林年度報告, 北大演習林試験年報第8号, 89。
- 3) ESRI ジャパン株式会社, 2006, LPS ユーザーズガイド。
- 4) 高橋 廣行ほか, 2005, 航空機 LIDAR による森林の計測, 北方森林保全技術第23号, 1～4。

- 5) 和 孝雄ほか, 1998, 照査法試験林の施業経過と成績 (Ⅱ) —北海道大学中川地方演習林の試験林の分析—, 北大演習林研究報告第 55 巻第 2 号, 274～308.
- 6) 網走東部森づくりセンター, 2004, 置戸照査法試験林, 森林施業試験—道有林における実践例第Ⅷ報, 99～105.
- 7) 高橋 廣行ほか, 2006, 航空機 LIDAR を用いた樹高と森林蓄積量の評価, 日本森林学会北海道支部論文集, 第 54 号, 93～95.