

653.27  
A12

高分解能衛星を使用した森林の CO2 吸収量に  
関するデータベースの確立に関する研究

A study on carbon stock database of forest  
using high-resolution space images data

16380097

平成 16 年度～平成 17 年度科学研究費補助金  
(基盤研究 (B)) 研究成果報告書

平成 18 年 4 月

(2006 年 4 月)

研究代表者 阿部 信行

新潟大学・自然科学系・教授

はしがき

京都議定書が 2005 年 2 月に発効した。そして、第 1 約束期間の 2008 年がせまっている。わが国は、温室効果ガス排出削減目標 6%のうち、森林が吸収する CO<sub>2</sub> 量を最大で 3.9%を上限とする吸収量が認められた。しかし、この吸収量を実現するためには、森林管理の実施、吸収量査定手法の確立等、様々な課題が残されている。吸収量の計測・査定に当たっては、京都議定書に明記されている「検証可能性かつ透明性の高い方法」を用いる必要があり、リモートセンシングを活用した吸収源モニタリングの確立が期待されている。わが国の森林資源は、森林簿に記載されているが、その精度は非常に不安定である。特に、小班内の材積はただ一つの値が記載されているだけだが、実際の材積は小班内でかなり変動する。一方、最大の森林資源を占めているのが、スギ人工林資源である。スギ林における炭素貯留量の推定も行われているが、容積密度値の検証も必要である。スギ資源量が大きいため、わずかの違いでも総量へ及ぼす影響は大きい。そこで、実際に、容積密度を測定して、炭素貯留量の推定を行い、森林簿と比較した結果を解析した。そこで、本研究の目的として

1. スギ人工林の調査結果から現存量を測定し、森林簿、現実データ、高分解能衛星データから推定した炭素貯留量の対応関係を整理し、森林の貯留炭素量に関するデータベースの構築を検証する。
2. 高分解能衛星データは、専門家が解析しなくても目視で解析可能な事項がある。目視で分かる事項について検証する。
3. 高分解能衛星データを用いた解析事例を増やし、森林資源解析に役立てる。

第 1 章では、スギ人工林の現存量調査を通じて、容積密度の検証、炭素貯留量の推定、森林簿の精度検証、小班内の材積分布を明らかにした。この章では、16 年度、17 年度研究計画の内、高分解能衛星データによるスギの特性は空く、高分解能衛星データと GIS の重ね合わせ、既存森林簿材積の精度、現実林分に近い材積推定方法の構築の研究計画に対応した成果、第 2 章では、高分解能衛星データを活用した目視による林分解析例を述べ、森林状態の把握例、樹葉の反射特性を述べた。この章では、小規模所有の森林資源の把握手法の研究計画に対応している。第 3 章では、都市近郊の植生域抽出と樹種判別、都市近郊林を巡る諸問題について論述した。この章では、高分解能衛星データと GIS の重ね合わせ、森林所有者や受益者・住民への双方向での情報公開手法の検討の研究計画に対応している。第 4 章では、森林計画における留意点、都市近郊林の維持の問題、環境情報システムの構築例を述べた。この章では、関連する機関とのグローバルネットワークの構築に関連した研究計画に対応している。

2006 年 4 月吉日

研究組織 Project Group

研究代表者：阿部 信行(新潟大学・自然科学系・教授)

Project Leader Nobuyuki ABE(Niigata University)

e-mail:tomiko@agr.niigata-u.ac.jp

研究分担者：加藤 正人 (信州大学農学部教授)

Project Member e-mail:mkatoh@gipmc.shinshu-u.ac.jp

研究分担者：原 慶太郎 (東京情報大学総合情報学部教授)

Project Member e-mail:hara@rsch.tuis.ac.jp

交付決定額 (配分額) Budgets (金額単位 unit : yen)

	直接経費	間接経費	合計
平成 16 年度	4,400,000	0	4,400,000
平成 17 年度	2,600,000	0	2,600,000
総計	7,000,000	0	7,000,000

研究発表 Publications & Oral presentation

(1)学会誌等 (発表者名、テーマ名、学会誌名、巻号、年月日)

Abe,N.,Ishida,T :Estimation of Carbon Stock in sugi Plantations using High-Resolution Quick-Bird Images The Role of Forest for coming generations -Philosophy and Technology for Forest Resource Management- Edited by Naito,K. Japan Society of Forest Planning Press221-229,2005

青木孝宏・阿部信行:高分解能衛星画像を用いたスギ人工林におけるテクスチャからの目視判読の可能性、新潟大学農学部研究報告, 58, 71-78, 2005

岡島 遥・阿部信行:衛星リモートセンシングを用いた新潟市の土地利用モニタリング、新潟大学農学部研究報告, 58, 63-70, 2005

飯田和明・阿部信行: スギ人工林の現存量と容積密度, 森林計画学会誌, 39, 59-63, 2005

Kamagata, N., Akamatsu, Y., Mori, M., LI,Y. Hoshino, Y. & Hara, K.: Comparison of pixel-based and object-based classifications of high resolution satellite data in urban fringe Areas, Proceedings of the 25th Asian Conference on Remote Sensing6pp. (CD),2005

鎌形哲稔・原慶太郎・赤松幸生・森大・李雲慶・星野義延, 高分解能衛星データのオブジェクト指向分類による植生図作成手法の提案, 写真測量とリモートセンシング45, 印刷中, 2006

鎌形哲稔・赤松幸生・森大・李雲慶・星野義延・原慶太郎, 日本写真測量学会平成17年度秋季学術講演会発表論文集, 81-84,2005

Qingwei Guan,Shiquan Li,Mark Ryan,Masato Katoh and Tatsuhito Ueki:

Analysis of Present Situation and Issues on Management Types of Suburban Forests in China –A Case Study in Shenyang, Journal of Forest Planning 11:1-7,2005

高橋清美・加藤正人：季節変化による樹葉の分光反射データと物理特性の把握—フィールドスペクトルメータを使用したデータの蓄積—、中部森林研究53、175-176、2005

加藤正人：森林計画における森林計測の展開、森林計画誌 38、41-46,2004

Qingwei Guan,Lianshun Zou,Mark Ryan,Katoh,M.Ueki,T.:The Present Situation and Constraints of Beijing' Forests for Holding 2008"Green Olympic",Journal of Forest Planning11,17-22,2005

藤澤 翠・加藤正人：住民参加による森林整備のあり方に関する研究—城山国有林を事例として— 中森研 No.53,193-194,2005

高橋清美・加藤正人：季節変化による樹葉の分光反射データと物理特性の把握—フィールドスペクトルメータを使用したデータの蓄積—、中森研 No.53,175-176,2005

(2)口頭発表 (発表者名、テーマ名、学会誌名、巻号、年月日)

飯田和明・阿部 信行：高分解能衛星の輝度値による広葉樹の樹種区分、第 115 回に本林学会大会学術講演集、570、2004

伊藤幸介・阿部信行：Landsat-ETM データを利用した新潟県スギ人工林における林分因子の解析、第 115 回に本林学会大会学術講演集、587、2004

飯田和明・阿部 信行：衛星データを用いたスギ同齢林における炭素貯留量の推定、第 116 回に日本森林学会大会講演要旨集、pc024,2005

Riva Rovani・Abe,N.:Analysis of sugi stand volume using multi-temporal Landsat TM Image in mountainous Tsugawa Region,Niigata Prefecture, 116<sup>th</sup>.Trans.Jpn.For.Soc.,pc035,2005

阿部 信行：衛星データが示す新潟県の災害状況、平成 17 年度衛星リモートセンシング推進委員会農林業ワークショップ in 新潟、予稿集 17、2005

阿部信行：地震による山間部農地被害の解析、2005 年度第 2 回新潟県土壌肥料懇話会

阿部信行：衛星データを利用した山地被害の抽出、森林 GIS フォーラム東京シンポジウム、2005

阿部信行：衛星データで中越震災を解析、新潟県連続災害の検証と復興への視点— 2004.7.13 水害と中越地震の総合的検証—、2005

阿部信行・福山利範・塚口直史：衛星データを利用した水田の冠水状況と収量との関係解析、7.13 水害における農林被害調査と次年度農作業への緊急提案、2005

(3)出版物

加藤正人編著、森林リモートセンシング—基礎から応用まで—、日本林業調査会、2004 年 4 月 1 日発行

# 第 1 章

## 第 1 章

### 高分解能衛星データを用いた同齢スギ人工林内における炭素貯留量の推定方法

#### 1.はじめに

##### 1-1 背景

2005年2月16日、京都議定書が発効された。これにより来る第一約束期間（2008-2012）に向けて温室効果ガス排出量を1990年比で先進国全体では-5%、日本は-6%削減しなければならない。日本はCOP7のマラケシュ合意が得られたことで、1990年比6%の温室効果ガスの削減が求められる中、その内の3.9%を森林の二酸化炭素吸収量として認められ、森林が吸収源として果たす役割は大きいものとなっている。地球全体の森林が持つ二酸化炭素貯留量についてはこれまでに様々な値（ $352 - 536 \times 10^9 \text{ ton}$ ）が推定されているが、Kauppi（2003）はそれら推定値が過大に推定されていることを指摘し、最近のFAOの報告より地球全体の炭素貯留量を $300 \times 10^9 \text{ ton}$ と導き、この値がより正確な値であると発表している。

しかし、現在これら大きな吸収源を算入するモニタリングやインベントリ評価体制の構築が課題として挙げられている（米ら,2003）。その主な内容は、排出・吸収量の推計をするための国内制度を2007年までに整備しなくてはならないこと、排出・吸収インベントリに京都議定書に遵守したことを明らかにする情

報を含めなくてはならないこと、専門家審査チームがインベントリ情報をレビューすることである。これらの課題を詳細に精度良く整備・評価していくことが必要となってきた。

## 1-2 目的

前述した吸収源算入モニタリングとして期待されている技術の一つがリモートセンシングである。山形ら（2001）はリモートセンシング計測手法が果たす役割と今後の展望を述べている。リモートセンシングの利点は広範囲のデータが取得できること、定期的なデータ取得が可能なこと等が挙げられる。通常、我が国の森林資源は森林簿の情報を積算して計上される。森林簿の精度や材積から炭素貯留量への変換に必要な既定の容積密度の値を調べておく必要がある。

新潟県の森林簿の材積はⅠ－Ⅲ区域に分け、それぞれの区域に対応した材積成長式から求められているため、実測値と異なっている場合が多い。わが国の森林が吸収している炭素量の合計は、各都道府県、国有林の小班材積を合計して推定される。しかし、各都道府県における森林簿の材積推定は、新潟県同様、管内を地位区分し、それぞれの地位ごとに材積量を推定している。この方法では、小班内の材積値は平均材積量が一つだけ推定されることになり、小班内の地位のバラツキについては考慮されていない。小班面積が大きくなると、成長実態を表しておらず、このような森林簿の材積量が現実林分をどの程度反映しているかは、調査して検証してみないと分からない（Abe and Ishida,2005）。一方で、スギの容積密度も検討していかななくてはならないと考える。

炭素貯留量の推定には、容積密度の値が大きな影響を与える。容積密度とは生材の容積に対する全乾重量の比のことであり、個々の樹種によって値は異なる。木材工業ハンドブック（1982）によるとスギの容積密度は0.299～0.333とかなり値がばらついている。松本（2001）はスギの容積密度の標準値を0.32と設定し、日本全体の森林の炭素貯留量を求めた。しかし、スギは周囲環境によって成長量が異なり、成長量の差は容積密度に反映される。容積密度を求めるためには、幹現存量を測定する必要がある。

現存量調査は森林生態系における物質循環の解明や林分の生産力の評価などを目的として1950年代から70年代まで盛んに行われてきた調査である（佐藤ら（1966）、斉藤ら（1967）、（1973）、坂口ら（1969））。近年、森林による二酸化炭素吸収量をより正確に評価することが求められているため、再び注目されてきている（嘉戸ら、2003）。渡邊ら（2005）は森林の炭素固定に関する調査は各地で行われているが、同一の森林立地条件で樹種と炭素固定の関係が報告された事例は少ないことを指摘しており、同齡のアカマツをはじめ、スギ、ヒノキの現存量及び炭素量を測定している。従来、現存量調査は手間がかかるものだと考えられてきたが、飯田ら（2005）は高性能林業機械と電子はかりを用いて現存量調査を行い、労力と調査に伴う時間を大幅に短縮できた。当該造林地はほぼ同時期に植栽されているが、成長量や地位にはバラツキが見られた。本研究は衛星データを利用して公社造林地のより詳細な炭素貯留量分布を解析し、小班内における材積の分布状況の推定方法、森林簿との差について解析したものである。



## 2.調査地の概要

平成 17 年 4 月 1 日に、2 町 2 村（津川町・鹿瀬町・上川村・三川村）が合併した阿賀町は、新潟県の東部に位置し、新潟市から東へ磐越自動車道で約 35 分の距離にあり、町の東側は福島県の県境と接している。町の中央を阿賀野川とその支流の常浪川が流れ、その沿岸の段丘を中心に開けた山間地域である。中心部は比較的平坦で、周辺は急峻な山岳地帯に囲まれ、北に大きく飯豊山塊が広がり、北西には越後山脈が南北に走っている。面積は 952.88 平方キロメートルで、新潟県面積の約 6.8%を占めている。（阿賀町ホームページより）

調査地は新潟県東蒲原郡阿賀町にある県公社造林地鳥井団地（旧津川町）、豊実団地（旧鹿瀬町）で行った。鳥井団地は昭和 52 年（1977）に 10ha のスギ林の植栽をし、その後 1999 年に 5 残 1 伐方式、2004 年に 4 残 1 伐の間伐が行われた。豊実団地では昭和 51 年（1976）～53 年（1978）にかけて 10ha 植栽され、2000 年に間伐が行われた。図 2-1 は新潟県全図を表したものであり、調査対象地である旧津川町、旧鹿瀬町の位置を示したものである。

## 3.使用データ

今回使用する画像は 2001 年 5 月 29 日に撮影された IKONOS のパンクロマチック画像（幾何補正済み）を用いた。今回解析に用いた画像を図 3-1 に示す。図 3-1 内の赤く囲われた部分が解析対象地である。画像解析ソフトには ESRI 社の ERDAS IMAGINE8.7 と Arc View9.0 を使用した。



図 3-1 IKONOS 衛星画像

#### 4.調査方法

##### 4-1 現存量調査

現存量調査は2004年5月に鳥井団地内にプロット1(大きさ20m×30m)、豊実団地にプロット2(大きさ20m×20m)を設定し、行った。両プロットを図5-1に示す。両プロットとも昭和52年に植栽が行われた地域である。プロット1、2共に毎木調査を行い、胸高直径、樹高を測定した。現存量調査の現地での様子を図5-2に示す。樹高はHaglof社のVERTEXⅢを用いて測定した。尚、プロット1では2004年に間伐が入っており、間伐前と間伐後とでは現存量に違いが出てくる。間伐前後の現存量を算出するため伐採された木の伐根径とその伐根径から胸高直径、樹高を推定できるようにプロット1内立木胸高直径と伐根に相当する直径を同時に調べた。2プロットの4均樹高、平均胸高直径、林分密度を表5-1に示す。事前にプロット内で各直径から伐倒する供試木(No.627,628,629,632,633,634,635)7本を選び出し、チェーンソーで根元から伐倒した。

表4-1 プロット別林分表

樹高：m 胸高直径：cm 林分密度：本数/ha

プロット	平均樹高	平均胸高直径	林分密度
プロット1(間伐前)	14.0	19.2	1300
プロット1(間伐後)	13.7	18.2	883
プロット2	11.3	17.8	1125

#### 4-1-1 伐倒木の重量測定

0.3m, 1.3m, 3.3m, 5.3m・・・と2m毎に輪尺を用いて直径を測定した。そして700kgまでの重量を測定することが可能な電子はかりBタイプHB-03(八幡計器)をクレーンの先に取り付け、まず伐倒木を枝葉がついたまま持ち上げ、重量を測定した。はかりの許容量を超えて持ち上げられない伐倒木(No. 634)に関しては二つに切ってそれぞれ重さを測定した。重量を測定し終わった後、地上に降ろし、チェーンソーを用い伐倒木の枝を全て切り落とし、再びクレーンで持ち上げ、幹重量を測定した。絶乾比率を求めるために樹木下部よりサンプル円板をチェーンソーで切り取り採集し、ばねばかりで円板重量を測定した。

#### 4-1-2 枝葉の測定

切り取ったスギの枝葉を全て持ち帰ることは困難であったため、チェーンソーで枝を切り落とす前に前もって枝葉を数本選定し、選定した枝葉の枝と葉を切り離した。このとき緑色部を葉に含めることとして切り離した。切り離した枝と葉をそれぞればねばかりを用いて重量を測定した。絶乾比率を測定するために、サンプル枝を選び、その枝、葉の生重を測定した。これをサンプル生重としてビニール袋に入れサンプル円板とともに大学に持ち帰った。

#### 4-1-3 絶乾重量の測定

持ち帰った枝と葉は新潟大学農学部にある温風式乾燥器を用い、90℃で72時間乾燥し、枝と葉の絶乾重を求めた。幹も同様

に 90℃で 96 時間乾燥し絶乾重を求めた。この絶乾重とサンプル生重との比率より伐倒木全体の枝、葉、幹の絶乾重量を推定した。

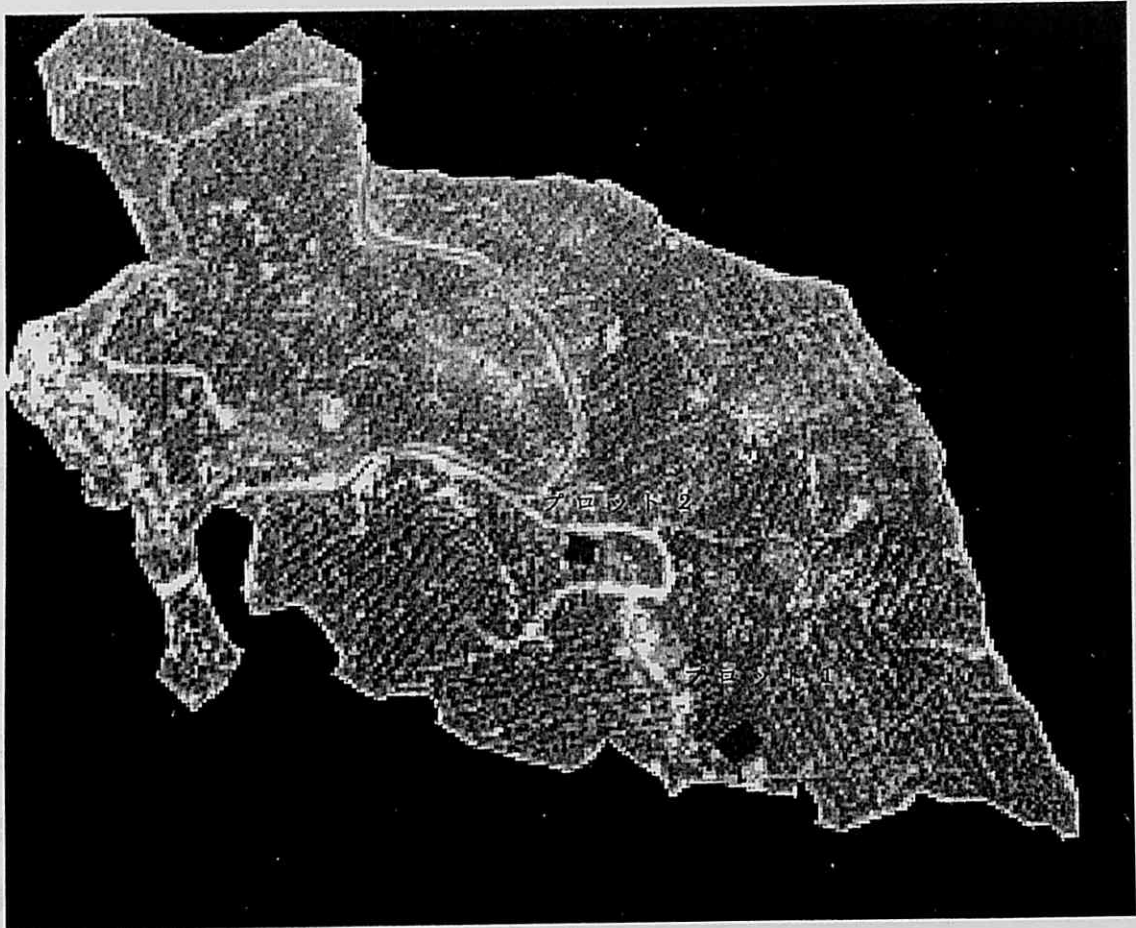


図 4-1 現存量調査プロット位置図

プロット1(調査区)	14.0	13.2	1300
プロット1(調査区)	13.7	13.2	283
プロット2	11.8	11.1	11.1



供試木の選定



電子はかり



伐倒木の重量測定



枝葉を切り落とす作業



選定した枝葉を切り分けたもの



枝の重量測定

図 4-2 現存量調査（2004年5月）の様子

#### 4-2 現地調査

現地調査は鳥井団地より  $100\text{m}^2 \sim 600\text{m}^2$  のプロットを 14 プロット設定し、現存量調査で設定した 1 プロットを加え、計 15 プロットを解析の対象とした。鳥井団地とプロットの位置を示したものを図 5-3 に示す。それぞれのプロットで樹高、胸高直径、地位、ha 当たり材積等のその他林分因子を算出した。地位に関しては Lestari (2004) が求めた新潟県全体のスギ地位指数 (基準年数 60 年) を基に算出している。新潟県全体のスギ地位指数ガイドカーブ式は以下のミツチャリッヒ式で表され、西沢ら (1965) の示した方法により地位指数曲線群を求めた。材積に関しては材積表 (林野庁計画課, 1973) を用いて求めた。

$$H = 41.5452 (1 - e^{(-0.01446 T)})$$

H; 上層木平均樹高 T; 林齢

材積式は以下の通りである。

$$\log v = 1.8876 \log d + 0.8223 \log h - 4.0989 \quad (d: 4 \sim 10)$$

$$\log v = 1.82147 \log d + 1.08770 \log h - 4.27591 \quad (d: 12 \sim 30)$$

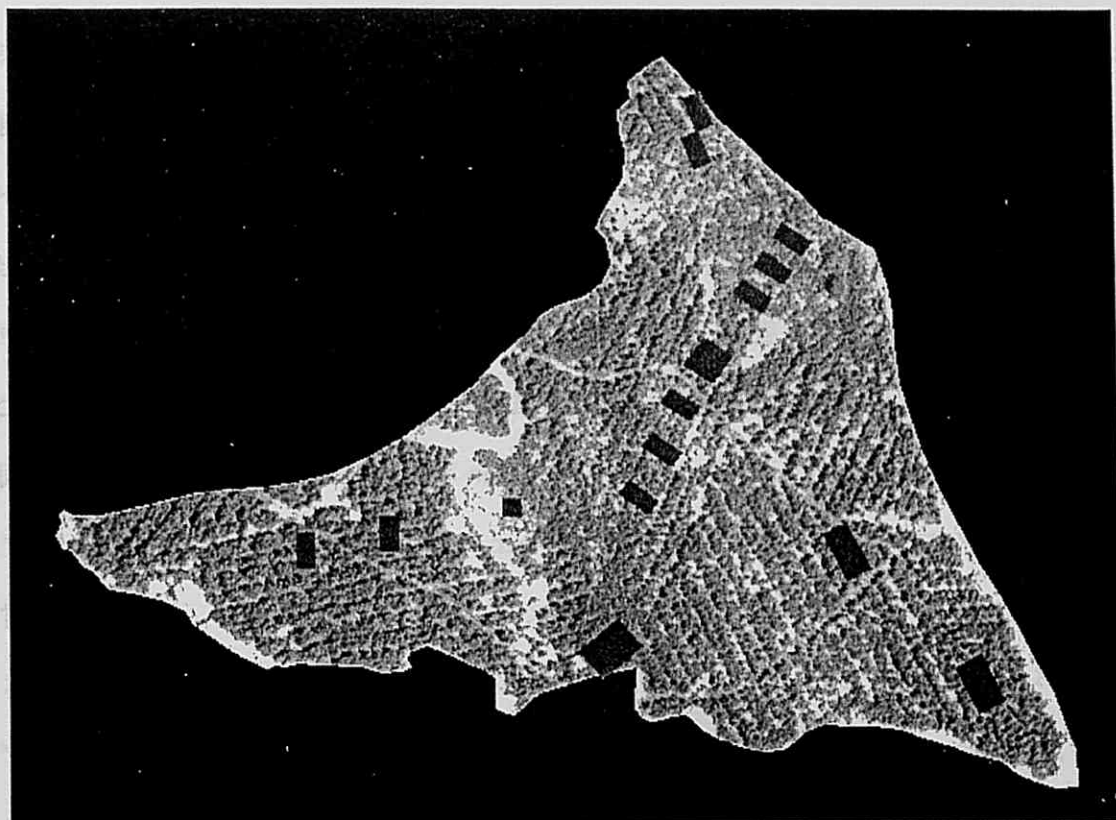


図 4-3 対象地プロット位置図



## 5.画像解析

### 5-1 リサンプリング

画像上で、ピクセル毎に材積値を推定するために、算出した材積とプロットの輝度値との回帰式が必要になってくる。プロット内の輝度値を平均値化し、材積と比較した式とピクセルサイズを変更し、対応する輝度値と材積とを比較した式を検討した。ピクセルサイズを変更するリサンプリング作業によって切り出した画像の1ピクセルの画像サイズは20m×20mとした。イコノス画像のパンクロマチックの解像度は1m×1mである。しかし、ピクセル単位に材積を推定することはできない。今回は、小班内の材積のバラツキを検討するのが目的なので、調査プロットの大きさに対応させて、1ピクセルを20m×20mにした。リサンプリングを行なうことでピクセル単位の分類を行なうよりもある程度の大きさで解析を行なうことで画像が判別しやすくなることが期待されるからである。他の理由に Awaya et al(2004)は、プロット内の輝度値の最大輝度値、最小輝度値、平均輝度値と林分因子とを比較し、材積推定には平均輝度値を用いた場合、相関が最も高くなることを示しており、リサンプリングを行い、ピクセルのサイズを大きくし、輝度値を平均値化することで、材積を精度よく算出できることが期待できる。今回リサンプリング手法には Nearest Neighbor Method (最近隣内挿法) を用いた。この手法は元のピクセル値を保持するために極端なデータ値や微妙なピクセル値の変化を保ちたい場合に有効である (ESRI ジャパンホームページ) ため、今回の解析には最適な手法である。リサンプリング後の画像を図 5-1 に示す。リサンプリング後、対応するプロ

ット内の平均輝度値と材積との回帰式を作成した。プロット内に複数のピクセルが混ざっていた場合、目視で最もプロット内で大きい面積を占めるピクセルを選んだ。大きい割合を占めるピクセルが無かった場合、上位二つを選び、平均値化して求めた。リサンプリング前と後の平均輝度値と材積の回帰式を比較し、最適な回帰式を用いて、対象地の材積を算出し、小班内のバラツキを調べた。同時に、推定材積と実測値との差を調べ、森林簿との違いについて解析した。

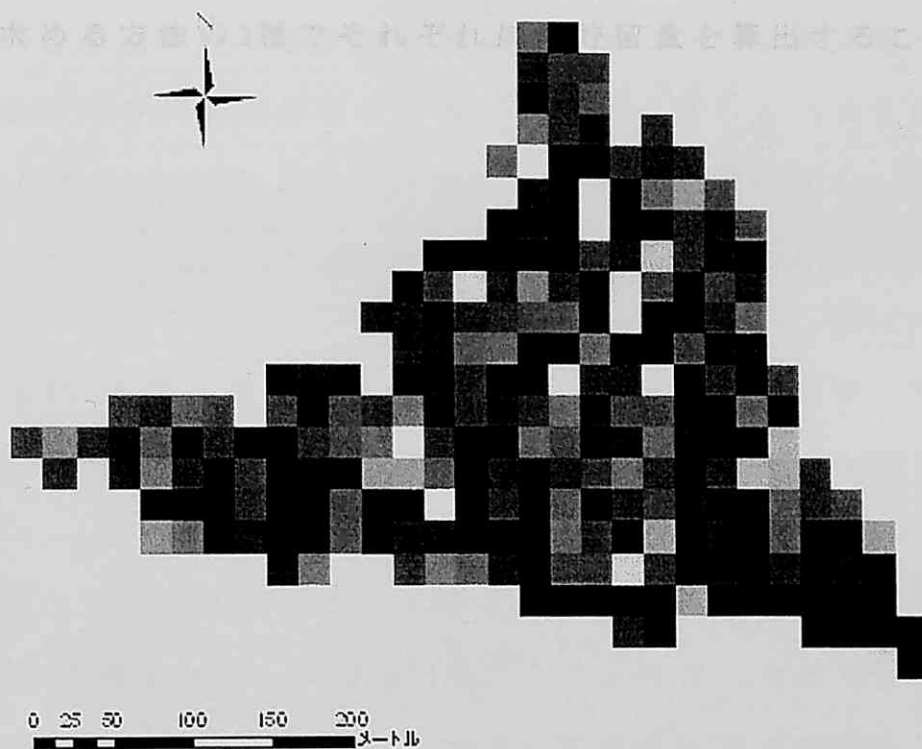


図 5-1 リサンプリング後画像

## 5-2 地位区分

次に求めた地位を4段階に区分した。60年時の上層高を地位指数として地位指数25以上を地位Ⅰ、地位指数20～24を地位Ⅱ、地位指数15～19を地位Ⅲ、15未満を地位Ⅳと定義した。地位区分を行なうために、材積と地位指数の回帰曲線を求め、回帰式に材積値を代入し、地位指数が15,20,25と推定された時の材積値を地位区分の閾値として設定した。設定した閾値から地位区分を行い、地位のパラツキ具合を調べた。

### 5-3 炭素貯留量推定

最後に対象地全体の炭素貯留量推定を行った。炭素貯留量 (tC) は以下の式にて表される (松本, 2001)。

$$\text{炭素貯留量} = 0.5 \times \text{森林面積}(\text{ha}) \times \text{ha当り森林材積}(\text{m}^3/\text{ha}) \times \text{容積密度} \times 1.7$$

本研究では、地上部の現存量についてのみ、現存量調査を行っているので、今回の推定式には、拡大係数1.7を乗じていない。炭素貯留量を算出する方法として①従来のスギの容積密度として定義されている値0.32と森林簿材積を用いる②0.32と実測値平均材積を用いる③今回算出した容積密度を用い、推定した地位毎に炭素量を求める方法の3種でそれぞれ炭素貯留量を算出することにした。

## 6. 結果・考察

各部位における現存量の推定方法には、相対成長式を利用した（阿部,1981）。ここで幹重を  $W_s$ 、葉重を  $W_L$ 、枝重を  $W_B$ （いずれも絶乾重であり、単位はkgとする）とし、伐倒した供試木の  $D^2H$ （ $D$ ：胸高直径 cm、 $H$ ：樹高 m）と  $W_s$ 、 $W_L$ 、 $W_B$  の相対成長式の関係は図 6-1 のように示された。図に示すように  $W_s$ 、 $W_L$ 、 $W_B$  の各部位における絶乾重と  $D^2H$  の間には相対成長が成立していた。決定係数も幹 0.9877、葉 0.725、枝 0.9267 と高い値を示した。プロット 1 ではプロットを設定する直前に間伐が行われていた。間伐木材積を推定するために、立木の根元径と胸高直径との回帰式を作成した。この式を利用し、間伐後の根元径から胸高直径を推定した。以下の式はプロット 1 内の伐根径( $X$ )からの胸高直径( $Y$ )の推定式である。

$$Y=7.2092e^{0.0398X} \quad (R^2=0.8147)$$

一方、樹高はプロット 1 の毎木調査から得た樹高 ( $H$ ) と胸高直径 (DBH) との樹高曲線式から求めた。

$$H= DBH^2 / (0.2055DBH+0.0143)^2+1.3$$

この樹高曲線を用いてプロット 1 内で伐採された木の樹高推定を行った。推定した樹高から  $D^2H$  を求め、相対成長式を利用し、間伐木を含めた現存量を推定した。相対成長式のパラメータは供試木の絶乾重と  $D^2H$  から最小二乗法でパラメータを求めた。相対成長式は次の通りである。

$$\log W_s=0.8923 \log D^2H-3.4463$$

$$\log W_L=0.5523 \log D^2H-2.5514$$

$$\log W_B=0.5681 \log D^2H-2.1291$$

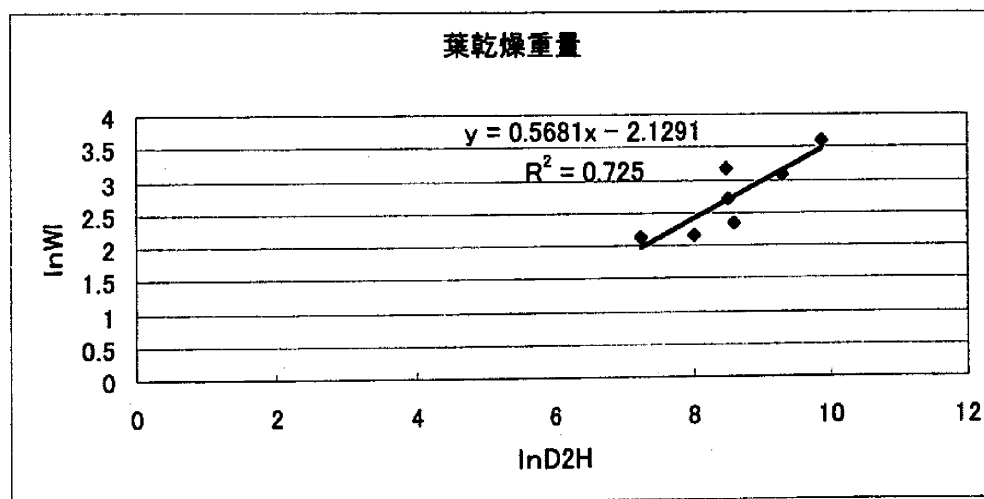
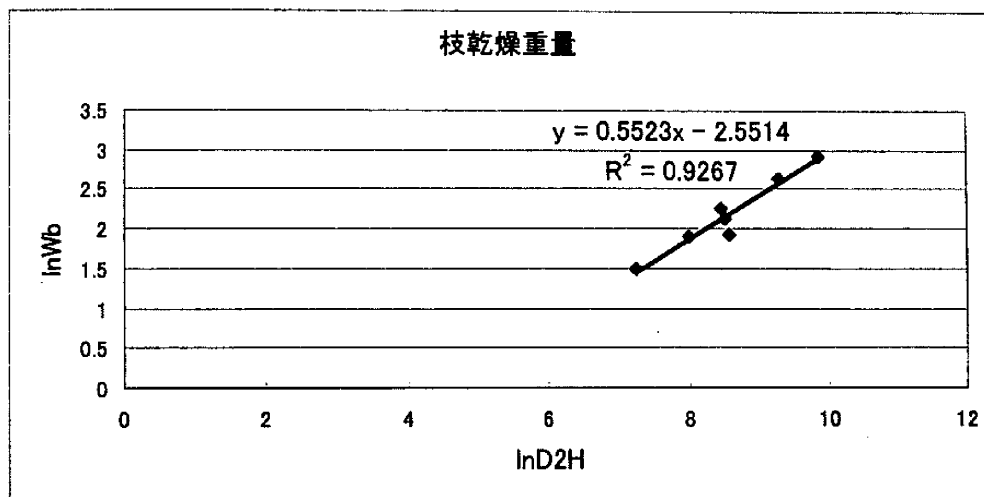
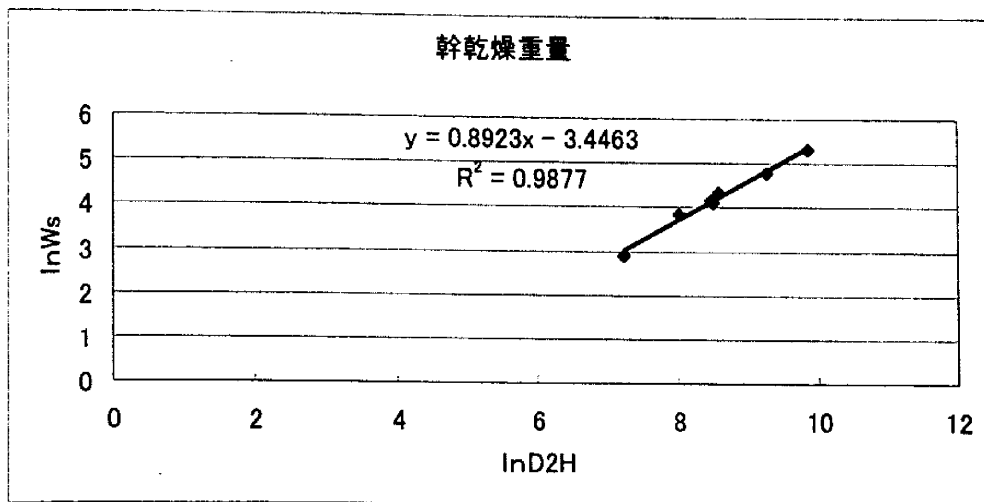


図 6-1 各部位における絶乾重相対成長式

この相対成長式と胸高直径、樹高の現地データからプロットのスギ地上部現存量を推定した。結果を表 6-1 にまとめて示した。プロット 1 では間伐前と間伐後の現存量の違いを見るために間伐前後の現存量を算出した。

表 6-1 プロット別現存量 単位：ton/ha

プロット	葉現存量	幹現存量	枝現存量
プロット 1(間伐前)	20.13	89.81	11.51
プロット 1(間伐後)	12.72	54.26	7.29
プロット 2	14.32	58.67	8.23

スギ現存量の報告例は過去に数多く報告されているので、今回調査した現存量を今までの報告と比較してみることは容易であると考えていた。しかし、現存量調査の多くが幼齡林や 60 年生以上のものを対象にした報告が多く、今回の対象地に近いものを示した報告例は残念ながら見つけれなかった。葉乾重に関して只木（1976）はわが国における森林の葉量をまとめているため、葉乾重のみ比較した結果を簡単に示す。只木（1976）によれば、スギの葉量は  $19.6 \pm 4.4 \text{ ton/ha}$  であるとしている。プロット 1 の間伐前は当てはまっているが、その他は当てはまらなかった。考えられる原因として間伐が行われたことや（プロット 1 間伐後）、同じ林齡であるにもかかわらず成長量が低く、葉量が低いこと（プロット 2）等が考えられた。

容積密度を推定するための供試木から求めた幹材積  $V$ （区分求

積法による) と  $D^2H$  との関係は次式で近似され、高い相関 ( $R^2=0.9941$ ) が見られたためこの式から幹材積 ( $V$ ) と絶幹重 ( $W_s$ ) を推定することにした。

$$V=0.00004D^2H+0.0174$$

$$\log W_s=0.8923 \log D^2H-3.4463$$

図 6-2 に示すとおり  $D^2H$  と材積、また図 6-1 より幹の絶幹重との間には非常に高い相関関係が見られたため、両式を用いてプロット 1、2 の他の木についても容積密度を算出した。

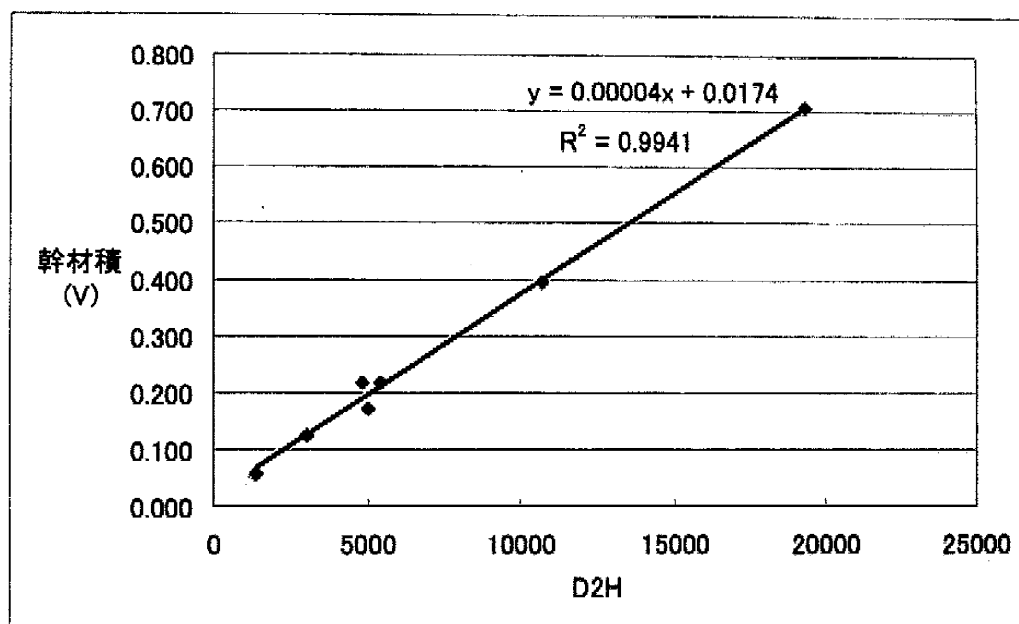


図 6-2 幹材積 ( $V$ ) と  $D^2H$  との回帰式



求めた幹材積と幹現存量からプロット1の間伐前、間伐後、プロット2の容積密度を推定した。容積密度の結果を示したのが表3である。表6-2からプロット1の間伐前容積密度は0.293、間伐後0.295と間伐前後でやや変化した。プロット2は0.284となった。前述のようにスギの容積密度は0.299～0.333とされており、従来の容積密度の値に比べ小さい結果となった。また、間伐後の方が容積密度の値が増加していることから、密度の高い立木が残されたことが原因として考えられる。

表 6-2 プロット別容積密度 容積密度：ton/m<sup>3</sup>

	容積密度
プロット1間伐前	0.293
プロット1間伐後	0.295
プロット2	0.284

現地調査の結果を表6-3に示す。表6-3から地位も材積も値に

バラツキが見られることが分かった。材積について注目し、プロットの実測値平均の材積を算出したところ、 $154.54\text{m}^3/\text{ha}$  となった。鳥井団地に対応する森林簿の ha 当り材積を調べると  $249.35\text{m}^3/\text{ha}$  と記載されており、森林簿材積が実際の値より過大に推定されていることが分かった。調査プロットで森林簿材積の値を超えているのは 3 プロットしか該当せず、森林簿の値を使用することの妥当性に問題があると考えられた。

表 6-3 現地調査結果 D : cm H : m

プロット	平均 D	平均 H	地位	材積( $\text{m}^3/\text{ha}$ )	本数密度(本)
7	20.84	11.87	21	160.41	750
8	14.54	9.17	18	129.45	1600
9	14.65	7.56	16	88.72	1300
10	15.67	8.88	18	115.29	1300
11	24.64	15.49	26	254.93	700
12	26.79	16.30	27	272.96	600
13	11.11	5.09	12	31.49	1100
14	15.01	7.88	16	71.18	1000
15	19.23	10.23	19	173.93	1150
16	16.52	8.80	18	93.47	950
17	15.21	7.64	16	75.94	1050
18	16.38	8.72	17	136.29	1450
plot1	19.19	13.95	24	313.61	1217
plot3	19.13	12.98	23	198.78	1022
plot4	20.59	12.97	23	201.68	889

プロット内の輝度値を平均値化して求めた推定材積値とリサンプリングをかけて求めた推定材積値を求めるための回帰式が図 6-3、6-4 である。図 6-3 はプロット内の輝度値を平均値化して求めた輝度値 (X) と材積 (Y) との関係であり、次式で表される。

$$Y = 75326e^{-0.02X} \quad (R^2 = 0.6947)$$

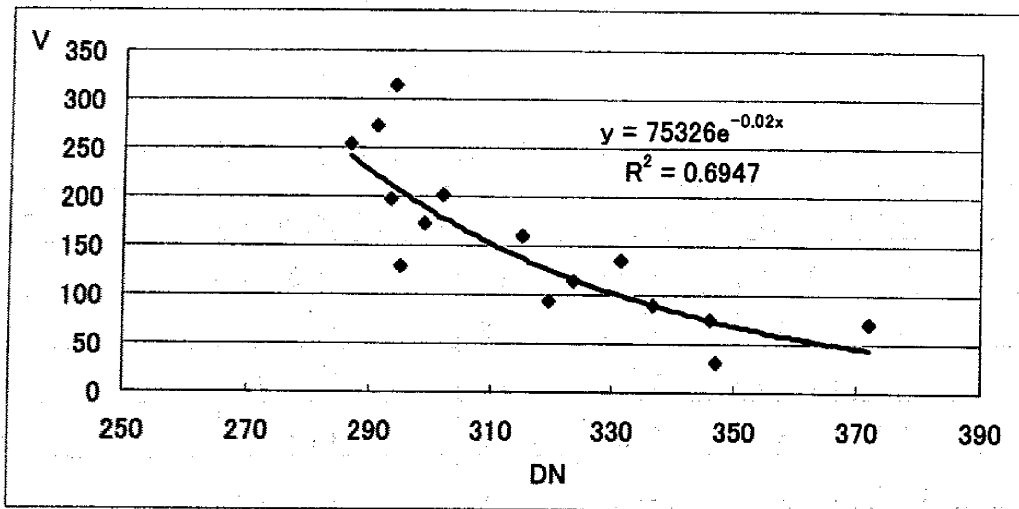


図 6-3 プロット内平均 DN と材積との回帰式

図 6-4 はピクセルサイズを 20m×20m にリサンプリングした後の輝度値 (X) と材積 (Y) との関係式で、次式で表される。

$$Y = 1048.4e^{-0.0063x} \quad (R^2 = 0.367)$$

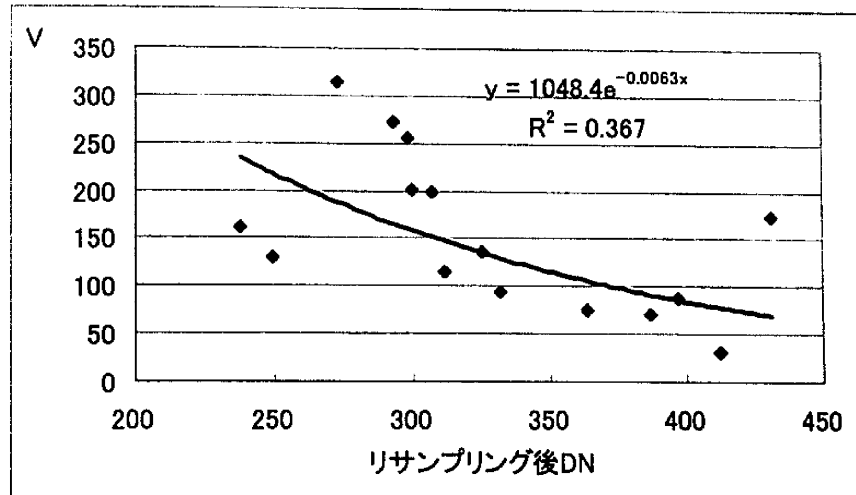
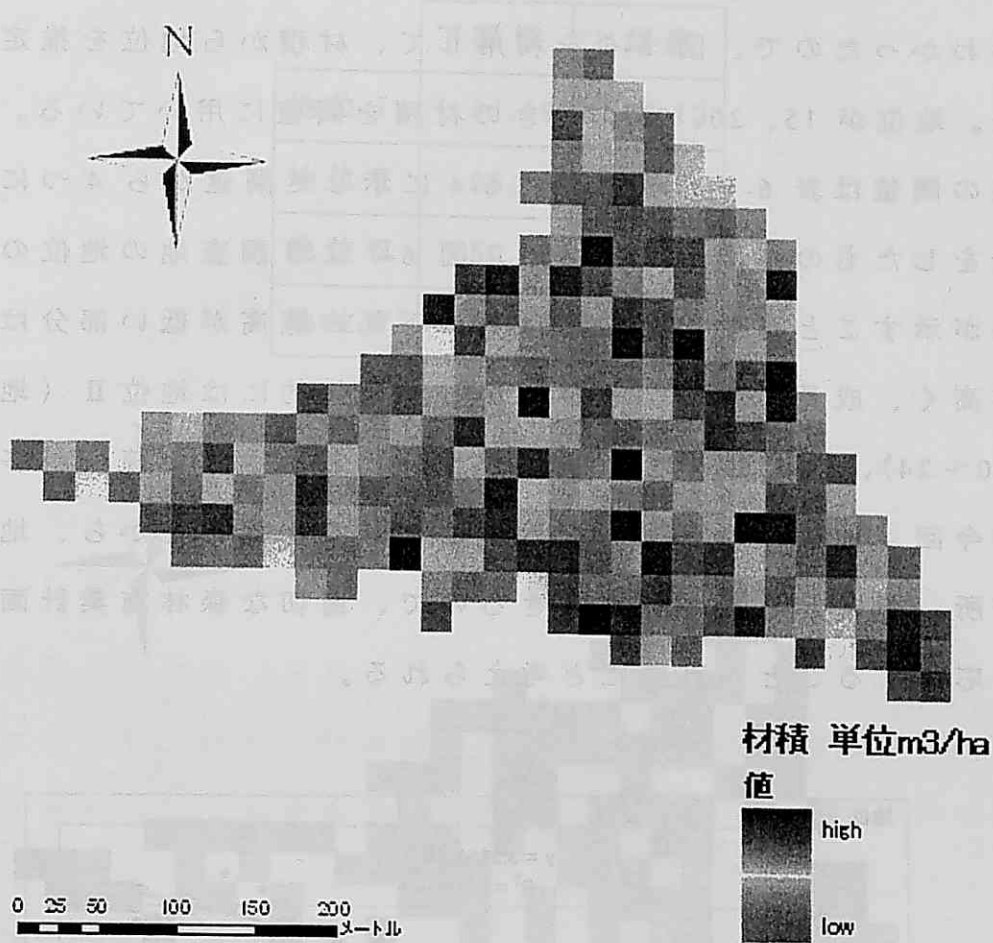


図 6-4 リサンプリング後の輝度値と材積との回帰式

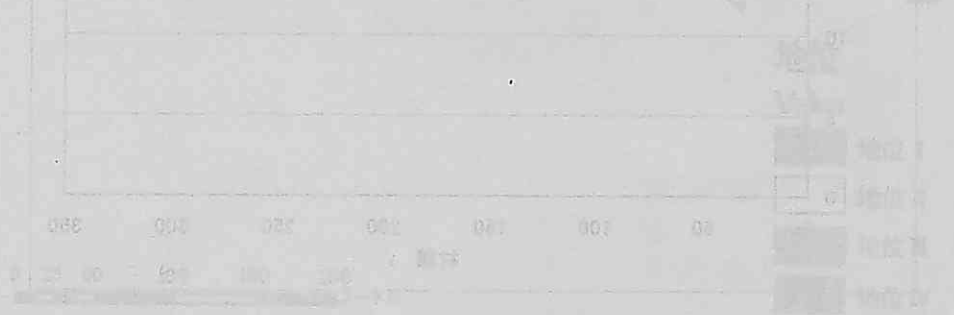
両式を比較すると、プロット内の輝度値を平均値化して求めた方が相関は良いという結果となった。しかし、プロット内の輝度値を平均値化してしまうやり方で対象地の材積を推定する方法では、予め画像を一定のセルに仕切り、その平均輝度値を求めなければならず、画像中のピクセル一つ一つに式を当てはめ、計算量も膨大になる。一方、リサンプリング後の材積と輝度値との回帰式は 5% で有意であった。これらを踏まえて図 6-4 に示される回帰式を用いて対象地の材積推定を行なうことにした。

図 6-4 よりリサンプリング後の輝度値に対応した材積分布図が図 6-5 である。図 6-5 から求めたリサンプリング後の鳥井団地全

体の平均材積量は  $144.87\text{m}^3/\text{ha}$  であった。結果は実測値平均に比べ、やや過小であるが、森林簿材積よりは精度は格段に良いことは実証できた。しかし、全体的な誤差は少なくできたが、プロット毎では、誤差が大きいプロットが何箇所かあった。図 6-5 の材積分布の変動は、林齢が同一であることを考慮すると、地位が異なるためと考えられる。図の上部は下部よりも標高が高く、尾根に近いので材積が低いピクセルが多い。一方、下部は標高が低く凹地形になっているので地位がよいピクセルが多い。森林簿では、小班内は同一材積として表現されることを考えると、ピクセル毎の材積表示は、地位の実態も考慮でき、実際的な森林経営に寄与できると考えられる。今後推定精度を上げるためには、誤差の要因を解析する必要がある。



6-5 材積分布図



大森町のS系林分換算森林面積表 0-8 図

図 6-7 地位区分図

次に、地位区分を行った。実測値材積と地位指数との回帰式を示したものが、図 6-6 である。図 6-6 より、両者の相関は高いことがわかったので、図 6-6 を利用して、材積から地位を推定してみた。地位が 15、20、25 のときの材積を閾値に用いている。各地位毎の閾値は表 6-4 に示す。表 6-4 に示した閾値から 4 つに地位区分をしたものが図 6-7 である。図 6-7 より調査地の地位のバラツキが示すことができた。図 6-7 の下部の標高が低い部分は、地位が高く、成長が良いことがわかる。全体的には地位Ⅱ（地位指数 20～24）、地位Ⅲ（地位指数 15～19）と示された箇所が多かった。今回、地位のバラツキを示すことができたことから、地位の良い所、悪いところが判断できるので、適切な森林施業計画の策定に応用することが可能だと考えられる。

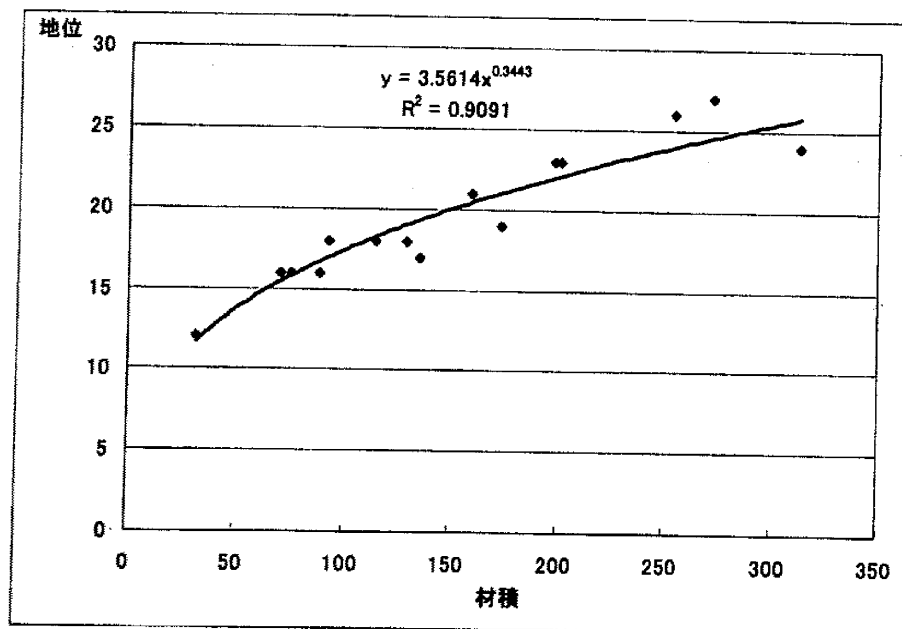


図 6-6 実測値材積と地位指数との回帰式

表 6-4 地位区分に用いた材積閾値

	下限値	上限値
地位 I	31.49	65.13
地位 II	65.14	150.18
地位 III	150.19	287.14
地位 IV	287.15	313.61

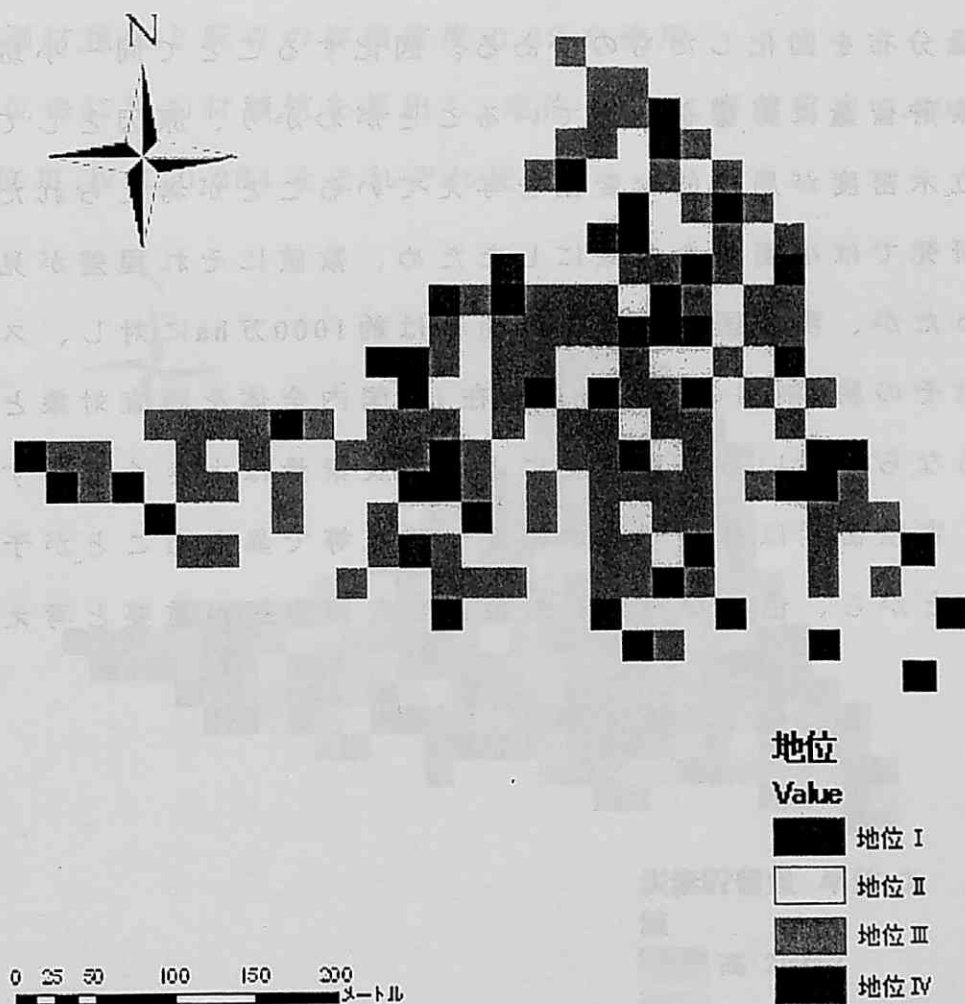


図 6-7 地位区分図



表6-5に炭素貯留量を比較したものを示す。③の求め方は今回、地位Ⅰ,Ⅱにプロット1の間伐後の容積密度0.295を用い、地位Ⅲ,Ⅳにはプロット2の容積密度0.284を用い、炭素量を推定している。表7-5より値の採り方によって炭素貯留量にかなり差があることがわかる。①と②の差は森林簿材積と実測値材積との値の開きにある。森林簿材積を用いて貯留量推定する場合には注意する必要があると考える。また、②と③に見られるように容積密度の値が少しでも変われば、炭素量の値にも変化がある。図6-8は②の炭素貯留量分布を図化したものである。図化することで同一小班の中の炭素貯留量に影響を与えていることがわかり、原因として対象地の立木密度が局所的な変動を与えていることが考えられた。

本研究では小面積を対象にしたため、数値にそれ程差が見られなかったが、現在国内の人工林面積は約1000万haに対し、スギ人工林はその約4割強の450万ha存在し、国内全体を調査対象として考えるなら、用いる容積密度によって炭素量は大きく変化するだろう。容積密度は林齢や立木密度、系統等で異なることが予想されることから、色々な林分を対象にした報告例が重要と考えられる。

表 6-5 炭素貯留量比較表      ha 当たり材積 :  $m^3/ha$     総材積 :  $m^3$   
炭素量 : tC

	ha 当たり材積	総材積	炭素量 (tC)
①	249.35	2665.55	426.5
②	154.54	1607.22	265.1
③	148.27	1542.03	224.3

- ① 森林簿の材積値と既存の容積密度 0.32 を使用
- ② 実測材積値と既存の容積密度 0.32 を使用
- ③ 地位毎に平均材積値を算出し、地位 I, II に容積密度 0.295 を、地位 III, IV に 0.284 をそれぞれ使用

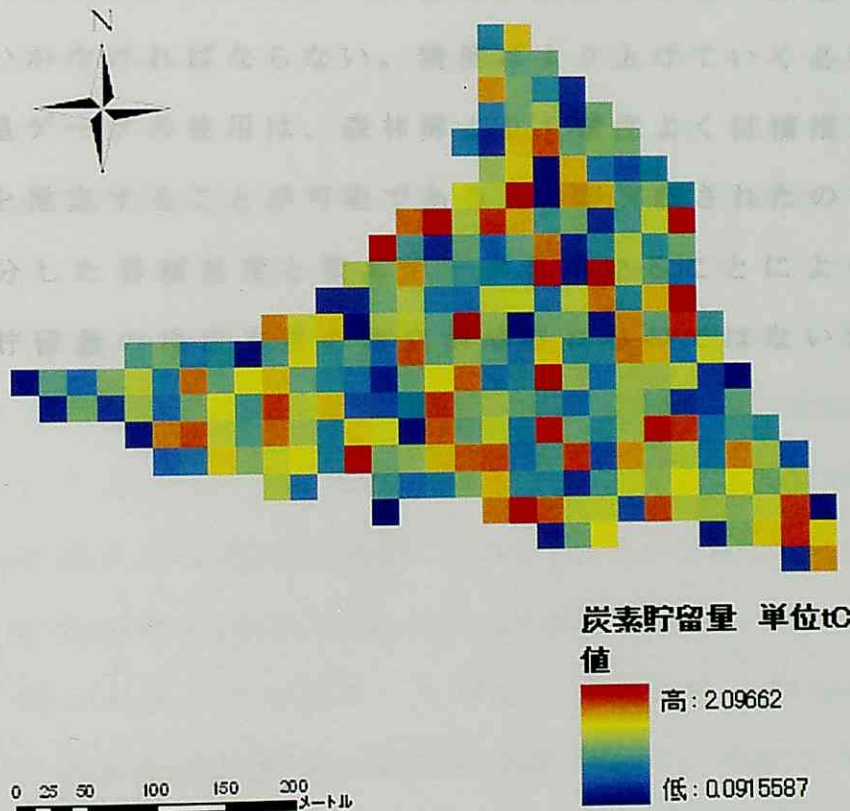


図 6-8 炭素貯留量図

## 8.まとめ

今回、スギの人工同齡林を調査し、容積密度を算出した理由に、今現在国内では同一林班で同材積を示す森林簿を用いているが、その値を用いることで正確な炭素貯留量を推定することは難しいのではないかと考えたからである。これだけの小面積であっても、地位や材積が大きくばらついているという現実を決して無視できないのではないだろうか。

排出・吸収量の推計をするための国内制度を 2007 年までに整備しなくてはならないといわれているが、その整備は思うように進んでいるとはいえないだろう。現存量調査は大変な手間と労力がかかるが、ある程度の成長量毎によって容積密度を求めていく必要があると考えられる。この区分の方法は今後の課題として考慮していかなければならない。精度はより上げていく必要はあるが、衛星データの使用は、森林簿よりも精度よく材積推定・炭素貯留量を推定することが可能であることが実証されたので、成長量で区分した容積密度と衛星データを用いることによって正確な炭素貯留量の推定方法の確立が成されるのではないかと期待する。

## 7. 引用文献

- (1) 阿部信行 (1981) トドマツ人工林の施業法に関する研究  
(Ⅲ) - 53年生林分の現存量 - . 北海道林業試験場報告 第19号.
- (2) Abe, N., Ishida, T.: (2005) Estimation of Carbon Stock in Sugi Plantations using High-Resolution Quick-Bird Images: The Role of Forest for coming generations, -Philosophy and Technology for Forest Resource Management- Edited by Naito, K. Japan Society of Forest Planning Press, 221 - 229
- (3) Awaya, Y., Tsuyuki, S., Kodani, E., Takao, G.: (2004) Potential of Woody Carbon Stock Estimation Using High Spatial Resolution Imagery: A Case Study of Spruce Stands. Global Environment Change in the Ocean and on land, Eds., Shiyomi, M. et al., 425 - 440.
- (4) 飯田和明・阿部信行 (2005) スギ人工林の現存量と容積密度. 森林計画学会誌 39 巻第 1 号
- (5) 嘉戸昭夫・松浦崇遠・相浦英春・安田洋 (2003) 富山県におけるスギ林分の現存量と生長. 第 114 回日林学術講 : 271
- (6) Kauppi, P.E. (2003) New, low estimate for carbon stock in global forest vegetation based on inventory data. *Silvia Fennica* 37(4):451 - 457
- (7) 松本光朗 (2001) 日本の森林による炭素蓄積量と炭素吸収量. 森林科学 33 : 30 - 36.

- (8) Myneni,R.B., Dong,J.;Tucker,C.J., Kaufmann,R.K.,  
Kauppi,P.E., Liski,J., Zhou, L., Alexeyev,V.,  
Hughes,M.K.:(2001) A large carbon sink in the woody  
biomass of Northern forests. proceedings of the National  
Academy of Sciences 98(26):14784 - 14789.
- (9) 西沢正久・真下育久・川端幸蔵 (1965) 数量化による地位  
指数の推定法. 林試研報 176 : 1 - 49.
- (10) 農林水産省林業試験場木材工業ハンドブック編集委員会  
編 (1982) 木材工業ハンドブック改訂 3 版. 1099pp, 丸  
善, 東京.
- (11) Olson, J.S., J.A. Watts, and L.J.Allison.:(1983) Carbon in  
Live Vegetation of Major World Ecosystems.  
ORNL-5862,Oak Ridge Natianal Laboratory, Oak  
Ridge,TN,USA,152pp.
- (12) 林野庁計画課 (1973) 立木幹材積表. 333pp,日本林業調  
査会
- (13) 斉藤秀樹・山田勇・四手井綱英 (1967) 小径木間伐に関  
する研究(Ⅱ)第 1 回間伐 1 年後の林況の変化について.  
京大演報 39 : 64 - 78
- (14) 斉藤秀樹・四手井綱英 (1973) スギ幼齡林の一次生産力  
とその推定法の検討. 日林誌 55 (2) : 52 - 62.
- (15) 坂口勝美・竹内郁雄・斉藤明・渡辺秀彦 (1969) 人工二  
段林における物質生産量の測定例. 日林誌 51 (4) : 102  
- 107.

- (16) 佐藤大七郎・扇田正二 (1966) 林分生長論資料 6. 東大演報 62 : 117 - 146.
- (17) Sri Lestari Munajati (2004) Predicting the Site Index of Japanese cedar Plantation in Niigata Prefecture Using Quantification Method. 新潟大学大学院自然科学研究科修士論文 71pp
- (18) 只木良也 (1976) 森林の現存量－とくにわが国の森林の葉量について－. 日林誌 58 (11) : 416 - 423.
- (19) Thenkabail, P. S., Stucky, N., Griscom, B. W., Ashton, M. S., Diels, J., B. van der Meer, Enclona, E.:(2004) Biomass estimations and carbon stock calculations in the oil palm plantations of African derived savannas using IKONOS data. Int. J. Remote Sensing, 25 5447-5472
- (20) 渡邊仁志・茂木靖和 (2005) スギ, ヒノキ, アカマツ同齡人工林の炭素貯留量. 第 116 回日本森林学会データベース
- (21) 山形与志樹・小熊宏之・土田聡・関根秀真・六川修一 (2001) 京都議定書で評価される吸収源活動のモニタリングと認証に関わるリモートセンシング計測手法の役割. 日本リモートセンシング学会誌 21 : 43 - 57.
- (22) 米康充・小熊宏之・山形与志樹 (2003) 京都議定書に関わる吸収源計測システムの開発－地上レーザスキャナによる点群モデルを用いた計測手法の検討－. 森林計画学会誌 37 : 21 - 30.

# 第 2 章

# 第 3 章



# 第4章