

# 航空写真と<sup>ライダー</sup>LiDARデータを用いた岡谷市横川地区における資源量推定

信州大学 農学部森林科学科 4年 ○本村 亜紀  
信州大学 農学部 教授 加藤 正人  
長野県林業総合センター 研究員 戸田堅一郎

## 要旨

長野県岡谷市横川地区のカラマツ、スギ、ヒノキ・サワラ、アカマツの林内に20m×20mのプロットを設置し高精度の航空写真とLiDARデータを用いて、単木単位の資源量推定を行いました。

その結果、各プロットで80%前後の高い精度を得ることができました。しかし樹冠の形状に起伏が少ないアカマツや中・下層木では精度が低い結果となりました。

## はじめに

大量生産・大量消費社会である今日、生活様式を見直し、資源の循環的、効率的利用を進め、環境に対する負荷の小さい経済社会に転換していくことが緊急の課題となっています。そのため、太陽光発電や地熱発電など様々な再生可能エネルギーが注目されています。中でも森林が豊富に存在する日本においては、森林資源の活用に大きな期待が寄せられています。森林資源を利用することで、二酸化炭素の排出を抑制する地球温暖化の防止や森林の適切な整備への寄与、山村地域の活性化など様々なメリットが発生します。そのためには、広範囲の森林情報の整備が重要となりますが、既存の森林調査簿データは信頼性が低く、施業には不十分です。また、人力による森林調査には多大な時間、労力が必要であり、現実的ではありません。そこで、迅速かつ効率的に森林法の整備が可能なりモートセンシング技術の利用が考えられます。リモートセンシングを用いることで、樹種や樹高のデータが現地調査をせず得ることが可能となります。しかし、従来のレーザー計測は反射してきた最初のパルス信号(First pulse)のみを記録するタイプのものでしかなく、地盤の高さデータであるDEMデータの取得ができませんでした。そのため、一般的に国土院が発行しているDEMデータが利用されてきましたが、このデータは解像度が低く傾斜林に対応させることは難しいとされています。そこでLast pulseにより地形情報が取得可能なLiDARデータの利用が考えられました。現在、林野庁や長野県では航空データ、LiDARデータの全面的な取得が進められており、特にLiDARデータの活用には大きな期待が寄せられています。しかし、現状ではLiDARデータを使用した研究事例は少ない状況です。

## 1 目的

本研究では、普及してきた航空機によるLiDARデータを用いて、複数の林分に対し単木単位の資源量推定を試み、その後現地データとの比較、考察を行うことを目的としました。そして森林簿の更新および精度向上に役立つ技術の確立を目指すことを最終的な目的とします。

## 2 調査地・プロット概要

### (1)調査地概要

研究調査地である長野県岡谷市横川山一帯は岡谷市街地から約6km北に位置する、面積1,750haのカラマツ主体の人工林です。この一帯は江戸時代末期頃から製紙業の隆盛に伴う燃料供給のための薪炭として乱伐が繰り返されたため、昭和20年ころには多くの森林が伐り尽くされてしまいました。戦後、国の施策として国土の保全、緑化の推進、資源の造成が実施されるようになり、昭和26年以

来 40ha/年を超える造成事業が実施されています。岡谷市もこれらの経費を助成しているほか、治山事業としても、年間約 50ha の保安林整備事業等を導入しています。現在、横川山は岡谷市の大切な水源となっており、岡谷市の水道水の約 63%を供給しています。

## (2) プロットの概要

岡谷市横川山のカラマツ、スギ、ヒノキ・サワラ、アカマツの林分に対し、20m×20m(0.04ha)のプロットを各一か所ずつ計4プロット設置しました。各プロットの概要を表-1に示します。

表-1 各プロット概要

プロット	立木本数 (本/0.04ha)	林齢 (年)	林分状況
カラマツ	カラマツ:20 スギ:2 広葉樹:1	67	胸高直径 30cm の立木が最も多く見られました。スギが点在している林分であり、低層木の広葉樹も一本見られました。
スギ	スギ:24 ヒノキ:7	92	胸高直径のサイズにバラつきが見られました。また林内には中・下層木のヒノキが見られ、2段林のような構造になっていました。
ヒノキ・サワラ	ヒ・サ:19 アカマツ:4	67	胸高直径が 60 cm 前後の大径木が存在し、林内にはアカマツが点在していました。
アカマツ	アカマツ:25 ヒノキ:1	67	胸高直径が 35 cm の立木が最も多く見られました。また林内にはヒノキが点在していました。

## 3 使用した調査データ、ソフト、画像データ

### (1) 現地調査データ

各プロットの全立木を対象に直径割巻尺を用いて胸高直径を測定しました。また、超音波測高計パーテックスⅢを用いて樹高を測定しました。その他に樹種、立木位置もあわせて調査しました。

### (2) 使用ソフト

使用ソフトについては表-2に示します。

表-2 使用ソフト

画像解析ソフト	: Geomatica9.1.8 (PCI, Canada) : ERDAS IMAGINE8.6(ERDAS, USA) : Multispecwin32(Purdue University,USA) : ENVILIDAR3.2(EXELIS, USA)
GIS ソフト	: ArcGIS9.3.1 (ESRI,USA)
表計算ソフト	: Excel 2007 (Microsoft,USA)

### (3) 画像データ

航空画像については 2012 年 8 月 1 日に株式会社パスコによって撮影された UCXp-wa 画像を使用しました。空間解像度は 10cm であり、4 バンドのものです。本研究ではこの画像を国土地理院発行の 10m メッシュの DEM データを用いて数値的正射変換(オルソ補正)をすることによってゆがみの除去されたオルソ画像(図-1)を用いて研究を進めました。また 2009 年に取得された LiDAR データを加工することで、数値樹冠モデル(DCHM)データ(図-2)を作成し、本研究で用いました。



図-1 使用したオルソ画像

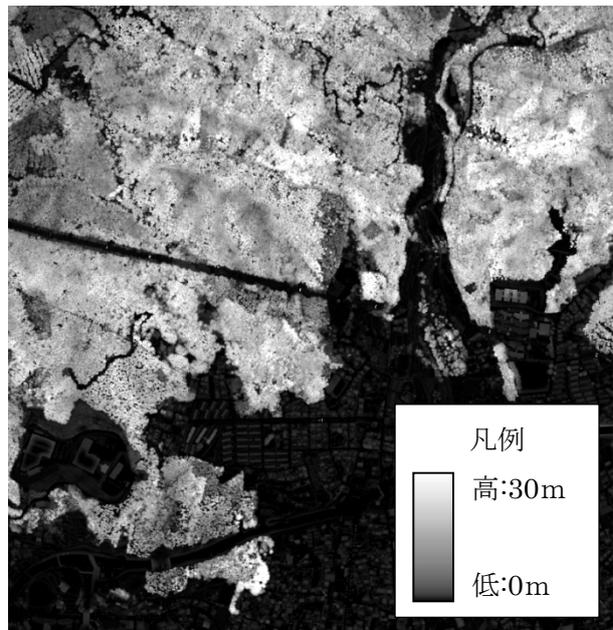


図-2 使用した数値樹冠モデル(DCHM)データ

(4) 使用した推定式

$$\text{推定率(\%)} = 100 - (\text{現地調査データ} - \text{リモートセンシング}) / \text{現地調査データ} \times 100$$

4 研究の流れ

本研究では現地調査から算出した材積を真値として、リモートセンシングから得たデータを用いて資源量を推定し、各プロットの精度を検証しました。

(1) 精度検証に用いる真値の計測

現地調査により得たプロット内の全立木の胸高直径、樹高のデータから、立木幹材積表を用いて材積を算定しました。

(2) リモートセンシングによる解析

上述したオルソ画像と数値樹冠モデルデータから立木本数と樹高を推定して、資源量を推定しました。解析について次項に紹介します。また今回補足的にリモートセンシングから得たデータから地上部バイオマスの部位別推定と資源量分布マップの作成を行いました。

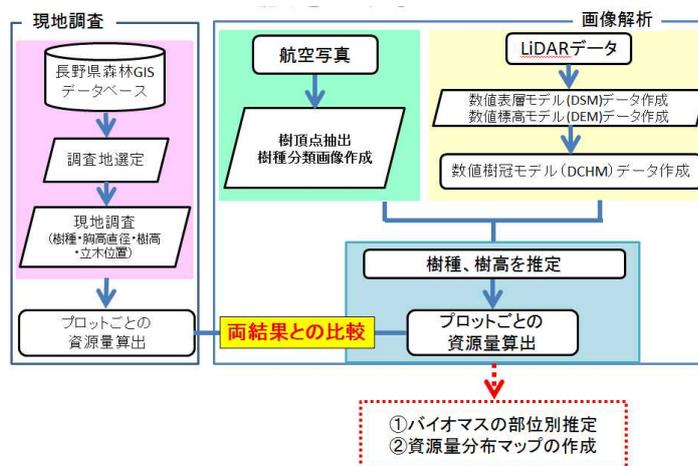


図-3 研究のフローチャート

## 5 立木本数、樹高推定及び資源量推定

### (1) 解析手順

画像解析では Geomatica9.1.8 の ITC suite (Individual Tree Crown) を用いました。はじめにオルソ画像から樹頂点抽出を行いました。抽出の原理として、樹頂点は日光をよく受けることからピクセルごとの輝度値が高くなることを利用しています。また同ソフトを用いて、教師付き(ピクセルベース)分類を行い、樹種分類画像を作成しました。教師付き分類とは、解析者が確実に特定できるエリアをトレーニングエリアとして設定します(教師をとります)。そして設定したパターンを認識させることで、画像を構成する各画素を複数クラスに割り当て、画像全体を分類する手法のことです。次に ArcGIS を用いて得られた樹頂点を DCHM データに重ね合わせました。これにより、樹頂点ごとの高さが推定できるのでこれを単木単位での樹高データ(以下 RS 樹高)としました。

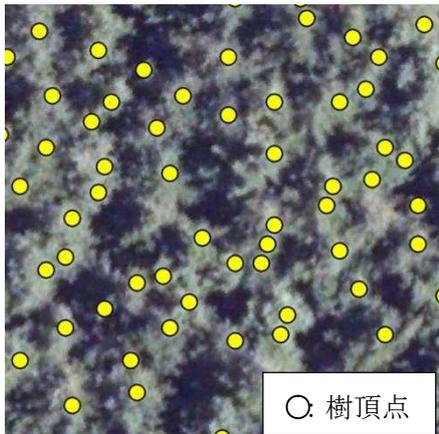


図-4 樹頂点抽出画像

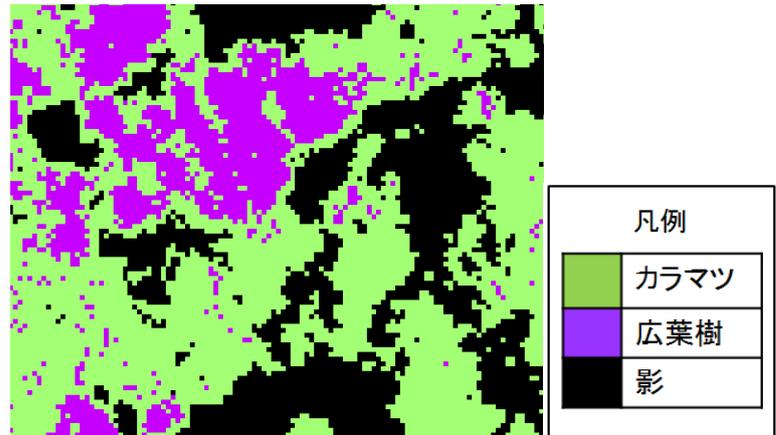


図-5 樹種分類画像イメージ

### (2) 資源量推定方法

資源量推定方法は以下の通りです。

- ① 現地から得た標準木の樹高と胸高直径のデータから回帰式を作成します。
- ② 算出した RS 樹高を回帰式に代入し、全ての立木の胸高直径を推定します。
- ③ 求めた胸高直径と RS 樹高を立木幹材積表に代入し、資源量を算出します。

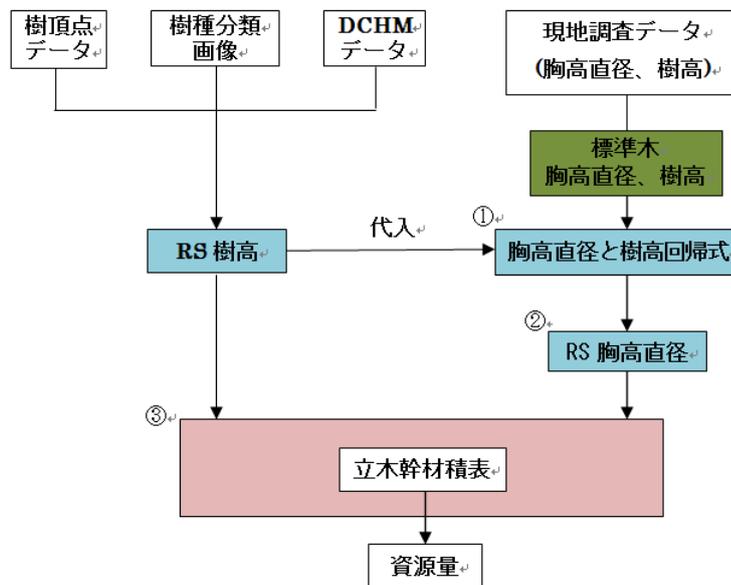


図-6 資源量推定方法のフローチャート

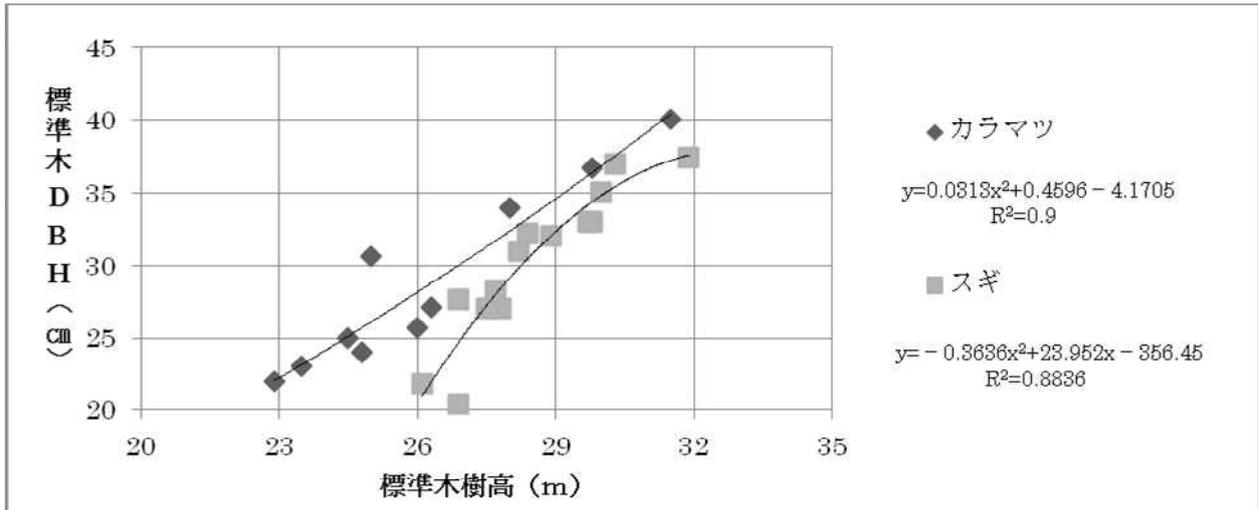


図-7 カラマツプロット、スギプロットの回帰式

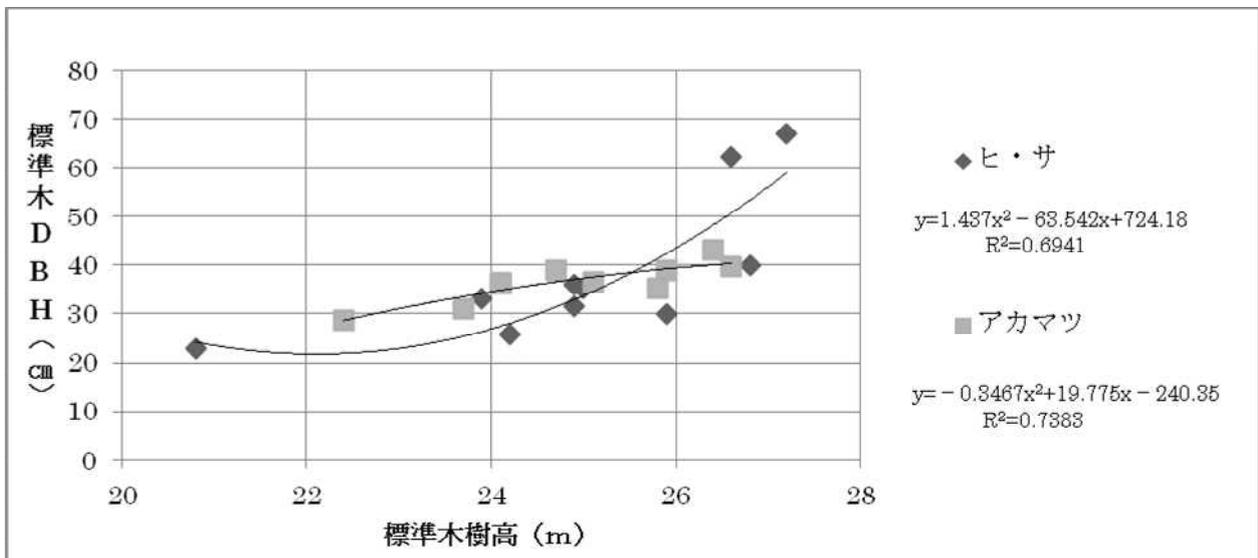


図-8 アカマツプロット、ヒノキ・サワラプロットの回帰式

### (3) 立木本数と平均樹高の推定結果

解析結果を表-3 に示します。立木本数抽出ではカラマツ、スギ、ヒノキ・サワラの3プロットにおいて高い精度を得ることができました。しかし、アカマツプロットにおいては優先樹種であるアカマツの抽出精度が低くなりました。これはアカマツの樹冠の形状に起伏が少なく、他の樹種と比較して樹頂点抽出が困難であったためと推測されました。また中・下層木の多くは抽出することができませんでした。この要因として、樹高の高い立木の樹冠と結合してしまったためと考えられました。

平均樹高に関しても、各プロット共に高い精度を得ることができました。しかし、ヒノキ・サワラの2樹種に関しては他のプロットと比べ、わずかに精度が低くなりました。この原因として、ヒノキ・サワラの葉バイオマス量が他の樹種に比べ多いことが考えられました。そのためレーザーが地面に到達しにくく、DEMデータの精度が下がったと推測されました。また、胸高直径と樹高の相関係数が他のプロットに比べ低かったことも、精度が下がった要因の一つと考えられました。

表-3 立木本数・平均樹高精度

プロット	樹種	立木本数(本)		平均樹高(m)	
		現地(上層・中層・下層)	RS	現地	RS
カラマツ	カラマツ	20 (17・3・NA)	18 90.0%	27.7	25.9 93.5%
	スギ	2 (NA・2・NA)	2 100.0%	24.8	23.1 93.1%
	広葉樹	1 (NA・NA・1)	0 0.0%	10.9	NA
スギ	スギ	24 (16・4・4)	21 87.5%	25.2	25.2 100.0%
	ヒノキ	7 (NA・4・3)	4 57.1%	18.5	20.7 88.6%
ヒノキ・サワラ	ヒ・サ	19 (9・10・NA)	21 89.5%	26.1	23.1 88.5%
	アカマツ	4 (NA・3・1)	3 75.0%	23.3	23.2 99.6%
アカマツ	アカマツ	25 (16・7・2)	20 80.0%	24.8	24.6 99.2%
	ヒノキ	1 (NA・1・NA)	1 100.0%	23.4	24.5 95.3%

(4) 資源量推定結果

資源量推定の結果を表-4に示します。カラマツ、スギの2プロットの優先樹種において80%前後の高い精度を得ることができました。しかし、アカマツプロットに関しては優先樹種であるアカマツの精度が大きく下がりました。この結果は、アカマツの立木本数精度が低かったことに起因すると考えられました。また、ヒノキ・サワラプロットの優先樹種であるヒノキ・サワラについては、一番高い精度を得ることができました。しかし、この結果は前述のRS立木本数抽出において、過大に抽出されたため得られたと考えられました。実際の精度としては80%程度と推定されました。

上記の結果から、本研究の資源量推定精度はRS立木本数抽出結果の影響を大きく受けることが示唆されました。

表-4 資源量推定精度

プロット	樹種	材積(m <sup>3</sup> /0.04ha)	
		現地	RS
カラマツ	カラマツ	461.4	368.7 80.0%
	スギ	29.9	22.9 84.6%
	広葉樹	3.4	NA
スギ	スギ	440.8	353.1 80.1%
	ヒノキ	60.1	49.7 79.7%
ヒノキ・サワラ	ヒ・サ	632.1	546.3 86.4%
	アカマツ	62.6	49.1 78.4%
アカマツ	アカマツ	799.6	576.9 72.1%
	ヒノキ	38.5	28.6 74.2%

## 6 LiDAR データの活用

### (1) 地上部バイオマスの部位別算出

部位別の推定を行うことで、枝や葉などの残留部分のペレット化や熱利用、化学変化によるガスや液体燃料の取り出し利用などの有効利用へつなげることが可能だと考えられます。

そこで本研究で得た RS 樹高、RS 胸高直径を地上部バイオマス推定式(表 4-1)に代入することで、幹、枝、葉バイオマス量の部位別推定を試みました。

表-5 地上部バイオマス推定式

	スギ	ヒノキ	カラマツ
幹	$W_s=0.027188 \cdot D^{1.627547} \cdot H^{1.146843}$	$W_s=0.024442 \cdot D^{1.694708} \cdot H^{1.168378}$	$W_s=0.017872 \cdot D^{1.801722} \cdot H^{1.171699}$
枝	$W_d=0.008056 \cdot D^{2.608222} \cdot H^{-0.357842}$	$W_d=0.032237 \cdot D^{2.755731} \cdot H^{-0.861095}$	$W_d=0.092742 \cdot D^{2.905918} \cdot H^{1.288063}$
葉	$W_f=0.070348 \cdot D^{2.596261} \cdot H^{-0.935245}$	$W_f=0.106128 \cdot D^{0.016767} \cdot H^{-0.551264}$	$W_f=0.039307 \cdot D^{3.696649} \cdot H^{-2.213657}$

参考：Hosoda ら(2010)

W：バイオマス量 D：胸高直径 H：樹高

バイオマスの部位別算出結果を表-6 に示します。結果として、資源量推定精度と同等の精度を得ることができました。

表-6 部位別バイオマス推定結果

プロット	樹種	部位別バイオマス					
		幹(kg)		枝(kg)		葉(kg)	
		現地	RS	現地	RS	現地	RS
カラマツ	カラマツ	7539.5	5909.8	464.4	400.5	134.1	119.4
			78.4%		86.2%		89.0%
スギ	スギ	406.5	316.6	22.6	17.6	29.8	24.8
			76.6%		77.9%		83.2%
スギ	スギ	5749.1	4749.4	319.1	266.5	398.9	347.3
			82.6%		83.5%		87.1%
ヒノキ	ヒノキ	933.6	739.6	76.9	61.0	66	48.9
			79.2%		79.3%		74.1%
ヒノキ・サワラ	ヒ・サ	9885.6	8501.6	1012.3	744.5	554.4	465.1
			86.0%		74.5%		83.9%

### (2) 資源量分布マップの作成

資源量分布図を作成することで、林班ごとの蓄積量を瞬時に把握することができ、施業計画の一助となると考えられます。本研究では、まず解像度 10m の NDVI 画像を作成し、本研究で得た RS 資源量と NDVI 画像上のプロット内のピクセル平均値の回帰式を作成しました。その後、作成した回帰

式を NDVI 画像に適用することで資源量分布図を作成しました(図 4-1)。

本分布図の問題点としては、まず全樹種を同一視していることが挙げられます。そのため、NDVI 値の高い広葉樹林分が高資源量と判断されてしまいました。そのため今後は、樹種別の資源量分布図の作成を行う必要があると考えられました。また、尾根や谷など立地条件による影の影響を考慮していなかったため、その影響を考慮した手法をとる必要があると考えられました。

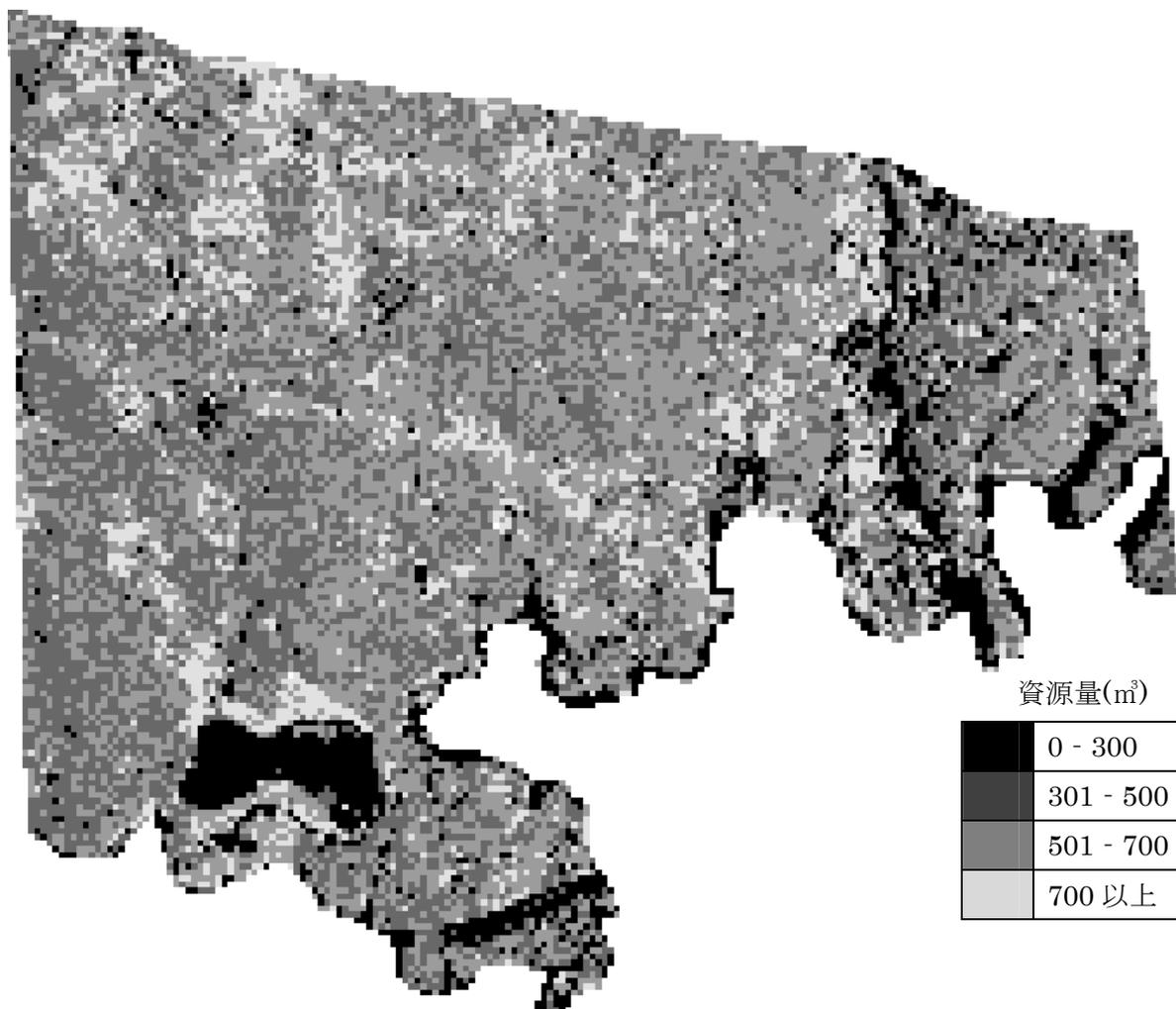


図-9 資源量分布マップ

## 7 考察

本研究では、航空画像と LiDAR データを用いた高精度の資源量推定を試みました。

はじめに立木本数、平均樹高抽出に関する知見を述べます。まず、立木本数においては全体的に高い精度で検出することができました。しかし、樹冠の形状に起伏が少ないアカマツの抽出精度は著しく低下しました。この結果から、アカマツに対しては Tree tops 法以外の検出手法を模索する必要があると感じられました。また、中・下層木に関しては樹高の高い優先樹種の樹冠と結合してしまい、検出することが困難でした。そのため、本研究の手法は単相一斉林に適用することが望ましいと考えられました。平均樹高に関しては、LiDAR データを用いることで全樹種に対して高い精度で取得可能と判断できました。しかし、ヒノキやサワラなど葉バイオマスが多い樹種においては僅かですが精度が低くなる傾向がみられました。これは、葉バイオマス量が多いことでレーザーが地面に到達しにくく、DEM データの精度が下がったためと推測されました。

次に資源量推定に関する知見を述べます。資源量及び部位別のバイオマス推定において各プロットの優先樹種で80%前後の高い精度を得ることができました。この値は実用に供する値と判断できます。しかし、アカマツや中・下層木に関しては、精度が低くなる傾向がみられました。立木本数抽出精度の低さが資源量推定結果に影響を与えたためです。そのため、さらなる資源量推定の精度向上には立木本数抽出精度の向上、あるいは樹高を用いない資源量推定方法を考案する必要があると考えられました。

最後に、今回試験的に作成した資源量分布図に関する知見を述べます。作成した資源量分布図にはいくつかの課題が見られました。まず、全樹種を同一視しているためNDVI値の高い広葉樹林分が高資源量と判断されてしまいました。そのため、樹種別に資源量分布図を作成する必要があると考えられました。また、尾根や谷など立地条件による影の影響が考慮されていないことも課題としてあげられました。そのため、地形補正を行うことでその影響を軽減する必要があると考えられました。

おわりに

本研究の手法を用いることで、高精度の資源量推定が可能と示唆されました。しかし、今回は針葉樹かつ狭いプロットという非常に限られた条件下での研究となりました。そのため広葉樹林や広範囲の林分に対して本研究の手法を用いることで、どのような結果が得られるのか検証する必要があります。

バイオマスの部位別推定については、推定に枝、葉バイオマスと相関関係があると考えられる樹冠面積を用いることで精度の向上が見られるのではないかと考えられました。また本研究では地上部のみを対象としたバイオマスの部位別推定にとどまり、根系バイオマス量の推定を試みませんでした。根系バイオマスは土砂災害と密接な関係があると考えられるため、根系バイオマス量を把握することで土砂災害危険地区などのハザードマップの作成が可能ではないかと期待されます。

資源量分布図の作成においては、明らかなデータ量の不足が感じられました。そのため各樹種のプロット数を増やすことが必要であると考えられました。また、地形補正を行い尾根、谷などの立地条件の違いから生じる影響を考慮することで、より信用性の高い実用可能な資源量分布図の作成が可能になると考えられました。

はじめにでも述べたように、今後LiDARデータは全国で普及していくと考えられます。そのため、今後もLiDARデータを用いた有用な技術の開発が行われることで、林業分野に大きな発展をもたらすことを期待します。また本研究で使用した航空写真とLiDARデータは長野県林業総合センターから提供されたものです。ここに厚く御礼申し上げます。

引用・参考文献

- 1.林野庁計画課（2007）立木幹材積表 東日本編，日本林業調査会，333pp
- 2.岡本篤志（2008）航空機LiDARと航空写真を用いた手良沢山ヒノキ人口林の蓄積バイオマス量推定，信州大学卒業論文，20-21pp
3. Masato Katoh, François Gougeon (2012) Improving the Precision of Tree Counting by Combining Tree Detection with Crown Delineation and Classification on Homogeneity Guided Smoothed High Resolution (50 cm) Multispectral Airborne Digital Data, Journal of Remote Sens. 4(5), 1411-1424pp

- 4,加藤正人 (2010) 改訂 森林リモートセンシング 第3版, 日本林業調査会
- 5,川内洋輔 (2011) リモートセンシングを用いた信州大学構内演習林のバイオマス推定, 信州大学卒業論文, 23-25pp, 27-28pp
- 6,松尾好高 (2012) ラジコンヘリコプターを用いた森林材積推定に関する研究ー信州大学農学部構内演習林を事例としてー, 信州大学卒業論文, 24-25pp
- 7,Kazuo Hosoda・Toshiro Iehara (2010) Aboveground biomass equation for individual trees of *Cryptomeria japonica*, *Chamaecyparis obtuse* and *Larix kaempferi* in Japan, Journal of Forest Research 15(5),299-306pp