

奈良県のスギ，ヒノキ林における ALOS 衛星を用いた立木材積の推定

新 納 望

(奈良女子大学・理学部情報科学科)

村 松 加奈子

(奈良女子大学・共生科学研究センター)

醍 醐 元 正

(同志社大学・経済学部)

1 はじめに

森林の材積量を求めることは、山にどれだけの木材利用価値があるかを知り、土地売買や、生産の割合を知る上で、土地利用者や土地の売却者にとってとても重要なことである。また、私たちが現在直面している地球温暖化は、二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素のような温室効果ガスによって引き起こされるといわれている。この中でも二酸化炭素は産業革命以降の化石燃料の燃焼などの人間活動の影響により急激に増加し、他の温室効果ガスよりも総排出量が多く、最も注目されている温室効果ガスの1つである。そして、二酸化炭素が増え続け温暖化することにより、豪雨や旱魃などの異常気象の増加、海面上昇による水没、熱帯性感染症発生の増加などが引き起こされることが危惧されている。そのような二酸化炭素を森林は光合成により炭素を貯留し、二酸化炭素を大気から取り除く。そのため京都議定書では、1990年以降の新規や再植林などによる二酸化炭素の吸収を、全体の排出から差し引くという取り組みが取り入れられている。このような背景から、日本でも森林による炭素蓄積量および炭素吸収量を詳しく把握することが求められている。そして、これらの貯留される炭素量は材積量からも算出できる。従って、材積量を正確に推定することは従来の木材利用面だけでなく、環境面からも重要である。

現在、材積量は人が徒歩で山道を歩き周り胸高直径や木の高さを測ることで求めている。それでは、測定範囲が広域にわたる場合、正確に測ろうとすれば膨大なコストがかかってしまう。また、コストを低くしようとすれば、測定していない木の材積量を計算か何かで推定しなければならなくなり正確さにかけてしまう。

そこで本研究では、2006年に打ち上げられ、空間分解能が高く、地域のより詳細な把握が

可能になった ALOS 衛星を使用し、奈良県におけるスギとヒノキの立木材積量を広範囲で正確かつ低労力に推定していこうと考えている。しかし、衛星データを扱うには、専門的技術が必要である。そのため、林業家などの利用者が利用しやすいように、材積量を求めた後に、データベース化することを最終目標としている。

今回は衛星から推定した樹高との精度検証を行なうための地上検証データを作成した。

2 材積について

2.1 立木材積とは

山に生えている木を立木という。森林にどのくらいの木材があるのかを調べるときには全ての木を伐採して調べることが出来ないため、胸高直径と樹高を測り立木幹材積表を用いて材積を出す。ちなみに、根本（地上）から 1.2 m の高さの所の太さを胸高直径といい、立木の根本から幹先端までの長さを樹高という^[1]。

2.2 一般的な胸高直径の求め方

輪尺や巻尺で立木の周囲の長さ（胸高円周）を測り、円周率で割ることで直径を出す。

$$\text{胸高直径} = \frac{\text{胸高円周}}{\pi} \quad (1)$$

2.3 一般的な樹高の求め方

測定機器から木までの距離（水平距離）を測り、木の胸高直径の高さと幹の先端の角度を測り、計算によって求めている。しかし、この方法は幹の先端を見つけるのが難しく、正確な角度が測れないという欠点がある。

$$h_1 = \tan a^\circ * L \quad (2)$$

$$h_2 = 1.2 \quad (3)$$

$$\text{樹高} = h_1 + h_2 \quad (4)$$

なお、角度 a° と距離 L は測定機器から求められる。

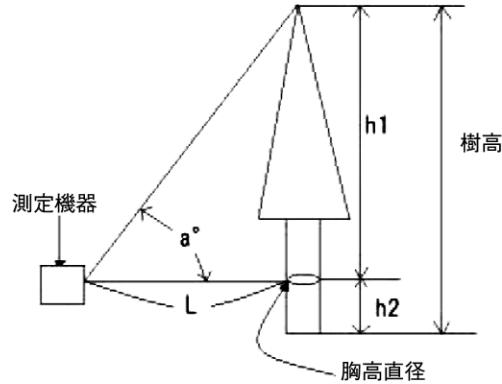


図1 樹高の測定方法

2.4 立木幹材積表

林野庁が、昭和30年に従来各営林局がそれぞれの立場から調製し使用していた材積表に検討を加えた結果、一部を除き、大部分について新たに材積表を調製する必要があることを認めたので、主要樹種立木材積表調製要綱を定め、これに基づいて林業試験場および各営林（支）局が調製に従事し、作成したものである^[1]。

これを使用すると、樹高と胸高直径から材積量を算出する事が出来る。

2.5 奈良県の材積算出方法

奈良県では、奈良県林分収穫表から材積量 (m^3/ha) の算出を行なっている。選択項目は以下の通りである。

- 地域（十津川，大和川，上十津川，下十津川，北山川，吉野川）
- 市町村（吉野川地域のみ1部の地域を除き分類）
- 樹種（スギ，ヒノキ，アカマツ，クヌギなど）
- 齢級（10年毎）
- 土地の良性（良性のものから1等地，2等地，3等地に分類）

この表から算出された材積量に木が生えている面積をかけることにより、その場所の材積量としている。

3 使用衛星とセンサ

3.1 ALOS

Advanced Land Observing Satellite（陸域観測技術衛星）の略。2006年1月24日に打ち上げられた、回帰日数46日の太陽同期準回帰軌道衛星である。地図作成，地域観測，災害状況把

表1 ALOS 衛星 主要諸元^[3]

打ち上げ日時	2006年1月24日
軌道	太陽同期 準回帰軌道
回帰日数	46日
軌道高度	691.65 km
軌道傾斜角	98.16度
軌道周期	約99分

表2 PRISM 主要諸元^[3]

バンド数	1
観測波長帯	0.52~0.77 μm
光学系	3式(直下視, 前方視, 後方視)
地上分解能	2.5 m(直下視)
観測幅	70 km(直下視のみ)/35 km(3方向視モード)
ポインティング角	$\pm 1.5^\circ$ (3方向視モード, クロストラック方向)
量子化ビット数	8ビット

握、資源調査などへの貢献を目的としている。観測機器としては、標高など地表の地形データを読みとる「パンクロマチック立体視センサ (PRISM)」, 土地の表面の状態や利用状況を知るための「高性能可視近赤外放射計2型 (AVNIR-2)」, 昼夜・天候によらず陸地の観測が可能な「フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ (PALSAR)」の3つの地球観測センサを搭載し、詳しく陸地の状態を観測する機能を持っている。表1に ALOS の主要諸元を示す^[3]。

3.2 PRISM

標高を含む地形データを取得するために3組の光学系を持ち、衛星の進行方向に対して前方視, 直下視, 後方視の3方向の画像を同時に取得することにより立体視を行い、高精度の数値標高モデル (DEM) を作成するために使われる。分解能は2.5 m と高く、バンド数は1で、観測波長帯は0.52~0.77 μm , 前方視と後方視の放射計は地心方向に対して \pm 約 24° , 衛星進行方向に対して傾けて取り付けられている。また、北緯 82° および南緯 82° を超える範囲は観測不可能である。表2に PRISM の主要諸元を示す^[3]。

4 樹幹解析

4.1 樹幹解析とは

切り倒した木の幹をいくつかの位置で円板をとり、各断面で年輪の数と年輪の幅を調べて、幹の成長経過を明らかにし、材積などを知る方法。本研究では、衛星データから求められる樹高と胸高直径と比較を行うための地上検証データを作成する。

4.2 調査地概要、サンプルの説明

2006年7月29日に奈良県吉野郡川上村井光経営区 (N $34^\circ 20' 33.8''$ E $136^\circ 01' 33.8''$) で木の採取を行なった。なお、今回はヒノキのみ樹幹解析を行なった。採取した木には記号をつけており、B, D と表記した木をサンプルとして使用したため以下 SampleB, SampleD と表記する。

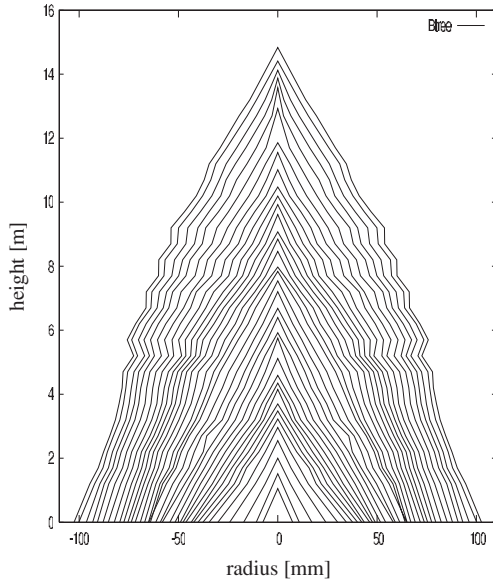


図 2 SampleB

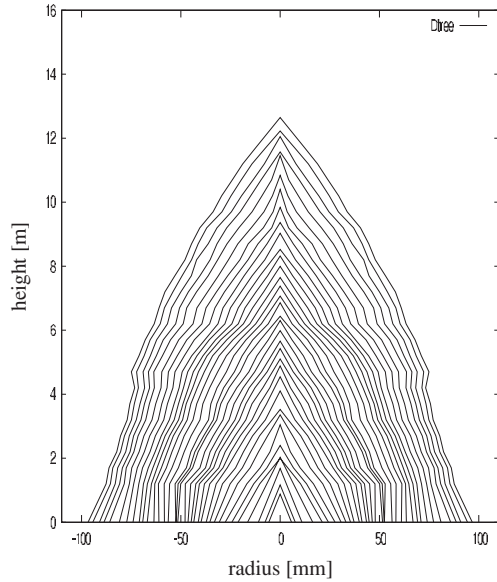


図 3 SampleD

SampleB は採取した時点で、樹齢が 36 年、樹高が 14.83 m であり、SampleD は採取した時点で、樹齢が 34 年、樹高が 12.65 m であった。

4.3 樹幹解析図

胸高直径を取る位置 (1.2 m) とその上下 0.5 m 毎に円盤を採取した。そして、その円盤の山谷方向およびそれに直交する方向で測定しその平均を胸高直径として解析を行なった。この際、測定不能な 0 m 地点と測定しにくい 0.2 m 地点については、0.7 m と 1.2 m の対応する胸高直径を結ぶ直線を延長して決めた。同様にして、梢端が円盤上にある場合、梢端に最も近い高さの円盤とそのすぐ下の高さの円盤の胸高直径を結ぶ直線を延長して決めた。図 2 は SampleB の、図 3 は SampleD の樹幹解析を行なった結果である。それぞれ、横軸は胸高直径 (mm)、縦軸は (m) である。これにより、木の年毎の成長を把握できた。

4.4 材積量の算出方法

次に、材積量の算出方法について説明する。図 4 に樹幹解析概略図を示す。

図 4 中の h (m) は円盤を切り取った部分の高さで、その場所での胸高直径を r_m とする。以下、 h (m) は h_m と表記する (m は任意の定数)。今回、材積量を算出した式は以下の通り

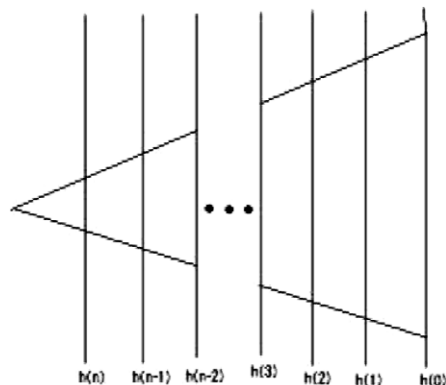


図 4 樹幹解析概略図

である。

$$\text{材積量} = \frac{\pi}{3} \left(\left(\sum_{k=0}^{n-1} r_k^2 (2h_{k+1} - h_k) - r_{k+1}^2 \left(\frac{r_{k+1}(h_{k+1} - h_k)}{r_k - r_{k+1}} \right) \right) + A \right) \quad (5)$$

$$A = r_n^2 (\text{梢端の樹高} - h_n) \quad (6)$$

4.5 材積の年変化

先ほどの式から求められた材積量を横軸を年、縦軸を材積量 m^3 として図に示す。図5は SampleB の図6は SampleD の材積の年変化である。これにより、過去の材積量を把握することが出来た。

4.6 材積の前年比

材積量の前年比をとることによって年間の成長量を把握する事が出来た。それにより年毎に成長量が変わるという事がわかった。図7は SampleB の図8は SampleD の材積の前年比である。それぞれ、横軸は年、縦軸は材積量 m^3 である。

4.7 成長率

衛星から樹高を推定した時にその推定が正しいかどうかを検証する指標としたいため、年と

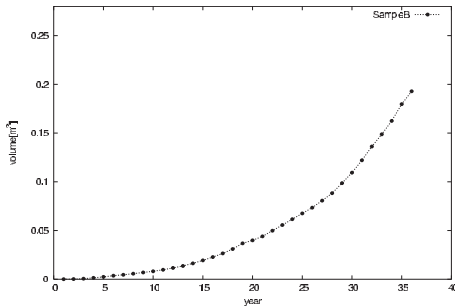


図5 SampleB

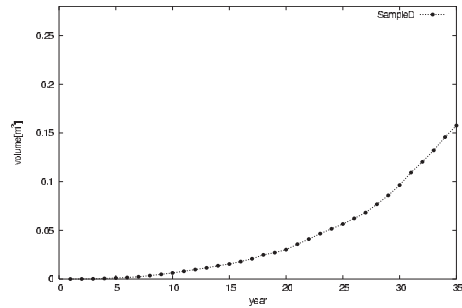


図6 SampleD

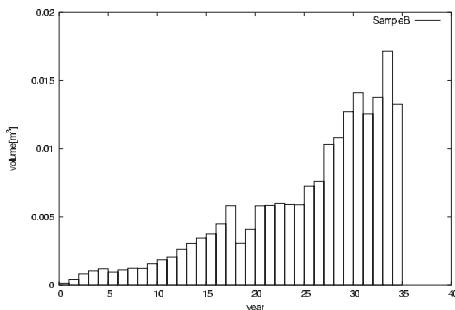


図7 SampleB

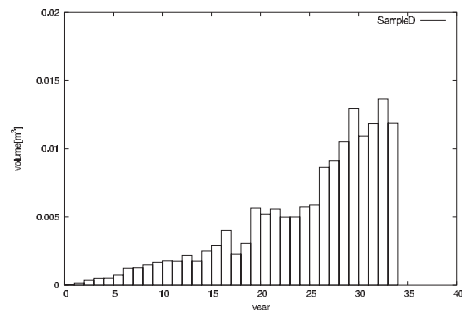


図8 SampleD

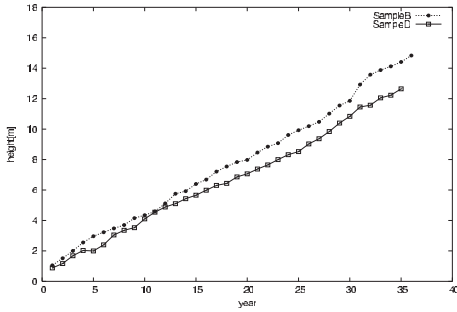


図 9 樹高の成長率

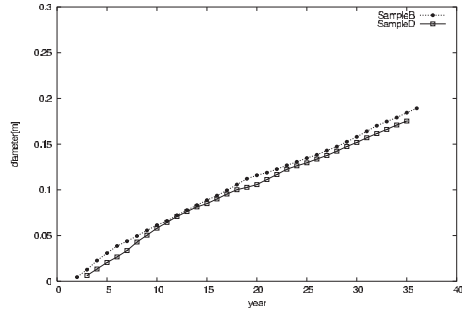


図 10 胸高直径の成長率

樹高の関係について調べた。その結果を図 9 に示す。図 9 は横軸は年、縦軸は樹高 (m) である。年と樹高の関係を把握できたが、成長率は、SampleB が 38.347 (m/年) で、SampleD が 33.554 (m/年) で、個体毎に差が大きい。年生だけで樹高を決めるのは難しく直接指標とすることが出来ないのではないかと、考えられる。しかし、個体毎に差が大きいという事は凹凸があるため衛星から木 1 本 1 本が把握しやすいそうである。また、衛星から胸高直径を推定した時にその推定が正しいかどうかを検証する指標としたいために示したものが図 10 である。図 10 は横軸は年、縦軸は胸高直径 (m) である。成長率は、SampleB が 0.512 (m/年) で、SampleD が 0.511 (m/年) で、胸高直径の成長率は個体毎にあまり差がないため、土地条件や森林の手入れの方法が同一の森林であれば、年生から胸高直径の指標を決めてもよいと考えられる。

4.8 樹高と胸高直径の関係

図 11 に樹高と胸高直径との関係図を示す。その結果、樹高と胸高直径には相関関係が見られた。4.7 では樹高の指標がないといったが、土地条件や森林の手入れの方法が同一の森林であれば、胸高直径から樹高を推定して、それを指標として使えそうである。なお、横軸は胸高直径 (m)、縦軸は樹高 (m) である。

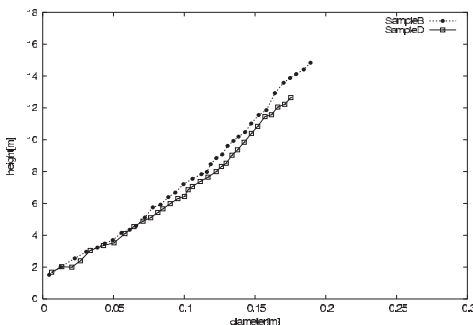


図 11 樹高と胸高直径の関係

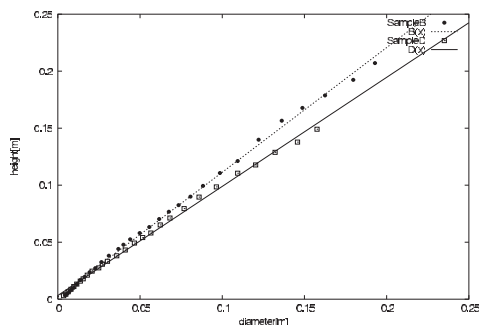


図 12 材積式と Sample の材積量の比較

4.9 材積式との比較

材積式は地域毎にあるが、その地域の分け方が近畿，中国，石川，福井がまとめられているという様に（奈良はこの地域区分である），とても大きく分けられているため精度が不安である。そこで，図12では今回で把握した材積量と材積式との比較を行なった。

式7^[1]は桧の材積式である。

$$\log v = -5.68899 + 1.83546 \log d + 1.10655 \log h \quad (7)$$

v ：材積(m^3)， d ：胸高直径(cm)， h ：木の高さ(m)

横軸は Sample から把握した材積量で，縦軸は材積式から算出した材積量である。この2つの最小二乗法から1次関数を算出した。式8は SampleB，式9は SampleD の1次関数である。

$$B(x) = 1.09 * x + 0.00 \quad (8)$$

$$D(x) = 0.96 * x + 0.00 \quad (9)$$

式8，式9の傾きは少ないため材積式の使用は可能であると考え事が出来る。

5 Remote 10 による樹冠頂点高度の取得

今回は DEM 所得可能な Remote 10 というソフトを使用し，樹冠頂点高度を取得した。ソフトに関しては5.2以下を参照していただきたい。

5.1 使用データ

2007年6月11日の直下視画像（N 34.312 E 136.004），後方視画像（N 34.328 E 136.014）の2方向の画像をそれぞれ奈良県吉野郡川上村井光経営区を中心に640×500 pix に切り取ったもの。尚，前方視画像（N 34.290 E 136.018）は，対象地域で濃い雲がかかっているため使用不可能である。

5.2 Remote 10

このソフトは，杉村俊郎（RESTEC）氏らにより作成されたりモートセンシング教育ソフトウェアで，2006年にALOSデータを扱えるように改良された。データの特徴を検出，DEMデータの所得などが可能で一般向けにネット上に公開されている。Windows上で使用可能である。URLは<http://www.restec.or.jp/research>である。



図 13 B



図 14 N

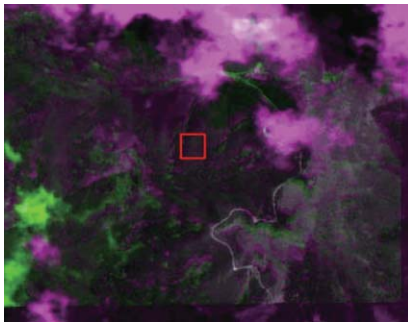


図 15 重ね合わせた画像(以下 NB と表記)

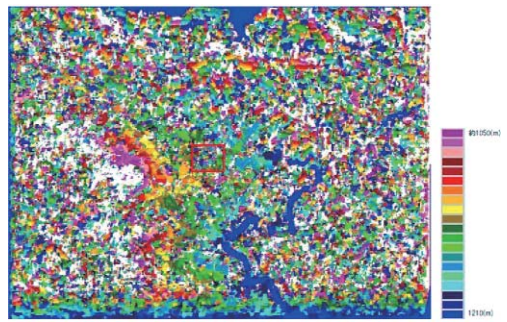


図 16 樹冠頂点高度

5.3 画像の位置合わせ

図 13 後方視画像（以下 B と表記）、図 14 前方視画像（以下 N と表記）のそれぞれに緯度経度、高度が同じである対応点を取り、2 枚の画像の位置合わせを行なう。図 13、図 14 画像の点で示されているのが対応点として選んだもので、四角で囲まれているのが樹幹解析を行なった地域である。また、図 15 のピンク色が位置合わせを行なった B で、黄緑色が N である。

5.4 樹冠頂点高度の出力

5.3 の図 15 の画像の視差差から、樹冠頂点高度を出力する。図 16 で白くなっている部分や、砂嵐のような画像になっているのはカラーバーよりも高度が高いか、低い場合である。また、対応点を取った所よりも緯度が高い領域や、離れ過ぎていた時も砂嵐のようになり、樹冠頂点高度をうまく出力する事が出来ない。よって、樹幹解析を行なった場所よりもその周りのうまく樹冠頂点高度を出力出来た領域を中心に解析を行なっていく予定である。

6 まとめと今後

今回の研究では、奈良県川上村井光県有林におけるヒノキの樹幹解析を行なった。これにより、衛星から出力されるであろう樹高と比較検証を行なうための地上検証データを取得するこ

とが出来た。また、ソフト **Remote 10** により樹冠頂点高度の値を出力した。

今後はこの結果を元に、樹冠頂点高度の値を検証し、葉の広がり具合から胸高直径をもとめ、以上から材積量を求めたい。また、スギに関しても樹幹解析を行ないたい。そして、最終的には奈良県の森林データベースを作りたい。

謝辞

本研究で使用した **ALOS** データは、宇宙航空開発機構 (JAXA) より、研究用として提供されたものである。また、本研究で使用したソフト **Remote 10** の使用方法を快く教えていただいた杉村俊郎氏 (RESTEC) にも、ここに感謝の意を表したい。

参考文献

- [1] 日本林業調査会, 「林野庁計画課編 立木幹材積表 西日本編」, 1970
- [2] 大隅真一, 「森林計測学講義」, 1989
- [3] 宇宙開発機構 (JAXA), <http://www/eorc.jaxa.jp/ALOS/about/jprism.htm>, http://www/eorc.jaxa.jp/ALOS/about/about_jindex.htm