

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月31日現在

機関番号：82105

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22780155

研究課題名（和文） 衛星データによる森林の地上部現存量推定の不確実性評価

研究課題名（英文） Evaluation of uncertainty in forest above ground biomass estimates derived from satellite data

研究代表者

高橋 與明（TAKAHASHI TOMOAKI）

独立行政法人森林総合研究所・森林管理研究領域・主任研究員

研究者番号：90435587

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、Lバンド合成開口レーダ(PALSAR)の後方散乱係数から推定される広域の森林の地上部現存量(AGB)推定値の不確実性を評価することである。トレーニングデータのサンプルサイズに着目してシミュレーションした結果、本テストエリアではトレーニングデータのサンプルサイズを少なくとも40個程度確保すれば、独立した検証データのAGB推定値の不確実性を大きく減らすことができることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：

The aim of this study is to evaluate the uncertainty in forest above ground biomass (AGB) estimates derived from the backscattering coefficients of a L-band synthetic aperture radar system (i.e., PALSAR). Considering different sample size of training data, the simulation results indicated that at least sample size of 40 would greatly decrease the uncertainty in AGB estimates for test data in this study area.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：衛星データ、PALSAR、地上部現存量、サポートベクトル回帰

1. 研究開始当初の背景

国産衛星だいち（2011年5月に運用終了）に搭載されていたLバンド合成開口レーダのPALSARは、地球地表面を降雨時や雲・煙に無関係に常時観測できる画期的な衛星センサであることから、例えば、国家統計値の精確性に欠ける途上国の湿潤熱帯林の地上部現存量（以後、AGBと記述する）のモニタリ

ングに大きな期待が寄せられていた。しかし、モニタリングという視点の前に、そもそもPALSARデータを利用して森林のAGBを推定する研究は少なく、湿潤熱帯林に限らずPALSARが森林のAGB推定にどの程度有用なツールとなりうるのかは、未だ十分にわかっていない。

合成開口レーダデータに限らず衛星リモートセンシングデータを利用したAGB推定の

多くの既存研究では、衛星画像の画素単位で AGB を推定する統計的回帰モデル (AGB を説明変数ではなく応答変数とするモデル) を構築する方法がよくとられる。本研究においても回帰モデルを用いて AGB を推定する方法を前提とする。回帰モデルを構築する際に特に重要なのは十分なサンプルサイズすなわち地上調査プロットの数とプロットデータの母集団の代表性の担保である。一般に、地上プロット調査は相当労力がかかる上に設置したい場所への到達が困難な場合もあるため、実際にはサンプルサイズが不十分と感じられるままや母集団の代表性が担保されているのかよくわからないままモデル構築をせざるを得ないことがしばしばある。本研究では、特に前者に着目し、(1)『同じサンプルサイズであってもトレーニングデータの選び方次第 (ただし、ランダムに選ぶことを前提とする) でモデルの精度がどう変化するか』(2)『ある範囲の森林の AGB を推定した際に、モデル構築に使用したサンプルサイズ (トレーニングデータの数) によって AGB 推定値の誤差がどう変化するか』といったことを実験的にでも調べれば、衛星データによる AGB 推定の不確実性の側面を評価できると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、主にインドネシア中央カリマンタンの地形が極めて平坦な泥炭湿地林 (約 26km² のあるテストエリア) を対象に、PALSAR データを用いて背景で述べた (1) と (2) を調べることを目的とした。

3. 研究の方法

この目的を遂行する上で必要な条件として、テストエリア内全ての参照データ (すなわち正しいと仮定する AGB のデータ) が面的に存在する必要がある。無論このエリア全てを地上調査することは不可能である。そこで本研究では、地上調査プロットデータ (サンプルサイズは 12) を航空機 LiDAR データ (1m 解像度) でスケールアップしてテストエリア内の参照データを面的に作成した。高解像度の航空機 LiDAR データは、プロットデータとの親和性が良いため、容易にかつ精度良くプロットデータをスケールアップできることが多くの既存研究で立証されている。本研究の調査プロットは 30m*40m の矩形であり、プロット内の毎木調査データからアロメトリー式を介して単木の地上部乾重量を算出し、その合計値をプロット内の AGB (Mg/ha) とした。本研究では、スケールアップには一般化線型モデルを適用し、面的な参照データ (エリア内の平均 AGB は約 138Mg/ha となった) を作成した。

解析に使用した PALSAR 画像は、4 ルック処

理 (解像度は約 10m~12.5m) したオルソ補正済みの HH、HV 偏波の後方散乱係数 (以後、 σ^0 と記述する) の画像である。地上調査プロットのサイズが 30m*40m であることなどを考慮し、50m のメッシュ単位で本研究の目的を遂行することにした。テストエリア内に合計 10541 個の仮想の 50m メッシュを GIS 上で作成し、航空機 LiDAR で作成した参照データ (AGB 画像) と PALSAR 画像のそれぞれにオーバーレイして、各メッシュに対して AGB (つまりモデルの応答変数) と二偏波の σ^0 (つまりモデルの説明変数) を用意した。なお、説明変数としては、メッシュ内の σ^0 の平均値、レンジ、標準偏差の 3 つを HH 偏波と HV 偏波の双方から算出した。すなわち、 σ_{HHmean}^0 、 $\sigma_{HHrange}^0$ 、 $\sigma_{HHstdev}^0$ 、 σ_{HVmean}^0 、 $\sigma_{HVrange}^0$ 、 $\sigma_{HVstdev}^0$ の 6 つを説明変数の候補として準備した。

次に、本研究の目的 (1) の方法について説明する。さまざまな既存研究で扱われている参照データのサンプルサイズを参考にした結果、シミュレーションに使用するサンプルサイズの最低を 10 個とし、20 個、40 個、60 個、80 個、100 個の計 6 通りを想定した。10541 個の参照データから 1000 回のランダムサンプリングでトレーニングデータを抽出し、各サンプルサイズのモデルを 1000 個構築した。複数の種類の回帰モデルを検討した結果、本研究ではカーネルトリックによるサポートベクトル回帰が最適と判断された。カーネル関数にはガウスカネルを用い、ガウスカネルのパラメータおよび正規化パラメータの最適選択は leave-one-out クロスバリデーション誤差が最小となる組み合わせをグリッド探索によって決定する方法で行った。このようにパラメータのチューニングを行って構築された最適なモデルの精度を RMSE (二乗平均平方根誤差) で評価した。

次に、本研究の目的 (2) の方法について説明する。目的 (1) では各サンプルサイズのトレーニングデータ自身でモデル構築と AGB 推定の両方を行い、推定値の誤差の変動を調べていたが、目的 (2) では個々のモデルで独立したサンプルに対して AGB 推定を行い、その推定値の誤差 (同じく RMSE) を計算し、目的 (1) と同様に RMSE を算出した。

4. 研究成果

まず、説明変数の最良の組み合わせを検討した結果について説明する。AGB 推定のモデルの精度は HH 偏波単独より HV 偏波単独の σ^0 を適用した場合が高かった。多くの既存研究において、HH 偏波より HV 偏波の σ^0 のほうが AGB との相関が高いことが示されており、本研究でも同様のことが示唆された。さらに、両偏波の σ^0 を同時に適用した場合は、HV 偏波単独の σ^0 を適用した場合よりモデルの精度が低かった。結論として、HV 偏波のみの σ

σ^0 から算出した σ^0_{HVmean} , $\sigma^0_{HVrange}$, $\sigma^0_{HVstdev}$ の 3つを説明変数とするサポートベクトル回帰モデルが本研究のデータに対しては最適であることがわかった。このため、目的 (1) と (2) の分析は、全てこの 3つの説明変数を持つモデルで行うことにした。

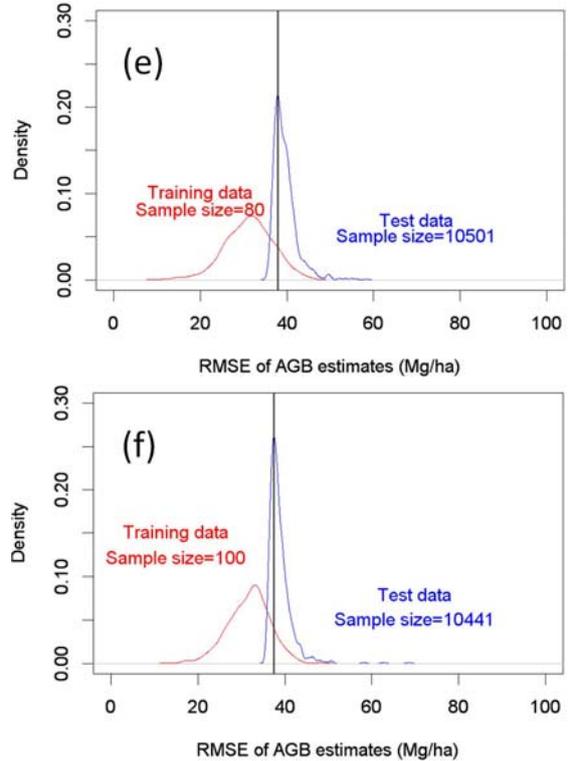
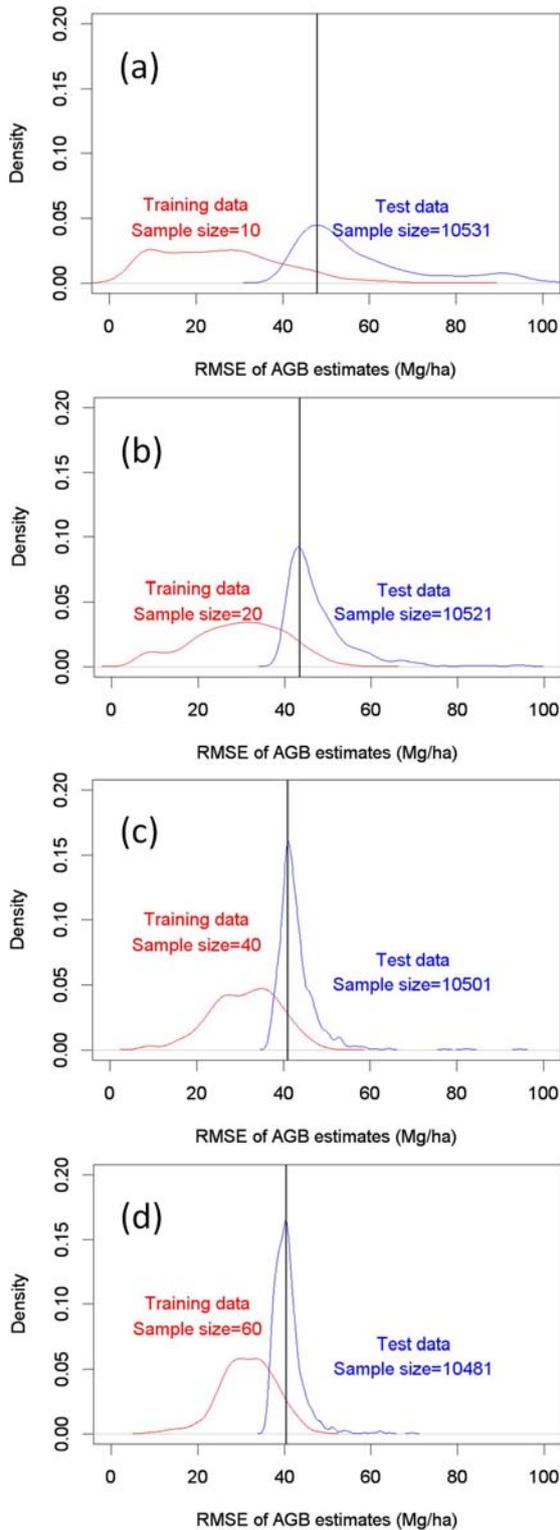


図. 10541 個の参照データから 1000 回のランダムサンプリングを行い、常に最良の AGB 推定モデルを構築した場合の、モデル構築用データ (トレーニングデータ) に対する RMSE (赤) とモデル検証用データに対する RMSE (青)。(a), (b), (c), (d), (e), (f) は、トレーニングデータのサンプルサイズがそれぞれ 10, 20, 40, 60, 80, 100 の場合を示している。図中の黒線は検証用データの誤差の最頻値の位置を示している。

目的 (1) および (2) の結果を図中の赤と青でそれぞれ示す。本研究では、モデルを構築するために用いた手法がカーネルトリックによるサポートベクトル回帰であった。パラメータの最適選択をする際に、トレーニングデータの過学習が深刻には起こらないようにしながら未知のデータに対する予測精度の高さをある程度維持するような汎化能力の高いモデルを構築することを念頭に置いていた。(もし過学習が深刻に起こっていたら、サンプルサイズと無関係にモデルの誤差 (図の赤) はより 0Mg/ha に近い位置でピークを持つ誤差分布をしていた可能性が高いと考えられる)。こうすることで、目的 (1) においてはサンプルサイズの違いのみがモデルの精度に与える影響を調べられ、それと同時に目的 (2) においてモデルの汎化能力を検証しつつ AGB 推定値の誤差を知ることができる。

まず目的 (1) の結果を見ると、トレーニングデータのサンプルサイズが 10 の場合 (図

(a)の赤)は、モデルの誤差はある値に集中することがない。これは、モデルの精度が極端に高い場合(例えば RMSE が 10Mg/ha 付近)から若干低い場合(例えば RMSE が 30Mg/ha 付近)まで同程度の確率でモデルが構築される可能性があることを示唆している。次に、トレーニングデータのサンプルサイズを 20、40 (図(b)、(c)の赤)と増やしていくと、誤差の分布が徐々に一山型に近づいていく様子がわかるが、サンプルサイズが 60 (図(d)の赤)あっても明確なピークは存在しない。サンプルサイズが 80 の場合 (図(e)の赤)から明確なピークが存在する様子がわかる。

表. 検証用データの AGB 推定値の誤差(RMSE)の平均値と 95%信頼区間

モデル構築用の サンプルサイズ	平均値	信頼区間	
		2.5%	97.5%
10	58.3	41.5	95.3
20	47.8	40.1	69.0
40	43.0	37.7	53.5
60	40.9	36.8	49.0
80	39.5	36.4	46.4
100	38.8	36.2	45.3

一方、目的(2)の結果(図の青と表)をみると、トレーニングデータのサンプルサイズが 10 の場合(図(a)の青)、AGB 推定値の誤差の分布は約 48Mg/ha あたりに若干大きなピーク(最頻値)を持ち、右側に裾の長い分布になっているが、表からもわかるように、トレーニングデータのサンプルサイズが 40 (図(c)の青)以上になると、誤差の分散は急激に小さくなるのがわかる。トレーニングデータのサンプルサイズが 80 から 100 に増えた場合でも検証データの誤差の平均値や 95%信頼区間の両側信頼限界はわずかながら減少しており、100 個以上の場合に誤差の平均値と信頼限界がどこまで変化するのは残念ながらわからない。しかしながら、例えば表に示した信頼限界を不確実性の中の一つとみなした場合、少なくともトレーニングデータのサンプルサイズを 40 まで確保すれば、構築されるモデルの精度のばらつきはやや大きいものの(図(c)の赤)、独立した検証データの AGB 推定の不確実性をかなり低減することができると考えられる。また、トレーニングデータのサンプルサイズが 40 の場合、検証データの AGB 推定誤差はトレーニングデータが 100 個の場合と比較しても平均値で約 4.2Mg/ha (相対 RMSE に換算するとテストエリア内では約 3%)程度の違いである。森林でプロットを 40 個設置することも決して楽ではないが、倍以上の労力をかけてプロットを 100 個設置しても推定誤差率の減少が数%であるならば、トレーニングデータのサンプルサイズを本テストエリア内では 40 個程度確

保しておけばよいという考え方も一つ提言できるのかもしれない。

最後に、今後の課題と展望として、平地林ではなく山岳林での PALSAR データによる AGB 推定の不確実性評価について触れたい。本研究と同じアプローチで日本の典型的な山岳地形に存在するスギ・ヒノキ人工林に対しても AGB 推定の不確実性の評価を試みようとした。平地林と違い、山岳林では地形の勾配に対するレーダの局所的な入射角の補正(以後、地形の勾配補正と呼ぶ)を σ^0 に適切に施す必要がある。勾配補正の鍵を握るのが精度の高い DEM もしくは DSM の利用であると考えられる。また、斜め観測をするレーダ計測の原理的に不可避な問題としてレーダシャドウが起きる場所が日本の山岳林には少なからずあり、シャドウのデータは欠損する。その欠損を補うために、昇降軌道の違う PALSAR 画像を準備したが、対象とした地域の両軌道の σ^0 に対して高精度に勾配補正をすることは困難であった。このため、高精度な AGB 推定モデルの構築も困難となり、結論として山岳林については目的(1)および(2)を遂行できなかった。現在、日本全土に渡って整備されている空間解像度の高い DEM は、国土地理院の発行する 50m(10m)DEM しかなく(本研究でも 50m-DEM を利用して勾配補正を試みた)、高解像度かつ精度の高い DEM や DSM の利用が可能になれば、勾配補正の精度向上が期待できるかもしれない。ただし、仮に山岳林における σ^0 の高精度な勾配補正が実現されたとしても、特に日本では AGB が σ^0 の飽和レベルに達する人工林がほとんどであると予想される。このため、 σ^0 のみに依存した本研究のようなモデルには限界がある。それゆえ、他の情報も含めたモデリングの工夫が必要となるであろう。いずれにせよ、 σ^0 の情報は AGB 推定に必須であるため、山岳林における σ^0 の高精度な勾配補正が実現されれば、PALSAR データによる多様な立地条件における森林の AGB 推定の不確実性の側面を適切に評価できるようになると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

①高橋與明、細田和男、西園朋広、田中真哉 (2012) 立木密度の異なるスギ人工林におけるオルソ空中写真のセミバリエーションの特徴、関東森林研究 63、査読有、印刷中(掲載確定)

②高橋與明、栗屋善雄、清野嘉之、佐藤保、鳥山淳平、門田有佳子、齋藤英樹、島田政信、I Nengah Suratni Jaya, M Buce Saleh, Suwido

H. Limin (2011) PALSAR データによる森林火災跡地の検出—インドネシア中央カリマンタンの泥炭湿地林での事例—、関東森林研究 62: 83-86、査読有

③ Tomoaki Takahashi、Yoshio Awaya、Yoshiyuki Kiyono、Hideki Saito、Suwido H. Limin、Masanobu Shimada、I Nengah Surati Jaya、M Buce Saleh、Sen Nishimura、Tamotsu Sato、Jumpei Toriyama (2010) The relationship between dual polarization PALSAR data and forest biomass in a peat swamp forest affected by drainage canals in central Kalimantan. Proceedings of the international conference of Forestsat2010. 61-64 査読無

〔学会発表〕(計7件)

① 高橋與明、スギ・ヒノキ人工林における航空機 LiDAR データと林分構造の関係、第 123 回日本森林学会大会、2012 年 3 月 28 日、宇都宮大学(栃木県)

② 高橋與明、細田和男、西園朋広、田中真哉、立木密度の異なるスギ人工林におけるオルソ空中写真のセミバリエーションの特徴、第 1 回関東森林学会大会、2011 年 10 月 21 日、群馬県社会福祉総合センター(群馬県)

③ 高橋與明、航空機 LiDAR は樹高計測に万能なツールか?、第 122 回日本森林学会大会、2011 年 3 月 27 日(東日本大震災のため学会大会は中止)、静岡大学(静岡県)

④ Tomoaki Takahashi、Yoshio Awaya、Yoshiyuki Kiyono、Hideki Saito、Tamotsu Sato、Jumpei Toriyama、Yukako Monda、Masanobu Shimada、Suwido H. Limin、I Nengah Surati Jaya、M Buce Saleh Forest monitoring using backscattering coefficients of PALSAR in a peat swamp forest of central Kalimantan. International Symposium On Forest Monitoring Methodologies for Addressing Climate Change Using ALOS PALSAR、2010 年 11 月 9 日、IPB 国際会議場(ボゴール)

⑤ 高橋與明、栗屋善雄、清野嘉之、佐藤保、鳥山淳平、門田有佳子、齋藤英樹、島田政信、I Nengah Surati Jaya、M Buce Saleh、Suwido H. Limin (2010) PALSAR データによる森林火災跡地の検出—インドネシア中央カリマンタンの泥炭湿地林での事例—、第 62 回日本森林学会関東支部大会、2010 年 10 月 22 日、コンセーレ(栃木県)

⑥ Tomoaki Takahashi、Yoshio Awaya、Yoshiyuki Kiyono、Hideki Saito、Tamotsu Sato、Jumpei Toriyama、Yukako Monda、Masanobu Shimada、I Nengah Surati Jaya、M Buce Saleh、Suwido H. Limin、Forest monitoring by PALSAR in Indonesia and Cambodia、International Workshop: Forest Dynamics and Carbon Monitoring in Forest Ecosystems in East Asia~ Findings from Forest Dynamics Network~、2010 年 10 月 8 日、東京メルパルク(東京都)

⑦ Tomoaki Takahashi、Yoshio Awaya、Yoshiyuki Kiyono、Hideki Saito、Suwido H. Limin、Masanobu Shimada、I Nengah Surati Jaya、M Buce Saleh、Sen Nishimura、Tamotsu Sato、Jumpei Toriyama、The relationship between dual polarization PALSAR data and forest biomass in a peat swamp forest affected by drainage canals in central Kalimantan、International conference of Forestsat2010、2010 年 9 月 7 日、USC(ルゴ)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 與明 (TAKAHASHI TOMOAKI)

独立行政法人森林総合研究所・森林管理研究領域・主任研究員

研究者番号: 90435587