



アマゾン熱帯林全域の高精度樹高マップを作成 —衛星データと地上踏査で熱帯林の三次元構造の精度検証に成功—

ポイント

- ・人工衛星によるレーザー計測結果と画像からアマゾン全域の高精度樹高マップを作成しました
- ・約800地点で行った10万本以上の樹木の野外調査の結果を使って検証を行いました
- ・熱帯林の炭素動態観測の基礎を構築しました

概要

国立研究開発法人 森林総合研究所（以下「森林総研」という）は、東京大学生産技術研究所、INPA（ブラジル国立アマゾン研究所）、INPE（ブラジル国立宇宙航空研究所）と共同で、数千キロ四方にもおよぶアマゾン森林の樹高をレーザー計測結果と画像から500m間隔で隙間なく地図化する方法を開発し、地上で行った樹高の広域調査で得られた結果ともよく一致することを確認しました。

近年、大気中の二酸化炭素（CO₂）濃度が上昇を続けています。森林の減少や劣化に伴うCO₂排出を減らすためには、まず森林の炭素蓄積量を正確に見積もることが必要であり、そのための手法の確立が重要です。森林の炭素蓄積量を高精度で推定する上で決め手となるのが、樹高の把握です。

本研究では、ブラジル国・アマゾンの熱帯林を対象に、1万枚を超える人工衛星画像と、270万点以上の宇宙からの三次元レーザー計測の結果を機械学習によって結合する方法を用いて、樹高の広域地図を作成しました。この樹高マップは、森林総研で開発された技術（特許第4003869号）により雲の影響を取り除いた衛星画像を使っており、欠けた区域や継ぎ目のないのが大きな特徴です。アマゾン熱帯林の樹高マップは、これまでも他の研究グループで作成されていました。しかし、地域による樹高の違いがうまく再現されていないなど、推定精度の検証が必要とされていました。本研究では、膨大な数の樹木の地上計測から、世界で初めての手法で精度検証に成功しました。

今回開発された方法を使うと、衛星データが利用できる他の地域でも同様な樹高マップが作成できます。とくに、南米以外の熱帯林の樹高を正確に推定し、その炭素蓄積量を正確に推定できれば、地球温暖化による気候変動や環境変動の対策を講じるために不可欠な情報を提供できると考えられます。

予算：地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS・JICA-JST 共同実施）

研究課題名：「アマゾンの森林における炭素動態の広域評価」

問い合わせ先など

研究推進責任者：森林総合研究所 研究コーディネータ 松本光朗

研究担当者：森林総合研究所 関西支所

森林生態研究グループ 主任研究員 諏訪鍊平

広報担当者：森林総合研究所 企画部 広報普及科長 宮本基杖

Tel：029-829-8135 Fax：029-873-0844

本資料は、環境省記者クラブ、林政記者クラブ、農林記者会、農政クラブ、筑波研究学園都市記者会に配付しています。

背景

2007年の世界自然保護基金(WWF)の報告書によれば、現状のままだと、アマゾンの森林は2030年までに最大でおよそ60%が消失すると予測されています。気候変動枠組条約では、このような開発途上国の森林減少・劣化を防止しCO₂の排出を削減する仕組み「REDDプラス」について、2020年からの実行を目指して交渉が進められています。この実現のためには、森林減少・劣化の防止によって得られるCO₂排出削減量の評価方法の開発とそれによる削減量の見積もりが必要となってきました。とくに、森林消失が急速に進むアマゾン熱帯林については、炭素蓄積量を精度よく推定する方法の開発が急務とされてきました。

森林の炭素蓄積量の推定では、樹高が重要なパラメータであることが知られています。さらに、樹高は森林に棲む生物相にも大きな影響を与えているので、生物多様性保全の観点からも樹高を正確に把握することは重要な意義を持ちます。

しかし、実際に樹高を測定するのは難しく、とくに熱帯林などの樹冠の閉じた天然林では、地上で測器を用いて調査する場合、梢(樹頂点)まで見通せないことも少なくありません。また、仮に樹高を精度よく計測できても、数千キロ四方におよぶ地域を地上調査するのは、労力や費用の点からみてもほぼ不可能です。一方、航空機によるレーザー計測や空中写真を用いた森林の樹高推定法も、これまでに幾つか開発されていますが、こうした広域で観測を行うには費用がかかりすぎるのが問題でした。

内容・意義

- ・1万枚を超える人工衛星画像と270万点以上の宇宙からの三次元レーザー計測の結果を機械学習によって結合する新しいプログラミング手法を開発しました。
- ・人工衛星画像の解析では、独自技術で雲の影響を取り除き(図1)、欠けた区域や継ぎ目のない樹高マップの作成に成功しました(図2)。
- ・日本とブラジルの研究者が共同で、アマゾン奥地に地上調査区(20m×125m、799箇所)を設置し、10万本以上の樹木について幹直径サイズを記録しました(写真1)。樹高は樹形を保持した倒木を用いて測定し、直径-樹高関係式を作成して、全ての調査木の樹高を推定しました。得られた樹高推定値によって、衛星から作成した樹高マップを検証しました(大規模検証は世界初です)。
- ・作成された樹高マップを地上調査結果によって検証した結果、樹高が地域間で異なるパターンが従来の類似マップに比べて正確に検出されていることが確認されました(図3)。
- ・数千キロ四方の範囲の樹高を500m間隔で地図化できるようになりました(システム化しているため衛星データを揃えれば他地域にも応用が可能です)。
- ・作成された樹高マップを用いて、熱帯林の炭素蓄積量や生物多様性評価に応用が可能です。

今後の予定・期待

- ・作成された樹高マップは、森林の炭素蓄積量(バイオマス)推定のための基礎データになります。地球温暖化による気候変動や環境変動の緩和策にとって重要な情報です。
- ・樹高は、森林の生物多様性の指標と考えられます。環境保全のための基礎データとして活用が期待されます。

【最新の宇宙開発研究との連携】

- ・2018年にJAXAが打ち上げ予定の人工衛星GCOM-Cの画像によって、今回の500m間隔から250m間隔により精密化できる可能性があります。
- ・JAXAは国産技術による宇宙から森林などの三次元計測を行うミッション(MOLI)を計画しています。先に述べたGCOM-C衛星の画像と組み合わせれば、国産技術で世界中の熱帯林を監視することが可能になるでしょう。

用語の解説

- ・ 雲除去処理

人工衛星からの画像は地球上の様々な情報を提供してくれますが、しばしば雲によって地表の様子が撮影できないことがあります、継続的な観測の障害となっています。そこで、森林総研では衛星写真の雲に隠れた部分を合成する「雲取りフィルタ」技術を開発しました（特許第 4003869 号・図 1）。この技術を活用して、撮影地点の季節変化をコンピューターでモデル化することによって雲のない画像が 8 日間隔で得られます。雲がある画像からでも地表面の温度や植生などの様子を連続して観察することが可能になるため、森林観察による地球温暖化の監視やエルニーニョの解析、作物の収量推定など様々な場面で威力を発揮することが期待されています。（参考：2002 年 9 月 18 日森林総研プレスリリース「世界初の衛星画像雲取りフィルタ技術」）

- ・ 三次元レーザー計測

測定したい物体に向けてレーザー光線を発射し、光線が物体に反射して戻ってくる時間を記録することで物体までの距離を測り、多数の点について繰り返すことで三次元構造を計測する方法。樹木の高さを測る場合には航空機や人工衛星を用いた計測が行われます。

共同研究機関

東京大学生産技術研究所、ブラジル国立アマゾン研究所、ブラジル国立宇宙航空研究所

本成果の掲載論文

タイトル：A new 500-m resolution map of canopy height for Amazon forest using spaceborne LiDAR and cloud-free MODIS imagery（アマゾン熱帯林における雲除去済み MODIS 画像および衛星 LiDAR を用いた 500m 分解能の新しい樹高マップ）

著 者：SAWADA Yoshito（澤田義人・東京大学生産技術研究所）、SUWA Rempei（諏訪錬平）、JINDO Keiji（神藤恵史・東京大学生産技術研究所）、ENDO Takahiro（遠藤貴宏・東京大学生産技術研究所）、OKI Kazuo（沖一雄・東京大学生産技術研究所）、SAWADA Haruo（沢田治雄・東京大学生産技術研究所）、ARAI Egidio（INPE）、SHIMABUKURO Edemir Yosio（INPE）、CELES Henrique Carlos（INPA）、CAMPOS Alberto Assis Moacir（INPA）、HIGUCHI Francisco（INPA）、LIMA José Nogueira Adriano（INPA）、HIGUCHI Niro（INPA）、KAJIMOTO Takuya（梶本卓也）、ISHIZUKA Moriyoshi（石塚森吉）

掲 載 誌：International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation（応用地球観測と地理情報学の国際誌）、（オンライン上で 2015 年 4 月公開済）

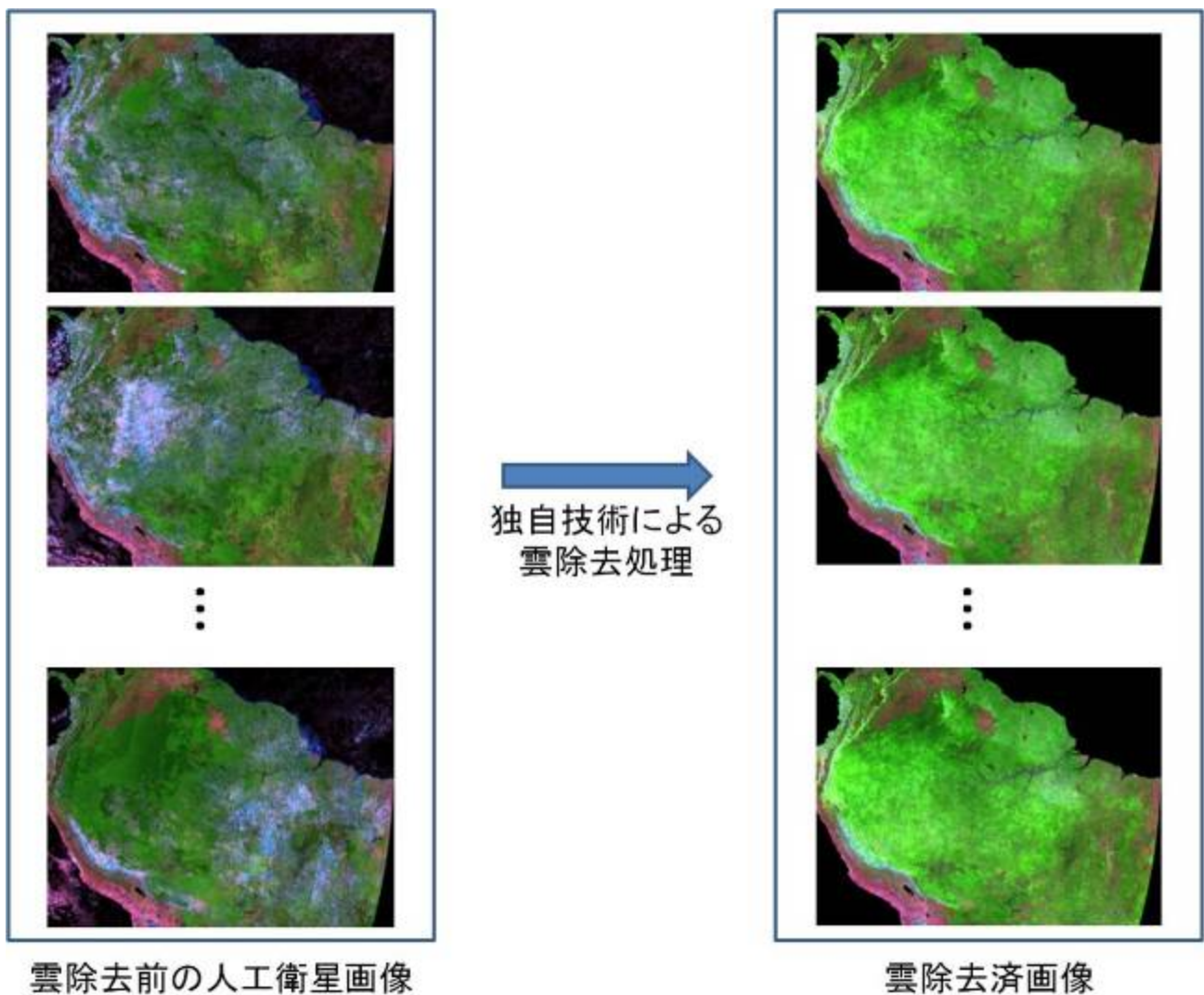


図1： 時系列解析を軸とする独自技術を用いて、雲除去済み画像を作成しました。雲除去処理（左：8日間隔の衛星画像 右：雲除去処理の結果）
左の画像で青白く写っているのが雲。雲除去処理を行うと、雲に覆われた部分の植物の様子が推定できるとともに、処理前（左）の画像で暗く写っている地点も明るく補正されています。



写真1：（左上）陸路の限られているアマゾン奥地での地上調査の拠点となる母船。調査プロットを100点設置するために、一ヶ月以上をこの母船で過ごします。（右上）母船に搭載された小型ボートによって、水路を利用して調査地へとアプローチする様子。（左下）樹木の幹直径の測定。（右下）倒木を利用した樹高の測定。

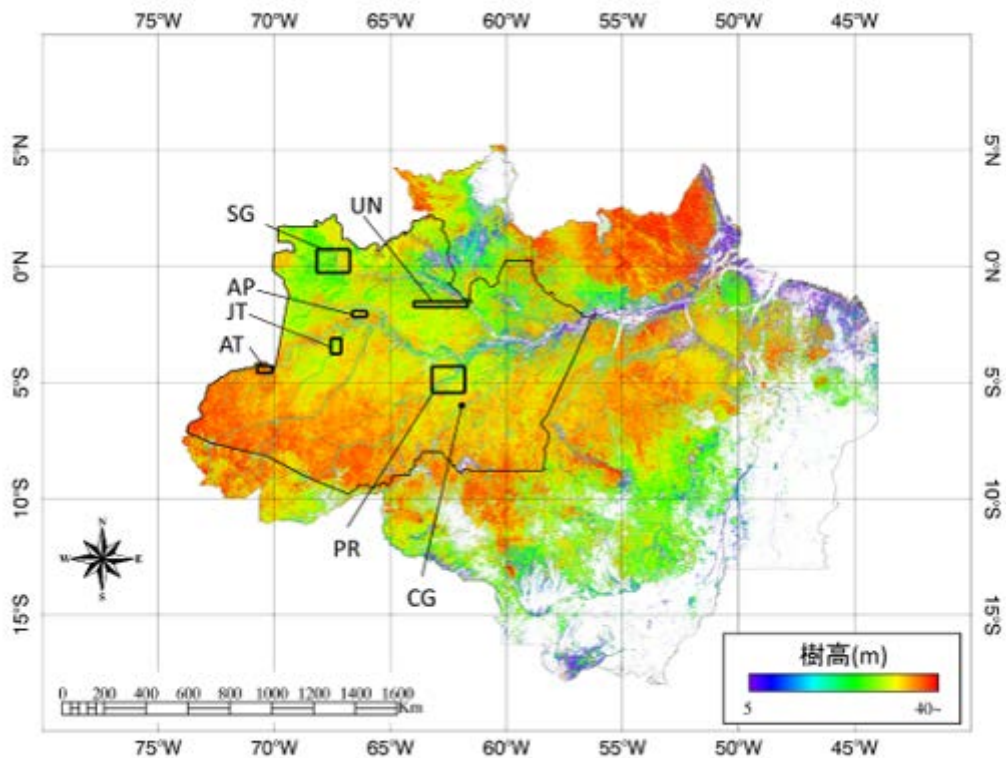


図 2 :作成された樹高マップと環境や森林タイプの異なる地域に設置された地上調査区(矩形で示された範囲に合計799地点が含まれます)。各調査地域の略称は以下の通りです : SG (São Gabriel da Cachoeira)、AT (Atalaia do Norte & Benjamin Constant)、 JT (RESEX of Jutai River)、CG (RESEX of Capanã Grande Lake)、UN (RESEX of Unini River)、AP (RESEX of Auati-Paraná)、PR (Rebio do Abufari)。

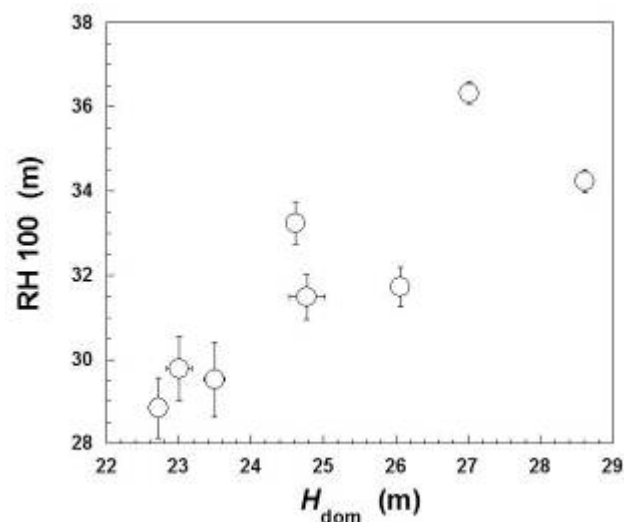


図 3 :各調査地域における樹高マップ (RH100) と地上調査による樹高推定値 (H_{dom}) の平均値との比較図。RH100はLiDARの波形データにおいて、最も高い位置で反射したデータを抽出した値です。 H_{dom} は上層樹高の平均値です。エラーバーはSE(標準誤差)を意味します。