

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)
研究課題別追跡評価報告書

1. 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 (2010年5月～2014年5月)

2. 研究代表者 ※所属はプロジェクト終了時

2. 1. 日本側研究代表者：石塚 森吉

(国立研究開発法人 森林総合研究所 客員研究員)

2. 2. 相手国側研究代表者：Niro HIGUCHI

(国立アマゾン研究所 Senior Researcher)

3. 研究概要

本研究では、世界最大の熱帯雨林を有するブラジルのアマゾンを対象に、森林観測インベントリ・データとリモートセンシング（以下、リモセン）データを活用し、広域な森林の炭素蓄積量の動態の測定・評価技術を開発し、REDD⁺などで求められている測定・報告・検証 (MRV) に活用できるシステムを提言すべく、次の2グループのもと研究が推進された。

1. 森林インベントリグループ（長期森林インベントリ・システムの構築、
森林の構造と炭素動態の解明、森林の炭素動態のマッピング）
2. リモセングループ（UAV²による森林の立地解析）

森林インベントリグループは、森林総合研究所が国立アマゾン研究所（以下、INPA）とともに、アマゾンの森林に設定した大面積プロットや長距離ベルトトランセクト³等における詳細な現地観測モニタリングデータと、地上観測の森林インベントリデータ（多点プロット調査）をひとつのシステムとし、中央アマゾンの特徴づける台地－浸水地のモザイク地形における森林の炭素動態の解明に取り組んだ。また、リモセングループは、地上観測のデータを踏まえた地形と林分構造の関係から林分の炭素動態を、レーザーリモセン等を介して広域衛星データへスケールアップする手法を東京大学が国立宇宙研究所（INPE）と開発し、広域な森林の炭素動態を評価することを試みた。

4. 評価結果

本プロジェクトの上位目標は「ブラジルおよびその周辺国における森林の適切な保全（評価・保全地域の設定・違法伐採の監視）に貢献する」ことである。

¹ Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation : 気候変動枠組条約の下で合意された、途上国の森林から温室効果ガスの排出を減らすための仕組み

² unmanned aerial vehicle（無人航空機）

³ 調査対象地に線引きした上で、当該線を含む一定幅に存在する生物相を調査する手法

ブラジルアマゾンの森林破壊による排出量は 2005 年をピークに減少し、2014 年まで減少傾向が続いた。しかし、2019 年の政権交代の影響により、森林伐採を含むアマゾンの開発が強く促進され、熱帯雨林の保全活動は停滞し、深刻な山火事が国際的に報じられるなど、研究成果の全面的な活用が容易でない状況にある。

一方、本研究を通じて、雲に覆われることの多いアマゾン熱帯林におけるバイオマス推定には林冠高が最も重要なパラメータであることが判明したが、広域な範囲を航空機ライダーで観測することは費用が高すぎ、ブラジルでは飛行制限も厳しいことから、アマゾンでは衛星ライダー観測が必須であることが明らかになった。今後、ISS 搭載植生 LIDAR (MOLI) のように、地球上統一パラメータでバイオマス推定可能なシステムが待たれる。なお、MOLI バイオマス推定アルゴリズムには本研究参加者が複数関わり、本研究成果も活かされ、日本の森林保護にも活用されていることは高く評価される。以上、森林における炭素動態に関わる実践的な成果、森林インベントリ動態に関する調査研究は多大な成果を上げ、その活用が多方面で進められてきた。

なお、本研究成果データベースとして公開することは、ブラジル側の事情により残念ながらなされていない。他国との国際共同研究⁴でもインベントリ・データは 12 年後に公開された状況ではあるが、今後、若手研究者との共同研究を通じて公開されることが望まれる。また、研究成果の英語による論文発表も期待される。

4-1. 研究の継続・発展について

ブラジルでは、INPA がアマゾン森林の保全を主要業務として推進し、INPE も熱帯林の動態モニタリングを継続し、プロジェクト当時、アナログ主体であった PRODES⁵システムが、高分解能かつデジタル処理システムに発展している。また、プロジェクトで確立した技術を習得した INPA ポスドクラが民間企業 (HDOM 社) を設立し、アマゾナス州研究基金や企業の出資を受けて、アマゾニア州に限らず国内外の森林インベントリを実施している。日本側でも、衛星を用いたアマゾン等、地球規模森林バイオマス計測の高度化のため、JAXA が支援する研究計画⁶が進行している。

学術面では、プロジェクト終了後に原著論文 (査読付き) 7 編とそれ以外の論文 (査読なし) 15 編、国際学会 3 編が発表され、INPA からはシンポジウム発表内容が出版⁷されている。また、日本側研究者には国際共同研究の代表となった者もあり、相手国研究者も研究を継続発展させている。さらに、科学研究費助成事業 (以下、科研費) に採択⁸され、INPA と共同で地上モニタリング調査を継続し、ドイツ研究者も加わり安定同位体を用いた調査等

⁴ LBA (the long-term Atmosphere-Biosphere Experiment in Amazonia)

⁵ Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal (法定アマゾン森林伐採監視プロジェクト)

⁶ LiDAR による森林バイオマス計測装置 MOLI (Multi-footprint Observation Lidar and Imager) を ISS (国際宇宙ステーション) に搭載する計画

⁷ Dinâmica do Carbono das Florestas da Amazônia: Resultados do Projeto CADAF

⁸ アマゾン熱帯林における低インパクト型択伐施業の可能性: 樹種の成長特性に基づく検証、2016-2019

を進めてきた。その終了後には INPA がアマゾン基金⁹などの助成を得て、定期的に調査を実施し、両国共同でデータ解析等を実施中である。加えて、日本学術振興会の外国人招へい研究者（2019 年）に採択され、INPA 研究者を日本に招聘し共同研究を実施したほか、日本側研究代表者の現勤務先では、JICA 研修を受託するなど、関係性が継続している。

4-2. 地球規模課題の解決に向けた科学技術の進展への貢献について

本研究の成果の一つは、森林における樹冠高の推定が森林バイオマスの推定精度の向上のカギであることを示したことである。その林冠高マップをアマゾンで初めて地上測定から精度を検証した上で作成、国際誌で発表した。また、その延長線上に、雲に覆われることの多い熱帯林地域において、同一基準で林冠高や森林バイオマスを把握できることを示し、ISS 搭載予定の MOLI の開発につながったことが高く評価される。さらに、COP22（2016 年）で発表された GOFI GOLD¹⁰ソースブックに森林観測の最先端技術として研究成果を紹介し、ドローン搭載 LiDAR 観測の研究開発を牽引している。加えて、森林インベントリの研究成果を 2014 年オーストラリアで開催された熱帯生物学と保全学会年次大会で、2019 年ブラジルで開催された IUFRO（国際森林研究機関連合）世界大会で発表し、森林インベントリ観測技術とその結果を我が国始め国際的に広く周知してきた。

なお、ブラジル側はポルトガル語が国語であり、SATREPS 成果が論文として発表されているが、メジャーな国際誌への英語によるさらなる投稿を通じた世界への発信に期待したい。以上、森林をめぐる REDD+など国際的施策の実現への寄与が期待されるが、日本側研究機関の一つは、本研究成果を活用し、ペルーで新たな SATREPS プロジェクト¹¹を開始させる予定である。

4-3. 地球規模課題の解決、及び社会実装に向けての発展について

前述の HDOM 社も関与し、中央アマゾンの択伐コンセッションにおいて、択伐後のバイオマス回復過程を初めて明らかにし、回復年数を 20 年程度とする伐採許容量を推定し国際誌に発表した。成果はコンセッション企業に受け入れられ、伐採量の決定に反映されている。

加えて、本プロジェクトの研究から必要性が確認されて開発が進められている ISS 搭載植生ライダー MOLI は、山の多い日本でも森林バイオマス推定精度を向上させることができ、バイオマス計測があまりなされていない日本の林業にも大きく貢献する可能性がある。

4-4. 日本と相手国の人材育成や開発途上国の自立的な研究開発能力の向上について

⁹ Fundo Amazônia、2008 年設立（ノルウェー、ドイツ等の拠出）

¹⁰ Global Observations of Forest Cover and Land-use Dynamics（森林および土地被覆変動に関する地球観測）

¹¹ アンデス・アマゾンにおける山地森林生態系保全のための統合型森林管理システムの構築

本プロジェクトに参加した研究者の多くが国際共同研究などの研究に従事し、活動を継続させており、日本側研究者の一人は科研費による両国の国際共同研究代表となっている。また、ブラジル側では INPA、INPE において SATREPS に参加した中堅研究者を中心に研究を継続している。特に INPA ではポスドクが民間森林調査会社を設立し、国内ではパラナ州、国外ではコロンビアやパラグアイ等、他国でも研究を展開している。また、その他にも多くの研究者がキャリアアップし、当該分野の研究開発、社会実装に関与している。

4－5. 日本と開発途上国との国際科学技術協力の強化、科学技術外交への貢献等について

相手国側の研究代表者は本プロジェクトの貢献もあり、ブラジルのフォーカルポイントとして、現在、REDD+等多くのプロジェクトに携わり大変多忙な状況にある。一方、その後継者と日本側研究者は、現在も共同研究を継続しており、引き続き、将来のブラジルを代表する研究者育成に貢献することが期待される。アマゾナス州では、森林インベントリ活動と炭素蓄積量マップの成果に対して、州議会からも表彰された。

以上

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
研究代表者名 (所属機関)	石塚 森吉 (森林総合研究所 客員研究員)
研究期間	H21採択(平成22年5月19日～平成26年5月18日)
相手国名/主要相手国研究機関	ブラジル連邦共和国/ブラジル国立アマゾン研究所、 ブラジル国立宇宙研究所

付随的成果	
日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> 地球規模の気候変動枠組への活用 REDD+事業等における日本/ブラジル企業による成果の活用
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> アマゾンの森林保全(生態系・生物多様性の保全) 今後の後継機(i-LOVE等)へのフィードバック
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> アマゾンの森林インベントリ・データベース 林冠高を用いた高精度汎用バイオマス推定式 リモセンを活用したアップスケーリング技術 低コスト・汎用型大容量データ処理技術 UAVライダーの開発
世界で活躍できる日本人人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> 国際的に活躍可能な日本側の若手研究者の育成(国際会議への指導力、レビュー付き雑誌への論文掲載など)
技術及び人的ネットワークの構築	該当なし
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> 森林インベントリ・データベース アマゾンの汎用バイオマス推定式(アロメトリ) アマゾンのバイオマス(炭素蓄積量)推定マップ UAVライダーによる林分構造解析プログラム

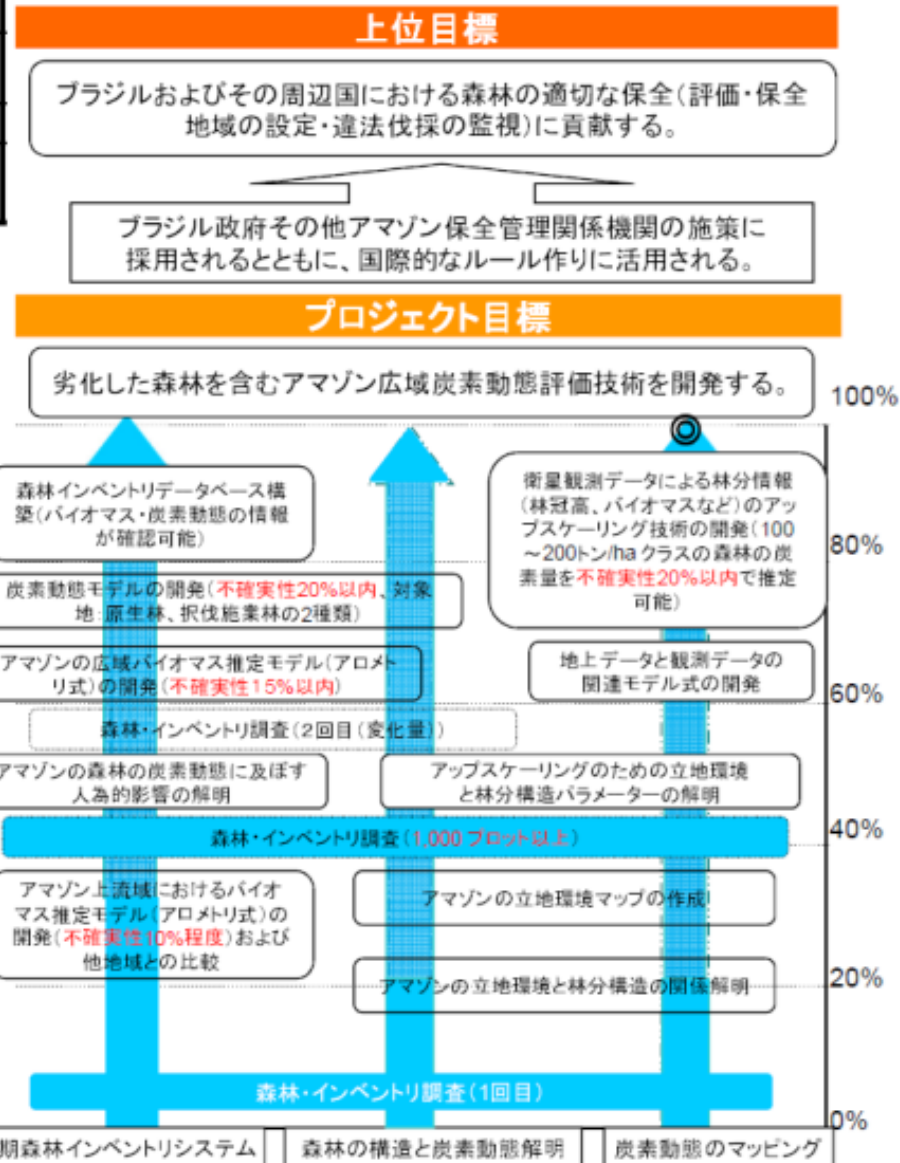


図1 プロジェクト終了時における成果目標シートと達成状況