

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究課題別中間評価報告書

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

2. 1. 日本側研究代表者: 石塚 森吉 (独立行政法人 森林総合研究所 研究コーディネータ)
2. 2. 相手側研究代表者: Niro Higuchi (ブラジル国立アマゾン研究所・上席研究員)

3. 研究概要

アマゾンの森林は、2007年時の破壊の現状から2030年までに最大でおよそ60%が消失すると予測されている。一方、開発途上国の森林減少・劣化の防止によるCO₂排出の削減を、地球温暖化緩和策としてポスト京都議定書の枠組みに組み込むことが検討されており、この実現とその利用には、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とそれによる評価が必要である。そのために、本研究では、劣化した森林を含むアマゾン森林の炭素動態の定量的な評価技術の開発とそれによる評価を目指す。

4. 評価結果

総合評価 (A: 所期の計画と同等の取組みが行われている)

本プロジェクトの上位目標は、劣化した森林を含むアマゾンの広域炭素動態評価技術を開発し、森林減少・劣化によるCO₂排出の削減 (REDD-plus) などへ活用されることにより、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) がなされるようにすることである。

本研究では、これまで森林総合研究所と国立アマゾン研究所 (INPA) が共同で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等における詳細な現地観測モニタリングデータと INPA が主体となって実施する地上観測の森林インベントリデータ (多点プロットの調査) をひとつのシステムとして構築し、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、人為影響下を含む森林の炭素動態 (炭素固定量を含む) を明らかにする。また、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、レーダ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国立宇宙研究所 (INPE) と東京大学で開発し、広域な森林の炭素動態を評価する。

地上観測の森林インベントリについては、これまで空白域であったアマゾナス州 8 箇所において約 800 のプロット調査を実施し、世界的にも貴重なインベントリデータが体系的に蓄積されており、これらのデ

ータ等を利用したアマゾン森林バイオマスの汎用アロメトリ式を開発するなど、着実な成果が出ている。

リモートセンシングによる広域推定技術開発についても、高頻度観測衛星データである MODIS の元データの時間分解能と空間分解能の両方を保持した、雲なし時系列データセットを整備し、中央アマゾンの特徴づける地形条件等を加味した森林立地環境区分手法を開発するとともに、炭素量推定誤差を見積もることが可能な広域推定技術開発モデルが試作されている。地上観測データ等をスケールアップする際に炭素量推定の精度向上に必要な航空機によるライダー (LiDAR) の撮影許可が相手国側の大統領許可を要するなど、航空機搭載 LiDAR 撮影がプロジェクト期間中に実施できるか不透明であるが、他の代替策 (既存の LiDAR データや無線ヘリの活用) を講じながら着実に広域推定モデルの技術開発の活動を進めている。

相手国研究機関である INPA と INPE の連携関係や活動がやや不明瞭であったため、今回の現地調査において、両機関での連携の強化や役割を明確化してもらい、プロジェクト終了までの道筋に向けた体制が強化されつつある。また、プロジェクト開始時点と異なり、ブラジル政府自体の REDD-plus に関する考え方が積極的になり、本プロジェクトで実施中の MRV システムの開発に関心を有するなど、研究成果の活用への道筋も整いつつある。

日本側の若手人材も、非常に困難な現地調査を積極的に行い、現地とのコミュニケーションもうまく図るなど、国際的な人材として活躍できる人材が育成されつつある。また、日本の科学技術の今後の発展についても、地上観測とリモートセンシングの統合による観測は、他の地域や他の事象についても応用可能で有り、今後の発展性は期待できる。特に、森林特性の評価では、REDD-plus、二国間カーボン・オフセット・メカニズムやその MRV のデファクト化は日本にとって重要な課題であり、日本標準・規格の確立に向けての貢献へも大きい。

これらの進捗状況に鑑み本国際共同研究プロジェクトの計画が着実に実施されていると高く評価する。

今後の課題として、対象地域や研究内容を考えると達成された場合のインパクトが大きな研究であるため、そこで得られる研究成果のまとめと活用についての具体的な活動を期待するとともに、本プロジェクト終了後も見据えた社会実装に向けた具体的活動計画や今後の研究活動の持続体制の構築を早めに検討頂きたい。

本プロジェクト終了までにこれらの課題を念頭に置き、引き続き国際共同研究が進められることを期待する。

4-1. 国際共同研究の進捗状況について

本プロジェクトは、世界最大の面積の熱帯雨林を有するブラジル・アマゾンを対象に、森林観測イベントリデータとリモートセンシングデータを活用することで、人為活動により劣化した森林を含む広

域な森林炭素蓄積量の動態の測定・評価技術の開発とそれによる評価、および REDD-plus などでも求められている測定・報告・検証（MRV）として活用できるシステムの提言を目的としている。

地上部の森林観測インベントリは、ネグロ川上中流域、ソリモエス川上中流域を中心に、アマゾナス州 8 箇所（Sao Gabriel da Cachoeira、Atalaia do Norte、Itacoatiara (MIL)、Fonte Boa (ZFV)、Jutai、Resex Auati-Parana、Resex Capana Grandei、Rio Unini）において、約 800 プロットの調査を実施しており、これまで空白域であったアマゾナス州のインベントリデータが蓄積され、当初の計画を達成している。また、これらのデータを用いた上位 20%の平均樹高をアロメトリ式に組み込み、アマゾンにおける汎用アロメトリ式を開発するなどの成果が出てきている。また、本プロジェクトで蓄積したインベントリデータとこれまでの INPA で実施されたインベントリデータをひとつに整理し、データベースが構築されつつある。バイオマス推定式の不確かさ (uncertainty) は 15%程度であるものの、蓄積したデータを地域別や環境条件別に分類するなど、更にデータの解析を検討するなどし、推定式の精度を向上するような工夫も検討されている。これらのデータベースは、バイオマス量の推定のみならず、地域別の森林分布を初めとするアマゾンの森林生態系の解明や生物多様性データベースなどにも非常に有効なものである。

リモートセンシングによる広域推定技術開発については、東大チームによるこれまでの知見を活用し、アマゾンの立地環境を解析するために、高頻度観測衛星データである MODIS の元データの時間分解能と空間分解能の両方を保持した、雲なし時系列データセット（NDVI（正規化植生指数）、NDII（正規化水分指数）、地表面温度（昼）、地表面温度（夜）、冠水期間図など）を整備し、推定精度を維持した詳細な検討がされている。これらのデータ以外に地形データなどを加味した森林立地環境分類手法を開発するなど、計画どおりの進捗である。また、雲なし時系列データセットの整備の際に、GPGPU（General Purpose Graphics Processing Unit）を用いた、従来の PC と比較して画像が 20 倍以上のスピードで高速処理できる時系列処理の高速化手法も合わせて開発するなど、派生的成果も出ている。また、森林環境区分図作成に用いた分類アルゴリズムにクラスタ内での最尤推定の機能を付加し、インベントリプロットや LiDAR データ、高分解能衛星データから精度よく推定されたバイオマス量を基に、広域でバイオマス量を推定する手法を開発するとともに、炭素量推定誤差を見積もることが可能なシステムを確立し、一部のインベントリプロットデータを組み込んだバイオマスマップの試作も行われており、アマゾナス州の一部の地域のこれまでの炭素蓄積量がオーバーエスティメートであった可能性を示唆するなどの新たな知見が得られつつあるなど科学技術上の成果が出ている。ただし、インベントリプロットデータを広域に高精度で推定するために必要な航空機搭載の LiDAR 撮影許可は、外国研究機関との研究では、大統領の許可が必要で、現時点において撮影できていない。代替案として、UAV（無線ヘリ）による LiDAR 観測や既存 LiDAR データの活用などを検討しており、それらの入手したデータから、広域推定技術開発システムの向上が期待できる。

一方、リモートセンシングデータと地上観測データの統合によるスケールアップや、相手国での社会実装にはまだ道筋に不透明な点もある。REDD-plus などでも求められている測定・報告・検証（MRV）として活用できるシステムとして、本プロジェクトとして提言するための活動についても、今後の進展が期

待される。

4-2. 国際共同研究の実施体制について

これまでの10年以上におよぶ森林総合研究所と国立アマゾン研究所の協力関係や両国の研究代表者の強力なリーダーシップのもとに、国際共同研究の実施体制は適切に構築され機能している。INPA および INPE の両機関長も本プロジェクトへの期待が高く、今後の支援にも積極的であるなど、日本側と相手国側の各機関との間は良好である。特に、INPA は、研究員の増員や研究施設の拡充などで、本プロジェクト実施における支援を行なっている。

また、共同現地調査ならびに日本への相手国研究者6名の招聘（2011年度末時点）、日本ならびにブラジルでの公開セミナー開催（計3回）などを通じて、両国の若手人材育成や本プロジェクトの成果活用への啓蒙も進展しており、両国関係者の意思疎通、各グループのリーダー間のコミュニケーションも比較的円滑である。

しかしながら、相手国研究機関である INPA と INPE の連携関係やデータの共有については、やや不明瞭であった。今回の現地調査における相手国研究機関とのヒアリングにおいて、両機関での連携の強化や役割を明確にしてもらい、プロジェクト実施機関における終了までの道筋に向けた体制を強化してもらう検討をしてもらっている。

今後の地上データとリモートセンシングデータの統合、成果のとりまとめ、社会実装に向けての体制構築の検討などを進めていく際には、INPA と INPE の連携強化が必要である。そのためにも、四半期ごとの頻度で、日本側研究チームがイニシアティブをとり、INPA、INPE とのプロジェクト進捗や今後の方向性を確認する定例会議などを積極的に開催することが期待される。

コンプライアンスについては、プロジェクトの当初計画では想定外であった LiDAR 撮影に大統領許可を要するなどのコンプライアンス遵守により計画が実施できていない点はあるものの、その他の点については、研究計画に支障がでないように、適切に対処している。

4-3. 科学技術の発展と今後の研究について

本プロジェクトの研究内容は、世界からの注目が高いアマゾン熱帯森林地域を対象に、地形とバイオマスとの関係を導入するなど、新たなアロメトリ式を導入しながら、精度の高い炭素量推定法を開発し、継続的な森林インベントリ（CFI）システムとリモートセンシング技術を結び付けて広域にわたる炭素蓄積量の評価を可能にしようとする世界的にも関心が高い内容である。豊富な地上データをもとに REDD-plus の MRV の精度を検証できるような研究はほとんど見られないが、今後さまざまな場面で精度の明確な検証データが必要になる可能性は高い。今後の成果のまとめ方と成果の活用の努力にかかって

いるものの、本プロジェクトの技術開発上の成果が達成され、REDD-plus や二国間カーボン・オフセット・メカニズムなどに活用される道筋が出てきた場合には、科学技術の発展への寄与は非常に大きいと見込まれる。

地上観測とリモートセンシングの統合の統合による観測は、他の地域や他の事象についても応用可能であり、今後の発展性は期待できる。特に、森林特性の評価では、REDD-plus や MRV におけるデファクト化は日本にとって重要な課題であり、日本標準・規格の確立に向けて進めて欲しい。この方向が見えれば、今後の日本における宇宙開発（地球観測）にも大きな影響を与えると期待される。

日本側の若手人材も非常に困難な現地調査を積極的に行い、現地とのコミュニケーションもうまく図るなど、国際的な人材として活躍できる人材が育成されつつある。また、両国ともシニアと若手の研究者の連携がうまく機能している。しかしながら、両国とも研究代表者がプロジェクト終了時点には退任するため、任期付の立場である若手人材がどのようにプロジェクトをフォローアップしていくかという点も検討が必要である。

4-4. 持続的研究活動等への貢献の見込み

ブラジル政府は、プロジェクト開始当初に消極的であった REDD-plus の活用について積極姿勢に転じつつあり、本プロジェクトの成果として期待される MRV システム構築への関心は非常に高く、本プロジェクトの活用に対するブラジル政府の期待が高まりつつある。本プロジェクトの推進と成果の活用に展望が開けてきたと考えられる。実際に、INPE もブラジル政府（環境省）から依頼を受けて、本プロジェクトと平行して、ブラジル国全土の森林の炭素蓄積量を検証するなどのプロジェクトが開始されている。上記の背景を考えると、今後も本プロジェクトの研究が継続的に実施され、本プロジェクトの成果が継続して活用される見込みは高い。

また、森林総合研究所と INPA、東京大学・生産技術研究所と INPE の良好な関係は今後も継続するものと思われるが、現時点で中心的に研究を担っている研究者の退任が近いことから、関係を継続するための何らかの仕組みが必要と思われる。特に、プロジェクト終了後の現地プロットの再計測などを考えると、本プロジェクトで育成されつつある両国の若手人材がどのように継続関係を発展させていくか、両国の研究機関間を含めて、組織レベルで検討する必要がある。更に、今後の本プロジェクトの相手国における研究成果の社会実装のためにも、INPA と INPE の相手国研究機関同士の連携強化は課題である。相手国の両機関の連携を強化に取り組んで頂きたい。

4-5. 今後の研究の課題

- (1) 地上観測データとリモートセンシングデータの統合の方針を早く固め、広域高精度炭素蓄積量分布図を作成し、どのように成果をとりまとめるかを検討して頂きたい。特に、広域レベルで LiDAR

データが使えない可能性も高いため、代替方策で実現できる成果が何かを急ぎ、関係者間で詰めて頂きたい。

- (2) 本プロジェクトで開発される技術や方法を相手国研究機関と共有し、社会実装を進めるにあたって、INPA、INPEの両機関が連携して本プロジェクトを継続できる体制を整備するための方策や活動を実施して頂きたい。具体的には、これまでの方法（地上観測、リモートセンシング観測とも）を手順書としてまとめ、相手国機関と共有できるように進めて欲しい。
- (3) 本プロジェクトでの研究実施機関によるブラジル政府関係機関に対するシンポジウムやワークショップを開催することで、研究成果の活用、普及を図って頂きたい。
- (4) プロジェクト実施上で重要な役割を担う INPE の関与を強化するためにも、日本側研究機関がイニシアティブをとり、日本側、INPA、INPE によるプロジェクト定例会議を開催するなどして、プロジェクト実施状況を関係者で共有して頂きたい。
- (5) 地上観測調査やリモートセンシングで得られた大量のデータを、炭素動態のみならず、生物多様性などさまざまな研究にも使えるような形で、データを整備して頂きたい。
- (6) REDD-plus に関連する他の SATREPS プロジェクトとの情報共有も積極的に図って頂くとともに、プロジェクト終了時には、日本との共同研究で開発された手法が、REDD-plus のデファクト化となるような道筋を提言して頂きたい。

以上

付随的成果			
地球規模での貢献	・国連気候変動枠組条約等における科学技術的知見の提供。 ・REDDなどの温暖化効果ガス排出枠組みへの科学的方法論の提言		
日本および他国への森林政策	・アップスケール技術が我が国および熱帯林を有する他国へ波及する。		
政策への反映	・科学技術的知見に基づいたアマゾン熱帯林保全への持続的管理政策に反映。		
特許出願	・リモセンを活用したアップスケール技術 ・低コスト・汎用型大容量データ処理技術		
レビュー付雑誌への掲載	アマゾンの森林構造と炭素動態の解明について掲載		
人材育成	<table border="1"> <tr> <td>参画ポスドク研究員(あるいは学生)名でレビュー付雑誌への論文掲載</td> <td>ブラジル側研究者と共同でレビュー付雑誌への論文掲載</td> </tr> </table>	参画ポスドク研究員(あるいは学生)名でレビュー付雑誌への論文掲載	ブラジル側研究者と共同でレビュー付雑誌への論文掲載
参画ポスドク研究員(あるいは学生)名でレビュー付雑誌への論文掲載	ブラジル側研究者と共同でレビュー付雑誌への論文掲載		
日本の排出権取引について	・日本の海外REDD事業への活用。		
宇宙技術利用	日本の宇宙観測技術へのフィードバック		

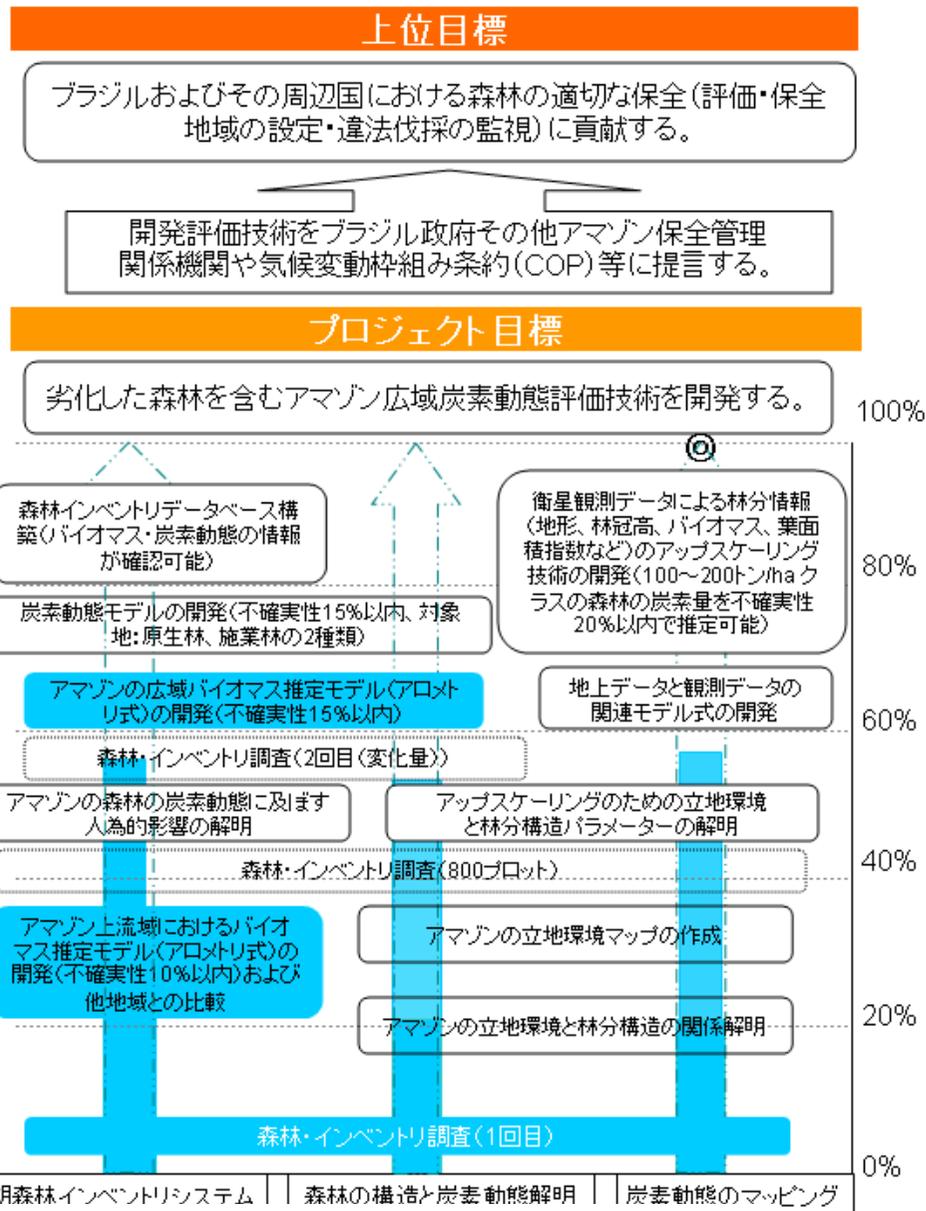


図1 JST 成果目標シートと達成状況 (2012年7月時点)