

IPCC 専門家会議
森林と国別 GHG インベントリーにおけるリモートセンシングの役割
(IPCC Expert Meeting: Role of Remote Sensing in Forest and National GHG Inventories)
出席報告

一般財団法人 リモート・センシング技術センター
春山幸男



1. はじめに

平成 24 年 10 月 23 日～25 日、神奈川県、葉山にある地球環境戦略研究機関 (IGES = Institute for Global Environmental Strategies) において、森林と国別温室効果ガス (GHG) インベントリーにおけるリモートセンシングの役割に関する IPCC 専門家会議 (IPCC Expert Meeting: Role of Remote Sensing in Forest and National GHG Inventories) が開催されました。

筆者は地球観測衛星によるリモートセンシングの専門家として本会議に出席しました。

2. 背景

IPCC 第 4 次報告書 (AR4 = Fourth Assessment Report: IPCC, 2007) で述べられているように、発展途上国における森林減少・劣化に由来する二酸化炭素の排出は人為起源の排出量全体の約 2 割を占めており、それを抑制することが地球規模での温室効果ガス削減のための重要な課題となっています。

また、世界食糧農業機関 (FAO) は、ブラジル、インドネシア、熱帯アフリカにおいて特に森林減少が進行していることを報告しています。

2007 年にインドネシア・バリ島での COP-13 で採択されたバリ行動計画において、「発展途上国の森林減少・劣化に由来する排出の削減 (REDD = Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries)」が採用されました。各国及び国際機関が温室効果ガス (GHG) 削減のために REDD に取り組むことが求められています。

REDD 関連活動には、森林減少・劣化の原因の特定、排出削減や吸収増加につながる行動の特定、IPCC の指針に基づいた排出量の推計、リモートセンシングや地上調査の組合せ等による国別森林モニタリングシステム (NFMS = National Forest Monitoring System) の構築、等を考慮する必要があります。

一方、地球観測に関する国際的な動きとして、地球観測に関する政府間会合 (GEO = Group on Earth

Observation)が2005年に設立され、地球規模の地球観測システム(GEOSS = Global Earth Observation System of Systems)の構築を目指して活動しています。このGEOの活動の中で、REDDに対応するために2008年から「森林炭素観測(GEO-FCT: Forest Carbon Tracking)」計画を進めてきました。

アジア、南アメリカ、アフリカ地域の各国の国別森林モニタリングシステム(NFMS)について、リモートセンシングと地上観測の両面から取り組んでいます。この計画の発展として、地球規模の森林観測構想(GFOI = Global Forest Observation Initiative)が2011年GEO総会で採択されました。

なお、IPCCが実施する国別GHGインベントリーのタスクフォース(TFI)は1999年から日本により活動が行われていますが、GHGの排出量及び吸収量の算出・報告手法に関するガイドラインを策定・発行・普及促進するなどのTFIの実質的な運営はIGESに設置された技術支援ユニット(IPCC-TFI-Technical Support Unit(TSU))が担っています。

今回のIPCC専門家会議は、森林の炭素量やバイオマス量の推定のためにリモートセンシングや地上調査がどのように使われているか、また、国別GHGインベントリーにおけるリモートセンシングの利用の動向について、レビューを行うことを目的としてIPCC-TFI-TSUにより開催されました。

3. 会議の概要

会議は平成24年10月23日(火)～25日(木)の3日間、IGESの会議室で開催されました。

出席者は、オーストラリア、ブラジル、チリ、中国、インドネシア、日本、ケニア、メキシコ、オランダ、ニュージーランド、英国、米国、ジンバブエの各国の専門家、FAO,UNFCCCの国際機関の専門家、及びIPCC-TFI-TSUの関係者を含めて約40名でした。

会議の目的は、国別GHGインベントリー(National GHG Inventories)におけるリモートセンシングデータの利用の現状と動向についてレビューを行うことですが、特にリモートセンシングによる森林のGHG吸収・排出の推定を焦点としました。

会議の1日目と2日目は、各国における森林モニタリングへのリモートセンシングの利用と地上調査等による検証について発表が行われ、また、リモートセンシングに関する新しい手法や開発途上国を対象とした能力開発(Capacity Building)についても発表がありました。

会議の3日目は、ブレイクアウトセッションとして3つの分科会により議論を進め、本会議のまとめを行いました。

4. 第1日目、各専門家の発表の概要

IPCC-TFIの共同議長のThelma Krug女史(ブラジル)及び平石氏(日本)により、議事が進められました。

IGES及び環境省の代表から歓迎の挨拶の後、各国及び国際機関の専門家からの10件の発表がありました。

(1) GFOI Methods and Guidance Document Overview.

Jim Penman (College London/英国)

全球森林観測構想 (GFOI) の中で作業が進められているリモートセンシング及び地上観測を利用した温室効果ガス排出等の推定の方法やガイドライン文書の作成について概要が紹介されました。

(2) GFOI Methods and Guidance in the use of Remote sensing and Ground Observations for Estimates of GHG Emissions and Removals.

Miriam Baltuck (CSIRO/オーストラリア)

1 件目の概要説明に続いて、推定方法とガイダンス文書作成の具体的な内容と作業スケジュールについて説明がありました。2013 年 11 月に予定されている GEO 総会での承認のために、2013 年 2 月にオーストラリアで行われる GFOI シンポジウムにおいて、最終的な議論及び文書の取り纏めが行われるとの説明がありました。

(3) Role of Remote Sensing for GEOSs and IPCC.

春山幸男(RESTEC/日本)

日本の地球観測衛星によるリモートセンシング、特に陸域観測衛星(ALOS)の合成開口レーダ(PALSAR)の観測データを利用した全球の森林と非森林マップの紹介、アジア、ブラジル等の地域を対象とした伐採等による森林減少の監視プロジェクト及び能力開発(Capacity Building)の事例などを説明しました。

(4) JAXA's Earth Observation Satellites and Forest Mapping.

辻政信 (JAXA/日本)

JAXA の地球観測衛星 (GOSAT, TRMM, GCOM, ALOS 等) の概要の説明、ALOS-PALSAR による全球森林マップ及びインドネシアの森林分類などについての詳しい説明がありました。

(5) The role of RS/GIS applications for National Forest Monitoring Systems in the context of REDD+¹

Inge Jonckheere (UN-REDD Team/FAO)

FAO が進めている UN-REDD+プログラムについて詳細な説明がありました。リモートセンシングと WEB/GIS 技術の利用により、UN-REDD+で求められている MRV(Measurement, Reporting, Verification)の活動をブラジルやコンゴ等のアフリカ地域で進めている事例が紹介されました。

(6) Indonesia's National Forest Monitoring System as main System for REDD+ MRV

Ruandha Agung Sugardiman (MOF/インドネシア)

インドネシア森林省が UN-REDD+ MRV に対応して進めている国家森林監視システム (National Forest Monitoring System) の詳しい内容の説明がありました。

広い国土をカバーするために衛星リモートセンシングの利用は必須ですが、現在は光学センサーに

¹ REDD プラス (REDD+ :Reducing emissions from deforestation and forest degradation in developing countries (REDD), and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries) は、「途上国の森林減少と森林劣化に由来する排出削減、森林炭素の保全、持続的森林経営、森林炭素蓄積の強化」の略称で、REDD が排出削減量に応じた経済的なインセンティブを付与することに対して、それに加えて、森林の保持する炭素量を保全したり増加させたりする活動に対しても経済的なインセンティブ (支払い) の対象とすることを意味します。

よる観測データをメインに利用しています。 熱帯地域特有の雲の多い地域なので、将来的には SAR (合成開口レーダ) のように天候の影響が少ない観測データの取得が期待されます。

(7) Remote sensing data-based forest inventories and carbon stock reporting.

Brice Mora(Wageningen Univ./オランダ)

GOFC-GOLD(Global Observation of Forest Cover and Land Dynamics)の活動の紹介がありました。リモートセンシングが REDD+ MRV に取って不可欠な技術であり、各種の観測センサー (光学センサー、レーダ、LiDAR) の森林減少の判定能力を、カナダ、ウガンダ等の事例を含めて詳しく説明されました。

(8) Greenhouse Gas Inventories : The Case of Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF) Mapping in East and Southern Africa.

Erick Khamala (RCMRD/ケニア)

日本の援助資金等を活用して、アフリカ地域地図センター (RCMRD:アフリカ地域の国際機関) が行っているケニア、マラウイ等の LULUCF(Land Use, Land Use Change and Forestry)地図作成の事例 (ALOS/AVNIR-2 の利用事例を含む) 及び GHG インベントリーに対する取り組みについて発表がありました。

(9) Integration of optical and SAR data for land cover classification.

ハシ・バガン(NIES/日本)

光学 (ALOS/AVNIR-2) とレーダ(ALOS-PALSAR)のデータを組み合わせて関東地域の土地被覆変化の解析結果についての発表がありました。

(10) Amazon biomass estimation using X and P band SAR data

Carlos Alberto Pires de Castro Fiho (INPE/ブラジル)

最後に、ブラジルから、JICA のプロジェクトとして実施している「Carbon Dynamics of Amazon Forest Project」についての発表がありました。

広く、そして雲の多いアマゾン地域をカバーするためには合成開口レーダ (SAR) が必要ですが、バイオマスの推定にはXバンドとPバンドのSARを組み合わせて利用することが有効であることが航空機実験の結果等に基づいて詳細に説明されました。

5. 第2日目、各専門家の発表の概要

第1日目に引き続き、第2日目の以下の12件の発表が行われました。

(1) Analysis of the Normalized Differential Vegetation Index(HDVI) for the detection of Forest Degradation Coverage in Mexico.

Meneses Tovar Carman Lourdes (National Forest Commission/メキシコ)

メキシコ森林委員会から、衛星データ (MODIS) により植生指数 (NDVI) を算出し、森林の変化 (減少状況) 及びバイオマスの推定を行った結果の発表がありました。

- (2) Detecting Forest Degradation by using Gramm-Schmidt transformation.
Carlos Humberto Bahamondez (Instituto Forestal Valdivia/ チリ)
LANDSAT データによる、チリの森林減少の算定方式について説明がありました。
- (3) Forest Degradation: the DEGRAD Project at INPE.
Thelma Krug and Dalton Valeriano (INPE/ ブラジル)
衛星データを利用したブラジルの森林減少監視プロジェクト (DEGRAD) により、違法伐採等による森林減少が近年少なくなってきたことについて報告がありました。
- (4) Use of airborne and satellite LiDAR for estimating forest carbon stock and its changes
平田泰雅 (FFPRI/日本)
LiDAR 衛星 (ICESat/GLAS) 及び航空機 LiDAR の観測による森林炭素量の推定の事例及びカンボジアやマレーシア等での森林地上調査による検証事例が紹介されました。
- (5) Use of SPOT-5 satellite multispectral imagery and LiDAR data to monitor forest stocks and stock change in New Zealand.
Deborah Burgess (MOE/ニュージーランド)
ニュージーランド環境省による衛星 (SPOT-5) による森林図の作成と炭素量の推定、及び地上調査データと航空機 LiDAR データによる検証について紹介されました。
- (6) Using Remote Sensing Measurements Constrain Terrestrial Biosphere Model Predictions.
Paul Moorcroft (Harvard Univ./米国)
陸域生態系の現状把握と将来予測においてはより正確な衛星観測データが必要であることが、陸域生態系モデルのシミュレーション結果等により説明されました。
- (7) Obtaining reliable fine-scale estimates of biomass using ground-based methods.
John Raison (CSRIO/オーストラリア)
正確な森林炭素量の推定には個別の地上調査が必要であることが説明されました。
- (8) Estimating tropical forest biomass with multisource remote sensing data: predictions between regions.
Mark Culter (Dundee Univ./ 英国).
ブラジル、タイ、マレーシアを対象地域として、LANDSAT/TM データ及び JERS-1 SAR データを使って、森林バイオマスの推定の比較検討を行い、地域により推定精度が変わることが紹介されました。
- (9) Satellite-based carbon stock measurements in the tropics.
Pieter S.A.Beck (Wood Hole Research Center/米国)
アフリカの熱帯地域の広大な森林のバイオマス推計には MODIS のような広域衛星観測が有効であること、そして LiDAR は今後バイオマス推定に対して重要な観測センサーと期待されることが説明さ

れました。

(10) Global and Regional CO₂ Flux Estimation Using Atmospheric CO₂ Data Obtained by GOSAT, GOSAT-2, and Other Future Satellites

松永恒雄 (NIES/日本)

GOSAT による大気中の GHG の観測結果、全球マップ及び地上観測との検証、及び GOSAT-2 などの将来計画が詳細に説明されました。

今回の会議の中では、地表の森林の観測ではない唯一の発表でした。

(11) BIOMASS DYNAMICS IN MOZAMBIKAN WOODLAND.

Casey Ryan (Univ. Edinburgh/ 英国)

英国からのビデオ会議システムによる発表でした。ALOS-PALSAR によりモザンビークなどの南アフリカ地域の森林観測及びバイオマス推定結果についての発表でした。バイオマス量が比較的低い (100t/h 以下) 地域では、PALSAR が有効であることが説明されました。

(12) High spatial resolution remote sensing improves forest carbon stock estimation in dry forests.

Amon Murwira (Univ. Zimbabwe/ジンバブエ)

サバンナ (Dry Forest) は世界の植生全体の 30%、アフリカの植生の 50%を占めています。その広大な領域の森林バイオマス量は 100t/h 以下です。ジンバブエの小領域 (テストサイト) における衛星観測 (Geoeye-1, WorldView-2) からのバイオマス量を推定した結果が報告されました。今後アフリカの広い地域等での適用が課題です。

5. 第3日目、3つの分科会での議論とまとめ

3日目は、出席者を3つの分科会に分けて、それぞれ以下のテーマによる議論を進め、本会議のまとめとして各分科会から報告がありました。

各分科会の報告は以下の通りです。

① リモートセンシングによるバイオマスの推定

国別森林インベントリー (NFI) は、伝統的に長期間の地上調査によりデータが取得されてきました。リモートセンシングは、観測頻度が多いことから地上調査を補うものとして有効ですが、地上調査による検証が必要です。

現在、森林バイオマスの推計のためのリモートセンシングデータとして、主に LANDSAT や SPOT などの光学センサーデータが使われていますが、分解能が不十分、雲の影響により観測が出来ない、等の問題があります。このことを解決するために、SAR や LiDAR データの利用が有効ですが、今のところ研究段階です。

② 国別 GHG インベントリーを向上するためのリモートセンシングと地上観測の組み合わせ

GHG の排出および削減を推定するためには、森林の面積と種類を計測する必要があります。森林の面積の計測にはリモートセンシングが有効ですが、森林の種類の把握には地上観測が必要です。

REDD+の活動では国別の森林の劣化や減少のデータが必要ですが、リモートセンシングデータでは明確

な森林と非森林の定義が定まっていません。

従来の光学センサーに加えて、SAR や LiDAR などの新しいセンサーが利用され始めましたが、それらのデータを利用した森林バイオマスの推定は研究段階にあります。

また、GOSAT の様に宇宙から直接 GHG を観測することも出来るようになりましたが、国別 GHG インベントリーへの利用は今後の研究に期待されます。

③ リモートセンシングによる森林減少推定の検証

森林減少の推定のために、森林の密度、木の高さ、森林の種類、森林火災、森林の土壌、森林の農地化などの多くの指標を考慮する必要があります。これらを考慮して森林炭素量を推計するために利用できるリモートセンシングデータには、センサーの種類（分解能、光学又はレーダ）、実用段階か否か、及びコストが高いか否か、などにより評価される必要があります。

地上観測データとの比較及び推定モデルによる検証によりリモートセンシングデータの有効性を確認します。

リモートセンシングのヒストリーデータが短いこと、及び今後の継続的な観測に保証がないこと、また、推定結果の検証には対象地域（開発途上国）の能力開発が必要なこと、などが今後の課題です。

6. 所感

衛星リモートセンシングの専門家の立場で本専門家会議に出席しましたが、国別 GHG インベントリーと森林分野への衛星データの利用の実態及び今後の課題等について、各国からの専門家の発表や討論を聞くことができたことは衛星リモートセンシングの今後の活動にとって有益な会議でした。

リモートセンシングによる森林の観測では、以下の課題があると思いました。

- リモートセンシングデータによる森林の分類において、森林と森林でない領域の定義を国毎の定義と合わせて明確にすること。
- リモートセンシングデータによる森林炭素量、バイオマスの推定に際して、地上観測データを用いた検証が重要であること。
- LANDSAT, SPOT, MODIS 等の光学センサーによる国別森林インベントリー (NFI) の推計は多くの事例がありますが、SAR や LiDAR によるリモートセンシングデータの利用は研究段階であり、今後多くの事例を積み重ねる必要があること。
- 南米、アジア、アフリカ地域では、現地機関と協力してリモートセンシングの利用に関する能力開発プロジェクトを進めていくことが必要であること。
- 継続した衛星計画により、長期間で継続したリモートセンシングデータの確保が必要であること。

以上