

# EORC

2013年度  
地球観測研究センター一年報  
Annual Report 2013 No.17

地球観測研究センター

Earth Observation Research Center (EORC)

---

## 2013 年度 地球観測研究センター 年報 目次

はじめに	中村 健治…… v
2013 年 EORC 活動の概要	福田 徹…… vii
1. ALOS 利用研究	
1.1 ALOS 利用研究プロジェクトの成果概要（平成 25 年度版）	島田 政信…… 3
1.2 ALOS PRISM 全球 DSM 整備の推進とデータ利用の高度化に関する研究	田殿 武雄…… 6
1.3 ALOS/ALOS-2 による森林伐採・劣化・炭素量観測手法の開発	本岡 毅…… 9
1.4 L-band SAR を用いたバイオマス推定	渡邊 学…… 11
1.5 PALSAR・PALSAR-2 ポラリメトリ解析および航空機 SAR 実験	大木 真人…… 13
1.6 Modeling aboveground tropical forest carbon stock with airborne LiDAR	Rajesh Bahadur Thapa…… 15
2. GOSAT 利用研究	
2.1 GOSAT 利用研究プロジェクトの成果概要	川上 修司…… 19
2.2 GOSAT TANSO プロダクトの校正評価	塩見 慶…… 21
2.3 TANSO-FTS Band1 アナログ信号処理部における非線形要因	須藤 洋志…… 25
3. TRMM/GPM/EarthCARE 利用研究	
3.1 TRMM/GPM 利用研究の成果概要	沖 理子…… 31
3.2 GPM/DPR-L2 及び GSMaP アルゴリズムの開発、EarthCARE データ シミュレータの開発	久保田拓志…… 34
3.3 GPM/DPR L1B アルゴリズム開発、TRMM/PR L1 アルゴリズムの 維持改訂	正木 岳志…… 36
3.4 地上検証用 Ka 帯レーダを用いた DPR 検証実験	金子 有紀…… 38
3.5 全球降水マップアルゴリズムの開発、GCOM-W/AMSR2 高次 アルゴリズムの開発、及び、データ利用促進	可知美佐子…… 40
3.6 EarthCARE 利用研究の成果概要	沖 理子…… 44
3.7 EarthCARE 高次アルゴリズムの開発	平形 麻紀…… 46
3.8 EarthCARE 地上検証手法の検討	野牧 知之…… 48
3.9 EarthCARE/MSI を主たる目的としたアルゴリズムの開発	福田 悟…… 51

## 4. GCOM 利用研究

4.1 GCOM 利用研究の成果概要	今岡 啓治…	55
4.2 GCOM-W1/AMSR2 L1B 評価の実施	奥山 新…	59
4.3 マイクロ波放射計から観測される輝度温度を用いた海氷厚推の推定 —海氷のマイクロ波帯における誘電率—	直木 和弘…	63
4.4 GCOM-C1 アルゴリズム開発と利用研究	村上 浩…	66
4.5 熱赤外域輝度温度データを用いた雪氷面分類手法の開発・検証	堀 雅裕…	70
4.6 GCOM-W1/AMSR2 L1R プロダクトの改良	前田 崇…	74
4.7 GCOM-C 海洋アルゴリズムの評価と衛星データの水産資源管理への応用	山口 寿史…	79
4.8 GCOM-C 雪氷分野高次プロダクトの研究開発	谷川 朋範…	81
4.9 GCOM-C1/SGLI 陸圏プロダクトに関する研究	小野 祐作…	85

## 5. 分野横断型利用研究

5.1 横軸・水循環研究グループ活動成果	可知美佐子・沖 大幹…	89
5.2 横軸研究・数値気候モデル研究グループ活動成果	佐藤 正樹・久保田拓志…	91
5.3 横軸生態系研究グループ	奈佐原顕郎…	93

## 6. センサ研究

6.1 センサ研究の概要	木村 俊義…	99
6.2 地球観測用小型赤外カメラ (CIRC) の開発	片山 晴善・内藤 聖貴・原田 昌朋・中村 良子 加藤 恵理・酒井 理人・中島 康裕…	100
6.3 InAs/GaSb Type II 超格子の研究	片山 晴善・室岡 純平・酒井 理人・木股 雅章…	102
6.4 アクティブな光距離計測を可能とする宇宙用高出力パルスレーザ送信機	今井 正・鈴木 桂子・境澤 大亮・室岡 純平…	104
6.5 植生ライダーの研究	今井 正・鈴木 桂子・中島 康裕・境澤 大亮・室岡 純平・浅井 和弘…	107
6.6 次世代 L バンド SAR の研究	植松 明久・中村 良子・将来 L バンド協力ミッション検討チーム…	110
6.7 きぼう曝露部搭載用イメージング FTS の検討	今井 正・須藤 洋志・室岡 純平…	112
6.8 サブミリ波放射計の研究	植松 明久・原田 昌朋・矢島由貴江…	114
6.9 静止海色観測ミッションの研究	片山 晴善・加藤 恵理・酒井 理人・村上 浩・山口 寿史…	116

6.10 低高度衛星搭載ドップラライダーの研究	境澤 大亮…	118
6.11 光学センサの校正・性能評価試験技術の研究	佐久間史洋・片山 晴善・酒井 理人・中島 康裕…	121
6.12 海面高度計ミッションの研究	植松 明久・中村 良子・中島 康裕・矢島由貴江…	123
7. 将来の利用推進ミッションの研究（共通）		
将来の利用推進ミッションの研究（共通）地球電磁気観測ミッションのプロジェクト化準備作業		
地球電磁環境モニター衛星群：ELMOS Constellation		
ー小型科学衛星バスを利用した小型地球観測衛星シリーズ化の提案ー	児玉 哲哉…	127
地球観測衛星データの農業分野への利用	大吉 慶…	129
付録		
2012 年 EORC 研究成果発表 ……………		133
関連略語集 ……………		144



## はじめに

技術参与 中村健治

今年度のハイライトは年度末（日本時間 2 月 28 日早朝）に種子島宇宙センターから打ち上げられた全球降水観測計画（GPM）主衛星の打ち上げであろう。GPM は日米共同の計画として 1997 年 11 月に種子島宇宙センターから打ち上げられた熱帯降雨観測衛星（TRMM）による降雨観測を、日米主導で全球に広げる計画である。1 機の衛星では観測頻度が少なすぎるため、マイクロ波放射計を積んだ他の衛星との連携により 3 時間毎の全球の降水分布を測定する。開発プロジェクト側のチェックアウトに数か月かかるため EORC へはまだ移管はされていないが、EORC でも長くその準備を行ってきた。TRMM は現在も稼働中であり、均質なデータを 16 年以上にわたり提供しており、これにより熱帯亜熱帯の降水の気候的特徴の理解が大きく進んだ。GPM ではこのような観測を全球に広げるものであり、実利用とともに科学的成果が大きく期待される。報道発表では日本の東側の低気圧に伴う降水分布の観測データが使われたが、温帯低気圧に伴う降水構造の実態は TRMM では一部しか観測できなかった。GPM 主衛星には JAXA と（独）情報通信研究機構（NICT）が開発した二周波（Ku 帯と Ka 帯）降水レーダが搭載されている。二つの周波数による初期画像は降水レーダの新しい能力を示していた。

EORC は JAXA の地球観測の活動の中心である。これまで多くの地球観測衛星を運用し、また現在も GOSAT、GCOM-W1、TRMM の降雨レーダ（PR）を運用している。米国の Aqua 搭載の AMSR-E はアンテナ系の問題から走査はゆっくりであるが、観測を継続している。既存の衛星の運用、データ解析等は当然ながら行われており、新しい結果も次々に出されているが、新しい衛星の打ち上げはやはり胸躍るものである。筆者は GPM に長く関わっていたこともあり、これからの成果に大に期待している。新しい衛星としてはこの 5 月に ALOS-2 の打ち上げが控えている。ESA との協力である Earth-CARE 計画も進展している。また GOSAT-2 の準備も始まっている。GCOM-W1 はより高性能化された AMSR2 を搭載し、北極海の海水分布などについてすでに結果を出している。AMSR、AMSR-E の直接の後継であり、手法は手馴れているとはいえ、性能向上による成果は大きく、またマイクロ波放射計による継続観測の意義も大きい。GOSAT は多くの成果を挙げて所期の運用期間を終えたが、これまでの実績を踏まえ当然ながら継続運用となっている。衛星搭載の FTIR というチャレンジングなセンサ等による観測であり、校正に多くの努力が積み上がった結果である。環境研、環境省との役割分担も明確かつ順調である。GOSAT のデータは校正を高精度化することによりまだまだ宝が埋まっていると思われる。これらの衛星を見るにつけても、衛星搭載センサの維持・運用と校正は大きくかつ大切な業務であることを実感させられる。校正後のデータは幅広い利用者に使われ、様々な成果が出されるが、高精度かつ長期にわたる信頼性はデータの根幹を成すものである。業務としては地味であるかもしれないが、EORC のミッションの大きな柱である。我が国の技術の特徴として丁寧さ、高精度性、堅牢性、などが良く言われるが近年それが無くなりつつあるのではないかと、ともいわれるが、EORC は良き伝統を守り発展させる義務があろう。

衛星データの利用に関してはやっと定常化してきた「横軸プロジェクト」も重要である。衛星データの幅広い利用は EORC だけでは到底できず、外部の利用者を募らなければならない。各衛星についての研究公募は一つの柱であるが、横軸プロジェクトは今後もっと発展させる必要があると思われる。このためには「横軸プロジェクト」としての研究公募なども検討材料となろう。

新しいセンサの基礎開発も進んでおり一部は小型衛星として実現が目前である。基礎開発は幅広いシーズの探索の意味からも重要であることは論を待たないが、JAXA は衛星プロジェクト自体の比重が非常に大きいため基礎開発は限られる。このためセンサの基礎開発もこれも EORC だけでできるのではなく、外部との協力が不可欠である。

政府の宇宙開発の方針から、衛星による地球観測は厳しい状態が続いている。衛星地球観測の重要性は広くコミュニティから認識されているとはいえ、これまではそれが表に現れることは少なかった。沢山の学協会の応援があり、若干は社会の理解が進んだのではないかとと思われるが、これまで以上の努力が必要である。衛星地球観測の科学としての意義、社会インフラとしての意義、民間利用としての意義などをさらに検討し確認していく必要がある。そして限られた要員、予算の中で outreach 的な業務の効率化も大いに検討していく必要がある。具体的には GOSAT2 や GCOM-C 以降の地球観測衛星計画が不透明である。良いミッションを提案するとともに計画決定の透明性にも留意していく必要がある。

## 2013 年度 EORC 活動の概要

福田 徹

2013 年 2 月には、DPR を搭載した GPM コア衛星が打ち上げられ、年度は越えてしまったものの ALOS-2 も打ち上げられる。一方、GCOM-W は順調に観測を継続しており、GOSAT は定常運用期間を終了し後期利用運用として観測を継続している。また、TRMM/PR は 16 年を超えて長期観測を続けている。開発中の GCOM-C、EarthCARE は予算に目処が立ち、GOSAT 後継機計画も立ち上がった。このように衛星プロジェクトという観点では、GEOSS 10 年実施計画と地球観測の推進戦略を受けて宇宙開発委員会地球観測特別部会で検討、設定した地球観測衛星計画が 10 年を経てようやく実現されようとしている。

これら観測衛星群の利用を支え、発展させることはまさに EORC の業務である。本年報においても打ち上げ前のアルゴリズムとソフトウェアの開発、そして校正検証の準備と実施、アルゴリズムの改訂といった EORC の基本的な活動の成果を紹介している。センサから得られるデータが信用できないものであったら、そもそも利用の議論すら始められない。センサや衛星のハードウェアの特性まで遡って地球観測データの品質保証を行うことは、EORC の存在意義であると同時に地球観測衛星とセンサを我が国が開発・運用し保持する意義をも与える活動であると考えている。

データの品質保証は単独のセンサのみを対象とするものではない。異なる世代のセンサのデータを繋げ、一貫した長期データセットを作ることも重要である。長期継続観測は気候変動研究に不可欠であるとともに、農業や森林、海洋などの利用分野でも過去からの変化を理解する意義は大きい。とは言いながら、我が国の地球観測衛星／センサの歴史では、2 機同時運用の技術試験だった MOS-1 と MOS-1b の例を除いて、これまで先行機と後継機が同時に観測したことは無かった。一度観測が停止した AMSR-E を低速回転モードで観測を再開させ、クロスキャリブレーションを実現したことは画期的な成果であると考えている。AMSR-E と AMSR2 のデータを繋げることは同シリーズを世界標準にするための大きな武器であり、実際、マイクロ波放射計が観測した海氷面積のデータは IPCC AR5 でも地球温暖化を示すデータとして使われている。次なるチャレンジは、TRMM/PR と GPM/DPR のデータを繋げることである。

他のプロジェクトも含め EORC は 2013 年度の業務目標を達成したと考えている。EORC の全スタッフと様々な協力をいただいた外部の大学、研究機関、事業者の方々に深く感謝したい。

最後に、本年度をもって EORC を去るセンター長として、地球観測衛星計画の現状について記しておきたい。地球観測衛星の将来計画についてはコミュニティの中で様々な議論が活発に続いている。しかしながら、政策レベルでの議論にはいまだ至っていないと言わざるを得ない。最大のリスク要因は、我が国で初めて長期観測が現実のものとして見えてきているこの時に、その後継機が長期計画に位置付けられていないということである。GOSAT-2 以降の地球観測衛星計画は現時点で予算上具体化していない。このような状況であるからこそ、地球観測が社会課題の解決に真に役立つことを示し発信していく必要がある。衛星による地球観測が社会課題のソリューションの重要かつ必須の要素であることを示し、必要な手法を外部との協働のもとで創り出すことこそ EORC の責務であり目指す方向性だと考えている。

# 1. ALOS利用研究



## 1.1 ALOS 利用研究プロジェクトの成果概要

島田 政信

ALOS-2 の打ち上げに関連した解析研究業務を中心として、ALOS Gr の 2013 年度の年初目標を以下の様に設定した。(基本的には 2012 年度の目標と同等)

- ① プロジェクトと協力し、ALOS アーカイブデータ及び Pi-SAR 等の航空機データを活用して、ALOS-2 及び広域光学の利用手法の研究開発を行う。
- ② 高次成果品（オルソ画像、DSM）を定常生産し、その精度評価を継続する。
- ③ 災害時に得られるデータの解析を行い、有意義な情報を抽出し、適切な手段で提供する。
- ④ KC を推進するとともに、森林変化抽出を実施し、関連情報を GEOSS 等に提供する。
- ⑤ REDD+ に関してクレジット取得に関するメカニズムを研究する。
- ⑥ 災害、生態系（環境）、食料安全保障に関係した研究として、土地利用分類、森林伐採分類と時間変化、炭素量変化抽出などを実施する。得られた成果を関係機関に提供する。
- ⑦ その他、日独将来 SAR 開発検討である。

以下で成果を概括する。

- 1) ALOS-2 解析研究計画の確認会が 2014 年 1 月 16 日に本部内で実施され、校正検証、高次成果品(9 種類)の開発が順調に進んだことが認められた。ソフトウェアの開発は Pi-SAR-L2, PALSAR-2 擬似データ、PALSAR データを用いてすすめている。Pi-SAR-L2 は Pi-SAR-L2 が 2012 年 4 月に第一期の完成を迎え、同年 4 月中旬より、機器の校正・検証、災害用観測、ALOS-2 用シミュレーションフライト、NASA との共同研究フライト(2012/9)等に活用された。2011 年より開始したインドネシア政府との共同研究に Pi-SAR-L2 が活用され、2012 年 8 月 5 日～8 日にインドネシアで、森林観測、災害観測、船舶監視、地図作成、農業監視に活用する為の航空機キャンペーンと現地データ取得が実施された。合わせて、2012 年 11 月末には、ジャカルタにおいて Pi-SAR-L2 のトレーニングを開催した。また、ALOS-2 用の RA を(RA-4)を 2012 年 7 月に発出し、483 件の研究提案を受け、最終的に 387 件が選考されることとなった。また、RA は毎年一回実施されることとなった。
- 2) PRISM DSM に対するニーズを整理し、全球 PRISM DSM を事業者と共同で作成配布することとして利用本部で調整された。
- 3) 2013 年の災害観測として、山口県集中豪雨、伊豆大島集中豪雨、西之島新島の出現が挙げられる。Pi-SAR-L2, CSK 等を投入して被害の監視に活用した。特に、伊豆大島集中豪雨や、西之島新島の拡大経緯の監視は、有効に実施できた(図 1)。これらは、ALOS-2 の災害応用への事前応用例として取り上げることができる。
- 4) 全球森林・非森林マップの高精度化と検証を実施した。まず、後方散乱係数の時間変化を抽出し、全球的に年々減少すること、送信電力は変化しないこと、減少の割合は 99%の信頼範囲よりも大きいことが明らかになった。次に、場所毎に、後方散乱係数の閾値を最適化し、90%以上の精度を有する森林・非森林マップを作成出来た。又、得られたデータは、RSE(Remote Sensing Environment)で Accept された。また、2014 年 1 月 16 日に 50m に分解能を落とした森林・非森林データを公開した(図 2)。
- 5) REDD+ クレジット取得に関する研究については、PALSAR による森林監視手法の検証と、精度評価が重要であり、トレーニングコースを開催した。又、公開可能なソフトウェア(森林分類、森林減少)を開発した。又上記公開した 50m データを元にして分類可能に設定してある。

- 6) 本年度は、インドネシアとの Pi-SAR-L2 を用いた共同研究の最終年度であり、ACRS で Pi-SAR-L2 セッションを開催、2013 年 3 月 19 日に最終成果報告会を Indonesia と共同で実施した。
- 7) PI-プログラム：ALOS-2 と Pi-SAR-L2 の公募研究プログラムをすすめている。前者は、最初の PI-会議を 2013 年 9 月 19、20 日筑波エポカルで開催した。参加人数は 200 人であり、多くの参加を得た。PI-Supersite の設置が合意された。Pi-SAR-L2 は PI 募集から実施し、30 名を得た。研究範囲は、SAR 理論、災害、森林、海洋等多岐に及ぶ。2014 年 2 月 12 日に PI 会議を開催した。
- 8) 日独共同 SAR 開発：2020 年打ち上げを目指して、将来型 L-band SAR の開発研究を実施している。2013/6/25、10/29、2014/2/17 の 3 回開催して、新規システムの地球環境監視にとって重要なパラメータの収集と、問題点を明確化した。2014 年 6 月の最終会合で、両者による報告書をまとめる予定。その一環として、Pi-SAR-L2/UAVSAR の共同運行（バイスタティック飛行）を計画したが、米政府の予算執行一時停止措置により、実験は実施できなかった。

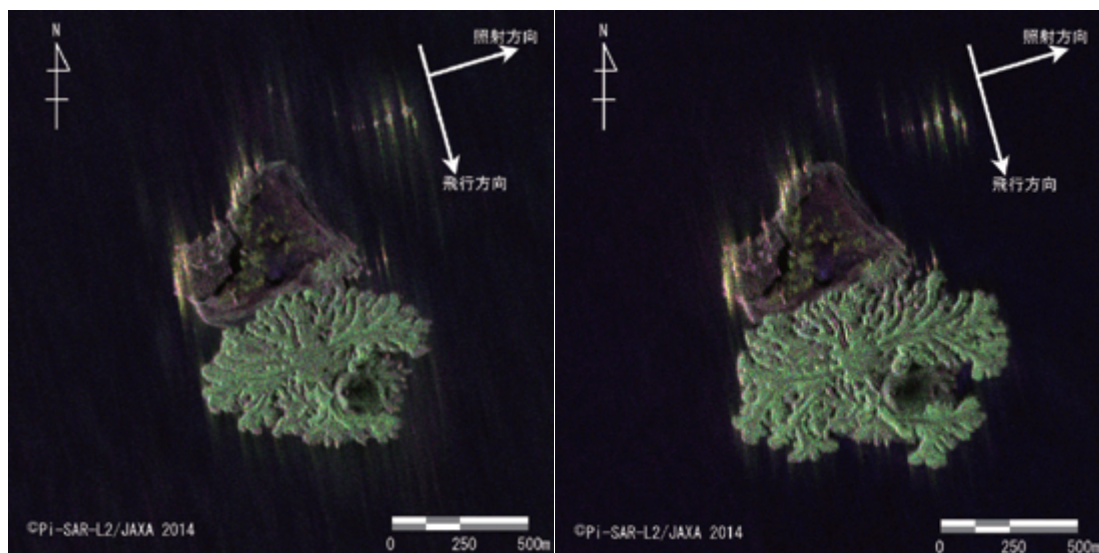


図 1 Pi-SAR-L2 による西之島発達状況（左：2014 年 1 月 15 日、右 2014 年 2 月 5 日）

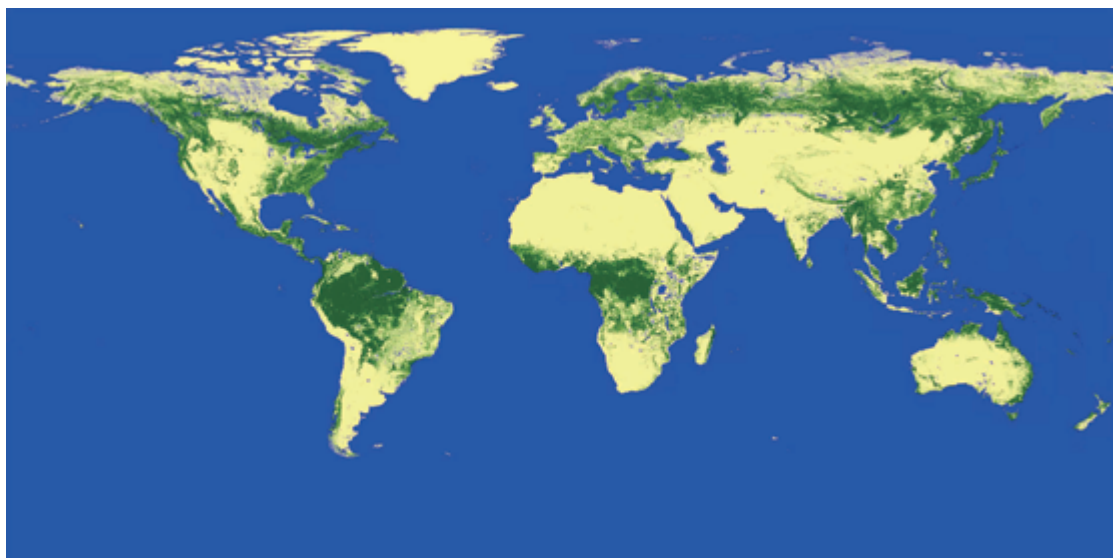


図 2 再校正された FNF 成果物（精度は 90%を超える）

## 査読論文

1. Richard Lucas, Lisa Rebelo, Lola Fatoyinbo, Ake Rosenqvist, Takuyah Itoh, Masanobu Shimada, Marc Simard, Pedro Souza-Filho, Nathan Thomas, Carl Trettin, Arnon Accad, Joao Carreiras, "Contribution of L-band SAR to Systematic Global Mangrove Monitoring", Marine and Freshwater Research 01/2014
2. Masanobu Shimada, Manabu Watanabe, Noriyuki Kawano, Masato Ohki, Takeshi Motooka, and Yutaka Wada, "Detecting Mountainous Landslides by SAR polarimetry: A Comparative Study Using Pi-SAR-L2 and X band SARs", Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan, 2014, 12, No.ists29, pp. Pn9-Pn15.
3. Youhei Kinoshita, Masanobu Shimada, Masato Furuya, "InSAR observation and numerical modeling of the water vapor signal during a heavy rain: A case study of the 2008 Seino event, central Japan", GRL, 2013, DOI: 10.1002/grl.50891.
4. Rajesh Bahadur Thapa, Masanobu Shimada, Manabu Watanabe, and Takeshi Motohka, "The tropical forest in south east Asia: Monitoring and scenario modeling using synthetic aperture radar data", Applied Geography 41 (2013) 168-178.
5. Si-Wei Chen, M Ohki, M. Shimada, and M. Sato, "Deorientation Effect Investigation for Model-Based Decomposition Over Oriented Built-Up Areas", IEEE, Geophysical Remote Sensing letter, Vol 10, issue 2, 273-277, March 2013.
6. Yoshio Awaya, Tomoaki Takahashi, Yoshiyuki Kiyono, Hideki Saito, Masanobu Shimada, Tamotsu Sato, Jumpei Toriyama, Yukako Monda, I Nengah Surati Jaya, M Buce Saleh, Suwido H. Limin, Agung R Susanto, and Feteria Darma, "Monitoring of peat swamp forest using PALSAR data – A trial of double bounce correction -, Journal of forest planning 18, 117-126 (2013), Japan Society of Forest Planning.

## 非査読論文（広報用）

7. 島田政信, "ALOS-2/PALSAR-2 による災害観測について", 光学 43 巻 2 号 (2014), 59-65.
8. 島田政信, 渡邊学, 大木真人, 本岡毅, 航空機搭載合成開口レーダ (Pi-SAR-L2) による伊豆大島の台風 26 号被害観測結果について, "Observation of the Izu-Ohshima landslide event attacked by Typhoon No. 26 using the Pi-SAR-L2", 写真測量学会, Vol. 53, No. 1, 2014.
9. 島田政信, 全球森林減少に関する宇宙からの観測について (合成開口レーダによる観測), 会誌 ACADEMIA No. 143, pp38-pp.48, 2013.
10. Masanobu Shimada, "PALSAR CALVAL and Application to the Earth Environmental Monitoring (PALSAR 校正検証と地球環境監視への応用)", Proc. of the Japan Aerospace society 2013, 61-8, 267-272, 日本宇宙航空学会誌 2013, 61-8, pp267-272.

## 1.2 ALOS PRISM 全球 DSM 整備の推進とデータ利用の高度化に関する研究

田殿 武雄

### 1. はじめに

2006 年から 2011 年までに観測された ALOS/PRISM のうち、比較的雲量の少ない約 300 万シーンのアーカイブデータと、これまで検討してきた高次処理技術を活用し、世界最高精度（解像度 5m, 高さ精度 5m）の数値地表モデル（Digital Surface Model, DSM）/ 正射投影（オルソ補正）画像（ORI）の全球データセットを整備する（三年度計画）。本データセットを基盤情報として「宇宙基本計画（H25 年 1 月 25 日）」で示された重点課題のうち「産業振興」、「安全保障・防災」に貢献し、衛星データの「利用拡大」を図る。このために必要となるデータ処理の高度化、利用手法やアルゴリズム開発、アプリケーション開発に関する研究開発を実施することを目的とする。

### 2. PRISM 全球 DSM/ORI データセットの整備のための技術検討

図 1 は PRISM アーカイブデータのうち、シーン内の雲量 30% 以下のステレオペア画像の取得状況を示したものである。雲量 30% を許容すれば、全球陸域がほぼ網羅することができ、多いところでは 20 ペア程度のデータが利用可能であることが分かる。

EORC ではこれまで校正検証の一環として PRISM DSM/ORI 処理ソフトウェア（DOGS-AP）を RESTEC と共同で開発し、年間 1,200 シーンほど作成した。この中で、DSM に発生するジッタノイズが課題であったが、軌道上技術評価を目的に開発された高周波姿勢決定値（HAD）が有効であることが分かった。図 2 は既存の高精度姿勢決定値（PAD）と HAD を用いて作成した DSM の比較であるが、PAD 処理で衛星進行方向に発生した周期的なノイズが HAD 処理では概ね除去できていることが分かる。

さらに、全球データセットの整備のために DSM 処理の自動化に関する検討を行った。自動化に際し課題の一つが雲や水域のマスク処理である。この解決には既存数値標高モデル（DEM）を参照しつつ、画像マッチング時の相関係数を目安として自動化できる目処を得た。大量処理の事前検討として、地表面の特徴が異なる四地域（カンボジア、セネガル、ネパール、スリランカ）を対象に自動化ソフトウェアの検証を行った。図 3 はスリランカにおける DSM 自動処理結果（左）と高さの差画像（右）で、表 1 は差の統計値をまとめたものである。ここでは、参照用データとして SRTM Ver.2 を使用した。

上記を反映したシステム開発とデータセット整備を民間と連携しつつ進めている。

### 3. 今後の予定

今後、ニーズのある地域からデータセット作成を進め、平成 27 年度中には全球がそろそろ予定である。5m 解像度の DSM は商用販売されるが、低解像度版 DSM は無償で公開し、広く一般への利用を推進する予定であり、引き続き検討を進める。



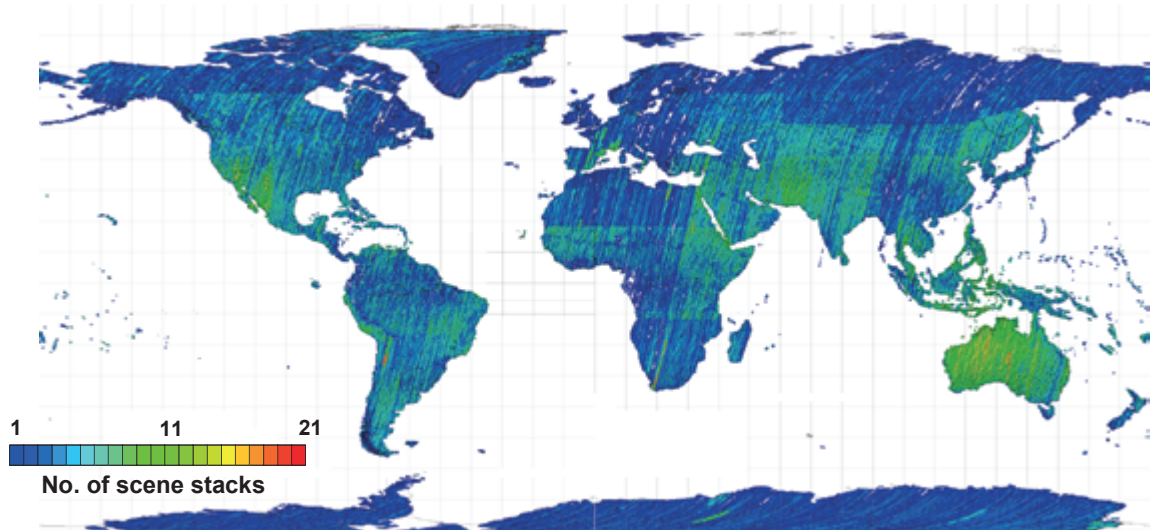


図 1. PRISM ステレオペア画像のアーカイブ状況（雲量 30% 以下、合計約 102 万ペア）

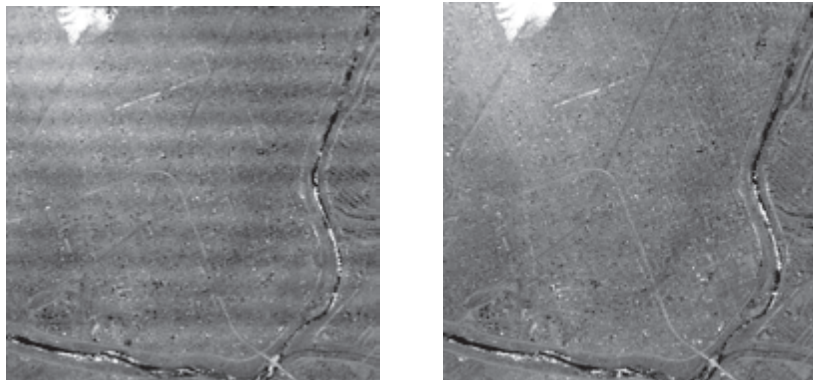


図 2. PRISM DSM の比較（左：高精度姿勢決定値、右：高周波姿勢決定値を使用）

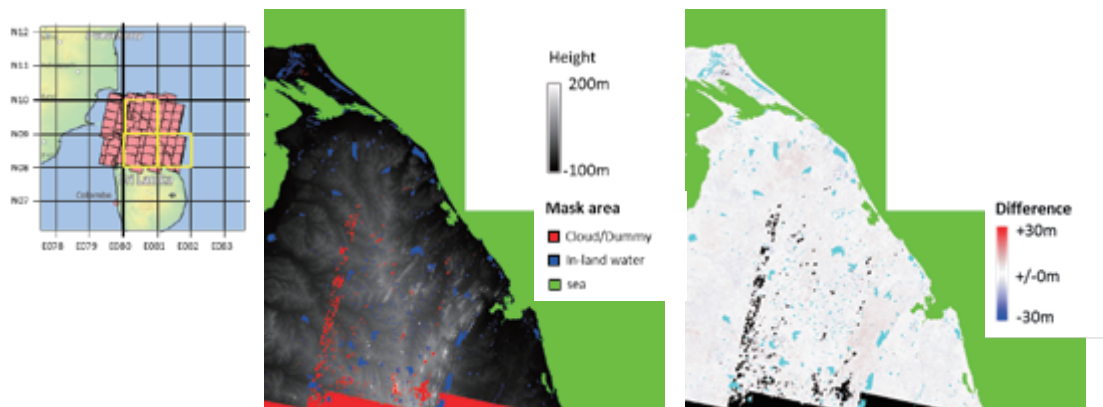


図 3. スリランカ北部における自動化処理の精度検証（左：規格化 DSM、右：SRTM との差画像）

表 1. スリランカ北部における自動化処理 DSM の精度検証結果（SRTM との比較）

Tile	No of samples	Ave [m]	STDEV [m]	RMSE [m]	Max [m]	Min [m]
N008E080	128187825	0.42	3.58	3.61	586	-243
N008E081	35855387	-0.16	2.9	2.9	244	-124
N009E080	58585505	0.09	2.99	2.99	221	-183

### 1.3 ALOS/ALOS-2 による森林伐採・劣化・炭素量観測手法の開発

本岡 毅

#### 1. 背景と目的

森林の伐採や劣化は、炭素循環や生物多様性に大きな影響を与える環境変化のひとつであり、その時空間的に詳細な情報は、気候や生態系に関する研究や、REDD+（Reducing Emission from Deforestation and Degradation, plus）などの森林管理や生物多様性保全に関する国際的取組みに必要である。森林伐採は雲の多い熱帯域で多発しているため、雲を透過した観測が可能な合成開口レーダによる観測手法の構築が強く期待されている。

合成開口レーダは、マイクロ波の振幅（後方散乱係数）と位相を偏波ごとに測定するが、これまでの森林変化観測手法に関する研究の多くは、後方散乱係数を用いている。一方、位相情報、例えば干渉 SAR コヒーレンス（2 回の観測の相関）は、まだ十分に活用されていない。本研究では、熱帯林における干渉 SAR コヒーレンスの特性を明らかにし、森林減少検出や森林分類の精度向上に有効かどうか検討することを目的とした。

#### 2. 手法

コヒーレンスは、散乱体の移動などの時間変化や、体積散乱（ランダムな散乱形態）によって低下することが知られている。森林では、体積散乱が支配的であり、散乱体の位置や状態が変化しやすいため、数日以上での観測時間差がある場合、コヒーレンスは裸地よりも低くなる。逆に裸地では、散乱点が比較的安定であり、コヒーレンスは高くなる。2 回の観測間に伐採などの変化が起こった場合、散乱形態が大きく変化するため、コヒーレンスは低くなる。したがって、適切な時間差で観測されたコヒーレンスは、森林変化の指標となり得る。ただし、森林変化の後に 2 回の観測が必要であり、速報的な観測はできない。

対象地は、インドネシアのスマトラ島中心部に位置するリアウ州テソニロ自然林周辺とした。鉍質土壌の湿潤性熱帯林であり、近年、プランテーション開発に起因する伐採が拡大している。コヒーレンスの計算には、2007 年 11 月から 2011 年 4 月までの ALOS PALSAR の FBS（単偏波）および FBD（2 偏波）モードのデータを用いた（計 16 シーン）。垂直ベースラインは、平均 -79.2 m、最大絶対値 765.2 m であった。これは最大で 0.1 程度のコヒーレンス低下に相当する。全ての組み合わせ（120 ペア）について干渉処理を行い、異なる観測時間差の複数のコヒーレンス画像を得た。SRTM 90m DSM を用いてオルソ幾何補正を施し、細かなノイズを減らすために、5 x 5 画素のメディアンフィルタを施した。最終的なピクセル間隔は 20m である。森林変化検出に用いる際には、電離層や水蒸気等の影響による時間的な不安定性を抑えるために、時系列のスタッキング処理（一定期間中の平均値や最大値を抽出）を施した。森林減少域の正解データは、ALOS AVNIR-2 と Landsat 7 ETM+ の時系列画像（計 9 シーン）から目視判読によって計 2,000 画素を抽出した。土地被覆状況は、WWF Indonesia によって Landsat 画像から目視判読で作成された地図から判断した。

#### 3. 結果と考察

得られたコヒーレンスと観測時間差の関係を調べたところ、コヒーレンスは時間差が長くなるほど指数関数的に減少し、時間差が短いほど（ただし 46 日間隔が最短であり、それ以下は未知）、裸地・

自然林・プランテーション・水域の違いが明瞭に現れた。時間差が 300 日より大きくなると、コヒーレンスは水域を除いてほぼ一定の値（0.3 程度）となった。これらの結果から、PALSAR の時系列コヒーレンスを用いた森林減少抽出には、時間差は短いほうが良く、1 回帰差（46 日間隔）が望ましいことがわかる。

図 1 は、対象地の土地被覆（2007 年）と 2010 年の 46 日間隔 HH 偏波コヒーレンスの平均値である。コヒーレンスは裸地（open land）で高く、森林で低くなっており、境界が明瞭に認識できる。興味深いのは、アカシア林でコヒーレンスが低くなっていることである。理由として、アカシアは細長い構造をしており不安定であること、成長が早く時間変化が大きいこと（1 年で 2-5 m 伸長する）、などが考えられる。この特徴は、土地被覆分類やアカシア生産量の観測などに応用できる可能性がある。

HH 偏波コヒーレンスの 2009 年と 2010 年の差分値に閾値を適用し、伐採検出精度を評価したところ、約 95% の検出率（10% の誤検出率）となった。一方、後方散乱係数を用いる場合、HV 偏波で約 80% の検出率、HH 偏波で約 30% の検出率であった（どちらも 10% の誤検出率）。よって、今回の対象地では、PALSAR コヒーレンスは、森林伐採の検出精度向上に有用である。

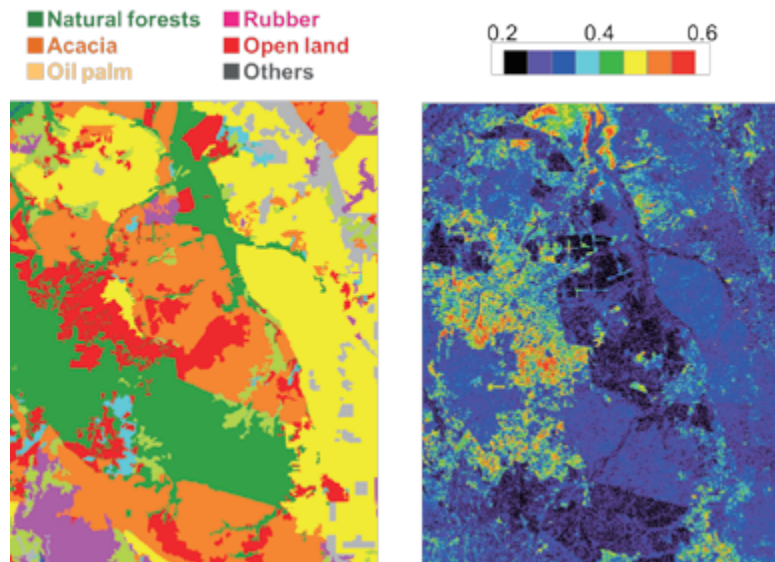


図 1 2007 年の土地被覆と HH 偏波コヒーレンスの 2010 年平均値（46 日間隔 5 ペア）

#### 4. まとめ

コヒーレンスの変化は、時系列スタッキング等の処理を施すことで、森林減少の検出精度向上に有効であった。処理時間が長く、森林減少後に 2 回の観測を要するため、速報的な観測には向かないが、インベントリ作成等の精度向上に貢献できる。また、HH 偏波が利用できるため、PALSAR の多くの単偏波モードの観測データや、JERS-1 データも活用できる可能性がある。一方で後方散乱強度による方法は、精度はコヒーレンスを用いた場合に劣るものの、処理が高速であり、違法伐採検出等に適している。今後、土地被覆分類への応用や、様々な場所や条件で検証することが課題である。



## 1.4 L-band SAR を用いたバイオマス推定

渡邊 学

### 1. はじめに

Lバンド SAR の信号は、X や C バンドと比べて波長が長く、森林樹冠部をある程度透過することから、森林バイオマスマップの作成が期待されている。本年度は、昨年に引き続きインドネシアで収集された現地データと L バンド SAR データを用いて、広域森林バイオマスマップ作成と精度向上のための研究を行った。発表では、100 tons/ha 以上の森林でバイオマス推定を行うための手法検討を行った結果について報告を行う。また、精度向上のために不可欠な、L バンドレーダの森林内部散乱過程解明のために行った試みについても報告する。これに加え、L バンド SAR データを使った、災害情報抽出研究結果と、科研費で行った研究結果についての報告も行う。

### 2. 100 tons/ha 以上の森林でバイオマス推定を行うための手法検討

昨年度は、100 tons/ha 以上の自然林で、4 偏波パラメータ（エントロピー）と森林バイオマスとの間に、弱い相関（ $R=0.37$ ）があることを明らかにした。本年度は、偏波間相関係数でも、100 tons/ha 以上で、森林バイオマスと相関していることを明らかにした。また、4 偏波パラメータ計算時のパラメータを調整することで、相関を  $R=0.61$  に上げることに成功した（図 1）。ペルーアマゾンの PALSAR/4 偏波データでも、同様の結果が得られることを確認し、本手法が熱帯の自然林に広く応用できる可能性があることを明らかにした。

L バンドレーダの森林部での散乱過程解明のために、以下の 2 つの試みを行った。

- A) エントロピーと森林バイオマスの相関の起源を調べるために、航空機 LiDAR データのデータ解析を行った。その結果、森林樹幹部の枝のランダム性に起因している可能性があることが分かった。
- B) L バンド SAR 信号の森林内部での減衰率を、森林の中と外にコーナー反射鏡を置いて輝度を比較することで測定した。その結果、0.40 ～ 0.88 dB/m であることが分かった（図 2）。

現在、散乱過程を直接調べるために、簡易型地上設置型レーダ装置の導入を進めている。これらの情報を元に、森林でバイオマス推定を精度よく行うための手法検討をさらに進める。

### 3. L バンド SAR データを使った災害情報抽出研究

L バンド SAR データから、どのような災害情報を抽出できるかを検討した結果、

- 3-1) 土砂災害域検出では、 $\gamma_{HH-VV}$  だけでなく、固有値分解法の画像が有効であること
- 3-2) 洪水箇所検出では、 $\gamma_{(HH+VV)-(HH-VV)}$  が有効であること（Total accuracy: 92.9%, User's accuracies : 53.5%, Producer accuracy : 72.8%）

を明らかにした（図 3）

### 4. 極域洪水の起源の推定（科研費研究）

PALSAR/4 偏波データと AMSR-E データを用いて、ロシアの極東での春の地面の凍結 / 融解の様子を調べた。その結果、2007 年に起こった極域洪水の起源として、急激な地面の融解の可能性があることを明らかにした。

## 1. ALOS 利用研究

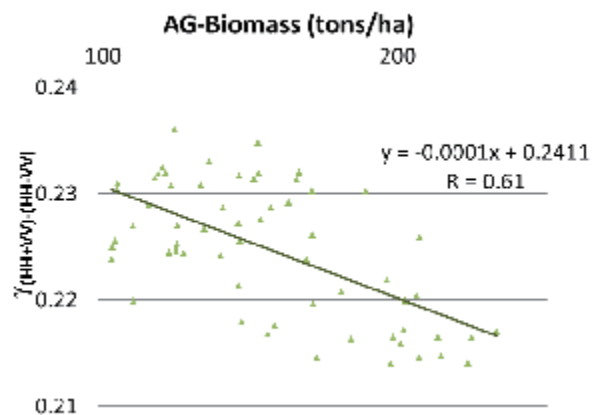


図1 森林バイオマスと偏波間コヒーレンスの、100 tons/ha 以上の範囲での相関の様子

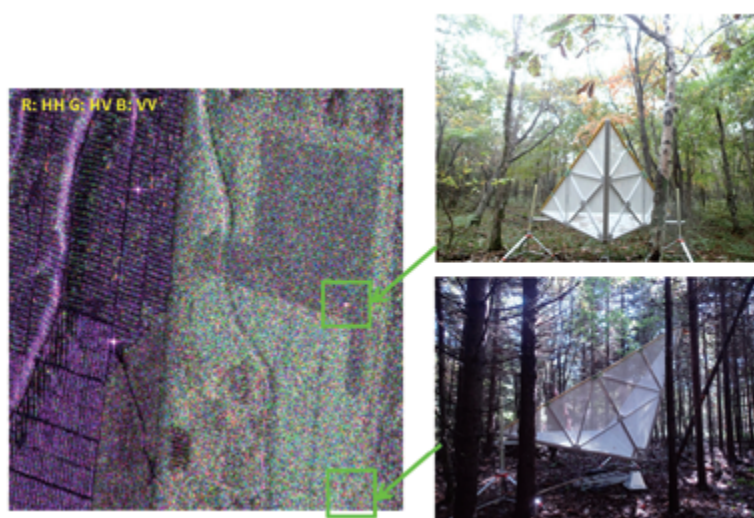


図2 Pi-SAR-L2 で観測された、森林下部からのコーナー反射鏡の信号

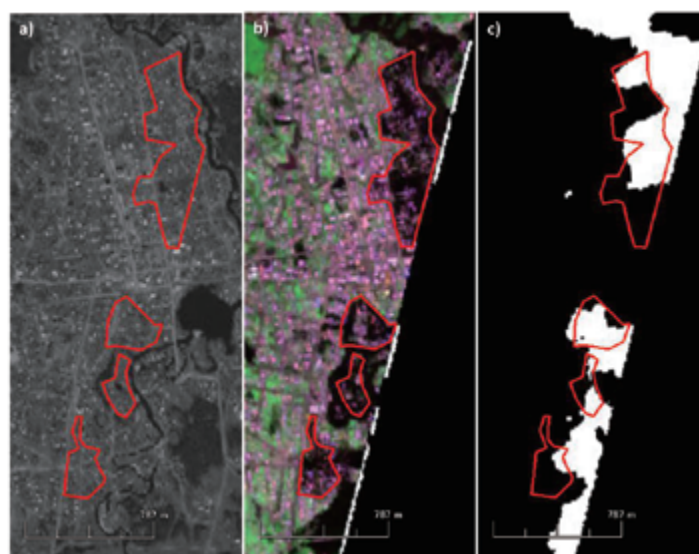


図3 (a) PRISM イメージ (洪水なし、August 12, 2007) (b) AVNIR-2 イメージ (洪水中、May 29, 2007) (c) PALSAR データから検出された場所)

## 1.5 PALSAR・PALSAR-2 ポラリメトリ解析および航空機 SAR 実験

大木 真人

## 1. PALSAR のポラリメトリ解析研究の課題

ALOS/PALSAR は PolSAR（多偏波 SAR）観測が可能な世界初の衛星 SAR であり、全球規模の L バンドポラリメトリデータを有するのは現在でも PALSAR データのみであるが、PALSAR の PolSAR データを用いた研究やその応用にはいくつかの課題が残されている。

第一に、SAR の原理上、地上の反射体はその向きによって散乱特性が変わる。市街地は、衛星の観測方向に直交するような構造であれば二回散乱、斜交すればクロス偏波の散乱が相対的に大きく、後者のクロス偏波は森林でも多くみられるため、森林と市街地といった基本的な土地被覆の区別も、PolSAR データだけでは難しい場合がある。そこで筆者は、2つの PolSAR データを干渉処理した PolInSAR（多偏波干渉 SAR）データから得られるコヒーレンス（干渉度）に着目し、森林は変動する散乱体（コヒーレンスが低い）、市街地は安定した散乱体（コヒーレンスが高い）であることを利用して土地被覆の判別を試みてきたが、コヒーレンスは土地被覆だけでなく、干渉ペア間の軌道間隔や時間間隔、偏波に依存すると考えられ、さまざまな条件の干渉ペアでコヒーレンスのふるまいを比較する必要がある。

第二に、PolSAR データ解析は複素行列演算など数学的な処理を必要とし、幅広い利用分野で応用されるにはやや敷居が高い。ESA の PolSARPro など無償の比較的使いやすい PolSAR 解析ツールで、PolSAR データから様々な偏波パラメータも算出することもできるが、これにもある程度の知識が必要であり、あらかじめ代表的な PolSAR パラメータを導出した、処理済みの広域プロダクトがあれば有効であると考えられる。

## 2. PolInSAR 処理および PolSAR 大量処理

上記に述べた PALSAR の PolInSAR データのコヒーレンス情報のふるまいを比較し、SAR データからの情報抽出（土地被覆分類等）への有効性を示す目的で、本年度筆者は干渉ペア間の軌道間隔や時間間隔の異なる多時期（5 時期 9 ペア）の PolInSAR データでコヒーレンスの特性（偏波依存性、土地被覆依存性、時間間隔依存性）を比較した。その結果、コヒーレンスの偏波依存性としては草地・裸地は HH+VV が高く、市街地は HV が高い結果となった。土地被覆別の平均的なコヒーレンスは、水域が 0.2 未満、森林が 0.2 程度、市街地が 0.4 程度であった。時間依存性としては、農地、市街地、森林では時間減衰が大きく、時間間隔が長いとコヒーレンスが低下した。軌道間距離が大きいとさらにコヒーレンスは低下した。

これらの知見を踏まえ、時間間隔、軌道間距離が短いと土地被覆分類は高精度になると考えられるが、実際に全てのペアで同じ教師データのもと機械学習アルゴリズム（SVM、ランダムフォレスト、ニューラルネットワークの 3 手法を比較したが、違いは少なかった）で 7 クラスの土地被覆分類を行った結果、最悪ペアでは 60.0% だった精度は最適ペアでは 82.8% となった。

今後の課題としては、本解析は千葉・茨城周辺の限られた領域（1 フレーム、約 25km × 40km）で行ったため、広域のデータ処理を行うことや、今後打ちあがる ALOS-2 で PolInSAR のデータを用いた研究プロダクトを出すことが ALOS-2 利用研究計画に組み込まれている。

また、1 章に述べたように PALSAR の PolSAR データから各種偏波パラメータを導出した処理済み

## 1. ALOS 利用研究

広域プロダクトを試作することで、解析研究、ベースマップとしての利用、教育等に貢献するために、日本域を対象としたポラリメトリデータセット（ $\beta$ 版）を作成した。これは、564 シーンの PolSAR データから各偏波基底による偏波強度や成分分解など 15 種類の偏波パラメータを導出し、オルソ化、地図投影し、GeoTIFF/KML 化した、GIS 等との親和性の高い画像データセットである。シーン／タイルごとの並列化処理（16 コア CPU のマシンを使用）により 1 日未満での処理が可能である。ただし、地形の影響（全国の約 18.9% の領域がレイオーバの影響を受けている）などの原理的な制約や、パス間のギャップ（隣接する観測パスで、観測領域の重複がない）があるなどの PALSAR 固有の制約から、日本の陸地の 84% のデータのみカバーしている。今後の課題としては、国外の他の地域での処理や、PolSAR データから PolInSAR データへの拡張が考えられる。

### 3. 航空機 SAR 実験

L バンド航空機 SAR（Pi-SAR-L2）の改修・運用（メーカ殿作業）の取りまとめを実施している。Pi-SAR-L2 は JAXA の運用する L バンド航空機搭載 SAR で、ALOS、ALOS-2 およびその後継機の開発、校正検証や、観測データを用いた解析研究、利用実証に利用されている。1996 年に運用開始した初代 Pi-SAR-L の後継として 2012 年より段階的に改修しながら運用を開始し、本年度（2013 年度）で、ほぼ Pi-SAR-L2 への更新作業を完了した。その作業の間を縫う形で、本年度は 14 回の国内観測飛行（緊急災害観測を含む）を実施した。研究・利用推進活動としては、Pi-SAR-L2 研究公募（RA5）を発出し、30 件を採択した。

また、本年度は Pi-SAR-L2 の後継あるいは補完となる次世代の L バンド航空機 SAR の概念検討も行った。本検討では主に 3 つのオプションを仮定し、性能計算を実施した。今後、メーカ殿作業にてそれぞれの開発リスクや成立性も検討する予定である。3 つのオプションとは、①現行の Pi-SAR-L2 と同等のコンフィギュレーションと観測性能の L バンド SAR、②小型飛行機に搭載する中庸な観測性能の小型軽量 L バンド SAR、③無人機に搭載する高性能 L バンド SAR である。②③については、災害時などに短時間で観測しデータを提供する「即応性」、②については運用の低コスト化などに期待できると考えている。



## 1.6 Modeling aboveground tropical forest carbon stock with airborne LiDAR Rajesh Bahadur Thapa

### 1. Introduction

Airborne LiDAR enables accurate measures of vertical forest structure, including canopy height and volume demanding less ground measurement plots for aboveground biomass (AGB) mapping. Using appropriate LiDAR sampling framework, structural properties of forest can be quantified and treated similar to ground measurement plots, producing locally relevant information to be used for PALSAR data analysis covering larger region. In this research, we aim to examine LiDAR derived forest parameters with field measured data and develop aboveground forest carbon stocks (AFCS) models for major tropical forests in Riau Province, Indonesia. The results of this research will provide key inputs to calibration and validation of PALSAR based AFCS models in Sumatra and advance further to quantify scenario-wide (Thapa et al., 2013) potential carbon emission in the future for supporting MRV/REDD+ activities.

### 2. Method

We collected eight LiDAR transects crossing 60 (1-ha size) field measured plots for developing LiDAR-to-AFCS models. These transects with 200m swath varying in lengths covers 8000 ha forested land. Among the 60 field measurement plots, 24 are natural forests, including peat swamp and dry moist (11), regrowth (5), and mangrove (8). The remaining 36 plots are plantation forests, i.e., rubber (10), acacia (10), oil palm (9), and coconut (7). Various parameters including tree height and breast width were collected in each field plot. Then, AGB was calculated using forest-specific allometric equations developed for the specific forest type in the region to ensure accuracy. Total AGB of each plot is converted to AFCS by multiplying IPCC standard value (0.47). The field plots consisted of AFCS ranging from 4 – 161 Mg /ha. The lowest AFCS was recorded for oil palm plantation areas, while the highest AFCS was recorded for natural forest areas represented by the peat swamp and dry moist plots. Both LiDAR and field data collections were conducted in 2012.

More than 70 LiDAR canopy height metrics normalized by DTM were computed using discrete returns data, (details in Thapa et al. in-review). General and forest specific models were developed in regression framework to provide alternatives for AFCS estimation. General model declassifies the forest type. Regression parameters, including  $R^2$ , p-value, root mean square error (RMSE) and model bias, were assessed carefully for choosing appropriate model. All model parameters satisfy the  $p < 0.05$  significance. Total twelve AFCS models were developed and cross validated using the leave-one-out (LOO) approach.

### 3. Results and discussion

The calibrated models presented in Table 1 indicate high stability of  $R^2$  and RMSE as evidenced by the standard deviation (SD). The LiDAR to AFCS general model enabled to predict the AFCS with  $R^2 = 0.87$  and with low biased RMSE = 17.4 Mg /ha. The value is better than that of Model – 4 by 0.12 and of Model – 1 by 0.14, reducing AFCS uncertainty by 6.64 Mg ha<sup>-1</sup> compared to Model – 4 and 7.64 Mg ha<sup>-1</sup> compared to Model – 1. Models 1-3 are based on single lidar metric that provide AFCS estimates within the uncertainty of  $\pm 25$  Mg/ha. The models 4 and 5 provide better results but are complex than the others. The specific AFCS models provided carbon

estimates, varied by forest types, with  $R^2$  ranging from 0.72 – 0.97 and uncertainty ranging from 1.4 – 10.7 Mg / ha (RMSE). The lowest  $R^2$  is observed for Oil palm (model-10) while the highest is for Coconut (model-11). The major limitation of these forest-specific models is the lower number of field plots available for model calibration. However, requirements may vary by region and forest type. Detailed methods and results analysis are provided in Thapa et al. (in-review).

Table – 1. Regressions parameters for the LiDAR-to-AFCS models.

Model	LiDAR parameters – calibration	Leave one out – validation		
		LOO	LOO (Mg ha <sup>-1</sup> )	
		R <sup>2</sup> (SD)	RMSE (SD)	Bias
<i>General:</i>				
1	1.359MCH <sup>1.541</sup>	0.73 (0.01)	25.00 (0.05)	0.97
2	1.257QMCH <sup>1.405</sup>	0.73 (0.01)	24.86 (0.04)	1.10
3	0.947P75 <sup>1.509</sup>	0.73 (0.01)	24.97 (0.04)	0.93
4	− 24.270 + 0.0645MCH <sub>c</sub> + 2.984P90	0.75 (0.01)	24.02 (0.08)	0.00
5	259.488 − 146.373MCH + 4.738MCH <sup>2</sup> − 4.881Cover + 3.513MCH <sub>c</sub> − 0.095MCH <sub>c</sub> <sup>2</sup> − 1.583QMCH <sub>c</sub> + 22.568P50 + 26.118P90	0.87 (0.01)	17.51 (0.39)	0.01
<i>Specific:</i>				
6A	85.172 − 17.753CH + 2.887MCH <sup>2</sup> + 0.356CH <sub>c</sub> − 0.0553MCH <sub>c</sub> <sup>2</sup>	0.86 (0.03)	11.36 (1.01)	0.05
6B	− 230.695−26.030CH + 3.647MCH <sup>2</sup> + 0.475CH <sub>c</sub> − 0.091MCH <sub>c</sub> <sup>2</sup> + 15.183P40 + 22.967P70	0.88 (0.02)	11.98 (4.64)	−0.52
7	56.364 − 6.309CH + 0.269CH <sub>c</sub> − 0.373QMCH <sub>c</sub> <sup>2</sup>	0.91 (0.03)	4.66 (1.86)	−0.40
8	− 73.855 − 28.060CH + 76.554QMCH + 0.666CH <sub>c</sub> − 1.571QMCH <sub>c</sub>	0.95 (0.02)	2.91 (0.19)	0.07
9	568.137 − 2.424MCH <sup>2</sup> − 773.190P20 + 386.669P25 + 27.312P60	0.91 (0.03)	5.98 (1.26)	0.06
10	− 16.646 + 3.314P05 − 40.844P60 + 37.463P75	0.75 (0.08)	1.67 (0.37)	0.14
11	− 32.078 + 9.494P30 − 16.220P50 + 9.815P90	0.97 (0.01)	1.99 (0.52)	0.15

CH = canopy height; MCH = mean CH; QMCH = quadratic MCH; P = percentile; Cover = canopy cover above the MCH;  $\text{CH}_c = \text{CH} \times \text{Cover}$ ;  $\text{MCH}_c = \text{MCH} \times \text{Cover}$ ;  $\text{MCH}_c^2 = \text{MCH}^2 \times \text{Cover}$ ; Specific models: 6A=Natural dry moist and peat swamp forest; 6B = regrowth and 6A; 7 = Mangrove; 8 = Rubber; 9 = Acacia; 10 = Oil palm; and 11 = Coconut.

## References

- Thapa, R. B., Shimada, M., Watanabe, M., Motohka, T., Shiraishi, T. (2013). The tropical forest in South East Asia: Monitoring and scenario modeling using Synthetic Aperture Radar data. *Applied Geography*, 41, 168-178.
- Thapa, R. B., Watanabe, M., Motohka, T., Shiraishi, T., Shimada, M. (in-review), Calibration of aboveground forest carbon stock models for major tropical forests in central Sumatra using airborne LiDAR and field measurement data. *IEEE J-STARS*.

## 2. GOSAT 利用研究

## 2.1 GOSAT 利用研究プロジェクトの成果概要

川上 修司

### 1. はじめに

温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」GOSAT (Greenhouse gases Observing SATellite) は、大気中の二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスの全球分布を宇宙から高精度に観測するため衛星である。2009年1月23日に種子島宇宙センターから打ち上げられ、定常運用期間である5年間を超えて観測データを継続して提供している。TANSO レベル 1B プロダクト (輝度スペクトル) は 2009 年 10 月から一般に公開され、2014 年 2 月現在は V16160 が提供されている。L2 プロダクト (FTS SWIR の二酸化炭素・メタンのカラム平均濃度) は 2010 年 2 月から一般提供され 2014 年 2 月現在は、V2.21 が提供されている。レベル 3 プロダクト (FTS SWIR CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 全球カラム平均濃度分布) が、2010 年 11 月から一般提供開始されている。FTS TIR レベル 2 CO<sub>2</sub> 及び CH<sub>4</sub> 濃度プロファイルプロダクトは 2012 年 3 月 30 日から公開されている。なお、V01.00 が、2014 年 6 月より RA PI に公開予定である。レベル 4 プロダクトである全球の月別・地域別の二酸化炭素吸収排出量 (正味収支) を推定した結果が 2012 年 12 月 5 日に公開されている。2014 年 2 月の温室効果ガス観測技術衛星 (GOSAT) 定常運用終了審査会が開催され、後期運用期間に移行した。今後も継続して衛星を運用し、データ提供を継続する。

### 2. GOSAT 利用研究

GOSAT 利用研究プロジェクトにおいては、GOSAT データが温暖化研究などの科学や世界の温暖化行政に貢献できるよう GOSAT の校正検証、利用研究、利用促進を着実に進め、GOSAT データの品質の維持・向上を目指している。平成 25 年度の計画は、TANSO - FTS、CAI の校正検証を継続し、L1 データの品質を向上させる。TANSO-FTS の熱赤外バンドや CAI データを利用する高次プロダクトを作成するためのアルゴリズムを開発し、精度の検証を行い、プロダクトの作成と公開を行う。これらの活動を GOSAT の後期運用期間も継続して実施できるようにし、GOSAT-2 の研究及びプロジェクト移行の準備を進めることである。

平成 25 年度の成果は、校正検証を継続して実施し、L1 プロダクトの品質向上としてアルゴリズム改善を実施した。TANSO-FTS レベル 1B プロダクト TIR バンドに関する主要な改善点として、深宇宙窓遮蔽補正の無効化、偏光補正 (銀ミラーの偏光別反射率入射角依存の詳細化)、黒体温度算出方法の見直し (線形近似>テーブル化)、検出器非線形補正 (DC オフセット値推定方法の改善) 提案し、これらの改善を施した V161.160 は、2013 年 7 月から一般にリリースされている。TANSO-FTS の幾何評価は、視野モニタカメラ (CAM-H8) を用いて継続的に評価しており、環境研でのレベル 2 の前処理への反映を 2 週間に 1 度、継続的に実施している。

熱赤外データ等の高次処理については、熱赤外バンドからの CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 濃度プロファイルの導出アルゴリズムを見直し、一般公開へ向けてプロダクト検証を実施した。また、GOSAT-TIR スペクトルを用いた SST の推定を試みた。

TANSO-FTS の絶対感度の変化を代替校正により確認することを目的とし、GOSAT チームは、国立環境研究所、NASA/JPL OCO-2 チームと共同で、2013 年 6 月 13 日～6 月 23 日に、地上同期観測実験を米国ネバダ州 Railroad Valley において実施した。Railroad Valley にて取得した地上観測データを用いて TANSO-FTS、CAI の両センサに関する代替校正評価を実施し、各センサの観測輝度と地上測定デー

## 2. GOSAT 利用研究



タからのシミュレーション輝度との比較を行った。この結果を考慮して、提供中の輝度換算係数（大気による吸収補正済）に加えてバンド別に劣化補正係数を提供を実施する予定である。

また、GOSAT の校正検証のため長期間、地上から大気中の二酸化炭素のカラム量を取得することを目的に、佐賀大学（佐賀市）で大気観測用超高分解赤外フーリエ干渉分光計（通称：地上 FTS）及び船舶で船舶搭載大気微量成分カラム平均濃度測定装置を運用している。2013 年 4 月～11 月に、JAMSTEC 研究船「よこすか」による地球 1 周の航海で、及び 2014 年 1 月～3 月に西太平洋及び南太平洋で、船舶搭載型の小型装置を用いて二酸化炭素及びメタンのカラム量データを取得できた。2011 年 6 月に佐賀大学にて検証データの取得を開始し、2011 年 7 月から現在までデータを取得している（図 1）。GOSAT 等の検証に使用することを目的として、TCCON network のデータベースへデータ提供を実施した。

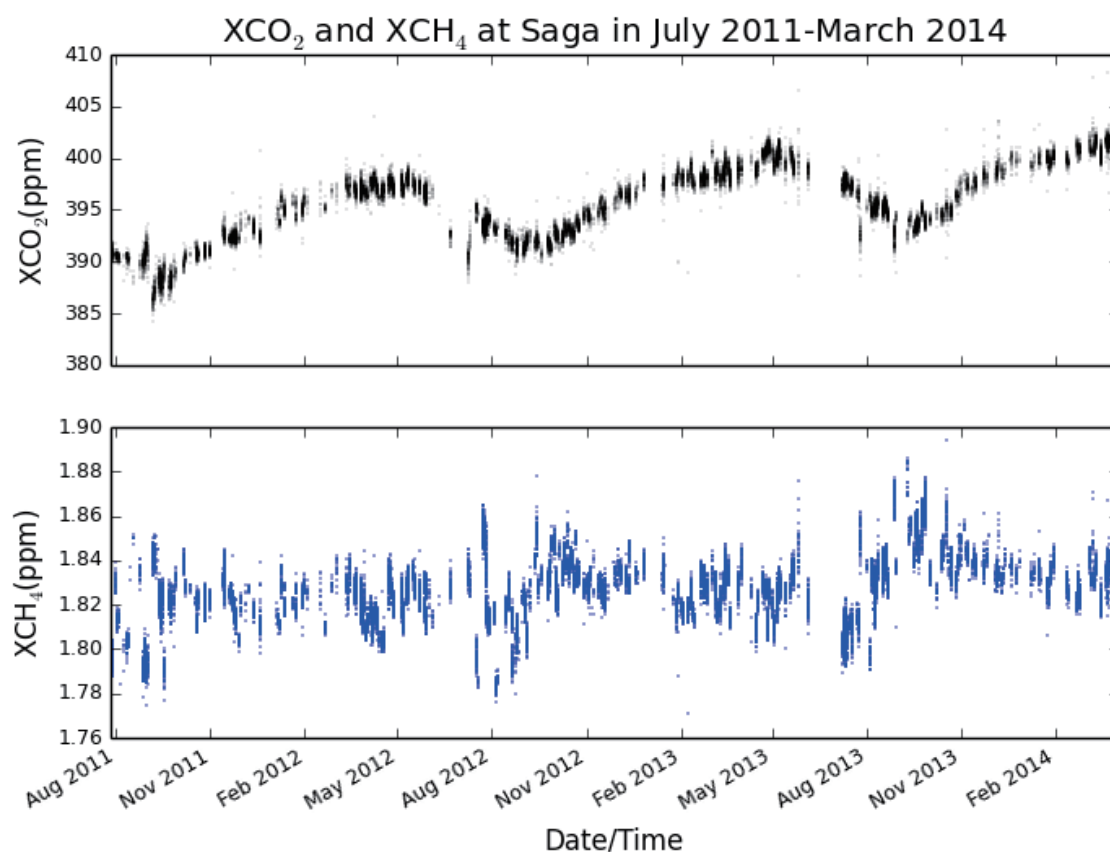


図 1 佐賀における二酸化炭素及びメタンのカラム平均濃度

## 2.2 GOSAT TANSO プロダクトの校正評価

塩見 慶

## 1. はじめに

GOSAT は打ち上げ後5年を経過し定常運用フェーズを終了し、現在、後期利用フェーズに入った。これまで処理アルゴリズムの改訂を通して、レベル1プロダクトの精度向上、および精度評価を実施している。

GOSAT は温室効果ガス観測センサ TANSO-FTS と、雲・エアロソルセンサ TANSO-CAI を搭載し、打上げ後、輝度、幾何、分光特性の観点からセンサ特性を表す軌道上校正データの取得と、観測データからその軌道上の変動を評価し、レベル1処理アルゴリズムの改訂や補正情報として提供してきた。本発表では、GOSAT 定常運用フェーズにおける校正精度評価のまとめについて報告する。

## 2. 研究計画

今年度の目標は定常運用フェーズ5年間の校正精度についてまとめを行うことにある。目標精度は、感度についてはSWIR（FTS-B1～B3, CAI）：校正手法間で10%以内の評価ができていること、TIR（FTS-B4）：0.3K、幾何についてはFTS：4km（3 $\sigma$ ）、CAI：2.8km（3 $\sigma$ ）である。図1にGOSAT TANSO校正の概念図、表1に定常運用における校正評価項目を表す。

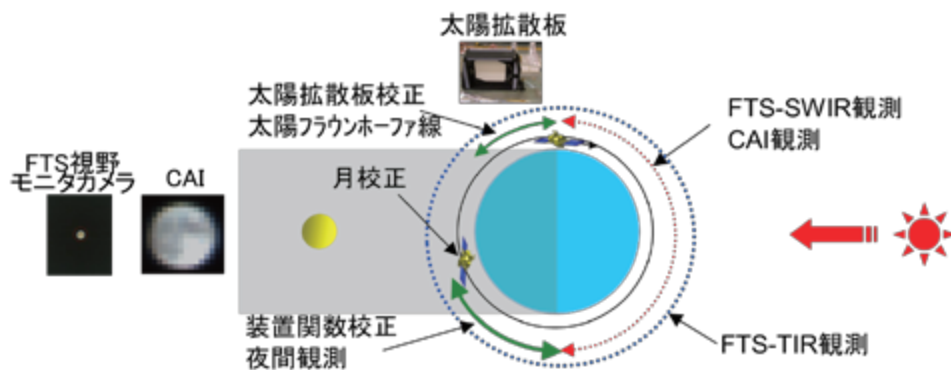


図1 GOSAT TANSO 校正の概念図

表1 校正評価項目

	FTS				CAI			
	B1P/S	B2P/S	B3P/S	B4	B1	B2	B3	B4
感度	代替校正実験(年1回) 太陽拡散板校正(裏面:月1回) 月校正(年2回)			代替校正実験(年1回) 他衛星間比較(AIRS)	代替校正実験(年1回) 月校正(年2回) 暗時(夜間観測:月1回)			
分光特性	太陽フ라운ホーファ線(波長特性) 装置関数校正(B2P/S:月1回)			-	-			
幾何	AVNIR-2との比較(FTS視野モニタカメラ)				GSHHSとの比較			

## 2. GOSAT 利用研究

### 3. 研究成果

#### 3.1 代替校正実験

代替校正実験については年1回、米国レールロードバレーにて NASA OCO-2 チームと協力して実施している。FTS10km の視野に対して、実験サイトは30km であるので特定点観測で高精度の指向を要する。実験の概念図を図2に示す。現場では、地表面・大気パラメタとして、地表面反射率〔直下視〕（白色板+分光放射計）、双方向反射率〔斜方向視〕、気温・気圧・水蒸気（ラジオゾンデ）、 $\text{CO}_2$ ・ $\text{CH}_4$ （航空機）等を測定している。これらを放射伝達計算により、大気上端輝度として、衛星観測輝度と比較する。当初、地表面は完全拡散を仮定していたが、衛星天頂角が20度付近であることが無視できないことがわかった。

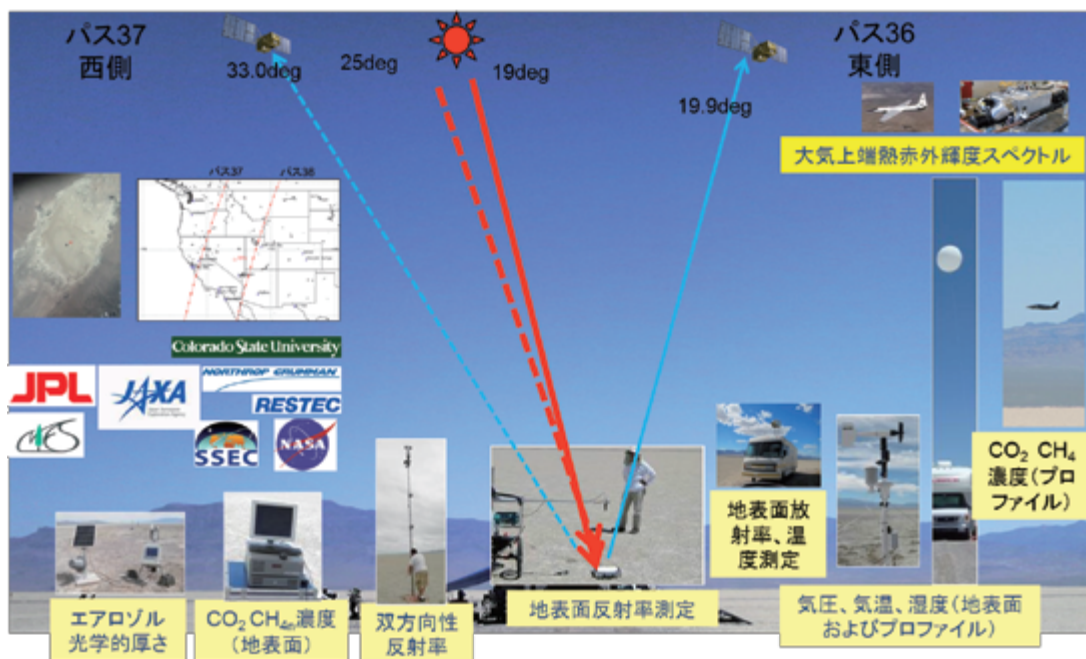


図2 米国レールロードバレーにおける代替校正実験の概念図

#### 3.2 月校正

月校正は年2回（本番、バックアップ）実施している。当初、位相角が2～5度の満月に最も近い月を観測対象としていたが、2011年から位相角7度付近の月を観測対象とすることとしたが、FTSの視野に月を半分はずすこととなった。2012年からは、直前のFTS幾何評価結果からポインティングミラーをオフセットさせて月を指向することにした。その結果、2012年、2013年と位相角7度付近の月をFTS視野内に収めること（0.6画素程度）ができた。今年度は、FTSについては視野内感度を補正して絶対校正を行った。図3にFTS月校正の概念図を示す視野内感度ができるだけ一定な視野位置に月を入れることが不確実性を低減することにつながる。

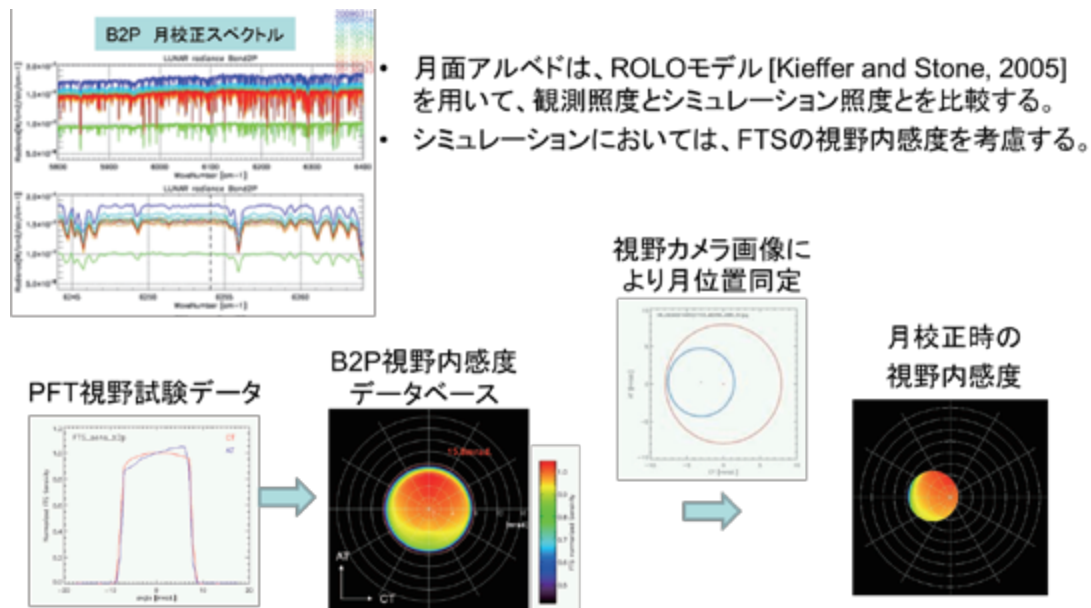


図3 FTS 月校正の概念図

### 3.3 まとめ

校正評価結果を FTS（表2）、CAI（表3）に5年間直近の結果をまとめる。それぞれの校正手法間10%以内で一致している。中でも大きく異なるところは、使用したデータの不確実性、代替校正実験の場合は地表面反射率の代表性、月校正においては視野内感度の精度等を、もっと細かく精査する必要がある。感度変化係数は、代替校正実験の値と、各月の太陽拡散板校正結果から補償して、ユーザに提供している。

また、ここでは特筆しないが、分光特性としては B2 装置関数が5年間 0.03% と極めて安定していることが確認されている。FTS ポインティングミラーには角度オフセットが変動する事象があり、視野モニタカメラでの位置評価を行っている。現在は特定点の観測計画にオフセット補正を反映する運用を行っている。補正後の幾何精度は、FTS および CAI とともに目標精度内であることが確認されている。一方、TIR については打上げ後に実験室で測定したミラー反射率の偏光特性を反映した校正を実現しているが、10 ミクロン窓領域で 0.5K 程度のバイアスが評価されている。校正における不確実性を見積もっており、15 ミクロン帯では輝度に依存するバイアスがあり、L2 処理で輝度バイアスを補正する処理を次期バージョンで取り込むよう検討されており、反映される予定である。



表 2 FTS の感度変化

FTS			B1				B2				B3			
			P		S		P		S		P		S	
			12900 - 13050	13050 - 13200	12900 - 13050	13050 - 13200	6150 - 6225	6225 - 6300	6150 - 6225	6225 - 6300	4800 - 4850	4850 - 4900	4800 - 4850	4850 - 4900
絶対感度 対 PFT	代替校 正実験	2013年6月	0.834	0.835	0.817	0.815	0.939	0.931	0.929	0.921	0.926	0.926	0.91	0.908
	月校正	2013年7月	0.919		0.834		0.914		0.900		0.897		0.873	
相対 変化	代替校 正実験	2009年6月- 2013年6月	-4.2%	-3.5%	-4.4%	-3.6%	-1.8%	-1.8%	-1.3%	-1.3%	-2.6%	-2.6%	-2.7%	-2.7%
	太陽拡 散板	2009年4月- 2013年4月	-5.9%		-6.9%		-1.8%		-1.8%		-2.2%		-3.0%	
		2009年8月- 2013年8月	-3.7%		-4.7%		-0.3%		-0.3%		-0.7%		-1.8%	

表 3 CAI の感度変化

CAI			B1	B2	B3	B4
絶対感度 対PFT	代替校 正実験	2013年6月	0.789	0.961	0.949	0.791
	月校正	2013年7月	0.803	0.943	0.949	N/A
相対変化	代替校 正実験	2009年6月- 2013年6月	-8.1%	-8.6%	-6.0%	-8.0%
	月校正	2009年4月- 2013年7月	-6.8%	-6.9%	0.2%	N/A

#### 4. 次の課題

2009 年打上げ直後の感度変動については注意して調べる必要がある。推定要因としては、打上げ前試験での値付け、検出器アライメント、検出器感度劣化等が考えられる。また、長期間のデータが同じ品質、同じバージョンで処理されたことにより、2009 年の感度の値付けが重要となってきた。

NASA OCO-2 が今年 7 月に打上げ予定であり、リモートセンシングによる CO<sub>2</sub> 観測を継続し、校正から精度をつないでいく必要がある。現在、代替校正実験、月校正、において同期観測、TCCON（地上 FTS）サイトでの検証を計画している。また 2017 年度には GOSAT-2 の打上げを予定しており、打上げ前、打上げ後の校正計画に対して GOSAT で得られた知見を反映していく必要がある。

## 2.3 TANSO-FTS Band1 アナログ信号処理部における非線形要因

須藤 洋志

## 1. はじめに

TANSO-FTS で観測される  $O_2A$  帯スペクトルを用いた全球蛍光量導出解析の課程において、スペクトル中に入力輝度に依存したオフセットが存在することが確認された。 $O_2A$  帯は、蛍光量のみならず、実効光路長を求めるために使用され、カラム  $CO_2$ 、 $CH_4$  の導出精度に大きく寄与する。本研究は、 $O_2A$  帯の非線形応答要因の解析および L1 プロダクトにおける非線形補正アルゴリズムの高度化を目的とする。

## 2. V150 プロダクト評価

従来研究において、TANSO-FTS-EM（軌道上 TANSO-FTS と同一の信号検出系を持つ）を用い、軌道上事象の再現試験を実施した。結果、 $O_2A$  帯（Band1）H ゲインにのみ実装されているローパスフィルタ部で入力強度に依存した強い非線形応答（ゲイン変動）が確認された。さらに、本事象は適応されているコンデンサのタイプに依ることが判明した。本応答特性を考慮した補正アルゴリズムを考案し、V150 プロダクトとして運用を開始した。同時に本プロダクトを用いた L2 プロダクトの作成も開始された。V150 にプロダクトの精度を検証するため、客観解析データに基づく地表面気圧と L2 にて導出された地表面気圧との比較を実施した。比較した結果を図 1 に示す。

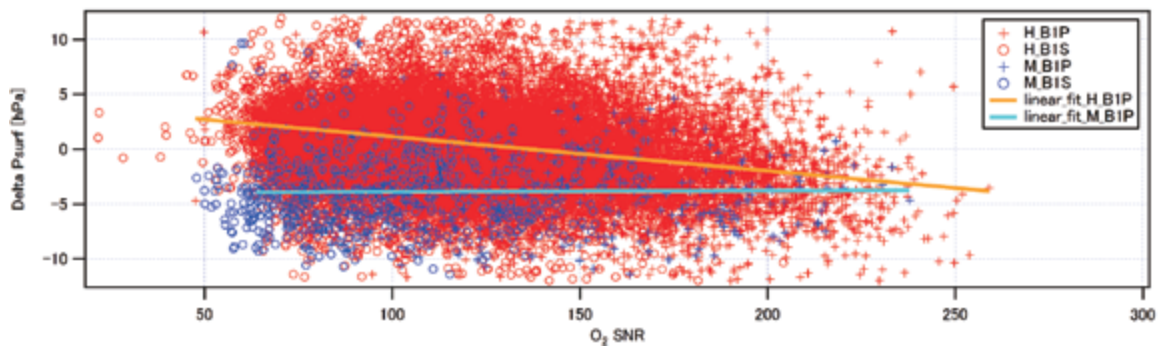


図 1: 入力光量と導出された地表面気圧と客観解析気圧の差（Delta Psurf）

図 1 より Delta Psurf が入力強度に依存していることがわかる。また、ゲイン H とゲイン M データを比較した場合においても二者間に差があることがわかる。この評価結果より、TANSO-FTS-Band1 のアナログ信号処理部には、他の非線形応答要因が含まれていることが示唆された。

## 3. 新規に開発した試験装置による応答遅延量測定及び結果

スペクトルに影響を与える効果として、信号処理回路内におけるゲイン変動（振幅影響）及び位相変動（サンプリング影響）が考えられる。通常、回路特性は各単体毎に、汎用のスペクトルアナライザを用い周波数特性が取得させる。この場合、

- 1) 光電変換部を含めた評価が不可能
- 2) 入力強度を変えた試験が困難

の課題が挙げられる。これらの課題に対応するため、本研究では新たに図2に示す試験方法を考案し、光電変換部を含めた周波数特性が取得できる試験方法を開発した。

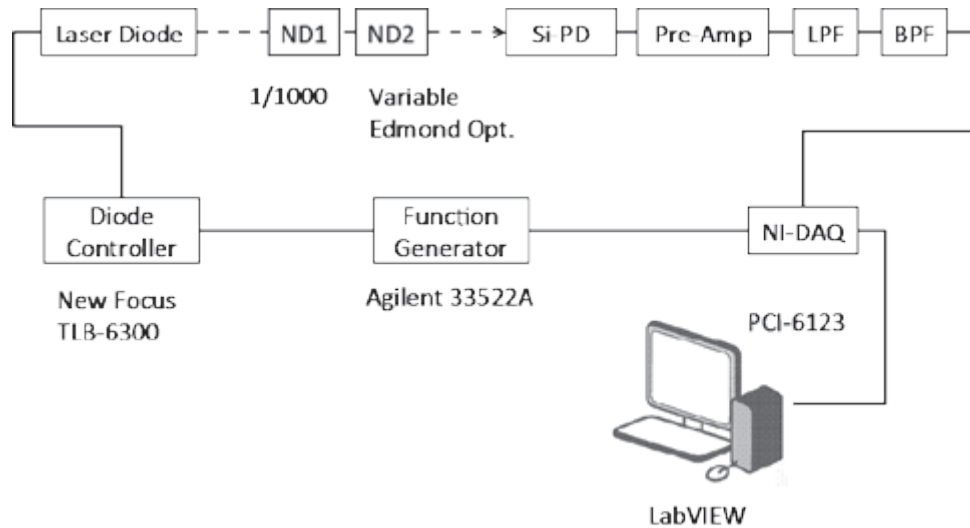


図2: 新規に開発した応答遅延測定方法の概要

本手法は、周波数発生器を用いて、特定波長のレーザーに変調を与え、その信号を実際のアナログ信号処理系に入力し、基準となる周波数からの位相遅れを検出する。本試験系により計測された TANSO-FTS-EM の信号遅延特性を図3に示す。

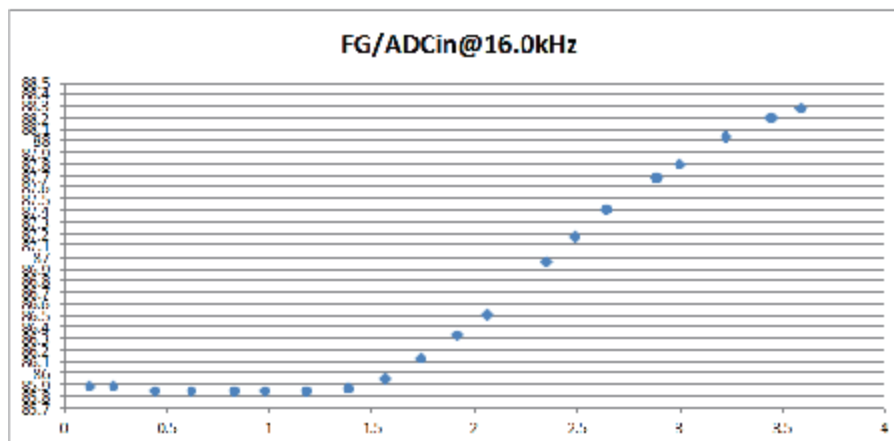


図3: TANSO-FTS-EM-band1 応答遅延特性

図3より、信号応答が入力電圧に依存し、変化していることがわかる。通常のアナログ回路では応答遅延量は入力に依存せず一定値をとる。しかし、TANSO-FTS band1 回路実機においては、入力強度に依存し、応答特性が変化することが試験的に明らかにされた。

#### 4. 信号応答遅延影響

試験により明らかとなった、信号応答遅延の影響を評価するために、モデルシミュレーションを実施した。図4 信号応答遅延量が一定の場合（青線）及び試験により得られた応答遅延量を考慮した場合（赤線）によるスペクトルおよびその差分を示す。

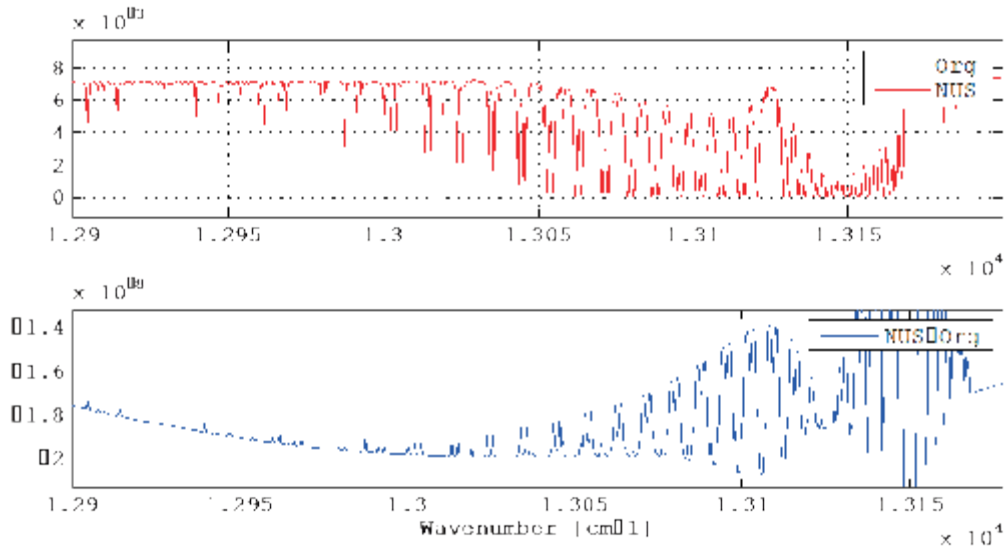


図 4: 応答遅延量一定及入力依存がある場合のスペクトル差分

図4より応答遅延に入力強度依存がある場合、帯域内及び帯域外スペクトルに影響があることが判明した。特に帯域内スペクトルについては、入力強度および吸収線に依存した差分構造が発生することが判明した。この傾向は、v150で確認されている差分傾向と類似している。

#### 5. 実データを用いた補正試行

試験結果及びシミュレーション結果を元に、入力強度に依存した応答遅延を取り入れ、軌道上実データに対し、本効果を補正するアルゴリズムを構築し、補正を試行した。試行結果を図5に示す。結果、従来存在していた虚数及び位相における屈曲構造およびバイアスが改善された。また、実部の帯域外成分も改善されていることがわかる。このことから、スペクトル評価において、本補正は有効に機能していると考えられる。ただし、P/Sを比較した場合、P偏光における収束が甘いため、パラメータの最適化が必要であると考えられる。



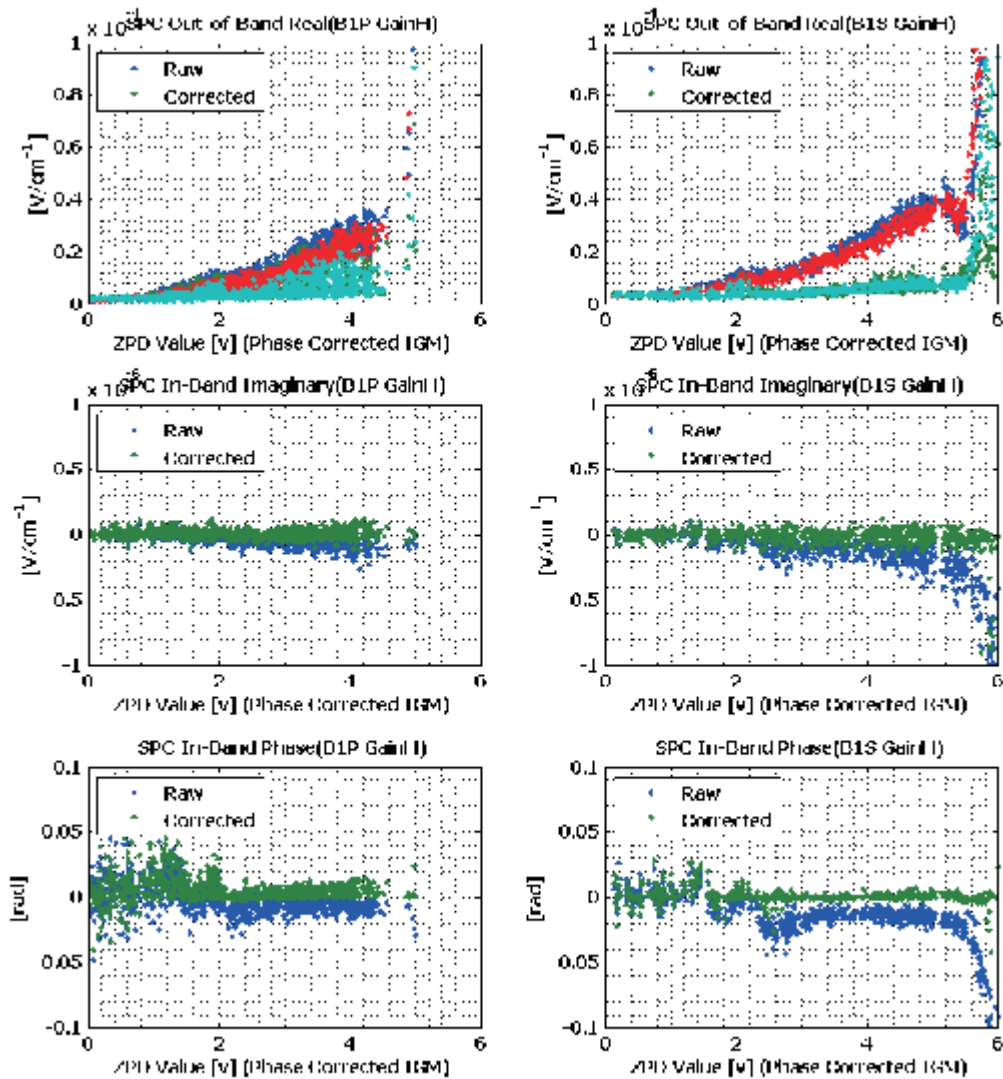


図 5: 応答遅延量補正を適応した軌道上データ特性

## 6. まとめ

新規測定手法を開発し、従来測定が不可能であった、光電変換部を含むアナログ信号処理部の応答遅延量の入力強度依存性を同定した。結果、TANSO-FTS アナログ回路には、通常の回路には存在しない、応答遅延量の入力強度依存性が存在することを明らかにした。本応答遅延特性を考慮したシミュレーションを実施し、その影響が帯域内及び帯域外に及び、さらにスペクトル形状に影響を与えることを明らかにした。さらに、応答遅延量を補正するアルゴリズムを構築し試行し、本補正を適応することによりスペクトル質の向上が見られることを確認した。今後、定常処理に取り入れることを目的に、パラメータの最適化および L2 評価を実施する。

### **3. TRMM/GPM/EarthCARE 利用研究**

### 3.1 TRMM/GPM 利用研究の成果概要

沖 理子

#### 1. はじめに

TRMM/GPM 利用研究では、降水を観測するミッションとして 2013 年 11 月末で運用 17 年目に入った熱帯降雨観測衛星 (TRMM) については、データ提供の継続と地球科学研究、利用促進を行った。今年度末に打上げられた全球降水観測 (GPM) ミッション衛星については、アルゴリズム開発、校正検証を行うとともに、データ利用につなげるため利用促進を行った。また衛星観測、地上観測、モデルの統合利用を進め、水循環、防災、気候等の分野での課題解決に向けた貢献のため、関連する EORC 横軸研究、CEOS 等国際枠組みへの協力を実施した。

#### 2. TRMM

##### (1) TRMM/PR プロダクト (バージョン 7) の長期データ評価

2011 年 7 月にリリースされた TRMM/PR バージョン 7 プロダクトの維持として、PR レベル 1 (L1) データの外部校正器 (ARC) による校正実験を実施した。今年度は実験を 2 回実施し、L1 校正精度が妥当であることを確認した。また気候変動研究のため、高度変更前後の推定降水量の差を軽減した PR 長期データ作成に関する検討、評価を継続実施した。

##### (2) 全球降水マップ (GSMaP)、大気潜熱加熱率データセット等研究プロダクトの作成

TRMM 台風速報、JAXA/EORC 台風データベース、潜熱加熱率プロダクト等の研究プロダクトの提供を、その画像閲覧ウェブページの運用とともに継続した。

「世界の雨分布速報 (GSMaP\_NRT)」システムの公開を継続し、観測後 4 時間 (毎時更新) で世界の雨分布データを提供し続けている。7 月 1 日以降は GCOM-W1/AMSR2 および DMSP-F18/SSMIS の導入を開始した。また 7 月 24 日にはウェブサイトを全面リニューアルし、従来の表示の他に Google Map モードも利用可能となった。Google Map モードでは領域の拡大・縮小が容易となるとともに Google Map の提供する地図情報も利用可能であるため、地域的な雨の確認が容易となった。昨年度から今年度にかけて、利用者が大幅に増加し、2014 年 1 月末の利用登録者数は 722 名 (約 1 年前は 436 名) となった。このうちには、将来商用利用可能性のある利用も 6 件含まれている。

また GPM で標準プロダクトになる雨量計補正版 GSMaP プロダクト (GSMaP\_Gauge) について、GSMaP 再解析版にアルゴリズムを適用することで 2000 年 3 月から 2010 年 11 月の機関のデータを試作し、2013 年 11 月 21 日より準リアルタイムユーザに試験公開を開始した。

#### 3. GPM

##### (1) アルゴリズム開発

GPM 標準プロダクト作成のための、DPR レベル 1 および高次アルゴリズム、DPR/GMI 複合アルゴリズム、GSMaP アルゴリズムの開発を実施し、計画通りにそれぞれの at-launch 最終版を完成した。

DPR レベル 1 アルゴリズムについては、地表面データベースの更新、地上試験結果のアルゴリズムへの反映、NASA 提供ツールのバージョンアップ対応等、打上げ前に開発すべき機能・情報を全て実装した。

DPR レベル 2 アルゴリズムは、コードの統合・管理、DPR 模擬データ作成、Ku/Ka/DPR-L2 アルゴリズムの評価を実施した。

### 3. TRMM/GPM/EarthCARE 利用研究

## (2) 打上げ前地上検証実験

アルゴリズム開発と連携するための打上げ前地上観測を実施した。これまで沖縄、筑波、長岡、富士山、札幌と実施し、今年度は融解層の対向観測を目的として、蔵王での観測を実施した。融解層の総減衰量、融解層中の k-Ze 関係、粒子パラメータに関する情報の取得に努めた。得られたデータの解析を今後進め、打上げ後のアルゴリズム改良に反映する。

## 4. 地球科学研究・利用促進 (TRMM/GPM 共通)

### (1) 降水ミッション科学研究公募等共同研究

科学研究公募に基づく委託・共同研究を実施した。第7回の研究公募による28課題についての共同研究を開始した。また気象庁・気象研究所と、降雨レーダを含めた衛星降水観測データのより先端的なデータ同化を目的として、共同研究を継続した。

### (2) 第4回 GPM アジア降水データ利用技術会合

1月13日から14日に東京で、国内外から70名（うちアジアから14名）の参加を得て上記会合を開催した。GPM 主衛星の打上げに向けて、GPM データの利用情報、アジアにおける GPM データの検証・利用計画の推進を目的とするもの。

### (3) GSMAp の利用に関する共同研究等

JAXA 約款による試行利用6件（民間企業）、民間企業との共同研究、国内外の研究機関・省庁との協定や受託業務を実施した。

日本気象協会との共同研究（第二期）では、日本気象協会の携帯電話サイト「世界の天気」および NTTdocomo の i コンシェルズの海外天気サービスで、GSMAp 降雨画像が公開されている。水資源機構と新たに共同研究を開始した。土木研究所および IDI（国際洪水ネットワーク (IFNet) 事務局）との三者協定では、衛星と現地地上観測の比較などを通じて GSMAp の精度向上を図り、実利用に直接結び付けるための検討を行っている。また「触れる地球」プロジェクト、「World Eye（学研）」の商品コンテンツに画像を提供するなどした。

### (4) GPM 利用検討委員会

GPM データの利用者からなる GPM 利用検討委員会を開催し、GPM プロジェクトの進捗報告を行うと共に、ユーザー要望等についての議論を行った。

### (5) GPM 主衛星打上げの広報

プレスキット用パンフレット「日本 GPM 計画データ利用概要」の作成、GPM 打上げ広報 VTR「雨雲を、味方にせよ。～ GPM 計画とその利用について～」の作成、DPR 観測原理の説明動画の作成、GPM 初画像の作成検討等を実施した。

## 5. 連携協力・将来計画等

国際的な取り組みとして地球観測委員会 (CEOS) の仮想コンステレーション (VC) の降水コンステレーション (PC) 活動に、打上げを来年度に控えた GPM 計画と連動して、NASA と JAXA で共同議長を務め参画している。

また GPM 後の将来計画として、「降水観測レーダの高度化のための要素技術研究」を、本部内先端研究として実施した。

## 3. TRMM/GPM/EarthCARE 利用研究



## 6. 今後の予定

GPM については今年度 2 月末に打上げられた。衛星・センサの初期機能確認に協力するとともに、初画像の作成、半年後のデータ公開に向けて、アルゴリズム改良とプロダクト評価を集中的に実施する計画である。

### 3.2 GPM/DPR-L2 及び GSMaP アルゴリズムの開発、EarthCARE データシミュレータの開発

久保田 拓志

#### 1. はじめに

全球降水観測計画（GPM）主衛星には、二周波降水レーダ（DPR）が搭載される。DPR は TRMM 搭載の降雨レーダ（PR）の後継である 13.6GHz のレーダ（KuPR）に、高感度観測のための 35.5GHz のレーダ（KaPR）を追加したものである。GPM は DPR による高精度観測に加えて、日米共同開発の GPM 主衛星とマイクロ波放射計（マイクロ波イメージャやサウンダ）を搭載した、国際パートナー機関が提供する副衛星が連携し、複数衛星による全球降水マップ（GSMaP）を準リアルタイムで利用者に提供することも目的とする。

また雲エアロゾル放射ミッション（EarthCARE ミッション）では、物理量推定アルゴリズム開発に利用可能で、数値気象・気候モデルでの EarthCARE 観測データの利用を推進する役割を果たす、EarthCARE データシミュレータ「Joint-Simulator」を開発している。Joint-Simulator は、数値気象・気候モデルの大気データを入力して模擬 EarthCARE データを出力する機能を持つ。

#### 2. 今年度の研究計画

GPM の Level-2 アルゴリズム開発スケジュールに従って、打ち上げ時アルゴリズム（最終版）に向けた DPR Level2 の担当モジュールの開発を行う。DPR Level 1 模擬データを作成し、L2 アルゴリズム開発者に提供するとともに、L2 アルゴリズムの評価を行う。DPR Level 1 観測データを入手後、正常に Level 2 アルゴリズムが動作するかの確認や対応を行い、初期画像作成に貢献する。DPR Level 1 観測データから計算した Level 2 プロダクトの内容を確認し、問題点があれば抽出する。GSMaP アルゴリズムでは、開発スケジュールに従って、担当するマイクロ波イメージャサウンダ用アルゴリズムの打ち上げ時アルゴリズム（最終）の開発を推進する。Joint-Simulator により EarthCARE L1 模擬データを作成し、それを入力として、雲物理量に関する EarthCARE Level 2 標準アルゴリズムの動作確認を行う。衛星観測データと数値気候モデルの統合利用を目指して、衛星データセットの整備・作成を行い、気象庁非静力学モデルの雲・降水過程の検証・解析を行う。

#### 3. 今年度の研究成果

2014 年 1 月に、DPR Level-2 の打ち上げ時アルゴリズム最終版（Ver. 4 アルゴリズム）を提出した。担当する Vertical Profile Module（VER）は、外部データ（客観解析データ）から、補間により水蒸気、気温、雲水、気圧等の値を求め、また非降水粒子に関する減衰補正計算を行う。今年度は、全球雲解像度大気モデル（NICAM）データから作成した雲水量データベースを改良して VER に組み込み、模擬データにより VER モジュールのインパクト評価を確認した。本内容について、2013 年度気象学会秋季大会で学会発表を行った。

DPR 模擬データ作成については、TRMM/PR から作成する手法を実施している。今年度は打上げ時アルゴリズムに適用し、評価を実施した。本内容について、ISRS2013 ならびに IGARSS2013 で学会発表を行い、査読付き論文を投稿した。なお、作成した模擬データは開発チームならびにミッション運用系に提出した。この模擬データは日米のミッション運用システムの運用試験においても使用された。

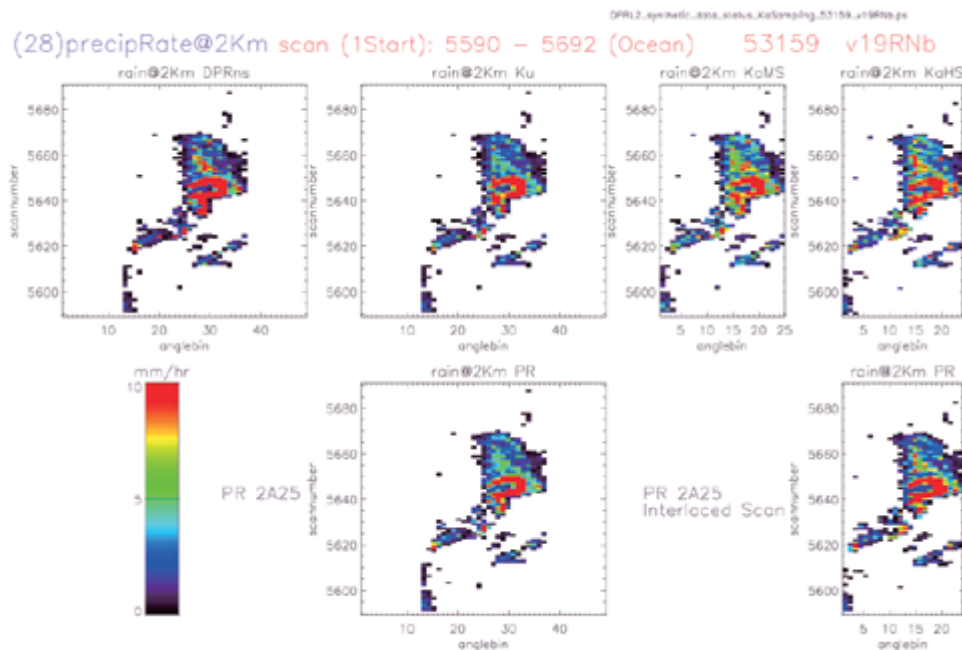
### 3. TRMM/GPM/EarthCARE 利用研究

GSMaP の SSMIS アルゴリズムについて、担当する SSMIS ならびに SSM/I の打ち上げ時アルゴリズム（最終版）を開発して 2014 年 1 月にミッション運用系に提出した。本内容に関連して、AOGS2013 ならびに ISTS 2013 で学会発表を行った。

PI と連携して、Joint-Simulator による EarthCARE L1 模擬データを作成し、それを入力として、雲物理量に関する EarthCARE Level 2 標準アルゴリズムの動作確認を行った。本年度は、MSI アルゴリズムの評価が進む一方、他アルゴリズムでは、模擬データの課題ならびにアルゴリズムの課題の抽出を行った。また、気象庁非静力学モデル（JMA-NHM）の雲・降水過程の TRMM データによる検証を行い、JMA-NHM のバイアスを定量化した。

#### 4. 来年度の計画

DPR や GSMaP のアルゴリズム開発スケジュールに従い、初期データリリース用アルゴリズムに向けてアルゴリズム開発を継続する。DPR Level 1 観測データによる DPR-L2 アルゴリズム評価も実施する。Joint-Simulator では、EarthCARE 高次アルゴリズム評価を継続して検討する。



TRMM/PR から計算した GPM/DPR 模擬データを作成し、打上げ時アルゴリズム（最終）に適用し、高度 2km の降水の水平パターン比較を実施した例。

### 3.3 GPM/DPR L1B アルゴリズム開発、TRMM/PR L1 アルゴリズムの維持改訂

正木 岳志

#### 1. はじめに

全球降水観測計画（GPM）は、レーダとマイクロ波放射計を搭載した主衛星とマイクロ波放射計を搭載したコンステレーション衛星を組み合わせ、全地球の降水量を高精度に高時間・空間分解能で観測する全球降水観測国際協力ミッションである。主衛星に搭載される二周波降水レーダ（DPR）は、Ku 帯（13.6GHz）と Ka 帯（35.5GHz）の 2 台の降水レーダで構成され、主衛星は 2013 年度に打上げが予定されている。

DPR レベル 1B（L1B）アルゴリズムは、DPR が観測した受信エコーの受信電力への工学値変換、リミットチェック、幾何情報算出等を主な目的とし、現在打上げ時アルゴリズムの開発は完了している。

#### 2. 今年度の計画

DPR L1B アルゴリズムにおいては、昨年度までに開発が完了している Ver.3 アルゴリズムを継続的に改良し、地表面データベースの更新、地上試験結果のアルゴリズムへの反映、NASA 提供ツールバージョンアップへの対応等を実施し、ミッション運用系へ提出する。また、プロダクト評価ツールを作成し、打上げ後のプロダクト評価を円滑に実施できるよう準備を行う。さらに、定常運用移行後の初期運用チームからの引き継ぎを兼ね、DPR 外部校正実験へ参加しノウハウを取得する。

TRMM/PR L1 アルゴリズムにおいて、PR 外部校正実験による校正結果を基にアルゴリズムの維持改訂を行う。

#### 3. 今年度の目標達成率及び成果

DPR L1B アルゴリズム開発においては、地表面データベースの更新、地上試験結果のアルゴリズムへの反映、NASA 提供ツールのバージョンアップ対応等、打上げ前に開発すべき機能・情報を全て実装し、2013 年 12 月末にミッション運用系へ提出した。

プロダクト評価ツールにおいては、計 14 個のツールを作成し、打上げ後約 9 日目以降に取得される予定のサイエンスデータを、速やかに評価できるよう準備を行った。例えば観測範囲の確認では、DPR L1B プロダクトに格納される幾何情報のマッピング、受信エコーの鉛直断面の描画を行い、値の妥当性を確認する予定である（図 1）。

TRMM/PR L1 アルゴリズムの維持改訂においては、今年度 2 回実施された PR 外部校正実験の結果、PR L1 校正精度が妥当であることを確認した。

DPR 外部校正実験においては、定常運用移行後、利用研究系が主体となって実施することとなっている。そのため、初期チェックアウト期間中約 15 回程度実施される実験に、可能な限り参加しノウハウを取得する予定である。

よって、打上げ後の DPR 外部校正実験へ参加することにより、今年度の目標達成率は 100% となる見込みである。



#### 4. 来年度への課題及び計画

来年度は初期段階から定常運用への移行、及びデータリリースが予定されている。DPR L1B アルゴリズム開発では、主に「アルゴリズムの継続的な改良」、「プロダクト評価」、「DPR 外部校正実験の実施」の3点に注力する予定である。

アルゴリズムの継続的な改良については、初期チェックアウト結果や校正結果のアルゴリズムへの反映等の実施のため、L+2M や L+6M 等にバージョンアップを予定している。

プロダクト評価については、外部校正をはじめとした幾つかの評価項目を対象に、今年度作成したツールを用いて評価を行う予定である。これらの評価結果を基に、L+6M の Public Release 向けアルゴリズムを改良することが課題となる。

DPR 外部校正実験については、定常運用移行後、実施主体が初期運用チームから利用研究へ引き継がれる。L+6M の Public Release に向けた L1 校正係数決定のため、来年度は十数パスの実験を予定している。

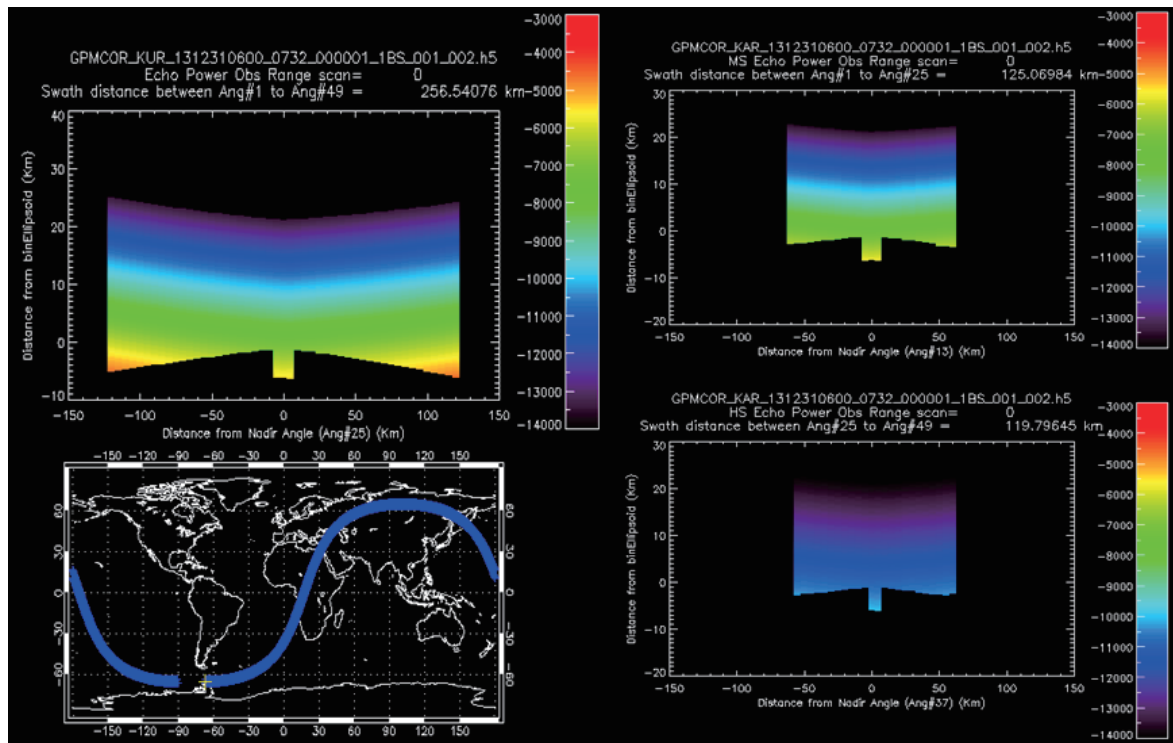


図1 観測範囲確認概要図（GPM/DPR L1B 疑似データを使用）

左上：Ku 観測範囲（横軸：水平距離、縦軸：鉛直距離）。受信電力 [ $\times 100\text{dBm}$ ] を描画。

左下：DPR 観測範囲（横軸：経度、縦軸：緯度）

右上：KaMS 観測範囲。右下：KaHS 観測範囲。左上と同様。

### 3.4 地上検証用 Ka 帯レーダを用いた DPR 検証実験

金子 有紀

#### 1. はじめに

GPM 主衛星は二周波降水レーダ (DPR) と GPM マイクロ波放射計 (GMI) を搭載している。このうち二周波降水レーダは、TRMM/PR の後継 Ku 帯降水レーダ (以後 KuPR) と衛星搭載が初となる Ka 帯降水レーダ (以後 KaPR) により、降水を二周波で同時観測し、弱い降水や降雪まで含めた高精度の降水プロダクトを導出する。また DPR を基準として GMI 及び複数個の副衛星による観測データを組み合わせることにより、高頻度で全球合成降雨マッププロダクトを導出する。このようにして得られる全球の高精度・高頻度・定常的な降雨観測プロダクトを生成・提供し、全球水循環変動の把握や予測、及び現業利用への貢献を行うことが GPM 計画の目的である。そのために全球で正確な、かつ均一で長期間安定した精度を有するデータの生成が求められる。

GPM 検証では、打上げ前の 2009 年から地上検証用 Ka 帯レーダ (以降 Ka レーダ) と研究協力機関などの地上測器を併用して、リトリバー精度に関連するアルゴリズム中のモデル及びパラメータの評価に用いるデータを取得してきた。2 月末に控えた主衛星の打上げ後は、DPR L2 プロダクト (レーダ反射因子プロファイル、降水強度、降水量など) の検証を行い、プロダクトの精度を保証する。

#### 2. 今年度の研究計画

山形県蔵王山での融解層を対象としたキャンペーン観測を実施する。アルゴリズム検証の成果を、打上げ後のアルゴリズム改訂に役立つ形でまとめる。

打上げ後のプロダクト検証については、打上げ後早期の DPR 健全性の確認のために Ka レーダを用いることにし、その手法を考案する。

#### 3. 今年度の研究成果

##### ・蔵王での融解層観測

平成 25 年 11 月 18 日～同年 12 月 27 日を集中観測期間 (以降 IOP) その 1、平成 26 年 3 月 3 日～同年 3 月 20 日を IOP その 2 とし、観測を実施した (する)。観測の成功条件は

- ①融解層を挟んだ Ka レーダによる対向観測ができ、融解層の総減衰量と、融解層中の k-Ze 関係が求められること。
- ② Ka 対向観測と同時に他の観測によって融解層中の粒子情報 (フェーズ) が取得でき、k-Ze 関係のフェーズに対する定性的な分類ができること。

であった。IOP1 については、①の成功基準を満たす成果を得ることができた。②については、これを目的とした係留気球によるビデオゾンデ観測の失敗があり、その後放球ビデオゾンデにより代替しようとしたが、放球台数の制限が支持されたことにより、不十分な結果となった。なお、2 台のレーダ光路の交差点付近の地上に 2DVD (NICT 所有)、含水率計 (北大所有)、ビデオゾンデ (山口大所有)、POSS (Environment Canada から NICT が借用) を設置し、融解層直下の地表での粒子情報を取得している。

IOP その 2 は 3 月に実施し、Ka 帯の融解層観測データを増やすとともに係留気球による融解層中の粒子のその場観測に再度取り組む。

---

・ 打上げ後検証での Ka レーダの活用計画

蔵王での DPR 飛来頻度は月 7 回程度、そのうち KaPR の観測範囲に 2 つのレーダサイトが入るのは 4 回ほどであると予測されている。打上げ後は KaPR の観測範囲に入るときに、Ka レーダは衛星方向を向いて観測を行う。ただし、Ka レーダは 3 月末までは方位角を変更することができない。得られたプロファイルから、融解層高度の比較・融解層中及び融解層から地表面までの Z/h の傾きの比較を行う。また、両レーダサイトには光学式雨量計、レーザ方式現在天気計、レーダサイト 1 にはマイクロレインレーダがあり、KuPR の観測範囲にレーダサイトが入る場合にはこれらのデータを使った KuPR プロダクト検証を行う手順を考案した。

#### 4. 来年度以降の計画

来年度には RA により提案された、海洋研究開発機構の海洋地球研究船「みらい」のインド洋クルーズに Ka レーダを搭載し、海洋性の降雨に関する調査を行う。ディストロメータ、2DVD などの測器と併用して海洋性降雨のアルゴリズム中のパラメータを検証するとともに、3. に記載した DPR との同期観測も行う計画である。

アルゴリズム検証の結果の反映に関しては、アルゴリズム開発チームとの協力のもと、これまで得られたデータの整理を進める。

### 3.5 全球降水マップアルゴリズムの開発、GCOM-W/AMSR2 高次アルゴリズムの開発、及び、データ利用促進

可知 美佐子

#### 1. はじめに

EORC では、全球降水マップ(GSMaP) アルゴリズムの準リアルタイム(GSMaP\_NRT)システムの維持・改良、2014 年 2 月 28 日に主衛星を打ち上げ予定の GPM に向けた開発を行っている。また、GSMaP のマイクロ波放射計降水アルゴリズムは、GCOM-W1/AMSR2 降水アルゴリズムを採用しており、両者のアルゴリズム開発および検証評価は、密接に連携して実施している。

#### 2. 今年度の研究計画

今年度の主な研究計画は以下の通りである。

- ・現在運用中の GSMaP システムを維持・改良し、ユーザ拡大に努める。
- ・GPM 降水マップアルゴリズム開発スケジュールに従って、at-launch コード最終版提出に向けたアルゴリズムの開発を推進する。
- ・GCOM-W/AMSR2 高次アルゴリズム開発・検証スケジュールに従って、打上げ後のデータ提供に向けたアルゴリズムの開発と検証、次期アルゴリズムに向けた改良・検証を推進する。
- ・降水および海面水温に関する、国際活動を推進する。
- ・GSMaP、AMSR2 のアルゴリズム開発、検証、応用利用、利用促進に関する共同研究を推進する。

#### 3. 今年度の成果

##### 3.1 GSMaP\_NRT システムの維持改良

GCOM-W1/AMSR2 および DMSP-F18/SSMIS について、2013 年 7 月 1 日以降、導入を開始した。

GPM で標準になる予定の、雨量計補正版 GSMaP プロダクト(GSMaP\_Gauge)について、現在の GSMaP 再解析版に適用して、2000 年 3 月～2010 年 11 月の期間のデータを試作し、2013 年 11 月 21 日より NRT ユーザに試験公開を開始した。

GSMaP\_NRT ウェブサイトは、2013 年 7 月 24 日に全面リニューアルを実施した。このリニューアルにより、従来通りの全球データの表示モードの他に、Google Map にオーバーレイ表示するモードも利用可能となった。Google Map モードでは、領域の拡大縮小が容易となり、Google Map が提供する地図情報も利用可能であるため、地域的な雨の確認が容易となった。

##### 3.2 GPM 降水マップアルゴリズムの開発

アルゴリズム開発の進捗管理および研究促進のために、GPM 全球降水マップアルゴリズム開発チーム(マップ班)の事務連絡会合、利用者を含めた GSMaP 研究会を定期的実施し、発表資料の管理を行った。今年度は、事務連絡会合は 2013 年 5 月、7 月、11 月、2014 年 2 月に、研究会は 2013 年 7 月、11 月、2014 年 2 月に実施した。また、GPM 用 GSMaP アルゴリズム記述書を策定し、EORC の GPM ウェブサイトにおいて公開した。

GPM 全球降水マップアルゴリズムは、今年度は、打上げ時コードである Ver.0 (At-launch code 版)の開発を進め、Exit コードのルールへの対応、雨量計補正テーブルの更新、AMSR2 降水標準アルゴリズム

#### 3. TRMM/GPM/EarthCARE 利用研究

ムへの対応を施した最終版を2013年12月にミッション運用系に提出した(図1)。ミッション運用系では、2013年12月末から試験運用を開始したが、この際に発生した不具合等への対応・改修を随時行っている。Ver.0は、AMSR2標準降水量アルゴリズムをベースとしており、AMSR2部分についてはほぼ同一である。Ver.0による出力プロダクトについて、EORCにおいて長期間の処理を行い、検証評価を継続している。

また、EORCにおいてアルゴリズム開発の進捗管理とコードのバージョン管理を行っているが、アルゴリズム開発者が常に最新版にアクセスできるよう、パスワード付きftpサイトを開設し、コードやデータセットを関係者向けに公開している。

### 3.3 AMSR2 高次アルゴリズムの開発・検証

AMSR2降水量アルゴリズムについて、開発者(気象研究所 青梨氏)と協力し、2013年1月のレベル1アルゴリズム変更にあわせた調整を実施し、輝度温度補正のコードを組み込んだ。この結果、TRMM降雨レーダとのマッチアップ比較を行ったところ、降雨率の相対誤差は、海上は48.8%、陸上は88%、であり、どちらもリリース精度(海上は50%、陸上は120%)を達成した(図2)。なお、降水量アルゴリズムにおける輝度温度補正コードのバグの修正および、HDF格納時のスケーリングファクター変更のため、2013年12月にアルゴリズム更新を行い、MOSにおいて再処理を実施した。

AMSR2海面水温および海上風速アルゴリズムについて、開発者(気象庁 柴田氏)と協力し、2013年1月のレベル1アルゴリズム変更にあわせた調整を実施した。この結果、係留ブイとのマッチアップ比較を行ったところ、二乗平均誤差(RMSE)は、海面水温は0.56℃、海上風速は1.12m/sで、どちらもリリース精度(海面水温は0.8℃、海上風速は1.5m/s)を達成した。

AMSR2アルゴリズムについては、すべての物理量に関して、リリース精度を満たしていることが確認されたため、2013年5月から一般公開を開始した。

また、研究アルゴリズム候補として、10GHzを利用した海面水温(10GHz海面水温)および全天候型海上風速の提出が開発者(気象庁 柴田氏)よりあり、2013年10月とり、これらについて、EORCのAMSR2高次処理システムで準リアルタイム運用を開始した。10GHz海面水温の画像については海上保安庁に、全天候型海上風速データについては気象庁に、それぞれ提供を行っている。

### 3.4 国際活動の推進

平成26年1月13-14日に東京にて、第4回GPMアジア降水データ利用技術会合を開催し、国内外から70名の参加を得た。海外からの参加は15名であり、14名がアジア諸国からの参加だった。この会合は、GPM主衛星の打上げに向けて、GPMデータの利用情報、アジアにおけるGPMデータの検証・利用計画の推進を目的に開催された。また、気候モデルコミュニティとの情報交換・連携を強化することを目的とし、東京大学大気海洋研究所が主催する「CMIP5マルチモデルデータを用いたアジア域気候の将来変化予測に関する研究に関する第2回国際ワークショップ」と合同開催とし、国内外の多くの研究者の参加を得た。

高解像度海面水温に関する国際グループ(GHRSSST)へのJAXA貢献として運営している、JAXA GHRSSSTサーバにおいて、2013年6月より、AMSR2、AMSR-E、Windsat、VIRSの海面水温データをGHRSSSTのフォーマットで提供を開始した。また2月中にこれらの準リアルタイム処理を開始する予定である。



### 3.5 GSMP、AMSR2 を利用した共同研究・利用推進

GSMP データ利用の登録数は、順調に増加しており、2014 年 1 月末現在、登録数は 722 名（1 年前は 436 名）。また、民間企業の試行的利用については、現在 6 件実施している。GSMP に関連して、今年度より、新たに日本気象協会（第二期）、水資源機構との共同研究を開始した。日本気象協会との共同研究においては、tenki.jp での気象予報士のコラム欄にて、2 回取り上げられた。

土木研究所（ICHARM）および国際建設技術協会（IDI）との三者協定の下で行っている共同研究では、ICHARM とは、パキスタン、インドネシア等の河川域での洪水事例に関して、GSMP と地上観測データの比較検証を行った。

GPM 打上げ時の広報活動を多く実施し、プレスキット用のパンフレット「日本 GPM 計画データ利用概要」の作成（種子島での L-1 プレスブリーフィングにて配布予定）、GPM 打上げ広報動画「雨雲を、味方にせよ。～ GPM 計画とその利用について～」の作成（打上げ番組、および、YouTube で公開予定）、DPR 観測原理の説明動画の作成、GPM 初画像の作成検討などを行った。

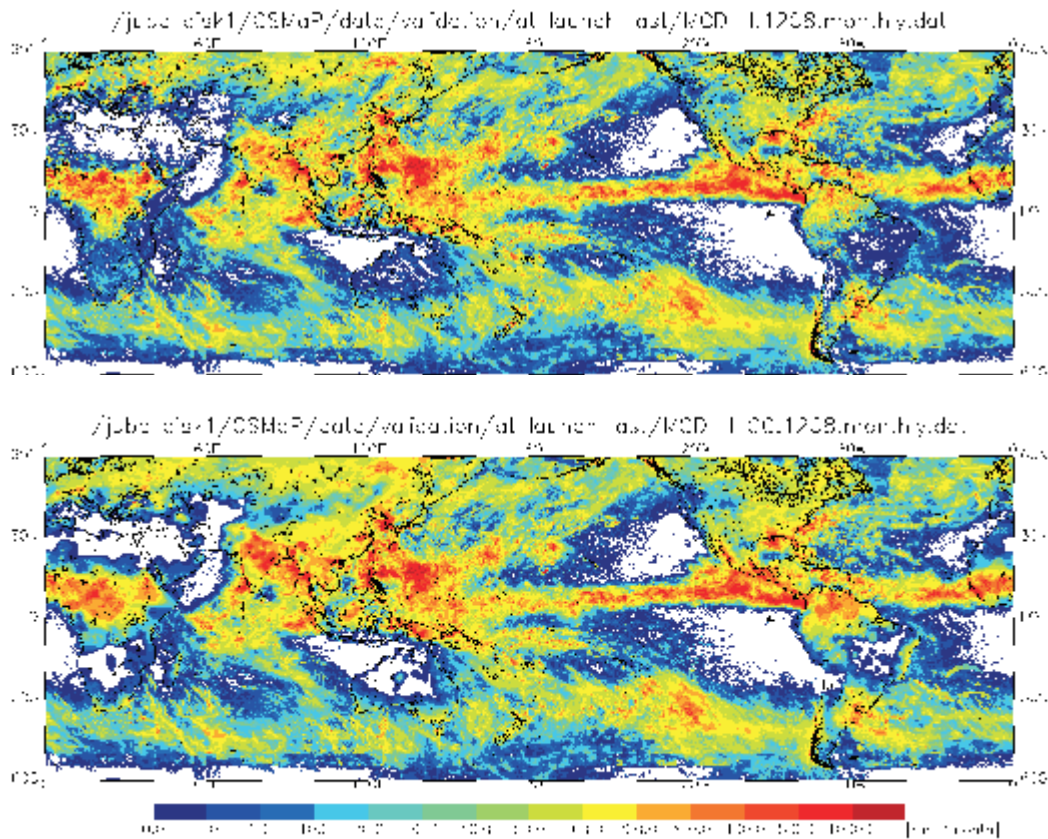


図1 GPM 用 GSMP At-launch コードの出力結果（2012 年 8 月の月平均）。上：月平均降水量、下：雨量計補正月平均降水量。

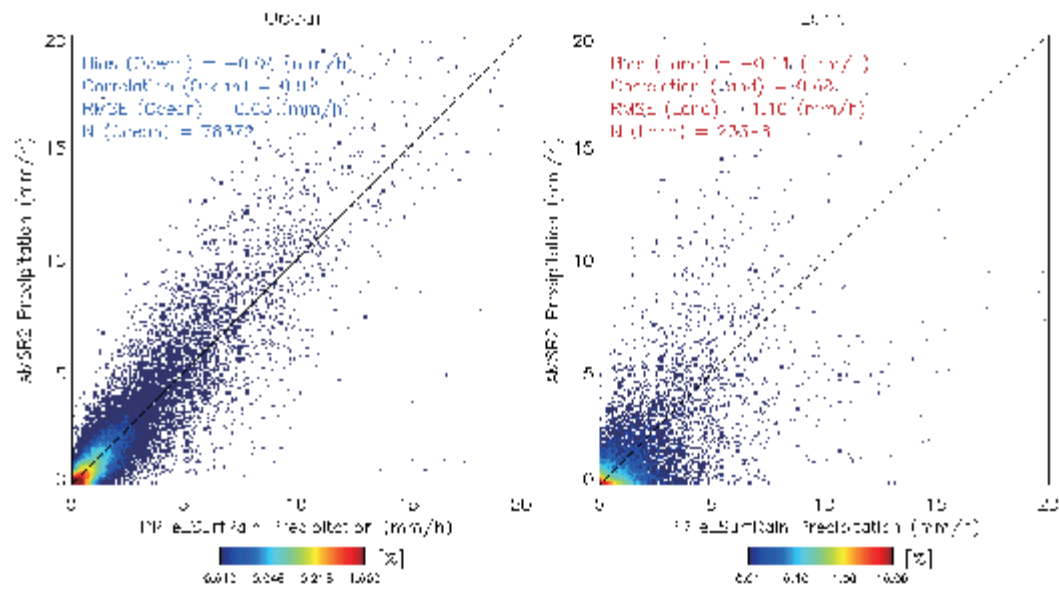


図2 AMSR2 標準降水量プロダクトの検証結果。TRMM/PR とのマッチアップ（2012 年 9 月 1 日～2013 年 8 月 31 日）による。

### 3.6 EarthCARE 利用研究の成果概要

沖 理子

#### はじめに

EarthCARE 利用研究は、アルゴリズム開発は試作・開発を、校正・検証についてはプロダクト検証計画の策定を行った。利用研究として国内 EarthCARE サイエンスチームや EarthCARE 委員会の運営を通じて、また ESA（欧州宇宙機関）とアルゴリズム開発・科学研究について JADE（Joint Algorithms Development Endeavour）/ JMAG（Joint Mission Advisory Group）を共同運営した。これらを通じてユーザーとの密な連携を継続した。

#### (1) アルゴリズム開発

##### ① プロダクト表改訂、アルゴリズム開発

JAXA が提供する標準高次（レベル 2）プロダクトは、CPR 単体、ATLID 単体、MSI 単体、CPR-ATLID 複合、CPR-ATLID-MSI 複合、4 センサ複合プロダクトの 6 種類である。委託研究によるアルゴリズム開発研究者からなるサイエンスチームの運営を通し、アルゴリズムの開発・試作を継続実施した。単センサ・2 センサアルゴリズムについては昨年度完成させた出力ツールキットを実装した Ver.0.15 に対して、MOS 処理システムに準拠したアルゴリズム Ver.0.16 を提出した。

##### ② ATBD（アルゴリズム理論説明書）の維持改訂

昨年度作成しホームページ等に公開した ATBD 初版に対して、B 改訂を実施した。

##### ③ Joint- シミュレータ開発

アルゴリズム開発の一環として Joint- シミュレータ開発を継続した。これは EarthCARE 各センサの観測データを統合的にシミュレートできるソフトウェアで、全球雲解像大気モデル（NICAM）のデータを用いて模擬センサデータ開発を行っている。今年度は L2 アルゴリズム評価のために、L1b 模擬データ（CPR、ATLID、MSI）を開発者へ提供した（8 月）。それを受けて開発者による L2 アルゴリズムの初期評価を実施し、その結果として Joint-Simulator、アルゴリズムの双方の課題が識別された。

また「地球観測衛星のミッションデータ処理に関する End-to-End 確認環境実現に向けた試作・検討」として、JAXA/EarthCARE プロジェクトと ESA が開発しているセンサシグナルシミュレータ（ESSS、ECGP）と Joint-Simulator の結合に着手した。今年度は Joint-Simulator の出力を CPR L1 フォーマット（HDF）に加工する作業を実施した。

#### (2) 校正・検証

打上げ後地上検証の実施計画書を作成するために、検証 PI とプロダクトのマッチングを実施した。また NASA の A-Train データによる検証リハーサルに向けて、検証 PI へデータ提供を開始した。検証リハーサルを踏まえ、検証頻度・場所・手法等を検証実施計画書に反映する。更に検証 RA において多くの提案があった「A-train 衛星と同期したフィールド実験」の計画に必要な、衛星通過位置の予測情報を、リアルタイムに提供するシステムについて CloudSat 将来軌道可視化システムとして開発し、サービスを開始した。

### (3) 利用研究・利用促進

#### ① サイエンスチームの運営

委託・共同研究によるアルゴリズム開発者からなるサイエンスチームを組織、運営した（H24～アルゴリズム 6 件、H25～検証 14 件）。アルゴリズム開発実務者会合（5 月）、サイエンスチーム会合（6 月）検証会合（11 月）、Joint-Simulator 会合（12 月）の開催を通じて、開発スケジュールに沿って着実にアルゴリズム開発を実施するとともに、打上げ後の地上検証実施計画書作成の作業を進めた。特に検証計画については、NASA の A-Train データを用いた検証リハーサルの具体的作業スケジュールを決め、作業に着手した。

#### ② EarthCARE 委員会

国内関連研究者・データ利用者からなる EarthCARE 委員会の運営を通じて、国内ユーザの獲得に努めた。今年度は 5 月に委員会を開催し、ドップラー精度仕様変更等に伴うプロダクト表の変更を承認いただいた。

#### ③ ESA との合同アルゴリズム開発会議（JADE: Joint Algorithm Development Endeavor）および日欧合同科学者会議（JMAG: Joint Mission Advisory Group）

ESA と共同で、JADE および JMAG を 7 月と 1 月に開催し、欧州との調整を行った。日本側サイエンスチームから日本の検証サイトを考慮した軌道要求を ESA へ行ったり、合同地上検証の検討、打上げ後データリリースの考え方や時期の調整に着手した。

#### ④ データ利用機関調整

EarthCARE データの利用機関として、気象庁・気象研究所との調整を行った。その他機関ユーザに対しても、データ伝送・要求プロダクト・利用用途に関する調査を実施した。

#### ⑤ 気象学会 EarthCARE セッション

秋季大会にて EarthCARE セッションを開催。150 人規模の参加を得た。

#### ⑥ 広報・普及

ウェブページでの情報発信、学会等での展示を実施、また EarthCARE Workshop 2014 の準備に着手した。

### まとめ

EarthCARE 利用研究は、アルゴリズム Ver0.16 版の提出、ジョイント・シミュレータの開発を計画通りに実行することができた。また打上げ後検証実施計画書作成のための作業に着手した。同時に ESA 調整を実施するとともに、EarthCARE 委員会を通じたユーザ調整を行った。



### 3.7 EarthCARE 高次アルゴリズムの開発

平形 麻紀

#### 1. はじめに

雲エアロゾル放射ミッション（EarthCARE）は、気候変動予測における大きな不確定要素となる雲とエアロゾルの放射強制力の評価、及び雲とエアロゾルの相互作用の観測を目的としている。EarthCARE には、JAXA-NICT が開発した雲プロファイリングレーダ（Cloud Profiling Radar: CPR）、ESA が開発した大気ライダ（Atmospheric Lidar: ATLID）、多波長イメージャ（Multi-Spectral Imager）及び広帯域放射収支計（Broadband Radiometer: BBR）が搭載される。

JAXA が提供する代表的な高次プロダクトは、CPR 単体、ATLID 単体、MSI 単体プロダクト、CPR-ATLID 複合、CPR-ATLID-MSI 複合、4 センサ複合プロダクトの 6 種類である。その中でも、本研究では、CPR 及び CPR-ATLID 複合プロダクトに含まれている雲粒子タイプ（雲相や氷粒子の形状、降水）を導出するアルゴリズムの開発と、ATLID の雲粒子タイプアルゴリズムの検証を行なった。

#### 2. 今年度の研究計画

今年度の目標は雲粒子タイプを導出するアルゴリズムの開発を遂行することであった。具体的には、衛星データ（CloudSat、CALIPSO 等）の解析を通してアルゴリズムを改良すること、学会発表等を通してアルゴリズムの意見交換・情報収集すること、及び EarthCARE 高次アルゴリズム開発の進捗を管理することであった。

#### 3. 今年度の研究成果

今年度の主な成果は、CPR の雲粒子タイプアルゴリズムの改良を行い、AMSR-E データを用いて、アルゴリズムの検証を行ったことである。

昨年度は、TRMM 降水量プロダクトを用いて CPR の降水識別手法を開発したが、今年度は降水をさらに降雪と降雨に分け、最終的に、雲粒子タイプを① Warm Water、② Supercooled Water、③ 3-D Ice、④ 2-D Plate、⑤ 降雨、⑥ 降雪に分類した。図 1 に 2006 年 7 月 26 日 4:52UTC 付近における事例解析結果を示す。CALIPSO のライダー（CALIOP）では検出不可能であった光学的に厚い雲や降水に対しても、本研究の CPR アルゴリズムによってタイプ分類されていることがわかる。また、緯度 23 ～ 25° 付近において、AMSR-E の降水量と今回新たに加えた降水検出の整合性が取れていることがわかる。

その他、今年度は、EarthCARE の衛星データシミュレータ（Joint-Simulator）による EarthCARE/CPR L1b 相当のデータに、本アルゴリズムを適用した結果と、全球雲解像モデル NICAM の粒子タイプ（cloud water、cloud ice、rain、snow、graupel）を比較した。Joint-Simulator では、CPR によるドップラー速度観測のシミュレーションも可能であるため、ドップラー速度を導入した CPR アルゴリズムの開発に着手し、雲粒子タイプ識別に変化が現れることを確認した。氷雲と降雨では終端速度に違いがあるため、ドップラー速度により、その識別が改良することが期待される。秋季気象学会にて研究発表を行い、有意義な意見交換及び情報収集ができた。また、CALIOP 雲粒子タイプ識別アルゴリズムの評価に関する結果をまとめ、Journal of Atmospheric and Oceanic Technology に投稿した。

EarthCARE 高次アルゴリズム開発全体としては、当初計画していた検証計画策定準備、サイエンスチームの運営、ATBD の改訂等に加え、機関ユーザの要望調査とその整理を行った。

### 3. TRMM/GPM/EarthCARE 利用研究



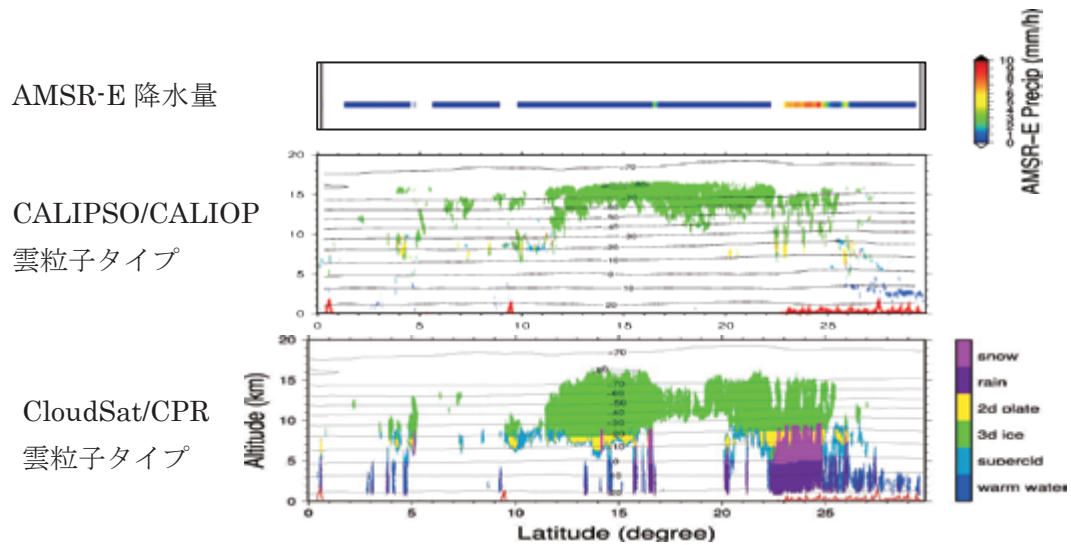


図1 2006年7月26日4:52UTC付近における AMSR-E 降水量（上段）、CALIOP 雲粒子タイプ（中段）CPR 雲粒子タイプ雲粒子タイプ識別（下段）。

#### 4. 来年度の計画

来年度の主な計画は、本研究の結果をまとめることとレーダ・ライダー複合雲粒子タイプ識別アルゴリズムを開発することである。EarthCARE の高次アルゴリズム開発のマイルストーンでは、上述した CPR 及び CPR-ATLID 複合アルゴリズムのバージョン 0.2 を提出する予定である。

## 3.8 EarthCARE 地上検証手法の検討

野牧 知之

## 1. はじめに

EarthCARE の標準・研究プロダクトの検証活動は、本年度より研究公募により選出された研究代表者（以下、PI という）から構成されるサイエンスチームとの協力・分担体制のもので実施されている。

第 1 回研究公募（検証）では、EarthCARE 打ち上げ後の検証実施計画の作成を目的として、国内外 14 件の提案が採択された。EORC/EarthCARE 利用研究グループでは、提案された検証対象プロダクトと検証手法の評価をおこなうとともに、サイエンスチーム代表研究者に対し、既存の衛星データを用いた検証用データ（検証リハーサルデータ）の提供、フィールド検証実験計画を支援するための衛星軌道情報の提供をおこなった。

## 2. 検証リハーサルデータセットの整備

衛星観測データとフィールド観測や過去キャンペーン実験データとの比較をおこなう検証計画案件において、EarthCARE 衛星の観測センサに類似した特徴を持つ A-Train 衛星群による観測データをもとにしたデータセットを作成し、これらとフィールドデータやキャンペーン観測データ等との比較検証（検証リハーサル）をおこなう。

検証リハーサルデータとは、Aqua、CloudSat、CALIPSO などの A-Train 衛星データを入力として、現在開発を進めている EarthCARE 各センサアルゴリズムによる計算をおこない、その出力結果をデータセット化した、いわば EarthCARE 衛星の模擬的なデータセットである。

本年度は、表 1 に示すような検証リハーサルデータセットの作成をおこなった。

作成された検証リハーサルデータセットの整備状況や取扱ドキュメントは、PI 向けのウェブサイトにて情報公開し、データ本体は FTP サイトよりダウンロードできるようにシステム整備をおこなった。

表 1: 本年度作成した検証リハーサルデータセット

データ (物理量)	対象地域	対象期間	アルゴリズム 開発者	備考
CloudSat/CALIPSO (cmask/ctype/microphysics)	全球	Jul - Aug 2007 Oct 2009 May-Aug 2013	岡本 創 (九州大学)	CPR 検証用
CALIPSO (aerosol FM/aerosol extcoef)	全球	Jul - Aug 2007 Oct 2009	西澤智明 (環境研)	ATLID 検証用
MODIS (radiance/img/cmask/properties)	コスタリカ	Jul-Aug 2007	中島 孝 (東海大学)	MSI 検証用
	ニーオルスン 昭和基地	Oct 2009 Oct-Nov 2011 May-Jun 2012 May-Dec 2013		
	沖縄	May-Jun 2012		
	日本周辺	May-Dec 2013		

## 3. TRMM/GPM/EarthCARE 利用研究

### 3. 軌道表示ウェブシステムの開発

PIによる地上検証実験計画をサポートするために、現在運用中のクラウドサット衛星の軌道要素をもとに、将来の衛星通過予測位置を表示するツールをEORCで作成し、PI向けのウェブサイト上で公開した。

将来予測位置の表示方法は、KMZ形式ファイルを用いてデスクトップ上のグーグル™アースで表示する方法と、ウェブページブラウザでグーグルマップ上に表示する方法の2種類である。また、テキスト形式での経緯度情報をダウンロードできるようにした。

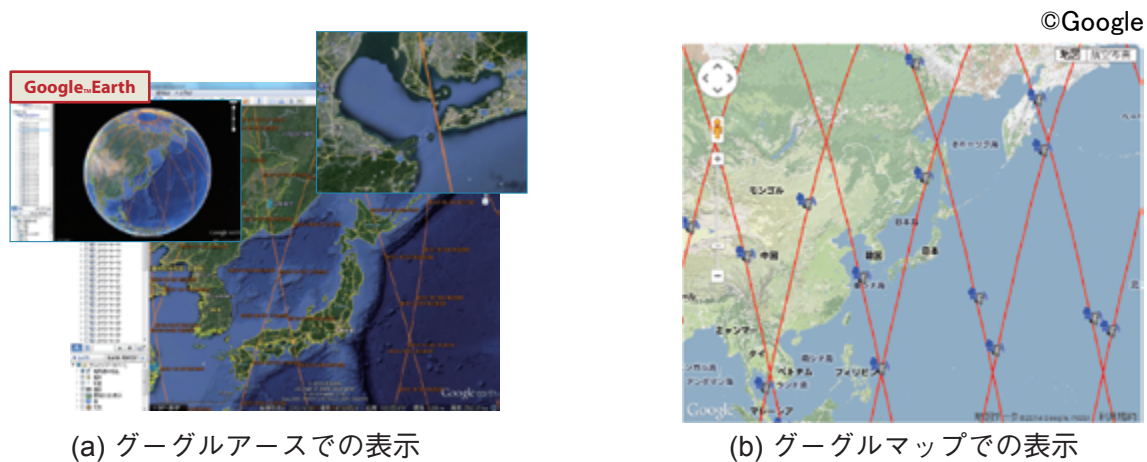


図 1: 将来予測軌道（クラウドサット）の表示例

将来予測位置の計算は、NASAのウェブサイトにて毎日更新される軌道要素データ（2行軌道要素形式：TLEデータ）を取得し、向こう48日分の通過位置（経度・緯度）の計算、kmzファイルやグーグルマップAPIに対応するJavaScriptの作成、ウェブページの更新などを自動処理でおこなうシステムをEORC計算機システム上に構築した。

現在、軌道情報ウェブページは、1日1回データの自動更新がおこなわれ、PI等の認証ユーザに対して閲覧可能としている。

なお、このような衛星将来軌道を表示する機能やツールは、他ウェブサイトやアプリケーション等でも利用可能なものがある（例、NASA/LaRC Satellite Overpass Predictor等）。本システムでは、PIによる地上検証実験計画をサポートするため、地上の詳細な拡大地図にまで表示を対応させること（グーグルアース等の利用）、TLEデータの更新にあわせて予測位置情報を更新し、過去データとの差異に関する情報を提供すること（マヌーバなどの影響を実験計画に反映しやすくするため）、を念頭において設計した。

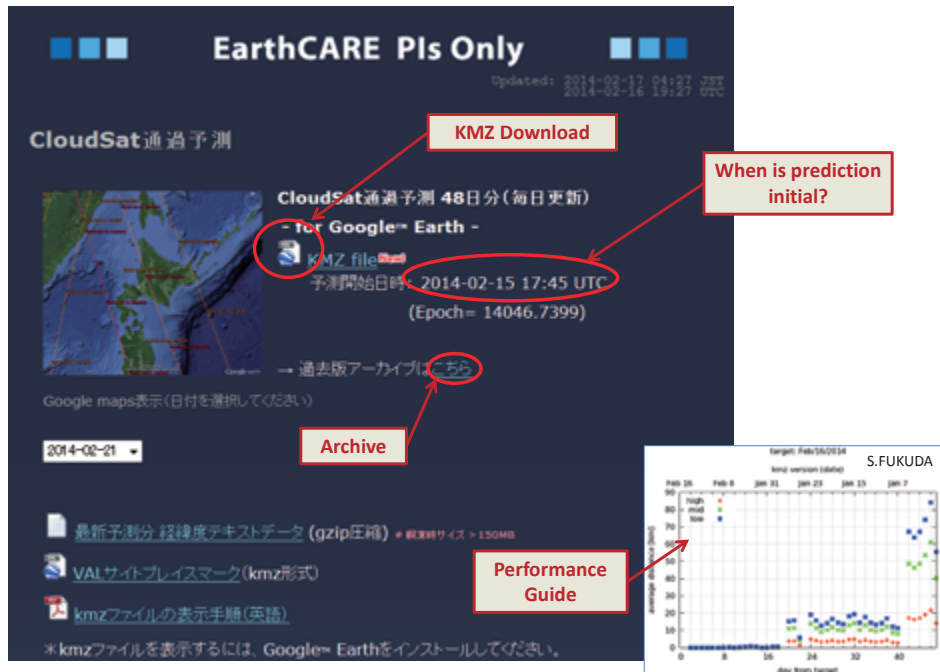


図 2: クラウドサット軌道表示ウェブページ (PI 向けページ)  
([http://www.eorc.jaxa.jp/EARTHCARE/auth/pis/cs\\_orbit\\_j.php](http://www.eorc.jaxa.jp/EARTHCARE/auth/pis/cs_orbit_j.php))

#### 4. 今後の課題

検証リハーサルについては、検証 PI からの検証計画とリクエストに準じたデータセット整備をさらに進めることが課題である。

軌道表示ウェブシステムについては、検証実験計画において有用情報である幾何学的な位置情報（検証サイトから見た衛星の天頂角、方位角、直下点までの最短距離など）の出力に対応させるなどの高機能化が課題として挙げられる。また、本システムは標準的な衛星軌道情報（TLE データ）に対応しているため、CloudSat 以外の衛星についても同様の軌道表示をさせることが可能であり、JAXA の各衛星を対象とした汎用的な衛星軌道表示ツールに応用することも可能である。これにあたっては、TLE データの外部からの取得に関して、現時点では EORC 計算機システムにおけるセキュリティ運用上の調整が課題である。

### 3.9 EarthCARE/MSI を主たる目的としたアルゴリズムの開発

福田 悟

#### 1. はじめに

雲エアロゾル放射ミッション (EarthCARE) は JAXA, NICT, ESA の共同ミッションで、2016 年の打ち上げを予定している。CPR (雲レーダー)、ATLID (大気ライダー)、MSI (イメージャ)、BBR (放射計) の 4 つの測器が搭載予定であり、前者 2 つは能動型、後者 2 つは受動型の測器である。本研究では、光学イメージャである MSI 用のエアロゾル導出アルゴリズムの開発をおこなっている。本年度は、海域および陸域での誤差検討とアルゴリズムの開発を目標とした。

#### 2. 0.68 $\mu\text{m}$ での地表面反射率の推定

陸域では、0.68  $\mu\text{m}$  の波長において衛星が観測する反射率と地表面反射率 + 分子散乱大気の反射率との差分をつかってエアロゾルの導出をおこなう。地表面反射率の推定は大きく分けて二通りの方法がある。1 つ目としては、ある一定のウインドウから最小反射率を選ぶ、最小反射率法であり、2 つ目としては、より長い波長から当該波長の地表面反射率を推定する方法である。2 つ目の方法としては MODIS のダークターゲット法があげられる (Kaufman et al, 1996)。MODIS のダークターゲット法では、2.2  $\mu\text{m}$  の反射率から 0.44  $\mu\text{m}$  と 0.68  $\mu\text{m}$  の反射率を推定しているが、本研究では、1.6  $\mu\text{m}$  から 0.68  $\mu\text{m}$  の反射率の推定について検討した。そのため、GOSAT/TANSO-CAI の最小反射率データから、1.6  $\mu\text{m}$  と 0.68  $\mu\text{m}$  の反射率の散布図を NDVI 別に作成して、両者の相関関係を調べた。すると、NDVI の小さな領域では両者の相関は弱い、NDVI が大きくなるにつれて、両者の相関関係が強くなることがわかった。この手法を使った場合の誤差を見積もったところ、NDVI が 0.5 以上 0.7 以下の場合、AOT の誤差に換算しておよそ 0.18 程度であり、NDVI が 0.7 以上の場合、AOT の誤差に換算して 0.14 程度となることがわかった。

#### 3. エアロゾルモデルについて

MSI ではエアロゾルの抽出に使用可能なバンドが陸域で 1 つ、海域で 2 つであるため、導出可能な物理量はそれぞれ最大で 1 つ、および 2 つである。導出されない物理量については気候的な平均値をもちいることになる。そのことによって生じる誤差を見積もった。AERONET (Aerosol Robotic NETwork) の観測データをもちいて、地域別の SSA と Angstrom Exponent の平均値を図示したものを図 1, 図 2 に示す。これによれば、SSA@675nm は北米や北アフリカ、西アジアで大きな値をとり、南アフリカ、南米、東アジア、東南アジアで小さな値をとることがわかった。Angstrom Exponent は、北アフリカや西アジアで小さな値をとり、欧州、北米、東アジアで大きな値をとることがわかった。北アフリカや西アジアではダストのため大粒子が卓越するのに対して、欧州、北米、東アジアでは硫酸塩やススのような小さな粒子が卓越するためであると考えられる。AERONET のデータから領域別のエアロゾルモデルをつくるため、クラスター分析による手法をもちいた。また、AERONET のデータは点のデータであるのに対し、衛星の観測は面のデータであるため、その間のエアロゾルモデルを決定するために線形分類器をもちいた手法を構築中である。



#### 4. 検証の準備

CloudSat の軌道データから、TLE（二行軌道要素）の違いによる軌道のずれを計算し、グラフで可視化するプログラムを作った。このグラフは TLE の更新に伴い毎日更新される。このグラフによって、(1) 時間がたつほど（使っている TLE が古いほど）誤差が大きい。(2) 誤差は連続的に増大するわけではなく、orbit maneuver などのイベントで断続的に増える。(3) 低緯度ほど誤差が大きく、高緯度ほど誤差が小さい (3) ということが可視化される。

#### 5. 外部発表など

イメージャをもちいたエアロゾルのリモートセンシングに関する論文である “New approaches to removing cloud shadows and evaluating the 380-nm surface reflectance for improved aerosol optical thickness retrievals from the GOSAT/TANSO-Cloud and Aerosol Imager” が、AGU の発行している査読付き英文雑誌である “JGR (Journal of Geophysical Research) : Atmospheres” にアクセプトされた。その他に、平成 25 年度はポスターや口頭の発表を 3 件おこなった。

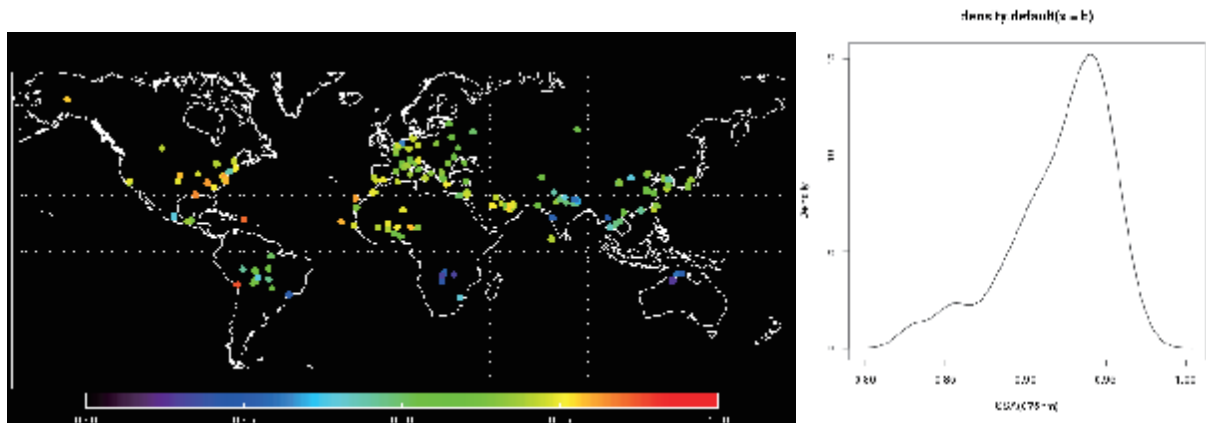


図 1: SSA @675nm (AERONET) の平均値の分布とそのヒストグラム

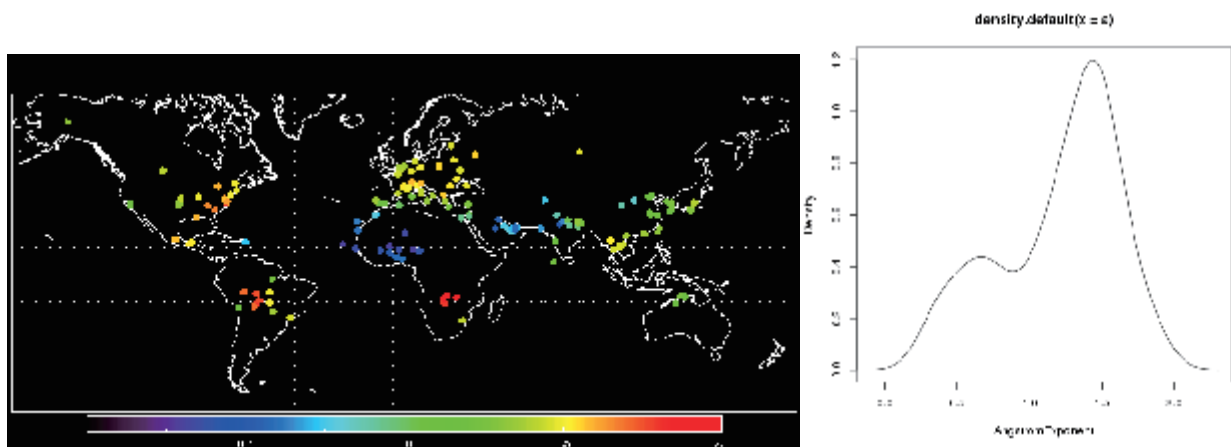


図 2: Angstrom Exponent (AERONET) の平均値の分布とそのヒストグラム

## 4. GCOM 利用研究

## 4.1 GCOM 利用研究の成果概要

今岡 啓治

## 1. はじめに

GCOM 利用研究では、GCOM-W と GCOM-C のアルゴリズム開発・改良、校正検証、地球科学研究、利用促進などの研究活動を実施した。GCOM の長期継続観測への反映や実利用実証のための AMSR-E や MODIS などの既存データの解析研究、分野間・機関間の連携を進めるための EORC 横軸研究などへの参加、CEOS 等の国際枠組みへの協力活動なども含んでいる。

## 2. アルゴリズム開発・改良・校正検証

## (1) GCOM-W 関連

2012 年 5 月 18 日の衛星打上げ後の初期校正検証期間を継続し、地球物理量プロダクトの一般公開を行う重要な年度となった。2013 年 1 月の輝度温度プロダクトの一般公開以降、代表研究者 (PI) や JAXA 関係部署と連携してアルゴリズム改良・調整、および校正検証を進めた。輝度温度プロダクトについては、AMSR2 と AMSR-E/TMI 間の相互校正係数を導出し、利用者向けに情報を公開した。地球物理量算出に際しては、そのアルゴリズムの多くが AMSR-E データをもとに開発されてきたことから、基本的には AMSR2・AMSR-E 間の相互校正係数を輝度温度へ適用し、地球物理量算出を行う手続きをとった。海面水温など、精密な輝度温度精度を必要とするものについては、PI によりさらに詳細な調整がなされている。積算水蒸気量は高層気象観測と GPS 可降水量、海面水温・海上風速は海洋ブイデータ、積雪深は地上気象官署における現場観測データとヤクーツクにおける特別観測データを主に用いて検証を行った。積算雲水量は検証データ入手が難しいため、晴天域におけるばらつきやバイアスの評価、海氷密接度は MODIS の可視画像から算定した密接度との比較を実施した。土壌水分についてはモンゴル、タイ、オーストラリアの検証サイトを運用し、取得した現場データとの比較検証を実施した。評価期間は短く、今後も継続した検証が必要であるが、現時点で全てのプロダクトについてリリース基準精度を達成し、2013 年 5 月から地球物理量プロダクトの一般公開を開始した。AMSR-E の低速回転 (2rpm) 観測も継続しており、AMSR2 との一次的な相互校正結果も得た。結果は他の相互校正結果と整合性があり、今後その理由を解明した上で、必要に応じて輝度温度算出過程の見直しが必要となる。

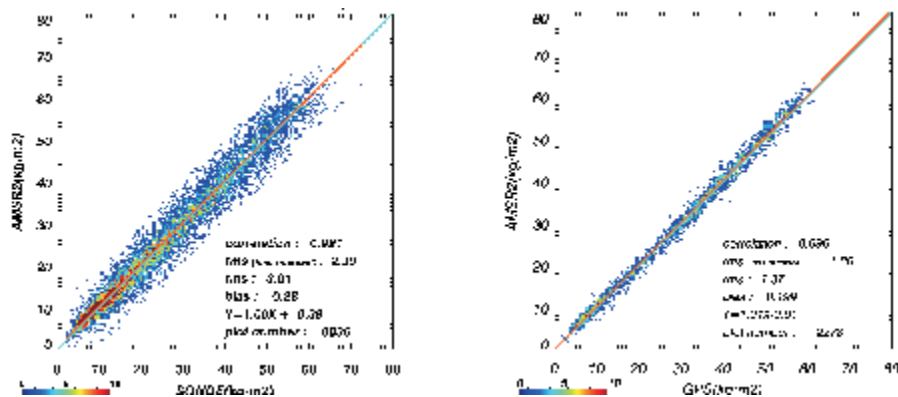


図 1 AMSR2 積算水蒸気量の検証例。

左図が高層気象観測データ、右図が GPS 可降水量データを用いた検証結果。AMSR2 と同時刻観測のデータを選択できる GPS 可降水量の検証結果が良好となっている。

## 4. GCOM 利用研究

## (2) GCOM-C 関連

今年度は第4回研究公募の初年度となり、新規PIを加えたアルゴリズム課題の整理（処理フローや、PIとJAXAの作業分担）、検証計画の調整などを通じて連携体制を構築した。PIおよび内部研究により、地上光学観測・既存衛星データ・地上現場データ等を用いたアルゴリズム精度評価と、模擬SGLIデータを用いた処理試験を実施し、作成コードを地上システム開発側へ提供した。処理コードの実装と試験については、EORC内の分野毎担当者が主体的にPIと調整しながら作業を進めた。分野間共通課題として、検証観測・誤差評価を取り上げてワークショップを開催し、現場観測についての分野間情報交換や打上げ後検証観測の具体的な議論を開始した。雲フラグ検証用の全天カメラについて各所で運用を継続するとともに、南極観測船「しらせ」上での観測向けに設置作業を実施した。また、積雪光学観測実験や地上3Dレーザスキャナ観測、陸域タワー観測なども継続しアルゴリズム開発のための基礎データを取得した。センサ研究室の協力を得た現場観測測器精度保持のための校正試験については、積分球に加え波長校正用ランプ等も利用し、千葉大、気象研究所、富山大等の参加を得て複数回実施した。プロジェクト側では迷光・偏光等のSGLIハードウェア課題について対応策を検討しているが、各種シミュレーション解析や利用の観点からの影響評価などを実施し、SGLI開発へ貢献を果たした。

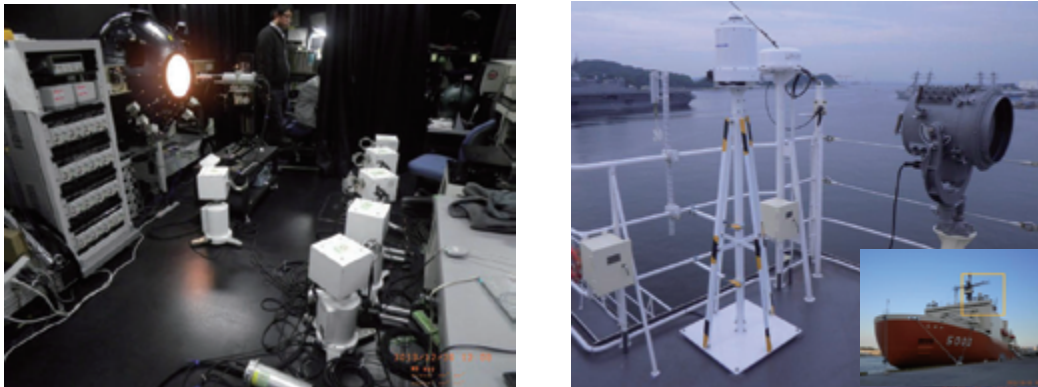


図2 筑波宇宙センターにおける積分球等を用いたスカイラジオメータの校正作業の様子(左)と全天カメラの南極観測船「しらせ」への搭載作業の様子(右)。

## 3. 地球科学研究・利用促進

GCOMデータによる気候変動観測・解析の事前実証、および新たな利用者開拓を目的として、MODIS、AMSR2、AMSR-E、WindSatなどの既存データを用いた高次処理、データ提供、および利用研究を実施した。AMSR2やMODISの地球物理量画像やデータを公開するJASMES（JAXA Satellite Monitoring for Environmental Studies）を続けて運用するとともに、新たに陸面温度プロダクトなどの新規情報を追加した。年度中に100名を超える新規利用登録を得た。マイクロ波放射計を用いた長期データセットとしては海水データセットの構築をほぼ終えており、平年値としての将来の活用を念頭に気象庁へのデータ等提供を行い、共同で結果の評価を行っている。他に、積算水蒸気量の長期データセット構築に着手し、アルゴリズム調整のため1987年からのSSM/Iデータ等と高層気象観測、気象庁再解析データであるJRA55のマッチアップデータ作成を行った。また、昨年度までに相互校正を完了した1980年

## 4. GCOM 利用研究

～2008年のNOAA/AVHRRデータをもとに、積雪面積値の解析を開始した。現在までにMODISとの整合性を確かめており、今後過去へ解析をさかのぼる予定である。長期解析にあたっては、AVHRRの観測地方時のドリフトなど、様々な技術的要因の克服が必要である。

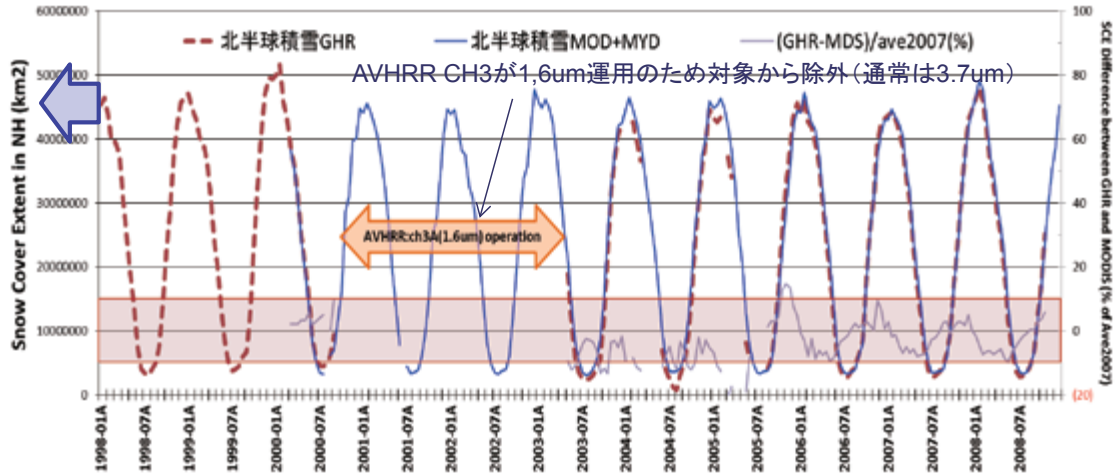


図3 1990年代に拡張した北半球積雪面積の年々変動（実線：MODIS、破線：AVHRR）。

2013年5月のAMSR2地球物理量プロダクト公開を受けて、気象庁の全球日別海面水温解析、数値天気予報、海水解析、農林水産省の海外食料需給レポート作成、米国海洋大気庁（NOAA）の熱帯低気圧監視等への試験利用、JAMSTECの海洋地球研究船「みらい」、南極観測船「しらせ」等各種船舶の航行支援用海水データ利用、ウェザーニューズ社による海水予測モデルへの試験利用・評価など、様々な分野における利用が開始された。また、世界の雨分布速報（GSMaP\_NRT）へのAMSR2降水量導入も行われた。データ利用促進を目的とし、関係機関との共同研究等を進めた。水産総合研究センターとの共同研究を継続し、大分湾の赤潮時の現場観測への参加機会を得て、衛星観測反射率によるプランクトン種の識別可能性に関する検討を実施した。また、GCOM-C打上げ後の検証観測についても具体的な議論が開始された。気象庁の新規利用開拓を目的として、AMSR2全天候風速の提供を開始するとともに、気象研究所のエアロゾルモデルへのMODIS・SGLI輝度データ同化に向けた協力を進捗した。海上保安庁との協定に基づき、湾内環境、海洋速報、海水監視の各テーマについて協力を進めた。海洋速報では、従来からEORC提供のMODIS海面水温画像が使用されていたが、さらに利便性を高める改良を行うとともに、新たにAMSR2の10GHz海面水温の利用が開始された。当初は6.9GHzを利用した標準プロダクトの提供を予定したが、黒潮流路把握のため少しでも空間解像度を上げたいという要望に基づき、PIと協力し新たに10GHz海面水温の開発・検証を実施した。2013年9月に公表されたIPCC第5次評価報告書第1作業部会報告書では、北極海海面氷面積の変化を示すデータとしてAMSR-Eデータが活用された。

#### 4. 連携協力・将来計画等

国際的な連携として、地球観測委員会（CEOS）の仮想コンステレーション（VC）活動および校正検証作業部会（WGCV）等にかけて貢献するとともに、2013年7月に気象庁とつくば市で共催した気象衛星調整会議（CGMS）への参加、および関連する全球衛星相互校正システム（GSICS）の各種会合

#### 4. GCOM 利用研究



に参加・対応した。GCOMに関するNOAA協力については、AMSR2データの校正検証を共同で進め、2013年11月に筑波宇宙センターで情報交換会合を実施した。AMSR2相互校正についてはGPMのマイクロ波相互校正作業部会とも連携している。海面水温VCの科学母体である高解像度海面水温グループ(GHRSSST)に対し、GHRSSSTフォーマットによるAMSR2、WindSat、AMSR-E、VIRS等の海面水温データ提供を開始した。オーストラリア気象局はこれらのデータを現業海洋モデルに使うべく検討を進めている。内部連携としては、EORCの生態系・水循環の横軸研究との連携を続けている。GCOM-W後継ミッション検討として、NASA/JPLおよびインド宇宙研究機関(ISRO)とのマイクロ波放射計・散乱計複合ミッションに関する協力の具体化を進め、年度末までに三者協力による科学要求文書を取りまとめた。

## 5. 今後の予定

GCOM-Wについては、2014年度中の標準プロダクト改訂を検討している。相互校正結果に基づき輝度温度プロダクトの改良を検討するとともに、地球物理量プロダクトについてはさらに検証データを増やし詳細な評価を行う予定である。また、現在複数の候補を挙げている研究プロダクトについて、内容の具体化と評価を経て確定したい。加えて、AMSR-EとAMSR2のアルゴリズム共通化を図り、整合性のあるデータセット作成の検討を始める。GCOM-Cについては、2014年度半ばを目処にPIからの第2回のアルゴリズム提出を受ける予定であり、これらの実装と評価を行い打上げ版のコード開発を進めるとともに、EORC担当のアルゴリズムについても確実に開発する。打上げ予定を2年後に控えていることから、次年度は分野間共通課題として「データ利用と検証計画」を掲げてワークショップで議論を行い、具体的な打上げ後検証計画策定と利用促進検討を行う予定である。また、2014年度に気象庁が打ち上げる予定のひまわり8号では、時間・空間解像度と観測チャンネル数が飛躍的に発展する。ひまわり8号と相補的な関係にあるGCOM-Cとは様々な連携が期待されるため、他分野・プロジェクトと協力して気象庁連携にも貢献していく予定である。

## 4.2 GCOM-W1/AMSR2 L1B 評価の実施

奥山 新

### 1. はじめに

今年度は表題とした AMSR2 の評価に加え、GCOM-C1/SGLI の利用を踏まえた可視赤外イメージャの利用研究を行った。後者については 2013 年度気象学会秋季大会で報告したため、ここでは前者の AMSR2 評価について述べる。

GCOM-W1 に搭載されたマイクロ波放射計である AMSR2 の観測データからは、大気・海洋・陸面間における水・エネルギー交換の定量的把握に不可欠な海上風や土壌水分等の物理量が得られる。これらの物理量を十分な精度で求めるためには、AMSR2 が観測する地球からの放射エネルギー（輝度温度）が正しく目盛り付け（校正）されている必要がある。今年度は AMSR2 の輝度温度を格納したレベル 1B（L1B）プロダクトについて、精度評価手法の改善を行った。

### 2. AMSR-E との比較

NASA の地球観測衛星 AQUA に搭載されたマイクロ波放射計である AMSR-E は、AMSR2 とセンサ特性がほぼ同じであるため、精度評価の基準として最適である。AMSR-E は定常的な観測を停止していたが平成 24 年 12 月から回転速度を落として観測を再開している。AMSR-E および AMSR2 の観測値を直接比較したところ、両センサによる観測値の差が、輝度温度に応じて異なることがわかった。顕著な例を図 1 に示す。図 1（左）では輝度温度差が不連続に変化しているかのような挙動が見られるが、これは 18.7GHz-H に固有の事象である。チャンネルごとに差異はあるが、AMSR2 の方が輝度温度を最大 5K 高く観測する傾向にある。また、AMSR-E の定常運用当時のデータを AMSR2 と統計的に比較したところ、図 1 と矛盾しない結果が得られている。

### 3. TRMM/TMI との比較

NASA の地球観測衛星 TRMM に搭載されたマイクロ波観測装置である TMI は世界的にも利用実績の高いセンサであり、また太陽非同期軌道であることから AMSR2 との比較を行う上でも都合がよい。しかし両者のセンサ特性や観測条件は一致しないため、シミュレーションを介した“Double difference (DD) 法”で TMI との違いを評価する。評価には AMSR2・TMI 両者のマッチアップデータについて式 (1) で定義される DD 値を用いる。O は観測輝度温度、C は放射伝達コード“RTTOV”による輝度温度のシミュレーション値であり、添え字はそれぞれ対応するセンサ名を示す。

$$DD = (O_{AMSR2} - C_{AMSR2}) - (O_{TMI} - C_{TMI}) \quad (1)$$

差分同士の差をとることで、観測周波数や衛星天頂角の違い、大気プロファイルに起因する誤差等が打ち消される。海上における DD 値の全球分布の一例を図 2 に、一覧を表 1 に示す。図 2 では観測輝度温度が大きい赤道付近で DD 値が小さく、中緯度帯で比較的大きな値を取る傾向がある。表 1 では低輝度温度域と高輝度温度域の例として、海上および熱帯雨林における値を示した。チャンネルによる違いはあるが、AMSR2 の輝度温度は多くのチャンネルで TMI よりも高く観測する傾向にある。また DD 値は、89GHz 帯を除き、いずれも高輝度温度側で小さくなる傾向にある。昼夜・季節による変動はあまり見られない。なお、大気プロファイルによる放射計算への影響を確認するため 2 種類の大気プロファイルで評価したが、結果の違いは最大でも 0.3 K 程度であった。

## 4. GCOM 利用研究

#### 4. 比較結果の整合性

3節で示したDD値はAMSR-Eの観測値についても同様に求めることができる。理想的にはAMSR2・AMSR-EについてのDD値の差は、2節で示したAMSR2・AMSR-Eの比較結果に近い値を取ると考えられる。実際には直接比較とDD法とでは用いるデータの範囲が異なるため一致しないが、手法の整合性を確認するには有効である。それぞれの手法で求めたAMSR2とAMSR-Eの輝度温度差を図3に示す。一部のチャンネルで違いがあるが概ね整合性があると言える。

#### 5. おわりに

AMSR2の運用も1年を超え、明らかな季節変動・日変動は今のところ見られない。一方AMSR-Eとの直接比較で得られた不自然な結果(図1(右))については追跡調査が必要である。当面は2月に打上げが予定されているGMIデータとの比較評価を試みたい。

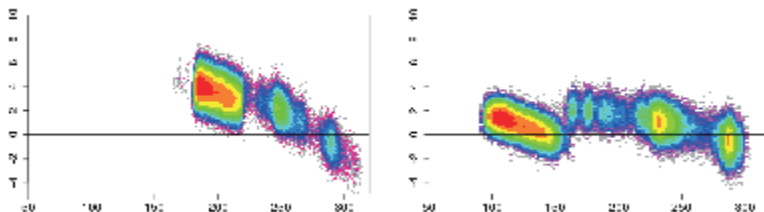


図1 AMSR2とAMSR-Eの直接比較の例(左:18.7GHz V、右:18.7GHz H)。横軸はAMSR2の観測輝度温度、縦軸は輝度温度差(AMSR2 - AMSR-E)。

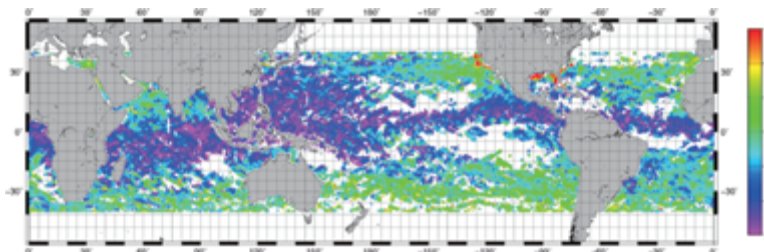


図2 AMSR2とTMIによるDD値の例(18.7GHz H・夜軌道)

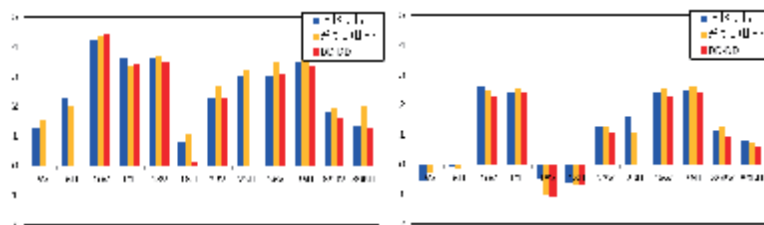


図3 直接比較・統計的比較とDD法によるAMSR2とAMSR-Eの観測輝度温度差(左:低輝度温度域(海上)、右:高輝度温度域(熱帯雨林)。縦軸は輝度温度差、横軸はチャンネル)。

表1 DD法によるAMSR2とTMIの観測輝度温度差。値は昼軌道(Ascending)と夜軌道(Descending)に分けて海上および熱帯雨林について示す。基準とした輝度温度をTBとし、TB周辺でのDD値を $\Delta T$ とする。

Ascending	ocean		rainforest	
	TB (K)	$\Delta T$ (K)	TB (K)	$\Delta T$ (K)
10.6V	180	4.2	287	2.1
10.6H	92	4.9	285	2.0
18.7V	206	3.4	287	-1.3
18.7H	132	2.0	285	-1.3
23.8V	238	3.9	288	1.8
36.5V	225	3.7	285	1.7
36.5H	161	4.7	285	1.8
89.0AV	270	1.4	287	1.4
89.0AH	243	2.5	287	2.2
89.0BV	270	1.7	287	1.6
89.0BH	242	2.3	287	2.5

Descending	ocean		rainforest	
	TB (K)	$\Delta T$ (K)	TB (K)	$\Delta T$ (K)
10.6V	180	4.1	282	2.1
10.6H	92	4.8	280	2.2
18.7V	206	3.5	283	-0.7
18.7H	132	2.0	281	-0.9
23.8V	238	4.3	285	2.2
36.5V	225	3.7	281	2.0
36.5H	161	4.5	281	1.6
89.0AV	271	1.2	285	1.3
89.0AH	244	2.4	285	2.1
89.0BV	271	1.7	285	1.7
89.0BH	243	2.2	285	2.4



## 発表資料

## GCOM-W1/AMSR2 L1B 評価の実施

奥山 新、今岡啓治  
JAXA/EORC

2014/01/20 EORC利用研究成果発表会

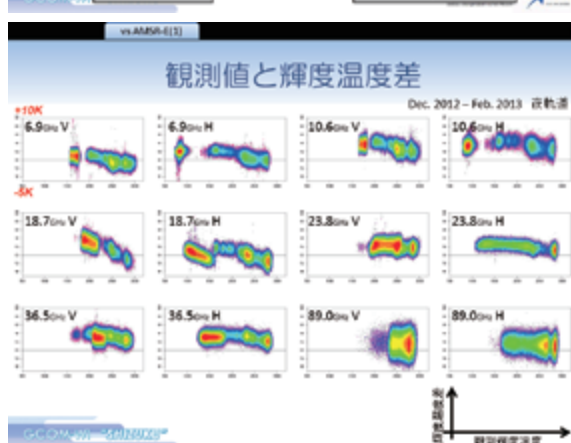
### AMSR-2 概要

- GCOM-W1 に搭載されたマイクロ波放射計
- 6~89GHzのマイクロ波を観測する受動型センサ
- 降水量、雨雲氷温、土壌水分、海水氷厚度等、気候変動のモニタに不可欠な地球観測等導出可能
- プロダクトのレベル
  - 輝度温度: L1A, L1B, L1R
  - 地球物理量: L2, L3

中核周波数 (GHz)	観測	空間分解能 (km)
6.925	VH	35 × 62
7.3		35 × 62
10.65		24 × 42
18.7		14 × 22
23.8		25 × 25
36.5		7 × 12
89.0		3 × 5

### AMSR-E 低速回転データ (L1S) との直接比較

- AMSR2とAMSR-Eのセンサ特性（観測周波数・衛星天頂角）はほぼ同一
  - データの取得に際して
  - 観測・地上・気候といったさまざまな観測等についての観測結果の評価が可能
- AMSR-E は2012年12月に回転速度を遅くして（40rpm→2rpm）運用を再開
  - 低速回転モード用にソフトウェア改修が実施された
  - 観測データはほぼ同等
  - 研究用プロダクトとして公開 (L1S)



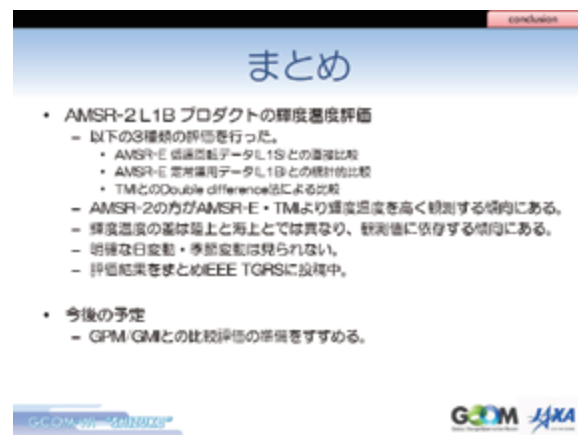
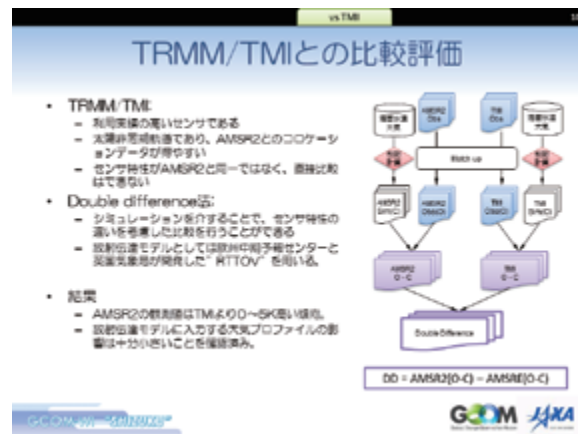
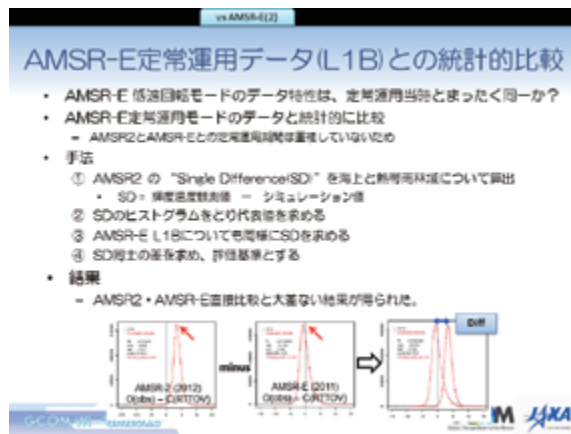
## Summary

- 今年度の実施業務
  - GCOM-W1/AMSR2 L1B評価
    - AQUA/AMSR-E 低速回転データとの直接比較
    - AQUA/AMSR-E 定常運用データとの統計的比較
    - TRMM/TMI とのDouble difference法による比較
  - 可視赤外イメージャの利用研究
    - 可視赤外イメージャの0.47 μm・0.86 μm帯を用いた強い降水域の抽出（2013年度秋季気象学会で発表）
    - NPP/VIRSデータを用いた短波長赤外チャンネルの校正

### 輝度温度評価

- 目的
  - AMSR2 L1B の観測輝度温度の特性を把握する。
- 期待される効果
  - 加減観測量プロダクトの精度向上
- 方法
  - 他のセンサと比較することで相対評価を行う。
  - 軌道上では絶対的評価基準がないため。
- 対象
  - AQUA/AMSR-E
    - 低速回転データL1Sとの直接比較
    - 定常運用データL1Sとの統計的比較
  - TRMM/TMI
    - Double difference法による比較





## 外部発表

Arata Okuyama and Keiji Imaoka, “Inter-calibration of Advanced Microwave Scanning Radiometer-2 (AMSR2) Brightness Temperature”, Transactions on Geoscience and Remote Sensing (under review)

Arata Okuyama and Keiji Imaoka, “Inter-calibration of the Advanced Microwave Scanning Radiometer2 (AMSR2) Level-1B dataset”, Microrad 2014

奥山新、村上浩、“可視赤外イメージャの 0.47um・0.86um 帯を用いた強い降水域の抽出”、2013 年度気象学会秋季大会



#### 4.3 マイクロ波放射計から観測される輝度温度を用いた海水厚推の推定

—海水のマイクロ波帯における誘電率—

直木 和弘

##### 1. はじめに

2012年9月に北極海の海水は、1978年以降最も縮小した。一方2013年10月には南半球の海水が観測史上最大となった。このように、現在変動が激しい海水変動を長期にわたって観測することは、気候システムを理解するためにも重要である。長期にわたる海水変動の観測は、主に極夜や天候に影響されにくい受動型の衛星搭載型マイクロ波センサによって観測されている。マイクロ波放射計による海水観測からは、主に海水面積に関する情報が推定されている。しかし、海水変動の把握には厚さの情報も重要である。海水の面積や厚さをマイクロ波輝度温度から推定するためには、海水の輝度温度特性が必要になる。観測される輝度温度を海水の物理温度と放射率で近似できると考えたとき、海水の放射率に関連する、海水の複素誘電率が重要になる。

これまでに、海水のマイクロ波帯における複素誘電率は、主に実験室内において、低周波帯で測定されている。マイクロ波放射計による海水観測は、主に6、18、36、89GHz帯の輝度温度を用いているためこれらの帯域の複素誘電率が必要である。また、衛星データの検証のためには、観測される海水を直接観測することが理想である。複素誘電率の測定方法は複数あるが、現場観測には自由空間法とプローブ法が有用である。これらの手法を用いて、温度環境の異なる、様々なタイプの海水の複素誘電率が測定され、一般化することは、海水の輝度温度特性を明らかにするためにも重要である。

そこで、本発表では、海水表面の6~18GHz帯の複素誘電率を明らかにすることを目的とし、2013年2月に北海道サロマ湖上海水においてプローブ法を用いた複素誘電率測定結果について報告する。

##### 2. 海水観測

海水表面の複素誘電率は、ベクトルネットワークアナライザ（アンリツ社 MS2028C）、表面終端開放型のプローブ（キーコム社）、同軸ケーブル（キーコム社）、制御用パソコンで構成され、プローブ先端を海水表面に接触させ、海水表面からの反射を測定し実部と虚部を求めている。測定は、2013年2月23日に北海道サロマ湖東岸の結氷した海水上において、除雪した海水表面を約1m離れた2地点（PT1, PT2）でそれぞれ12回測定した。測定手順は、プローブ先端の短絡、開放、標準資料としてアセトンを用いて校正した後に海水表面を測定した。また、測定した海水表面の温度、海水表面3cmの試料を取得し塩分濃度も測定した。

##### 3. 結果・考察

図1は、両各観測地点の複素誘電率の実部と虚部の測定結果を示している。図中実線は平均値を、ハッチは標準偏差である。2地点の実部虚部は、ほぼ同じ値であった。測定開始時（10:58 LT）の海水表面温度は-5.3℃であり観測終了時（12:33 LT）の海水表面温度は-4.9℃であった。また、2地点は1m程度しか離れていないため海水表面が均質に近い状態であり、温度変化の影響も少なかったと考えられる。

本測定で得られた海水の複素誘電率は、実部、虚部共に高周波になるに従い値が減少する周波数依存性を示した。海水は、海水が結氷温度に達すると氷晶が生成され成長していく。その過程において塩分が濃縮されたブラインが生成される。ブラインの塩分濃度は温度によって決定され、ブライン体

#### 4. GCOM 利用研究

積は、海水の温度、塩分濃度によって求めることができる。誘電率を測定した海水表面の温度は約  $-5^{\circ}\text{C}$ 、塩分濃度は 15ppt であった。この条件下におけるブラインの塩分濃度は 85.6ppt である。今回観測した海水を純氷とブラインの混合物質とし、両者と海水の誘電率を比較した結果を図 2 に示す。観測周波数帯の純氷の実部はほぼ一定であり、虚部は周波数によって異なるがその値は  $10^{-2}\sim 10^{-4}$  の範囲あり非常に小さい。そのため、純氷は本測定で得られた周波数依存性には影響が小さいと考えられる。一方ブラインは、実部虚部共に 6GHz で約 40 であり、周波数が増加するに従い減少し、18GHz では実部 16、虚部 28 となった。また虚部は変化量が一定であるが、実部は周波数帯によって変化している。これらのことから、海水の複素誘電率の周波数依存性は、ブラインの周波数依存性が現れていると考えられる。

次に観測結果と誘電率モデルの比較を行った。計算は、De Loor の混合モデルを用い海水が純氷とブラインで構成され、純氷の内部にブラインが独立して分布しているとした。また、ブラインの形状を球形、指向性のある針状、指向性のない針状の 3 種類とした。海水内部のブラインの割合であるブライン体積は、海水サンプルの測定結果から 15% であった。

図 3 に観測結果と計算結果の比較を示す。ブラインを球形とした場合実部虚部共に周波数依存性があまりなくほぼ一定の値となった。次に指向性のない針状の場合実部は 6GHz で 6 となり、周波数が増

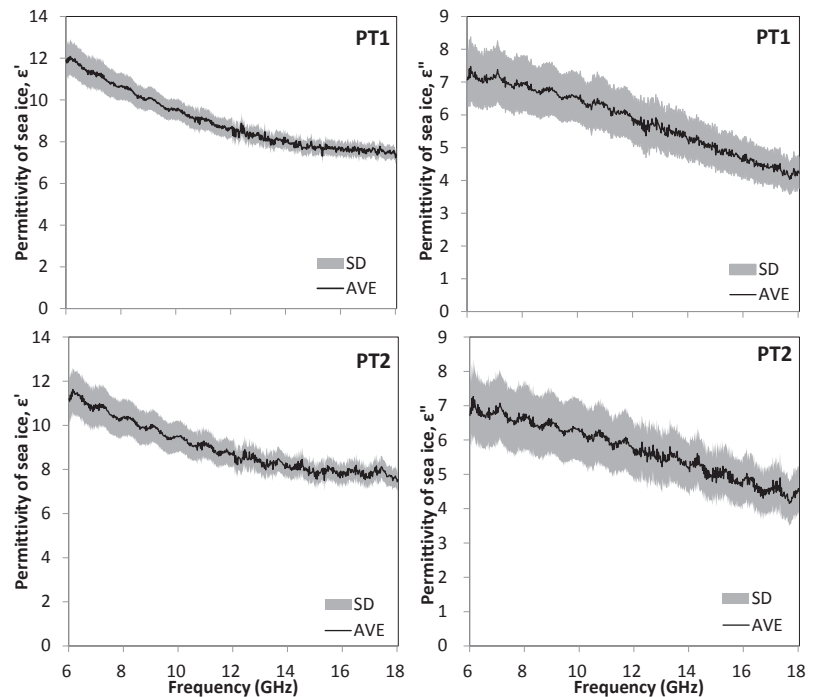


図 1 複素誘電率測定結果

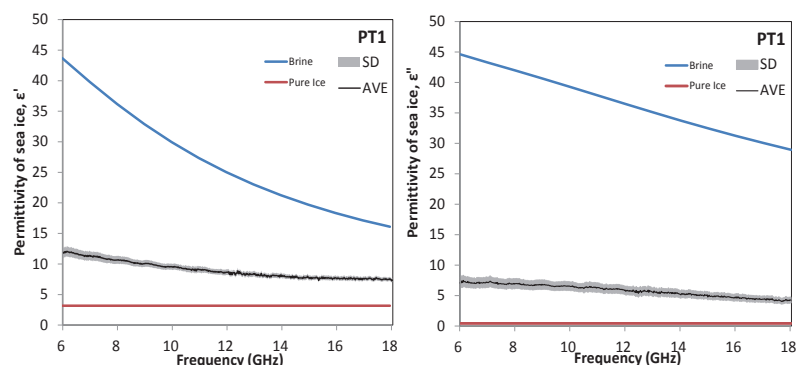


図 2 観測結果と純氷及びブラインの比較

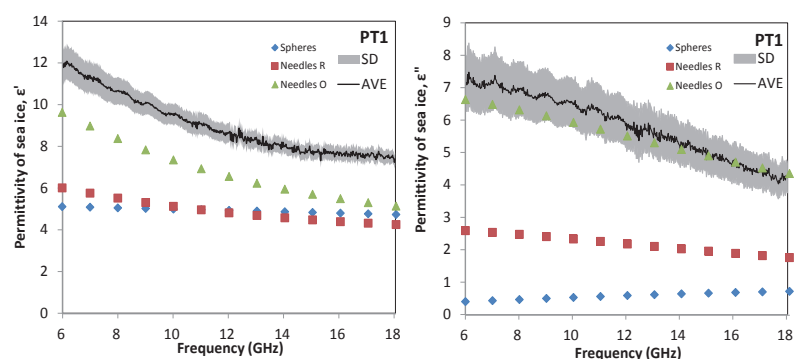


図 3 観測結果とモデル計算結果との比較

増加するに従い減少し 18GHz で 4 となった。虚部は周波数が増加するに従いやや減少しているがあまり変化がなく 2.8 から 2 の値となった。また、実部虚部共に変化量がほぼ一定であった。指向性のある針状の場合、実部は 6GHz で約 10 であり周波数が増加するに従い減少し 18GHz で 6 となった。虚部は 6GHz で約 7 であり実部同様に周波数の増加に伴い減少し 18GHz で約 5 となった。指向性のない針状の結果とは異なり虚部の変化量はほぼ一定であったが、実部は周波数帯によって変化量が変動している。これらのことから、観測した結果と最も近い値となったのは、ブラインを指向性のある針状とした計算結果であった。本研究から、海水のマイクロ波輝度温度の計算には、ブラインを指向性のある針状とすることが重要であることが分かった。

本観測は、限られた条件の元での結果であるが、温度・塩分濃度の異なる海水の誘電率測定数を増やし高温で高塩分の海水の誘電率を明らかにする計画である。

## 4.4 GCOM-C1 アルゴリズム開発と利用研究

村上 浩

### 1. はじめに

GCOM 利用研究グループでは、気候変動観測ミッション (GCOM-C) の打ち上げ準備フェーズ (FY2013～FY2016) として、JAXA 担当の PAR、クロロフィル a 濃度 (Chl-a)、陸大気補正、LAI, fAPAR、積雪識別等のアルゴリズム開発と処理コード作成や、外部 PI と連携した I/F や処理フローの設計と模擬データによる試験、基礎データ収集と打ち上げ後の検証準備等を実施している。このうち Chl-a については、OCTS 以来の研究によって全球分布の精度は向上してきたが、沿岸等では依然として大きな誤差が残っている。GCOM-C のターゲットは沿岸域とシリーズ衛星による長期時間変動の高精度観測であり、この改善が必須となっている。そこで本年度は青森県産業技術センターの協力を得ている陸奥湾において衛星時間変動推定の改善を検討した。以下では青森県産業技術センターによる陸奥湾の 2 点の観測を参照しながら、衛星 Chl-a の季節変化を正しく推定するための手法検討について記述する。

その他に本年度は、静止海色衛星の代替校正、エアロゾルの衛星輝度を介した同化に向けた検討 (継続中)、海面水温同化検討 (共著)、静止衛星多頻度データによるエアロゾル特性の抽出、NPP/VIIRS 利用検討等を実施している。

### 2. 衛星海色における課題

衛星によるクロロフィル a 濃度 (Chl-a) 等の海色観測には、一貫したセンサと処理手法によって空間分布とその変動を捉えうるメリットがある。しかし、熱赤外波長による SST 推定とは異なり、可視波長域では宇宙から暗い海面を明るい大気を通して観測することになるため、センサや推定法に起因する誤差が影響し易く、高精度の時系列を得るのはそう簡単ではない。さらに沿岸域では、複雑な特性のエアロゾルや陸起源の物質によって水中光学特性 IOP (プランクトン吸収係数  $a_{ph}$ 、デトリタス吸収係数  $a_d$ 、溶存有機物吸収係数  $a_g$ 、粒子後方散乱係数  $b_{bp}$ 、海水の吸収係数  $a_w$ 、海水の後方散乱係数  $b_{bw}$ ) が様々に変動する。大まかに衛星 Chl-a は海水射出反射率  $R_{rs}$  の青と緑域の波長比と Chl-a 量の経験的相関を用いて推定されるが、この  $R_{rs}$  の比率は Chl-a に対応する  $a_{ph}$  以外にも  $a_g$  や  $b_{bp}$  などによって影響を受けるため沿岸で誤差が大きくなると考えられる。近年は IOP を衛星から推定する研究が盛んに行われており、本研究では IOP を考慮した Chl-a 推定誤差の要因推定を行った。

### 3. 観測データ

2012 年 10 月 2 日と 12 月 13 日に、青森県産業技術センターや名古屋大の協力で、陸奥湾沖合の観測点 St.2 (41.051° N, 140.765° E) と St.4 (41.069° N, 141.049° E) 等においてリモートセンシング反射率  $R_{rs}$  (TriOS RAMSES 放射計による) 等の観測を行った (主に山口招聘研究員が実施)。10 月には採水による Chl-a の測定、12 月には Chl-a に加えて、 $a_{ph}$ 、 $a_d$ 、 $a_g$  の計測 (名古屋大による解析) も行っている。それ以外の期間 (1997~2012) についても、青森県産業技術センターの浅海定線観測での Chl-a の提供を受けた。衛星による海水固有の光学特性 (IOP) 推定で用いる  $a_{ph}$ 、 $a_{dg}$ 、 $b_{bp}$  のスペクトルモデルには、分光放射計 TriOS で計測した St.2 における表面と水中 2m での  $r_{rs}$  を用い、以下の手順で作成した。

## 4. GCOM 利用研究

- (1) 0m と 2m の 2 層の海面下の反射率  $r_{rs}$  から消散係数  $K_{ex}$  を計算：

$$K_{ex} = -\log(r_{rs}^{2m-} / r_{rs}^{0m-}) / 2[m]$$

- (2)  $r_{rs}^{0m-}$  から  $u (= b_b / (a + b_b))$  を計算：

$$u = \{-g_1 + \sqrt{g_1^2 + 4 g_2 r_{rs}^{0m-}}\} / (2 \times g_2)$$

$$(g_1 = 0.0949 \text{ and } g_2 = 0.0794 : \text{Gordon et al., 1988})$$

- (3)  $K_{ex} = a + b_b$  と近似すると、 $b_b^{obs} = u \times K_{ex}$

- (4) 450~554nm の  $b_{bp}^{obs} (= b_b^{obs} - b_{bw})$  を  $b_{bp} = b_{bp}(442nm) \times (\lambda/442)^Y$  で近似し、Y を推定

- (5)  $b_{bp}$  を用いて、 $a_{pg} = K_{ex} - (b_{bp} + b_{bw}) - a_w$

- (6) 経験的に 340nm で  $a_{dg}$  が  $a_{pg}$  の 90% と仮定し、340~360nm の  $a_{dg}$  を  $a_{dg} = a_{dg}(442nm) \times \exp \{S(\lambda - 442)\}$  で近似し、S を推定

- (7) Ciotti. et al.(2002) の pico と nano の  $a_{ph}$  スペクトルを用い、450nm と 554nm の  $a_{ph} (= a_{pg} - a_{dg})$  を  $a_{ph} = a_{php} \times r_{pico} + a_{phm} \times (1 - r_{pico})$  で近似し、 $r_{pico}$  を推定

上記の結果、 $Y = -0.928$ 、 $S = -0.0195$ 、 $r_{pico} = 0.42$ 、を衛星 IOP 推定に用いた。

#### 4. 衛星推定

衛星大気上端輝度データは 2003 年 1 月～2012 年 12 月の Aqua MODIS 1km L1B データ（JAXA 鳩山局受信＋欠損時は NASA/LAADS）を用いた。放射伝達コード（Pstar2b と Rstar7）を用いて 8 日平均 NASA Level-3 データ（2009 年以前は SeaWiFS、それ以降は Aqua MODIS）に対して日本周辺の直接受信海域全体で一致するように代替校正（観測日と走査角に依存する係数で補正）した。上記と同じ放射伝達コードを用いて、大気分子とエアロゾル（対流圏と海塩タイプの混合）の散乱・透過率のルックアップテーブル（LUT）を作成し、大気補正（エアロゾル推定）と  $R_{rs}$  の推定を行った。大気補正で得られた  $R_{rs}$  から NASA 標準の OC4 式で Chl-a を計算した。 $R_{rs}$  から前述のスペクトルモデル（Y、S、 $r_{pico}$ ）を用いて線形行列法（LMI）で海水固有光学特性 IOP（ここでは、水以外の吸収係数  $a_{pg} (a_g + a_d + a_{ph})$  と  $b_{bp}$ ）を推定した。

#### 5. 衛星時系列推定結果

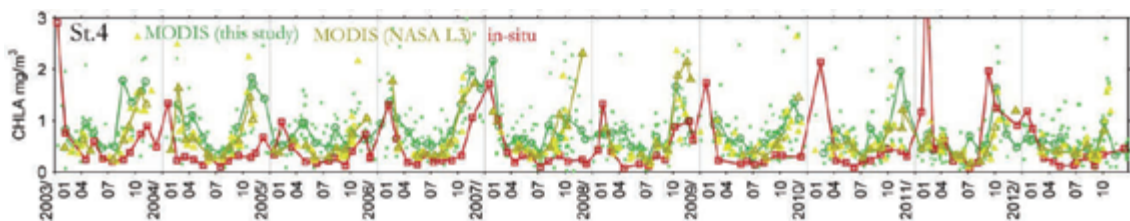


図1 MODIS による St.4 の Chl-a 推定値の時系列。赤が現場観測、黄色が NASA の 4km Level3、緑が本研究による Chl-a を示す。



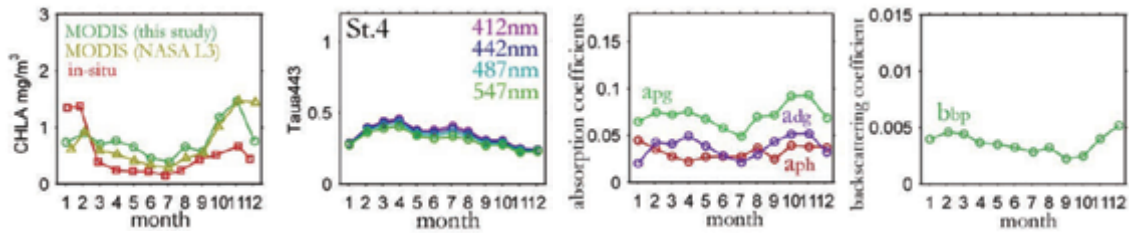


図2 MODIS による各月 10 年分平均値の時系列。左から Chl-a (赤は現場)、4 波長のエアロゾル光学の厚さ、442nm の吸収係数 ( $a_{pg}$ ,  $a_{ph}$ ,  $a_{dg}$ )、粒子後方散乱係数  $b_{bp}$  を示す。

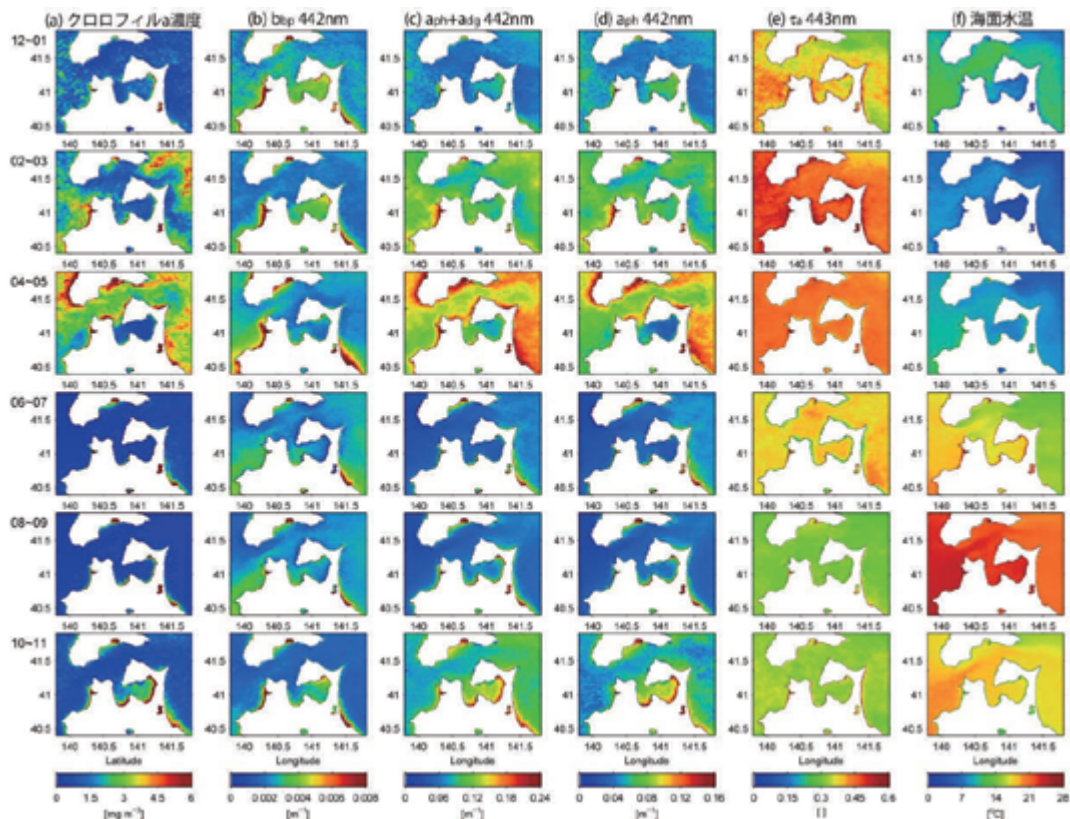


図3 MODIS による Chl-a、 $b_{bp}$ 、 $a_{pg}$ 、 $a_{ph}$ 、443nm のエアロゾル光学の厚さの各 2 か月間の 10 年平均値。最上段が 12 ～ 1 月、最下段が 10 ～ 11 月の平均。

## 6. 考察とまとめ

昨年度から指摘（山口招聘研究員他）されているように、今回の衛星でも（NASA プロダクトも）春と秋に Chl-a が高いのに対し現場 Chl-a は 1 ～ 2 月に最大になり、秋のピークは小さくなった（図 1、2）。エアロゾル光学の厚さ  $\tau_a$  は秋に比較的小さく、波長特性にも大きな特徴は見られない。確証までにはならないがエアロゾルのみが原因ではないことが示唆される。 $a_{ph}$  はわずかに冬季に高くなっているが、 $R_{rs412nm}$  の変動と対応して  $a_{dg}$  推定値は 3 月と 10 ～ 11 月にピークを持っており、 $a_{dg}$  (or  $a_{ph}$  / Chl-a 比) が衛星の Chl-a 推定式（青 / 緑比）に影響しているのかもしれない。また、衛星の Chl-a や  $a_{pg}$  よりも  $b_{bp}$  の方が現場の Chl-a と変化が似ており、季節変化において吸収が Chl-a を代表していない海域で

## 4. GCOM 利用研究

ある可能性も考えられる（図 2、3）。ただしこれらは、衛星推定における IOP スペクトルモデル（Y、S、 $r_{\text{pico}}$ ）に依存した結果であり、冬季の現場データで実際の IOP を計測して確認することが望まれる。

上記の傾向は各年ではばらつきが大きく、日によっては吸収エアロゾルによる誤差のケースも散見しており、沿岸衛星推定の課題は依然として多い。今後はより多くの事例によるエアロゾル影響評価や現場計測 IOP による知見の蓄積を進め、エアロゾルモデル選択と IOP 候補選択を改善し、より正確な衛星時系列の作成に繋げたい。

#### 関連する FY25 外部発表

（学会・研究会発表）

H. Murakami, GOCI vicarious adjustment analysis over the Mutsu-Bay, International Symposium on Remote Sensing 2013 (May 2013).

村上 浩, GCOM-C1 海洋プロダクト開発 (GCOM-C1 ocean product development), 日本地球惑星科学連合 2013 年大会 (2013 年 5 月).

村上 浩, 山口寿史, 許 永久, 清藤真樹, 高坂祐樹, 吉田 達, 伊藤良博, 蛭名政仁, 陸奥湾における衛星海色時系列作成に向けた検討, 日本海洋学会 (2013 年 8 月).

H. Murakami, Project update from JAXA:GCOM-C1/SGLI, ICAP 2013 Tsukuba Working group meeting (Nov. 2013).

H. Murakami, Status of GCOM-C1 science project, Asian Workshop on Ocean Color 2013 (Dec. 2013).

（共著論文）

Yasumasa Miyazawa, Hiroshi Murakami, Toru Miyama, Sergey M. Varlamov, Xinyu Guo, Takuji Waseda, and Sourav Si, Data Assimilation of the High-Resolution Sea Surface Temperature Obtained from the Aqua-Terra Satellites (MODIS-SST) Using an Ensemble Kalman Filter, Remote Sensing Remote Sens. 2013, 5(6), 3123-3139.

M. Yoshida, J. M. Haywood, B. T. Johnson, H. Murakami, and T. Nakajima, Spatial distribution of dust's optical properties over the Sahara and Asia inferred from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, Atmos. Chem. Phys., 13, 10827–10845, 2013.

#### 4.5 熱赤外域輝度温度データを用いた雪氷面分類手法の開発・検証

堀 雅裕

##### 1. はじめに

雪氷面の熱赤外域射出率は、新雪の場合 0.98-0.99 と黒体に近いものの、積雪粒径の増大に伴い、波長  $11\mu\text{m}$  より長波長側の射出率が最大 5% 程度（鉛直方向の場合）低下する<sup>1)</sup>。特に波長  $11\text{-}12\mu\text{m}$  帯では、図 1 に示すように雪質に対する感度が最も大きい。この射出率の雪質依存性は、過去の GLI/SGLI 地上検証実験においても実測されており、射出角度の増大に伴って射出率さらに低下する角度依存性を有することが示されている<sup>2)</sup>。また、サーモグラフィーによる熱画像からは、1) サンクラストのように氷粒子が薄くて滑らかな板状に結合した表面は氷粒子がバラバラに存在する表面よりも低い射出率を有していること、2) ザラメや樹枝状結晶のような非結合体の氷粒子でも個々の結晶表面はサンクラストのような低い射出率を有していること、が視覚的にも確認され、以上の観測事実をもとに、半経験的な雪氷面の射出率モデルを構築してきた<sup>3)</sup>。本年度の研究では、衛星搭載熱赤外域バンドの輝度温度データに氷床表面の雪質に依存したシグナルが実際に表れているかどうかを、科研費基盤（S）研究（SIGMA プロジェクト、代表者：気象研青木輝夫室長、研究分担者：堀）にて取得されたグリーンランド氷床域の現地観測データを用いて調査した。

##### 2. 解析方法

衛星データには米国航空宇宙局の中分解能光学放射計（MODIS）の波長  $11, 12\mu\text{m}$  の輝度温度（BT11、BT12）及び波長  $1.6\mu\text{m}$  の反射率（Ref1.6）を使用した。雪質に依存した射出率の変動が検出されるかを調べるために、輝度温度データを輝度温度差（BT11-BT12）に変換し、光学的な積雪粒径の目安となる Ref1.6 および現地観測により取得された雪質・積雪粒径との比較を行った。観測対象地には、SIGMA プロジェクト<sup>4)</sup>にて気象・光学・積雪断面観測が行われたグリーンランド氷床北西部の氷床涵養域（SIGMA-A： $78^{\circ}03'06''\text{N}$ 、 $67^{\circ}37'42''\text{W}$ 、 $1490\text{m a.s.l.}$ ）を選び、自動気象観測装置による下向き赤外放射及び全天カメラ画像を用いて晴天時の衛星観測データを選別した。

##### 3. 結果と考察

図 2 は、2012 年 6 月 30 日から 7 月 19 日の期間に SIGMA-A サイト近傍を観測した MODIS データから抽出された Ref1.6、BT11 および輝度温度差（BT11-BT12）の変動を上段に示し、下段には地上の積雪断面観測で得られた表面雪結晶の顕微鏡写真を示している。また図 3 は、図 2 の衛星データを抽出した SIGMA-A サイト近傍の MODIS 観測データの切出し画像を示している。また期間中、地上では 7 月 4-5 日に表面霜の形成が、また 7 月 10-13 日には降雨が観測され、その後の雪結晶の増大・曲率低下が認められた。図 2、図 3 より、粒径の細かい表面霜が形成された 7 月 5 日には Ref1.6 の増加とともに BT11-BT12 の低下が、また降雨後の粒径増大が起こった 7 月 16 日には全く逆の現象が、SIGMA-A サイトにて発生していることが分かる。これらのことから、表面雪質の変化が、射出率の変動を通して、大気上端レベルで計測される熱赤外域放射輝度にも影響を及ぼしていると考えられる。

図 4 は、春から夏にかけてグリーンランド氷床全域を観測した MODIS データから抽出した雪氷面上の BT11-BT12 と BT11 の関係（2 次元散布図）および BT11-BT12、BT11、Ref1.6 の空間分布を示している。空間パターンを見ると、4 月は表面温度（BT11）が低くかつ光学的な粒径も小さい（Ref1.6 が大きい）

#### 4. GCOM 利用研究

状況下で、輝度温度差（BT11-BT12）も小さく抑えられている様子が分かる。また、6月から7月にかけて次第に表面温度が高くなるにつて、Ref1.6が低下するとともに輝度温度差も上昇しており、特に、氷床縁付近で顕著な上昇がみられている。散布図上でも、表面温度の上昇に伴い、次第に輝度温度差が大きくなり、BT11が270Kを超えると急激に輝度温度差が上昇していることから、ザラメからサンクラストのような低射出率の雪質への変化が氷床縁辺部にて大規模に発生している様子が推察される。また、6月の氷床内陸部にBT11が260K、輝度温度差が0.2Kまで低下している領域がみられるが、図2、図3で見られたような低輝度温度差を伴う表面霜がグリーンランド氷床上で大規模に形成されている可能性を示唆している。なお、図4中で表面温度（BT11）が融点付近（272-273K）にまで上昇すると、輝度温度差の急激な低下が認められる。これは湿雪状態になることにより輝度温度差が解消されるためと考えられるが、湿雪の射出率のデータが不足しており、現場での検証が必要である。

#### 参考文献・関連する外部発表

- 1) ASTER spectral library, 1999: Reproduced from the ASTER Spectral Library. <http://speclib.jpl.nasa.gov/>
- 2) Hori et al. (2006): In-situ measured spectral directional emissivity of snow and ice in the 8-14 $\mu$ m atmospheric window, Remote Sens. Environ., 100, 486-502.
- 3) Hori et al. (2013): Modeling angular-dependent spectral emissivity of snow and ice in the thermal infrared atmospheric window, Appl. Opt. 52, 7243-7255.
- 4) 青木輝夫ほか8名, 2012: SIGMA プロジェクトによる2012年グリーンランド氷床観測報告. 雪氷研究大会 (2012・福山).

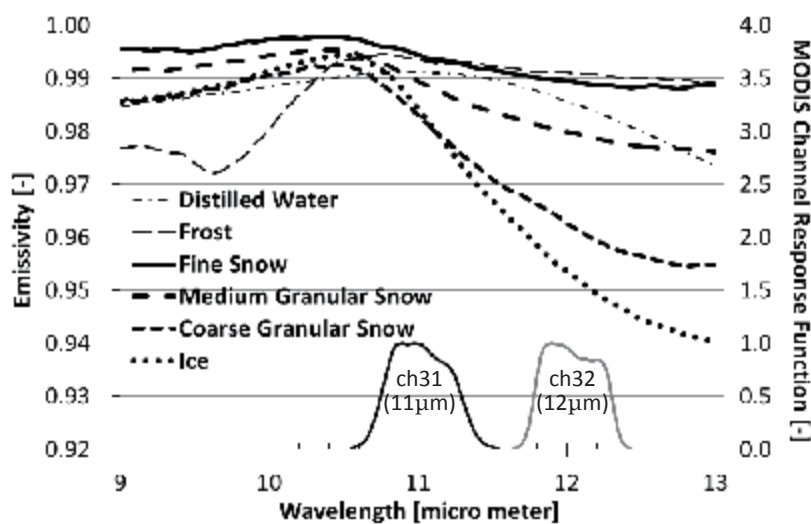


図1：雪氷面の熱赤外域分光射出率 1) と MODIS センサ応答関数



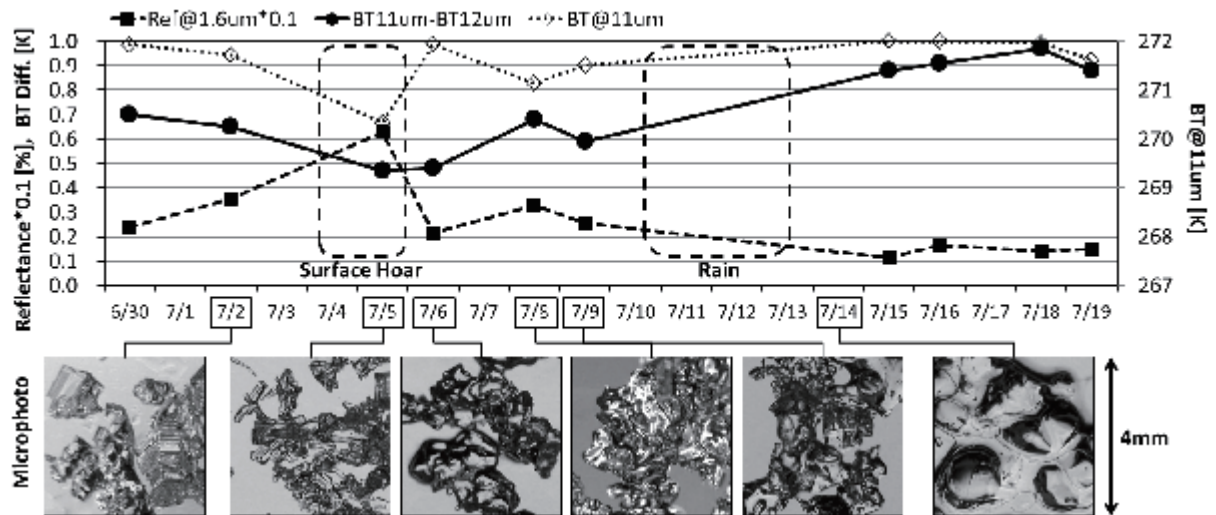


図2：SIGMA-A サイト上空の大気上端レベルでMODISにより計測された短波長赤外域反射率(Ref1.6)・熱赤外域輝度温度(BT11、BT12)と地上計測に夜表面雪結晶形状の変化(2012年6月30日-7月19日)。縦軸スケールは、Ref1.6のみ10倍に拡大して表示している。地上計測において、7月4-5日には表面霜が、また7月11-13日には降雨が観測された。

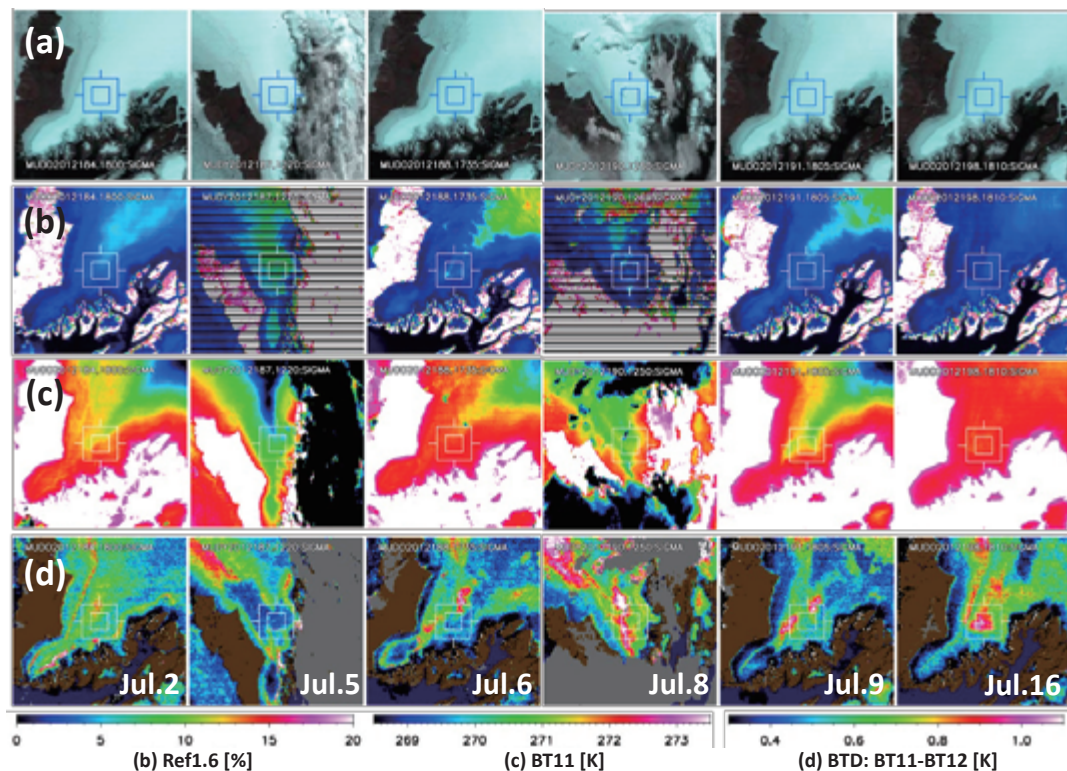


図3：SIGMA-A サイト近傍のグリーンランド氷床域を観測したMODISデータの切出し画像。(a) トゥルーカラーRGB合成画像、(b) Ref1.6、(c) BT11、(d) BT11-BT12。SIGMA-A サイトは、図中中央に示した矩形の中心に位置している。また、図3(d)中の灰色、紺色、茶色はそれぞれ雲域、海域、陸域(非積雪域)を示している。



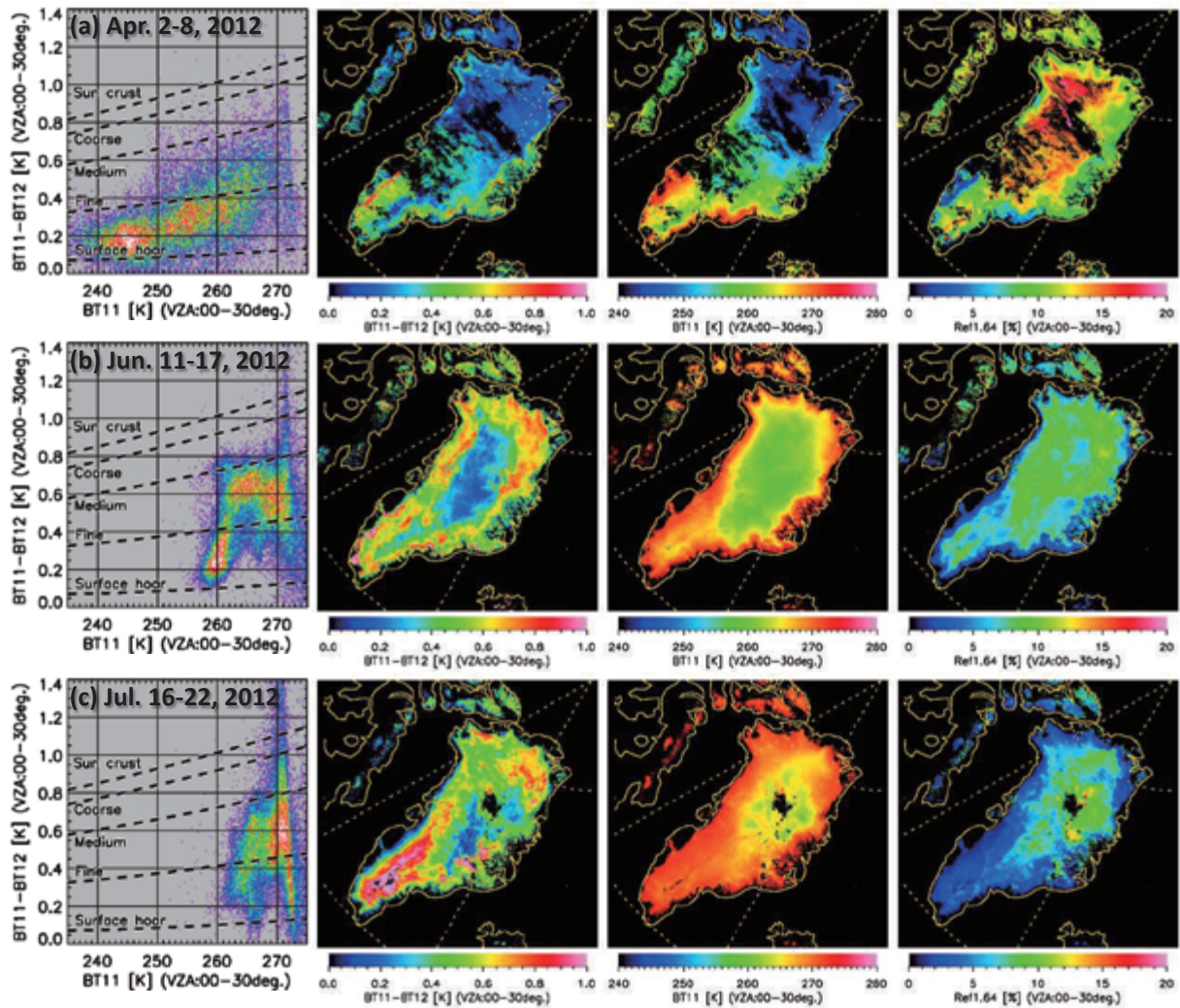


図4：グリーンランド氷床全域の雪氷域を観測したMODISデータから抽出したBT11-BT12とBT11との2次元散布図（左端）およびMODISのBT11-BT12、BT11、Refl.64の空間分布画像（それぞれ左から2-4列目の画像）。観測期間は（a）2012年4月2-8日、（b）2012年6月11-17日、（c）2012年7月16-22日で、衛星天頂角30°以下のMODISデータのみを使用している。空間分布画像中の欠損（黒色）域は、観測期間中に一度も晴天にならなかった領域を示す。2次元散布図中に示した破線は、現場測定に基づく雪質毎の分光射出率を考慮した放射伝達計算により得られた大気上端の輝度温度差BT11-BT12とBT11の関係を示している。

## 4.6 GCOM-W1/AMSR2 L1R プロダクトの改良

前田 崇

### 1. はじめに

AMSR2 のように単一の主反射鏡を複数の周波数の受信器で共有するマイクロ波放射計の場合、同一時刻の観測に由来する観測値であっても、各周波数の観測領域・感度は大きく異なる（図1）。この観測領域・感度の違いを解消しないまま複数の周波数の輝度温度を使ってアルゴリズムを開発しても、潜在的な誤差要因は残ったままになる。AMSR2 では観測したままの（観測領域・感度の違いが残ったままの）輝度温度プロダクトである L1B プロダクトに対して、周波数間の観測領域・感度の違いを補償した輝度温度プロダクトとして L1R プロダクトが定義されている。L1R プロダクトの検証を通じて周波数間の観測領域・感度の違いを最小化することは、自身の研究（陸面物理量のリトリバーバル）にも大いに資するところであり、今年度も引き続き L1R プロダクトの品質の向上に注力した。その結果、周波数の組み合わせ、スキャン上の位置を問わず、常に最良の品質の L1R プロダクトを生成する目途がついた。来年度は L1R プロダクトのバージョンアップが予定されており、今年度の研究成果はそのバージョンアップに反映させる予定である。

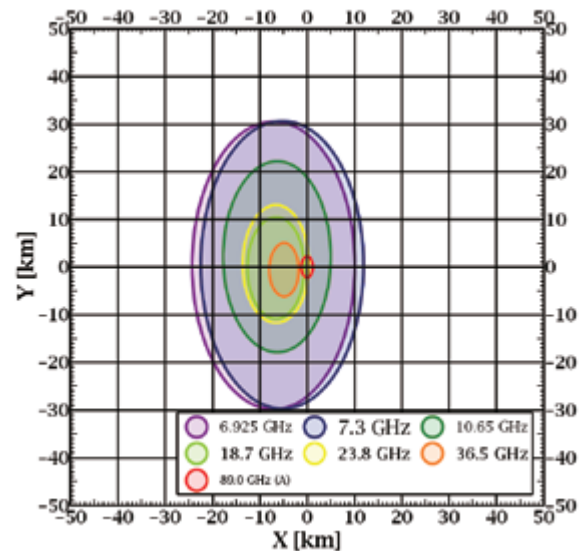


図1. 1回の観測でのアンテナパターンの大きさと中心位置

### 2. L1R プロダクトの概要と現在の実装

周波数間の観測領域・感度の違いは、アンテナパターンの違いに起因している。従って、周波数間の観測領域・感度の違いを解消するには、アンテナパターンの違いを解消すればよい。例えば、6.9 GHz の大きなアンテナパターンに対して、89 GHz の小さなアンテナパターンは数秒程度の時間差で密集している。これらを全体として 6.9 GHz のアンテナパターンに精度よく近づけるための適切な重み係数を求める（重み付け手法は Backus-Gilbert 法と呼ばれる）。各 89 GHz のアンテナパターンで観測された輝度温度をこの重み係数で合成すれば、6.9 GHz のアンテナパターンで疑似的に観測された（リサンプリングされた）89 GHz の輝度温度が求まる（図2）。結局のところ、複数の小さなアンテナパターンで大きなアンテナパターンを正確に模擬するために研究すべき課題は、以下の2点に集約される。

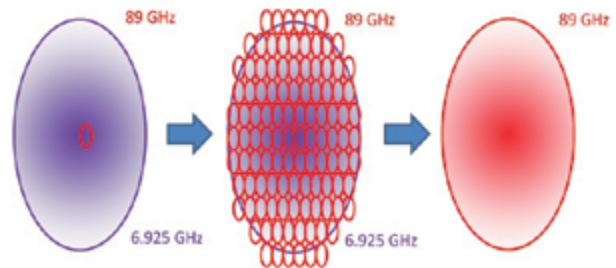


図2. L1R プロダクトの概念（89 GHz のアンテナパターン群で 6.9 GHz のアンテナパターンを近似する例）

## 4. GCOM 利用研究

1. 目標とする大きなアンテナパターンに対して、合成対象とする元の小さいアンテナパターンの個数と分布をどのように決めるか？
2. Backus-Gilbert 法には、合成結果の品質を決定するパラメータが1つ定義されているが、そのパラメータをどのように決めるか？

リサンプリングされた輝度温度の品質を維持するには、合成対象とする小さなアンテナパターン群で目標とする大きなアンテナパターンを完全に覆う必要がある。コニカルスキャンである AMSR2 のフットプリントの配置を考慮すると、スキャン端部は中央部よりも観測点が密に配置されることから、大きなアンテナパターンを覆うために必要な小さなアンテナパターン群の個数はスキャン端部ほど中央部よりも増加する。ただ、現在の L1R プロダクト生成ソフトウェアの仕様上、スキャンの位置によらず合成範囲は一定としなければならない。従って、現在の実装では合成対象とする小さなアンテナパターン、目標とする大きなアンテナパターンの組み合わせを問わず、またスキャン上の位置を問わず、常に「合成範囲を上下左右  $\pm 30$  ピクセル」としている。また、合成結果の品質を決定するパラメータは、NASA が作成した AMSR-E の L2A プロダクトに倣って、常に 0.0001 としている。

### 3. 改良のための更なる検討

現在の実装では常に「合成範囲を上下左右  $\pm 30$  ピクセル」としているが、これはスキャン中央部においては明らかに広すぎる。図3は現在の実装に基づき、スキャン中央部において、18.7 GHz V のアンテナパターンから 6.9 GHz V のアンテナパターンを合成した結果である。上下左右  $\pm 30$  ピクセルの範囲に存在する全  $3,721(=31 \times 2+1)^2$  個の 18.7 GHz V のアンテナパターンのうち、6.9 GHz V のアンテナパターンを覆うものは全体の1割未満であり、その多く（図3 (a) (b) で赤色の四角で示されている）は 6.9 GHz V のアンテナパターンを覆わないばかりか、0 以外の重み係数を持ち（図3 (c) で青色の点で示されている）、リサンプリングされた輝度温度に影響を及ぼす場合があり得ることが分かった。

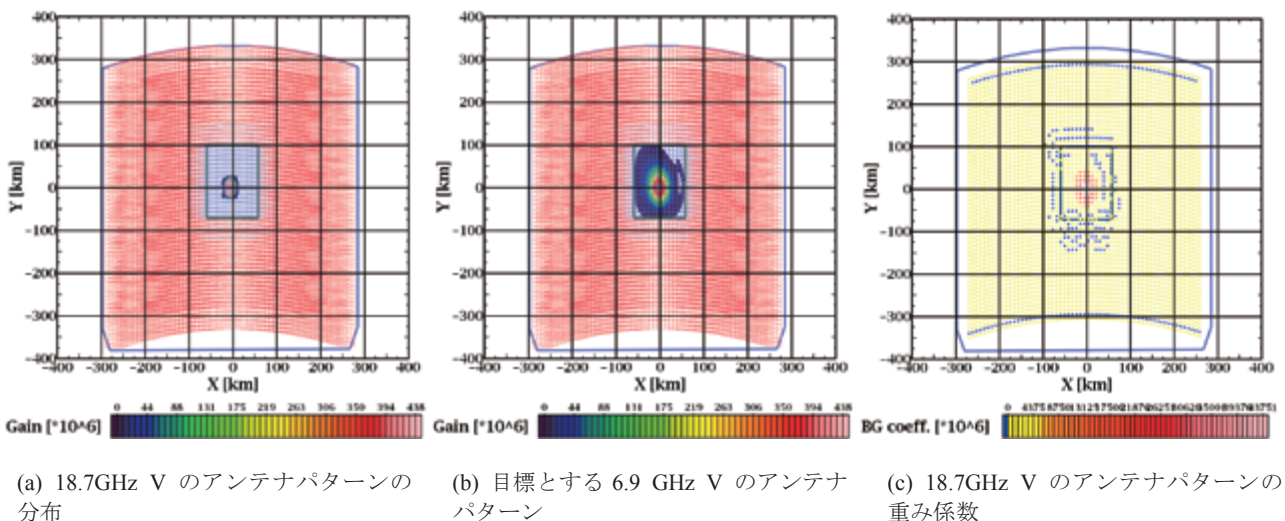


図3. 現在の実装に基づき、スキャン中央部で 18.7 GHz V のアンテナパターンから 6.9 GHz V のアンテナパターンを合成した結果

### 4. GCOM 利用研究



従って、合成対象とする小さなアンテナパターンの個数、分布をスキャン位置に応じて動的に変化させることとした。現在、合成対象とする小さなアンテナパターン ( $G_i$ )、目標とする大きなアンテナパターン ( $F$ ) については最大利得から -30dB を閾値としてそれよりも小さな利得を無視している。改良では、Backus-Gilbert 法の計算過程で使用する  $G_i$  と  $F$  の重なりの体積値についても、これと同様の閾値を設定することとした。すなわち、 $G_i$  と  $F$  の重なりの体積値がその最大値から -30dB 以下になる  $G_i$  を合成対象から除外した。

この改良に基づき、図 3 と同様の合成を行ったところ、6.9 GHz V のアンテナパターンを合成するために必要な 18.7 GHz V のアンテナパターンの個数は 188 個に削減された (図 4)。図 4 (c) より、この 188 個の 18.7 GHz V のアンテナパターン群が 6.9 GHz V のアンテナパターンを完全に覆い、逆に 6.9 GHz V のアンテナパターンを覆わないものは 188 個の中に含まれていないことが分かる。

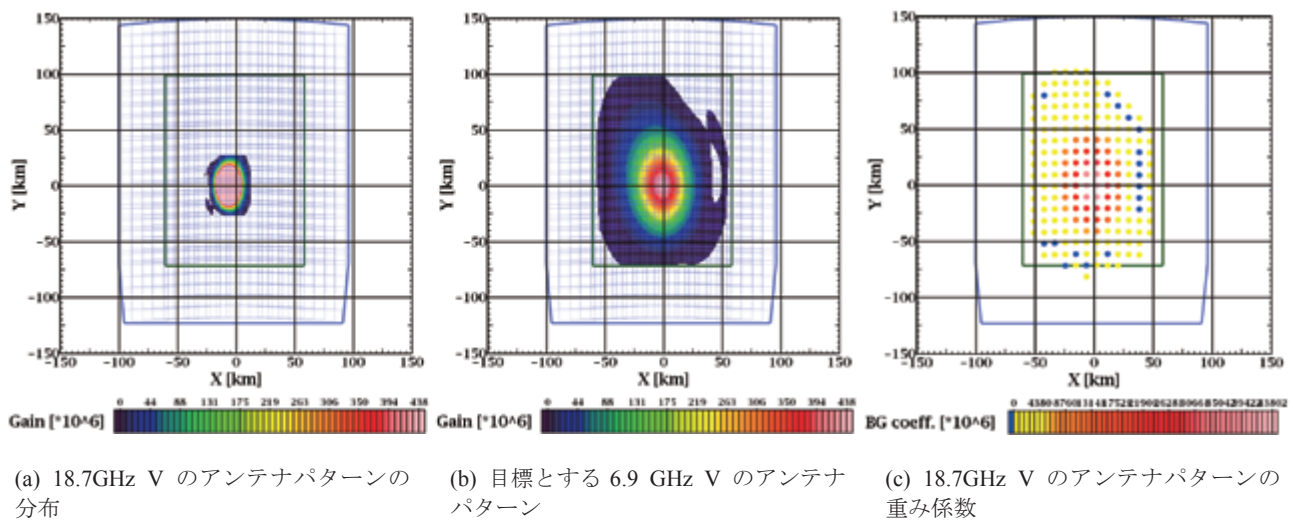


図 4. 改良後に、スキャン中央部で 18.7 GHz V のアンテナパターンから 6.9 GHz V のアンテナパターンを合成した結果

最終的には、合成対象とする小さなアンテナパターン、目標とする大きなアンテナパターンの全ての組み合わせ、更にスキャン上の全ての位置について、最適な合成範囲を求めた。この改良は次期 L1R プロダクトのバージョンアップに反映予定である。なお、前述の通り、現在の L1R プロダクト生成ソフトウェアの仕様上、スキャンの位置によらず合成範囲は一定としなければならないため、改良の結果使用しなくなった重み係数には 0 を格納することで対応する。

#### 4. 改良結果の評価

実際に合成されたアンテナパターンが目標とするアンテナパターンに対してどの程度等価とみなせるかを定量的に評価するために、以下の量 (Fit error) を定義する。

$$\iint_A \left| \left( \sum_{i=1}^N a_i G_i(\rho) \right) - F(\rho) \right| dA$$

上式において、合成対象とする小さなアンテナパターンは  $G(\rho)$  で全部で  $N$  個あり、それぞれを重み係数  $a_i$  で合成する。目標とする大きなアンテナパターンは  $F(\rho)$  である。定性的に述べれば Fit error は実際に合成されたアンテナパターンと目標とするアンテナパターンの「見え方」の違いを表しており、0 であれば両者は完全に同じ「見え方」を持ち、1 を超えると両者はまったく異なる「見え方」を持つと言える。

3 節で述べた改良を施した後、スキャン上の各位置において 18.7 GHz V のアンテナパターンから 6.9 GHz V のアンテナパターンを合成した時の Fit error の変化を図 5 に示す。参考のため、図 5 には L1B プロダクトを用いた場合の Fit error も描画されている。L1B プロダクトの Fit error はスキャン上の位置によらず常に 1.3 となっている。すなわち、L1B プロダクトに格納された 6.9 GHz V の輝度温度と 18.7 GHz V の輝度温度は、全く異なる「見え方」で測定されたものであり、両者を同時に用いてアルゴリズムの入力とすることは本質的に不適切であると結論付けられる。ただ、現実には L1B プロダクトに格納された複数周波数の輝度温度を用いたアルゴリズムは多くあり、それぞれある程度の推定精度を持っている。これは幸いにも、実際に観測された輝度温度が周波数間、近傍間である程度の相関を持っていることに起因する。結局のところ、Fit error が悪くても、それがアルゴリズムの推定精度の劣化には即直結するわけではない。しかし、潜在的な誤差要因であることに変わりはなく、L1B プロダクトの代わりに L1R プロダクトを使用することで潜在的な誤差要因である Fit error がどの程度削減されるかを調べることにした。18.7 GHz V のアンテナパターンから 6.9 GHz V のアンテナパターンを合成する場合、L1R プロダクトを使用することによって、スキャン中央部では Fit error が 99% 低減され、スキャン端でも 50~60% 程度低減されることが分かった。

更に、スキャン上の各位置において 6.9 GHz, 7.3 GHz, 10.65 GHz, (18.7 GHz<sub>2</sub>) 23.8 GHz, 36.5 GHz, 89 GHz V のアンテナパターンから 6.9 GHz V のアンテナパターンを合成した時の Fit error の変化を図 6 に示す。いずれの場合においても、L1B プロダクトの代わりに L1R プロダクトを使用することで Fit error が劇的に低減されることが分かった。

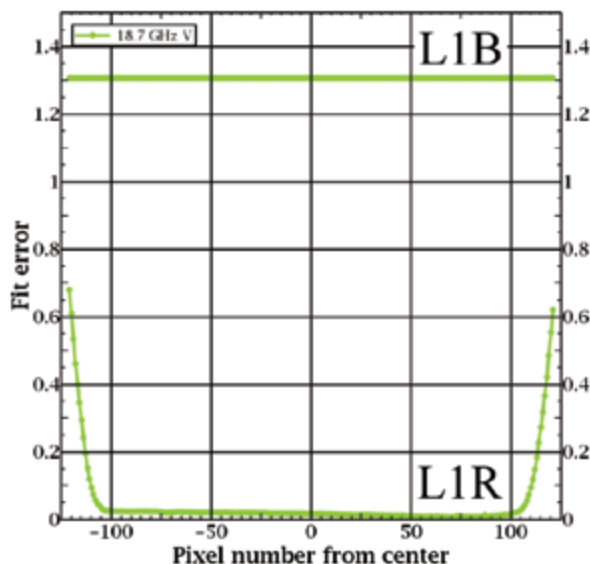


図 5. スキャン上の各位置において 18.7 GHz V のアンテナパターンから 6.9 GHz V のアンテナパターンを合成した時の Fit error の変化

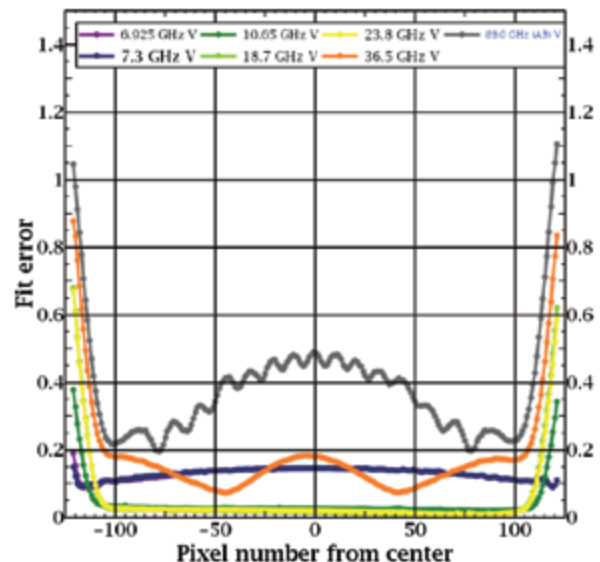


図 6. スキャン上の各位置において 6.9~89 GHz V のアンテナパターンから 6.9 GHz V のアンテナパターンを合成した時の Fit error の変化



## 5. まとめ

AMSR2 L1R プロダクトの改良にあたり、合成対象とする元のアンテナパターンの個数・分布をスキャン位置に応じて動的に変化させる仕組みを導入した。この仕組みに基づく改良は来年度予定されている L1R のバージョンアップに反映される予定である。また、Fit error（見え方の違い）を使ってアンテナパターン合成の評価を行い、L1B プロダクトに比べて L1R プロダクトの Fit error が劇的に減少することを示した。これは、複数周波数の輝度温度を同時に使用する際は L1B プロダクトよりも L1R プロダクトがより最適であることを定量的に示している。

また、本編では触れなかったが、L1R プロダクトの現行バージョンでは合成結果の品質を決定するパラメータを、NASA が作成した AMSR-E の L2A プロダクトに倣って常に 0.0001 としているが、新バージョンでは反復計算によりこのパラメータも合成対象とする小さなアンテナパターン、目標とする大きなアンテナパターンの組み合わせ、またスキャン上の位置に応じて最適な値が決定される予定である。

ここまでの検討を以て、周波数の組み合わせ、スキャン上の位置を問わず、常に最良の品質の L1R プロダクトを生成する目途がついたと考えている。

## 4.7 GCOM-C 海洋アルゴリズムの評価と衛星データの水産資源管理への応用

山口 寿史

## 1. はじめに

2016 年度に予定されている、GCOM-C の打上げに向けて作業を進めている。今年度は、打上げ後のオペレーションフローの運用のために、テスト用のシミュレーションデータを用いて、海洋の標準プロダクトをオペレーションフロー順に処理して動作確認を行った。また、衛星データの水産資源管理への応用研究として、大分沿岸の有害渦鞭毛藻赤潮時の光学観測を行うとともに、赤潮時の現場観測データを用いて、GCOM-C の赤潮検知アルゴリズムの検証を行った。

## 2. 海洋アルゴリズムの性能試験と精度評価

GCOM-C の、海洋標準プロダクトを対象にして、GLI をベースにしたシミュレーションデータを使用し L1 から L3 までのオペレーションフローの実行確認を行った。入力と出力のファイル形式は HDF5 形式であり、各 PI より提出されたアルゴリズムのコードに組み込んだ。その中で、中間ファイルは極力作らないように変更し、ソースコード、バイナリ、入力、出力などの標準のディレクトリ構成にし、実行ファイルで起動できるように変更した。また、出力ファイルにピクセル・ライン数などのアトリビュートをつけ、次のプロダクト生成の処理に必要な情報を付与した。海洋の標準アルゴリズムから生成されるプロダクトは、以下の 3 つのグループにまとめた（図 1）。O1 グループは、海面水温、O2 グループは大気エアロゾル、正規化海面射出輝度、光合成有効放射、そして O3 グループは、クロロフィル a、懸濁物、有色溶存有機物で構成されグループ毎に処理するように変更した。

O1 と O2 グループは、解像度 250m と 1km の L1B のシーンデータを入力データに使用し、O3 グループは、O2 の出力パラメータである正規化海面射出輝度を入力データに使用した。各グループの衛星データの処理時間と最大使用メモリは、許容範囲内に収まっていた。今後は、2014 年 9 月末に第 4 期 RA の各 PI から新しいアルゴリズムが提出されるため、迅速に現存のアルゴリズムコードから新しいコードに置き換える予定である。また、各アルゴリズムの検証作業を、JASMES 等のデータで行う予定である。

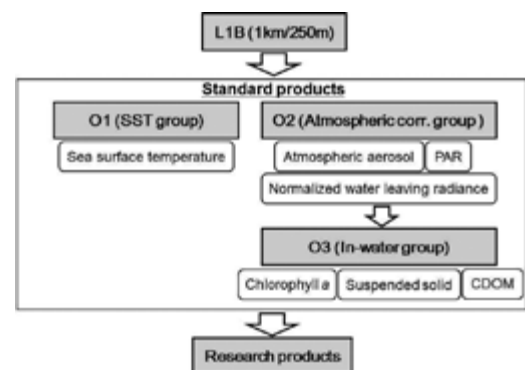


図 1. 海洋標準プロダクト処理フロー

## 3. 九州東部沿岸赤潮観測

海洋では、しばしば植物プランクトンが大増殖し、赤潮が起こる。沿岸域では特に渦鞭毛藻類などの有害赤潮種の赤潮が起こり、水産資源に被害を与える。九州東岸に位置する大分沿岸は、魚類の養殖が盛んな海域であるが、有害赤潮によって養殖業に被害が出ている。クロロフィル a 濃度などの衛星から推定可能なデータから赤潮を検知することができれば、被害を軽減できるとともに、赤潮モニタリングの負担の軽減に有用である。そこで有害渦鞭毛藻類の赤潮時の光学特性を把握するために、4 月と 8 月に大分沿岸で船舶観測を行った。4 月は、猪野串湾奥部で有害渦鞭毛藻類のコックロデニウム・ポリクリコイデスの亜表層赤潮が発生していた。その時のリモートセンシング反射率は、亜表層の植

## 4. GCOM 利用研究

物プランクトンの強い吸収の影響を受けたとみられるピークの長波長側へのシフトがみられた（図2）。また、紫外域の植物プランクトンの強い吸収は、紫外線を吸収するマイコスポリン様アミノ酸の影響がみられ、紫外域の植物プランクトンの吸収は、有害渦鞭毛藻類の検知に有用な可能性が示唆された（図3）。一方で8月は、佐伯湾で有害渦鞭毛藻類であるカレンア・ミキモトイの亜表層赤潮が起きており、赤潮域でのリモートセンシング反射率のピークの長波長側へのシフトが見られた。吸収係数は、植物プランクトン、デトリタス、有色溶存有機物の吸収が強く、紫外域の強い吸収は見られなかった。これは、紫外線を吸収する有色溶存有機物が豊富に存在したため、カレンア・ミキモトイは、マイコスポリン様アミノ酸を生成しなかったと考えられた。

また、上記の2つの有害渦鞭毛藻類を、衛星データをベースにして開発された GCOM-C の赤潮検知アルゴリズムで検知できるか検証を行った。その結果、4月の亜表層赤潮は検知することができたが、8月は有色溶存有機物と懸濁物が豊富に存在したため検知ができなかった。今後、表層時の赤潮の光学データを集めるとともに、懸濁物や有色溶存有機物が豊富に存在する海域でも、赤潮検知アルゴリズムを改良する必要があると考えられた。

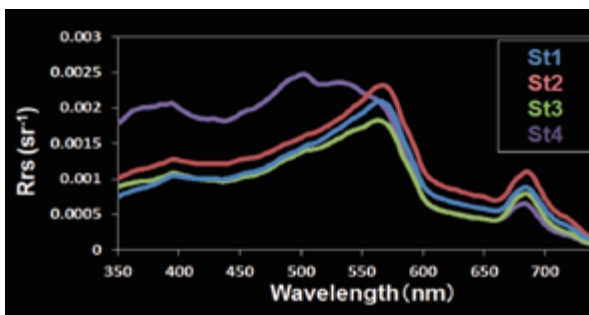


図2. 4月の各観測点のリモートセンシング反射率

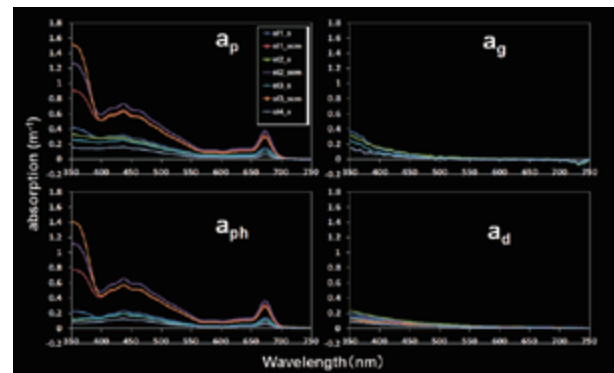


図3. 4月の各観測点の表層と亜表層の粒子 (ap)、有色溶存有機物 (ag)、植物 (ap) そしてデトリタス (ad) の吸収係数。

## 4.8 GCOM-C 雪氷分野高次プロダクトの研究開発

谷川 朋範

## 1. はじめに

GCOM-C1 雪氷プロダクトでは、積雪・海水の面積や分布に関する物理量と、大気・積雪・海水を構成する積雪粒径や光吸収性不純物に関する物理量を導出する。本年度は（1）積雪・海水の面積や分布に関する物理量を導出するアルゴリズムの改良、（2）昨年度に引き続き PI と協力して米国宇宙航空局（NASA）の中分解能撮像分光放射計（MODIS）データを用いて、雪氷アルゴリズムの健全性および頑健性の評価を実施した。また本年度は SGLI に搭載予定の偏光チャンネルを用いた雪氷プロダクトへの応用について、携帯型分光放射計を用いて検討した。

## 2. 雲・積雪分類アルゴリズムの改良

雲・積雪分類アルゴリズムとは雲、積雪、海水、水、植生のスペクトル特性が波長によって異なることを利用して7のカテゴリ（雲・裸氷・海水上積雪・海水（湖水）・陸上積雪・森林域積雪・森林）に分類するものである。積雪・海水面積や分布はこのアルゴリズムから導出される。これまでグリーンランド北西部氷床上 1500m 地点（N78.05°, W67.62°）に設置した全天カメラ画像や、MODIS プロダクト（MOD35）を用いて雲・積雪分類アルゴリズムの精度を検証してきた。しかし、高緯度地域では太陽天頂角が低いこと、また高高度域ではレイリー散乱の影響が小さくなることなどから、一部の地域では誤判別することが確認された。また雲縁辺部にみられる地面に落ちた影を誤判別することも確認された。この理由はアルゴリズムで用いる各指標の閾値が一定値で固定しているためであることが判明した。本研究では緯度、高度毎、また太陽・センサ天頂角・方位角毎に閾値を設定する動的閾値法を採用し、雲・積雪分類アルゴリズムの高精度化を図った。図1に北西部グリーンランド氷床を例に、改良前と後の雲・積雪分類の結果を示す。氷床上ではこれまで誤判別していた雲を正確に識別できるように改善された。また雲縁辺部の影の誤判別も改善され、全体的にアルゴリズムの精度が向上した。この結果、続く積雪物理量の推定精度も向上することが期待される。

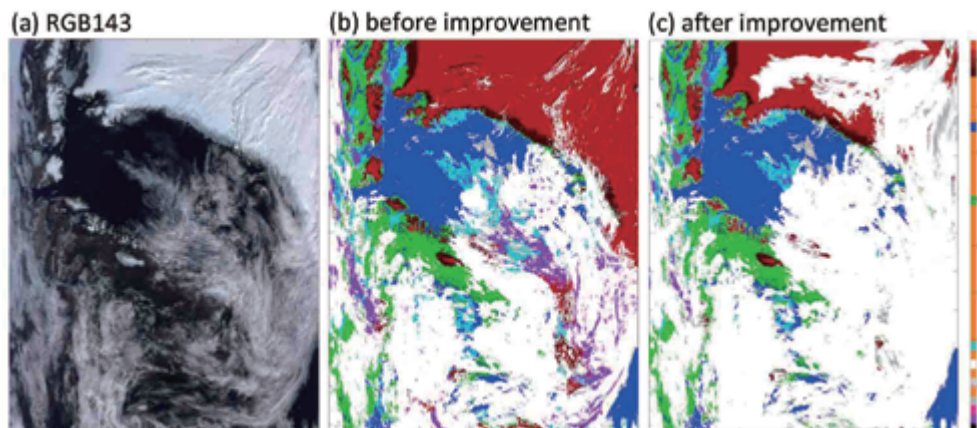


図1 Terra/MODIS から導出された北西グリーンランド氷床の分類結果（グレー・白：雲天域、他、晴天域、ただし紫・マゼンタ・水色：海水、青：外洋、緑：植生、赤・茶：氷床域）。



### 3. グリーンランド氷床の積雪物理量の長期監視

GCOM-C1 用雪氷アルゴリズムの健全性および頑健性を評価するために、過去 10 年分の米国宇宙航空局 (NASA) の中分解能撮像分光放射計 (MODIS) データを用いて積雪物理量を導出することを試みた。近年、グリーンランド氷床では沿岸地域の融解の増加が内陸域での降雪の増加を上回るために、氷床全体の浅薄化が懸念されている。2012 年 7 月には氷床の浅薄化に拍車を掛けるグリーンランドの氷床表面の約 97% が融解するという大規模な現象が起きた。本研究では過去 10 年の融雪期における積雪の変化に注目し、積雪アルベドの経年変化を調べることで雪氷アルゴリズムの健全性および頑健性を評価した。図 2 は 2003 年から 2012 年までの各年 7 月の晴天日のみ画像を用いて、GCOM-C1 雪氷プロダクトから導出された積雪アルベドの各 AWS サイト周辺域における経年変化を示したものである。標高の最も高い (c) Summit サイト (標高  $h = 3190$  m) では特に顕著な変化は見られなかった。一方、標高の低い (c) SIGMA-A サイト ( $h = 1490$  m) では高緯度にも関わらず、近赤外域のアルベドに減少傾向がみられた。(d) - (f) のグリーンランド中部から南部ではアルベドのゆるやかな減少傾向が確認された。近年グリーンランド氷床の西岸および北東部では氷床の薄氷化が確認されていることから、この結果は氷床融解による薄氷化と密接な関係があることを示唆していると思われる。

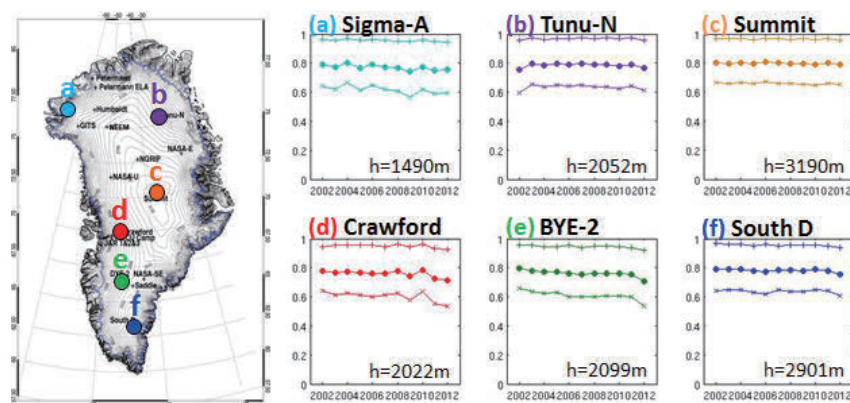


図 2 AWS サイトにおける過去 10 年間の積雪アルベドの経年変化 (+：可視域、×：近赤外域、●：広域帯アルベド)

次に、積雪アルベドの低下が確認されたグリーンランド北西部沿岸域 SIGMA-A サイト周辺域の空間分布について解析を行った。図 3 に 2003, 2007, 2010, 2012 年の可視域と近赤外域のアルベドの空間分布を示す。積雪アルベドは可視域・近赤外域ともに内陸域よりも沿岸域の方で低く、アルゴリズムの健全性という意味においては妥当な結果が得られた。一方、近年、内陸域にかけて低いアルベドの領域が拡大していることが確認された。この地域は高緯度にもかかわらず他の地域同様に氷床の浅薄化が観測されている地域である。

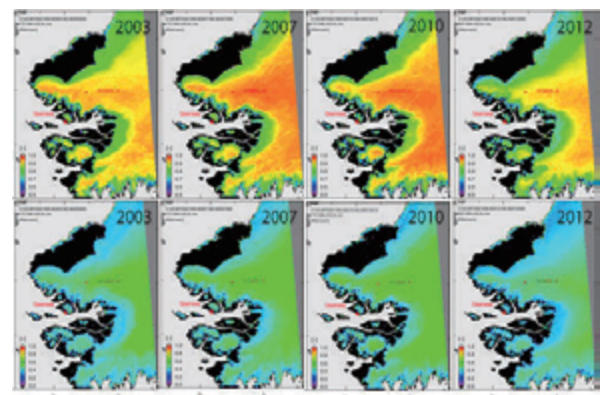


図 3 北西部沿岸域 (a) SIGMA-A サイト周辺域の積雪アルベド (上段：可視域、下段：近赤外域)。

### 4. GCOM 利用研究



今後もこのような傾向が続くとますます氷床の浅薄化が進むことが予測される。温暖化に伴う雪氷圏の変動把握にとって、この地域の積雪物理量は重要な知見を与えるものと期待される。また GCOM-C1 用雪氷アルゴリズムの健全性および頑健性を検証する上でも今後も継続して監視することが重要である。

#### 4. 偏光情報を用いた雪氷プロダクトの可能性

SGLI はこれまでの非偏光観測の他に可視および近赤外領域に偏光チャンネルを搭載する。この偏光チャンネルは大気エアロゾルの光学パラメータの推定に使われる予定であるが、氷粒子の単一散乱パラメータを詳しく分析すると、多方向観測データおよび多偏光データを用いることで、積雪物理量の高精度化や新たな雪氷プロダクト開発の可能性があることがわかった。そこで本研究では分光器を用いて積雪の双方向反射率および偏光度を測定し、雪氷プロダクトにおける偏光情報の有効性について検討した。

積雪分光観測は北海道美幌町の雪原、ならびに北西グリーンランド氷床上において行った。測定には米 ASD 社の分光器 FieldSpec 3 ( $0.35 - 2.5 \mu\text{m}$ ) を用い、独自に開発したプローブと偏光子により双方向反射率 (HDRF) と偏光度 (DLP) の多方向観測を行った。これらの測定は太陽の入射面と平行な主平面に対して行い、雪面から出てくる散乱光の強度、並びに散乱光の平行及び垂直成分を測定した。DLP は完全に 1 つの偏光状態のみを持つ光であれば  $\pm 1$  (完全偏光)、無偏光また非偏光の場合は 0、それ以外は部分偏光となる。観測は積雪表面が (a) 新雪、(b) 針状結晶、(c) 表面霜、(d) ざらめ雪、ならびに (e) サンクラストで覆われている積雪を対象とした。なお積雪の光学等価粒径は (a)  $\rightarrow$  (e) の順で大きく、(e) サンクラストは堅いざらめ雪が凝集した形で積雪表面に分布していた。天気は快晴で、波長  $0.44 \mu\text{m}$  の大気の光学的厚さはおよそ 0.1 (北海道)、及び 0.05 (グリーンランド) であった。

図 4 に波長別 HDRF と DLP の反射角依存性を示す。可視領域 (波長  $0.46 \mu\text{m}$ ) の HDRF は非常に高く雪質の違いは見られなかった。可視光は氷の吸収が殆ど無いため、多重散乱が卓越するためである。可視域の DLP も雪質に関係なくほぼゼロである理由もこのためである。一方、近赤外領域の HDRF は積雪の光学等価粒径の増加とともに減少した。これは氷の光吸収が強いためであり、GCOM-C の積雪粒径のプロダクトでもこの振る舞いを利用している。波長  $1.5 \mu\text{m}$ ,  $1.64 \mu\text{m}$  の HDRF に注目すると大粒子ほど感度がないことが確認された。波長  $1.64 \mu\text{m}$  による積雪表層粒径のリモートセンシングでは大粒

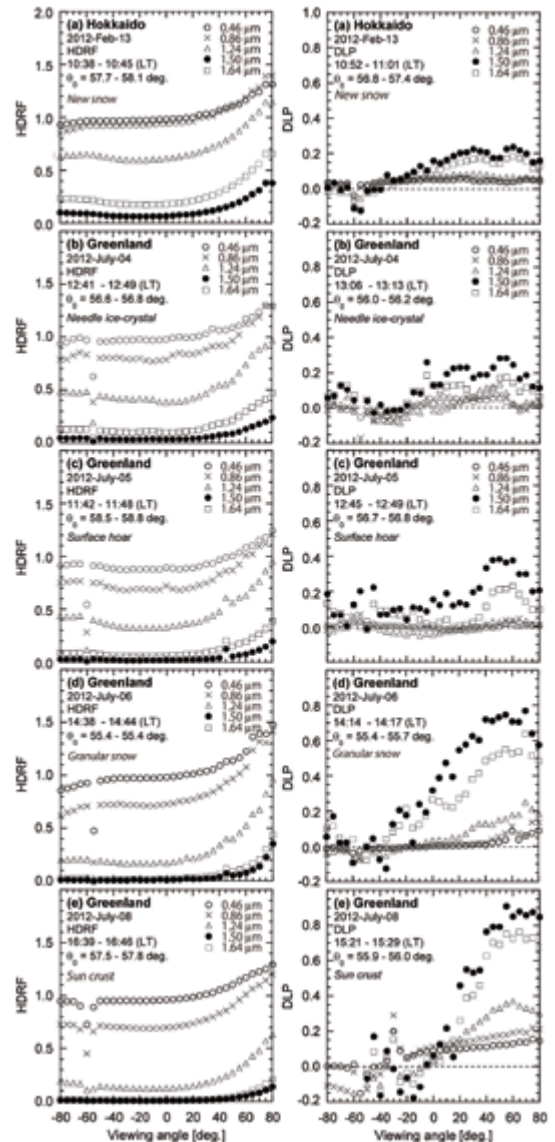


図 4 波長別 HDRF と DLP の反射角依存性。反射角 + は前方反射、- は後方反射。 $q_0$  は太陽天頂角。

子で一様に過小評価する傾向があり、この波長には大粒子の感度がないことが要因の1つであると考えられる。対照的に近赤外の DLP は長波長ほど大粒子に感度があることが観測された。この波長域は特に氷の吸収が強いため積雪表面での光散乱が卓越し、大粒子ほどフレネル反射に近くなるためであると思われる。近赤外領域の偏光観測は特に大粒子の積雪表層粒径のリモートセンシングに有効であると言えよう。

## 4.9 GCOM-C1/SGLI 陸圏プロダクトに関する研究

小野 祐作

## 1. はじめに

多波長光学放射計である SGLI を搭載した第一期機構変更観測衛星 GCOM-C1 は、2016 年度の打ち上げを予定している。GCOM 利用研究グループでは、SGLI の観測データより LAI（単位地表面あたりの葉の片面の総面積）・FAPAR（植生が吸収する光合成有効放射量の比率）を推定するアルゴリズムを陸圏の PI と共同で開発している。今年度は、SGLI と似た仕様を有する Terra/MODIS の観測データを適用し、Terra/MODIS の LAI・FAPAR のプロダクト（MOD15）および現場の LAI・FAPAR と比較した。

## 2. LAI・FAPAR 推定アルゴリズム

LAI・FAPAR は、三次元の植生の放射伝達モデルである FLiES の逆解析により推定する。具体的には、SGLI で観測される双方向反射率と FLiES で計算した双方向反射率の差が最小になるように LAI・FAPAR を決定する。アルゴリズムは、以下のように構築した。まず、FLiES で植生タイプ毎（広葉樹林、針葉樹林、草原など）の LAI と双方向反射率（SGLI の可視と近赤外のチャンネル）および FAPAR の Lookup Tables（LUT）を予め作成しておく。ここで、FLiES で利用する植生の構造は、回転楕円体や円錐や平行平板などの幾何形状を任意に配置することで定義した。そして、SGLI の大気補正済み地表面反射率（可視と近赤外のチャンネル）と土地被覆分類のプロダクトを利用して、式（1）の評価関数  $F$  が最小になる LAI・FAPAR を LUT より検索する。

$$F = \sum_{i=1}^n w_i \{ \rho_{obs,i}(\Omega_s, \Omega_o) - \rho_{sim,i}(\Omega_s, \Omega_o, x_1, x_2, x_3, \dots, x_m) \}^2 \quad (1)$$

ここで、 $\rho_{obs}$  は SGLI の大気補正済み地表面反射率、 $\rho_{sim}$  は FLiES で計算した分光反射率、 $i$  はチャンネル番号、 $\Omega_s$  は太陽入射角、 $\Omega_o$  は衛星観測角、 $w$  は重み係数、 $x$  は植生の構造（LAI など）や光学（単葉の分光反射率・透過率など）などに関するパラメータである。

## 3. Terra/MODIS データ適用結果

2007 年の東アジア地域での Terra/MODIS の大気補正済み地表面反射率（MOD09）と土地被覆分類（MCD12）のプロダクトを適用し、MOD15 および現場の LAI・FAPAR と比較した結果を図 1 と 2 に示す。MOD15 は、本アルゴリズムとほぼ同様のアルゴリズムで推定されたものであるが、LUT から検索できなかった場合のバックアップ処理（NDVI と LAI および FAPAR の回帰式による推定）があることや QA（エアロゾル量など）による処理の可否に関する基準がやや緩いことなどに違いがある。また、現場の LAI は、山梨県富士吉田市のカラマツ林（国立環境研究所の富士北麓フラックス観測サイト）でリタートラップ（直接的方法）と LAI-2000（間接的方法）を利用して観測されたものであり、現場の FAPAR は、同所の林冠と林床で上下向きに設置された分光放射計 MS700 の観測データを利用して式（2）で計算したものである。

$$FAPAR = (PAR_{c\downarrow} - PAR_{c\uparrow} - PAR_{f\downarrow} + PAR_{f\uparrow}) / PAR_{c\downarrow} \quad (2)$$

ここで、 $PAR_{c\uparrow}$  は林冠上向き PAR、 $PAR_{c\downarrow}$  は林冠下向き PAR、 $PAR_{f\uparrow}$  は林床上向き PAR、 $PAR_{f\downarrow}$  は林床下向き PAR である。

## 4. GCOM 利用研究

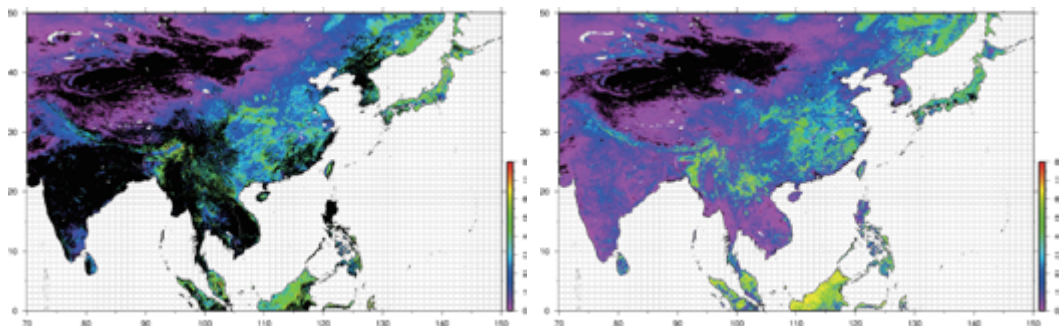


図 1-1 2007 年 8 月 5 日の東アジア地域での LAI の分布  
(左：本アルゴリズム、右：MOD15)

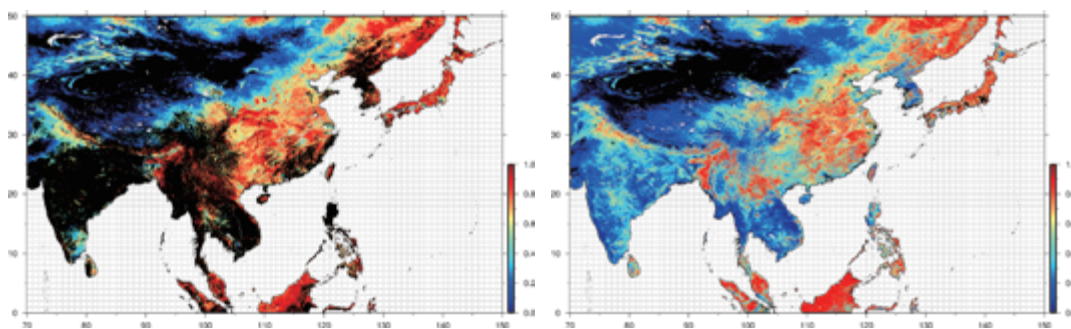


図 1-2 2007 年 8 月 5 日の東アジア地域での FAPAR の分布  
(左：本アルゴリズム、右：MOD15)

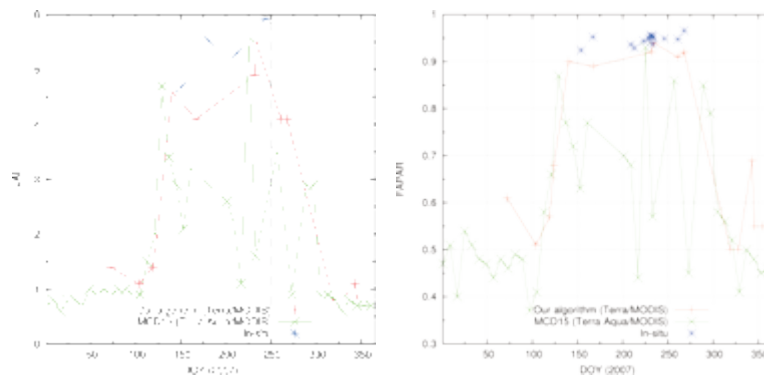


図 2 2007 年の山梨県富士吉田市のカラマツ林での LAI (左)・FAPAR (右) の季節変化  
(赤：本アルゴリズム、緑：MOD15、青：現場)

#### 4. おわりに

本アルゴリズムは、MOD15 の分布および現場の LAI・FAPAR の季節変化を良く再現できていた。しかしながら、MOD15 と比較して中国南部などで過剰推定であったこと、現場の LAI・FAPAR と比較して落葉期で過小推定であったことから、現場で計測された光学（林冠の双方向反射率など）および構造（林冠の三次元形状など）に関するパラメータ、ALOS/AVNIR-2 などの高分解能光学センサや ICESat/GLAS などのレーザ高度計の観測データ、FLiES を利用した解析により原因を明らかにし、本アルゴリズムの改良を検討する必要がある。

#### 4. GCOM 利用研究

## 5. 分野横断型利用研究



## 5.1 横軸・水循環研究グループ活動成果

可知 美佐子・沖 大幹

### 1. はじめに

横軸水循環 RG では、統合的な水資源管理の実現のための信頼のおける水循環情報の提供を目標として、EORC 陸面水循環シミュレーション・システム (YEE) の構築を行っている。第一期 (FY20-24) において、東大から移植した陸面水循環シミュレーション・システム (Today's Earth) を、EORC にて衛星や客観解析値の入力を追加した上で、モデルのバージョンをアップデートし、Yesterday's Earth at EORC (YEE) として構築し、約 2 日遅れで定常的に動くシステムとして平成 24 年 12 月より運用を開始した。

### 2. 第二期の計画概要

第二期 (FY25-29) では、このシステムを定常システムとして運用し、出力画像やデータを、本研究に興味を持つ研究者に対して提供することを計画している。さらに第一期で導入したリスク評価指標について、過去や現在の災害等との比較を通じて検証を継続し、指標の改善を行っていく。対応を入力衛星プロダクトの追加については、利用可能なものがあれば随時行っていき、品質の評価 (検証) を継続する。新しい機能やモデルの導入にあたっては、連携する東大のシステム (Today's Earth) と連携し、同システムおよび YEE にて試験を行った後、定常システムに組み込む予定である。

さらに、2011 年にタイで起こった大洪水に関する知見を受けて、YEE の陸面シミュレーション。システムに河川氾濫のモデルを導入する。同時に、衛星マイクロ波放射計観測による水面面積割合等のプロダクトとの比較から、簡単な陸面モデルの修正 (同化) を検討する。新しい機能やモデルの導入にあたっては、連携する東大のシステム (Today's Earth) と連携し、同システムおよび YEE にて試験を行った後、定常システムに組み込む。また、外部研究者との連携を強化する。

5 年の期間終了時に、水資源管理における現場に即した実利用例をつくることを目標とする。

### 3. FY25 年度の実施内容

今年度の実施計画および実施内容は以下の通りである。

- YEE システムの定常運用
  - JRA 版および GSMaP の YEE システムは、現在定常運用を行っている。3 時間毎の出力結果および平年値からの標準偏差の画像は、YEE のウェブサイト (現状は、パスワード制限あり) で表示し、関係者に公開している。
  - 気象庁から JRA55 データ (55 年再解析) が公開されるのに対応して、平成 25 年 1 月～3 月にかけて、準リアルタイム版についてもアルゴリズム更新・フォーマット変更が実施されたため、それに対応する改修を実施した。
- YEE システムの評価継続
  - 積雪深、土壌水分量、河川流量の検証を実施した。
  - 積雪深と土壌水分量の検証結果を表示できるシステムを、YEE のウェブサイトの中に構築した。河川流量の検証結果については、今年度に設計をつめ、来年度に構築する予定。

## 5. 分野横断型利用研究

- 第2回 JAXA 水循環ワークショップの開催
  - 平成25年12月16日に東大生研において、第2回 JAXA 水循環ワークショップを開催した。
  - 同日の午後には、他の横軸研究グループとのシナジーを目的に、「複数の地球観測衛星データを利用した分野横断型研究に関するワークショップ」が開催され、横軸水循環の研究発表も行った。
- AMSR2 との連携
  - 積雪深、土壌水分量の検証は、AMSR2 の検証に利用しているデータおよび品質管理方法と連動し、検証結果も出来る限り同時に表示するようにした。
- 新規機能の追加計画の立案
  - 現在の YEE に組み込まれている河道網モデルの空間分解能を、現在の1度格子から0.25度格子に上げた試験システムを構築した。
  - 氾濫モデルの YEE システムへの試験的な組み込み（河道網モデルとの差し替え）を行った。
  - これらの新機能を利用した処理結果について、現場観測の河川流量データと比較した結果、分解能の向上の効果、氾濫モデル導入の効果があり、来年度に YEE システムの定常処理に組み込むことを計画している。
  - 水面積割合プロダクトについては、東大生研の竹内研究室で AMSR-E/AMSR2 からの定常的な作成を開始したのを受けて、氾濫モデルの出力結果の検証を行った。

#### 4. 来年度（FY26 年度）の計画

- 東大版 Today's Earth における、洪水アラートシステム  $\beta$  版の構築
- YEE システムの JRA55 へのアップデート（過去期間の再処理）
- YEE システム定常処理への新機能の導入
- 遅れ処理の導入（MODIS/SWR 処理の導入、LAI 月平均値の導入）

---

#### 5. 分野横断型利用研究

## 5.2 横軸研究・数値気候モデル研究グループ活動成果

佐藤 正樹・久保田 拓志

## 1. はじめに

地球温暖化に代表される気候変動予測に利用される数値気候モデルにおいて、雲・降水過程の扱いには不確定要素が多いことが指摘されている。衛星リモートセンシング観測による気候モデルの雲・降水過程の検証がますます重要になっている。近年、衛星観測によって推定された物理量による気候モデルの検証だけでなく、衛星データ・シミュレータを用いた検証方法が利用されるようになっていく。衛星データ・シミュレータは、数値モデルの仮想的な大気データから、衛星センサの疑似観測データを出力し、疑似観測データと実際の観測データを比較・検証することで、数値モデルの問題点をより明確にすることができる。

また雲・降水過程をより現実的に表現しながら地球大気をシミュレーションする世界最先端の全球雲解像数値大気モデル（NICAM）が佐藤正樹 RG リーダのグループにより開発されてきた。今後5年後を展望すると、NICAMのみならず世界各国の研究機関で雲を解像する全球雲解像大気モデル（GCRM）が開発されると予想される。そのため、EORCの横軸研究としてミッション横断的な気候モデル連携プロジェクト研究を立ち上げ、現在 EarthCARE 利用研究で開発を進めている衛星データ・シミュレータ Joint-Simulator を EarthCARE 以外のセンサにも展開し、GCRM と衛星データの連携を推進する。本研究グループのアウトプットは、GCRM の検証に役立つ衛星プロダクトを整備・作成・公開すること、およびその衛星プロダクトによる GCRM の雲・降水過程の検証・改良の結果とする。

## 2. H22 年度～ H24 年度の研究成果

本研究活動は H22 年度にスタートしたが、H22 年度に GCRM 検証用衛星プロダクトの試作とそのデータによる NICAM 検証についての検討し、H23 年度には、Joint-Simulator の他センサへの展開として、ある特定事例のマイクロ波放射計や降水レーダのシミュレーションデータの作成を行った。また岡本創教授（九州大学）よりご提供頂いた CloudSat/CALIPSO merged データを EORC 内の計算機に整備すると同時に、端野典平博士（東京大学）からそのための解析ツール（MATLAB コード）のご提供を受け、その内容を確認した。H24 年度は、TRMM データによる NICAM 検証として、NICAM データ（水平分解能 3.5km）から Joint-Simulator で TRMM PR/TMI/VIRS simulation データ作成：8 日間分（2008 年 6 月 17 日～ 6 月 24 日）を作成し、T3EF（TRMM の VIRS と TMI を PR の観測位置でまとめたデータセット、Matsui et al. 2009）との比較・検証を実施した。また同期間で、Aqua と Terra 衛星に搭載されている CERES データによる NICAM 検証も実施した。CloudSat/CALIPSO merged データについては、2006.6-2007.5 へ拡張し、1 年分の GCRM 検証用データを作成した。上記で作成・整備した衛星データ、ツールおよび解析結果の Joint-Simulator 利用者への公開のために、ホームページを作成した。

## 3. H25 年度の研究成果

今年度は、TRMM データによる NICAM 検証を継続し、マイクロ波の放射計算に関するバグの修正を行い、計算の再計算を行った。また今年度から新たに、気象庁非静力モデル（JMA-NHM）の雲微物理過程を Joint-Simulator により検証する活動を始めた。本活動は、気象研究所の共同研究「衛星雲・降水観測データのデータ同化システムの構築に関する共同研究」の一部として実施している。本

## 5. 分野横断型利用研究

年度は Joint-Simulator の JMA-NHM データ用インターフェースツール (Mri2nc) の改良・拡張を実施した。2008 年の NICAM シミュレーションと同じ時期の JMA-NHM データの検証として、TRMM TMI, PR, VIRS を中心に、出力についての初期検討をした。Joint-Simulator 機能で不足しているアクティブ式降水レーダの入射角を考慮した処理を実現するために、気象庁非静力学モデルのグリッドデータを、TRMM/PR 観測ビームの入射角を反映させて空間内挿 (水平面内挿、鉛直内挿) および時間内挿 (最近接内挿) して NetCDF 出力させる幾何変換ツールを開発し、JMA-NHM シミュレーションデータを TRMM/PR データにより検証を行った。また昨年度から引き続き、作成・整備した衛星データ、ツールおよび解析結果の Joint-Simulator 利用者への公開のために、ホームページを整備した。

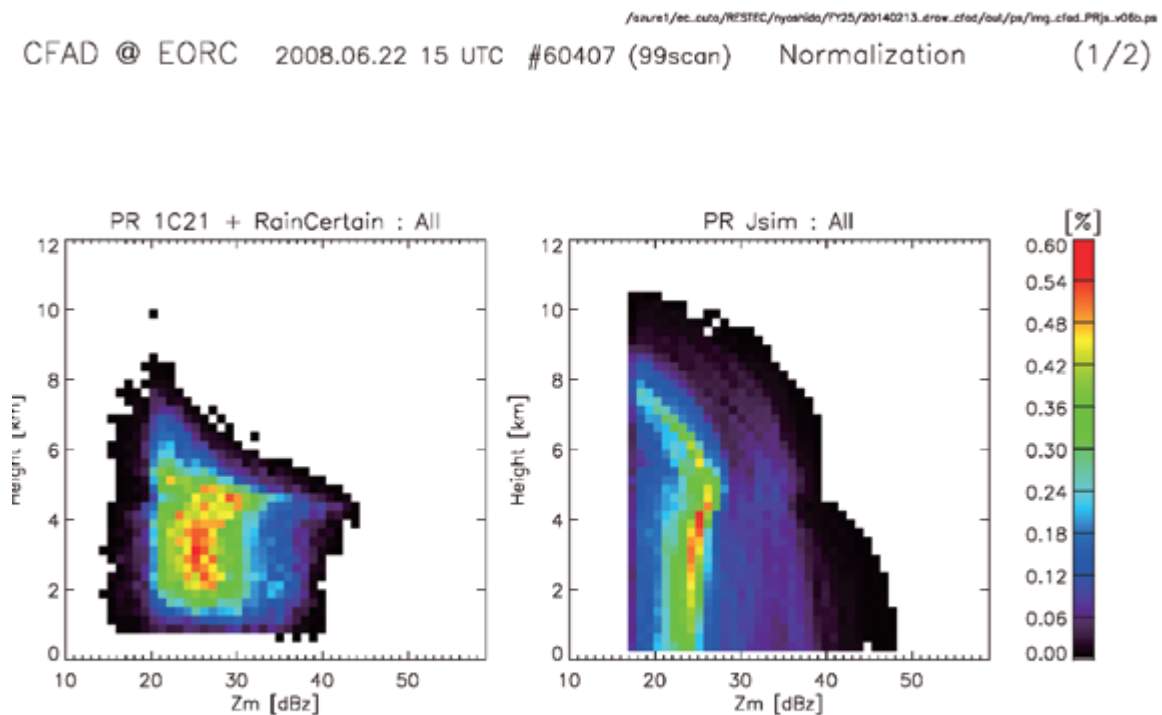


図 1. TRMM/PR データによる JMA-NHM 検証例：

レーダ反射因子を横軸、高度を縦軸とした Contour Frequency by Altitude Diagrams (CFAD) の比較。左側は TRMM/PR 観測データ、右側は JMA-NHM データから Joint-Simulator および幾何変換ツールにより TRMM/PR 模擬データを作成し、同様の解析を行った図。



## 5.3 横軸生態系研究グループ

奈佐原 顕郎

### 1. はじめに

当グループは、JAXA 地球観測データを使った生態系応用研究を進めている。その中でも、特に、生態系一次生産に重要な日射量（光合成有効放射量）、バイオマス、土地被覆、という3つのプロダクトを重点的に開発している。また、これらを介して、直接的・間接的に、外部の生態系研究コミュニティとの連携（J連携）を深めている。平成25年度の成果は以下の通り：

### 2. 日射量（光合成有効放射量）

衛星としてMODISとSeaWiFSを用いた時系列・全球の日射・光合成有効放射（PAR）プロダクトは、既に定常的なプロダクトをリリースしている。平成25年度は、地上検証活動に取り組んだ。GCOM-Cグループと協力し、JAXA-国立環境研究所-高層気象台の共同研究の枠組みで、日射の高精度分光計測を実施し、多地点で定常的に観測するための機器選定とプロトコル開発を行った。

### 3. バイオマス

ISS搭載ライダー（MOLI）開発グループ・ALOSグループと協力し、ICESatのライダーデータとALOS/PALSARのデータを組み合わせて北海道地域の森林バイオマス推定のフィージビリティ研究を行った。

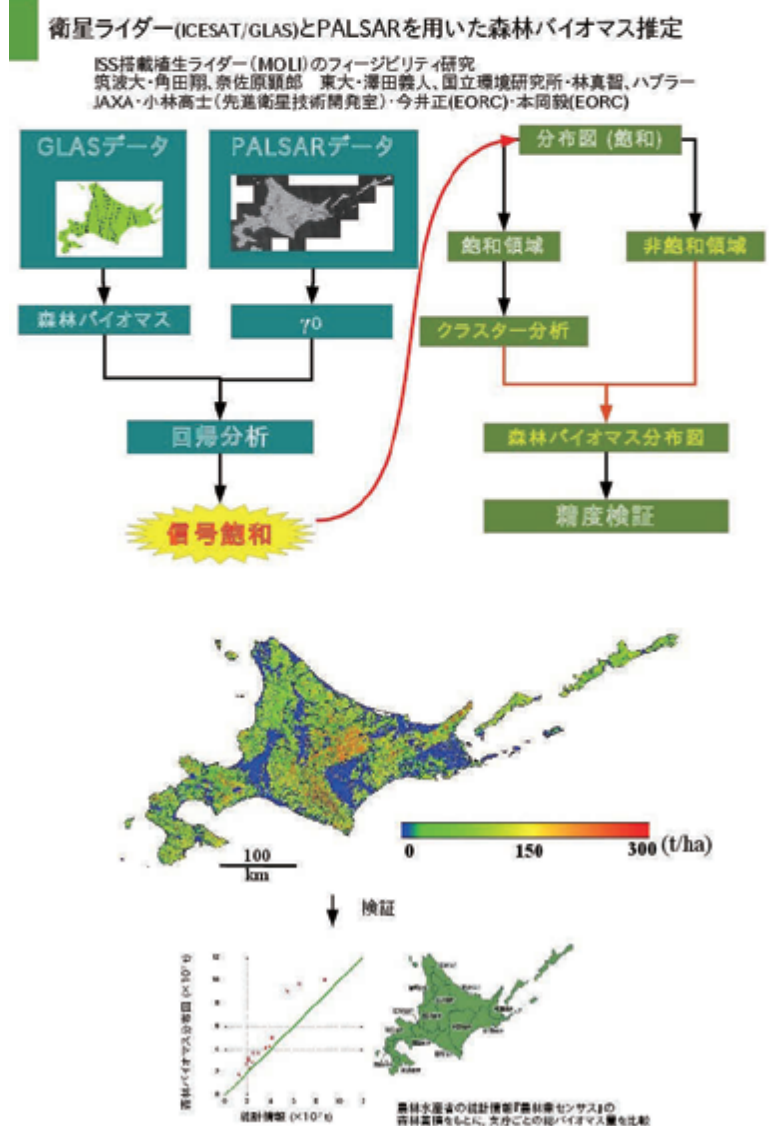
### 4. 土地被覆

ALOS利用研究と協力し、ALOS/AVNIR2を用いた日本域土地被覆図を定期的にバージョンアップ・リリースをしている。平成25年度は、v14.02をリリースした。また、そのためのAVNIR2高次補正処理データ（AVNIR2HLP）を、コミュニティが使えるように整備した。さらに、土地被覆分類のための参照データ（教師・検証データ）のデータベースとして、SACLAJを整備した。日本の次の対象として、モンゴルを重点解析対象とすることを決定し、GCOM-W利用研究と協力しながら、モンゴル研究コミュニティとの連携を整えた。また、TRMM/PRを用いた、熱帯・亜熱帯域植生変動推定を行った。2009年のPRのA系からB系への移行に伴うデータ不連続の影響が大きいことがわかった。

### 5. コミュニティ連携・その他

J連携（JAXA-JAMSTEC-JaLTER-JapanFlux連携）を引き続き推進しただけでなく、新たに生物多様性研究コミュニティであるJBON（Japan Biodiversity Observation Network）がJ連携に参入した。

全球陸域1kmメッシュ炭素収支推定を引き続き実施した（国立環境研究所との強力）。

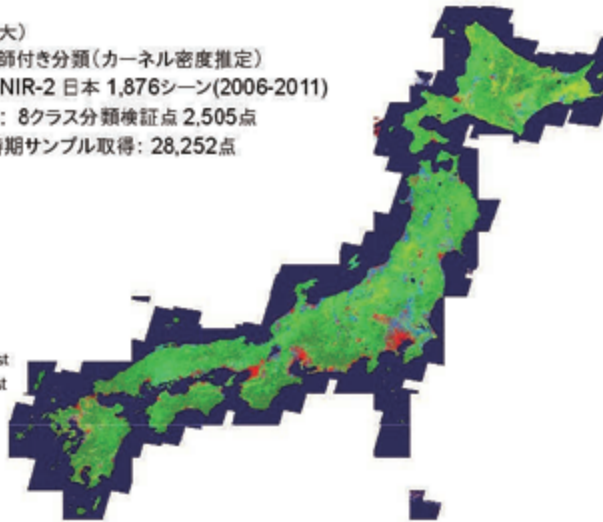


## ALOSを用いた土地被覆分類 (ver. 14.02)

5

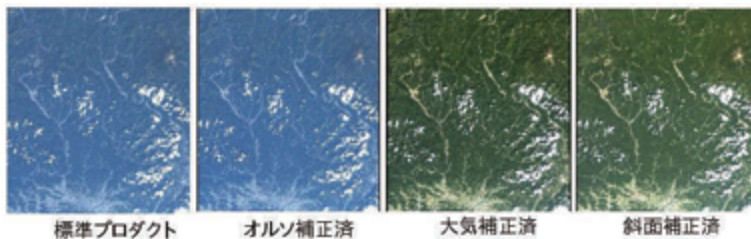
橋本秀太郎 (北大)  
 分類手法: 教師付き分類 (カーネル密度推定)  
 衛星データ: AVNIR-2 日本 1,876シーン (2006-2011)  
 教師検証データ: 8クラス分類検証点 2,505点  
 各検証点で多時期サンプル取得: 28,252点

Water  
 Urban  
 Paddy  
 Cropland  
 Grassland  
 Deciduous Forest  
 Evergreen Forest  
 Bare Land



AVNIR2 high-level products → 土地被覆コミュニティに共有

項目	目的	効果
オルソ補正 ORI	位置合わせ	多時期のデータの空間的な重ね合わせが可能になります。 山の傾れこみが解消されます。
大気補正 ORI-ACI	日射量や大気の影響を除去	多時期のデータの放射光の比較が可能になります。 大気の影響を受けやすい青バンドが適正され、陸上での見た目のようになります。
斜面補正 ORI-ACI-SCI	山陰の影響を除去	山陰による誤分類を防ぎます。



標準プロダクト

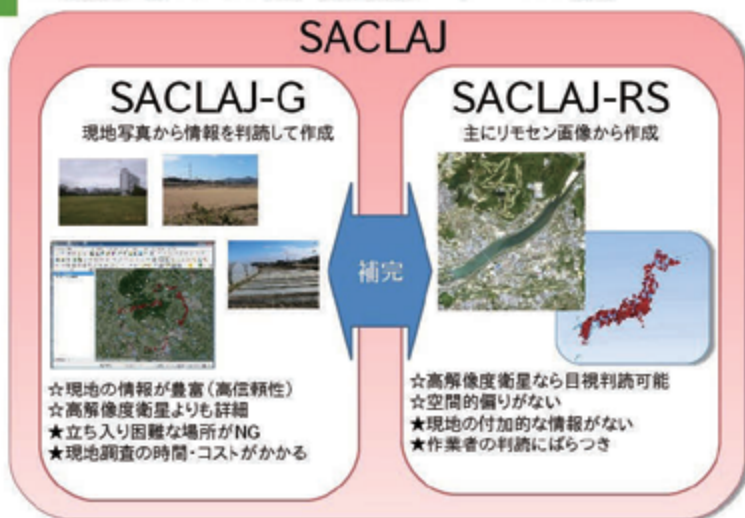
オリソ補正済

大気補正済

斜面補正済

※ 2007/10/10 観測 岐阜県下呂市周辺

## 土地被覆分類のための教師・検証情報データベースの構築



7

## TRMM/PRを用いた森林マッピング

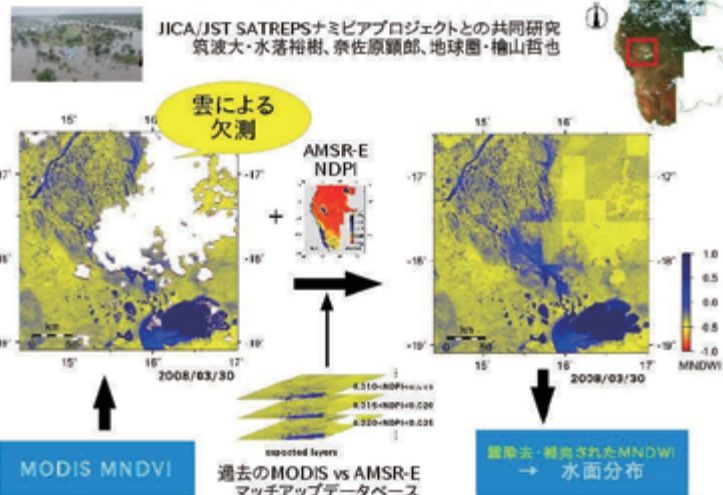
筑波大・藤田裕貴、奈佐原顕郎 JAXA・可知美佐子



### TRMM/PRで2002年~2011年の森林・非森林分類図



## AMSR-EとMODISを使った、北部ナミビアの耕作可能地域のマッピング



## その他の成果

- 全球陸域炭素収支推定: 1km分解能, 月ごとの計算を開始した(BEAMSモデル)。  
国立環境研究所・三枝信子、名古屋大・佐々井崇博
- J連携にJBON (日本生物多様性観測ネットワーク)が新たに加盟した。
- ALOS土地被覆図研究、モンゴルに着手。  
→ 多くのモンゴル研究者の協力を得られることに。  
「この指止まれ」

## コミュニティからの要望

- JAXA衛星データの蓄積・解析をone-stopで行えるサーバーを構築・公開して欲しい(NEXのような)。
- 地上検証情報の蓄積・データベース化を指導・支援して欲しい。
- JAXA衛星データを、博物館や科学教育に使いやすく提供して欲しい。





## 6. センサ研究

## 6.1 センサ研究の概要

木村 俊義

センサ研究室では、将来ミッションシナリオに基づくセンサの研究開発シナリオの提案・維持・管理および、それに基づく要素技術研究およびミッション研究を実施している。また光学系のラジオメトリック校正について、輝度基準器の維持管理、校正等の共通的技術研究を実施している。平成25年度においては、研究提案評価のプロセスを経て、要素技術としてのTYPE-II超格子赤外検出器、高出力パルスレーザー送信機、サブミリ波放射計の研究、ミッション研究として、植生ライダー、次世代LバンドSAR、イメージングFTS、静止海色ミッション、ドップラーライダー、海面高度計の研究を実施した。また部内実証ミッションとして地球観測用小型赤外カメラ(CIRC)の開発/試験を行い、ALOS-2衛星への引き渡しを完了した。その他本報告では割愛するが、各プロジェクト、プリプロジェクトに対して有識者としての審査、研究協力を実施している。

センサ技術については、本部内では、近紫外～可視～熱赤外の光学イメージャ/放射計、電波領域については現状90GHz迄の放射計とL, Ku, Ka, Wのレーダ技術が獲得済みの主な技術であるが、将来的必要とされる観測要求を高分解能化、高波長分解能化、高時間分解能化、観測波長/周波数の拡大の主要な観点から分析し、必要なキーテクノロジーを評価し要素～システム評価の幅広い領域の技術蓄積をフロントローディングとして実施するのが目標である。またセンサの観測工学値から物理量や情報へと評価していくアルゴリズムについて解析グループとの連携により理解を深め、センサ仕様への反映を図る。

現在は、電波の高周波化(~200GHz)、高度干渉技術、デジタルビームフォーミング。光学については近年可視に比較して更に高度化が望まれる赤外技術、微量気体の検出とともに分布情報を高分解能で確定するための技術、次世代の静止衛星ミッションを目的とした大型集光系および関連技術、基礎技術確立を目指している衛星搭載レーザーレーダ等を研究対象としている。次項以降に主な研究課題と進捗の要旨を報告する。

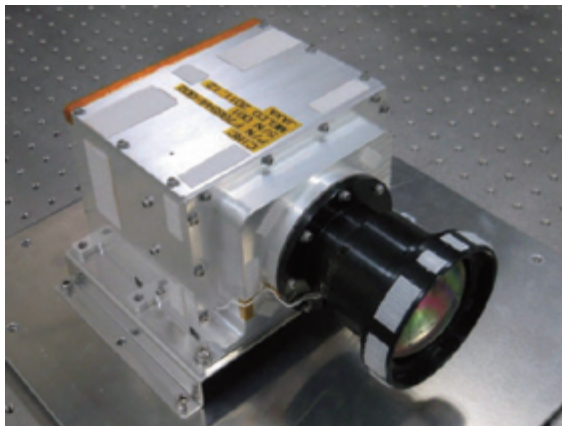
## 6.2 地球観測用小型赤外カメラ（CIRC）の開発

片山 晴善、内藤 聖貴、原田 昌朋、中村 良子、加藤 恵理、酒井 理人、中島 康裕

### 1. はじめに

地球観測用小型赤外カメラ（CIRC: Compact Infrared Camera）は、非冷却赤外検出器（マイクロボロメータ）を使用した小型軽量の赤外カメラで、ミッション機器のリソースが限られている小型衛星や副ミッションとしての搭載に適している。CIRC の主要なミッション目的は、東南アジア諸国などで頻発する森林火災を衛星から検知することである。また CIRC プロジェクトでは、短期で低コストの熱赤外イメージャの開発を目指している。

CIRC の外観と主要諸元を図 5-1-1 に示す。検出器は宇宙用としてはこれまでで最大となる  $640 \times 480$  画素の大フォーマットの素子を使用する。小型化、省電力化を達成するために、CIRC ではアサーマル光学系を採用している。また駆動部を減らして軽量化を図るために、校正用のためのシャッタを採用せずシャッタレスで温度校正を行う。CIRC は ALOS-2 (FY26 年度打上げ予定)、および JEM/CALET (FY26 年度打上げ予定) に搭載される。



項目	性能
波長域	8-12 $\mu\text{m}$
画素数	640 × 480 SOI ダイオード
瞬時視野	0.0183° (GSD200 m@ 高度 600 km)
視野角	11.7° (CT) × 8.8° (AT) (128 × 96 km)
寸法	108 × 183 × 230 mm
重量	3.1 kg
消費電力	20 W

図 1. ALOS-2 搭載 CIRC の外観と主要諸元

### 2. 本年度の成果要約

#### 2.1 ALOS-2 搭載用 CIRC

FY24 に引き続き、FY25 は衛星システムに組み込まれた状態での中間電気性能試験、機械環境試験、EMC 試験、End to end 試験、射場総合試験を実施し、一連のシステム試験を通して CIRC の正常動作を確認した。

ALOS-2 搭載 CIRC のセンサ及び地上システムの開発が完了し、関連システムとの IF 試験を終了したため、12 月には ALOS-2 搭載 CIRC 開発完了確認会を実施し、運用準備作業への移行が問題ないことを確認した。

#### 2.2 CALET 搭載 CIRC

CALET 搭載用 CIRC PFM は FY25/4 月にシステムへ引き渡しを完了し、CALET MDC/CIRC の噛み合わせ試験を実施した。また FY25 は CALET 搭載用 CIRC 地上システムを構築し、CIRC 地上システム単体での開発を完了した。

## 6. センサ研究

## 2.3 CIRC 校正検証・利用実証

FY25 は、打ち上げ後の校正検証へ向けた準備として、CIRC 地上モデルを航空機に搭載するための治具の製作を行い、修理改造検査を実施・合格した。

また CIRC 利用検討委員会を FY25 に 3 回開催した。本委員会の目的は校正検証、利用実証の方法を委員と協力して検討し、実施することである。校正検証は軌道上運用におけるプロダクトの校正検証を行う。利用実証は CIRC ミッション要求条件書で示されるミッションの利用実証を行う。

CIRC 開発完了確認会や CIRC 利用実証委員会での指摘、議論の内容を反映し、CIRC 校正検証・利用実証計画書を制定した。

## 3. まとめ / 課題

ALOS-2 プロジェクトと密接に連携を取りながら、FY26 の打ち上げに向けて運用準備作業を着実に遂行する。CIRC 校正検証・利用実証では、CIRC 利用検討委員会の委員と合意を取りつつ進める。また CALET 搭載 CIRC については、FY26 のシステム試験を実施する。

## 4. 外部発表成果

- ・ Masataka Naitoh, Haruyoshi Katayama, Masatomo Harada, Ryoko Nakamura, Eri Kato, Yoshio Tange, Ryota Sato, Koji Nakau, “Compact Infrared Camera (CIRC) for Earth Observation,” Proceedings of the 29<sup>th</sup> ISTS, 2013-n-29
- ・ Ryoko Nakamura, Haruyoshi Katayama, Masataka Naitoh, Masatomo Harada, Eri Kato, Koji Nakau, and Ryota Sato, “Ground Calibration of Compact Infrared Camera (CIRC) for Earth Observation,” Proceedings of the IGARSS 2013, 6723819
- ・ 日本赤外線学会 第 66 回定例研究会依頼講演、“JAXA における非冷却赤外検出器の開発と応用”、加藤恵理
- ・ 赤外線アレイセンサフォーラム 2013、ポスター発表 “地球観測用小型赤外カメラ (CIRC) の開発”、酒井理人
- ・ Eri Kato, Haruyoshi Katayama, Masataka Naitoh, Masatomo Harada, Ryoko Nakamura, Koji Nakau, and Ryota Sato, “Compact Infrared Camera (CIRC) for earth observation adapting optics,” Proceeding of the SPIE OEA 2013, 8860-12
- ・ 宇宙科学技術連合講演会 第 57 回、1 C13 “CALET 搭載地球観測用小型赤外カメラ (CIRC) の開発”、酒井理人



## 6.3 InAs/GaSb Type II 超格子の研究

片山 晴善、室岡 純平、酒井 理人、木股 雅章

## 1. はじめに

超格子は、1987年に Smith and Mailhiot によって InAs/GaSb Type II 歪み超格子が、HgCdTe に代わる赤外検出器となりうることを示され研究が進められてきた。InAs/GaSb Type II 超格子は、図 1 に示すように InAs の伝導帯が、GaSb の価電子帯よりも低いエネルギーレベルにある II 型の超格子である。この特異なバンド構造から、構成する物質のバンドギャップよりもより小さなバンドギャップを持つことが可能となる。

超格子は、層厚と物質の組成の正確なコントロールによりバンド構造をコントロールすることができ、InAs/GaSb の場合  $3\mu\text{m} \sim 30\mu\text{m}$  までにカットオフ波長をもたせることが可能である。このことから第 3 世代の Focal Plane Array (FPA) の物質の候補とされている。赤外検出器としての Type II 超格子の特徴は、①高い量子効率を持つ、②幅広い波長幅に対して感度を持つ、③Ⅲ-V 族化合物半導体の技術を利用できること等が挙げられる。

本研究では、イメージング FTS の焦点面検出器への適用をターゲットとしたカットオフ波長  $15\mu\text{m}$ 、画素フォーマット  $100 \times 100$  程度のアレイ型赤外検出器の開発を最終目標とし、その要素技術獲得に向けた研究を行っている。

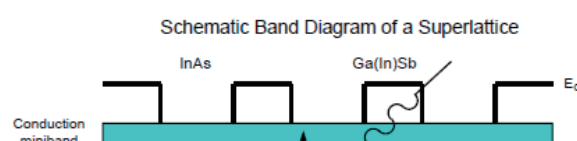


図 1 Type II 超格子のバンド構造と吸収プロセス (Hill et al. 2009)

## 2. 本年度の成果要約

2.1  $6\mu\text{m}$  カットオフアレイ検出器の感度向上

更なる感度向上のために各プロセスの改良を行った。具体的には、メサ形成処理、パッシベーション成膜処理の変更等により比検出能 ( $D^*$ ) で昨年度から一桁近い感度向上を実現した (FY24 :  $D^*=1.4 \times 10^{11} \text{cmHz}^{1/2}/\text{W} \rightarrow \text{FY25} : D^*=1.2 \times 10^{12} \text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$ )。

また、アレイ検出器で見られたひび割れは研磨前に入れるアンダーフィール起因 (冷却時のアンダーフィールと素子の熱膨張差) であることを明らかにし、今後の改良の目途をつけた (図 2、図 3)。

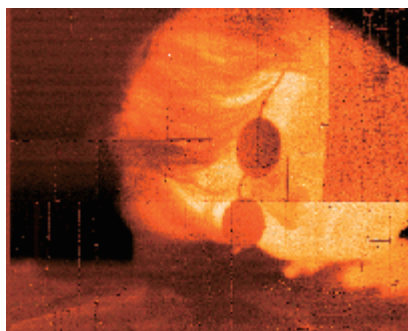


図 2 FY24 素子 アンダーフィールあり



図 3 FY25 素子 アンダーフィールなし

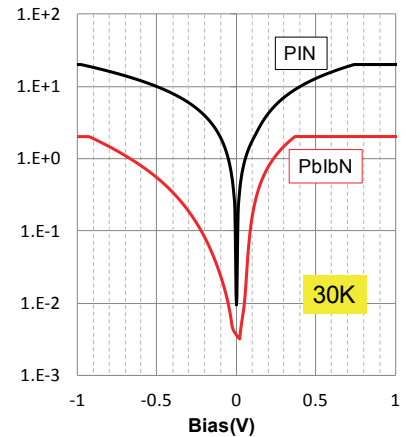
## 6. センサ研究

## 2.2 15 $\mu$ m 単画素検出器の試作

15 $\mu$ m 単画素検出器に関しては暗電流の条件が厳しいため、バリア構造による暗電流低減に取り組んだ。バリア構造の導入により2桁近く暗電流を低減でき(図4)、比検出能に関しては $D^*=1.3 \times 10^{10} \text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$ で目標の $10^9$ 台を一桁上回る結果を得た。

## 2.3 MOCVD による結晶成長

従来MBEで行ってきたType II超格子の結晶成長をMOCVDによって行った。MOCVDは将来の量産化等を考えた際に有望な結晶成長方法である。昨年度からの取り組みにより、MBEと同等な結晶品質を得られるようになった(世界的にも数例の報告があるのみ)。



(b) PIN構造とPbInN構造のIV特性の比較  
(受光サイズ250 $\mu$ m $\phi$ )のIV特性

図4 バリア構造エピで試作した単画素検出器のI-V特性

## 3. まとめ / 課題

- ・ 6 $\mu$ m カットオフアレイ検出器の感度向上を行い、メサ形成処理、パッシベーション成膜処理の変更等により比検出能( $D^*$ )で昨年度から一桁近い感度向上を実現した( $D^*=1.4 \times 10^{11} \rightarrow 1.2 \times 10^{12} \text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$ )。
- ・ 15 $\mu$ m カットオフ単画素検出器を試作し、比検出能  $D^*=1.3 \times 10^{10} \text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$  と目標の $10^9$ 台を一桁上回る結果を得た。
- ・ アレイ検出器については、アンダーフィールド、バンプ接合の改良を行い、欠陥画素等の低減を行う。単画素検出器については更なる感度向上を目指す。

## 4. 外部発表成果

- ・ Haruyoshi Katayama, Junpei Murooka, Masataka Naitoh, Ryota Sato, Satoshi Kawasaki, Yudai Itoh, Syota Sugano, Tomoko Takekawa, Masafumi Kimata, Mikhail Patrashin, Iwao Hosako, Yasuhiro Iguchi, "Development status of Type II superlattice infrared detector in JAXA", Proc. SPIE., 8704, 870416-1 (2013)
- ・ Haruyoshi Katayama, Junpei Murooka, Ryota Sato, Masafumi Kimata, Takahiro Kitada, Toshiro Isu, Mikhail Patrashin, Iwao Hosako, "Development of Type II Superlattice Detector for Future Space Applications in JAXA", Proc. CLEO-PR & OECC/PS, TuC1-3 (2013)
- ・ 片山晴善, "JAXAにおけるType II超格子赤外検出器の開発", 日本赤外線学会 (2013)
- ・ 片山晴善, "JAXAにおけるType II超格子赤外検出器の開発", 赤外線アレイセンサフォーラム (2013)
- ・ 竹川智子, 伊藤雄大, 菅野翔太, 木股雅章, 片山晴善, 猪口康博, 稲田博史, "GaSb/InAs Type-II超格子赤外線センサの量子効率評価", 赤外線放射応用学会年会 (2013)

## 6.4 アクティブな光距離計測を可能とする宇宙用高出力パルスレーザ送信機

今井 正、鈴木 桂子、境澤 大亮、室岡 純平

### 1. はじめに

ライダーは送信部であるパルスレーザ、伝送光学系、信号を受信する望遠鏡、そして検出器の受信部、電気信号に変換された信号を記録・処理する信号処理部からなる。このなかで送信部を占めるパルスレーザ開発は宇宙でライダーを利用する場合に重要な要素技術である。

宇宙空間におけるパルスレーザの利用は、打上時に発生する振動耐性、高密度発熱体からの排熱、高真空環境、放射線耐性の保証といった課題がある。諸外国における宇宙用パルスレーザの地球観測利用ではスペースシャトルに搭載した LITE 計画からはじまり、GLAS/ICESat (2001 年～2010 年、NASA/GSFC)、CALIOP/CALIPSO (2006 年～現在 NASA/LaRC-CNES) にいたる。CALIPSO 以降 ALADIN/ADM-Aeolus (2015 年打上げ予定：ESA)、ATLID/EarthCARE (2015 年打上げ予定、ESA)、ATLAS/ICESat-II (2017 年打上げ予定：NASA/GSFC) の開発が進められているが、電波センサや他の受動光学センサと比較すると 2000 年代に入って始めて地球観測用システムが実現された新規分野のセンサである。

ICESat、CALIPSO に搭載されている送信レーザは平均出力 4W 程度であるが、ADM-Aeolus、ICESat-II に搭載されるレーザの平均出力は 10W を超えており、今後想定されるライダーミッションにおいても同等もしくは、それ以上の出力要求が想定される。

衛星軌道上で平均出力 10W を超えるパルスレーザの安定動作に求められる要素として、伝導排熱（冷却）による発熱体の熱処理、高真空下において発生するコンタミネーションと高輝度レーザを用いる場合に発生するレーザ誘起コンタミネーションによる影響の除去、放射線に対する信頼性評価が上げられる。本項では FY25 において実施した宇宙用高輝度パルスレーザの実現に向けた研究を記す。

### 2. 本年度の成果要約

- 1) パルスレーザの試作を行い、伝導冷却のみで排熱できることを確認し、16.4W の基本波出力を達成した。
- 2) レーザダイオードの寿命評価試験を実施し、目標値である 100 億ショットを実証した。また同じレーザダイオードで 140 億ショットを超える寿命が期待できることを確認できた。
- 3) 高真空下で有機材料から発生するアウトガスの発生およびミラー堆積物を実試験により確認した。大気圧下では堆積物の発生は無く、レーザ誘起コンタミネーションを抑止できることが確認できた。
- 4) 低軌道（地上高度 400km）における 10 年相当量のプロトン照射に対してもレーザダイオード（LD）の性能劣化（発振閾値、電流値の増加）はなく、また LBO 結晶については放射線照射前後で透過率の変化量は 1% 以内であった。

10W 超のパルスレーザ出力実現のため、本研究では発振器と複数の増幅器による MOPA (Master Oscillator and Power Amplifier) 方式とした。これにより LD 励起ヘッドの一つあたりの発熱量を減らし、伝導冷却による排熱をしやすい構造とした。また MOPA とすることで、発振器、増幅器をモジュール単位に区切ることができ、要求仕様がミッションごとに異なる複数のライダーに対して適用可能な構成とした。

## 6. センサ研究

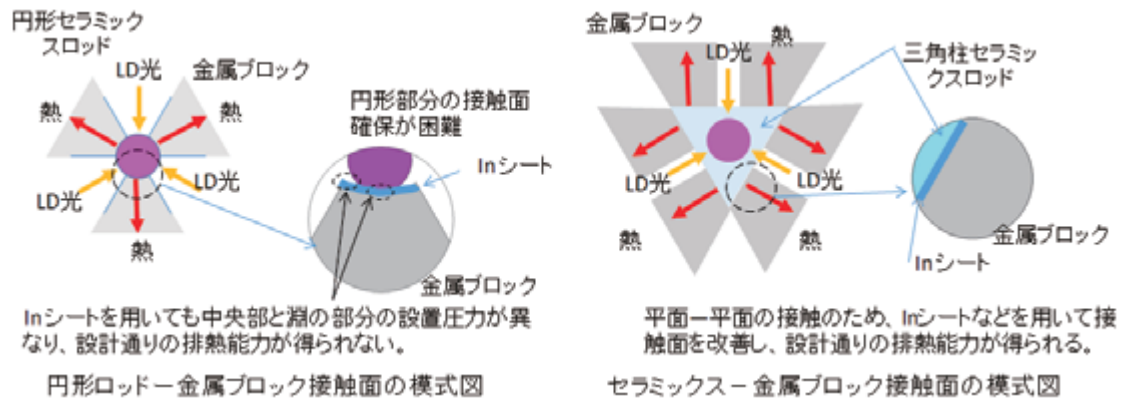


図1 従来のレーザー結晶とYAG セラミックスを用いた熱接触面の改善

表1 試作したパルスレーザの性能

項目	目標値	結果
出力@ 1064 nm	15W	16.4W
出力@ 532 nm	1.5W	2.2 W
パルス幅	10 ns以下	10 ns
ドーム温度	1.5℃以下	1.5
冷却部(動作LD温度)	25℃以下	21.3 - 24.8℃
加熱部(結晶温度)	50℃以下	35 - 39℃
効率	10%	6.9%

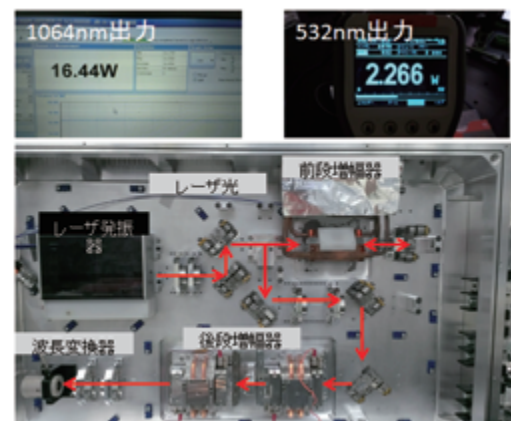


図2 製作したパルスレーザ

MOPAを構成する発振器、増幅器モジュールにおいてレーザ結晶、およびレーザダイオード(LD)から発生する熱を金属ヒートシンクやヒートスプレッドを介して排熱し、一定温度に保持する伝導冷却とする。これは冷媒(純水)による直接冷却可能な加工用のレーザなどとは大きく異なる。伝導冷却では、レーザ結晶と金属ヒートシンク等の異種媒質間の排熱パスの確保が出力実現・長寿命動作に必要となる。金属同士の面接触では接面部分の研磨と圧着により界面間の熱コンダクタンスは10,000W/m/K以上を実現できる。一方通常利用される円形のレーザ結晶の排熱では図1左に示す通り、外周が平坦ではないため、金属ヒートシンクの接触面を保証するインジウムシートを挿入しても、接触部分に圧力ムラが生じる。排熱性能を向上させるためには、金属ヒートシンクから200psi近い圧力で圧着するため、金属ヒートシンクの内径部が結晶外形と異なる場合、結晶の一部分に応力が集中して容易に破壊される。これに対して本研究で採用した図1右に示すような、3角柱や6角柱ロッドの内面に円形コアを有する形状では界面部分が平坦であり、円形と比較して応力集中による素子破壊の危険性を緩和できる。この構造は従来のYAG結晶では実現不可能であり、国産技術であるセラミックスの製造技術により初めて可能となった。この構造により、インジウムシートを介した圧着面が適切に動作し界面における熱伝導が改善され、温度上昇を抑制できる。

上記の構造によりLDやレーザ用セラミックスから発生する熱を伝導冷却により排熱ができ実際に製作した図3のような構造の伝導冷却によりセラミックスやLDから発生する熱を伝導冷却で排熱し、セラミックス部位で50度以下、LD保持部で25度以下に保持することを確認した。



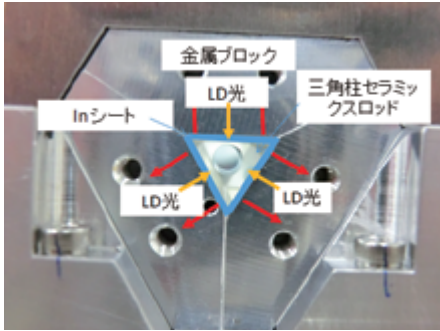


図3 三角柱ロッド

上記のモデルをアルミ製筐体に配置して試作したパルスレーザの性能評価を実施し、表1に示す結果が得られた。参考として試作するパルスレーザに対する目標値を同時に示す。電気光変換効率に関しては6.9%程度で得られた。ビーム出射位置安定度は共振器周りの熱変動に伴い数十マイクロラジアンでのふらつきが確認された。これを安定化する方法として、発振器から発生する熱量の低下、熱歪みに強い共振器ベースプレートの利用があげられる。現在の発振器の出力は10mJ程度あるが2mJまで低下させても前段増幅器、後段増幅器の増幅により100mJの達成が可能である。

発振器出力を低下させることで発生熱量も低下するため照射位置安定度の改善に効果があると思われる。発振器を低出力化する場合（発振器出力を2mJとする場合）、出力に応じて若干の修正が必要となる。

固体レーザの寿命を最終的に決定する素子はLDであるが、国産LDでは100億ショット以上の長寿命が可能な素子は入手できず、海外からの調達品となる。LDの寿命データはライダー開発において重要なパラメータとなるが、国内の衛星メーカーでは宇宙用ライダーの開発は停滞しており、近年利用可能となってきた半導体LDの寿命データは取得されていない。今後のライダー開発において必要な情報であるため、JAXA内で3社のベンダーからLDを調達して実データ取得を行い、100億ショットの連続稼働を確認した。また、得られた寿命曲線から140億ショットまでの動作が期待できることがわかった。

高真空下においてはパルスレーザなどの散乱光が作用し、接着剤などの有機材料からアウトガスが発生する現象が報告されている。これはレーザ共振器内の光学素子や光学薄膜の焼損原因になることがわかってきた。これまでの報告では紫外域レーザの利用において発生していたアウトガス起因の素子損傷であるが、本研究で実施したレーザ照射試験では532nmの可視域レーザーにおいてもアウトガス由来の堆積物が光学素子上に発生することが確認された。一方大気圧下では光学素子上に堆積物の発生は確認されず、レーザ誘起コンタミネーションの抑圧効果を確認した。

### 3. まとめ

宇宙で動作する地球観測用ライダーのパルスレーザ実現に向けて、実際に試作を行い必要な要素技術である伝導冷却による排熱を確認し、出力として16.4Wを確認した。得られた出力レベルは植生ライダーで求められる出力（9W）に対して十分であり。今回得られたデータ等を今後のライダー開発に応用していく予定である。

本研究で得られた結果を植生ライダー用送信機に用いる場合の課題としてレーザ照射位置安定度の改善、高真空下での与圧容器に組上げたレーザの動作及び長期封入の実現性、パルス駆動電流・電圧ドライバの調達があげられる。これらは一部を先行的に着手、もしくは開発開始時に注意しながら対策を進める予定である。

### 4. 外部発表

境澤大亮，小林高士，知識柔一，室岡純平，鈴木桂子，中島康裕，今井正，佐藤亮太（JAXA），浅井和弘（東北工大），沢田治雄（東京大），“樹冠高観測ミッション～MOLI～”，第31回レーザセンシングシンポジウム予稿集，pp. 48－51，レーザレーダ研究会，2013。

### 6. センサ研究

## 6.5 植生ライダーの研究

今井 正、鈴木 桂子、中島 康裕、境澤 大亮、室岡 純平、浅井 和弘

### 1. はじめに

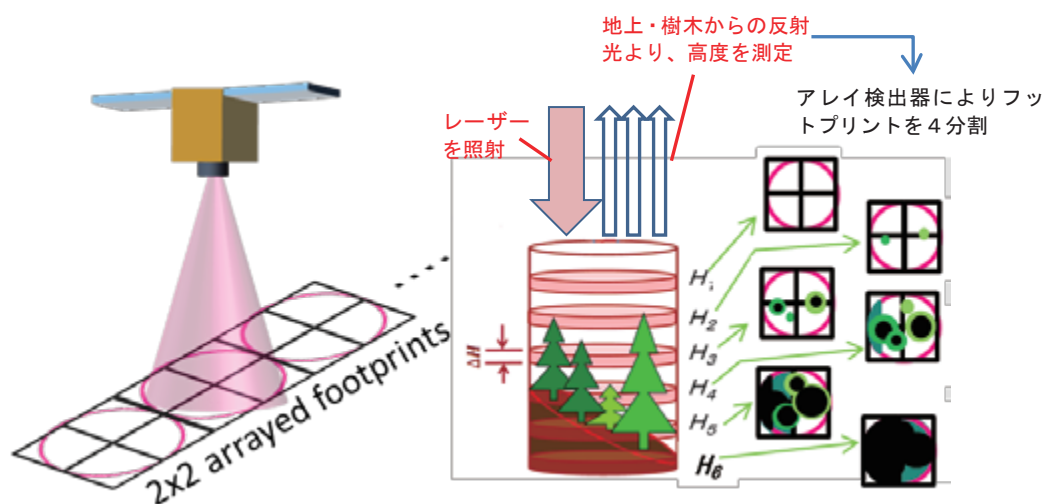
過去 50 年で地上の森林などが化石燃料により排出された CO<sub>2</sub> のおよそ 1/3 を取り除いてきたという研究結果 (Canadell et al., 2007) があり、地上の森林は炭素循環の特に吸収において重要な役割を担っていると考えられる。しかし、炭素量・炭素循環の把握に際し、地上の (バイオマス (単位面積あたりの森林重量)) は全球規模の最も大きな不確定性源となっており (IPCC, 2007)、精度の良い測定が不可欠である。このバイオマスを正確に求めるためには、木を切り倒して重量 (樹木個体の乾燥重量) を測る方法もあるが、費用等の観点から困難であり、また、伐採そのものにも限界がある。このため、精度の高い広域データを求める場合はバイオマスと相関関係がある樹冠高を測定する手法を用いることが多い。

JAXA センサ研究室では、樹冠高を広域に測定するきぼう曝露部搭載植生ライダーの検討、技術研究を FY23 から実施している。

### 2. 本年度の成果要約

精度良く樹冠高を測定するためには地表の傾斜の影響を把握する必要がある。本研究では、検出器のアレイ化により地上フットプリントを分割することで樹木の高度とフットプリント内の地表面高低差の情報を同時に取得する方法を検討している (図 1)。

FY25 は、きぼう曝露部搭載植生ライダーの H/W に対する要求仕様に基づき、植生ライダーのシステム概念検討を実施した。また、FY24 に試作した 2 × 2 の Si-APD アレイ検出器モジュールを用いて実機のフットプリントを模擬した地上実験を行い、樹冠高の測定精度、及び、フットプリント内の地表面高低差情報の取得実現性を確認した。



左右のピクセルの地表面検出時刻の差により、地表面の高低差を把握する

図 1 アレイ検出器による地表面の高低差情報の取得イメージ

## 2.1 きぼう曝露部植生ライダーのシステム概念検討

きぼう曝露部搭載植生ライダーの要求仕様案を表1に示す。本仕様に基づきシステム概念検討を実施した結果、きぼう曝露部標準ペイロードのリソース内での搭載の目途が得られた。

今後は、熱変動による歪みで生じるレーザのビームポインティングの変動量、及び、送受の光学アライメントの変動量の詳細について、6.4 レーザ送信機の研究成果を反映してシステム全体の熱設計の詳細化を行い、熱変形に対する送受信アライメントの耐性、レーザの指向方向決定精度等を確認する必要がある。

表1 きぼう曝露部搭載植生ライダー仕様案

項 目	仕様案	備 考
ライダー	レーザー波長	1064nm
	レーザー出力	60mJ
	パルス繰り返し	150Hz
	パルス幅	7nsec
	レーザー拡がり角	0.123mrad
	検出器アレイ数	4 素子 (2 × 2)
イメージャ	分解能	2m
	観測幅	500m
	バンド数	3 (Green, Red, NIR)

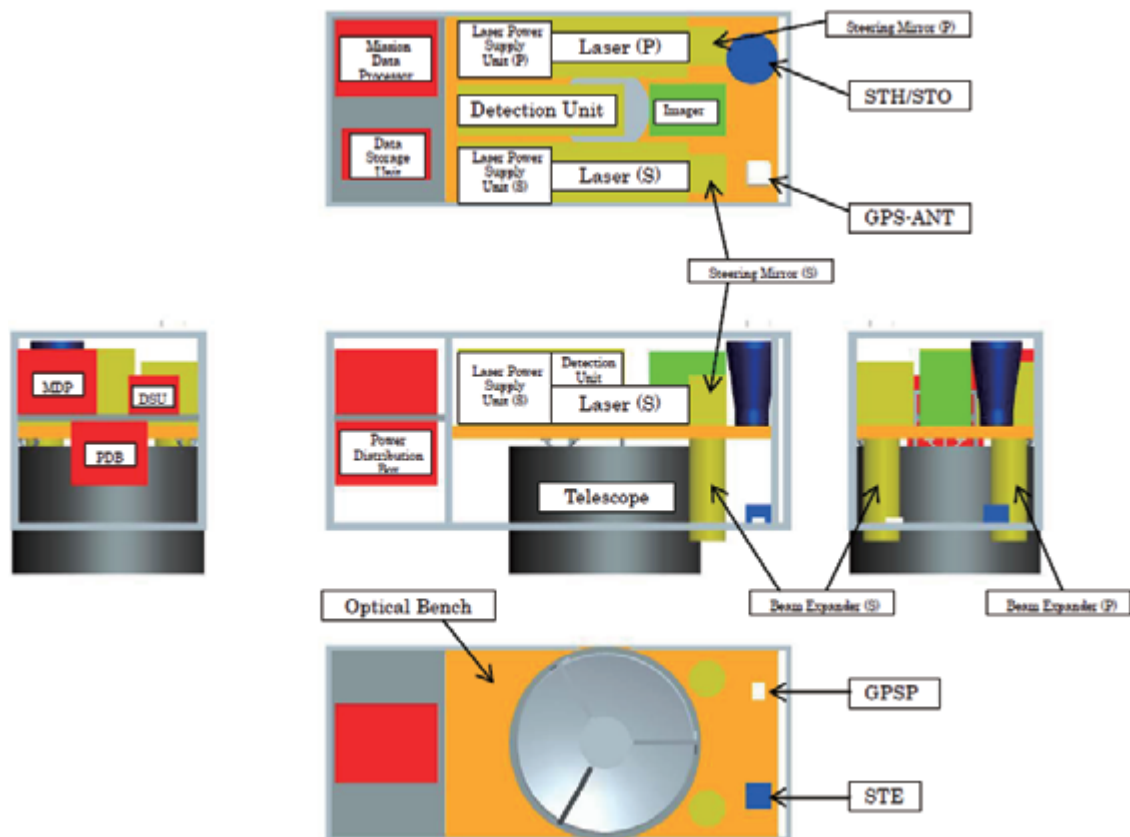


図2 植生ライダーのきぼう曝露部標準ペイロード搭載レイアウト検討結果

## 2.2 地上実験

吊橋橋上から約 100 m 直下にある広葉樹林に対しレーザパルスを照射、その反射パルスを昨年度試作した  $2 \times 2$  Si-APD アレイモジュールを用いて計測し、得られた波形から樹冠高を算出し、その精度を評価した。

1 パルス毎に得られる  $2 \times 2$  の計 4 波形（例：図 4）から、それぞれの波形における最後のピークを地表面位置、信号立ち上がり位置を最大樹冠高位置とすることで各フットプリント内の最大樹冠高を算出した。解析の結果、実測と比較して 1.0m 以内の精度で樹冠高を算出できる見込みを得た。

また、隣接したフットプリント間での地表面位置の違いから地表面の傾斜角を算出し、フットプリント内の高低差を推定した。結果、実測と比較して 2.0m 程度の精度で高低差を推定することができ、検出器のアレイ化によりフットプリント内の地表面高低差情報を取得できる見込みを得た。

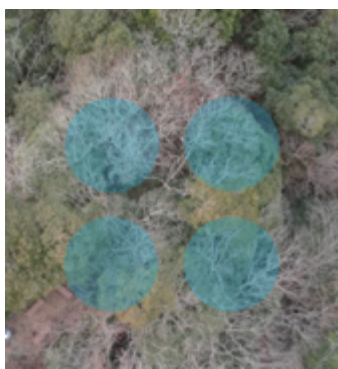


図 3 フットプリントイメージ

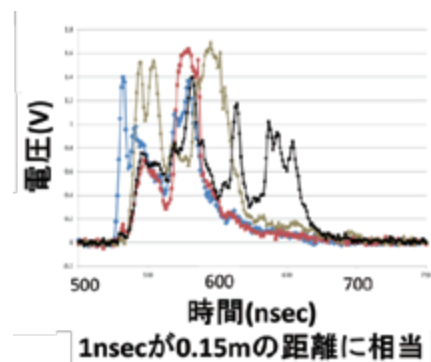


図 4 得られたフットプリントの波形の一例

## 3. まとめ / 課題

要求仕様案に基づきシステム概念検討を実施した結果、きぼう曝露部標準ペイロードへの搭載の目的が得られた。今後は 6.4 レーザ送信機の研究成果を反映してシステム全体の熱設計の詳細化を行い、熱変形に対する送受信アライメントの耐性等を確認する。

地上実験については、試作した Si-APD アレイモジュールを用いて実機のフットプリントを模擬し、実際に得られたライダー波形データから、想定通りの精度で樹冠高を算出できることを確認できた。また、隣接したフットプリント間の情報を用いて、各フットプリント内の地表面高低差を算出できることを確認できた。今回は葉が少ない時期の実験であったため、葉が茂った時期でのデータ取得について検討する。

## 4. 外部発表成果

1. Jumpei Murooka, Takashi Kobayashi, Tadashi Imai, Keiko Suzuki, Shiro Yamakawa, Ryota Sato, Haruo Sawada, Kazuhiro Asai, “The status and overview of Vegetation LIDAR Mission”, Proc. 29<sup>th</sup> ISTS, 2013-n-35 (2013)
2. Jumpei Murooka, Takashi Kobayashi, Tadashi Imai, Daisuke Sakaizawa, Keiko Suzuki, Shiro Yamakawa, Ryota Sato, Haruo Sawada, Kazuhiro Asai, “Overview of Japan’s Spaceborne Vegetation Lidar Mission”, Proc. SPIE REMOTE SENSING, 8894-10 (2013)
3. 今井正, 小林高士, 境澤大亮, 鈴木桂子, 中島康裕, 室岡純平, 佐藤亮太, “宇宙機搭載 LiDAR による林冠高観測ミッション計画”, 日本森林学会 (2014)

## 6. センサ研究



## 6.6 次世代 L バンド SAR の研究

植松 明久・中村 良子・将来 L バンド協力ミッション検討チーム

### 1. はじめに

次世代 L バンド SAR の研究として、広観測幅・高分解能・フルポラリメトリ・高い干渉性を有する高性能な L バンド SAR 衛星について、ドイツ航空宇宙センター（DLR）と共同でフィージビリティの確認を目的とした概念検討としての研究を行う。本ミッションで検討する次世代 L バンド SAR 衛星では、これまで存在しなかった広い観測幅 350km と分解能 3m の両立を通して、高頻度・高分解能の災害観測・地球環境監視が実現できる。また、2 機の SAR 衛星のフォーメーションフライトにより、全球数値標高モデル（DEM）の短期間作成や、全球森林バイオマス量の推定精度向上が期待できる。また、日本が有する世界最先端の L バンド SAR 観測技術の大幅な向上につながる。

### 2. 本年度の成果要約

本年度は、ユーザ要求調査やミッション要求案・観測基本計画案の作成を行うとともに、ミッション機器や衛星システムのフィージビリティ検討を実施した。このうち、本項では、ミッション機器部分を中心について述べる。

#### ①観測方式

観測幅 350km（シングル／デュアル偏波）でのストリップマップ観測を実現するため、きく 8 号の大型展開アンテナ技術を活用し、1 次放射器としてデジタルビームフォーミング（DBF）技術を適用した給電素子アレイを用いる。送信時には給電素子すべてを使用して幅広いビームを送信する一方、受信時には信号タイミングに応じて素子を切り替えながら受信する SCORE（SCan On REceive）方式を採用する。衛星の概念図を図 1 に示す。



図 1 衛星の概念図

#### ②仕様検討と性能解析

暫定仕様案として、2 種類の仕様案（表 1）を設定するとともに、性能の検討を実施した。検討にあたっては、専用のアンテナ評価ツールを構築し、アンテナ利得の計算を行うとともに、レーダの感度性能を表現する雑音等価後方散乱係数（NESZ）や、信号対不要波比（SA 比）の評価を行った。検討の結果、仕様 1、2 のいずれにおいても、観測幅として、シングル／デュアル偏波で 350 km、4 偏波要素を同時計測できるフル偏波で 175 km の観測を、アジマス分解能 3 m で行える目途を得た。次に、NESZ の検討結果を図 2 に示す。仕様 1 では、NESZ が -18dB ～ -24dB となっており、

表 1 暫定仕様案

項目	仕様 1	仕様 2
アンテナ径	15 x 15m	15 x 15m
焦点距離	10 m	15 m
フィーダ数	25 (EL) x 4 (AZ)	34 (EL) x 6 (AZ)
入射角	26.3 - 46.6 °	26.3 - 46.6 °
グランドレンジ	330-680 km	330-680 km
ピーク送信出力	4500 W	9180 W
帯域幅	80 MHz	80 MHz
中心周波数	1.26 GHz	1.26 GHz

## 6. センサ研究

ユーザ側からの暫定要求（-25dB）に不足する。NESZ 改善を目的に仕様 2 を選択した場合、-23dB ～ -28dB となり、暫定要求に近づくが、衛星全体が大型化するという課題がある。最適なサイジングの選択は今後の検討課題である。

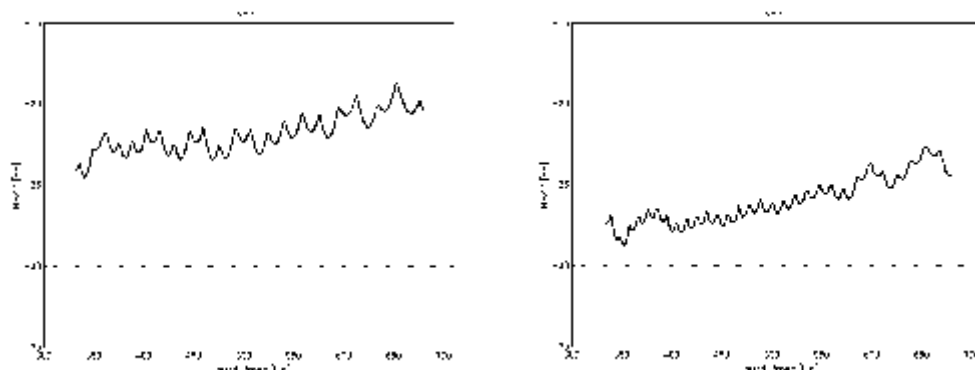


図 2 雑音等価後方散乱係数（NESZ）の検討結果。（左）仕様 1、（右）仕様 2

### ③技術課題の識別

レーダシステムを構成する上での技術課題の識別を実施した。1 次放射器に用いる給電素子アレイについては、従来の平面 SAR で用いられているパッチアンテナを利用できる。また、NESZ 改善のためには、高効率かつ高出力の増幅器の開発が有効である。DBF 部については、既存のオンボードプロセッサの活用により実現可能な見通しを得ているが、新規開発によるユニットの小型化や消費電力の削減を通して、衛星全体のリソースを低減できる余地がある。

## 3. まとめと課題

26 年度は、ミッション機器を含むシステムの概念検討をさらに進めるとともに、DLR と共同で概念検討報告書を取りまとめる予定である。また、1 次放射器の数を増やした観測幅の拡大など、更なる性能の向上策について検討を行うことを計画している。

## 6.7 きぼう曝露部搭載用イメージング FTS の検討

今井 正、須藤 洋志、室岡 純平

## 1. はじめに

中国、東南アジアの大気汚染が大きな問題となっており、日本も光化学スモッグ等の影響を受ける可能性がある。CO は光化学スモッグの主成分である対流圏オゾンの前駆物質であり、CO を数 km 程度の高水平分解能で観測することにより、光化学スモッグ、大気汚染の排出源（発生源）・原因地域の特定が可能になる。CO の主な排出源は、工場排煙、排気ガス、焼畑／森林火災（バイオマスバーニング）と考えられている。また、対流圏オゾンを高水平分解能で観測すると、オゾンの発生メカニズム、発生条件、発生したオゾンの動態等を解明することが出来る。

一方、FY24 までの研究において、静止衛星搭載サウダを目指したイメージング FTS の要素技術研究実験を行い、クリティカル技術の実現目処を得た。静止衛星搭載までのリスク低減として、得られた技術の軌道上実証を目的として CO とオゾンの観測を目的とした ISS 曝露部中型ミッションに搭載するイメージング FTS の検討を実施した。

## 2. 本年度の成果要約

## 2.1 ハードウェア性能

インハウスで技術検討を行い、ミッション検討において参考とするハードウェア性能案を下表のように設定した。

表 1 ハードウェアの性能案

項目	仕様等
波長域	1 ～ 2.5 $\mu\text{m}$ 、9 ～ 10 $\mu\text{m}$
波数分解能	0.5、または、1 $\text{cm}^{-1}$
S/N	200、または、300
水平分解能	3 ～ 4 km
観測幅	15 ～ 20 km
観測時間帯	日照域

## 2.2 ミッション検討

TERRA 衛星搭載 MOPITT により、中国大陸の CO カラム量の観測が行われている。この観測結果について、地上観測値や統計値などを基に推定するボトムアップ法と、観測値を拘束値として地上発生量を最適化して推定するトップダウン法により再現実験を行ったところ、ボトムアップ法では大きな差異が生じたのに対し、トップダウン法では観測値をよく再現できる結果となった(図 1 参照)。これは、未把握の CO 発生源が存在することを示す。

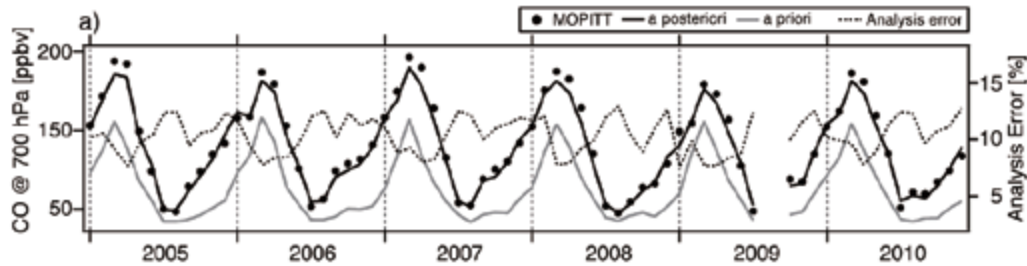


図1 中国の北緯25～40度東経100～130度（北京、上海を含む）の上空3000m付近のCO濃度。黒点はMOPITTの観測結果であり、灰色線は、既知の発生源・統計値等から解析計算した結果（ボトムアップ法）、黒線は、MOPITTの観測結果に合うように発生エリア、発生量を最適に変化させて計算した結果（トップダウン法）。（弓本、鶴野 J. Jpn. Soc. Atmos. Environ. Vol.47 No.4（2012））

中国の未把握のCO発生源で最も可能性のあるものとして小中規模の森林火災が挙がる。図2の左側2枚にJAMSTEC金谷らが解析したロシアで発生した大規模火災の地上観測結果とその時のAqua搭載AIRSが観測したCOカラム量を示す。10ppm程度の大きな上昇が地上で観測されており、衛星も変化を捉え、発生場所を特定できている。一方、図2の右側2枚は、金谷らがキャンペーン観測を実施した中国での小中規模火災の地上観測結果とその時のAIRSの観測結果である。地上では1～2ppm程度の上昇を観測しているが、衛星は変化を捉えておらず、発生場所を特定出来ていないことが分かる。

COを導出するAIRSの赤外バンドの水平分解能は衛星直下で13.5km四方であり、変化が平均化されていて検出できていないと思われる。これを数kmの高水平分解能で観測することにより、小中規模の森林火災を検出でき、発生源と発生量を推定できる可能性がある。

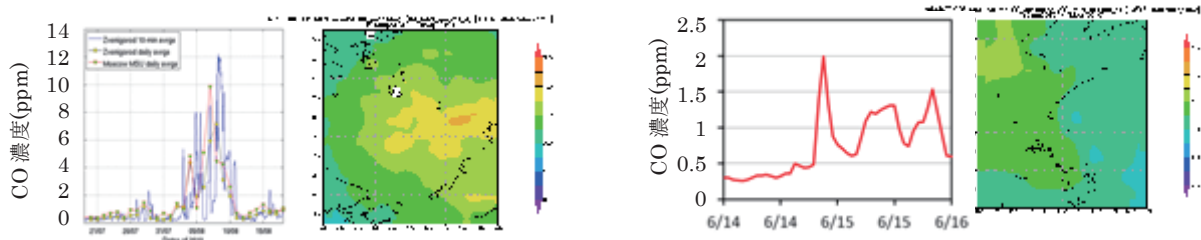


図2 地上で観測されたCO濃度とその時にAIRSが観測したCOカラム量。左側2枚はロシアで発生した大規模時の地上CO濃度とその時のAIRSの観測結果。右側2枚は中国で観測した小規模火災の地上観測結果とその時のAIRSの観測結果。（金谷ら；2011）

### 3. まとめ / 課題

データ利用者より、高水平分解能観測の特色を生かしたミッション案の提示があった。しかし、COの高水平分解能観測は意義のあるものだが、NO<sub>x</sub>観測の方が大気汚染観測により有効であることから、データ利用者側で、回折格子型分光計をISS中型ミッションに提案することとなった。今回、イメージングFTSについては明確なミッション要求に至らなかったが、データ利用についての要望はあるため、引き続き、ニーズ調査をインハウスで続けていくこととした。



## 6.8 サブミリ波放射計の研究

植松 明久、原田 昌朋、矢島 由貴江

### 1. はじめに

サブミリ波放射計による水蒸気・氷雲の定量・広域的観測は、気象予報や温暖化予測等の気候システム研究に大きく貢献する可能性がある。

サブミリ波放射計の観測周波数は、国内で開発実績のあるマイクロ波放射計の観測周波数（6～89GHz）よりも高周波帯（<1THz）をターゲットとしており、科学的／技術的にも新規要素を多く含む。国内におけるサブミリ波帯観測機器の実績としては、国際宇宙ステーション（ISS）搭載の超伝導サブミリ波リム放射サウンダ（SMILES）が存在するが、受信機部に冷凍機が必要な超伝導ミキサ（SIS）を使用しており、本研究で受信機部に採用を検討している常温で動作するデバイス（常温ミキサ、低雑音増幅器等）とは技術的に異なる。

そこで、FY23 より、民生用の高周波デバイスについて地球観測センサへの適用性の実現に向けての開発、評価方法等の検討を実施することとした。

### 2. 本年度の成果要約

衛星搭載用の高周波帯受信機の開発を目指し、本年度は、開発のキーデバイスとなる高周波帯用低雑音増幅器（LNA）について日本国内における衛星搭載の可能性の目処を得るべく、日本電信電話株式会社（NTT）・情報通信研究機構（NICT）との共同研究を元に、NTT フォトニクス研究所が試作した 190GHz 帯用 LNA（計 2 式。便宜上、それぞれを「モジュール 1」及び「モジュール 2」とする。）について、以下を実施した。

- ・環境試験

- ：宇宙用としての適合性を確認するための振動試験、熱真空試験、放射線試験（シングルイベント試験・トータルドーズ試験）を実施。

- ・電気的性能評価試験

- ：試験前後での電気的性能（利得特性）評価試験を実施。

#### (1) 190GHz 帯用低雑音増幅器（LNA）環境試験

振動試験ではロケットの打ち上げ時に想定される振動環境を付加し、振動環境に対して十分な強度を有しているか確認するため、試験前後に電気的性能評価試験を行った。また、熱真空試験、及び、放射線試験の前後でも同様に電気的性能評価試験を行い、軌道上で想定される熱環境、放射線環境に対して十分な機能性能があるか確認した。なお、振動試験、熱真空試験の試験条件は、類似の JAXA 衛星搭載用コンポーネントの試験規格と同様のものを採用した。放射線試験においては、シングルイベント試験では陽子線、トータルドーズ試験ではガンマ線を照射した。

190GHz 帯用 LNA の環境試験（振動試験・熱真空試験・放射線試験（シングルイベント試験・トータルドーズ試験））のコンフィグレーションを図 1、図 2、図 3、図 4 に示す。

#### (2) 電気的性能評価試験

電気的性能評価試験として、LNA の利得の周波数特性の計測を実施した。計測は、環境試験を実施する前に行うとともに、1 つ 1 つの環境試験項目を実施するごとに同じ試験を実施した。結果を図 5 に示す。

---

## 6. センサ研究

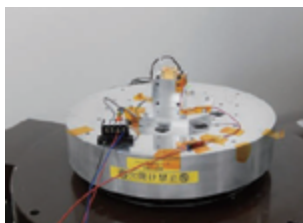


図 1 振動試験装置外観

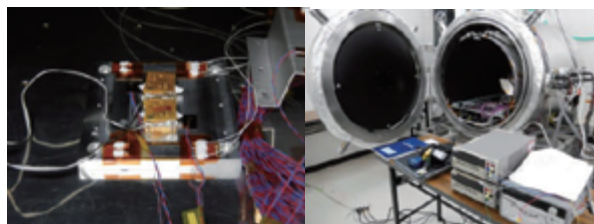
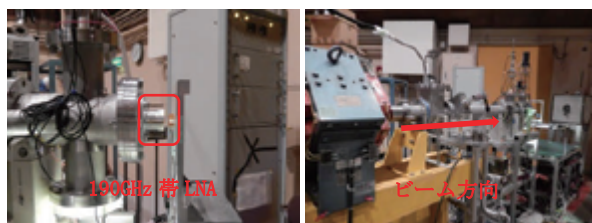
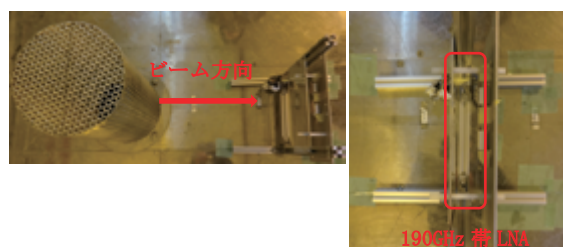
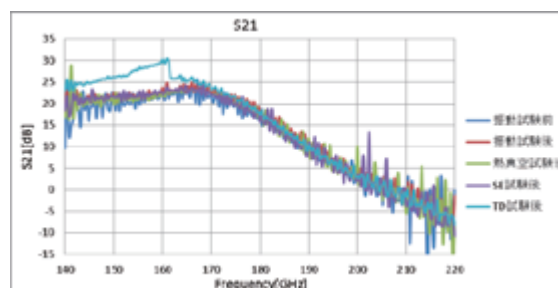
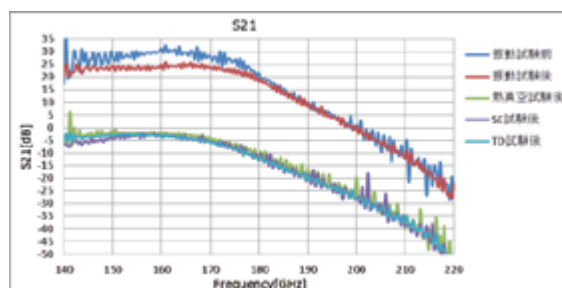


図 2 熱真空試験外観 (左) 真空チャンバー内に設置した LNA、(右) 真空チャンバ外観

図 3 放射線試験 (シングルイベント試験)  
(左) 治具内設置された LNA  
(右) シングルイベント試験装置外観図 4 放射線試験 (トータルドーズ試験)  
(左) 治具内設置された LNA  
(右) トータルドーズ試験装置外観図 5 各環境試験前後での利得の周波数特性評価結果  
(左) モジュール 1 (右) モジュール 2

環境試験の結果、モジュール 2 ではトータルドーズ試験後、利得特性に急激な変化（164GHz 以下の周波数で発振）がみられたが、増幅器としての利得は保っている。一方、モジュール 1 では熱真空試験後に利得が試験前と比べて大きく低下した。この原因を探るため、モジュール 1 のパッケージを開封し、内部の状態を確認した。その結果、パッケージの内部に損傷が生じていたことが分かった。

### 3. まとめ／課題

電気的性能評価試験を通して、高周波帯（>100GHz）での特性評価手法を確立した。また、環境試験を実施した結果、2つあるモジュールのうち、一方では環境試験前とほぼ同様の利得を得ることができ、増幅器としての機能性能を維持することができた。他方のモジュールでは、パッケージ内部の損傷により機能性能を損なう結果となった。今後、宇宙環境に適応できるパッケージ改良により、搭載に向けた信頼性確保の検討が必要である。

## 6. センサ研究

## 6.9 静止海色観測ミッションの研究 片山 晴善、加藤 恵理、酒井 理人、村上 浩、山口 寿史

## 1. はじめに

海洋宇宙連携委員会における議論により、静止からの海色観測の社会的ニーズが示された。世界的には、静止衛星の海色観測ミッションは韓国（KARI）の COMS/GOCI のみが運用中で、将来のミッション実現に向けて各宇宙機関で研究中である。本研究の目的は、静止海色観測ミッションの実施に向けて、具体的なミッション提案を検討することである。

## 2. 本年度の成果要約

具体的なミッション提案を構築することを目標に、利用本部先端研究（FY2013, 1 年計画）として、下記の検討を実施した。

- ① 静止海色観測ミッションの国内外動向調査
- ② 日本におけるミッション要求（サイエンスの観点から）
- ③ 技術的実現性の検討

## 2.1 国際的動向の調査

国際組織 IOCCG の報告（IOCCG Report Number 12, 2012）をもとに国際的なミッション要求を調査した。また現状技術の整理を実施した。表 1 は主要な静止衛星搭載用海色センサの仕様をまとめたものである。

表 1 主要な静止衛星搭載用海色センサの仕様一覧

衛星名/ ミッション名	既存センサ (運用中)	開発中センサ				計画中(構想中)センサ	
	GOCI	GOCI-II	GEO-CAPE	Geo-Oculus	OCAPI		
実施機関	KARI	KARI/KIOST	NASA	ESA	CNES		
波長域	412–865 nm	390–800 nm	340–1100 nm 3 SWIR bands	315–1200 nm	350–1050 nm		
バンド数	8 バンド	13 バンド	ハイパースペクトル	27 バンド	16 バンド		
地表分解能	500 m	250 m, 1 km	250 m	10 m–100 m	250 m		
観測領域	2500×2500 km <sup>2</sup>	2500×2500 km <sup>2</sup> , Full Disk	500 km	100×100 km <sup>2</sup> , Full Disk	1000×750 km <sup>2</sup>		
S/N	~1000	~1500	100–1500	100–2000	<400		
波長分解能	10–40 nm	10–40 nm, 500 nm	UV-VIS-NIR: ±0.75 SWIR: ±20–50	10–1000	10–40		
時間分解能	1 時間 (8 times/ day)	1 時間, 12–24 時間	0.5 時間	15 分–1 時間	18 時間, 6–18 時間		
輝度精度	<3.6 %	—	<0.5 %	—	—		
検出器	CMOS (2M pixels)	CMOS (7M pixels)	—	CMOS, MCT, QWIP	CMOS (4000×356 pixels)		
現状	2010 年打上げ	2018 年打 上げ予定	2022 年打 上げ予定 [Pre-Phase A]	2015 年打 上げ予定 [Phase 0]	2020/2021 年打 上げ予定 [Phase 0]		

## 2.2 日本における海色観測ミッション要求の調査

地球圏総合診断委員会での提案等を参考に、日本におけるミッション要求を調査した。基本的な考え方として、IOCCG で推薦されている要求をもとに、日本として社会的・学術的ニーズに沿う要求を

提案している。特に、波長選択については、世界的に注目される新プロダクト（植物プランクトンの活性、植物プランクトン種）開発に有利な波長が設定されている。期待される成果や要求波長について整理した（図1）。

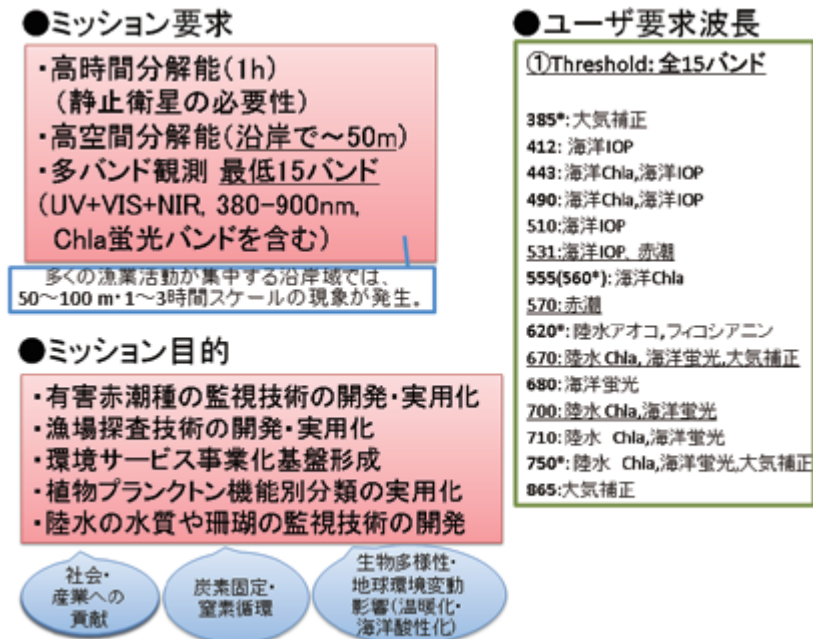


図1 日本におけるミッション要求

### 2.3 技術的実現性の検討

日本におけるミッション要求をもとに空間分解能、口径、S/Nを検討し技術課題を抽出した。回折限界を考慮した場合、静止軌道から空間分解能 100 m を達成するために必要なミラー口径は約 30 cm である。JAXAでのこれまでの実績から、口径 30 cm の光学系に関して実現性はあるが、軽量化が課題となる。また S/N の観点から、バンド数の増加により積分時間が減少し、S/N は小さくなる。海色ミッションでは高い S/N が要求されることから、S/N 向上のためには高感度、大フォーマットの 2 次元の可視検出器が必要となる。

### 3. まとめ / 課題

今後の検討の方向性として、①新プロダクト（植物蛍光）の有効性の検証、②さらなる技術的実現性の検討が必要である。①については、新プロダクトの有効性を検討するため、フィールド試験によるデータ収集と新プロダクト生成により課題抽出が必要である。また②については、光学系の国内外の CMOS センサ技術の動向調査、国内の超高感度 CMOS センサを用いた実現可能性の検討を予定している。



## 6.10 超低高度衛星搭載ドップラライダーの研究

境澤 大亮

### 1. はじめに

日常生活で利用される天気予報（数値気象予報）は大気における物理現象を数値的に計算して将来の状態を推定する手法であり、各種の観測データと全球・局所地域の解析モデルにより支えられている。利用される観測データの代表として気圧、気温、地表面温度、湿度、風向風速がある。この中で標準的な風データとして上層は気球（ラジオゾンデ）、ウィンドプロファイラ、ドップラレーダ、航空機、可視・赤外イメージャによる大気追跡がある。海洋の風速は衛星搭載のマイクロ波散乱計が用いられているが、海洋上の風向風速値（大気の鉛直分布）については不確定性が大きく、より精度の高い測定値取得がライダーに期待されてきた。また昨今の計算機システムの高機能化に伴い、衛星搭載システムで得られた風速値が数値気象予報の予報誤差低減にどの程度影響を与えるか数値的に評価されるようになり、航空機搭載型ドップラライダーを用いた試験でその効果も実証されている。

衛星搭載型ドップラライダーの観測計画は FY2013 では ESA が開発している ADM-Aeolus のみである。その搭載センサである ALADIN は Nd:YAG レーザの第三高調波とスペクトル分解機能を有する検出器によりエアロゾルと大気の変動成分のドップラシフトを受信信号強度比から検出する。このため、ADM-Aeolus はリソースが大きく視線方向成分の風速値のみの観測しか行えない。一方 1.5 $\mu$ m や 2.0 $\mu$ m といった近赤外波長のレーザを用いるシステムでは光ヘテロダインにより直接ドップラ周波数を検出だけでなく、リソースの小型化が期待でき、風速値に加えて 2 方向観測により風向の検出も期待できる。わが国ではこの光ヘテロダインによるライダー（コヒーレントドップラライダー：CDWL）を年頭に国際宇宙ステーション日本実験棟搭載システムの概念検討が実施されたが実現はしていない。近年 JAXA では軌道高度 200km を利用する超低高度衛星の研究開発が進んでおり、軌道高度の低下は搭載システムのリソースに有利であり、CDWL についても送信・受信部にリソースの低減が期待できる。本資料ではこの超低高度衛星に搭載可能な CDWL のシステムについて概念検討を行い、必要とするレーザ出力や排熱量を見積もり、コアとなる技術的な課題を抽出した。

### 2. 本年度の成果要約

- A. JAXA 外部有識者会合の開催により、要求される観測精度の議論を行い、対流圏内の風向風速に対する暫定的な要求を定めた。
- B. 上記要求を達成するドップラライダーについて、超低高度衛星搭載を念頭に概念検討を行いレーザパラメータを定めた。
- C. 得られたレーザパラメータについて現時点での技術的な課題を抽出した。

気象庁をはじめ NOAA や ECMWF といった数値気象予報で用いられる全球解析モデルにおいて利用される（データ同化に用いられる）風向風速データの観測精度の要求値は下部成層圏、対流圏界面を含む上部対流圏、都市境界層を含む下部対流圏の 3 区間ごとに表 1 のようにまとめられている。表中に記載されている G, B, T はそれぞれ、Global, Breakthrough, Threshold の略記であり、最低限科学的成果が期待できる精度（Threshold）、顕著な科学的成果が期待できる精度（Breakthrough）、科学的に理想的な成果が期待できる精度（Goal）を意味している。個々で期待している成果指標は数値気象予報の

## 6. センサ研究

予報誤差に対する影響度である。有識者会合の中ではここから水平・鉛直分解能について Breakthrough に対する値をそれぞれ 100km, 1km と設定した。また日本域における課題（陸域面積の割合が海洋面積に比べて小さい）ことを考慮し、災害に対しては台風、豪雨をもたらす低気圧の発生予測のため、より細かな領域モデルにおいても衛星搭載 CDWL の有効性を検討することが指摘されている。

表 1 要求される観測精度（暫定値）

	精度[m/s]			水平分解能[km]			鉛直分解能[km]			観測頻度[h]		
	G	B	T	G	B	T	G	B	T	G	B	T
成層圏（下層）	1	3	5	15	100	500	0.5	1	3	1	6	12
対流圏（上層）	1	3	8	15	100	500	0.5	1	3	1	6	12
対流圏（下層）	1	3	5	15	100	500	0.5	1	3	1	6	12

要求精度と必要な水平分解能で実現可能なセンサシステムについて CDWL で必要となるレーザのパラメータを求めた。CDWL はエアロゾルからの散乱によりドップラー観測を行うため、地表付近、5km 付近、10km 付近を想定したエアロゾル濃度を想定して必要なレーザパワーを見積もった。得られた結果は送信レーザパワー 3.75W（パルスエネルギー 125mJ、パルス繰返し 30Hz）であり射出レーザのオフナディア角 35 度、軌道高度 220km である。10km 付近の対流圏界面付近についてはエアロゾル濃度の変動が大きく、エアロゾル濃度が薄い条件では、水平・鉛直双方の分解能の変更が必要である。

必要なパルスエネルギーを持つ衛星搭載型送信レーザの技術的な課題を検討した。CDWL で利用可能な全固体パルスレーザとしては波長 1.5 $\mu$ m, 2.0 $\mu$ m の短波長赤外域のレーザであり、まず 2.0 $\mu$ m 帯レーザにおいては利得媒質となる結晶の動作温度（-40 度以下）に必要な冷凍機もしくはペルチェによる冷却機構、微小振動環境下における狭帯域レーザの安定動作、効率改善である。1.5 $\mu$ m 帯システムは光ファイバーベースのシステムであるため、1 パルスあたりの高輝度化に必要な伝導冷却型光増幅器の実現性である。また双方の波長に共通する内容として光ヘテロダイン用受信機と  $\lambda/16$  異常の波面精度を保持した軸外し望遠鏡の実現性が求められる。

### 3. まとめ

軌道高度 200km 台で利用可能な超低高度衛星に搭載可能なコヒーレントドップラライダーについて必要とされる要求精度の暫定値を決定し、コヒーレントドップラライダーについて概念検討を実施した。得られた情報から現時点で達成されている地上・航空機搭載型ライダーの技術を念頭に技術的な課題を送信レーザ・受信部に対して識別した。技術的な実現性をさらに検討しつつ、気象予報に対するドップラライダーの有効性を評価・周知していくことを予定している。

### 4. 外部発表成果

1. 境澤大亮, 佐藤洋平, 平形麻紀, 久保田拓志, 沖理子 (JAXA), 石井昌憲, フィリップ・バロン, 水谷耕平, 安井元昭, 落合啓 (NICT), 石橋俊之, 岡本幸三 (気象研), 佐藤正樹 (東京大), 岩崎俊樹 (東北大), “超低高度衛星を用いた風向風速観測の実現性検討”, 第 31 回レーザセンシングシンポジウム予稿集, pp. 2-5, レーザレーダ研究会, 2013.

### 6. センサ研究

2. 佐藤洋平, 今村俊介, 此上一也, 川崎春夫, 高畑博樹, 境澤大亮, 久保田拓志, 沖理子 (JAXA), 石井昌憲, Philippe Baron, 水谷耕平, 安井元昭 (NICT), 岡本 幸三, 青梨和正, 石橋俊之 (気象研究所), “超低高度衛星技術誘風向・風・観測ドップラライダーミッションへの適用検討”, 第 57 回宇宙科学技術連合講演会予稿集, p. 1G11, 航空宇宙学会, 2013.
3. K.Okamoto, S.Ishii, P.Baron, Y. Satoh, D. Sakaizawa, T. Oki, T. Kubota, C. Takahashi, K. Gao, T. Ishibashi, T. Tanaka, “Simulation and impact study of future spaceborne Doppler wind lidar in Japan”, Proceedings of 18th Conference on Integrated Observing and Assimilation Systems for the Atmosphere, Oceans, and Land Surface (IOAS-AOLS), C203-3.4, American Meteorological Society, 2014.

## 6.11 光学センサの校正・性能評価試験技術の研究

佐久間 史洋、片山 晴善、原田 昌朋、酒井 理人、中島 康裕

## 1. はじめに

本研究は、光学センサのラジオメトリック（輝度と波長）特性の校正・性能評価試験を実施するための試験装置・試験技術の開発及び標準化を行い、また、開発した試験装置・試験技術の維持管理と運用を行って、プロジェクトでの光学試験に供することを目的とする。

## 2. 本年度の成果要約

## (1) 金積分球のランプ電源自動制御化と GCOM-C/SGLI 向け性能評価

短波長赤外域の分光放射輝度校正精度向上を目指し、平成 24 年度までに金積分球を整備した。本年度は、運用効率を上げるためにランプ電源の自動制御化を進め、併せて平成 26 年度に予定されている GCOM-C/SGLI の試験に性能的に供用可能であるか評価した。

GCOM プロジェクトからの金積分球の仕様に対する要求と、それに対する評価結果を表 1 に示す。いずれも要求仕様を満たしている（供用可能である）ことを確認した。

表 1 金積分球の GCOM-C/SGLI 向け性能評価項目

評価項目	要求仕様	評価結果
設定光量範囲	SW3 の 0.3Lstd ～ Lmax	SW3 の 0.3Lstd 相当は、10 W ランプ 4 つの電流値を 0.355 A に設定すると実現可能。 SW3 の Lmax 相当は、50 W ランプ 4 つの電流値を 3.40 A に設定すると実現可能。 その間の分光放射輝度レベルも、点灯するランプや設定電流値の組み合わせにより実現可能。
試験時間（1 時間程度）での安定度	設定光量の $\pm 0.25\%$ 以下	各輝度レベルにおいて、設定から安定に要する時間を経過した後は、 $\pm 0.25\%$ 以内で安定。
光量分布	$\pm 0.5\%$ 以内	p-p で最大でも 0.83 %。
角度分布	$\pm 0.5\%$ 以内 (角度範囲 $\pm 2.5^\circ$ )	p-p で水平方向 0.67 %、垂直方向 0.14 %。角度範囲 $\pm 5^\circ$ でも p-p で 1 % 未満。

## (2) 新規定点黒体炉の評価

分光放射輝度一次標準に用いている定点黒体炉のメーカーの林電工が、数年後に定点黒体炉製造・保守から撤退することになった。今後は、チノー製の定点黒体炉への換装を予定している。本年度は、チノー製の定点黒体炉が性能的、運用的に問題ないか確認するため、最も高い温度の銅点の定点黒体炉を用いて、安定度・再現性、絶対温度、輝度むらを評価した。その結果、0.03 % の再現性、従来の林電工製定点黒体炉と同等の絶対温度、中心から 0.1 cm で 0.5 % 未満の輝度むらであり、性能的に利用できることを確認した。また、様々な設定での運用を試すことによって、最適な運用方法を確立した。

## (3) プロジェクト等の光学試験への試験装置供用実績

本年度は、表 2 に示す試験装置の供用を実施した（供用した試験装置はいずれも定期的に評価し維持している）。

## 6. センサ研究



表 2 試験装置供用実績（平成 25 年度）

供用 期間	プロジェクト等	試験目的	供用した試験装置	実施場所
04/09- 04/10	S-520-27 号機観 測ロケット	リチウム共鳴散乱光撮像装置の絶対 発光強度校正	硫酸バリウム積分球	筑波宇宙センター (光学校正室)
07/17- 07/19	はやぶさ 2/ DCAM	CMOS センサ (FM) の空間方向 および素子単位の感度特性の調査 並びに迷光測定	硫酸バリウム積分球	筑波宇宙センター (スターセンサ室)
08/14- 09/20	GCOM-C/SGLI	PTFE 積分球の角度分布評価 (VNR 試験向け)	PTFE 積分球	NEC 府中事業場
12/24- 12/26	GCOM 利用研究	JAXA および GCOM-C PI が所有 する SGLI アルゴリズム・プロダ クト精度検証用地上観測機材の観 測性能確認・維持	硫酸バリウム積分球、 PTFE 積分球、金積分球、 波長校正用光源、分光応 答度測定装置	筑波宇宙センター (光学校正室)
02/20- 02/21	はやぶさ 2/ DCAM	CAM-H (カメラヘッド：小型可 視光モニタカメラ) FM 受光部の CMOS センサ感度校正	硫酸バリウム積分球	筑波宇宙センター (スターセンサ室)
02/20- Fy26	はやぶさ 2/ONC	ONC の打上げ前のラジオメト リック性能評価	PTFE 積分球	NEC 府中事業場
03/04- Fy26	林電工 (黒体炉メーカ)	新規製造定点黒体炉のプラト形状 及び再現性確認のための予備試験	単色輝度計、定点黒体炉	筑波宇宙センター (光学校正室)
03/05- 03/11	GCOM 利用研究	JAXA および GCOM-C PI が所有 する SGLI アルゴリズム・プロダ クト精度検証用地上観測機材の観 測性能確認・維持	硫酸バリウム積分球、金 積分球、波長校正用光源	筑波宇宙センター (光学校正室)

### 3. まとめ / 課題

本年度は、平成 26 年度に予定されている GCOM-C/SGLI の試験に、金積分球が性能的に供用可能であることを確認できた。また、試験装置を継続的に維持管理し、延べ 8 件のプロジェクト等の光学試験に供した。

チノー製の定点黒体炉が性能的、運用的に利用可能であることを確認できたので、計画的なチノー製への換装が今後の課題として挙げられる。

### 4. 外部発表成果

#### (1) LARGE GOLD-COATED INTEGRATING SPHERE FOR HYPERSPECTAL IMAGER SUITE (HISUI) SWIR CALIBRATION

Fumihito Sakuma, Masatomo Harada, Yasuji Yamamoto, Yasuhiro Nakajima  
International Symposium on Remote Sensing 2013

#### (2) 光学センサの光学校正技術開発

原田昌朋, 佐久間史洋, 中島康裕, 片山晴善, 酒井理人, 山本泰志  
第 57 回宇宙科学技術連合講演会

### 6. センサ研究

## 6.12 海面高度計ミッションの研究

植松 明久、中村 良子、中島 康裕、矢島 由貴江

### 1. はじめに

本研究では、海面高度計ミッション（COMPIRA; Coastal and Ocean measurement Mission with Precise and Innovative Radar Altimeter）の実現を目指して、ミッションの概念設計およびクリティカル技術の研究を行っている。本稿では、主に COMPIRA ミッションの研究のうち、搭載センサ等に関わる研究成果を述べる。

### 2. 本年度の成果要約

#### (1) SHIOSAI の検討

主要搭載機器である SHIOSAI（X バンド干渉型合成開口レーダ高度計；SAR Height Imaging Oceanic Sensor with Advanced Interferometry）について、開発要素の検討を実施した。

これまでの検討より、海面高度誤差要因の1つとして、干渉 SAR を構成する2台の SAR アンテナそれぞれと送受信ユニットとをつなぐための導波管の伸縮が大きな要因になっていることが分かっており、誤差低減のためには、導波管部分について、なるべく温度変化に対する伸縮を小さくする必要がある。本年度は、金属よりも線膨張係数の小さい複合材を導波管に適用した場合の課題を検討するとともに、試作・評価計画をまとめた。

併せて、合成開口処理をオンボードで行うための検討を実施した。COMPIRA ミッションではすべての SAR 生データをダウンリンクさせる計画であるが、更なるデータ量低減と観測可能領域拡大の可能性を探ることを目的とした。計算リソースを満たすためのオンボード回路規模の観点からは搭載可能との結論を得たが、処理アルゴリズムの最適化については開発要素があるとの課題が識別された。

#### (2) 直下型レーダ高度計、マイクロ波放射計の検討

2つの補正用センサ（直下型レーダ高度計、マイクロ波放射計）について、設計検討を実施した。直下型レーダ高度計については、検討の結果、搭載性の目途がついたものの、受信されるレーダパルスの波形から海面高度を算出するためのトラッキング処理手法について、さらなる検討が必要であるとの結論を得たため、現在検討を継続している。マイクロ波放射計については、「しずく」（GCOM-W/AMSR2）をベースとしつつ、校正方法についてはコニカルスキャンを行わないため AMSR2 の高温校正源の方式が適用できないことから、代替となる校正方式について、Jason-2/AMR で採用されているノイズダイオード方式を含む複数の方式の比較検討を実施した。

#### (3) 航空機搭載干渉 SAR による海面計測実験データに関する解析作業

平成24年度に実施した航空機実験データを用いた、海面高度計測に関する計測誤差低減のための解析手法の高度化検討を行った。手法として、Unfocused SAR 処理と、アジマス圧縮に関して FFT を行わず時間領域で処理する手法の2つを検討中であり、このうち従来手法（周波数領域処理）と Unfocused SAR との比較作業を実施した。図1に航空機および Jason-2 衛星による海面高度の比較として、従来手法と Unfocused SAR 処理との比較を示す。従来手法では、航空機進行方向に20 km 程度の周期をもつ変動がみられていたものが、Unfocused SAR 処理では大きく改善されていることが分かる。1km あるい

## 6. センサ研究

はそれより短周期の変動要因については、現在検討中である。また、時間領域処理手法の検討を並行して行っているところである。

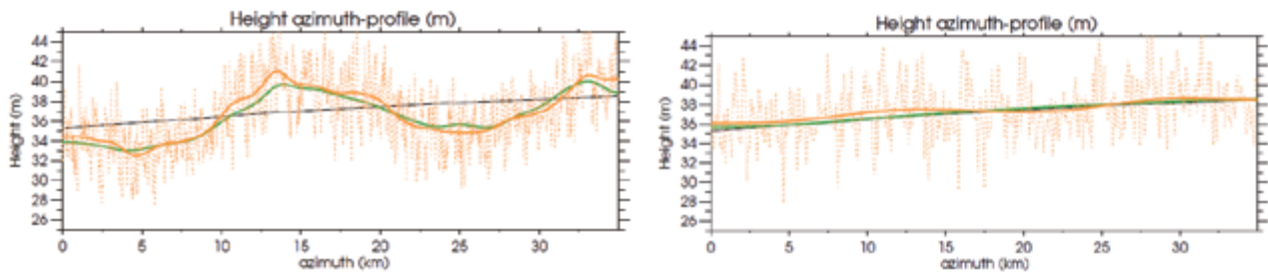


図 1 航空機（橙、緑）および Jason-2 衛星（黒）による海面高度の航空機進行方向変化。左：従来手法（周波数領域処理）、右：Unfocused SAR 処理。

橙色は航空機 SAR による干渉観測データを示し、点線はレンジ方向に平均した高度、実線はさらに航空機進行方向に移動平均した高度を示す。緑色は航空機 SAR の受信波形から推定した直下点における高度を示す。黒色は Jason-2 衛星で観測された高度を示す。データは 2012 年 12 月 11 日に伊豆諸島周辺海域で取得された。

### 3. まとめ / 課題

本年度は、衛星搭載センサの概念設計として SHIOSAI を構成するクリティカル部分である導波管の試作・評価計画をまとめたほか、オンボード処理についての 1 次検討結果を得た。また、併せて直下型レーダ高度計、マイクロ波放射計についての検討を実施したほか、航空機実験観測データにおける誤差低減のための処理法検討を実施した。

今後の課題として、クリティカル要素である導波管の試作等とともに、航空機実験データについてさらなる解析と結果のとりまとめを行い、衛星開発仕様への反映や、データ処理・解析アルゴリズムへ反映すべき内容について整理することが挙げられる。

### 4. 外部発表成果

- (1) R. Nakamura, A. Uematsu, Y. Nakajima, Y. Yajima, and the COMPIRA Team, X-band Interferometric SAR Sensor for the Japanese Altimetry Mission COMPIRA. ISTS2013, Nagoya, Jun. 2013.
- (2) A. Uematsu, R. Nakamura, Y. Nakajima, Y. Yajima and the JAXA COMPIRA Team, X-band interferometric SAR sensor for the Japanese altimetry mission, COMPIRA. Proc. IGARSS, pp. 2943-2946, Melbourne, Jul. 2013.
- (3) A. Uematsu, N. Ito, R. Nakamura, Y. Yajima, Y. Sudo, N. Miyashita, and the JAXA COMPIRA Team, Current Status of the Japanese Altimetry Mission, COMPIRA. Ocean Surface Topography Science Team (OSTST) 2013 Meeting, Boulder, Oct. 2013.
- (4) A. Uematsu, K. Akiyama, N. Ito, and the JAXA COMPIRA team, Japanese Altimetry Mission, COMPIRA. 18th International Workshop on Laser Ranging, Fujiyoshida, Nov. 2013.

### 6. センサ研究

## 7. 将来の利用推進ミッションの研究



## 7.1 将来の利用推進ミッションの研究（共通）

地球電磁気観測ミッションのプロジェクト化準備作業

地球電磁環境モニター衛星群：ELMOS Constellation

ー小型科学衛星バスを利用した小型地球観測衛星シリーズ化の提案ー

児玉 哲哉

### 1. ELMOS 小型衛星群の目的

ELMOS 小型衛星群は、小型科学衛星規模の主衛星と 5～6 機の SDS 級子衛星で構成され、世界初の GPS 掩蔽・電子密度・電子温度同時観測により、電離圏から大気圏にわたる領域の時空間的データ取得を行う<sup>1)</sup>。

ELMOS 小型衛星群の目的は、(1) 実利用：高精度かつシンプルでキャリブレーションフリーの観測手法である GPS 掩蔽観測技術の確立及び気象予測精度の向上、(2) 科学研究：電離圏・中間圏・大気圏・地圏及び海洋の多分野横断的研究、(3) 工学利用：宇宙環境・宇宙天気・デブリ観測分野への貢献である。

長期間にわたって安定して地球環境をモニターするには、シンプルでキャリブレーションフリーの観測手法が望ましいことは言うまでもないことである。その技術の典型として、GPS 掩蔽観測により対流圏－成層圏－電離圏を観測する新技術の発展が要望されている<sup>2)</sup>。

2013 年 1 月に地球電磁気学・地球惑星圏学会が公開した「地球電磁気学・地球惑星圏科学の現状と将来」には、多くの ELMOS ワーキンググループ研究者が参画し、衛星群による大気圏－電離圏観測が盛り込まれた<sup>3)</sup>。また、日本学術会議に提案した「小型衛星群による大気圏－電離圏の時空間的観測」及び「地上－衛星観測による 21 世紀の地震フロンティア研究」が<sup>4,5)</sup>、第 22 期学術の大型研究計画に関するマスタープラン（マスタープラン 2014）」に「学術コミュニティの多様なニーズの実現へ向けた超小型衛星の研究開発と軌道上実証」として公表された<sup>6)</sup>。

GPS 掩蔽観測装置、電子密度プローブ、電子温度プローブは、従来型の地球観測センサに比べ圧倒的にシンプル・低コスト・高精度であり、長期・安定・総合的に地球環境をモニターする実力を有しており、我が国の地球観測の基幹システムとして整備するべきである。

特に、地震前大気圏・電離圏変動メカニズムの解明には、多分野に渡る学際的研究が必要不可欠であり、地圏－大気圏－電離圏の時空間変動を包括的に観測する衛星群による観測が論理的帰結となる<sup>7)</sup>。

### 2. ELMOS 衛星群の実現と小型地球観測衛星のシリーズ化

平成 24 年度 JAXA システムズエンジニアリング推進室ミッションデザイン支援グループ（SE 推進室 MDSG）による「新規ミッション検討の SE 推進室 MDSG 支援案募集」において、地球電磁環境モニター衛星群：ELMOS Constellation が支援案件として採択され、社内検討を実施し、子衛星のフィージビリティを確認するとともに、第 57 回宇宙科学技術連合講演会において、オーガナイズドセッション「ELMOS Constellation：GPS 掩蔽観測衛星群が拓く地圏－大気圏－電離圏結合の観測－地震先行電離圏変動検証ミッションー」を開催、内外から 14 件の講演とパネルディスカッションを実施した。

また、アジア太平洋地球物理学会（AOGS）に、小型衛星ミッションの振興を目的とした Small Satellite Payload Task Group の設置が承認され、第 10 回 AOGS で専門セッション：Geoscience Using Nano/micro Satellite Constellation を開催、口頭・ポスター 13 件の発表を得た。

2会場	OS-32 ELMOS Constellation:GPS 掩蔽観測衛星群が拓く地圏-大気圏-電離圏結合の観測-地震先行電離圏変動検証ミッション-	10月10日(木) 司会者:児玉 哲哉(JAXA)
2201	ELMOS Constellationの現状と展望	児玉 哲哉(JAXA)
2202	ELMOS衛星によるメテオリッドとデブリのその場観測	松本 晴久(JAXA), 花田 俊也(九大), 北澤 幸人(IHD), 奥平 修(JAXA)
2203	大地震前の電離圏擾乱に関する研究—その現状と将来—	小山 孝一郎(台湾, 国立成功大), 児玉 哲哉(JAXA)
2204	電離圏擾乱における中性大気とプラズマ結合の重要性	劉 金欣(九大), 児玉 哲哉(JAXA), 鶴川 仁(学芸大)
2205	地震先行現象の統計的有意性 —電磁気学的現象—	長尾 年恵(東海大)
2会場	OS-32 ELMOS Constellation:GPS 掩蔽観測衛星群が拓く地圏-大気圏-電離圏結合の観測-地震先行電離圏変動検証ミッション-	10月10日(木) 司会者:野田 篤司(JAXA)
2206	地震先行電離圏変動検証ミッションへの地震予知研究からの期待	山岡 耕香(名大)
2207	地震先行現象検証ミッションの理念と全体構想	野田 篤司(JAXA), 鶴川 仁(学芸大), 児玉 哲哉, 對木 敦夫, 大谷 崇(JAXA)
2208	地震先行電離圏変動検証ミッション構想	對木 敦夫(JAXA), 鶴川 仁(学芸大), 児玉 哲哉, 野田 篤司, 大谷 崇(JAXA)
2209	地震先行電離圏変動検証ミッション解析	鶴川 仁(学芸大), 児玉 哲哉, 對木 敦夫, 野田 篤司, 大谷 崇(JAXA)
2210	地震先行電離圏変動検証ミッションの衛星システム検討	大谷 崇, 中島 佑太, 〇藤平 耕一, 三浦 尚幸, 高井 元, 森下 拓佳, 井上 浩一, 對木 敦夫, 野田 篤司, 児玉 哲哉, 鶴川 仁(JAXA)
2会場	OS-32 ELMOS Constellation:GPS 掩蔽観測衛星群が拓く地圏-大気圏-電離圏結合の観測-地震先行電離圏変動検証ミッション-	10月10日(木) 司会者:鶴川 仁(学芸大)
2211	地震先行現象検証のための衛星群プロジェクトについて	田中 康平(慶応大), 宮田 喜久子(NESTRA), 鶴川 仁(学芸大)
2212	大学における地震先行現象検証のためのミッション解析	須藤 雄志(学芸大), 門倉 美幸(創価大), 東郷 翔帆(学芸大), 天白 勤(東海大), 稲垣 章弥(東工大), 松井 一吹(芝浦工大), 小野 優子(慶応大), 中嶋 信博(創価大), 由井 廣介(芝浦工大), 熊川 達太郎(創価大), 田中 康平, 宮田 喜久子(NESTRA), 對木 敦夫, 児玉 哲哉(JAXA), 鶴川 仁(学芸大)
2213	大学における地震先行現象検証のためのバスシステムの設計	門倉 美幸(創価大), 須藤 雄志(学芸大), 稲垣 章弥(東工大), 東郷 翔帆(学芸大), 天白 勤(東海大), 由井 廣介(芝浦工大), 中嶋 信博(創価大), 松井 一吹(芝浦工大), 川本 直樹, 熊川 達太郎(創価大), 小野 優子, 大宮原 正真(慶応大), 田中 康平(NESTRA), 對木 敦夫, 児玉 哲哉(JAXA), 宮田 喜久子(NESTRA), 鶴川 仁(学芸大)
2214	自衛隊の大規模災害対応と地震予測の連携可能性	橋本 靖明(防衛省防衛研究所)

### 3. 次期地震火山噴火予知研究計画

平成 25 年 11 月 8 日、科学技術・学術審議会において、平成 26 年度から 5 ケ年計画の「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について」が建議された。本計画では、地震に伴う電磁気現象の観測を ULF、VLF、VHF 帯にわたり総合的に行い、衛星データも利用して、電磁気現象と地震発生との関係について統計的に検証するとともに、その発生メカニズムの追及のため地圏、大気圏、電離圏結合に関する観測研究を行うことが明記されており、引き続き研究コミュニティとの協力を行う<sup>8)</sup>。

### 参考文献

- 1) 児玉, 小山, 鈴木, 小原, 小型衛星群による大気圏-電離圏の時空間的観測, 日本航空宇宙学会第 44 期年会講演会講演集, 2013 年 4 月
- 2) 21 世紀の地球電磁気学, 日本学術会議地球電磁気学研究連絡委員会, 平成 17 年 5 月 19 日
- 3) 地球電磁気学・地球惑星圏科学の現状と将来, 地球電磁気学・地球惑星圏学会, 2013 年 1 月
- 4) 小山, 小型衛星群による大気圏-電離圏の時空間的観測, 航空宇宙・海洋分野に係る学術の大型施設計画・大規模研究計画シンポジウム, 日本学術会議, 2013 年 2 月 12 日
- 5) 長尾, 地上-衛星観測による 21 世紀の地震フロンティア研究, 同上
- 6) 提言: 第 22 期学術の大型研究計画に関するマスタープラン (マスタープラン 2014), 日本学術会議, 2014 年 3 月 12 日
- 7) Kodama and Oyama, Current Status of the ELMOS Small Satellite Constellation, AOGS 10th Annual Meeting, June 24-28, 2013
- 8) 長尾・児玉, 2014 年度から開始される大学の「予知研究」における全国連携課題, 日本地球惑星科学連合大会, 2014

### 7. 将来の利用推進ミッションの研究

## 7.2 地球観測衛星データの農業分野への利用

大吉 慶

### 1. はじめに

農業分野では、食料需要を満たす（食料安全保障）と同時に、温室効果ガスの排出や水質汚染などの環境負荷を軽減すること（持続可能な農業）が今世紀の世界的課題となっている。食料生産と環境資源に関する情報収集・分析・監視・予測を通じた施策支援は重要であり、地球観測などの空間情報技術はその基盤技術となり得る。食料安全保障分野においては、作付面積や生育状況の把握・早期警戒・収量推定などの情報を提供することが期待されている。本研究では国内外のプロジェクトを通じて、JAXA のプロダクトを中心に他国の衛星データや、地上観測データ、社会統計データを統合的に利用し、1) 耕作地図作成、2) 農業気象・生育監視、3) 単収・収量推定、4) 情報提供の各要素から構成される農業監視システムの構築に取り組んでいる<sup>1)</sup>。本稿ではその進捗状況の概要を報告する。

### 2. GEOGLAM/Asia-RiCE での水稻の作付け地図・作況情報の作成

2011 年に G20 に採択された全球農業監視イニシアチブ（GEOGLAM）において、アジアの稲作監視手法の能力向上を目的とした Asia-RiCE において、合成開口レーダによる水稻の作付面積把握手法の開発に取り組んでいる。昨年 6 月から開始しているインドネシア、ベトナムの両国における SAFE プロジェクトでは、研究および社会実装の枠組みの構築を行っている。両プロジェクトでは昨年開発した SAR データによる作付面積推定ソフトウェア INAHOR を活用し、パラメータ調整と検証をする計画である。

また、GEOGLAM のフェーズ 1 対象国であるタイ、ベトナム、インドネシアでは、昨年 10 月より米の作況情報作成している。現地情報に加えて、作況を判断するための補助データとして衛星による農業気象データを活用するための、ウェブシステム（JASMIN）を構築した。本システムでは、干ばつ指標、GSMaP による降水量の他に、JASMAI で公開している土壌水分量、光合成有効放射量など多種センサのプロダクトが 1 つのシステムで閲覧できる。各国の農業統計の専門官、ASEAN+3 Food Security Information System（AFSIS）と連携し、この作況情報を国連農業機関（FAO）の運営する農業市場情報システムに提供し、Crop Monitor 情報として毎月公開されている。

### 3. 水稻の生育段階およびバイオマスの推定

東南アジアの水田は同一地域であっても水稻の生育段階は異なり、収量の見通しには 1-2 ヶ月ごとに広域かつ効率的な生育段階の監視が必要となる。2012 年 8 月に観測したインドネシアのジャワ島西部の Pi-SAR-L2 のフル偏波強度画像と現地調査データを利用して水稻の生育段階（作付期、生長期、収穫期、収穫後）を分類した。線形判別分析の結果を表 1 に示す。全ての偏波を利用した場合が最も精度が良いが（93.5%）、VV 偏波のみの利用でも 8 割以上の精度で分類できた。水稻は作付期から成熟期まで形態の変化が大きく、垂直偏波がその変化に対して高い感度を示した。また、成熟期のバイオマスが推定できれば、単収量を SAR データから推定できるため、バイオマス（乾重量）と各偏波との比較を行った。図 1 の HH 偏波との相関が最も高く（ $r=0.85$ ）、以下 VV 偏波（ $r=0.74$ ）、HV 偏波（ $r=0.52$ ）の順であった。今後は入射角による影響の検討などを進め、広域における生育段階、バイオマス推定手法を検討する計画である。

## 7. 将来の利用推進ミッションの研究

表 1 利用する偏波ごとの水稻の生育段階の分類結果

Polarimetry	Total Accuracy	Kappa coefficient
HH+HV+VV	93.5 %	0.89
HH+HV	76.0%	0.59
HV+VV	87.0%	0.79
HH+VV	89.1%	0.82
HH	71.7%	0.51
VV	84.8%	0.75
HV	67.4%	0.44

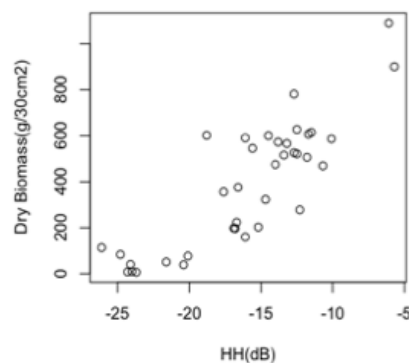


図 1 HH 偏波とバイオマス（乾重量）の散布図

#### 4. 農業気象データによる水稻以外の主要穀物収量の推定

国家の農業統計としての正確な情報以外にも、世界各地の即時的な作況情報は、穀物価格安定化や食料安全保障政策上有用である。作物収量は降水量や日射などの農業気象に大きく依存しており、作物生長を精緻シミュレートする数値モデルにおいても、農業気象データが外生変数として利用されている。説明変数を衛星観測による降水量、日射量として国全体の作物収量を推定する簡易モデリングを重回帰分析により行った。収量にはトレンドが確認されたため、それを除去するために年も説明変数として用いた。オーストラリアの小麦、ブラジルの大豆収量を対象として解析を行った結果、収穫期直前の月までのデータを利用して 90% 以上の精度での収量推定が可能であった。国や作物ごとにパラメータの調整や頑健性の確認をする必要はあるが、このようなモデルを各国において構築できれば、作況の参考情報として有用である。また、収穫期までのリードタイムと予測精度の関係についても、今後検討していきたい。

#### 5. まとめ

地球観測データの農業分野での定常的な利用枠組みを構築するため、農業監視システムの個別要素の開発を実施した。Asia-RiCE 活動では実際の利用者との協働により、既存の物理プロダクトをカスタマイズしたウェブシステムを開発し、定常利用の枠組みを構築した。また、単収や収量推定について、合成開口レーダによる直接推定や農業気象データによる簡易推定手法の検討を行った。今後は ScanSAR モードを利用した国や県レベルでの観測手法や、単収・収量推定手法の開発に取り組んでいきたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 大吉 慶, 貫井 智之, 祖父江 真一, 2014, 地球観測衛星データの食料安全保障分野への利用, システム農学, 30(1), pp.27-33.



# 付録

## 1. 論文発表

沖大幹/今岡啓治/可知美佐子/奥山新/堀雅裕/笠原希仁/竹島敏明/伊藤徳政 2013.9  
GCOM-W1搭載AMSR2とプロダクトの概要 日本写真測量学会 写真測量とリモートセンシング

高久淳一/田殿武雄 2013/4/20 PRISM/DSMモザイクの作成と評価 日本リモートセンシング  
学会 日本リモートセンシング学会誌 pp.126-136, Vol.33, No.2, 2013

Haruyoshi Katayama/Junpei Murooka/Masataka Naitoh/Ryota Sato/Satoshi Kawasaki/Yudai  
Itoh/Syota Sugano/Tomoko Takekawa/Masafumi Kimata/Mikhail Patrashin/Iwao  
Hosako/Yasuhiro Iguchi Development status of type II superlattice infrared detector in JAXA  
SPIE

小野祐作/村上浩/小林秀樹/奈佐原顕郎/梶原康司/本多嘉明 2013/05/2 Development  
status of type II superlattice infrared detector in JAXA 日本写真測量学会 平成25年度次学  
術講演会

加藤恵理 2013/6/5 Conceptual study on earth observation missions for Medium Earth Orbit  
Satellite ISTS ISTS2013

福田徹 2013/6/15 衛星地球観測データ利用の基盤技術 -JAXA地球観測研究センターの紹  
介- Fundamental technologies for satellite-based Earth Observation data applications -JAXA  
Earth Observation Research Center- 土木学会 土地学会誌2013年6月号

田殿武雄/安納住子/五十嵐保/山本彩 2013/6/15 Approaches to Detecting Gene-  
Environment Interactions in Human Variation Using Genetic Engineering, Remote Sensing and  
GIS Dabid Publishing Company Journal of Earth Science and Engineering

Yasumasa Miyazawa/Hiroshi Murakami/Toru Miyama/Sergey M. Varlamov/Xinyu Guo/Takuji  
Waseda/Sourav 2013/6/21 アンサンブルカルマンフィルタを用いたAqua-Terra衛星のMODIS高  
分解能海面水温データの同化(Data Assimilation of the High-Resolution Sea Surface  
Temperature Obtained from the Aqua-Terra Satellites (MODIS-SST) Using an Ensemble Kalman  
Filter) om/jpirnal/remotesensing Remote Sensing

EORC/SAPC 2013/6/30 「だいち」における衛星画像を用いた「ポケットだいち」 日本地図学会  
地図

EORC/筑波大学 2013/6/30 日本におけるJAXA高解像度土地利用土地被覆図 日本地図学  
会 地図

高橋陪夫 2013/07/01 JAXA高解像度土地利用度土地被覆図 システム農学会 農業リモート  
センシング・ハンドブック増補版

Haruyoshi Katayama/Junpei Murooka/Masataka Naitoh/Ryota Sato/Masafumi Kimata/Takahiro  
Kitada/Toshiro Isu/Mikhail Patrashin/Iwao Hosako/Yasuhiro Iguchi 2013/7/2 Development  
of Type II Superlattice Detector for Future Space Applications in JAXA CLEO-PR

Tempei Hashino/Masaki Satoh/Yuichiro Hagihara/Takuji Kubota/Toshihisa Matsui/Tomoe  
Nasuno/Hajime Okamoto 2013/7/8 Evaluating cloud microphysics from NICAM against  
CloudSat and CALIPSO AGU Journal of Geophysical Research: Atmospheres

片山晴善 2013/7/10 Research and development of space optics in JAXA OSK-OSJ joint  
symposium

片山晴善 アサーマル光学系を用いた地球観測用小型赤外カメラ(CIRC)の開発 (Compact  
Infrared Camera (CIRC) for earth observation adapting athermal optics) 2013/8/2 赤外線アレ  
イフォーラム

加藤恵理 2013/8/25 アサーマル光学系を用いた地球観測用小型赤外カメラ(CIRC)の開発  
(Compact Infrared Camera (CIRC) for earth observation adapting athermal optics) SPIE Optical  
Engineering + Applications SPIE

佐藤洋平/境澤大亮/平形麻紀/久保田拓志/沖理子/石井昌憲/フィリップ・バロン/水谷耕平/安  
井元昭/石橋俊之/岡本幸三/佐藤正樹/岩崎俊樹 2013/9/12 超低高度衛星を用いた風向風  
速観測の実現性検討 Feasibility study for vertical profile of wind vector measurements ICLAS  
31回レーザセンシングシンポジウム

小林高士/知識柔一/境澤大亮/室岡純平/鈴木桂子/中島康裕/今井正/佐藤亮太/浅井和弘/  
沢田治雄 2013/9/12 樹冠高観測ミッション~MOLI~ Mission of tree crown height  
measurement : Multi-footprint Observation Lidar (MOLI) ICLAS31回レーザセンシングシンポジ  
ウム

新納望/村松加奈子/田殿武雄/古海忍/曾山典子/醍醐元正 2013-9-20 奈良県森林における  
ALOS/PRISMデータを用いた平均樹高推定の可能性: 吉野スギ林による検証に基づいて 日本  
リモートセンシング学会 日本リモートセンシング学会誌

堀雅裕/青木輝夫/谷川朋範/八久保晶弘/杉浦幸之助/朽木勝幸/庭野匡思 2013/10/20  
Modeling angular dependent spectral emissivity of snow and ice in the thermal infrared  
atmospheric window The Optical Society Applied Optics

Yuhaku Ono/Hiroshi Murakami/Hideki Kobayashi/Kenlo Nasahara/Koji Kajiura/Yoshiaki  
Honda 2013/12/9 Development of a global LAI/FAPAR estimation algorithm for JAXA's new  
earth observation satellite, GCOM-C1 American Geophysical Union AGU fall meeting 2013

谷川朋範/堀雅裕/青木輝夫/八久保晶弘/Knut Stamnes 2013/12/9 Measurement of angular  
distribution of spectral reflectance and degree of linear polarization of snow for the GCOM-  
C/SGLI snow product

Rajesh Bahadur Thapa, Manabu Watanabe, Takeshi Motohka, Tomohiro Shiraishi, Masanobu  
Shimada 2013/12/27 New approaches to removing cloud shadows and evaluating the 380 nm  
surface reflectance for improved aerosol optical thickness retrievals from the GOSAT/TANSO-  
Cloud and Aerosol Imager AGU2013 AGU Fall Meeting

Satoru Fukuda/Teruyuki Nakajima/Hideaki Takenaka/Akiko Higurashi/Nobuyuki Kikuchi/Takashi  
Y. Nakajima/Haruma Ishida 2013/12/27 New approaches to removing cloud shadows and  
evaluating the 380 nm surface reflectance for improved aerosol optical thickness retrievals from  
the GOSAT/TANSO-Cloud and Aerosol Imager American Geophysical Union Journal of  
Geophysical Research:Atmospheres

IANIGLA/EORC 2014/1/5 ALOS-derived inventory of periglacial landforms in the Cordillera  
Oriental of Salta(-25° S), Argentina Wiley Online Library PERMAFROST AND PERIGLACIAL  
PROCESSES

境澤大亮/川上修司/中島正勝/田中智章/井上真/森野勇/内野修 2014/1/30 微量気体計  
測用1.57um光ファイバー型レーザー分光計 日本リモートセンシング学会 リモートセンシング学  
会誌

Aina Taniguchi/Shoichi Shige/Munehisa K/Yamamoto and Tomoaki Mega/Satoshi Kida/Takuji  
Kubota and Misako Kachi/Tomoo Ushio/Kazumasa Aonashi 2013/12 Improvement of High-  
Resolution Satellite Rainfall Product for Typhoon Morakot (2009) over Taiwan AMS Journal of  
Hydrometeorology

前田崇/高野忠/服部克己 他 2013/5 Detection of microwave emission due to rock fracture as a new tool for geophysics: A field test at a volcano in Miyake Island, Japan Elsevir Journal of Applied Geophysics

木村俊義 2013/7/2-3 Lessons learned in a development of spaceborne radar under international framework DLR EPMF2013(於ドイツ・ケルン市)

Rajesh Thapa/Masanobu Shimada/Manabu Watanabe/Takeshi Motohka/Tomihiro Shiraishi 201/7/2-3 The tropical forest in South East Asia: Monitoring and scenario modeling using Synthetic Aperture Radar data. Elsevir Applied Geography

Yuhsaku Ono/Hiroshi Murakami/Hideki Kobayashi/Kenlo Nasahara/Koji Kajiwaru/Yoshiaki Honda 2013/8/21-24 Development of global LAI/FAPAR estimation algorithm for JAXA's new satellite sensor, GCOM-C1/SGLI Adia Flux AsiaFlux Workshop 2013

Yohei Satoh, Daisuke Sakaizawa/Takuji Kubota/Riko Oki/Kozo Okamoto/Shoken Ishii/Philippe Baron/ Chikako Takahashi/Kyoka Gamo/Toshiyuki Ishibashi/Taichu Tanaka 2014/2/2-6 Simulation and impact study of future spaceborne Doppler wind lidar in Japan American meteorologicalsciety 18th Conf.IOAS-ALOS

加藤恵理 2014/3月予定 Conceptual study on Earth Observation Missions Focusing on Optical Sensors for Medium Earth Orbit Satellite ISTS学会 ISTS学会誌

## 2. 口頭発表

河野宜幸 2013/4/8-12 Post disaster monitoring for the Great East Japan Earthquake with a new L-band airborne SAR “Pi-SAR-L2” EGU General assenbly 2013 EGU

可知美佐子/沖理子/久保田拓志/正木岳志/木田智史/井口俊夫/中村健治 2013/4/12 Current Status of Japanese Global Precipitation Measurement (GPM) Research Project European Geosciscences Union EGU General Assemble 2013

木田智史/久保田拓志/可知美佐子/沖理子 2013/4/18 衛星による高分解能全球降水マップ 日本航空宇宙学会 日本気象学会 春季大会

児玉哲哉 2013/4/18-19 地上-衛星観測による21世紀の地震フロンティア研究 日本航空宇宙学会 第44回年会講演会

児玉哲哉 2013/4/18-19 小型衛星群による大気圏-電離圏の時空間的観測 日本航空宇宙学会 第44回年会講演会

可知美佐子/今岡啓治/前田崇/奥山新/直木和弘 2013/5/15 GCOM-W1のデータ提供とその利用について 日本気象学会 日本気象学会2013年春季大会

佐藤芳昭 2013/5/15 気象庁の数値予報システムを用いたGCOM-W/AMSAR2データの品質調査と利用実験 日本気象学会 春季大会

Manabu Watanabe, Hiroki Takakura, Masanobu Shimada 2013/5/15 Detection of ice jam floods using PALSAR full polarimetry data 日本リモートセンシング学会 ISRS2013

沖大幹/今岡啓治/可知美佐子 2013/5/15 第一期水循環変動観測衛星による 地球物理量観測について 気象学会 日本気象学会2013年秋季大会春季大会



Rajesh Bahadur Thapa, Masanobu Shimada, Manabu Watanabe, Takeshi Motohka, Tomohiro Shiraishi

Tsutomu Yamanokuchi/Nobuhiro Tomiyama/Takeo Tadono/Jinro Ukita/Chiyuki Narama  
2013/5/15-17 ANALYSIS OF ROCK GLACIER FLOW BY DIFFERENTIAL INSAR ON  
ARGENTINE ANDES 日本リモートセンシング学会 International Symposium on Remote  
Sensing

久保田拓志/沖理子/可知美佐子/正木岳志/木田智史/井口俊夫/中村健治/高藪緑  
2013/5/16 Current Status of Japan's Activity for Global Precipitation Measurement (GPM)  
algorithm development RSSJ,KSRS,CSPRS,EMSEA ISRS2013

Shuji Kawakami/Hirofumi Ohyama/Kei Shiomi/Takuya Fukamachi/Choyo Taura/Kohei  
Arai/Hiroshi Okumura 2013/5/16 Observations of Carbon dioxide and Methane column  
amounts measured by high resolution FTIR at Saga in 2011-2012 日本リモートセンシング学会  
ISRS2013

Takeo Tadono/Hiroko Imai/Masuo Takahashi/Fumi Ohgushi/Junichi Takaku/Tomohiro  
Watanabe 2013/5/16 FEASIBILITY STUDY OF HIGH-RESOLUTION OPTICAL IMAGER FOR  
NEXT LAND  
OBSERVATION SATELLITE  
日本リモートセンシング学会 International Symposium on Remote Sensing,2013

Shutaro Hashimoto/Takeo Tadono/Masahiko Onosato/Masahiro  
Hori 2013/5/16 LAND COVER CLASSIFICATION OF ENTIRE JAPAN BY KERNEL-BASED  
PROBABILISTIC  
INFERENCE USING MULTITEMPORAL AVNIR-2 DATA 日本リモートセンシング学会  
International Symposium on Remote Sensing,2013

Masayuki Matsuoka/Hiroki Yoshioka/Kenta Obata/Takeo Tadono 2013/5/16 QUALITY  
EVALUATION OF PANSHARPENED MULTISPECTRAL IMAGE GENERATED USING  
DIFFERENT BANDWIDTH OF PANCHROMATIC IMAGE 日本リモートセンシング学会  
International Symposium on Remote Sensing,2013

前田崇/今岡啓治/可知美佐子/奥山新/直木和弘 2013/5/16 GLOBAL WATER CYCLE  
MONITORING USING AMSR2 ON GCOM-W1 SATELLITE 日本リモートセンシング学会 ISRS

村上浩/Hisashi Yamaguchi/Xu Yongjiu/Masahito Ebina 2013/05/17 GOCI vicarious  
adjustment analysis over the Mutsu-Bay 日本リモートセンシング学会 International  
Symposium on Remote Sensing 2013

青梨和正 2013/5/19 新しいGSMaP MW陸上降水リトリバルアルゴリズム(New GSMaP  
over-land precipitation retrieval algorithm) 日本地球惑星科学連合 日本地球惑星科学連合  
2013年大会

前田崇/今岡啓治/可知美佐子/奥山新/直木和弘 GCOM-W1 AMSAR2のL2・L3プロダクト(地  
球物理量データセット)の提供開始 日本地球惑星科学連合 日本地球惑星科学連合2013年大  
会

沖大幹/今岡啓治/可知美佐子 2013/5/19 AMSRシリーズによる全球水循環の長期継続観測  
日本地球惑星科学連合 日本地球惑星科学連合2013年大会

福田悟/竹中栄晶/中島映至 2013/5/19-20 Aerosol Algorithm of GOSAT/TANSO-CAI  
JpGU

可知美佐子/久保田拓志/木田智史/沖理子/牛尾知雄/重尚一、他2名 2013/5/20 全球衛星降水マップの作成と全球降水観測計画に向けた発展 日本地球惑星科学連合 日本地球惑星科学連合2013年大会

佐久間史洋 2013/5/20 Large gold-coated integrating sphere for Hyperspectral Imager SUite (HISUI) SWIR calibration 日本リモートセンシング学会他 International Symposium on Remote Sensing

久保田拓志/沖理子/平形麻紀/福田悟/野牧知之/木村俊義/中島映至 2013/5/20 雲エアロゾル放射ミッション「EarthCARE」のアルゴリズム開発とJAXAプロダクトの現状と今後の予定 日本地球惑星科学連合 日本地球惑星科学連合2013年大会

村上浩 2013/5/20 GCOM-C1海洋プロダクト開発(GCOM-C1 ocean product development) 日本地球惑星科学連合 日本地球惑星科学連合2013年大会

堀雅裕/青木輝夫/Knut Stamnes/谷川朋範/Wei Li/Nan Chen 2013/5/20 GCOM-C1/SGLIによる全球雪氷観測と検証計画 (Global snow and ice cover observations using GCOM-C1/SGLI) 日本地球惑星科学連合 日本地球惑星科学連合2013年大会

松岡真如/吉岡博貴/田殿武雄/小畑健太 2013/5/21 バンクロマチック画像の観測波長幅がパンシャープン画像の画質に及ぼす影響 日本写真測量学会 日本写真測量学会平成25年度年次学術講演会.2013

Jules R. Dim/Satoru Fukuda/Teruyuki Nakajima/Tamio Takamura 2013/5/27 Validation of Aerosols Properties' Algorithms for the Future GCOM-C/SGLI Satellite Bridging Environmental Science, Policy and Resource Management CMOS-CGU-CRWA 2013 Congress

K.Shiomi/A.Kuze/H.Suto/S.Fukagawa/R.Knuteson/J.Gero/D.Tobin/F.Best/H.Revercomb/J.Yoshida/Y.Nakamura/Y.Yamamoto/Y.Suzuki/M.Iguchi 2013/5/30 Characterization of GOSAT TANSO Level 1 V160.160 TIR spectra International workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space IWGMS-9

今岡啓治/奥山新/前田崇/可知美佐子/笠原希仁/伊藤徳政/中川敬三 2013/6/3 Status of AMSR2 brightness temperature product ISTS 29th ISTS

須藤洋志/久世暁彦/塩見慶/中島正勝 2013/6/3-6 Space-based Carbon Monitoring by GOSAT and GOSAT-2: Lessons and Learned from GOSAT in-orbit operation and towards better accuracy of XC02 observation ICDC9 ICDC9

木田智史/久保田拓志/可知美佐子/沖理子/重尚一 2013/6/3-7 衛星搭載マイクロ波サウンダ用陸上降水推定アルゴリズムの開発 (Development of precipitation retrieval algorithm for passivemicrowave sounder over land) 日本航空宇宙学会 第29回宇宙技術および科学の国際シンポジウム (29th ISTS)

中村良子/植松明久/中島康裕/矢島由貴江/JAXA COMPIRAチーム 2013/6/4 日本の海面高度計ミッション(COMPIRA)搭載Xバンド干渉SARセンサ (X-band interferometric SAR sensor for the Japanese altimetry mission, COMPIRA) 日本航空宇宙学会 ISTS2013

久保田拓志/可知美佐子/木田智史/高藪緑/沖理子 2013/6/5 Effects of TRMM/PR Version 7 Product in GSMaP Rain Estimation Algorithm 日本航空宇宙学会 第29回宇宙技術および科学の国際シンポジウム (29th ISTS)

福田悟/中島映至/竹中栄晶 2013/6/6 Aerosol Retrieval Algorithm of EarthCARE/MSI as GOSAT/TANSO-CAI ISTS ISTS2013

中村良子/高橋陪夫/有川善久/岡田和之/板橋孝昌/神吉誠志 2013/6/7 宇宙太陽発電技術を用いた台風制御(Active Typhoon Control Using Space Solar Power Technology) 日本航空宇宙学会 ISTS2013

今岡啓治/前田崇/奥山新/笠原希仁 2013/6/20 AMSR2輝度温度プロダクトの評価 宇宙・航空エレクトロニクス研究会 宇宙応用シンポジウム

久世暁彦/須藤洋志/塩見慶/深川真市/中島正勝/吉田純 2013/6/23-27 watana 米国光学会 米国光学会フーリエ文公会議(OSA-FTS)

久保田拓志/沖理子/可知美佐子/正木岳志/木田智史/井口俊夫/中村健治/高藪緑 2013/6/28 Current Status of Japan's Activity for GPM algorithm development Asia Oceania Geoscience Society AOGS2013

石元裕史 2013/7/8-12 MPSを用いた雪片の融解シミュレーション (Numerical simulations of melting snowflakes by using Moving Particle Semi-implicit(MPS)method) 国際気象大気連合(IAMAS)、国際雪氷科学連合(IACS) Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly 2013 (DACA-13)

奥村俊夫 2013/7/11 米収穫把握ソフトウェアのパッケージ整備と展開 平成25年技術成果報告会

山之口勉 2013/7/11 森林管理等における森林分布/DSMの利用 平成25年技術成果報告会

吉田豪 2013/7/11 ALOS-2運用に向けた取り組み 平成25年技術成果発表会

渡邊学 2013/7/18 極域洪水の監視と起源解明のための手法開発(2) 極域洪水研究会

渡邊学 2013/7/21-26 DEPENDENCY OF FOREST BIOMASS ON FULL POLARIMETRIC PARAMETERS OBTAINED FROM L-BAND SAR DATA FOR A NATURAL FOREST IN INDONESIA IEEE IGRASS2013

可知美佐子/直木和弘/堀雅裕/今岡啓治 2013/7/23 AMSR2 VALIDATION RESULTS IEEE IGRASS2013

Takeshi Motohka, Toshiya Yoshida, Hideaki Shibata, Takeo Tadono, Masanobu Shimada 2013/7/23 MAPPING FOREST BIOMASS USING ALOS DIGITAL SURFACE MODEL AND PAN-SHARPEN IMAGE IEEE IGRASS2013

木田智史/久保田拓志/可知美佐子/沖理子/井口俊夫/高藪緑 2013/7/23 TRMM軌道変更の影響を除いた気候学研究のためのデータセット作成について (REDUCTION OF DISCONTINUITY DUE TO THE ORBIT IN TRMM PRECIPITATION RADAR PRODUCT FOR CLIMATE STUDIES) IEEE Geoscience and Remote Sensing Society IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGRASS) 2013.

Takuji Kubota/Nofumi Yoshida/Shinji Urita/Toshio Iguchi/Shinta Seto/Jun Awaka/Hiroshi Hanado/Satoshi Kida/Riko Oki 2013/7/23 DEVELOPMENT OF SYNTHETIC GPM/DPR DATA FROM TRMM/PR AND EVALUATION OF GPM/DPR LEVEL-2 "AT-LAUNCH" ALGORITHMS USING THEM Geoscience and Remote Sensing Society IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGRASS) 2013.

今岡啓治/可知美佐子/前田崇/笠原希仁/伊藤徳政 2013/7/23 Characterization of Radio-Frequency Interference in AMSR2 C-band Channels Geoscience and Remote Sensing Society IGRASS2013

今岡啓治/前田崇/奥山新/笠原希仁/伊藤徳政/斉藤進/竹島敏明 2013/7/23 GCOM-W1 Status and AMSR2 Calibration Results Geoscience and Remote Sensing Society IGRASS2013

Shutaro Hashimoto/Takeo Tadono/Masahiko Onosato/Masahiro Hori 2013/7/24 LAND USE AND LAND COVER INFERENCE IN LARGE AREAS USING MULTI-TEMPORAL OPTICAL SATELLITE IMAGES IEEE IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2013.

Masuo Takahashi/Kenlo Nishida Nasahara/Takeo Tadono/Tomohiro Watanabe, Masanori Dotsu, Toshiro Sugimura and Nobuhiro Tomiyama 2013/7/24 JAXA HIGH RESOLUTION LAND-USE AND LAND-COVER MAP OF JAPAN IEEE IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2013.

島田政信 2013/7/24 ALOS-2 science project IEEE IGRASS2013

島田政信, Manabu Watanabe, Takeshi Motooka, and Yukihiro Kankaku 2013/7/24 PALSAR-2 POLARIMETRIC PERFORMANCE AND THE SIMULATION STUDY USING THE PI-SAR-L2 IEEE IGRASS2013

島田政信, Manabu Watanabe, and Takeshi Motooka 2013/7/23 SUBSIDENCE ESTIMATION OF THE PEATLAND FOREST IN THE CENTRAL KALIMANTAN USING THE PALSAR TIME SERIES DIFFERENTIAL INTERFEROMETRY IEEE IGRASS2013

島田政信, Takeshi Motooka, and Manabu Watanabe 2013/7/24 SENSITIVITY ANALYSIS OF THE DEFORESTATION AREA USING TIME-SERIES AMPLITUDE AND INTERFEROMETRIC COHERENCE IEEE IGRASS2013

Masayuki matsuoka/Hiroyuki Yoshioka/Takeo Tadono Effect of bandwidth of panchromatic image on the quality of pansharpened multispectral image IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium

植松明久/中村良子/中島康裕/矢島由貴江/JAXA COMPIRAチーム 2013/7/25 日本の海面高度計ミッション(COMPIRA)搭載Xバンド干渉SARセンサ(X-band interferometric SAR sensor for the Japanese altimetry mission, COMPIRA) IEEE IGARS2013

Masato Ohki, Masanobu Shimada 2013/7/25 Improved land-cover monitoring by fusion of ALOS PolInSAR and optical data IEEE IGRASS2013

中村良子/片山晴善/内藤聖貴/原田昌朋/加藤恵理/佐藤亮太/中右浩二 2013/7/26 地球観測用小型赤外カメラ(CIRC)の地上校正試験(GROUND CALIBRATION OF COMPACT INFRARED CAMERA (CIRC) FOR EARTH OBSERVATION) IEEE IGRASS2013

Takeo Tadono/Hiroko Imai/Fumi Ohgushi/Junichi Takaku/Tomohiro Watanabe 2013/7/26 FEASIBILITY STUDY OF PRISM-2 ONBOARD ALOS-3 - SIMULATED IMAGE GENERATION - IEEE IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2013.

Junichi Takaku/Takeo Tadono 2013/7/26 AUTOMATIC DSM GENERATION FROM ALOS PRISM IEEE IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2013.

児玉哲哉 2013/8/9 ELMOS Constellation: Lithosphere, Atmosphere and Ionosphere Monitoring by Small and Microsatellites 千葉大学 The Symposium on Microsatellites for Remote Sensing: SOMIRES 2013



計盛正博 2013/9/10 第13回欧州マイクロ波放射計データ同化における相対風向の情報の利用について (Use of the Ocean Surface Wind Direction Signal in Microwave Radiance Assimilation) 気象学会年次会議及び第11回応用気象に関する欧州会議

児玉哲哉 2013/9/16 ELMOS Constellation 現状と新宇宙基本計画の動向 中間圏・熱圏・電離圏(MTI)研究会 平成25年度MTI研究集会

堀雅裕/青木輝夫/谷川朋範/朽木勝幸/庭野匡思/山口悟/的場澄人/八久保晶弘/杉浦幸之助 2013/9/18 雪氷面熱赤外域射出輝度の変動特性と表面雪質の関係 (The dependence of thermal infrared emissive properties of the snow surface on grain shape) 日本雪氷学会 雪氷研究大会 (2013・北見)

堀雅裕/青木輝夫/谷川朋範/朽木勝幸/庭野匡思/山口悟/的場澄人/八久保晶弘/杉浦幸之助 2013/9/18 Dependence of brightness temperatures in the thermal infrared wavelength region on the surface snow types American Geophysical Union AGU Fall Meeting 2013

可知美佐子/今岡啓治/前田崇/直木和弘/堀雅裕/笠原稀仁/伊藤徳政 2013/9/18 Calibration and Validation Results of the Advanced Microwave Scanning Radiometer 2(AMSR2) EUME,AMS 2013Joint EUMETSAT/AMS

計盛正博 2013/9/19 数値予報モデルを用いたGCOM-W1/AMSR2輝度温度データの予備評価について (Preliminary Assessment of GCOM-W1/AMSR2 Radiance Data with a Numerical Model) 2013年度欧州気象衛星開発機構気象衛星会議と第19回米国気象学会(AMS)衛星気象学、海洋学と気候学会議

谷川朋範/堀雅裕/青木輝夫/庭野匡思/朽木勝幸/八久保晶弘/的場澄人/山口悟/杉浦幸之助 2013/9/19 積雪の波長別双方向反対射率と偏光度の測定(Measurement of angular distribution of spectral reflectance and degree of linear polarization of snow) 日本雪氷学会 せびょう研究大会 (2013・北見)

山口寿史/村上浩/宮村和良 2013/9/19 大分沿岸におけるCochlodinium polykrikoides赤潮の光学特性 日本海洋学会 2013日本海洋学会秋季大会

Kei Shiomi/Shuji Kawakami/Hiroshi Suto/Akihiko Kuze/Masakatsu Nakajima 2013/9/23 On-orbit status of TANSO on GOSAT over 4 year SPIE Remote Sensing 2013

正木岳志/木田智史/金子有紀/古川欣司/三浦健史/小嶋正弘/井口俊夫/高藪緑 2013/9/23 Status of Japanese Global Precipitation Measurement (GPM) Mission SPIE SPIE Europe Remote Sensing 2013

Manabu Watanabe 2013/9/23-27 Trial biomass map production in Riau Province, Indonesia using L-band SAR data APSAR2013組織委員会

Manabu Watanabe 2013/9/23-27 Trial of volcanic ash detection using Pi-SAR-L2 APSAR2013組織委員会

Shimada, Manabu Watanabe, Takeshi Motohka, Tomohiro Shiraishi 2013/9/24 L-band SAR data and spatially explicit model to analyse forest loss between 2007 and 2030 in central Sumatra APSAR2013

Takeo Tadono/Atsuko Nonomura/Satoshi Aga/Hitoshi Moriya 2013/9/24 A Case Study of Land Cover Classification Using Combined PolSAR and Optical IEEE 2013 Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar

.....  
Takeshi Motohka, Masanobu Shimada, Manabu Watanabe, Noriyuki Kawano, Tomohiro Shiraishi, Rajesh Bahadur Thapa 2013/9/25 Monitoring Changes in Tropical Forests Using L-band Synthetic Aperture Radar Data APSAR APSAR2013  
.....

福田徹 2013/9/26 Monitoring Changes in Tropical Forests Using L-band Synthetic Aperture Radar Data International Astronomical Congress IAC2013, Beijing  
.....

K.Shiomi/M.Nakajima/H.Suto/A.Kuze 2013/10/2 GOSAT-2 mission requirements and concept GEOCARBON GEO-Carbon Conference "Towards a Global Carbon Observing System : Progresses and Challenges"  
.....

植松明久/JAXA COMPIRAチーム 2013/10/8 日本の海面高度計ミッション(COMPIRA)の検討状況について  
.....

(Current status of the Japanese Altimetry Mission, COMPIRA) ESA 7th Coastal Altimetry Workshop  
.....

植松明久/中村良子/矢島由貴江/伊藤徳政/首藤泰雄/宮下直樹/JAXA COMPIRAチーム 2013/10/8 日本の海面高度計ミッション(COMPIRA)の検討状況について  
.....

(Current status of the Japanese Altimetry Mission, COMPIRA) JPL/CNES Ocean Surface Topography Science Team (OSTST) Meeting (OSTST2013)  
.....

児玉哲哉 2013/10/10 ELMOS Constellation 現状と展望 日本航空宇宙学会 第57回宇宙科学技術連合後援会  
.....

山口寿史/村上浩/Xu Yongjiu 2013/10/17 Understanding the estimated error of the satellite chlorophyll-a in Mutsu bay PICES 2013PICES Annual Meeting  
.....

福田徹 2013/10/21 JAXA's RS Capacity Building Activities for the Asia Pacific Asian Association on Remote Sensing (AARS) 34th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS)  
.....

福田徹 2013/10/21 JAXA's Satellite Program Asian Association on Remote Sensing (AARS) 34th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS)  
.....

Masanobu Shimada, Manabu Watanabe1, Takeshi Motooka1, Tomohiro Shiraishi1, Rajesh Thapa1, Noriyuki Kawano1, Masato Ohki1, Agustan Uttank2, Muhammad Sadly2, and Arif Rahman3 2013/10/22 JAPAN - INDONESIA PI-SAR-L2 CAMPAIGN 2012 ACRS2013  
.....

Rajesh Bahadur Thapa, Masanobu Shimada, Manabu Watanabe, Takeshi Motohka, Tomohiro Shiraishi 2013/10/22 THE FATE OF TROPICAL FOREST IN CENTRAL SUMATRA: MAPPING, MODELING, AND SCENARIOS ANALYSIS USING PALSAR DATA ACRS2013  
.....

Tadono T/Takaku J/Shimada M 2013/10/23 Global digital surface model generation by PRISM onboard ALOS 'Daichi' to contribute geo-disaster studies Himalayan Landside Society The 11th International Symposium on Mitigation of Geo-disasters in Asia (MGDA-11)  
.....

Manabu Watanabe 2013/10/20-25 Correlations between forest biomass and full polarimetric parameters derived from Pi-SAR-L2 data for a site in Riau, Indonesia BPPT.Lapan,etc  
.....

平形麻紀/沖理子/Michael Eisinger 2013/11/6 Project update from JAXA: EarthCARE and GCOM-C 5th working group meeting Recent Progress in Aerosol Observability for Global Modeling International Cooperative for Aerosol Prediction  
.....

村上浩 2013/11/6 Project update from JAXA: GCOM-C1/SGLI International Cooperative for Aerosol Prediction (ICAP) ICAP 2013 Tsukuba Working group meeting  
.....

植松明久/秋山恭平/伊藤徳政/JAXA COMPIRAチーム 2013/11/12 日本の海面高度計ミッション(COMPIRA)について(Japanese Altimetry Mission, COMPIRA) ILRS(国際レーザ測距事業) 18th International Workshop on Laser Ranging

堀雅裕/杉浦幸之助/青木輝夫/谷川朋範/朽木勝幸/庭野匡思/榎本浩之 2013/11/12 衛星観測による環北極域の積雪・曇天率分布の解析と今後の計画 (Satellite observations of the recent Arctic snow and cloud covers and future plan) 国立極地研究所 極域科学シンポジウム実行委員会 第4回極域科学シンポジウム

高野忠/前田崇 2013/11/13 岩石破壊による電波発生現象とリモートセンシングによる地表温度異常の検出、およびそれらの自然災害低減への応用 電気学会「自然災害の予測と監視のための電磁界技術」講習会

塩見慶/久世暁彦/須藤洋志/川上修司/中島正勝 2013/11/15 GOSATの成果と後継ミッションへの展望 計測自動制御学会計測部門・リモートセンシング部会 第39回リモートセンシングシンポジウム

堀雅裕/杉浦幸之助/青木輝夫/谷川朋範/朽木勝幸/庭野匡思/榎本浩之 2013/11/19 衛星データに基づいた近年の北極域積雪・曇天率分布の変動傾向 日本気象学会 日本気象学会2013年度秋季大会

奥山新/村上浩 2013/11/21 可視赤外線イメージャの $0.47\mu\text{m}$ ・ $0.86\mu\text{m}$ 帯を用いた強い降水域の抽出 日本気象学会 日本気象学会2013年度秋季大会

平形麻紀/岡本創/萩原雄一朗/吉田良/早坂忠裕/野牧知之/沖理子 2013/11/21 TRMMデータの利用によるCloud Sat降水識別の改良 日本気象学会 日本気象学会2013年度秋季大会

福田悟/竹中栄晶/中島映至 2013/11/21 EarthCAREのMSI単体エアロゾルプロダクト・アルゴリズムについて 日本気象学会 日本気象学会2013年度秋季大会

渡邊学 2013/11/21-22 地上設置・携帯型Cバンドレーダによる、地表面誘電率の計測 日本リモートセンシング学会

本岡毅、島田政信 2013/11/22 ALOS PALSARコヒーレンス時系列解析による森林減少検出の精度向上

小司禎教 2013/12/3 極地豪雨直前探知へのGPS/GNSS視線遅延量の利用 (The Use of GPS/GNSS Slant Delay for Early Detection of Local Severe Thunderstorms) Growing NAVIS, Hanoi University of Science and Technology, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), Satellite Positioning Research and Application Center, QZS System Services Inc. The 5th Asia Oceania regional Workshop on GNSS

村上浩 2013/12/3 Status of GCOM-C1 science project Asian Workshop on Ocean Color Asian Workshop on Ocean Color2013

山口寿史/村上浩/宮村和良 2013/12/4 In situ observation of harmful dinoflagellate bloom in the eastern coast of Kyushu, Japan Asian Workshop on Ocean Color2013

Rajesh Bahadur Thapa, Takeshi Motohka, Masanobu Shimada 2013/12/9 JAXA's activity about REDD+ ICIMOD(International Centre for Integrated Mountain Development) International Expert Group Meeting on Geospatial Information Systems for Multi scale Forest Biomass Assessment and Monitoring in the Hindu Kush-Himalayan Region

Hiroshi Suto/Akihiko Kuze/Kei Shiomi/Masakatsu Nakajima 2013/12/9 Space-based Carbon Monitoring by GOSAT and GOSAT-2: Lessons and Learned from GOSAT in-orbit operation and towards better accuracy of XC02 observation American Geophysical Union AGU Fall Meeting 2013

Kei Shiomi/Shuji Kawakami/Akihiko Kuze/Hiroshi Suto/Taichiro Hashiguchi/Fumie Kataoka/Riko Higuchi/Carol Bruegge/Florian M. Schwandner 2013/12/10 On-orbit lunar calibration compared with vicarious calibration for GOSAT American Geophysical Union AGU Fall Meeting 2013

Shuji Kawakami/Hirofumi Ohyama\*1/Kei Shiomi/Akihiko Kuze/Takuya Fukamachi/Kohei Arai/Hiroshi Okumura 2013/12/10 The total column of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> with a grating-based desktop optical spectrum analyzer at Railroad Valley, Nevada, USA American Geophysical Union AGU Fall Meeting 2013

福田徹 2014/1/28 宇宙から見た地球環境とJAXAの取り組み 鳥取環境大学 宇宙開発利用大賞受賞記念特別講演会 宇宙から聞く地球環境のメッセージ

塩見慶/川上修司/大山博史/田中智章/中島正勝/中野善之/三輪哲也 2014/2/19 GOSAT データを用いた大気-海洋間の炭素収支推定のための船舶による全球CO<sub>2</sub>濃度観測 海洋研究開発機構 ブルーアースシンポジウム2014

渡邊学 2014/2/25 極域洪水の監視と起源解明のための手法研究(3) 極域洪水研究会

山口寿史/村上浩/宮村和良 2014/2/27 Understanding the inherent optical property of harmful dinoflagellate bloom in the eastern coast of Kyushu, Japan Ocean Sciences Meeting 2013 Ocean Sciences Meeting

福田徹 2014/3/13 地球環境監視-宇宙からの目 日本学術会議北海道地区会議、北海道大学 日本学術会議北海道地区会議講演会「宇宙技術による”夢”の実現」

福田徹 JAXAの動向及びJAXA地球観測シンポジウム「社会の期待に応える地球観測」 日本学術会議北海道地区会議、北海道大学 日本学術会議北海道地区会議講演会「宇宙技術による”夢”の実現」

奥山新 2014/3/26 Inter-calibration of Advanced Microwave Scanning Radiometer2 (AMSR2) Level-1B dataset MicroRad 2014

### 3. その他

村上浩/山口寿史/許永久/清藤真樹/高坂祐樹/吉田達/伊藤良博/蛭名政仁 2013/8/19 陸奥湾における衛星海色時系列作成に向けた検討 日本海洋学会 日本海洋学会2013年H秋季大会

岡本幸三 2013/9/16-20 Assimilation of microwave imagers and precipitation radars in the ensemble-based variational assimilation method (アンサンブルベースの変分法を用いた、マイクロ波イメージャと降水レーダーの同化) EUMETSAT EUMETSAT気象衛星会議

関連略語集	
(1) Institutes & Organizations	(1)機関 & 団体
AIST National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (Japan)	独立行政法人産業技術総合研究所
ASF Alaska Satellite Facility	アラスカ衛星施設
CEOS Committee of Earth Observation Satellites (International)	地球観測衛星委員会
CNES Centre National d'Etudes Spatiales (France)	フランス国立宇宙研究センター
ECMWF European Center for Medium-Range Weather Forecast	ヨーロッパ中期予報センター
EOC Earth Observation Center (JAXA/EORC, Japan)	地球観測センター
EORC Earth Observation Research Center (JAXA, Japan)	地球観測研究センター
ERSDAC Earth Remote Sensing Data Analysis Center (Japan)	財団法人資源・環境観測解析センター
ESA European Space Agency	欧州宇宙機関
ESRIN European Space Research Institute	欧州宇宙研究所
GA Geoscience Australia	オーストラリア地球科学局
GEO Group on Earth Observation	政府間地球観測作業部会
GISTDA Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Thailand)	タイ地理情報宇宙開発機構
GPCC WMO's Global Precipitation Climatology Center (International, in Germany)	全球降水気候センター
GSFC Goddard Space Flight Center (NASA, USA)	ゴダード宇宙飛行センター
GSI Geographical Survey Institute (Japan)	国土地理院
GSJ Geological Survey of Japan (AIST, Japan)	地質調査総合センター
HEEIC Hiroshima Earth Environmental Information Center (Hiroshima, Japan)	広島地球環境情報センター
IARC International Arctic Research Center (at University of Alaska Fairbanks, USA)	国際北極圏研究センター
INPA Brazilian National Institute of the Amazon	国立アマゾン研究所
IGOS Integrated Global Observing Strategy	統合地球観測戦略
INPE Brazilian National Institute for Space Research	ブラジル国立宇宙研究所
IOCCG International Ocean Color Coordinating Group (International)	国際海色研究グループ
JAFIC Japan Fisheries Information Service Center	社団法人漁業情報センター
JAMSTEC Japan Marine Science and Technology Center	独立行政法人海洋研究開発機構
JAROS Japan Resources Observation System Organization	財団法人資源探査用観測システム研究開発機構
JAXA Japan Aerospace Exploration Agency	独立行政法人宇宙航空研究開発機構
JCG Japan Coast Guard	日本沿岸警備隊
JHD Hydrographic Department of Japan	海上保安庁海洋情報部
JICA Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
JMA Japan Meteorological Agency	気象庁
JPL Jet Propulsion Laboratory (NASA, USA)	米国ジェット推進研究所
JRC Joint Research Center of European Commission	欧州委員会共同研究センター



JWA Japan Weather Association	財団法人日本気象協会
LAPAN National Institute of Aeronautics and Space of Indonesia	インドネシア国立航空宇宙研究所
LIPAP Lanzhou Institute of Plateau Atmospheric Physics (China)	中国科学院大气物理研究所中科院
MAFF Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (Japan)	農林水産省
METI Ministry of Economy, Trade and Industry (Japan)	経済産業省
MEXT Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (Japan)	文部科学省
MOE Ministry of Environment (Japan)	環境省
MRI Meteorological Research Institute (JMA, Japan)	気象庁気象研究所
MSFC Marshall Space Flight Center (NASA, USA)	マーシャル宇宙飛行センター
MWR Ministry of Water Resources (India)	インド水資源省
NASA National Aeronautics and Space Administration (NASA, USA)	アメリカ航空宇宙局
NASDA National Space Development Agency of Japan	宇宙開発事業団(現JAXA)
NCEP National Center for Environmental Prediction (NOAA/NWS, USA)	国立環境予測センター
NIAES National Institute of Agro-Environmental Sciences (Japan)	農業環境科学研究所
NICT National Institute of Information and Communications Technology (Japan)	独立行政法人情報通信研究機構
NIED National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (Japan)	防災科学技術研究所
NIES National Institute for Environmental Studies (Japan)	独立行政法人国立環境研究所
NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration (DOC, USA)	アメリカ海洋大気庁
NWS National Weather Service (NOAA, USA)	国立測候所
PWRI Public Works Research Institute (Japan)	土木研究所
RAL Rutherford Appleton Laboratory (UK)	ラザフォードアップルトン研究所
RESTEC Remote Sensing Technology Center (Japan)	財団法人リモート・センシング技術センター
SAC Space Activity Commission (Japan)	宇宙開発委員会
SAPC Satellite Applications and Promotion Center (JAXA, Japan)	衛星アプリケーション推進センター
SSC Swedish Space Corporation	スウェーデン宇宙公社
TKSC Tsukuba Space Center (JAXA, Japan)	筑波宇宙センター
TMD Meteorological Department of Thailand	タイ気象局
UCSB University of California, Santa Barbara (USA)	カリフォルニア大学サンタバーバラ校
UKMO UK Met Office	イギリス気象局
WMO UN's World Meteorological Organization (International, in Switzerland)	世界気象機関
(2) Projects	(2)プロジェクト
CEOP Coordinated Enhanced Observing Period	統合地球水循環強化観測計画
GAME GEWEX Asian Monsoon Experiment	GEWEXアジアモンスーン実験計画
GBFM Global Boreal Forest Mapping Project	寒帯林マッピングプロジェクト

GCMAPS Global Carbon Cycle and Related Mapping based on Satellite Imagery Program	炭素循環に関するグローバルマッピングとその高度化に関する国際共同研究
GEWEX Global Energy and Water Cycle Experiment	全球エネルギー・水循環観測計画
GOIN Global Observing Information Network	地球観測情報ネットワーク
GFM Global Rain Forest Mapping Project	全球熱帯雨林マッピングプロジェクト
PEACE Pacific Exploration of Asian Continental Emission	アジア大陸からの大気物質放出に関する太平洋域探査プロジェクト
SPF Stratospheric Platform	成層圏プラットフォーム
WCRP World Climate Research Program	世界気候研究計画
WOCE World Ocean Circulation Experiment	世界海洋循環実験
(3) Satellites and spacecraft	(3) 人工衛星と宇宙船
ADEOS Advanced Earth-Observing Satellite (“Midori”, Japan)	地球観測プラットフォーム技術衛星「みどり」
ADEOS-II Advanced Earth-Observing Satellite-II (“Midori-2”, Japan)	地球観測技術衛星「みどりⅡ」
ALOS Advanced Land-Observing Satellite (“Daichi”, Japan)	陸域観測技術衛星
Aqua Earth-Observing System PM-1 (USA)	アクア衛星
DMSP Defense Meteorological Satellite Program (USA)	軍事気象衛星プログラム
DRTS Data Relay Test Satellite (“Kodama”, Japan)	データ中継技術衛星「こだま」
ENVISAT Environment Satellite (Europe)	ESA環境観測衛星「エンビサット」
ERS-1,2 ESA Remote Sensing Satellite-1, 2	ヨーロッパリモートセンシング衛星-1,2
GCOM Global Change Observation Mission	地球環境変動観測ミッション
GOSAT Greenhouse Gases Observing Satellite (“Ibuki”, Japan)	温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」
GPM Global Precipitation Measurement	全球降水観測計画
GOES Geostationary Operational Environmental Satellite (USA)	静止実用環境衛星
ISS International Space Station	国際宇宙ステーション
JEM Japanese Experiment Module (in ISS, “Kibo”)	日本実験棟「きぼう」
JERS-1 Japanese Earth Resources Satellite-1 (Fuyo-1)	地球資源衛星1号「ふよう1号」
LANDSAT Land Remote Sensing Satellite (USA)	ランドサット衛星
MOS Marine Observation Satellite	海洋観測衛星
NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration (USA)	アメリカ海洋大気庁
SPOT Satellite Pour d’ Observation de la Terre (France)	スポット衛星(仏国)
Terra Earth Observing System AM-1 (USA)	地球観測システムAM1
TRMM Tropical Rainfall Measuring Mission (USA)	熱帯降雨観測衛星
(4) Instruments	センサ
AMSR Advanced Microwave Scanning Radiometer ( in ADEOS-II)	高性能マイクロ波放射計
AMSR-E Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS (in Aqua)	改良型高性能マイクロ波放射計
AVHRR Advanced Very-High-Resolution Radiometer (NOAA)	改良型超高分解能可視赤外放射計

AVNIR Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer (in ADEOS)	高性能可視赤外放射計
AVINIR-2 Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer-2 (in ALOS)	高性能可視赤外放射計2型
CERES Clouds and the Earth's Radiant Energy System (in EO-1, TRMM, Terra, Aqua)	雲及び地球放射エネルギー観測装置
DPR Dual-frequency Precipitation Radar (in GPM)	二周波降水レーダ
GLI Global Imager (in ADEOS-II)	多波長光学放射計
GMI GPM Microwave Imager (in GPM)	GPMマイクロ波イメージャ
ILAS Improved Limb Atmospheric Spectrometer (in ADEOS)	改良型大気周縁赤外分光計
ILAS-II Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II (in ADEOS-II)	改良型大気周縁赤外分光計-II
IMG Interferometric Monitor for Greenhouse gases (in ADEOS)	温室効果気体センサ
LIS Lightning Imaging Sensor (in TRMM)	雷観測装置
MODIS Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (in Terra, Aqua)	中分解能画像スペクトロメータ
MSS Multi-Spectral Scanner (in LANDSAT)	マルチスペクトル走査放射計
OCTS Ocean Color and Temperature Scanner (in ADEOS)	海色海温走査放射計
OPS Optical Sensor (in JERS-1)	光学センサ
PALSAR Phased-Array L-band Synthetic-Aperture Radar (in ALOS)	フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダー
Pi-SAR Polarimetric Interferometric Synthetic-Aperture Radar	航空機搭載合成開口レーダ
POLDER Polarization and Directionality of the Earth's Reflectances (in ADEOS-II)	表面反射偏光計
PR Precipitation Radar (in TRMM)	降雨レーダ
SAR Synthetic-Aperture Radar (in JERS-1 etc.)	合成開口レーダ
SeaWiFS Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (in Orb View-2, SeaStar)	海洋観察広視野センサ
SMMR Scanning Multispectral Microwave Radiometer (in Nimbus-7)	走査型多周波マイクロ波放射計
SMILES Superconducting Submillimeter-wave Limb Emission Sounder (in ISS/JEM)	超伝導サブミリ波リム放射サウンダ
SSM/I Special Sensor Microwave/Imager (in DMSP)	機械走査型マイクロ波放射映像センサー
SWIR Short-Wave Infrared Radiometer (in JERS-1/OPS)	短波長赤外
TMI TRMM Microwave Imager (in TRMM)	TRMMマイクロ波イメージャ
VIRS Visible Infrared Scanner (in TRMM)	可視赤外イメージャ・放射計
VNIR Visible and Near-Infrared Radiometer (JERS-1/OPS)	可視近赤外放射計
(5) Computers and information	(5) コンピュータと情報
DCW Digital Chart of the World	世界のデジタルチャート
DEM Digital Elevation Model	デジタル標高モデル
DSM Digital Surface Model	数値地表モデル
DTM Digital Terrain Model	デジタル地形モデル

EOIS Earth-Observation Information System	地球観測情報システム
EOSDIS Earth-Observation Satellite Data Information System	地球観測システムデータ・情報システム
GIS Geographic Information System	地理情報システム
GMT Generic Mapping Tool	汎用地図作成ツール
HDF Hierarchical Data Format	階層データ・フォーマット
ISS Information-Service System	情報サービスシステム
(6) Conferences and Meetings	(6)会議とミーティング
APRSAF Asia-Pacific Regional Space Agency Forum	アジア太平洋地域宇宙機関会議
IAGA International Association of Geomagnetism and Aeronomy	国際地球電磁気・超高層物理学協会
IGARSS International Geosciences And Remote Sensing Symposium	国際地球科学およびリモートセンシングシンポジウム
JPTM Joint Project Team Meeting (of Sentinel Asia)	センチネルアジア(SA)共同プロジェクトチーム会合
PIERS Progress In Electromagnetics Research Symposium	電磁波工学研究の進歩に関する国際会議
SPIE International Society for Photo-optical Instrumentation Engineers	国際光工学会
(7) Others	(7) その他
DAS Data-Analysis System	データ解析研究系システム
DCS Data-Collection System	データ収集システム
DT Direct Transmission (system)	直接伝送系
GCM General Circulation Model	大気大循環モデル
GCP Ground Control Point	地上基準点
MDR Mission Data Recorder	ミッション記録装置
MOU Memorandum of Understanding	覚書
RA Research Announcement	研究公募
SST Sea-Surface Temperature	海面水温



本印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針の判断基準を満たす紙を使用しています。  
印刷はVOC(揮発性有機化合物)が少ない植物性大豆油インキを使用しています。

This document is provided by JAXA.