

空へ挑み、宇宙を拓く



ISSN 1349-113X
JAXA-SP-13-004

宇宙航空研究開発機構特別資料

EORC

2012年度
地球観測研究センター一年報

Annual Report 2012 No.16

地球観測研究センター

Earth Observation Research Center (EORC)

宇宙航空研究開発機構特別資料

JAXA Special Publication

2012年度 地球観測研究センター年報

Annual Report 2012 No.16

地球観測研究センター

Earth Observation Research Center (EORC)

2014年2月

February 2014

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

3.6	GPM/DPR L2 アルゴリズム開発と GPM/ 全球降水マップアルゴリズムの開発	木田智史	52
3.7	DPR L1B アルゴリズム開発	正木岳志	55
3.8	GPM/DPR プロダクト精度向上に向けた地上検証の実施	金子有紀 / 古川欣司	57
3.9	全球降水マップアルゴリズム、および、AMSR2 高次アルゴリズムの開発	可知美佐子	59
4.	GCOM 利用研究.....		61
4.1	GCOM 利用研究の成果概要	今岡啓治	62
4.2	GCOM-W1/AMSR2 L1B プロダクトの輝度温度評価	奥山 新	66
4.3	マイクロ波放射計によるグリーンランド氷床の輝度温度観測	直木和弘	69
4.4	GCOM-C1 アルゴリズム開発と利用研究	村上 浩	72
4.5	SGLI/TIR バンドを用いた雪氷面射出率推定手法の開発	堀 雅裕	74
4.6	GCOM-W1 AMSR2 L1R プロダクトの検証	前田 崇	76
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 高次雪氷プロダクトの評価およびグリーンランド氷床における積雪物理量の長期変動	谷川朋範	81
4.9	GCOM-C/SGLI 大気特性アルゴリズムの検証	Jules R. Dim.....	84
4.10	GCOM-C1 陸域プロダクトの開発	小野祐作	86
5.	センサ研究の概要.....		89
5.1	センサ研究の成果概要		
	佐藤亮太、今井正、片山晴善、内藤聖貴、植松明久、原田昌朋、中村良子、加藤恵理、室岡純平、 矢島由貴江、久世暁彦、須藤洋志、丹下義夫		90
6.	将来の利用推進ミッションの研究 (共通).....		117
	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		
	－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－		
		児玉哲哉	118
	地球観測衛星データの農業・食料安全保障分野への利用	大吉 慶	120
2012 年	EORC 研究成果発表.....		126
	関連略語集.....		139

はじめに

技術参与 中村健治

JAXA の地球観測では、GCOM-W1 が無事に打ちあがり、搭載されている AMSR2 の性能確認が進み、データ提供が目前にまで来ました。AMSR、AMSR-E が高性能のマイクロ波放射計として地球観測に大きな寄与をなしており、その後継として AMSR2 があることは、これまでの JAXA の実績をさらに発展させるものとして大きな意義があります。GOSAT は国立環境研との共同で世界に先駆けて全球の温室効果ガスの分布を出すなどの成果を挙げています。TRMM は 15 年以上にわたり運用されており、TRMM 搭載の降雨レーダも順調な観測を続けています。15 年以上にわたる同じ質の観測データは所期の目的を越えて降水の気候的特性の把握に大きな寄与をなしています。その後継となる GPM も、米国 NASA との緊密な協力の下で、2014 年内の打ち上げを目指し順調に進んでいます。雲を目標とした EarthCARE は、ESA との協力のもとで進められており、地表面観測では、ALOS は昨年度運用を停止しましたが、その後継の ALOS-2 の開発が進んでいます。GCOM シリーズでは C1 の開発も進んでいます。さらには、植生ライダーなどの将来センサーの検討・開発もなされています。

アルゴリズム開発、L1 に始まるデータの生産と提供、またその基礎となる地上検証等は衛星データ開発の推進母体として EORC の本来ミッションであり、それぞれの衛星ミッションで継続して行われ、それぞれのデータの version up が行われています。また EORC では各衛星ミッションを横につなぐプロジェクトとしていわゆる「横軸プロジェクト」も進んでいます。米国 NASA は大きな研究所を抱え、科学的研究も大々的に進められていますが、EORC は科学的研究を大きく進めるまでの規模を持っていません。「横軸プロジェクト」では外部の研究者をリーダーとした活動であり、EORC における科学的研究のやり方の一つの方向を示すものでしょう。

地球観測では新規の観測による新しいデータの取得とともに、気候問題が大きくなっている現在、継続性が不可欠となっています。両者をつなぐには、センサの継続ではなく「観測物理量の継続」を基本として、新たなセンサの開発を進める必要があります。宇宙用センサは新規性を求めると同時に、確実性を求められます。前者では最先端技術を、後者では保守的な技術の採用が必要となり、矛盾する状況があります。これに対処するにはそれまでの開発実績が非常に重要となります。それぞれの衛星計画がこれまでの実績をもとにしていることは堅実なことと評価できます。

国家財政が厳しい中で、現在、衛星地球観測をとりまく環境は厳しいものがあります。EORC の所掌する衛星ミッションは、純科学的な面と実利用の両面を持っています。JAXA の資金のほとんどは文部科学省から来ていることもあり、学術の発展に寄与することは第一義的に重要ですが、同時に実利用も大きな目的となっています。これは科学的成果のアウトリーチ活動というよりも、データ利用の本体の一部となっています。その一方、このことがミッションの目的を若干あいまいにしまい、予算獲得に明確さを削ぐ結果となっている面があります。純科学的な目的と実利用の両面の意義を外部に説明する際に工夫が必要なところです。

衛星地球観測をとりまく厳しい状況を打破するには、利用コミュニティの拡大に努力するとともに、より開かれた EORC を目指す必要があります。科学的目的と実利用目的の両面を持つ地球観測

衛星計画の決定プロセスは、現状では必ずしも明瞭なものではない面があり、これは改善する必要があるでしょう。

我が国の衛星計画はその確実性、新規性、データの信頼性の高さ、安定性は世界に誇れるものです。そしてそれによる科学的・実利用的成果は我が国が他国から尊敬を得る大きな手段となります。今後とも、新しい科学的成果を挙げ、また人間社会のインフラを充実させるべく、EORC の活動を発展させる必要があります。そのためには内部改組などをも含めて、柔軟な対処が常に求められるところです。

2012 年 EORC 活動の概要

福田 徹

本年報では、EORC の 2012 年度の成果をまとめているが、2012 年度は JAXA の第 2 期中期計画期間が終了する年度でもあるので、この期間中に EORC が達成したことをまとめてみたい。

まず、地球観測衛星センサのデータと高次プロダクトの校正検証作業によるプロジェクトへの貢献がある。

ALOS では PRISM、AVNIR-2、PALSAR の幾何学的精度とラジオメトリック精度の目標を達成し、ALOS データの利用が世界的に広がる基盤を作った。GOSAT では TANSO、CAI のレベル 1 データの品質向上に注力し、環境研と協力してミッションサクセスの達成に貢献した。TRMM/PR、AMSR-E についても処理アルゴリズムの継続的バージョンアップに努めた。これらは、まさに全 EORC 活動を支える根本の業務であると考ええる。

また、継続的に取り組んだ校正検証とデータ／プロダクトの品質向上により、降雨レーダ (TRMM/PR)、マイクロ波放射計 (AMSR-E → GCOM-W)、Lバンド SAR (JERS-1 → ALOS)、GOSAT で、世界に信頼される長期データセットを生み出すことができた。

5 年の間に ALOS 衛星と AMSR-E の定常観測機能を失うことになったが、TRMM、GOSAT も含め、いずれも後継計画が動いている。ともすれば単発の研究開発衛星であった我が国の地球観測衛星に初めて「シリーズ」という概念が確立されたことは画期的であり、EORC の活動もそれに大きな貢献をなしたと考える。

さらに、この 5 年の間には東日本大震災時の緊急解析、JASMES や海氷、日射量プロダクト、GSMaP、PALSAR 全球モザイク、森林非森林分類図などの独自のプロダクトを生み出し、発信することができた。横軸研究では防災、水循環、生態系、モデル連携においてユニークな成果を得た。これらにより地球観測衛星データの利用の可能性を切り拓くことができたと考える。

一方、センサ研究では、小型赤外カメラのようにプロジェクト化されたセンサを生み出すとともに、干渉型高度計などの次世代プロジェクト候補となる研究が進展した。

これらの成果は、地球観測コミュニティの多大なご協力と EORC の全研究員、開発員、招聘研究者、事務職、サポートコントラクターの不断の努力によって得られたものであり、センター長として各位に深く感謝したい。

しかしながら、2013 年 1 月に決定された新たな宇宙基本計画では、社会に成果を還元することがより強く求められている。次の中期計画 = 5 年間に向けて EORC も基本は守りつつも変わっていかなければならない。そのためには、これまで以上に学術コミュニティ及び利用コミュニティと密接に連携する「開かれた EORC」を目指すことが必要であると考えている。なぜなら、衛星リモートセンシングとデータ処理という技術をもとに、学術と利用の結節点に立てる組織は EORC 以外にないと確信するからである。

1. ALOS 利用研究

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 24 年度版）

島田政信

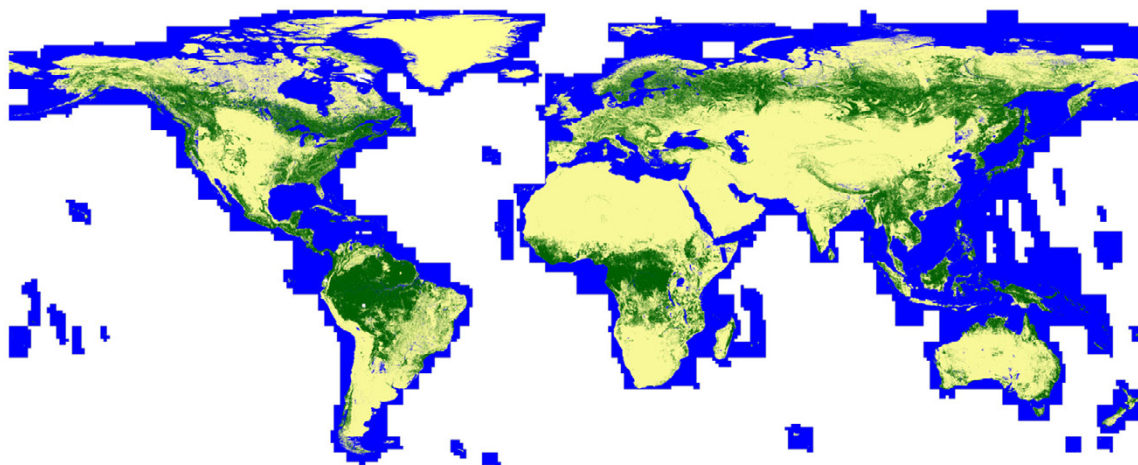
ALOS-2 の打ち上げを次年度に控え、ALOS Gr の 2012 年度の目標は以下のように設定された（基本的には 2011 年度の目標と同等）。

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 ALOS-3 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。

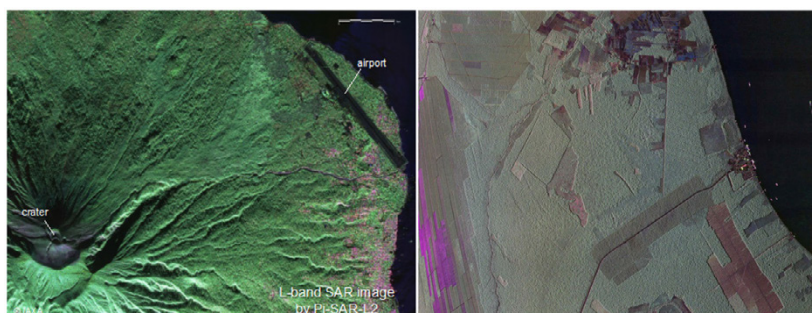
以下で成果を概括する。

- 1) 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 379 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 に対するニーズに対応するために、PRISM DSM の全自動作成機能の開発に取り組んだ。
- 3) 2012 年の災害観測の頻度は前年度に比較して少なかった。唯一の例は、2012 年 7 月に発生した九州熊本地方の洪水である。Pi-SAR-L2, CSK, TSX 等を投入して被害の監視に活用した。ただ、ALOS-2 への災害監視に関連して、Pi-SAR-L2 を用いた感度解析を実施した。日本を含め世界的に多発する、降雨に関する災害である。例えば、冠水域や土砂災害域の抽出が緊急課題であり、これらの抽出に最適な手法の研究を実施した（している）。例えば、冠水域に関しては近接した 2 時期の SAR 画像とそれらの干渉性の組み合わせ、あるいは、差分干渉位相のフィルタリング法を用いたものが効果的なこと、土砂災害域の抽出には HH-VV 相関係数が効果的なことが明確となり、ALOS-2 の運用にポラリメトリとインターフェロメトリを組み合わせた運用が考慮されることとなった。
- 4) 全球森林非森林マップの高精度化を実施した。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て決定し、90% 以上の精度を有する森林非森林マップを作成出来た。

- 5) REDD+ クレジット取得に関するメカニズム研究については、他機関の情報を収集中である。関連して、DEAM への MRV トレーニングに関する打ち合わせを実施。
- 6) インドネシアをターゲットとした MRV 構築を目的とした活動を継続中である。特にインドネシアに関しては、リアウ州を対象として、地上データ取得（バイオマス、樹高分布）を目的としたプロジェクトを実施し、LULUCF と現地バイオマス情報を組み合わせ、リアウ州のバイオマス量を推定した。これにより、JAXA/MRV の第一版が出来上がった。



再校正された FNF 成果物（精度は 90% を超える）



インドネシアキャンペーンで得られたガマラマ火山とリアウ州の森林画像

1.2 高分解能衛星データの校正検証およびデータ利用の高度化に関する研究

田殿武雄

1. 目的

ユーザが衛星データを利用する際、重要な情報の一つがプロダクトの精度や品質であり、これらがニーズを満足できるものでなければ定常的なデータ利用につながらない。標準プロダクトの精度や品質を向上させることは重要な責務であるとともに、衛星・センサのハードウェア特性を理解した上で成果を示すことが、潜在的なユーザ開拓や後継ミッションの立上げ・要求スペックへのフィードバックが可能となる。本研究は、主に ALOS PRISM/AVNIR-2 および ALOS-3(仮称)を対象として、精度向上のための校正と、実利用や応用研究を想定した高次プロダクトの作成・検証に関わる研究を実施する。

2. 実施内容と成果概要

2-1. ALOS PRISM/AVNIR-2 校正および PRISM 数値地表モデル (DSM) の高精度化

ALOS 全定常運用期間に渡る PRISM, AVNIR-2 標準プロダクトの再評価を行い校正結果をまとめた^{1,2)}。この結果、特に幾何絶対精度に関して PRISM 直下視は 6.1m(RMSE) /9.4m(CE90)、AVNIR-2(ポインティング角 0 度)は 21.9m(RMSE)/37.7m(CE90)、輝度絶対精度はそれぞれ 4.8% を有していることを確認した。

高次成果物の高度化に関する研究として、PRISM/DSM の広域整備に関する検討を実施した³⁻⁵⁾。これは、これまで処理したシーン単位 DSM を面的に広げるだけでなく、スタッキング処理により雲・積雪域の減少や DSM に現れるノイズ低減の効果が期待される。これまで EORC で処理した約 3,000 枚のシーン単位 DSM を用いて、日本域の広域 DSM 処理を行った。前述の通り、PRISM は約 10m(0.3arcsec) 解像度 DSM の整備には十分な幾何精度を有していることから、基本的には各画素における複数観測から算出された高さの平均値を求めた。日本全国の地上基準点約 3,100 点を検証点として高さ精度を評価したところ -0.9m(平均), 2.9m(RMSE) を有していることを確認した。

2-2. PRISM/DSM を用いた応用研究

PRISM/DSM を用いた応用研究として、①氷河・氷河湖モニタリング、②森林樹高推定を行った。①は 2008-2011 年度 JST/JICA 受託研究として実施したブータン・ヒマラヤにおける氷河湖⁶⁻⁹⁾、および 2012-2013 年度 JICA 科学技術研究員派遣として実施中のアルゼンチン・アンデス氷河のモニタリングである。いずれも、PRISM オルソ補正画像 / DSM から氷河・氷河湖の現状把握を行うとともに、これらを位置の基準として過去の衛星データの補正を行い、1970 年代からの時系列変化を高精度に捉えようとするものである。得られる成果は現在直面している災害や水資源だけでなく、地球科学の観点からも期待される。

②は PRISM/DSM と SAR 干渉処理による数値地形モデル (DTM) の差分から数値樹幹高さモデル (DCHM) を推定しようとするものである¹⁰⁻¹¹⁾。今後、更なる検討を実施する。

2-3. 多時期マルチスペクトル画像を用いた自動変化抽出・土地被覆分類に関する検討

衛星データを用いた災害状況把握には、ALOS での反省点も踏まえロバストな自動変化抽出手法の開発が不可欠であり、変化を正確に捉えるには地物の判読、すなわち土地被覆分類の高精度化を進める必要がある¹²⁻¹⁵⁾。そこで AVNIR-2 など中分解能マルチスペクトル画像を想定し、機械学習による地物判読手法の開発を進めている。本手法は定義記述にオントロジーを導入し、ベイジアンネットワークによる確率推論によって画像(地表面反射率)からターゲットとする地物の確率画像を生成する。今後更なる検証と改良を行い、実利用へとつなげていく。

2-4. ALOS-3/PRISM-2(仮称)シミュレーションデータの作成

PRISM 後継センサとして想定される PRISM-2(仮称)の観測条件を模擬したシミュレーション画像を作成した。本シミュレーションでは、航空機ラインスキャナ(ADS40)画像を入力とし、幾何関連としてポインティング角および B/H、輝度関連として量子化ビット数(11, 12bit)、MTF, SNR, JPEG 2000 圧縮および各条件における DSM 精度検証を実施した。

3. 平成 24 年度外部発表リスト(共著, 投稿中, 受賞 1 件を含む)

- 1) 田殿武雄, 島田政信, 高久淳一, 高橋陪夫, 「だいち」(ALOS) 搭載 PRISM/AVNIR-2 の幾何校正の最新結果, 日本リモートセンシング学会第 52 回学術講演会論文集, pp.79-80, 東京大学生産技術研究所, 2012.
- 2) T. Tadono, M. Shimada, H. Murakami, and J. Takaku, Update Calibration Results of PRISM and AVNIR-2 Onboard ALOS 'DAICHI', IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2012, pp.5029-5032, Munich, Germany, 2012.
- 3) T. Tadono, J. Takaku, and M. Shimada, Validation Study on ALOS PRISM DSM Mosaic and ASTER GDEM 2. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Vol. I-4, pp.193-198, 2012. (原著論文・査読あり)
- 4) J. Takaku and T. Tadono, High Resolution DSM Generation from ALOS PRISM -Mosaic Dataset-, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2012, pp.2687-2690, Munich, Germany, 2012.
- 5) 高久淳一, 田殿武雄, PRISM DSM モザイクの作成とその評価, 日本リモートセンシング学会誌, 第 33 巻第 2 号, pp.126-136, 2013. (原著論文・査読あり)
- 6) K. Fujita, K. Nishimura, J. Komori, S. Iwata, J. Ukita, T. Tadono, and T. Koike, Outline of Research Project on Glacial Lake Outburst Floods in the Bhutan Himalayas, Global Environmental Research, Vol.16, No.1, pp.3-12, 2012. (原著論文・査読あり)
- 7) T. Tadono, S. Kawamoto, C. Narama, T. Yamanokuchi, J. Ukita, N. Tomiyama, and H. Yabuki, Development and Validation of New Glacial Lake Inventory in the Bhutan Himalayas Using ALOS 'DAICHI'. Global Environmental Research, Vol.16, No.1, pp.31-40, 2012. (原著論文・査読あり)
- 8) 奈良間千之, 田殿武雄, 池田菜穂, Sonam Gyalsen, 西ヒマラヤ, ラダーク山脈の氷河湖研究, ヒ

- マラヤ学誌, No.13, pp.166-179, 2012. (原著論文・査読あり)
- 9) 田殿武雄, 浮田甚郎, 奈良間千之, 山之口勤, 富山信弘, ブータンヒマラヤにおける高解像度氷河湖インベントリの作成, 日本リモートセンシング学会第 52 回学術講演会論文集, pp.251-252, 東京大学生産技術研究所, 2012.
 - 10) T. Tadono, M.L. Williams, and S. Hensley, Comparison of Stereo-Optical and Dual-Band InSAR DEMs in Papua New Guinea, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2012, pp.3158-3161, Munich, Germany, 2012.
 - 11) 新納望, 村松加奈子, 田殿武雄, 古海忍, 曾山典子, 醍醐元正, 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: 吉野郡スギ・ヒノキ林による検証に基づいて, 日本リモートセンシング学会, 第 33 巻第 4 号, pp.308-318, 2013. (原著論文・査読あり)
 - 12) 橋本秀太郎, 田殿武雄, 小野里雅彦, 堀雅裕: オントロジーに基づく知識情報処理による衛星データからの変化抽出の自動化に関する研究, 日本リモートセンシング学会誌, pp.13-26, Vol.33, No.1, 2013. (原著論文・査読あり)
 - 13) S. Hashimoto, T. Tadono, M. Onosato, M. Hori, and T. Moriyama, Probabilistic Land Cover Classification Approach Toward Knowledge-Based Satellite Data Interpretation, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2012, pp.1513-1516, Munich, Germany, 2012. (Finalist of Student Competition; "Encouragement Award" from IEEE Sapporo Branch).
 - 14) T. Tadono, S. Hashimoto, M. Onosato, and M. Hori, Applications of the Automatic Change Detection for Disaster Monitoring by the Knowledge-Based Framework, Proc. SPIE Asia-Pacific Remote Sensing, 2012, Kyoto, Japan, 2012.
 - 15) 橋本秀太郎, 田殿武雄, 小野里雅彦, 堀雅裕: 生成モデル推定に基づく土地被覆の確率的推論手法の検討, 日本リモートセンシング学会第 53 回学術講演会, 広島大学東広島キャンパス, 2012.

1.3 PALSAR の多偏波干渉 SAR データ解析、および高分解能 SAR データ解析の研究 大木真人

1. 背景と目的

陸域観測技術衛星 ALOS は主要ミッション機器として光学センサ PRISM、ANIVR-2 と L バンド合成開口レーダ PALSAR を搭載した。合成開口レーダ (SAR) は、光学センサと比べ天候や昼夜の影響を受けにくいいためデータ取得頻度が高いが、従来の単偏波 SAR 画像では得られる情報量が少なく、基本的な土地被覆の判別も困難であった。一方、PALSAR は、ポラリメトリ (PolSAR; 四偏波) データが取得可能な世界初の衛星用 SAR であり、より高度な情報が得られる。また、複数の PolSAR データの干渉処理で得られるポラリメトリック・インターフェロメトリ (PolInSAR) データは、干渉性の情報も持つためさらに多くの情報が得られる。PALSAR の PolInSAR データの解析事例は少ないが、筆者のこれまでの研究で、PALSAR の PolInSAR データを用いた土地被覆分類では、PolSAR データのみを用いた場合と比べ高精度での分類が可能だった [1]。

土地被覆分類は衛星による陸域観測データの重要なアウトプットの 1 つであり、GEO タスク会合の報告では、地球観測衛星で取得すべき地球科学パラメータのうち、重要度で土地被覆が第 5 位 (陸域パラメータ中では第 1 位) に位置付けられている。JAXA/EORC でも ALOS の高次プロダクトの 1 つとして高分解能土地被覆分類図を公開しているが、これは主として光学センサ AVNIR-2 の多時期データを用いている。

本研究では、SAR と光学センサの両方を搭載した ALOS の特徴を生かし、PolInSAR データと光学データを複合利用できるアルゴリズムを開発した。またこの応用として① PolInSAR と光学データを複合的に用いた土地被覆分類とその検証、および②観測方向による市街地の偏波特性の変化とその補正手法の検証を行った。

2. 手法と処理

光学データと PolInSAR データを統合するには両者のデータを同じ座標系に合わせる必要があるが、PolInSAR データは位相情報を含む複素画像であり、内挿処理や幾何変換を行うと情報が損なわれる可能性があるため、ここでは光学センサ画像を逆オルソ変換して PolInSAR のレーダ座標系に再投影するアルゴリズムを開発した。

この PolInSAR および光学データを用い、(1) 裸地、(2) 水域、(3) 水田、(4) 畑地 (水田以外の農作地とする)、(5) 草地、(6) 森林、(7) 市街地の 7 カテゴリーの土地被覆分類を行った。ALOS の高分解能土地被覆分類図と同じ定義を用いたが、森林は 1 カテゴリーにまとめるなど一部を簡略化した。分類の手法は、過去の研究で安定した精度が得られたサポートベクタマシン (SVM) による教師付き分類を用いた。分類精度の評価は、真値データを 2 領域に分割し、教師データおよび検証用データとしてこの 2 領域の役割を入れ替えながら検証する交差検定法を用いた。分類精度の指標としては、サンプル数の偏りの影響を受けにくいカッパ係数 κ を用いた。また、どの特徴量が土地被覆の判別に寄与しているのかの知見を得るため、特徴選択 (後進ステップワイズ回帰) 処理を行った。

分類を行うデータは、PolInSAR データとして茨城県西部・千葉県西部をカバーする 2007 年 4 月

2日と同年5月18日の2時期の PALSAR ポラリメトリデータ、および光学データとして同じ地域の2007年5月12日の AVNIR-2 データを使用した。PolInSAR データからは各種ポラリメトリックパラメータやコヒーレンス情報、光学データからはバンド比演算結果（NDVI など）を特徴量として抽出し、分類に使用した。

3. 結果

光学データを SAR データに投影した結果は良好で、位置合わせの精度はおおむね1ピクセル以下（ピクセルスペーシングは地上約60m相当）であった。PolInSAR と光学データを併用した分類は、PolInSAR データのみを用いた場合と比較して精度が向上した（ κ 係数が0.815から0.894に向上）。干渉処理を行わず、単一時期の PolSAR データのみを用いた場合は精度が低いが、この場合も光学データを併用すれば精度が改善する（ κ 係数が0.722から0.815に向上）。また、特徴選択により分類精度への各特徴量の貢献順位を調べると、光学データに由来するバンド4:3（NDVI；植生の抽出などに有効）およびバンド2:4（水域の抽出などに有効）が顕著に分類に貢献しており（貢献順位で1位、3位）、偏波強度（HH偏波が2位）や干渉処理によるコヒーレンス（HH+VV偏波、HV偏波が4位、6位）がそれに続いている。土地被覆別に調べた結果、水域の抽出では光学データのバンド2:4が最も貢献し、市街地の抽出では SAR の HH+VV 偏波のコヒーレンスが最も貢献するなど、光学と SAR それぞれの優位な分野を示す興味深いデータとなった。PolSAR データから得られる成分分解などの特徴量は、市街地においては強い方向依存性があるが、その角度依存性や補正手法の検証も別途行った [2]。

4. まとめ

PolInSAR データと光学データを複合的に利用することにより高精度での土地分類が可能であることが示された。ただ ALOS/PALSAR の PolInSAR データは観測幅や運用計画（軌道間距離など）に制約が大きいため5年間の運用でも全国をカバーできておらず、また分解能にも制限がある（32ルックで地上分解能約60m相当）。後継機 ALOS-2 衛星ではポラリメトリモードの性能や運用性が向上するため、PolInSAR データが広域かつ高分解能で取得できるため、実利用化に結びつくと考えられる。

5. 付章

その他の開発・研究として、主として災害観測をテーマとし、航空機搭載高分解能合成開口レーダ Pi-SAR/L2 データおよび X バンド海外 SAR 衛星データ解析も行った。

ALOS-2 は、ALOS と比べ分解能が向上し、市街地の構造が判読できるなど新たな解析や判読が可能となると考えられる。さらに近年はアジア諸国でも SAR データ利用への関心が高まり、この分野で先んじている日本の役割が期待されている。そこで Pi-SAR/L2 のインドネシア火山（ガマラマおよびクラカタウ）データを用いた土地被覆判読図などを作成して提供し、現地でのワークショップでセミナー講師も担当した。

また、X バンド海外 SAR 衛星の火山データ解析を行い、霧島新燃岳および桜島の降灰域の判読を

行った。観測頻度が重要となるこのような災害観測では、今後も海外機関との連携協定に基づいて海外 SAR 衛星データの提供を受け、解析を行う予定である。

- [1] M. Ohki, M. Shimada: “ALOS PolInSAR data processing for classification and change detection” , IEEE IGARSS 2012.
- [2] S. Chen, M. Ohki, M. Sato, M. Shimada: “Deorientation Effect Investigation for Model-Based Decomposition Over Oriented Built-Up Areas” , IEEE GRSL, Issue 99, pp. 1-5, 2012.

1.4 Pi-SAR-L2 の開発運用と災害・船舶監視に向けた多偏波解析

河野宜幸

1. はじめに

航空機搭載 L 帯合成開口レーダ 2 (Pi-SAR-L2) は 2010 年から開発に着手し、2012 年 4 月から試験運用を開始した。その主な目的は ALOS-2/PALSAR-2 同等の分解能を実現しその性能と有用性を実観測にて実証すること、また将来 SAR 衛星の研究開発を行うこと、などである。本報告では、2012 年度の成果の中から、(1)Pi-SAR-L2 性能の評価、(2) インドネシア観測キャンペーン、及び(3) 災害・船舶監視に向けた多偏波解析の実例に焦点を当てる。

2. Pi-SAR-L2 性能評価

Pi-SAR-L2 では、Pi-SAR-L と比較して「広帯域」「高画質」「高機能」を目指して開発している。

(1) 広帯域化

帯域 85MHz (1215 – 1300 MHz) は、入射角 40 度にてレンジ分解能 3.4m、アジマス分解能 3.7 m(4look) を実現したことが北海道/苫小牧に設置している 3mCR を用いた観測にて示された。なお、この Pi-SAR-L2 の帯域には測位衛星や放送伝送用等、複数の用途が割り当てられており、無線局(実験試験局)の免許取得にむけた調整は困難であったが、ALOS-2/PALSAR-2 の帯域 84MHz (1217.5 – 1299.5 MHz) を完全に含むため、Pi-SAR-L2 の実験試験局免許取得は、PALSAR-2 実験試験局のための露払いにも貢献している。

(2) 高画質化

災害監視や森林植生解析においては、広帯域による高分解能化のみならず高画質化も重要な要素である。Pi-SAR-L2 では、可変長パルスや LNA の工夫などで Pi-SAR-L と比較して約 9dB 低い約 -46dB (帯域 50MHz モード) という低ノイズレベルを実現した。(帯域 85MHz では約 -43dB である。) また、チャープ歪み補正や 8bit/Real サンプリングなどのデジタル技術により、災害監視や森林植生解析において重要な地表面の詳細を捉える高画質化を実現している。

(3) 高機能化

Pi-SAR-L2 では、PALSAR-2 の機能をシミュレートするために (a)Up/Down チャープ、(b) コンパクトポラリメトリの各機能を有し、将来 SAR 衛星の研究開発のために Bistatic 機能も実装している。ここでは、(b) について結果を示す。

(b) コンパクトポラリメトリ機能

フルポラリメトリ観測では、V 偏波と H 偏波を交互に送信するため観測幅が狭くなる。コンパクトポラリメトリ観測では、V 偏波と H 偏波を合成して同時に送受信することでパルス間隔を 2 倍に広げ、観測幅を広げることが可能となる。ただし、解析においては Reflection symmetry と h-v コヒーレンスと平均交差偏波比の線形の仮定の基で統計解析を行う。解析の結果、20m 四方 (8x8pixels) の統計解析において、植生域ではフルポラリメトリと比較して HH/HV/VV 全偏波において相関係数 0.98 を得た。また、空間分解能を落として 30m 四方 (12x12pixels) では全偏波において相関係数 0.99 と改善することが分かった。その一方で、住宅街など Reflection symmetry が成立しない構造物周辺では、相関係数 0.84(HV)、0.89(HH) に劣化することが示された。

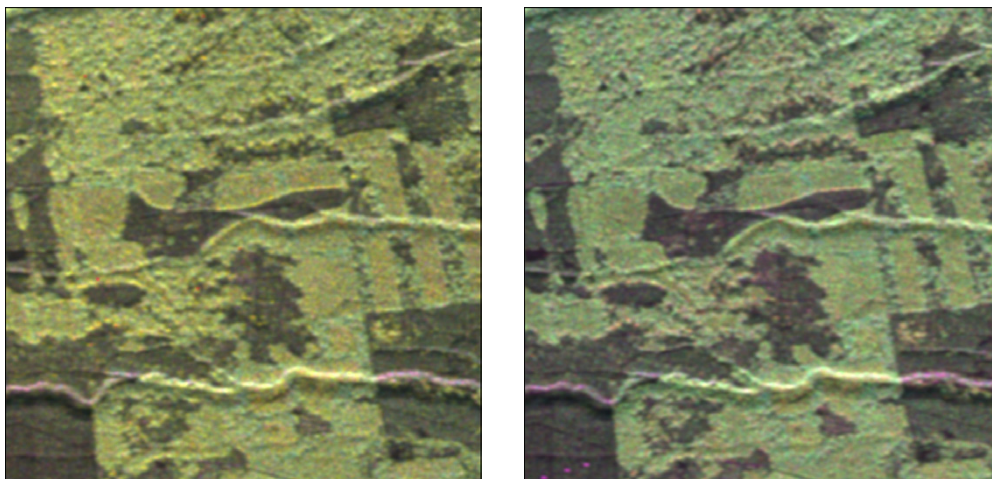


図1. コンパクトポラリメトリ (左) とフルポラリメトリー (右) による苫小牧植生域の RGB カラー合成 (HH/HV/VV) 図。(8 x 8 pixels 統計解析、2.5 km 四方)

3. インドネシア観測キャンペーン

Pi-SAR-L2 インドネシア観測キャンペーンは、インドネシア科学技術省など7機関との共同プロジェクトとして2012年8月に実施した。本キャンペーン実施にあたり、科学許可と飛行許可を得るために2011年12月からインドネシア側と調整や交渉を主導

し、2012年8月4 - 8日に「森林監視」「災害監視」「船舶監視」「植生分類」などの各分野について非常に貴重なデータが得られた。なお、海外における航空機 SAR 観測はその許認可を取得するのに非常に難易度が高く、日本国内の他の研究機関や民間も何度となくトライしているが、いずれも実現出来てない。

4. 多偏波解析例

(a) 災害監視

福島県浪江町周辺では、震災直後の津波による瓦礫が散乱した状態が今も続いている。Pi-SAR-L2 観測は、2012年4月17日に実施し、地表に散乱した瓦礫は HH/HV コヒーレンスにて非常に明瞭に検出できることを示した。

(b) 船舶監視

インドネシア観測キャンペーンや東京湾にて Pi-SAR-L2 観測を実施した。船舶検出には海面散乱との差が大きい HH もしくは HV が有用であることが示され、船舶の移動によるアジマスシフトの効果も AIS 信号による補正にて 500m 以内に補正して識別可能であることが示された。

5. まとめ

今年度は Pi-SAR-L2 開発運用と実観測を通じて、PALSAR-2 の機能を実証してきた。災害監視には高分解能デュアル、船舶監視には広観測幅デュアル、森林監視には高分解能フルポラもしくは広観測幅コンパクトポラリが有用であることを示した。

1.5 ALOS 画像を用いた途上国における地形図作成

高橋陪夫

1. はじめに

陸域観測技術衛星「だいち」(Advanced Land Observing Satellite)が2006年1月に打ち上げられ、東日本大震災対応中の2011年4月22日に運用を停止するまでに、ALOS 搭載の PRISM 300 万シーン(全球)を超えるデータを取得した。アジアやアフリカの開発途上国においては、基盤データの地形図が存在しない国が多い。国際協力機構(JICA)は、アジアやアフリカの開発途上国からの要請に基づき、PRISM 画像を用いて地形図作成プロジェクトを実施している。2011 から 2013 年度にかけて、東/南アフリカ地域の測量・地図作成機関に対し、PRISM 画像を用いて地形図作成セミナーを、ケニア ナイロビにおいて年1回開催している。本発表では、PRISM 画像を用いた地形図作成について紹介する。

2. ALOS PRISM データ

ALOS 運用期間中において、継続的に校正検証を行い位置精度の向上に努めた。運用停止後の最終的な位置精度(公表値)は、直下視の絶対精度は 6.1m、相対精度は 2.3m である。国土院によると、5 万分の 1 地形図に必要な精度は、水平精度 35m、等高線精度 10m である。

3. 第三国研修 (ALOS 地形図セミナー)

2009 年の UNECA/CODIST-I (第 1 回国連アフリカ経済委員会 開発情報と科学技術委員会)でのセミナー開催を通して、ケニアにある Regional Center for Mapping of Resources for Development (RCMRD) から東/南アフリカ地域の測量・地図作成機関に対し、ALOS 地形図セミナーの開催打診があった。本研修は、ALOS 光学画像を用いて 5 万分の 1 地形図を作成できるようになること、また作成技術の移転を行い今後のビジネス展開を図ること目的としている。JICA から要請により、2011 年度(2012 年 2 月)、2012 年度(2012 年 8 月)の本セミナーにおいて、在外技術研修講師として現地に派遣され、セミナーを実施した。写真測量、ALOS 画像、現地測量、地形図作成等を 1 ヶ月という短期間に一通り実習するようなカリキュラムを作成した。2011、2012 年度は、それぞれ 13、14 カ国からの参加があった。現地測量では、PRISM/AVNIR-2 から作成した Pan-sharpen 画像を用いて、ニエリ地域において画像から判読可能な交差点等で実際に GPS を使用し測量を実施した。2011 年 1 月のデータを用いているため、交差点形状が実際と異なる所が多くあり、途上国でも数年に 1 度の更新は必要であることがわかる。

4. 地形図整備

表 1 に示す通り、地形図作成が開始された。縮尺は現地の要望から 50,000 分の 1 となり、面積は約 3 万 km² の広域整備となる。PRISM 画像を用いるメリットは、①該当域を面的にはほぼ観測できていること、②航空機観測と異なり観測済のため事業計画が容易であること、③紛争地においても画像が入手できること等が挙げられる。CODIST 開催地のエチオピアが 2013 年度より事前準備が開始される。ケニアも近年中に開始される予定である。

表 1. PRISM 画像を用いた地形図整備国

国名	縮尺	期間
モルドバ	1:50,000	2010/12 - 2012/12
フィリピン ミンダナオ島	1:50,000	2010/03 - 2013/02
トーゴ	1:50,000	2011/01 - 2013/03
セネガル	1:50,000	2011/04 - 2013/03
ブルキナファソ	1:50,000	2012/02 - 2014/02

5. まとめ

要求による狭領域観測を行う商用衛星と異なり、ALOS は基本観測計画に基づき全球を網羅的に観測したため、開発途上国における地形図作成という広大な面積における画像取得だけでなく様々な分野において利用可能である。基本情報である地形図がない国が多く、整備したいという要望が多数あり、ALOS 光学後継機ではより一層の面的整備及び位置精度向上を行い、科学技術外交に貢献していけるようにしたい。

6. 論文・外部発表

- 1) 高橋陪夫・奈佐原顕郎・田殿武雄・渡辺知弘・道津正徳・杉村俊郎・富山信弘, JAXA 高解像度土地利用土地被覆図の更新及び地上検証データの整備, 日本リモートセンシング学会第 52 回学術講演会論文集, pp -, 東京大学生産技術研究所, 2012. 東京大学生産技術研究所, 2012.
- 2) M. Takahashi, M. Shimada, T. Tadono and M. Watanabe, CALCULATION OF TREES HEIGHT USING PRISM-DSM, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2012, pp.6495-6498, Munich, Germany, 2012.
- 3) M. Takahashi, and M. Shimada, Disaster monitoring by JAXA for Japan Earthquake using satellites, 10th INTERNATIONAL WORKSHOP ON REMOTE SENSING FOR DISASTER, Sendai, Japan, 2012
- 4) 高橋陪夫, 奈佐原顕郎, 田殿武雄, 渡辺知弘, 道津正徳, 杉村俊郎, 富山信弘, 「だいち」ALOS による高解像度土地利用土地被覆図, 宇宙科学技術連合, 2F13, 2012
- 5) 田中健太郎, 奈佐原顕郎, 高橋陪夫, 渡辺知弘, 道津正徳, 土地被覆分類における ALOS 衛星センサの複合利用, 日本リモートセンシング学会誌 (原著論文・査読有・投稿中)
- 6) M. Takahashi, K. Nasahara, T. Tadono, T. Watanabe, M. Dotsu, T. Sugimura and N. Tomiyama, JAXA High Resolution Land-Use and Land-Cover Map of Japan, The 33rd Asian Conference On Remote Sensing, Pattya, Thailand, 2012
- 7) M. Takahashi, Overview of ALOS and mapping project cooperating in developing countries, in cooperation with JICA, UN-COPUOS, Vienna, Austria, 2013
- 8) M. Takahashi, K. Nasahara, T. Tadono, T. Watanabe, M. Dotsu, T. Sugimura and N. Tomiyama, JAXA HIGH RESOLUTION LAND-USE AND LAND-COVER MAP, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) IGARSS, 2013 (投稿中)

1.6 SAR データを用いた熱帯域の土地利用分類

白石知弘

1. はじめに

定期的に広域の土地被覆情報を得ることができる衛星データを使用して土地利用状況の把握やその変化をモニタリング・予測することは重要な課題である。SAR データは観測時の天候や時間帯の影響が少なく、被雲率の高い熱帯域の観測やモニタリングに有用である。

本稿は ALOS/PALSAR モザイクデータを使用して土地利用/被覆分類を行った結果を報告する。対象地域はアマゾンと並び森林の伐採や農地等への転換が頻発している最も土地被覆変化が激しい地域の1つであるインドネシアの中央スマトラとした。特にリアウ州では過去 25 年間に森林が 65% 減少したと報告された地域である。分類手法は多くのアルゴリズムが提案されており対象地域や土地被覆種別によって最適とされるアルゴリズムが様々であるため、パターン認識分野で高精度の識別性能であると報告されている主要な 5 種の教師付き識別器を使用し、各結果の比較・検討を行った。

2. 使用データ

使用したデータは ALOS/PALSAR, SRTM3, 正解マップの 3 種類である。

ALOS/PALSAR データは 2 偏波高分解能 (HH・HV 偏波) でオルソ・勾配補正を施した 25m 分解能のモザイク画像を 2007, 2008, 2009 年分作成し使用した。SRTM3 データは 90m 分解能で、標高情報を得るために使用した。図 1(a) に示す正解マップは WWF インドネシアと現地専門家によって LANDSAT の光学データを基に目視判読で作成された土地利用分類図を図 1(c) に示す計 12 種のクラスにまとめた画像データである。

3. 分類手法と手順

本稿ではオブジェクト指向分類を行い、分類には教師付き分類法である 5 種類の識別器を使用した。使用した識別器は、オープンソースのコンピュータビジョンライブラリである OpenCV のサポートベクトルマシン (SVM), ナイーブベイズ (Bayes), ブースティング (AdaBoost), ランダムツリー (RTree), 多層パーセプトロン (MLP) の計 5 種である。分類は以下の流れで処理した。

1. 領域分割
2. 特徴量抽出
3. Wrapper 法による特徴量選択
4. 分類処理
5. 分類画像生成

領域分割は入力画像を均質な特徴の領域 (オブジェクト) に分割する処理で領域拡張法を用いた。領域分割処理を行う理由は、スペckルノイズの影響を抑える効果があり、ピクセルベースでの分類と比較し経験的に高精度の結果が得られたためである。例として SVM 識別器を使用し上記の手順で領域分割処理を行った場合と領域分割しない場合の分類精度はそれぞれ 88.42% と 78.63% であり、領域分割処理が有効であるという結果が得られている。

分類に使用した特徴量はオブジェクト毎に HH・HV 偏波の各後方散乱係数の平均と標準偏差, 各種テクスチャ (GLCM と GLDV) 情報, HH と HV 偏波間, 時系列データ間の相関係数等, 計 76 種の特徴量を使用した。

分類処理におけるトレーニングの教師データは, 正解マップを使用し各クラス 100 から 1000 オブジェクトまで 100 オブジェクトごとに (全オブジェクト数に対し約 2% から 23%), ランダムに選択して分類に使用した。分類処理はトレーニングされた識別器を使用して領域分割後の PALSAR モザイク画像を全領域に対し行った。

4. 結果とまとめ

各識別器に対し最も高精度であった分類結果を表 1 に示す。

表中の土地利用分類 (LUC) は図 1(c) に示す 12 種の分類クラスから, Unclassified と Cloud クラスを除いた計 10 クラスを教師データとしてトレーニングに使用し分類を行った結果である。森林/非森林分類 (FNF) は土地利用分類後, Forest クラスを森林, それ以外のクラスを非森林と定義して評価した結果である。

表 1. 識別器毎の分類精度と処理時間

Classifier	Classification Accuracy [%]		Processing Time [d:day, h:hour, m:minute]
	LUC	FNF	
SVM	59.75	88.97	6d 21h 54m
Bayes	56.86	88.82	22m
AdaBoost	51.86	87.98	1h 14m
RTree	64.07	90.22	7h 19m
MLP	60.92	89.81	1d 17h 52m

最も高精度の結果は図 1(b) に示す RTree で MLP と SVM が続いた。この結果は非線形問題を扱えることから現在注目されている SVM を RTree が上回ったことが特徴である。PALSAR データは水域と陸域で明るさに顕著な差が出るが, 特に自然林 (Forest), 再生林 (ReGrowth), ゴム林 (Rubber) は目視で判別することも困難である。RTree は複数の決定木から構成され, 各木が導き出した結果の多数決から分類クラスを決定するが, この結果は RTree が非常に似た特徴量を持つデータに内在するわずかな傾向やデータ間の相関を精度良く検出していることを示している。また, 応答時間を要求される場合においても, RTree は MLP や SVM よりも有効である。今回の特徴量選択・分類・分類画像生成に要した処理時間は CPU: Intel Core(TM) i7-3960X 3.30 & 3.30Ghz, RAM: 64GB の環境で, RTree: 7 時間, MLP: 41 時間, SVM: 165 時間であり, 精度・処理速度の両面で有用な結果が得られた。

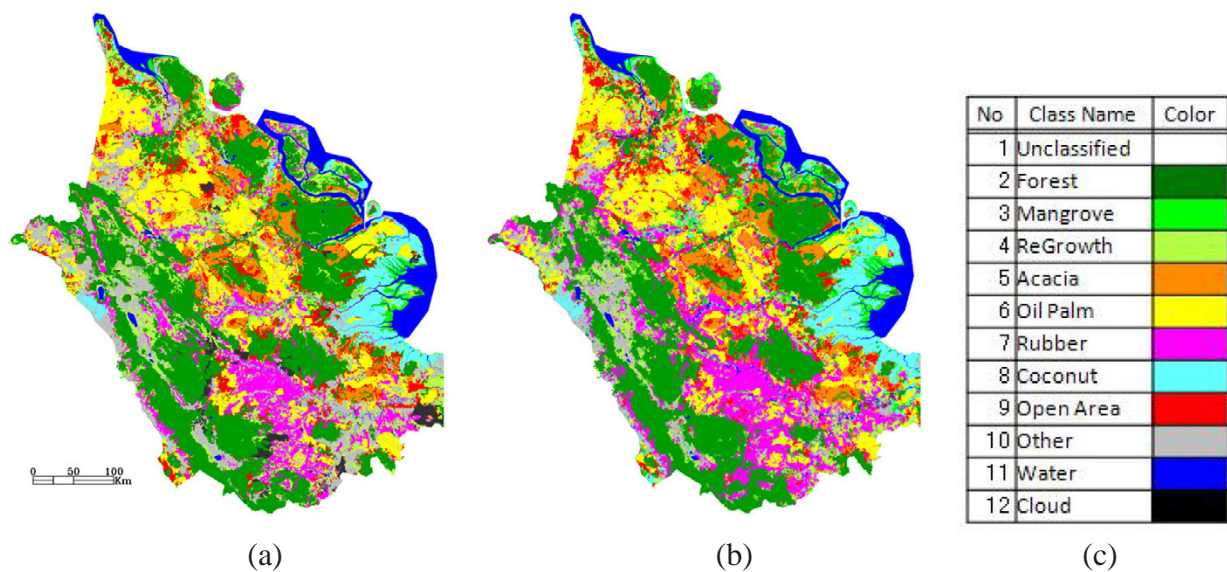


図1. (a)WWF Indonesia 作成の正解マップ, (b)RTree の分類結果, (c)クラス一覧

1.7 ALOS による森林伐採検出および炭素量推定の手法開発

本岡 毅

森林の伐採面積や炭素蓄積量（地上部バイオマス）は、温室効果ガスや生物多様性の評価、気候変動の予測などに重要な情報である。地域～全球スケールを定期的に調べるには、衛星リモートセンシングが簡便で有力な手法である。本研究では、ALOS に搭載の L バンド合成開口レーダ (PALSAR) や高解像度光学センサ (PRISM、AVNIR-2) を活用し、衛星による森林伐採検出と炭素量推定の高度化を図った。

1. PALSAR による森林伐採検出

REDD+ (Reducing Emission from Deforestation and forest Degradation, plus) などの国際的取組みなどから、伐採検出の精度は、更新頻度 1 年、分解能 100 m (1 ha の変化を検出可能) が要求されている¹⁾。現状では Landsat などの光学センサが使われることが多い。しかし、熱帯域では雲のために、更新頻度が 2～5 年である。一方、ALOS の PALSAR は、雲の影響を受けずに時空間分解能を両立でき、前述の要求を満たすことができるセンサである。また、ALOS-2 によって今後の継続的な観測も可能である。しかし、SAR を用いた広域スケールの伐採検出の定量的な精度検証や実用化は、まだ十分ではなかった。本研究では、PALSAR による伐採検出手法を検討、評価し²⁾、広域スケールに適用した。とくに、違法伐採の即時検出や REDD+ での容易な実用化のために、自動処理が可能な手法を検討した。

インドネシアを対象とし、PALSAR の高分解能二偏波 (FBD) モードのパス画像に勾配補正、オルソ幾何補正、画像間のモザイクを施し、2007-2010 年の時系列の 25 m 解像度モザイク画像を作成した。まず 2007 年の森林を抽出し、その中で HV 偏波後方散乱係数の時間差分がある閾値より低くなった場合に、伐採と判定した。レイオーバーやシャドウイングは除いた (インドネシア陸域の 0.7%)。

スマトラ島のリアウ州において、高解像度光学画像から目視判読した森林と伐採地を正解とし、上記手法による各年の伐採検出の精度を調べたところ、72～96% (平均 87%) であった。最適な閾値は -1.0 dB であり、時期によって閾値を調整しても、精度はほとんど変化しなかった。低い精度は、PALSAR 観測日以降の数日間の積算降水量が多くなるに従って、森林と伐採地の後方散乱係数の差が減少するために生じた。そこで、一年間の複数回の PALSAR 観測による伐採抽出結果を統合し、毎年の伐採分布としたところ、精度は 82-96% (平均 91%) に向上した。

インドネシア全体では、約 5.5% の森林が減少しており、特に 2009 年に減少が多く、2010 年に少なかった。これは、MODIS 赤外による火災検知数と同じ傾向であり、ENSO が関係している可能性がある (2009 年はエルニーニョで小雨、2010 年はラニーニャで多雨)。伐採はスマトラやカリマンタンに多く、とくにスマトラでは 2007 年森林の 11% が消失した。本研究の伐採面積を、FAO の統計値と比較すると約 3 倍大きかった。これは、FAO の統計値にはプランテーションが含まれている、2007 年の森林図に密度の低い森林等が含まれてしまっている、などの原因が考えられる。

今後の課題は、他インベントリとの比較と手法改良 (特に初期森林マップ作成の高精度化)、他地域への適用 (アマゾン、アフリカなど)、ALOS-2 への適用検討が挙げられる。ALOS-2 では観測幅の広い ScanSAR でも HV 偏波が観測できるようになり、森林変化の観測頻度が大幅に向上するが、

一方で入射角も多様化するため、その影響について検討する必要がある。

2. PRISM・AVNIR-2による地上部バイオマス推定

PRISMの立体視画像による Digital Surface Model (DSM; 地上の物体を含めた地表面の高さ分布図)は森林高さの情報を含んでおり、バイオマス推定への活用が期待される。特に、SARの後方散乱係数による推定では難しい、高バイオマス(100-200 t/ha以上)の推定が可能かもしれない。また、PRISMとAVNIR-2によるカラーパンシャープン画像は、樹木疎密度を判読するのに十分な解像度(2.5 m)であり、これもまた、バイオマス推定に有用な情報となりうる。本研究では、PRISMによるDSMと、PRISMとAVNIR-2によるパンシャープン画像を用いたバイオマス推定の可能性について検討した。

対象は、北海道大学の雨龍研究林であり、主に常緑針葉樹林(トドマツ、アカエゾマツ)、落葉広葉樹林(ミズナラ、シラカンバ)、落葉針葉樹林(カラマツ)が分布する。20の調査区(0.25 ha以上)で測定された樹高や胸高直径(10 cm以上)から、アロメトリ式を用いてバイオマスを得た(北海道大学よりデータ提供)。PRISM立体視画像からDSMを作成し、国土地理院の10mメッシュ標高モデルの値を差し引いて、対象地の森林高さ分布を推定した。また、パンシャープン画像から教師なし分類で樹冠を抽出し、森林の疎密度分布を推定した。

衛星画像から得た森林高さや疎密度を、現場のバイオマスと比較したところ、良い相関は得られなかった(森林高さ-バイオマス: $R^2=0.36$, 疎密度-バイオマス: $R^2=0.36$)。一方、森林高さや疎密度の積と現場バイオマスを比較したところ、やや高い相関が得られた($R^2=0.60$)。森林高さや疎密度の双方が必要となった原因としては、PRISMのDSMの解像度や精度では反映できない空間的な不均一性を、疎密度情報が補った可能性がある。特に対象地の雨龍研究林は疎密度の変化が激しく、樹冠のない小さなギャップがところどころに存在する。得られた回帰式によるバイオマス推定精度は、RMSEが41.9 t/ha、バイアスが-7.1 t/haであった(leave-one-out法による評価)。最近報告されているバイオマス推定精度は、衛星を用いた場合50-100 t/ha、航空機ライダーを用いた場合20 t/haが主である。したがって、本研究の結果は概ね良い結果であり、PRISMやAVNIR-2の有用性を示すものである。

参考:

- 1) GOF-C-GOLD. A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in remaining forests, and forestation (version COP17-1). Alberta, Canada: GOF-C-GOLD Project Office, Natural Resources Canada, 2011.
- 2) T. Motohka, M. Shimada, Y. Uryu, Budi Setiabudi. Using time-series PALSAR gamma-naught mosaics for automatic detection of tropical deforestation: a test study in Riau, Indonesia, Remote Sensing of Environment. Revised.

1.8 SAR データを用いた森林バイオマス推定精度の向上 (2)

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、森林樹幹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。本発表では、インドネシアで収集されたデータと 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に行った、以下の3つの解析結果について報告を行う。

解析 1) 土地被覆分類結果を元に、各分類クラスに代表的なバイオマス値を与えることで、“リアウ州全体のバイオマスマップ”を作成

解析 2) Lバンド SAR 後方散乱係数 (γ^{0}_{HV}) を用いた、“自然林バイオマス”推定

解析 3) バイオマス推定精度向上のための、フルポーラリメトリパラメータの検討

2. インドネシア実験

ALOS 解析研究グループでは、2011 年～2012 年にかけて、インドネシア/スマトラ島のリアウ州で森林データ収集と、それに合わせた LiDAR 観測、Pi-SAR-L2 観測を行った。LiDAR 観測は、この地域での代表的な 12 クラスの土地被覆分類を 8 パスでカバーするように、全 7,100 ヘクタールの観測を行った。Pi-SAR-L2 観測は、LiDAR 観測場所を視野内に含む全 11 パスの観測を行った。また、地上計測では、9 クラスに分類された森林や植林地で、全 89 サイト (1 サイトは 1 ヘクタール) のバイオマスデータを収集した。

3. データと解析手法

解析 1 では、白石ら*によって 2007 年～2009 年の PALSAR データを用いて作成された土地被覆分類図 (分類精度 64.07%) を元に、地上計測で得られた各クラスの平均バイオマス値を用いて、バイオマスマップを作成した。

解析 2 では、バイオマス値の精度を上げるために、自然林のバイオマス値を、Pi-SAR-L2 で得られた後方散乱係数と、バイオマスの相関関係を用いて求めた。バイオマスデータを増やすために、LiDAR 樹高 - 地上計測バイオマス値の相関を求め、LiDAR 観測が行われた場所のバイオマス値を導出した。

解析 3 では、PALSAR と Pi-SAR-L2 で得られたフルポーラリメトリデータを用いて、代表的なポーラリメトリックパラメータを計算し、バイオマス推定精度向上のために有効なパラメータについての検討を行った。

4. 結果

解析 1 で得られたバイオマスマップと全バイオマス量、地上計測で得られた各分類クラスの平均バイオマス量を図 1 に示す。地上計測で得られた 28 の自然林サイトでは、55 ～ 301 tons/ha の範囲にバイオマスが分布しており、ばらつきは 44% となった。

解析 2 で得られたバイオマス推定結果を表 1 に示す。単純平均した場合に比べ、(σ^{0}_{HV})-(バイオ

マス)の相関関係を用いた手法で、推定精度が向上していた。

解析3で行ったパラメータの検討結果の内、バイオマスが100 tons/ha 以上でも相関が見られたパラメータの一つである、エントロピーの結果を図2に示す。100 tons/ha で相関がなくなる σ^0_{HV} に比べ、100 tons/ha でも弱い相関があることが分かった。

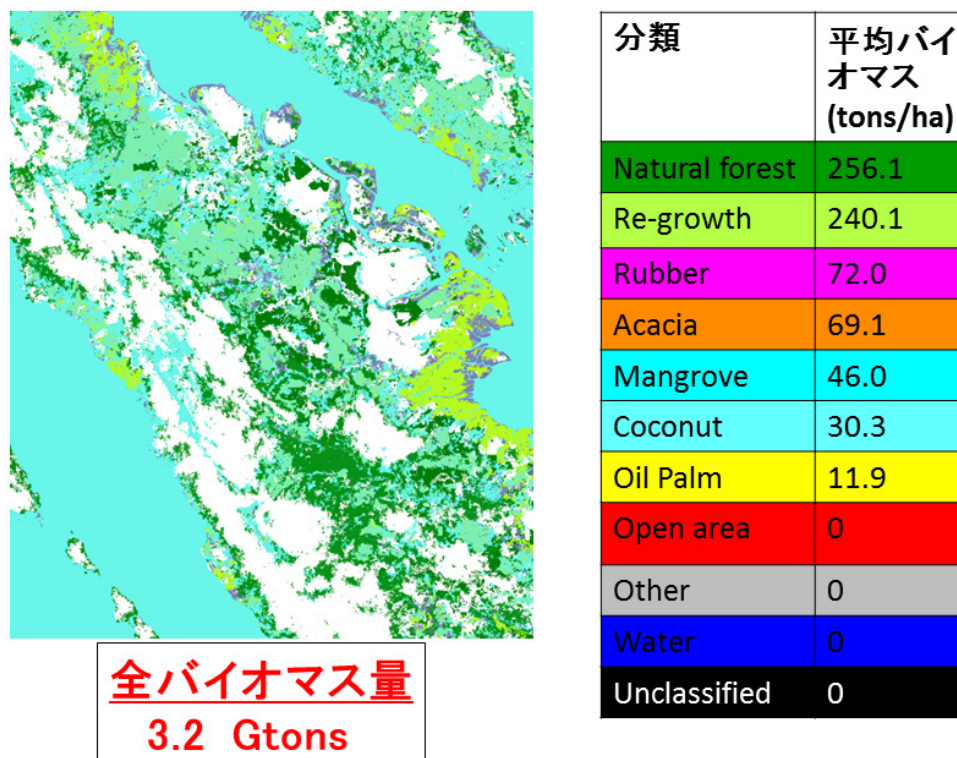


図1. 土地被覆分類図から得られたバイオマスマップ(左)と、各分類クラスの平均バイオマス量(右)

表1. バイオマス推定結果

	バイオマス (t/ha)	標準偏差 ¹ /RMSE ² (t/ha)
単純平均	218.0	99.1 ¹
(バイオマス)- γ^0 相関使用	Total	62.8 ²
	<100 t/ha	13.2 ²
	>100 t/ha	67.0 ¹

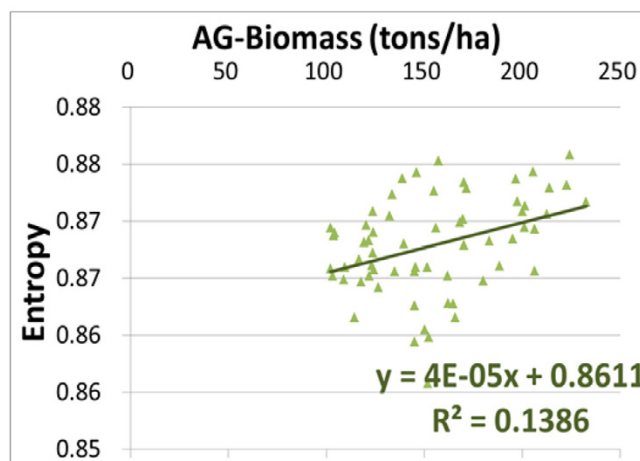


図2. バイオマスとエントロピーの相関図

【参考文献】

白石知弘 本岡毅 ラジェッシュバハドールタパ 磯口治 渡邊学 島田政信, “教師付分類を用いたリモートセンシング画像の土地利用分類”, 第11回情報科学技術フォーラム, 講演論文集, 3, 173-174, 2012

1.9 Spatial modeling of deforestation in tropical region using PALSAR data Rajesh Bahadur Thapa

1. Introduction

Recently, tropical deforestation is considered as the second largest source of GHG emissions and likely continues for the next several years. Therefore, efforts on monitoring of tropical deforestation and investigating the future impact are essential where integration of remote sensing and spatial modeling techniques can be an ultimate tool to derive the solutions. The tropical region in South East Asia mostly covers with cloudy atmosphere where weather independent L-band SAR data are particularly useful to monitor time-series deforestation and forest degradation. This research aims to examine the tropical deforestation process using PALSAR data, develop a spatial model to connect the patterns and process to the forest policies, and evaluate the potential outcomes under various what-if scenarios. Riau Province from central Sumatra of Indonesia is selected as a study site since it is ranked the highest CO² emitter from deforestation in the country.

2. Method

PALSAR mosaic data at 25 meters spacing are processed for the years 2007, 2008, 2009, and 2010 to prepare yearly time-series land cover maps using an automated mapping method. Comprehensive discussion on the mapping method can be found in Thapa et al. (in press). A spatial model is calibrated and validated using Markov chain, Bayesian, and fuzzy approaches. The model is used for predicting the spatial patterns of the future deforestation process under the four what-if scenarios: business as usual (BAU), forest regeneration (FR), governance – forest conservation (G-FC), and governance – concession for industrial plantations and selective logging (G-CPL). In depth analysis on these approaches, scenarios development process, and results are provided in Thapa et al. (2013).

3. Results and discussion

After analyzing the land cover change, a set of spatially explicit drivers are examined and found that the altitude, slope, forest conservation and concession areas, proximities to non-forest area, road, waterways, urban centers, and rural settlements have substantially governed the landscape changes in the past. Incorporating these drivers with the land cover maps, the spatial model has produced a map (2010) for validating the result with the reference map (2010). The validation result indicates that 86% similar result as reference map can be achieved at pixel level using this model. Multi-scales analysis demonstrates that the model can produce better result in coarser spatial resolutions, for instance, 91% similarity at 5 × 5 window pixels. Using the model, yearly time series land cover maps are generated up to 2030 for evaluating the scenarios outcomes.

Fig. 1 summarizes scenario wide expected remaining forest cover for the next two decades. A sharp decline of forest is observed during the baseline period (2007-2010) where the forest area decreased from 4.67 to 3.69 million ha. The impact of the scenarios in estimating the forest stocks is dynamic for different time periods. If the current deforestation trend continues as projected by the BAU, more than half of the forested land will like-

ly be cleared, baring 1.66 million ha by the end of the current decade. Less than 0.8 million ha of forest lands is expected by 2030 that may bring adverse environmental consequences including biodiversity extinction in the area. The G-CF scenario slightly improves the forest stocks throughout the period as compared to the BAU. The forested land will likely be better expecting 1.8 million ha in 2020 and slightly above 1 million ha in 2030. Although regrowth process takes long time period to replace the natural forest quality, it will likely expand the forest coverage as secondary forest. Combining primary and regrowth forest lands together, the FR scenario shows the forest stocks better than the BAU and G-CF. The FR scenario suggests that 2 million ha of forest land (2.5 times higher than the BAU) can be expected by 2030. The remaining forest trend in G-CPL scenario is expected to be surprisingly different than the all other scenarios. Implementing the G-CPL policy fairly, the province will likely have good forest spatial pattern compared to the other scenarios even by 2030. Unlike the other scenarios, the G-CPL will likely follow the FR trend until 2015 and expected to lower the deforestation trend in forthcoming years. The estimated forest will likely remain about 2.8 million ha in 2020 and 2.5 million ha in 2030 as represented by the G-CPL curve. If we consider the BAU curve as reference line for REDD+ programs in the province, then the G-CF, FR, and G-CPL scenarios will save 0.3, 1.36, and 1.7 million ha of forest lands from deforestation by the end of 2030, respectively.

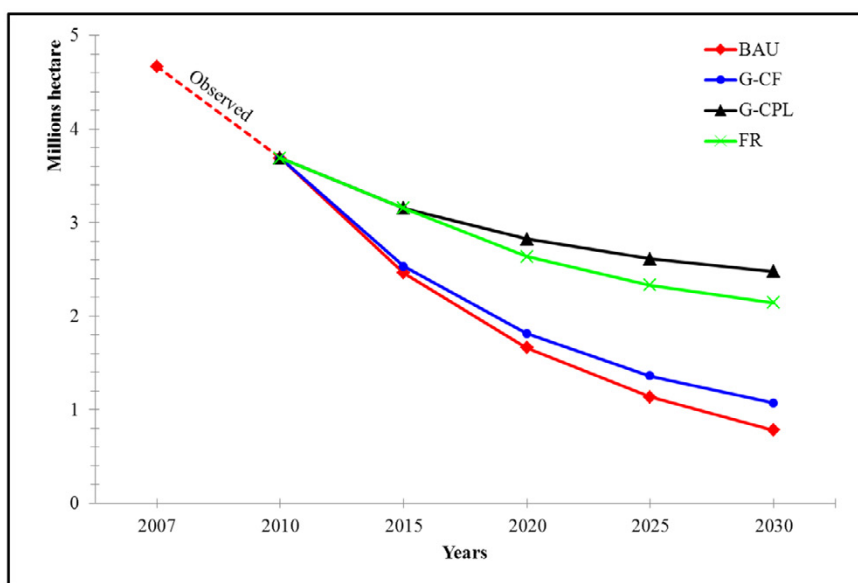


Fig. 1. Scenario-wise temporal estimation of remaining forest land in the province.

References

- Thapa, R. B., Itoh, T., Shimada, M., Watanabe, M., Takeshi, M., Shiraishi, T. (in press). Evaluation of ALOS PALSAR sensitivity for characterizing natural forest cover in wider tropical areas. *Remote Sensing of Environment*.
- Thapa, R. B., Shimada, M., Watanabe, M., Takeshi, M., Shiraishi, T. (2013). The future of the tropical forest: monitoring and scenarios modeling using Synthetic Aperture Radar data. *Applied Geography*, 41,168-178.

1.10 航空機搭載干渉 SAR による海面計測実験

植松明久、中村良子、矢島由貴江、大木真人、中島康裕

1. 概要（背景と目的）

平成 21 年度より「海面高度計ミッションの研究」において、ミッション検討、並びに海面高度計測に関わるセンサ・衛星システム等の検討を行っている。これまでに、干渉型合成開口レーダ（干渉 SAR; SAR アンテナをクロストラック方向に 2 台並べた観測システム）により、2 次元海面高度分布の計測が可能になり、従来の海面高度計と比べ、サンプリング頻度が飛躍的に向上して、沿岸域や縁辺海における海流予測の高精度化に寄与できることが明らかになった。

本実験では、EORC の SAR に関する解析研究の一環として、航空機搭載干渉 SAR を用いて、計測精度に直接寄与する信号強度及び相関係数を取得し、海面高度計ミッション（COMPIRA）で検討中の干渉 SAR 高度計センサ（SHIOSAI）の成立性を確認した。あわせて、特定の観測点での相対的な海面高度計測精度を確認した。

2. 計画立案と観測実験実施

本実験では、SHIOSAI での海面高度観測を模擬し、またその結果を検証できることを念頭に、以下のように計画を立案し、6 回の観測フライトを実施した。

＜干渉 SAR＞ SHIOSAI を模擬できるよう、X バンド、低入射角、2 偏波、アンテナ中心間距離 6cm（SHIOSAI と同じサイジングとなるようプラットホーム高度と比演算）を満たす航空機搭載用干渉 SAR として、アルウェットテクノロジー社の ATSAR を利用した。

＜コーナー反射鏡（CR）＞ 信号強度の定量的評価のため、CR を設置した。

＜慣性航法装置（POS）＞ 相対的な海面高度計測精度確認のため、高精度で飛行機の姿勢を測定できる POS/AV610 を利用した。

＜観測コース＞ 検証用の海面高度・有義波高・波浪データを同時に取得できるよう、Jason-2 衛星の軌道に合わせて、観測コースと飛行時間を設定した。また、顕著な高度差の観測を目指し、黒潮を直交する日本近海のコースを設定した。

3. 解析結果

(1) 信号強度（NRCS）の検証

CR 観測データから校正係数を算出し、海上データに適用して NRCS を算出した。結果を図 1 に示す。図 1 より、0～10°の入射角において、タワー実験で得られた値や理論値と同等であることがわかる。今後、さらなるアンテナパターン補正等により、形状の歪みの除去を実施する。

(2) コヒーレンスの検証（画像間相関劣化の確認）

理論式より推測されるコヒーレンスと、実測値を比較した。結果を図 2 に示す。図 2 より、0.9 を超えるコヒーレンスが得られ、SHIOSAI の設計値とほぼ同等の水準であることが分かった。今後、アンビギュイティ等の影響をさらに除去し、コヒーレンスが改善できないか検討する。

(3) センサ高度誤差の検証

航空機の位置姿勢データ (POS データ) を用いてロール角補正を行い、除去し切れないノイズ成分については、レンジ方向に信号の立ち上がる (微分値が最大となる) 点を直下点と判断し、1km 程度であるレンジ方向に海面高度の変化がないと仮定としてロール角を決定した上で、誤差を除去した。その上でルック数を2段階で処理し、ルック数の平方根に比例して誤差が小さくなるか確認した。結果を図3に示す。図3より、ルック数を4倍にすると誤差が半減すること、SHIOSAI ルック数相当に換算すると誤差が10cm 前後となることがわかる。今後、ロール角誤差等の除去手法の改善により、誤差はさらに下がる可能性がある。

(4) 海面高度計測の検証

SHIOSAI の手法である干渉処理と、直下型レーダ高度計の手法である伝搬時間の2通りで、ATSAR から算出した海面高度を、同期観測時の Jason-2 の測定値と比較した。結果を図4に示す。図4より、2通りの算出結果は一致しており、位相差を用いて海面高度が計測できることを確認できた。Jason-2 との高度差については、飛行機高度補正やロール角誤差除去等の向上により、改善できる可能性がある。このため、今後、これらの補正作業を継続して実施する。

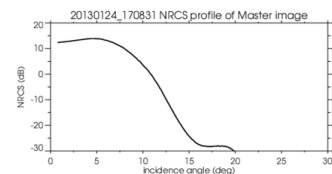
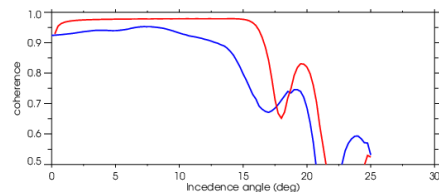


図 1. NRCS

図 2. コヒーレンス
赤：理論値、青：実測値

4. まとめ

干渉 SAR による海面高度計測の成立性確認に必要な検証作業として、これまでに、タワー実験や理論と同等の信号強度が得られること、海上での相関係数が 0.9 以上得られること、相対的な海面高度計測精度が 10cm 前後は得られること、位相差を用いて海面高度が計測できることを確認した。

今後さらにデータ補正手法の高度化により、解析作業を継続して進める。また、低レート (帯域 40MHz) での観測等、来年度以降の計画を検討する。

本実験で得られた成果は、SHIOSAI の仕様や、データ処理・解析アルゴリズムにも反映する。

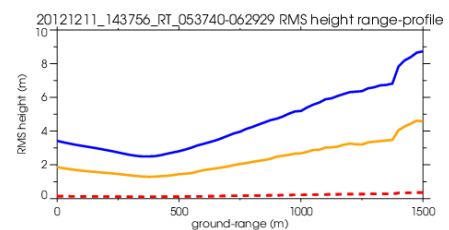


図 3. センサ高度誤差

青：1024 ルック、黄：4096 ルック
赤破線：60 万ルック相当換算

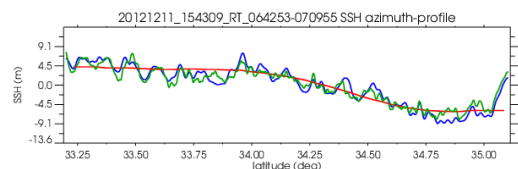


図 4. 海面高度 (Jason2 と比較)

青：干渉処理で算出
緑：伝搬時間から算出
赤：Jason2 の計測値

2. GOSAT 利用研究

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の衛星である。2009年1月23日に種子島宇宙センターから打ち上げられ、4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、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ている。レベル 3 プロダクト (FTS SWIR CO₂, CH₄ 全球カラム平均濃度分布) は、2010 年 11 月から一般提供を開始している。FTS TIR レベル 2 CO₂ 及び CH₄ 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。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。打上げ後約 4 年を経て GOSAT の主要なプロダクトが一般に公開されている。

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 24 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。GEOSS の「宇宙からの温室効果ガス観測」タスクに参加し活動を推進する。

平成 24 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 バンド 4 に関する是正処置を実施した。レベル 1 処理システムを確認したところ、2011 年 4 月以降から DC オフセットが適切でないことが判明した。パラメーターテーブルを適切に更新し、2012 年 11 月 7 日から TANSO-FTS レベル 1 処理に反映した。TIR バンドに関する主要な改善点、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) を提案した。これらの改善を施した V160.160(仮称)は、JAXA、NIES 共催のバージョンアップ確認会を経て今年度中に一般にリリースされる予定である。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、2012 年 4 月以降は、非常に安定していた。この結果をもちいて環境研で、レベル 2 前処理への反映を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 CO₂, CH₄ 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外向き長波長放射の推定を試みた。

2. GOSAT 利用研究

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、2012 年 6 月 25 日～7 月 2 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の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にわたり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。2012 年 6 月～8 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。データ品質の確認を経て、ユーザでの検証に使用していただくことを目的として、地上 FTS のデータを TCCON network へ提供を予定している。

GEOSS の「宇宙からの温室効果ガス観測」タスクに参加し活動を推進し、CEOS 炭素戦略文書の作成を進めている。

2.2 GOSAT データの校正評価 一月校正の運用と解析

塩見 慶

1. はじめに

GOSAT は打ち上げ後、4年を経過し定常観測運用を行っている。処理アルゴリズムの改訂を通して、プロダクトの精度向上、評価を実施している。本発表では、GOSAT 打上げ後の月校正の運用および評価に係る取り組みについて報告する。

2. GOSAT における月校正

GOSAT では、年 1 回（+バクアップ 1 回）の月校正運用を定期的に行っている。図 1 に月校正運用のシーケンスを示す。日照パスで衛星は 3 軸制御を止め、衛星自体による月指向が始まる。南極上空で月の出になると、FTS の月校正データの取得を行う観測時間帯となる。その後、CAI の月校正データ取得のために、衛星がピッチ軸方向に往復運動を行う。

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。位相角が 7 度より小さい月は反方向反射率が急激に大きくなる性質がある。最も明るくかつ観測誤差が小さくなる月を観測対象とすることとした。

しかし、2011 年には、FTS の視野に月を半分はずすこととなった。その原因としては、ポインティングミラーの指向精度に要因があった。地上 GCP 標定結果と FTS 視野モニタカメラの月位置評価結果から、ほぼ同程度のオフセット角であることが確認された。そこで、2012 年からは、直前の GCP 標定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、FTS の視野内に月を収めることができた。

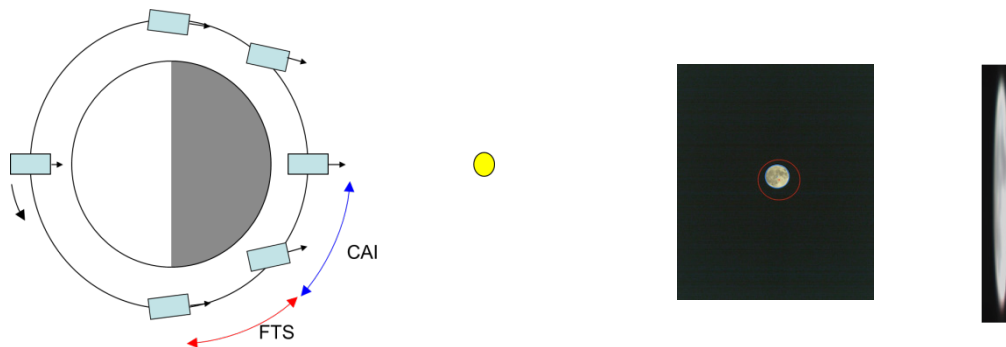


図 1. GOSAT の月校正（2010 年 4 月 28 日の月校正時の FTS 視野モニタカメラと CAI 画像）

3. 計算手法

月の反射率モデルは、Kieffer and Stone [2005] に記述のある USGS ROLO モデルを用いて、月の位相と秤動を考慮して GOSAT 観測時の月アルベドを推定する。図 2 に、USGS ROLO モデルを示す。モデルは GOSAT の観測波長をカバーし、位相角関数は連続的に与えられている。位相角が小さいときに、満月に近づくほど反射率が大きく、位相角 7 度より小さくなると、反射率が急激に増大していることがわかる。また、位相角 7 度より小さい位相角は、源泉データが少なく、7 度以上のモデル

が信頼性も高い。観測日の異なる観測データ間では、太陽－月間、および月－衛星間の距離が異なるので、太陽や月の見かけの大きさが異なることとなる。そこで、それらを規格化した観測照度値と計算したモデル照度値との比較を行うことで、センサ感度の変化を評価する。

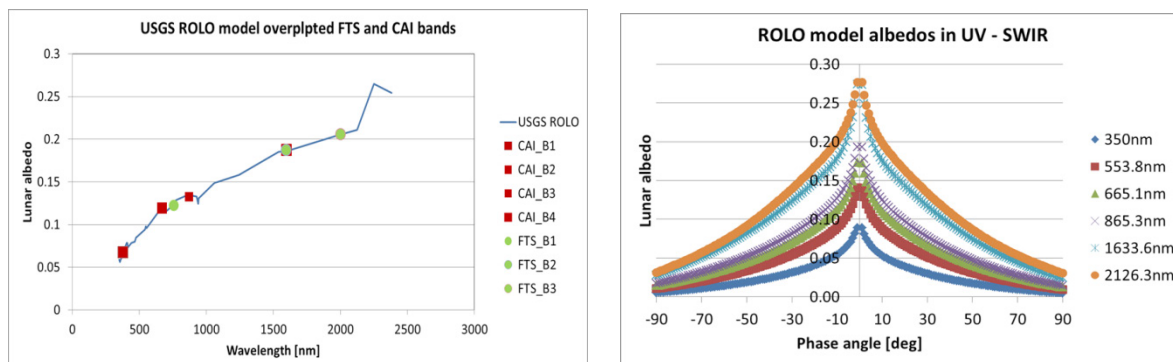


図 2. ROLO 月反射率モデル (左図) 波長特性 (右図) 位相角特性

4. 結果とまとめ

CAI 月校正の結果を図 3 に示す。参考として Kuze et al.[2010] のレールロードバレーにおける代替校正結果を一緒に示す。両者が約 5% 精度で一致しており、現在提供している感度変化係数を独立に比較するものである。本報告により月校正の運用および解析手法の確立が行えた。今後、誤差評価を実施する。

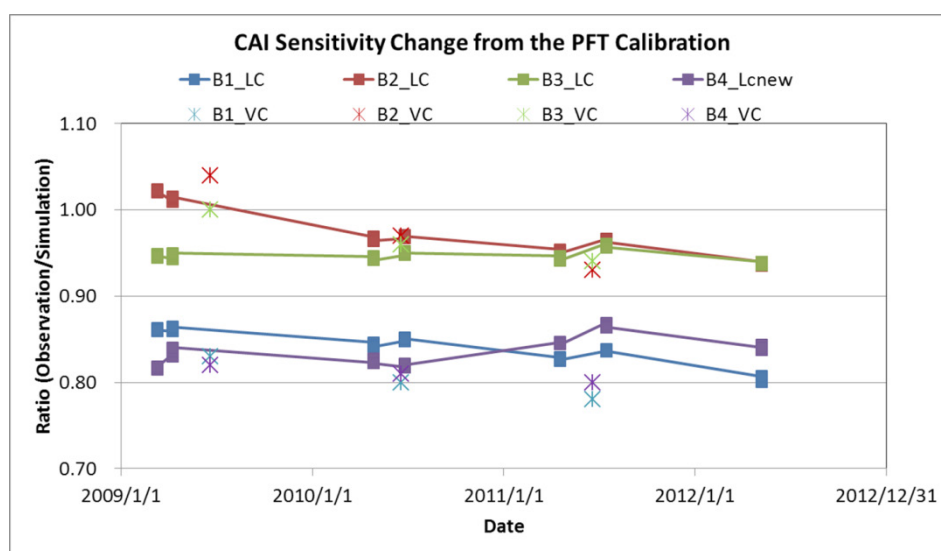


図 3. CAI 月校正結果

2.3 観測データに基づいた GOSAT データプロダクトの検証

田中智章

1. はじめに

温室効果ガス観測技術衛星 GOSAT(Greenhouse gases Observing SATellite) は TANSO-FTS (Thermal and Near-infrared Sensor for Carbon Observation-Fourier Transform Spectrometer) と TANSO-CAI (Cloud and Aerosol Imager) を搭載し 2009 年 1 月に打ち上げられた。TANSO-FTS は短波長赤外 (SWIR) と熱赤外 (TIR) 領域のスペクトルを測定している。JAXA, NIES は 2009 年から共同で GOSAT の検証と地上高分解能 FTS のための航空機観測を継続して実施してきた。本稿では航空機観測データを用いた GOSAT SWIR から導出される CO₂, CH₄ カラム量の検証について報告する。

2. 航空機観測データを用いた検証

GOSAT グループでは GOSAT データと比較を行うため GOSAT と独立に観測された地上並びに航空機、衛星等の飛翔体のデータを用いて検証を進めてきた。検証の一環として JAXA 並びに国立環境研究所共同で 2009 年から定期的に地上高分解能 FTS 並びに GOSAT 検定のための温室効果ガスの航空機観測を行っている。地上 FTS はつくば市の国立環境研究所と佐賀大学に設置されており両施設とも TCCON (Total Carbon Column Observing Network) に則した測定を行っている。

観測に使用する航空機は Diamond Air Service 社が所有する Beechcraft King air 200T である。この航空機は twin turboprop エンジンのプロペラ機であり、与圧されたキャビンを持ち、最大 13 名の旅客の搭乗が可能である。与圧されたキャビン内に in-situ 測定機器、フラスコサンプリング装置を設置し温室効果ガス (CO₂, CH₄) の高度分布の測定を行った。また機体側から GPS データ並びに気象パラメータ (気温、気圧、湿度) が提供された。

航空機外部の大気は機体前方上部に取り付けられたインレットからダイアフラムポンプにより 0.1 MPa まで加圧されキャビン内に設置した測定機器に導入される。

機内に設置した in-situ 測定装置は市販の NDIR(non-dispersive infrared) を使用している。NDIR 自体の精度は ± 1 ppm 程度であるが標準ガスを組み合わせた測定装置を用いることで高い測定精度を達成することが可能となる。2012 年度から in-situ 測定装置として NDIR に加えて Cavity Ring-down Spectroscopy (CRDS) 法による測定装置を搭載した。NDIR は CO₂ 濃度のみの測定であるが CRDS は CO₂ に加え、CH₄, 水蒸気濃度を同時に測定することが可能となる。CRDS 法はレーザー光を cavity(空洞)内に閉じ込め、そこから漏れてくる光の強度の時間的な減衰を観測することで cavity 内の試料(気体)の吸収を測定する。よって cavity 内の試料濃度が高いほど減衰が速くなる。減衰の時間定数を求めることで試料濃度を算出することが可能である。本航空機観測では picarro 社の航空機観測用のモデル G1301m を搭載し CO₂, CH₄, H₂O の鉛直濃度分布を測定した。

3.1 NDIR, CRDS による CO₂ 及び CH₄ 濃度の測定結果

2013 年 1 月 8, 9, 11, 15 日の 4 日間にわたり GOSAT 検証のための航空機観測を行った。4 フライトのうち 2 フライトをつくば上空 (1 月 8, 11 日)、残りの 2 フライトは佐賀上空での観測を行った。図

1 に日本における航空機観測点を示す。CRDS は本年度から搭載されたため NDIR 測定の配管を分岐する形で大気を導入した。picarro 社の CRDS は 300 – 1000 Torr (40 – 133 kPa) の気圧での測定が保障されているがこの圧力範囲より低い気圧では測定が不可能である。温室効果ガスのカラム量を求めるためには対流圏界面付近での温室効果ガスの濃度変動の正しい知見を得る必要がある。そこで本観測では CRDS の前段にダイヤフラムポンプを設置して採集した大気を加圧することで 300 Torr 以下の気圧における測定を可能にした。beechcraft king air200T の最高到達高度は約 10 km であり対流圏界面付近における CRDS による in situ 測定に初めて成功した。

図 2(a)(b) は 1/11, 15 における CRDS による CO₂ の時系列を cavity 圧力、飛行高度とともに示した。図 2(a) から高度 30000 ft. 付近で cavity 圧が 140 torr より低くなっていることが分かる。CRDS では cavity 圧の変動が濃度に影響を与えるため cavity 圧の安定化が非常に重要である。図 2(a) では 12:00 から 12:30 にかけて cavity 圧が大きく上昇し 145 torr に達している。これに比例して CO₂ 濃度も同様の変動を示しているが、実際に大気の変動を表しているわけではなく cavity 圧が変動した影響によるものである。図 2(b) は 1/15 の佐賀上空のフライトの測定データである。図 2(a) と比較すると 11:50 付近で 142 torr まで上昇がみられるが cavity 圧は概ね安定していることが分かる。これは CRDS の前段に配置したニードルバルブを調整したためである。これによって鉛直分布を測定するスパイラル降下中に cavity 圧は安定し CO₂, CH₄, H₂O 濃度を正確に求めることが可能となった。図 3(a)(b) に 1/8, 1/15 の CO₂, CH₄ の鉛直分布を示す。1/8 の鉛直分布では 8km 付近に CO₂, CH₄ 濃度に上述の cavity 圧の変動による影響がみられる。1/15 は cavity 圧の変動による影響は見られず CO₂ では NDIR, CRDS, sampling 値が良い一致を示している。CH₄ については CRDS, sampling はよく一致している。

3.2 つくばにおける 2009 年から 2012 年の GOSAT SWIR データ時系列

図 4 に 2009 年から 2012 年のつくばにおける GOSAT SWIR データと航空機データの時系列である。上段が CO₂、下段が CH₄ をそれぞれ示す。CO₂ の時系列は植物活動の影響から起こる季節変化を繰り返しつつ化石燃料の消費、土地利用の変化（森林破壊、セメント生産等）による増加がみられる。CH₄ の放出源は湿地や水田から、あるいは家畜及び天然ガスの生産やバイオマス燃焼など多岐にわたり 19 世紀初旬から増加を続けてきた。21 世紀初頭に増加率の鈍化が報告されたがその後再び高い増加率を示すようになった（Sussmann, Forster, Rettinger, & Bousquet, 2012）。SCIAMACHY (SCanning Imaging Absorption spectroMeter for Atmospheric CHartographY) を用いたトレンド解析では 2006 – 2009 年における CH₄ 濃度の年増加率は約 7 ppb である。図 4 の CH₄ の GOSAT データについて年増加率を計算すると 8.3 ppb であり SCIAMACHY から算出される増加率とよく一致している。GOSAT SWIR CH₄ ver. 01 は負のバイアスがあることが報告されているが、ver. 02 では 7bbp 程度のバイアスと 12 ppb 程度のばらつきがあることが報告されている。GOSAT CH₄ (ver. 02) データから CH₄ の経年変化に関してより詳細な解析が可能であることが明らかになった。

4. まとめ

GOSAT 及び高分解能地上 FTS 検定のための航空機観測が JAXA、NIES 共同で 2009 年より継続して行われてきた。とくにつくばにおける航空機と高分解能地上 FTS の CO₂ 並びに CH₄ の検証結果は TCCON の校正に採用されている (Wunch et al., 2010)。このような継続した航空機観測を行うことで高分解能地上 FTS 並びに GOSAT の観測データの検証が可能となり、高分解能地上 FTS、衛星搭載測器の健全性が保たれている。また SWIR から導出される CH₄ 濃度は ver. 02 においては現在複数の報告がなされている増加傾向が確認された。またその年増加率は他の文献値とも良い一致を示し更なる解析が期待される。

Reference

- [1] Sussmann, R., Forster, F., Rettinger, M., & Bousquet, P. (2012). Renewed methane increase for five years (2007–2011) observed by solar FTIR spectrometry. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(11), 4885–4891. doi:10.5194/acp-12-4885-2012
- [2] GOSAT GUIG プロダクト情報の検証結果：
https://data.gosat.nies.go.jp/GosatWebDds/productorder/desc/auth/doc_ja_RAAOdocdist.html
- [3] Wunch, D., Toon, G. C., Wennberg, P. O., Wofsy, S. C., Stephens, B. B., Fischer, M. L., & Uchino, O. (2010). Calibration of the Total Carbon Column Observing Network using aircraft profile data, 1351–1362. doi:10.5194/amt-3-1351-2010

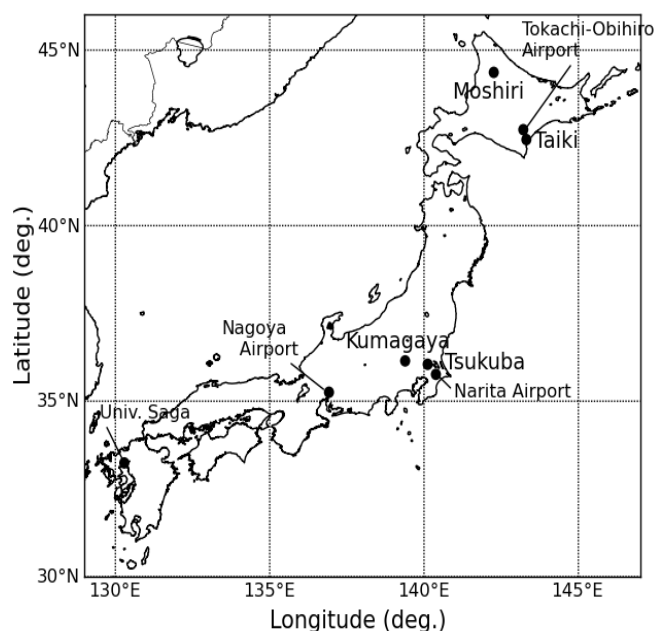


図 1. 日本における観測サイト

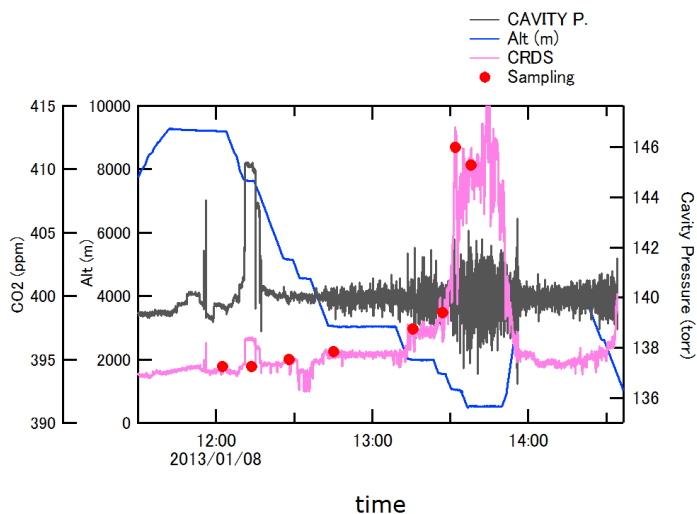


図 2. (a) CO₂ 濃度 (CRDS)、高度、cavity 圧の時系列 (2013/1/8)

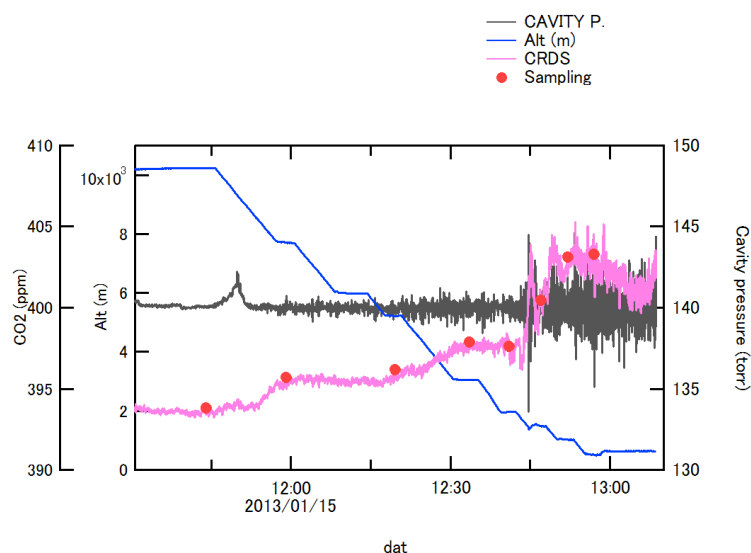


図 2. (b) CO₂ 濃度 (CRDS)、高度、cavity 圧の時系列 (2013/1/15)

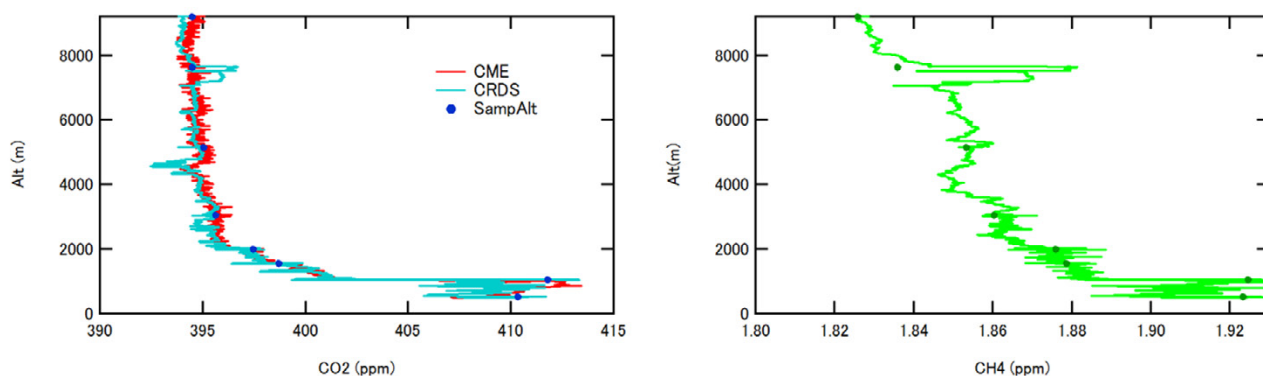


図 3. (a) CO₂ (左)、CH₄ (右) 濃度の鉛直分布 (2013/1/8)

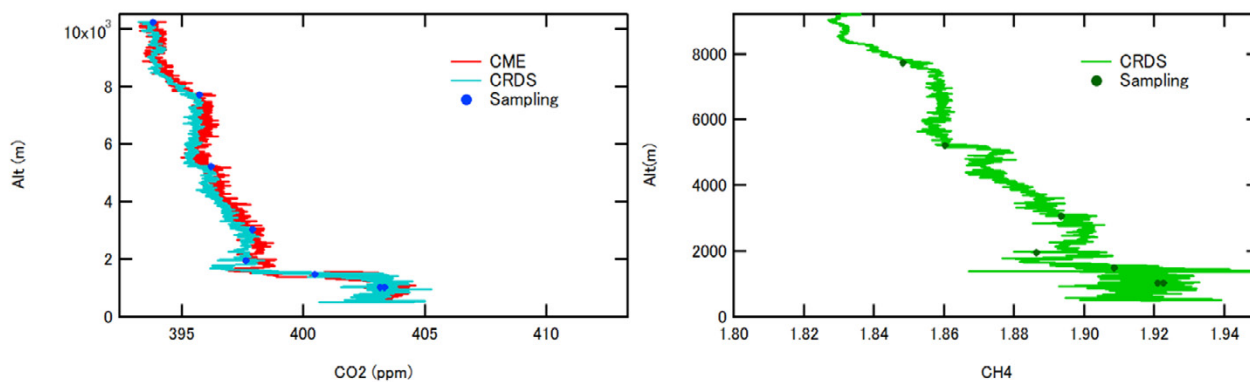


図 3. (b) CO₂ (左)、CH₄(右) 濃度の鉛直分布 (2013/1/15)

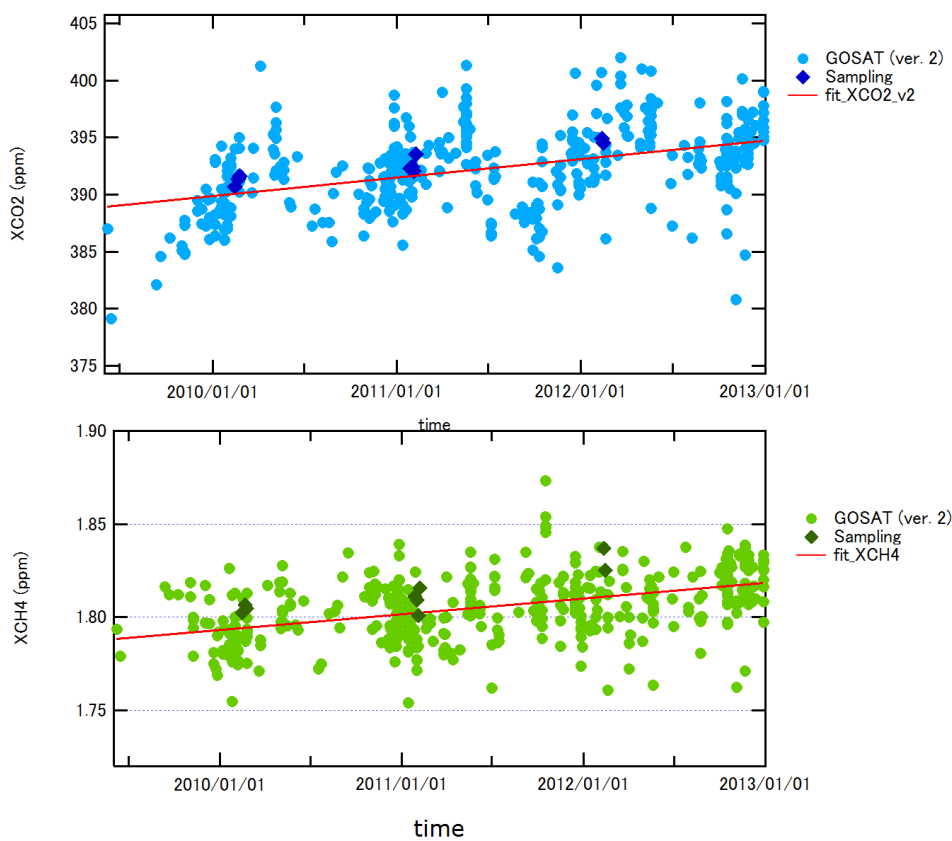


図 4. つくばにおける GOSAT SWIR と航空機観測値の時系列：CO₂ (上), CH₄ (下)

2.4 GOSAT-TIR スペクトルを用いた外向き長波長放射の推定

境澤大亮

1. はじめに

温室効果ガス観測技術衛星（Greenhouse gasses Observing SATellite: GOSAT）は、太陽光の地表散乱スペクトルを観測し温室効果ガスである二酸化炭素、メタンの全球観測を目的としている。GOSATには雲エアロゾル検知のためのイメージャ（Cloud Aerosol Imager: CAI）、地表で散乱された太陽光の透過スペクトルを 0.2cm で観測するフーリエ干渉計（Fourier Transform Spectrometer: FTS）が搭載されている。

FTS はバンド 1～4 の観測波数帯域を有しており、バンド 1（12900 cm⁻¹～11320 cm⁻¹）は可視域、バンド 2、3（5800 cm⁻¹～6400 cm⁻¹, 4800 cm⁻¹～5200 cm⁻¹）は短波長赤外、そしてバンド 4（700 cm⁻¹～1800 cm⁻¹）は赤外域の観測を行っている。本研究ではバンド 4 の赤外スペクトルから地球の放射収支に関する外向き長波長放射の推定を行った。

2. 外向き長波長放射（Outgoing longwave radiation: OLR）

OLR は大気上端の熱赤外の放射輝度を全波数・全立体角にわたって積分し得られ、太陽放射による入力、地表・海洋で反射する太陽放射と同様、放射収支を構成する。OLR は気象衛星や他の観測衛星等でも取得されており、熱赤外域で 14.4um, 13.4um, 6.7um, 4.52um の放射輝度をパラメータとした回帰式により推定されている（Ellingson et al. 1989）。

一方、GOSAT-FTS では地球大気・地球表層からの熱放射スペクトルを直接、広範に 0.2cm⁻¹ の波数分解能で取得している。その反面 700cm⁻¹ 以下は非観測領域であり、2000cm⁻¹ 付近も含めると、非観測波数領域が OLR に占める割合が 50% 程度に及ぶ。そこで FTS-TIR の微細なスペクトル観測データを利用し、非観測域のスペクトルを観測スペクトルで推定したのち OLR を推定する方法を検討した。

3. GOSAT-TIR OLR モデル

非観測域のスペクトルであっても、GOSAT-TIR で取得されているスペクトルと同じ物理過程に従っている。これを利用して放射伝達計算で赤外波数全域のスペクトルを求め、GOSAT-TIR の観測域と非観測域のスペクトルの相関をとり、非観測域のスペクトルを推定するための回帰式を以下のように設定した（H. Lee et al. 2010）。

$$\ln(Lv(\lambda)) \equiv \sum_{i=0}^1 a_i \ln(L_{GOSAT}(\lambda)^i)$$

$Lv(\lambda)$ は推定しようとしている観測域のスペクトル、 a_0, a_1 は回帰係数、 $L_{GOSAT}(\lambda)$ は非観測域スペクトルの変化量に対して最も相関の高い TIR バンドの観測値である。放射輝度のデータセットは LBLRTM の放射伝達コードを用いて 25cm⁻¹ から 3000cm⁻¹ を 0.2cm⁻¹ 刻みで求めた。使用した気象場は NCEP、ECMWF 再解析データを使用した。

取得した係数データテーブルを用いて、NCEP、ECMWF 双方で係数取得に利用したものとは異なる

る大気データで比較を実施した結果 Fig.1, Fig.2 のような結果が得られており、差分や偏差の値も $1\text{W}/\text{m}^2$ と気象データ間での差異は少なく、安定した結果が得られた。

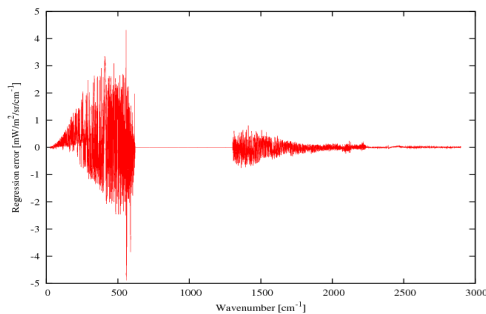


Fig.1. Spectral radiance regression error

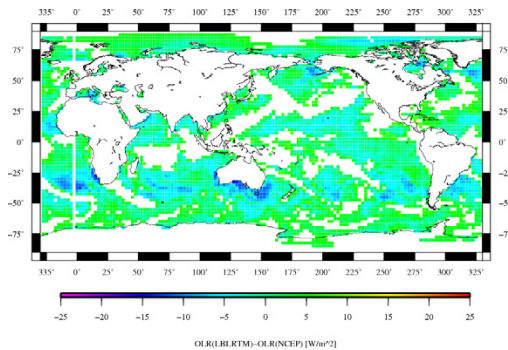


Fig.2. Residual error of OLR

4. 比較結果

係数データをもとに GOSAT TIR スペクトルから OLR を求め、AIRS で取得した OLR との差分、偏差を求めた。差分と偏差を求めるにあたって、AIRS 衛星観測点と GOSAT 観測点の時空間データのマッチング (+/-3 時間以内、距離 50km 以下) を行っている。比較対象データは雲のないクリアす会の条件に限定して比較した。図 3 に示すように GOSAT-TIR より求めた OLR は AIRS で取得された値と比較して負のオフセットを持っており、おおよそ $4\text{W}/\text{m}^2$ である。一方双方の相関は極めて高く、相関係数 0.99 以上で得られた。

5. まとめ

GOSAT-FTS-TIR のスペクトル構造を利用して、外向き長波長放射 (outgoing longwave radiation: OLR) の推定を検討した。得られた結果を他衛星データと比較し、相関係数 0.99 以上、オフセット値として $-4\text{W}/\text{m}^2$ 程度で得られた。

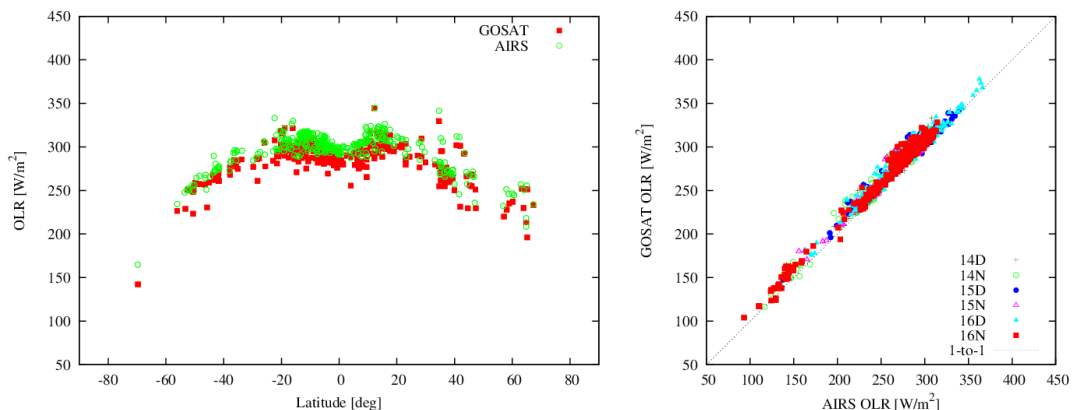


Fig. 4. Inter-Satellite comparison of oLR

2.5 TANSO-FTS 信号増幅回路における非線形要因解析と補正アルゴリズムの開発

須藤洋志

1. はじめに

TANSO-FTS で観測される O₂A 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。O₂A 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 CO₂、CH₄ の導出精度に大きく寄与する。本研究は、O₂A 帯の非線形応答要因の同定および 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

平成 23 年度の研究において、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。その結果、O₂A 帯 (Band1) H ゲインにのみ実装されているローパスフィルター部で入力強度に依存した強い非線形応答が確認された。この応答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、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 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。

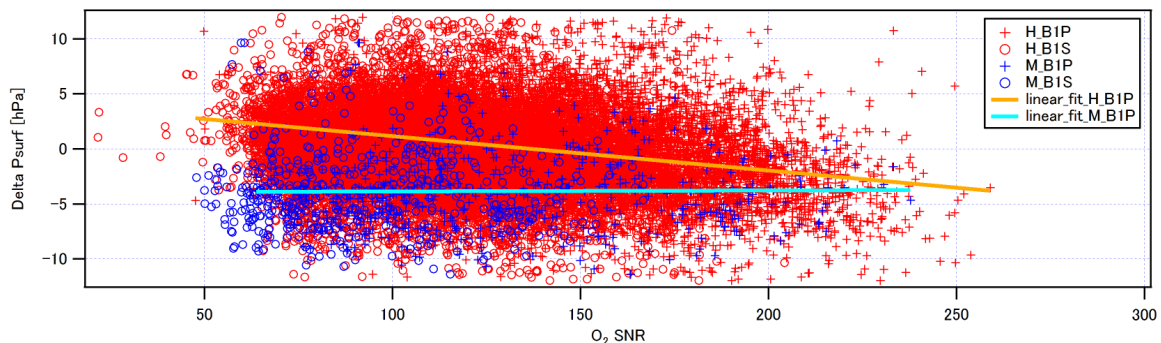


図 1. 入力光量と導出された地表面気圧と客観解析気圧の差 (Delta Psurf)

図 1 より Delta Psurf が入力光量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。南半球においては二酸化炭素の時間的濃度変動が小さいことから、同一時期においてはゲイン H、M の観測条件によらず、二酸化炭素の濃度は、ほぼ一定になることが期待される。そこで、同一地域を 2 種類のゲインを用いて観測し、その差を確認することを目的に、2012 年 2 月より、豪州砂漠地帯において、回帰ごとにゲイン H と M 切り替えての運用を取り入れた。その結果図 2 に示す通り、導出されたカラム二酸化炭素濃度において有意なバイアスが存在することが確認された。導出結果にゲイン依存があることは、観測された信号の中に、何らかの問題が内在していることを示唆している。

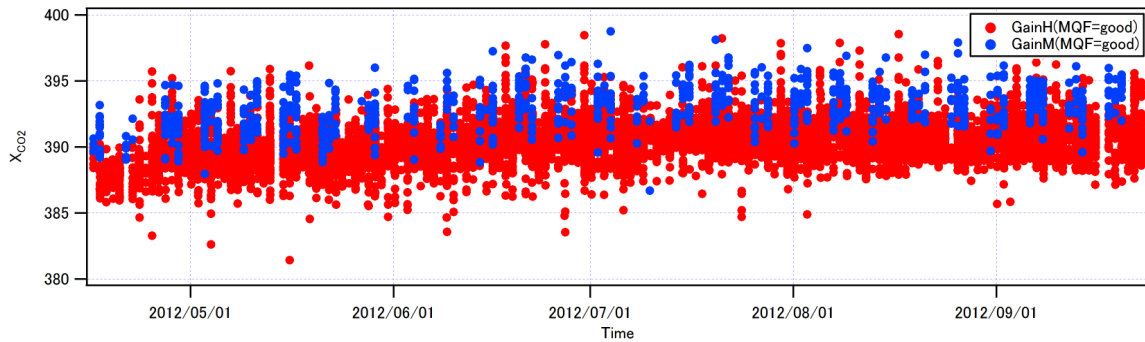


図 2. 豪州砂漠地帯におけるカラム二酸化炭素の時間変動

3. 試験による非線形要因の同定および補正アルゴリズムの検討

昨年度の試験より、信号周波数に帯域制限をかけるアナログフィルター内のコンデンサによる非線形事象を同定した。本非線形事象を補正した V150 プロダクトにおいても、1) ゲイン H におけるバイアスの輝度依存、2) ゲイン H および M 間のバイアスが存在することから、引き続き TANSO-EM を用い試験を実施した。白色光を用いた場合、軌道上事象を再現できないことから、実太陽光を観測対象とし試験を実施した。結果、アナログ回路に電源を供給する電源基板内フィルターの有無により事象の発生有無が関連づけられることを確認した。その際、観測信号の位相成分に明確に差分が発生することが判明した（図 3）。本試験を通し、吸収線を含む特定の周波数成分に対し非線形が発生していることから、特定周波数成分に対する位相補正の強化およびリサンプリングによるサンプリンググリット補正を検討した。初期解析検討の結果、位相成分に対する補正は正しく行われることが確認された。今後、ゲイン間のデータ比較および L2 導出結果に基づく、プロダクトの評価を実施する。

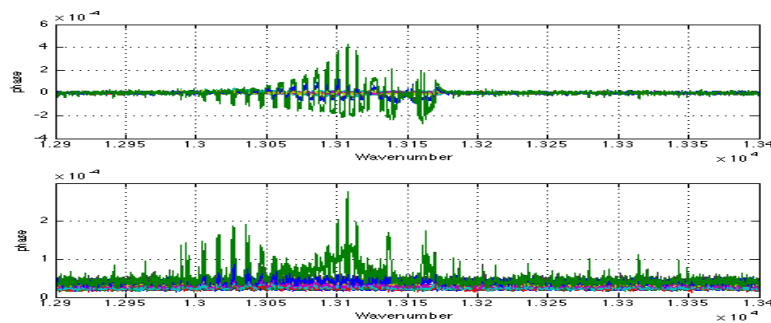


図 3. 入力輝度に依存した位相誤差の例

4. まとめ

昨年度実施の補正方法に対する問題点を抽出し、実験的に要因の同定を実施した。また、実験結果に基づく補正方法の検討を実施し、初期解析結果を導出した。

3. TRMM/GPM/EarthCARE 利用研究

3. TRMM/GPM/EarthCARE 利用研究

3.1 EarthCARE 利用研究の成果概要

沖 理子

1. はじめに

EarthCARE 利用研究は、アルゴリズム開発についてアルゴリズム試作・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 Algorithm Development Endeavour)/JMAG(Joint Mission Advisory Group)を共同運営した。これらを通じてユーザとの密な連携を継続した。

2. 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・試作を実施した。

サイエンスチームでの議論を通じて EarthCARE 委員会、ESA(欧州宇宙機関)と共同で開催する合同科学者会議(JMAG)での調整を経て、JAXA 標準・研究プロダクト案の B、C 改訂を実施した。単センサ・2 センサアルゴリズム開発については出力ツールキットを実装した Ver.0.15 を完成、3 センサ 4 センサアルゴリズムについては Ver.0.1 の開発を完了した。

② ATBD の完成

昨年度作成しホームページ等に公開した ATBD(アルゴリズム理論説明書)初版に対して、A 改訂を実施した。またサイエンスブランドラフトを完了した。

③ ESA 調整

ESA と JAXA のレベル2プロダクトの出力グリッドを共通化することで合意(日欧共同グリッド(Joint Standard Grid))した。またアルゴリズム処理で用いる ECMWF の客観解析データについて、サンプルデータを ESA より入手し、ECMWF 補助プロダクトの仕様を決定した。

④ アルゴリズムテスト計算機環境整備

Ver0.1 アルゴリズムのテスト処理環境および出力データ確認のための作図プログラム等を作成して環境を整備した。これを用いて Ver.0.1 アルゴリズムの試験処理を実施し、処理速度の計測等を実施した。

⑤ 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。一通りの開発を終えたので、バージョン1をリリースし、登録ユーザにコードの公開を行った。Joint-Simulator 利用ワークショップを開催し、使用方法のレクチャーやシミュレータによって得られる科学成果に関する議論を行った。

3. 校正・検証

打上げ後の地上検証の実施計画書を作成するために、各関係者と検証手法の調査、検討を行った。ESAとも検証スケジュールを確認するとともに、協力体制についての協議を行った。これらをもとに、次年度からの2年間をカバーする予定の第1回 EarthCARE 研究公募(検証)を発出し、海外を含む14件の研究課題を採択した。また校正と検証を含む総合的な計画案をまとめ実施調整を目的とした NICT との校正検証連絡会議を設置した。衛星軌道との関係が重要となる、いわゆるスーパーサイト候補地の検討を行った。

4. 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。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している。

② 第1回 EarthCARE 研究公募(検証)の発出とPI選定

前述のように、打上げ後の地上検証実施計画書を作成するため、地上検証課題募集の第1回研究公募を発出し、14件の課題を採択した。

③ 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7月に委員会を開催し、地上検証、気候モデル関連の委員を拡充した。

④ ESA との合同アルゴリズム開発会議 (JADE: Joint Algorithm Development Endeavor) および合同科学者会議 (JMAG: Joint Mission Advisory Group)

ESA(欧州宇宙機関)と共同で、合同アルゴリズム開発会議 (JADE) および合同科学者会議 (JMAG) の運営を実施した。日欧共同プロダクトリストが承認された。

⑤ EarthCARE、CALIPSO、CloudSat 国際ワークショップの開催

CALIPSO、CloudSat の各サイエンスチームと合同のワークショップをパリで6月に開催した。

⑥ 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。

5. まとめ

EarthCARE 利用研究は、アルゴリズム Ver0.15 版の提出、第1回研究公募(検証)の実施とPI選定、Joint-シミュレータの開発・公開といった年度当初の計画案件を計画通りに実行することができた。またESAと協力して開催する EarthCARE 国際ワークショップを通じて国内外の研究者・利用者に EarthCARE を広く認知してもらうことで、利用者拡大に努めた。EarthCARE 委員会においては気候モデルコミュニティとの更なる連携強化につとめた。

3.2 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、及び、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 単体及び CPR-ATLID 複合プロダクトに含まれている雲粒子タイプ (雲粒子の相や氷粒子の形状) を導出するアルゴリズムの開発を行っている。

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、TRMM) の解析を通してアルゴリズムの改良をすること、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、TRMM のデータを用いて、CPR の雲粒子タイプアルゴリズムの改良を行ったことである。

これまでの CPR 雲粒子タイプアルゴリズムは、CALIPSO に搭載されているライダの雲粒子タイプアルゴリズム (Yoshida et al. 2010) から導出されているが、降水識別に関しては、衛星搭載ライダではその観測が難しいため、経験的にレーダ反射因子及び気温の閾値を設定することにより識別していた (図 1 左)。今年度は、2006 年 9 月から 2007 年 8 月の TRMM 降水量プロダクトを用いて、統計的に降水識別手法を導出した。具体的には、(1) CloudSat が観測してから 10 分かつ 5km の以内に TRMM が観測したデータを抽出し、(2) 各 CloudSat ピクセルにおいて、最も近い TRMM ピクセルの降水量を選定、(3) TRMM が「降水」と判定したピクセルに対して、CloudSat のレーダ反射因子と ECMWF の気温の出現頻度分布図を元に Look-Up-Table を改良した (図 1 右)。

2006 年 11 月 21 日 17 : 26UTC 付近における CPR 雲粒子タイプ識別のケーススタディーを図 2 に示す。従来の識別では、経験的に閾値を設定したため、ある気温を境に雲粒子タイプが切り替わるという不自然な現象が起きていた (図 2 左 : 緯度 5.5°、21 ~ 23° 付近) が、今年度改良された識別では、観測したレーダ反射因子と ECMWF の気温に応じて、降水が判定されている。

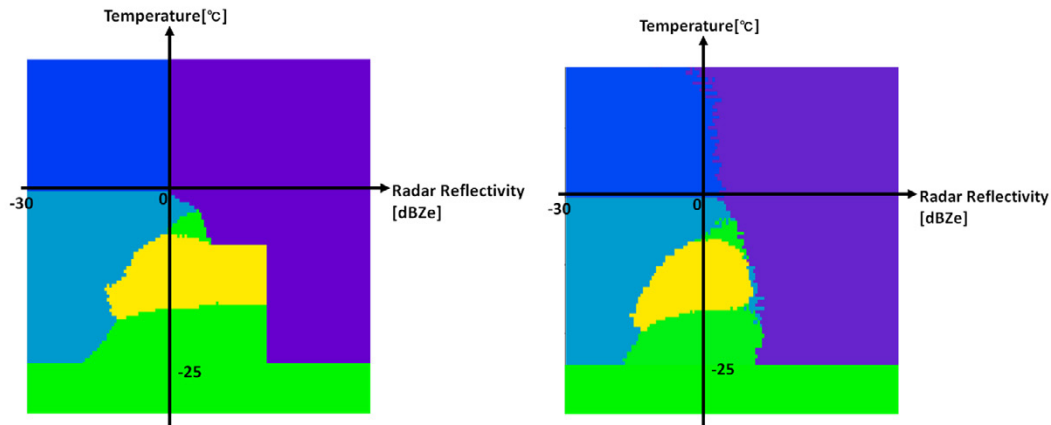


図1. レーダ雲粒子タイプ識別：(左) 従来、(右) 改良版

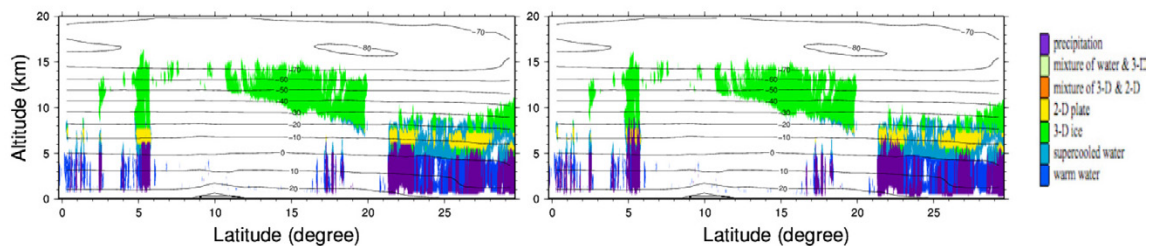


図2. 2006年11月21日17:26UTC付近における(右) 従来と(左) 改良された雲粒子タイプ識別

その他、今年度は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、EarthCAREの高次アルゴリズム開発スケジュールに沿って、ミッション運用系システム基本設計審査を完了し、高次プロダクトの仕様要求を整理した。

当初は、今年度末にI/Oツールキットが実装されたアルゴリズムのバージョン0.2が提出する予定であったが、ESAのL1b開発状況の遅延に伴い、出力ツールキットのみ組み込んだ、バージョン0.15が提出される。

また、本年度は検証RAの発出、検証計画策定準備、サイエンスチームの運営、ATBDの改訂等を行い、着実に高次アルゴリズム開発の進捗管理を行った。さらに、サイエンスチームから要求のあったECMWF補助プロダクトに関して、CloudSatによる類似プロダクトの提供実績等からその妥当性を検討し、MOS-PDR時に制定した。

4. 来年度の計画

来年度の主な計画は、今年度が開発したレーダ雲粒子タイプアルゴリズムの検証に重点を置く予定である。EarthCAREの高次アルゴリズム開発のマイルストーンでは、来年度は、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。

3.3 EarthCARE/MSI を主たる目的としたアルゴリズムの開発・検討 ～特に ECMWF 気象場データ選択での意思決定問題について～

福田 悟

1. はじめに

EarthCARE (Earth Clouds, Aerosol and Radiation Explorer) に搭載されている測器から物理量を導出するとき、補助的な入力値として気象場のデータが使われる。本ミッションでは現業処理の際に、ヨーロッパ中期予報センター (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts; ECMWF) から配信されるデータを使うことを予定している。使用の候補となるデータは2種類ある。1つは客観解析値 (Objective Analysis; AN) であり、もう1つは予報値 (Forecast; FC) である。ANとFCにはそれぞれメリットとデメリットがある。ANは6時間毎のデータしか入手できないので、内挿に伴う誤差が大きいと考えられるが、予報による誤差はない。一方、FCは1時間毎の値が入手可能なので内挿に伴う誤差が少ないが、予報によって引き起こされる誤差が存在する。そこで本研究では、これら2つの誤差を定義・比較し、EarthCAREの現業処理においてどちらを使う方がよいかの検討をおこなった。

2. 使用したデータ

以下の11個の変数を検討に使用した。850hPa面の変数として、気温(T)、東西風(V)、南北風(V)、ジオポテンシャル高度(Z)の5個を用いた。そして地表面の変数として、10m高度での東西風(10U)、10m高度での南北風(V)、2m高度での温度(2T)、表面温度(SKT)、地表面気温(SP)、総雲量(TCC)の6個を用いた。解析を行った期間は、2012年4月15日から25日の11日間である。誤差の評価には真値が必要であるが本研究では、真値の代用としてECMWFの再解析値(Re-Analysis; RAN)である、ERA-Interimを使用した。RANとANは00, 06, 12, 18UTCの6時間毎のみ配布されている。それ以外の時刻を利用したいときは線形内挿して使用した。FCは1時間毎の値が配布されているので、そのまま使用した。

3. 誤差の定義

本研究では、以下の2つの誤差を定義して用いた。1つ目の誤差は内挿誤差 (InterPolation Error; IPE) であり、次の式で定義される。

$$\begin{aligned} IPE(09UTC) &= RMSE(FC, AN; 09UTC) - \{RMSE(FC, AN; 06UTC) + RMSE(FC, AN; 12UTC)\}/2 \\ IPE(15UTC) &= RMSE(FC, AN; 15UTC) - \{RMSE(FC, AN; 12UTC) + RMSE(FC, AN; 18UTC)\}/2 \\ IPE &= \{IPE(09UTC) + IPE(15UTC)\}/2 \end{aligned}$$

ここで、RMSEは二乗平均誤差を取る操作を意味する。2つ目の誤差は相対予報誤差 (Relative Forecast Error; RFE) であり、次の式で定義される。

$$\begin{aligned} RFE(06UTC) &= RMSE(FC, RAN; 06UTC) - RMSE(AN, RAN; 06UTC) \\ RFE(12UTC) &= RMSE(FC, RAN; 12UTC) - RMSE(AN, RAN; 12UTC) \\ RFE(18UTC) &= RMSE(FC, RAN; 18UTC) - RMSE(AN, RAN; 18UTC) \\ RFE &= \{RMSE(06UTC) + RMSE(12UTC) + RMSE(18UTC)\}/3 \end{aligned}$$

4. 解析結果

11 個の変数のそれぞれについて、IPE と RFE を計算し、緯度平均したものを図に示す。これを見ると、U、V、10U、10V などの風速に関する変数では南緯 60 度付近に IPE のピークがあることがわかる。これは、南極周辺領域の低気圧の発達しやすい領域では風速が大きくなっており、線形内挿で風速を内挿すると誤差が大きくなってしまふことを示す。その一方で、RFE は同じ箇所にピークは見られず、低気圧の移動に起因する風速のピークは予報値を使っても十分に信頼出来るといえる。そして、SKT では南北緯 30 度付近にピークがあることがわかる。これは、昼夜の寒暖の差が大きな乾燥地帯で特に内挿による誤差が大きくなっていることに起因する。一方で RFE では同じ箇所にピークは見られないことから、乾燥地帯での昼夜の温度差に起因する SKT の変動は予報値を使っても十分に信頼できるといえる。

5. まとめ

本研究では、11 個の変数に対して RFE と IPE を計算し、それらの値を比較した。11 個中 10 個の変数において、IPE の方が RFE よりも大きいという結果が得られた。唯一の例外は 2m 高度での温度 (2T) で、この変数のみ RFE の方が IPE よりも大きくなった。この結果は、予報誤差よりも内挿による誤差の方が大きいということの意味する。従って、EarthCARE の現業処理においては客観解析値よりも予報値をもちいる方が気象場データから伝播する誤差を軽減できるということが結論づけられる。

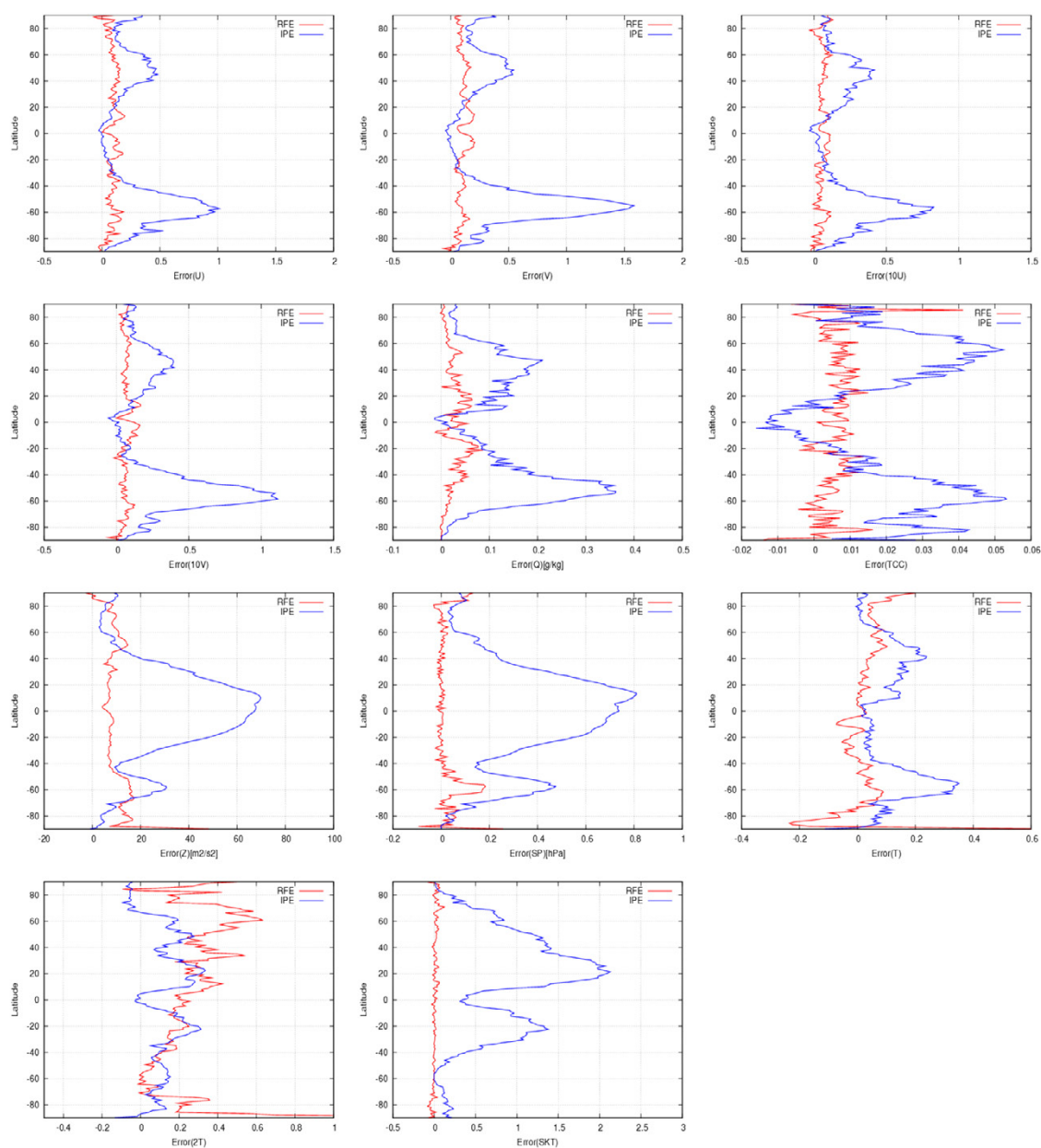


図. 相対予報誤差と内挿誤差の緯度平均値を示す。横軸は各物理量、縦軸は緯度である。赤線が相対予報誤差 (RFE) を示し、青線が内挿誤差 (IPE) を表す。左上から右下に向かって、東西風 U(850hPa)、南北風 V(850hPa)、地上 10m 高度での東西風 10U(surface)、地上 10m 高度での南北風 10V(surface)、比湿 Q(850hPa)、総雲量 TCC(surface)、ジオポテンシャル高度 Z(850hPa)、地表面気圧 SP(surface)、気温 T(850hPa)、2m 高度での温度 2T(surface)、表面温度 SKT(surface) である。

3.4 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 2012 年 11 月末で運用 16 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その精度向上、地球科学研究、利用促進を行った。2013 年度に打上げが計画されている全球降水観測 (GPM) ミッションについては、利用研究系システムの開発として、アルゴリズム開発、校正検証を行うとともに、GPM データの利用につなげるため TRMM 等データを利用して地球科学研究、利用促進の研究活動を実施した。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、気候等の分野への貢献のため、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。2012 年 5 月には ARC の経年劣化による故障があったが、故障個所の交換により、修理後も良好な校正データを取得できていることを確認した。

また気候変動研究のための、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、評価を実施した。直下付近のみのデータを用いることで 15 年連続したデータセットを作成できる目途を得た。

PR 推定降雨が多くの場合に地上測器によるデータに比して過小評価傾向である問題について、日本のアメダス雨量計を用いた比較検討を行った。その結果として、リトリバル誤差が、総降水量 (すなわち地域および季節) に依る関係が明らかになった。その主な原因として、PR が観測可能な最低高度から地上降水量を推定する際に用いているアルゴリズムでの仮定が考えられ、次回アルゴリズム改訂と GPM/DPR アルゴリズムへの反映を今後検討する。

(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 時間で世界の雨分布データを提供した。昨年度から今年度にかけて、利用者が大幅に増加し、2013 年 2 月末の利用登録者数は 450 件となった。このうちには、将来商用利用可能性のある利用も 3 件含まれている。

また以前より要求が多かった同一アルゴリズムによる長期再解析プロダクトの作成を行い、ユーザーの利便性も考慮したテキスト版での提供も含め、そのデータを公開した。GSMaP アルゴリズムの改良も実施しており、アルゴリズム開発関係者への雨量計補正版試験公開を行った (2012 年 11 月)。GCOM-W1/AMSR2 データの導入準備を行った。

3. TRMM/GPM/EarthCARE 利用研究

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 ato-launch 初期版を完成した。

DPR レベル 1 アルゴリズムについては、センサ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、長時間軌道データを用いた疑似データの作成、これらを含めたアルゴリズムの機能評価を行った。

DPR レベル 2 アルゴリズムは、コードの統合・管理、および模擬 DPR レベル 1 データの作成、模擬データを用いた Ku/Ka/DPR-L2 アルゴリズムの評価を実施した。

GPM 用 GSMaP アルゴリズムの開発は、各モジュールの開発、それらのインテグレーション、地上系システムとのインターフェース追加等を実施した。

なお DPR レベル 2 および DPR/GMI 複合アルゴリズムに関しては、日米合同独立 GPM アルゴリズム評価会での審査を受けた(平成 25 年 3 月)。

(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に、GPM では打上げ前地上観測を実施している。これまで沖縄、筑波、長岡、富士山と実施してきたが、今年度は乾雪の観測を目的として、札幌での観測を実施した。前年の長岡観測の湿雪の事例について解析を進めた。湿雪は降水推定アルゴリズム中の k-Ze 関係、融解層中での減衰の計算に大きく影響する。来年度前半までに地上気温別の k-Ze 関係と分散、粒子パラメータとの関係をまとめ、アルゴリズム開発チームへ提供する。

また来年度の秋に実施する融解層観測について検討を実施し、観測地を地形条件、融解層の出現頻度、観測場所確保やアクセス性を考慮して、蔵王と決定した。

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

第 6 回降水ミッション科学研究公募に基づく共同研究等を通じて、TRMM データを用いた水循環変動等に係る応用研究を継続した。今年度は、平成 22 年 4 月から開始した共同研究の最終年度で、19 件を実施した。

同時に、来年度からの共同研究のため、第 7 回の研究公募を発出し、GPM の課題と合わせて 28 件を採択した。

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、共同研究を開始した。

(2) TRMM15 周年記念シンポジウムと第 4 回 TRMM/GPM 国際サイエンス会議の開催

TRMM の長期データによる科学的成果を一般に広く知ってもらうため、科学と水資源管理の実利用の観点から、「水惑星の安心を支える」と題して TRMM15 周年記念シンポジウムを開催し、230 名を超える参加者を得た。また研究者を対象とした国際サイエンス会議を同時期に開催し、参加者は 150 名を超えた。日米欧の研究者のみならず、アジア各国からの参加が多くあり、アジアでの衛星降

水データの利用が着実に進行している。

(3) GSMaP の利用に関する共同研究等

JAXA 約款による試行利用 3 件 (民間企業)、民間企業との共同研究 2 件、国内外の研究機関・省庁との協定や受託業務 9 件、広報目的の利用 2 件へのデータ提供を実施した。

日本気象協会との共同研究では、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 コンシェル海外天気サービスで、GSMaP 降雨画像が公開されている。

土木研究所および IDI(国際洪水ネットワーク (IFNet) 事務局)との三者協定の下では、パキスタンを対象地域として、利用推進センター (SAPC) が参加しているユネスコの受託業務「ユネスコパキスタン洪水管理支援プロジェクト」業務とも連携して、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。

広報目的では、日本科学未来館、「触れる地球」プロジェクトへのデータ提供を行った。

(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. 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。今年度は SAPC と協力して国内委員会を開催した。

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。

6. 今後の予定

GPM については来年度は打上げを迎えることから、アルゴリズムに関してはそれぞれの at-launch コード最終版の開発を実施する。また打上げ後の初期画像公開やデータ校正検証といった、直後の活動への準備を行う。

3.5 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、今年度中の打ち上げ時アルゴリズム（初版）提出に向けて着実にアルゴリズム開発を推進する。また、より現実的な降水分布を仮定した DPR Level-1 模擬データの開発も行う。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（初版）の開発を推進する。Joint-Simulator は開発の進捗管理を行い、今年度中にリリース版を作成・公開する。

3. 今年度の研究成果

2012 年 12 月に、DPR Level-2 の打ち上げ時アルゴリズム初版（Ver. 3 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 VER に組み込み、模擬データにより VER モジュールが正常に機能していることを確認した。本内容について、IGARSS2012、Joint EarthCARE Workshop 2012 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。今年度は固体・融解降水層、非降水粒子による減衰、Ka 帯の地表面散乱のシミュレーションを組み込んだ。さらに本模擬データを用いた DPR Level-2 アルゴリズム評価も行った。本内容について、ICSANE2012 で学会発表を行った。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。この模擬データは来年度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る予定である。

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（初版）を開発して 2013 年 1 月にミッション運用系に提出した。また Megha-Tropiques/MADRAS の利用検討も実施した。本内容に関連して、SPIE Asia-Pacific Remote Sensing 2012,

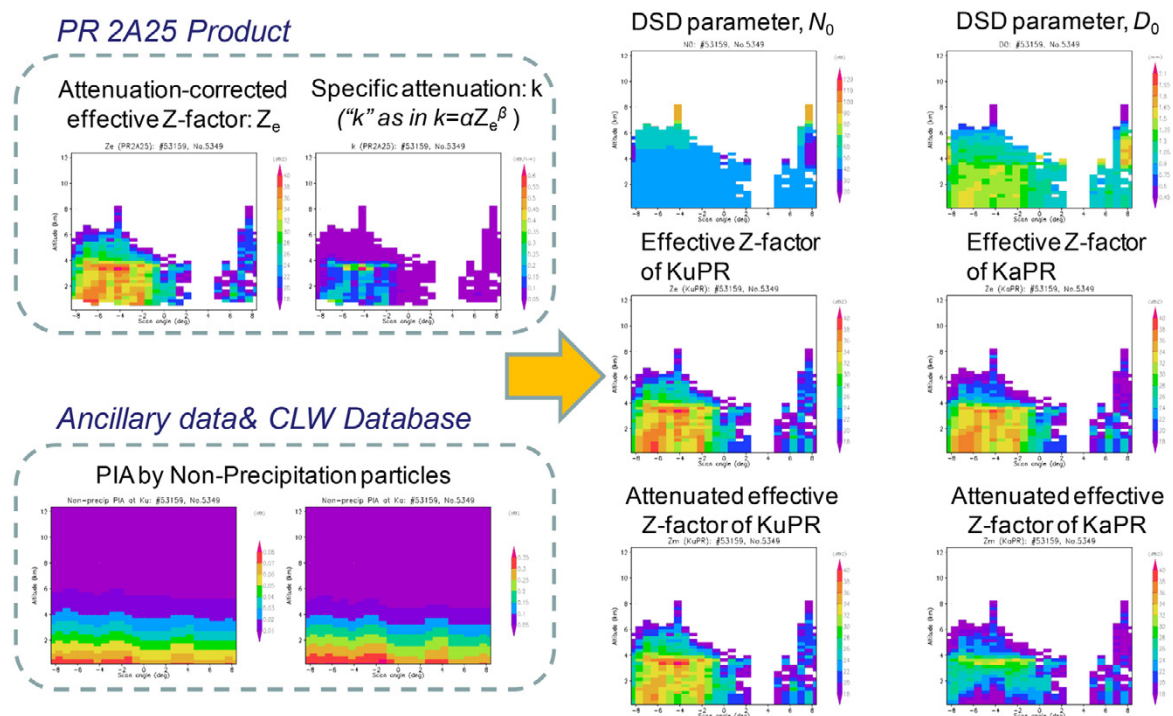
JpGU2012, 4th TRMM/ GPM International Science Conference で学会発表を行った。

Joint-Simulator は、2012 年 10 月にリリース版を作成・公開し、さらに、公開の周知ならびに利用促進を目的として、2013 年 1 月に「Joint-Simulator 利用ワークショップ」を開催した。

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、打ち上げ時アルゴリズム（最終版）に向けてアルゴリズム開発を継続する。DPR 模擬データによる 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への利用可能性を検討する。

An example of the synthetic data at vertical cross sections



TRMM/PR から計算した GPM/DPR 模擬データを作成した例。図は鉛直断面図で示す。

今年度は固体・融解降水層、非降水粒子による減衰、地表面散乱のシミュレーションを組み込んだ。

3.6 GPM/DPR L2 アルゴリズム開発と GPM/ 全球降水マップアルゴリズムの開発

木田智史

1. はじめに

全球降水観測 (GPM) 計画は、熱帯降雨観測衛星 TRMM の後継ミッションとして、JAXA・NICT が開発した二周波降水レーダ (DPR) と GPM マイクロ波サウンダ (GMI) を搭載した GPM 主衛星とマイクロ波放射計 (イメージャ/サウンダ) を搭載した複数の衛星群により、衛星による全球の降水観測を行う計画である。全球の降水観測を精度良く行うには、DPR や GMI などのセンサが観測した物理量を降水強度に変換する降水推定アルゴリズムが重要である。本研究では、より精度の良い GPM/DPR L2 アルゴリズムおよび、GPM/ 全球降水マップアルゴリズムの開発を行うことを目的とする。

2. 今年度の研究の概要と成果

2.1 GPM/DPR L2 アルゴリズムの開発

DPR L2 アルゴリズムの開発では、地表近傍の降水プロファイルの推定手法の研究・開発を行った。DPR は、地表からのクラッタの影響を受けるため地表近傍の降水を直接観測することはできない。これは TRMM/PR も同様であり、直下付近では地表から高度 500m 程度、また、走査端付近では高度 1750m 程度まで地表面クラッタの影響を受ける。このように PR は走査角によって降水の観測可能な高度が異なる。降水の直接観測できない領域では、地表近傍では蒸発による降水強度が地表面に向かって減少する簡易な降水モデルを用いているため、地域によっては誤差の大きな原因となっている。そのため、地表近傍の降水モデルを確立することは、降水推定精度の向上において重要である。本年度は、現在の降水強度の減少モデルがどの程度妥当であるかを検証するために、PR の地表近傍 (高度 2km と 500m) の降水量の違いを走査端付近と直下付近の 2 つに分けて解析を行った。

図 1 は TRMM/PR の直下付近および走査端付近で、高度 2km の降水量に対する 500m の降水量の違いを表したものである。地表近傍の高さの降水量の変化の走査角依存性を調べた結果である。PR の走査端付近では、2km より下層の降水はほとんど地表面クラッタで隠れてしまうため、降水強度を減少させるモデルにより全域にわたって降水量が減少している (図 1a) 一方で、直下付近では、山岳域、中緯度、大陸西側の海洋上などで降水量が増加しており、大部分の陸域や海洋大陸で降水量が減少していることが分かった (図 1b)。この様に、直下付近で降水量が増加している領域では、降水強度を減少させるモデルは誤差を大きくするため、新しい地表近傍の降水モデルを導入する必要があると考えられる。

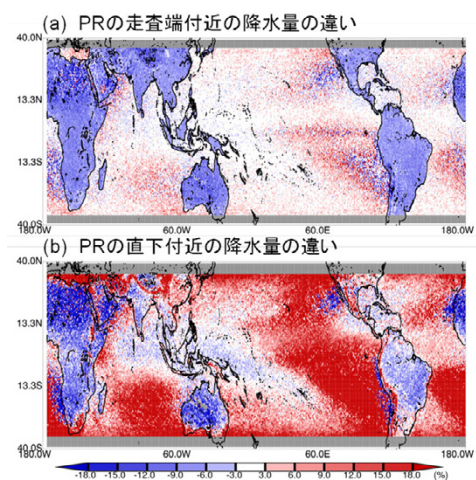


図 1. PR の (a) 走査端付近と (b) 直下付近のデータを用いた高度 2km の降水量に対する高度 500m の降水量の違い。

2.2 GPM/ 全球降水マップアルゴリズムの開発

本年度は、衛星搭載マイクロ波サウンダにおける陸上降水推定手法の開発と GPM 打ち上げ前降水推定アルゴリズム (at-launch コード) の開発を行った。陸上降水推定手法の開発では、高周波数帯 (89GHz、150GHz、183GHz 帯) を利用した陸上降水判定手法を開発し、PR の降水量との比較を行った。その結果、従来の手法に比べて、降水量や降水頻度が改善された。At-launch コードの開発では、GSMaP 準リアルタイムアルゴリズムをベースに、開発した陸上降水推定手法を導入し、さらにマイクロ波イメージアルゴリズムで研究・開発中の地形性降水推定アルゴリズムや新しい放射伝達モデルなどの、各要素をマイクロ波サウンダアルゴリズムに適用した (図 2)。

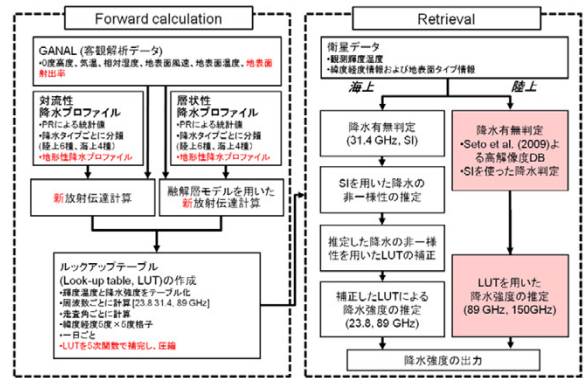


図 2. マイクロ波サウンダ用 GPM 打ち上げ前降水推定アルゴリズムのフローチャート。赤い部分が準リアルタイムアルゴリズムからの新規開発部分。

2.3 TRMM の軌道変更の影響を小さくした PR 降水プロダクト検討

PR は 15 年以上に亘って降水を観測し続けた成果によって、DPR の打ち上げ後には、非常に長期の連続した降水レーダによるデータを得ることが期待されている。そのため、この長期の降水データを用いた気候学的な研究が注目されている。しかしながら、TRMM 衛星は観測期間を延ばすために 2001 年 8 月に軌道高度を上昇させたため、軌道変更前後で PR の観測降水量に不連続が生じていることが指摘されている。気候学的な研究を行うにはこの不連続の大きさを検討し、補正したデータセットの作成が必要である。そのため、本研究では軌道変更前の TRMM PR のデータを用いて、軌道変更後のデータ品質をシミュレーションすることで、軌道変更前後における降水量への影響の大きさを調べ、気候学的な研究を行うためのデータセットの検討を行った。

図 3 は、軌道変更前の 2000 年 1 月から 12 月までのデータを用いて軌道変更後の感度低下をシミュレーションし、オリジナルデータとの海上の降水量の変化量の分布を表している。海上全体の平均降水量ではオリジナルに比べて 1.90% の減少が見られた。一方で、西太平洋の海洋大陸域では平均で 1.30% の減少量に対して、南米大陸西側では約 5.27% の減少が見られるように、地域により異なる特徴が見られることが分かった。

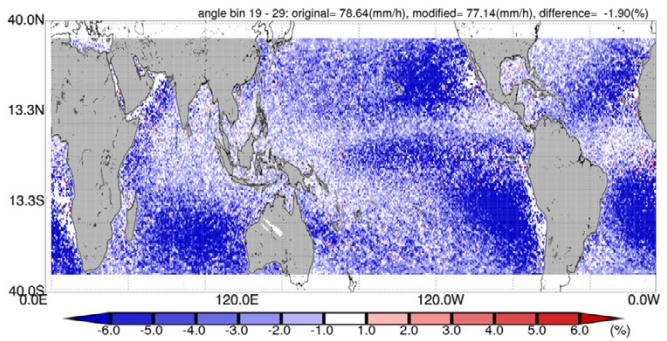


図 3. PR2A25 の軌道変更後の感度低下をシミュレーションしたデータによる降水量の変化

4. 今後の研究計画

DPR L2 アルゴリズム開発では、中緯度や山岳域などの地表近傍で降水強度が増加している領域に対して、TRMM/PR における地表面近傍の降水プロファイルデータを、降水タイプや地表面状態などの状況に分けてより詳細な解析を行い、地表面クラッタ内の降水プロファイルのモデルの開発を行う。

GPM/ 全球降水マップアルゴリズムの開発では、開発した at-launch コードの長期的な検証を行い、打ち上げ時アルゴリズムに向けた開発・改良を行う。

TRMM の軌道変更の影響を小さくした PR 降水プロダクト検討では、陸上における感度低下シミュレーションを用いて、感度低下による降水量の影響を調べる。また、海上と陸上を合わせて不連続性を軽減させた長期補正データセットの作成を行う。

3.7 DPR L1B アルゴリズム開発

正木岳志

1. はじめに

2013 年度に打上げが予定されている全球降水観測計画（GPM）主衛星には、異なる 2 つの周波数帯（Ku 帯：13.6GHz、Ka 帯：35.5GHz）のレーダ「二周波降水レーダ（DPR）」が搭載されることにより、現行の TRMM 搭載の降雨レーダ（PR）と比較して、弱い降水から強い降雪を含めたより高精度な降雨観測が可能となる。さらに国際パートナー機関におけるマイクロ波放射計を搭載した複数の副衛星とともに衛星群（constellation）を形成することにより、全球降水観測を迅速かつ定常的に実施することが可能となる。このようにして得られる全球の高精度・高頻度な降水観測プロダクトの中でも DPR レベル 1B（L1B）プロダクトにおいては、その精度が高次プロダクトへ直接的・間接的に波及するため、工学値を算出する L1B アルゴリズムの十分かつ確実な開発が求められる。これまでに利用研究が主体となって着実に開発を進めてきた当該アルゴリズムは、昨年度までに保有すべき機能の 90% までの開発が完了しており、今年度は全機能の実装を目的とする。

2. 今年度の計画

昨年度までに開発が完了している Ver.2 を継続的に改良し、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を行う。また、地上試験結果及び NASA 提供の長時間軌道データをベースとした疑似データを作成し、アルゴリズム機能検証評価を行った上で 2012 年 11 月末に At-launch code として地上系チームへ提出する。

3. 今年度の目標達成率及び成果

アルゴリズム開発においては、プロジェクトチーム、ハードウェア開発メーカ、地上系チーム、地上系開発メーカ、NASA と情報交換並びに協力し、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を主とした種々の機能追加及び改良を行った。

一方、アルゴリズム検証評価においては、地上試験結果や TRMM PR の実測値をベースとした疑似データを作成し、現在利用検討委員会で承認されている打上げ時前の目標精度が達成されていることを確認した。加えて、アルゴリズムロバスト性検証の一環として、NASA 提供の長時間軌道データをベースとした疑似データを作成し、年月跨ぎ並びに閏秒補正処理が正常に機能していることを確認した（図 1）。尚、昨年度まで地上系チームへ依頼していた L0 から L1A までの処理システムを今年度 EORC へ移植したことにより、疑似データ作成からアルゴリズム検証までの一貫した処理・検証が可能となり、アルゴリズム改修までの時間が格段に短縮されたことは特筆すべき点である。

これらの開発・検証を経て、2012 年 11 月末に At-launch code（Ver.3 アルゴリズム）を地上系チームへ提出した。アルゴリズムの提出に伴い JAXA 内外の GPM/DPR 関係者を対象に開催した「DPR L1B アルゴリズム報告会（2/6）」では、有意な意見交換、議論を行うことができた。当該報告会にて指摘された事項に加え、今年度確認すべき全ての評価事項については 3 月末までに検証が完了する予定であり、今年度の目標達成率は 100% となる見込みである。

さらに今年度の成果としては、「L1B アルゴリズム付加情報」を挙げることができる。具体的には、「データフォーマット書」「運用手順書」「運用時入力データ検証ツール」である。特にデータフォーマット書については、2012 年 11 月に DPR L2 アルゴリズムチーム（国内外）へ先行展開したことにより、L2 アルゴリズム開発補助情報の一つとなった。

ところで、昨年度 2011 年 7 月に Ver.7 を正式リリースした TRMM PR L1 であるが、今年度は校正検証の観点から L1 アルゴリズムの維持改訂を実施した。特に 2012 年 5 月に起きた外部校正器(ARC)の経年劣化による故障対応においては、複数回に渡り NICT との議論、調整を行った上で、故障箇所を NICT 所有の ARC と交換することで対応した。交換作業後、良好な校正データを取得できたことに加え、オフノミナルケース対応に係わるノウハウを新たに蓄積できたことは、TRMM だけでなく GPM へも繋がるものとなった。

4. 来年度への課題及び計画

来年度は GPM 主衛星の打上げ年度となる。そのため DPR L1B アルゴリズム開発としては、主に「アルゴリズムの継続的な開発」「初期チェックアウトに係わる L1 データ評価ツール作成」の 2 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、打上げに向けたいくつかの改良を加え 2013 年 4 月及び 7 月に final At-launch code (Ver.4 アルゴリズム) として地上系チームへ提出する予定である。

L1 データ評価ツール作成については、初期チェックアウト中のデータ評価解析のためのツールを事前に作成することを目的としている。尚、データ評価項目は、プロジェクトチームが主体となりまとめており、特に検討が必要な項目については L2 有識者を交えた会合を開催し詳細な検討を実施する。

加えて、打上げ前後に予定されているいくつかの審査会、確認会に対して、プロジェクトチーム、地上系チームと協力し対応する予定である。

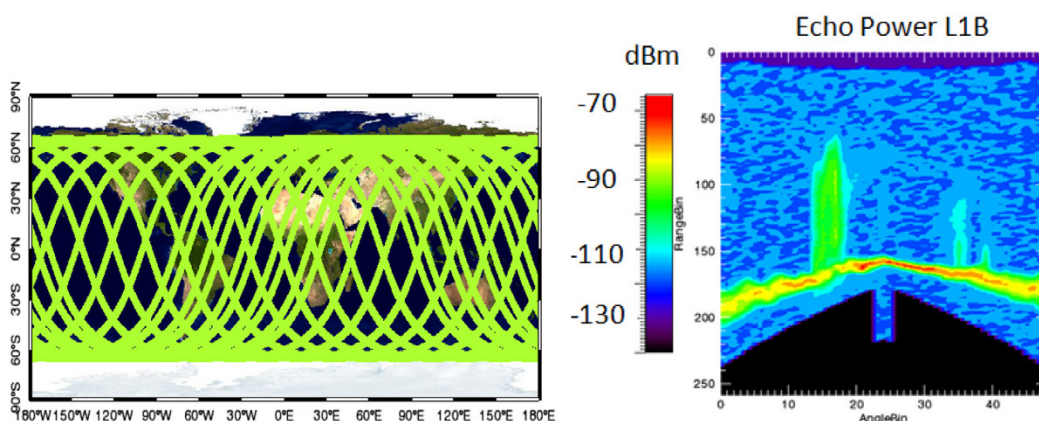


図 1. 左図：NASA 提供の長時間軌道データ
右図：TRMM PR ベースの疑似データを入力とした L1B アルゴリズム処理結果
(図は受信電力 [dBm] を示す。横軸：アングルビン、縦軸：レンジビン)

3.8 GPM/DPR プロダクト精度向上に向けた地上検証の実施

金子有紀 / 古川欣司

1. はじめに

全球降水観測（GPM）計画は、二周波降水レーダ（DPR）と GPM マイクロ波放射計（GMI）を搭載した GPM 主衛星と、マイクロ波放射計（イメージャ／サウンダ）を搭載した副衛星群により、全球の降水観測を行う計画である。このうち二周波降水レーダは、13.6GHz の Ku 帯レーダ（KuPR）と 35.5GHz の Ka 帯レーダ（KaPR）により降水を同時観測し、弱い降水や高緯度域の降雪を含む降水プロダクトを提供する。Ka 帯の衛星による降水観測は GPM が世界初である。

Ku 帯や Ka 帯では降水粒子による電波の減衰があるが、特に、Ka 帯では減衰が大きい。そのため、降水プロファイルを見積もるためには、観測されたレーダ反射因子から減衰補正を行って、真のレーダ反射因子を計算する必要がある。減衰補正を計算するアルゴリズム中で用いられる計算パラメータや物理モデルなどの比較評価・検証のため、打ち上げ前から地上検証用の二台の Ka レーダを用いた地上観測を行い、プロダクトの精度を高めることに貢献する。

2. 今年度の研究計画

（実験の実施）GPM 地上検証計画に従い、5 月に新潟県長岡市防災科学技術研究所より北海道札幌市北海道大学低温科学研究所に Ka レーダおよび気象測器を移動し、6 月に設置、調整、較正を行う。2012 年 12 月までは降雨の都度観測を実施する。2013 年には 3 度の集中観測期間（IOP1：1/7～1/25、IOP2：2/12～2/28、IOP3：3/18～3/29）を設定し、乾雪および湿雪の集中観測を行う。札幌観測の目標は、

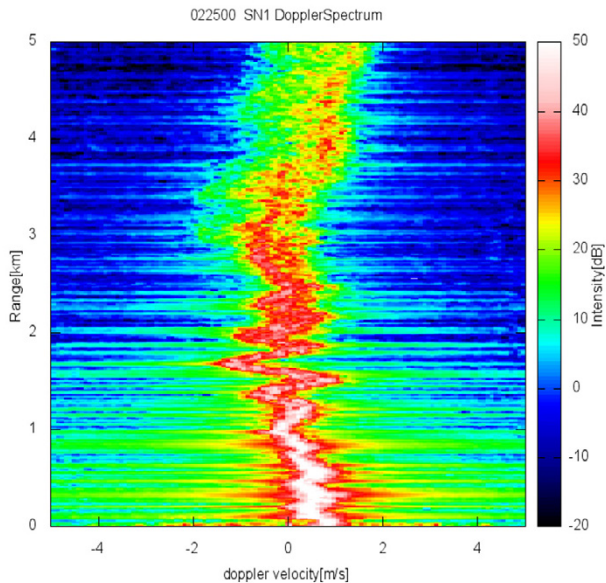
1. 乾雪の観測ができること（必須）。
2. 長岡での湿雪の観測結果との比較を行い、違いが明らかになること（必須）。
3. 融解層の鉛直・斜め観測ができること（エクストラ）。

である。目標達成のため、関係機関と連携して観測・解析を実施する。

（利用研究）落下速度による降水粒子のタイプ判定（雪、雨、あられ）に用いるためのドップラー速度とドップラースペクトルを求めるプログラムを作成する。これまでの地上検証実験で取得したデータを、JAXA サイト上でダウンロード可能な形で公開する。

3. 今年度の研究成果

札幌での Ka レーダ観測については、2013 年 2 月現在 IOP2 の途中であるが、IOP1 を含め降雪事例に恵まれている。IOP 中に取得したデータの解析も進めており、昨年度の長岡での湿雪の事例と比較して乾雪の性質の違いが明らかになりつつある。



地上検証実験の解析の担当分である Ka レーダのドップラーデータについては、ドップラースペクトル、ドップラー速度を求め図示化するルーチンを作成し、長岡で観測された降雪の空間的分布について実際に計算を行った。(左図)

また、観測より求めた Ka 帯での降水のレーダ反射因子を Web サイト <http://sharaku.eorc.jaxa.jp/Ka-radar/> よりダウンロードできるよう環境を整えた。(現在はパスワードがかかっている)

4. 来年度の計画

Ka レーダを用いた観測は、来年度の秋までは引き続き札幌での散発観測、秋～冬期は融解層観測および降雪観測を予定している。場所は、山形県上山市蔵王山周辺である。夏までは観測実施のための準備を確実にを行うと同時に、これまでの取得データの解析を促進する。

融解層の再観測で打上げ前検証計画が完了するので、DPR アルゴリズムチームと連携し、これまでの地上検証実験の成果をアルゴリズムの精度向上へ役立つ形にまとめる。

その後は 2014 年初頭に予定されている GPM 打上げ後の初期校正と連携した観測を行う。これに向けて、来年度の7月までにGPM 打上げ後検証計画書を制定し、7th PMM RA の結果を踏まえた Ka レーダの運用計画をたてる。

3.9 全球降水マップアルゴリズム、および、AMSR2 高次アルゴリズムの開発

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 年始めに主衛星を打ち上げ予定の GPM ミッション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、両者の開発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 高次アルゴリズム開発スケジュールに従って、ミッション運用系への Ver.0 アルゴリズム提出に向けて、GPM 全球降水マップ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スケジュールに従って、打上げ時および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を推進する。
- ・ GSMaP、AMSR2 の検証、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 NRT システムの維持改良

DMSP-F18 の SSMIS、NOAA-15/16/18 の AMSU-A/AMSU-B のデータについては、2011 年 10 月から NOAA 経由で定常的に取得を開始しているが、NRT システムの導入については、計算機の増強の必要性、および、2013 年度に予定している GSMaP アルゴリズムのバージョンアップ (GPM 用 at-launch コードの反映) 時に AMSU のアルゴリズムが大幅に変更されることから、そこでの導入を予定している。AMSR2 については、2013 年 1 月末からレベル 1 の一般公開が開始されたため、現在のアルゴリズムの適用を予定していたが、レベル 1 のバグ修正が近々予定されるため、導入を見送っている。レベル 1 が安定した段階で、導入を予定している。

IR のデータは、2012 年 3 月以降、NASA 経由で取得している NOAA/CPC のデータの NRT システムでの利用を開始した。切り替えにあたって、データの伝送遅延が何度か発生したため、NASA と協力して対処を行った。現在は、NOAA から NASA への伝送のトラブル (月に 1 回程度発生) だけが残っているが、NOAA 側の処理システムの不安定性が原因であるため、完全解決に至っておらず、GPM 時代に向けた課題となっている。

3.2 GPM 全球降水マップアルゴリズムの開発

GPM 全球降水マップアルゴリズムは、GPM ミッション運用系システムで試験を実施するためのベータ版 (Baseline code 版) を開発し、2012 年 2 月までに提出した。今年度は、Ver.0 (At-launch code 版) の開発を進め、2013 年 2 月に初期版を提出した。Exit コードのルールへの対応を施した最終版は、2013 年 4 月にミッション運用系に提出予定である。また、EORC において進捗管理とアルゴリズム

3. TRMM/GPM/EarthCARE 利用研究

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。

Ver.0 で初めて導入された、GSMaP 雨量計補正プロダクトについては、精度評価を行うために、GSMaP 再処理版と同じ期間である 2000 年 3 月～2010 年 11 月について、試作プロダクトを作成し、関係者や PI による検証評価を開始した。日本域、パキスタン等で地上の雨量（レーダ、雨量計等）と比較をした初期結果では、雨量計補正プロダクトの方が、これまでの GSMaP プロダクトよりも、よい精度を示している。打ち上げに向けて、来年度も評価を継続する。

3.3 AMSR2 高次アルゴリズムの開発・検証

AMSR2 アルゴリズムについては、2012 年 10 月から関係者向けに高次プロダクトも提供が開始され、2013 年 5 月に予定されている一般公開に向けて、アルゴリズムの調整と最終的な精度評価を行っている。

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、2012 年 9 月に関係者向けにリリースしたレベル 1 輝度温度に対して、TMI との差（バイアス）を補正し、アルゴリズムの調整を行った。利用可能な 2012 年 7 月 24 日～12 月 31 日の期間について、AMSR2 と TRMM/PR とのマッチアップ比較を行ったところ、精度（相対誤差）は、海上の弱い雨を除いて、リリース精度（海上 50%、陸上 120%）を満たしている。陸上で、PR に比較して大きな過小評価のピクセルが見られたが、同時観測の TMI に同じアルゴリズムを適用して比較した結果、TMI にはそのような傾向が見られないため、陸上の輝度温度の補正が完全ではないことが原因であると考えられる。現在、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ているところである。

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（気象研究所 柴田氏）と協力し、2012 年 9 月、2013 年 1 月のレベル 1 アルゴリズム変更にあわせて、アルゴリズムの調整を行った。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 0.57℃、海上風速は 1.09m/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）を十分満たしている。海面水温データは、校正期間中から、漁業情報センター、気象庁において現業利用に向けた試験が進められている。

3.4 GSMaP を利用した共同研究・利用推進

GSMaP データ利用の登録数は、2012 年 4 月にユーザ登録方法をフォーム形式に変更したところ、登録数が一挙に増え、2013 年 1 月末現在、登録数は 436 名（1 年前は 206 名）。また、民間企業の試行的利用については、現在 3 件実施している。この他、日本科学未来館、「触れる地球」プロジェクト等に、広報目的でデータや画像を提供している。

2011 年 2 月より開始した日本気象協会との共同研究は、2013 年 2 月より、これまでの携帯電話に加えてスマートフォンへの対応、および、GSMaP 降水画像に追加して AMSR2 海面水温および海上風速の画像の公開を開始した。

土木研究所（ICHARM）との共同研究では、パキスタンにおける 2010 年夏の洪水をターゲットに、GSMaP、PR、TMI と、地上雨量計との比較検証を実施した。

4. *GCOM* 利用研究

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-W1 と GCOM-C1 のアルゴリズム開発、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。これらの活動には、その成果を GCOM へ反映し、かつ分野間・機関間の連携を円滑に進める意図から、AMSR-E や MODIS などの既存データの解析研究、EORC 横軸研究、CEOS 等の国際枠組みなどへの協力も含んでいる。

2. アルゴリズム開発・校正検証

(1) GCOM-W1 関連

2012 年 5 月 18 日に衛星が打ち上げられ、初期校正検証や輝度温度プロダクトの一般公開等を含む重要な年度となった。代表研究者 (PI) や GCOM プロジェクトと連携してアルゴリズム開発や校正検証を進めた。輝度温度プロダクトについては、主にセンサ間相互校正と、AMSR2 から新たに標準プロダクトに加えた L1R プロダクトの調整と評価を実施した。これらを踏まえ、2012 年 9 月から関係協力機関と PI への早期提供、2013 年 1 月からは一般提供が開始された。AMSR2 が他のマイクロ波放射計と比較して高めの輝度温度を与えることを把握しており、これらの情報を利用者に提供するとともに、今後その理由について検討を進める。地球物理量プロダクトについては、AMSR2 運用開始直後から実データを用いたアルゴリズム調整を開始し、初画像作成、2012 年 10 月からの関係機関と PI への早期提供、全球ブラウザ画像の一般公開等を実施した。海面水温や積算水蒸気量等については随時検証を開始しており、既にリリース基準精度を満たす目処がついている。また、オーストラリア陸面検証サイトの整備を完了し、検証データの取得を開始した。AMSR-E については、2012 年 12 月から低速回転 (2rpm) による観測が再開され、AMSR2 との相互校正のためのデータ取得が行われている。観測空間密度は定常観測より疎であるものの、全球での相互校正には十分なデータが取得できている。現在、輝度温度校正の検討段階ではあるが、既に AMSR2 との相互校正を開始し、広い輝度温度範囲における傾向把握などに重要なデータとなっている。

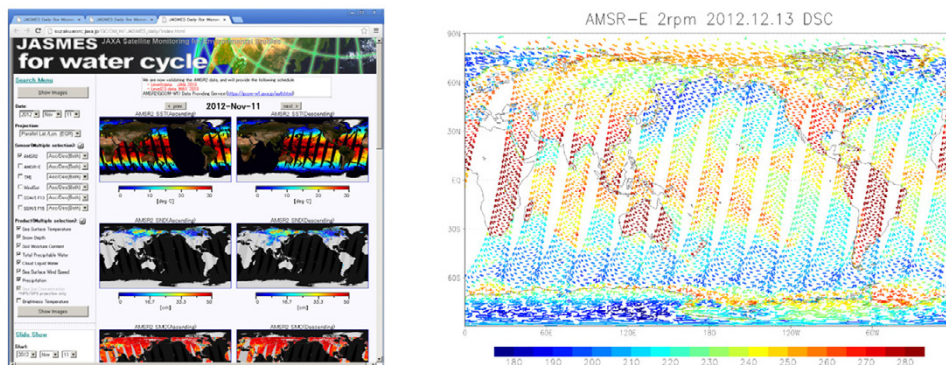


図 1. AMSR2 全球ブラウザ画像公開 (左) と、AMSR-E 低速回転 (2rpm) 観測の例。

(2) GCOM-C1 関連

第2回研究公募のPI研究の最終年度を迎えた。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性能試験を実施した。これらの評価結果をアルゴリズム開発評価会で議論した後、第4回研究公募の選考過程に反映し、次期PI選定を完了した。分野間共通課題として各種地表面プロダクトに共通的に影響する「大気補正・エアロゾル」を取り上げ、ワークショップを開催して議論した。その結果、GCOM-C1 アルゴリズム開発チーム内で一貫したエアロゾルモデルの設定に向けた作業計画の整理や、各種補正・手法についての共通認識が得られた。雲識別検証用に整備した全天カメラについてグリーンランド等での運用を開始するとともに、地上バイオマス検証用地上3Dレーザスキャナ観測、陸域タワー観測、SKYNET 観測、積雪光学観測等を継続した。また、センサ研究室の協力を得て、現場観測器精度維持のための相互校正試験を継続した。また、打ち上げ後の精度評価についての検討を進め、プロダクト検証手法・計画について改訂を実施した。

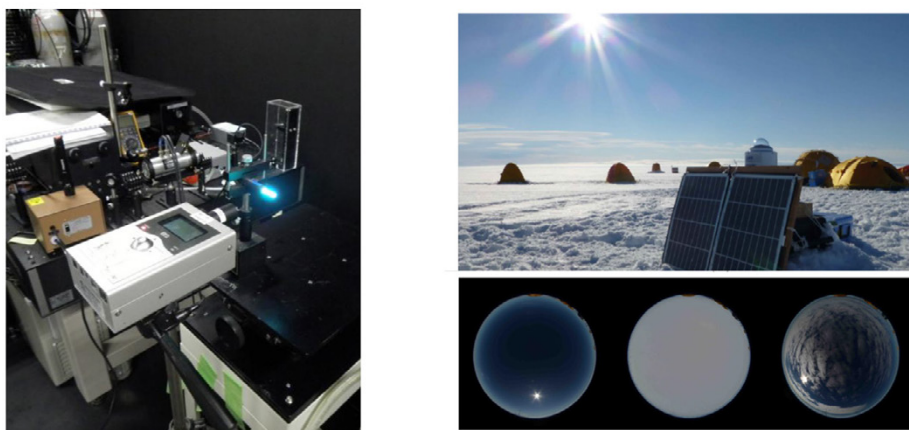


図2. 筑波宇宙センターにおける地上分光放射計の波長校正の様子（左）と、グリーンランドにおける全天カメラの運用状況（右上）と取得データの事例（右下）。

3. 地球科学研究・利用促進

GCOM が取得する長期データによる気候変動解析の事前実証、及びデータ利用者開拓を目的として、MODIS や AMSR-E など既存データの研究処理・提供を継続した。各種画像・データを JASMES（JAXA Satellite Monitoring for Environmental Studies）で継続公開するとともに、Daily として GCOM-W1 の日平均画像、Climate としてこれまでに整備した長期海水データセットの情報を追加し、様々な時間スケールでの現象監視のメニューを揃えた。気象研究所との研究協力対応としては、ゴビ・タクラマカン砂漠における黄砂監視ページ等を追加した。本ページでは、最近問題となっている PM2.5 等を含むエアロゾルの分布と移動が捉えられている。前述の長期海水データセットについては、将来の現業利用を念頭に気象庁へのデータ提供等を行った。次の長期データセットとして積算水蒸気量を選定し、過去の高層気象観測データとのマッチアップデータ作成に着手した。

4. GCOM 利用研究

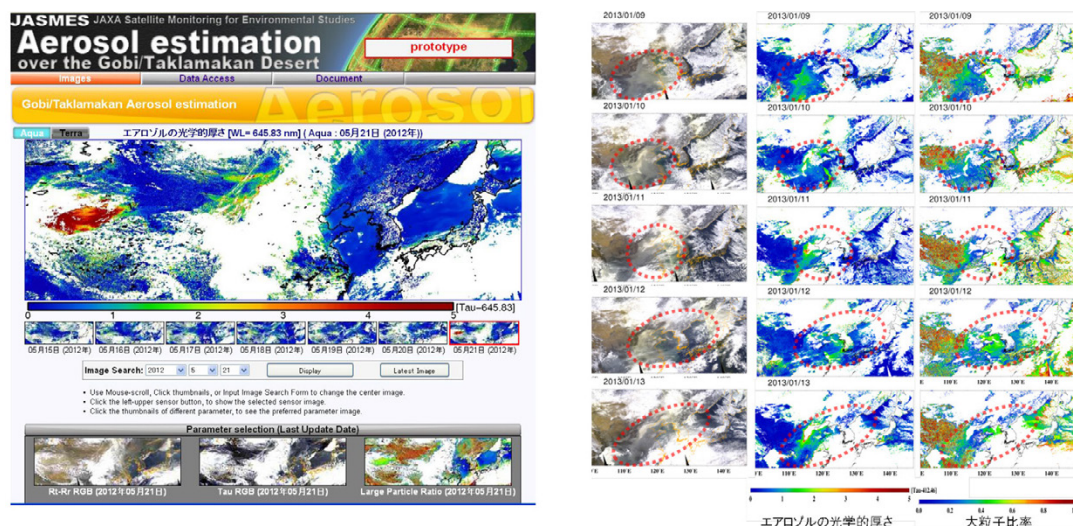


図3. ゴビ・タクラマカン砂漠黄砂監視ページ（左）と、東アジア域のRGB画像、エアロゾル光学的厚さ、大粒子比率の時間変化事例（右）。粒子の小さい（大粒子比率小：青色領域）エアロゾルが中国東部から日本海において多量に分布（緑～黄色）していた様子が見られる。

関係機関等との共同研究による利用促進を図った。水産総合研究センターとの共同研究を継続し、沿岸域における海色等アルゴリズム改善の一環として青森県産業技術センター水産総合研究所の観測船に乗船する機会を得て、海面反射率やクロロフィルa濃度等の測定を実施した。今後のデータ解析により、陸奥湾の秋季ブルーム時における衛星海色推定誤差の原因究明等を行う予定である。気象庁の新規利用開拓を目的とし、WindSat 全天候風速等の試行提供を継続した。現時点で太平洋台風センターにて試行利用されており、AMSR2の研究プロダクトとして定義することが考えられる。WindSat 等の代替処理による現業利用サービスも継続しており、気象庁では2013年2月21日から、WindSat 海面水温の全球日別海面水温解析への利用が開始された。AMSR2 海面水温利用開始までの橋渡しとして利用される予定である。次期気象庁再解析（JRA55）へのデータ提供も完了し解析作業が行われている。同様に、欧州中期予報センター（ECMWF）のERA-CLIMパイロット再解析利用にAMSR-Eデータの提供を行った。農林水産省向けに整備してきた農業気象情報衛星モニタリング（JASMAI）ページを完成し、土壌水分、日射量、地表面温度の空間分布・平年比、行政区分毎の時系列グラフ等の自動作成・掲載を開始した。農林水産省の海外食料需給レポートではこの情報が定期的に活用されている。未校正・未検証のAMSR2プロダクトを気象庁、漁業情報サービスセンター、ウェザーニューズ社、海洋研究開発機構（JAMSTEC）、国立極地研究所（NIPR）、国土技術政策総合研究所等に提供することにより、利用実証を早期に開始した。気象庁の予備調査で平成24年九州北部豪雨の事例で雨量予測精度向上の見込みが得られた他、海洋地球研究船「みらい」や南極地域観測隊（「しらせ」・「海鷹丸」）で海水状況の把握に利用された。また、2012年は北極環境で様々な現象が観測された。2012年7月12日にグリーンランド氷床の全面融解現象が観測され、2012年9月16日には北極海海面面積が衛星観測史上最小値となった。折しも、グリーンランド氷床ではSIGMA等の研究計画による観測が行われており、地上観測とあわせAMSR2等による状況把握と発信が行われた。

4. 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）活動および校正検証作業部会等に参画した。GCOM-W1 打ち上げという好機を捉え、海面水温 VC の科学母体である高分解能海面水温グループ（GHRSSST）の学会会合と、海面水温 VC の第 1 回会合を東京大学にて開催した。GCOM に関する NOAA 協力については、AMSR2 データの相互校正評価の協力を進めている。同様に、AMSR2 校正相互校正については GPM マイクロ波相互校正作業部会とも連携している。EORC の生態系・水循環の横軸研究との連携として、生態系グループへの光合成有効放射量（PAR）データセットの提供を続けて行うとともに、水循環グループの Yesterday's Earth at EORC (YEE) では日射量導入、土壌水分・積雪深等の比較検証を進めた。将来計画の検討としては、GCOM-W2 に関して、インド宇宙研究機関（ISRO）とのマイクロ波散乱計に関する協力模索、NASA/JPL が提案する表面海流計測機能等についての科学的な議論を開始した。氷雲の全球定量観測により気候モデル改善等への貢献を図るサブミリ波放射計については、全球雲解像モデル NICAM データを用いたリトリバル解析をさらに進め、貢献分野の整理を実施した。JAXA が有する大型展開アンテナ技術を活用する大型マイクロ波放射計の研究については、海面塩分・水温などの利用者要求についての検討を実施した。

5. 今後の予定

GCOM-W1 は 2013 年 5 月に地球物理量プロダクトの一般公開を予定しており、この時点でリリース基準精度を満たしていることが、プロジェクトの成功基準判定指標のひとつとなっている。今後、アルゴリズム調整と検証作業を本格化させ、一般公開に備える予定である。AMSR-E 低速回転データによる相互校正を精密化し、AMSR-E と AMSR2 で整合性を保持したプロダクト改訂に向けて準備を行う。GCOM-C1 については、今年度中に選定まで完了した第 4 回研究公募の PI による研究開始年にあたり、分担・連携体制を構築して、打ち上げ版アルゴリズム開発とプロダクト検証準備を実施する。分野共通課題としては「検証観測・誤差評価」を取り上げ、具体的な精度評価に向けた作業へ反映する。

4.2 GCOM-W1/AMSR2 L1B プロダクトの輝度温度評価

奥山 新

1. はじめに

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。そこで今年度は AMSR2 の輝度温度を格納したレベル 1 B（L1B）プロダクトについて、その精度評価を行った。軌道上においてマイクロ波放射計の絶対基準値は存在しないため、評価は衛星間相互校正等で行った。

2. 放射伝達モデルの利用

評価に必要な技術の一つに、放射伝達コードを用いたシミュレーションがある。ここでは英国気象局（UKMO）および欧州中期予報センター（ECMWF）が中心となって開発した放射伝達コードである RTTOV を用いた。RTTOV は入力された大気プロファイルとセンサ特性をもとに、地表面放射や大気中での伝搬を考慮して AMSR2 が観測する輝度温度を算出する。ここでは、大気プロファイルとして気象庁または ECMWF による数値予報モデルの全球解析値を、海面水温として気象庁による MGSST を入力とした。なお、得られる輝度温度には入力データの誤差や放射伝達モデル自身の計算誤差も含まれることに注意する必要がある。

3. 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 と観測周波数帯がほぼ同じであるため AMSR2 精度評価用の基準として最適である。AMSR-E は平成 23 年 10 月に定常的な観測を停止したこともあり、ここでは平成 23 年の AMSR-E と平成 24 年の AMSR2 の L1B プロダクトとを、シミュレーションを介して間接的に比較した。両センサが観測する輝度温度の差を図 1 に示す。チャンネルごとに差異はあるが、全体的に AMSR2 の方が輝度温度を 1～5K 程度高く観測する傾向にある。

4. 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 とのマッチアップを行う上でも都合がよい。ただし両者の観測条件は一致しているわけではないため、観測値同士を直接比較することはできない。そこでシミュレーションを介した” Double difference” によって TMI との違いを評価する。まず AMSR2・TMI 両者の観測時刻および緯度経度が充分近く、比較に適切な観測値を抽出する。次にそれぞれの観測値に対応する輝度温度を RTTOV を用いて計算し、式 (1) に従って Double difference(DD) 値を求める。

$$DD = (\text{AMSR2 観測値} - \text{AMSR2 計算値}) - (\text{TMI 観測値} - \text{TMI 計算値}) \quad (1)$$

差分同士の差を求めることで、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。各チャンネルの DD 値を表 1 に、時系列の一例を図 2 に示す。チャンネルによって大小はあるが、AMSR2 の輝度温度はほぼ全てのチャンネルで TMI よりも 2～5K 高く観測する傾向にある。また、昼夜による変動は小さく、季節変動も今のところ見られない。DD 値を観測輝度温度に対して図示したものを図 3 に示す。DD 値は観測輝度温度に応じて異なる値を示す傾向が見られる。言い換えれば TMI と AMSR2 の輝度温度差は海上と陸上とは異なる値をとる。DD 値の輝度温度依存性の大小はチャンネルによって異なる。89GHz 帯ではほぼ一定であるが、その他のチャンネルではいずれも高温側で DD 値が小さくなる傾向にある。

5. おわりに

AMSR2 の定常運用が始まってから半年以上が経過し、観測データも累積されている。今後はまず本稿で述べた評価手法を継続し、季節変動の有無の把握に努める。また、本稿で述べた内容はあくまで他センサとの相対的な比較である。そのため例えば Windsat や SSMI/S といったセンサも用いて同様の評価を行い、比較検証の精度向上を図っていきたい。

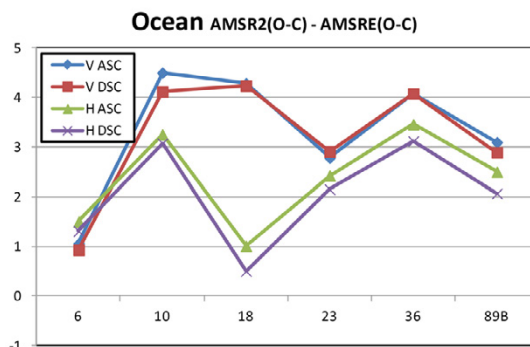


図 1. AMSR-E と AMSR2 それぞれについて輝度温度 [K] の観測値 (O) と計算値 (C) の差を求め、さらに両者の差を取って縦軸とした。対象は 2011/07～09(AMSR-E) と 2012/07～09(AMSR2) の晴天海上である。観測時期は異なるが、おおむね AMSR-E と AMSR2 との輝度温度差とみなせる。横軸は周波数。V と H は垂直偏波と水平偏波、ASC と DSC は昇交軌道 (昼) と降交軌道 (夜) を表す。昼と夜との間に大きな差は見られない。

表 1. TMI に対する DD 値。晴天海上のみを対象とした。TMI には 6, 7GHz 及び 23GHz の水平偏波は存在しない。昼と夜の DD 値はほぼ同じとみなせるが、いずれのチャンネルも TMI に対して輝度温度を 2～5K 高く観測する傾向にある。

周波数帯	DD値[K]	
	昇交軌道	降交軌道
10GHz(V)	4.26	4.25
10GHz(H)	4.93	4.76
18GHz(V)	3.86	4.09
18GHz(H)	2.66	2.60
23GHz(V)	4.59	5.00
23GHz(H)	—	—
36GHz(V)	4.35	4.50
36GHz(H)	5.00	4.85
89GHz(V)A	2.68	2.71
89GHz(H)A	3.80	3.69
89GHz(V)B	2.99	3.10
89GHz(H)B	3.57	3.66

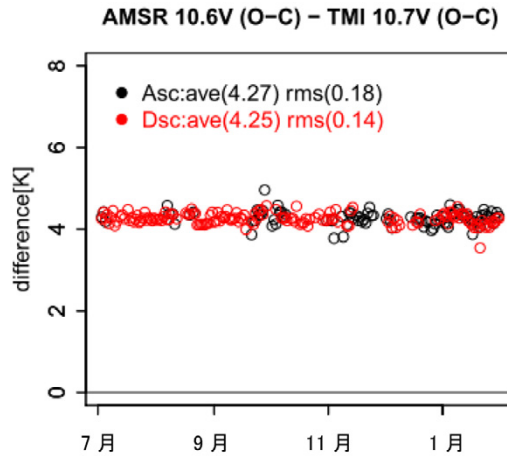


図 2. TMI に対する DD 値の時系列の例。比較対象は 2012/07 ~ 2013/01 の AMSR2 10.6GHz(V) と TMI 10.7GHz(V) の晴天海上である。黒点は昇交軌道 1 日分、赤点は降交軌道 1 日分を表す。DD 値には今のところ昼夜の差ならびに季節変動は見られない。

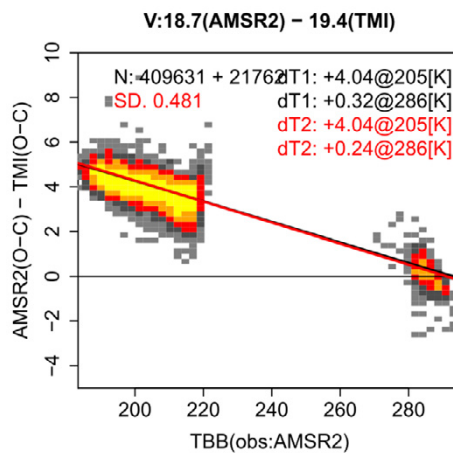


図 3. DD 値の温度依存性が顕著な例。横軸は AMSR2 の観測輝度温度 [K]、縦軸は DD 値 [K]。AMSR2 23.8GHz(V) と TMI 21.3GHz(V) との比較。温度依存性を示すため、晴天海上に加えて熱帯雨林の事例についても合わせて図示した。それぞれ低温側と高温側の点の集合に対応する。

外部発表

奥山・可知・今岡：第一期水循環変動観測衛星「しずく」(GCOM-W1) 初期校正結果、気象学会 2012 年度秋季大会

4.3 マイクロ波放射計によるグリーンランド氷床の輝度温度観測

直木和弘

1. はじめに

2012年5月18日にしずく(GCOM-W)が打ち上げられ、2012年7月から観測が開始された。GCOM-Wには、マイクロ波放射計(AMSR2)が搭載されておりこれまでの衛星搭載型マイクロ波放射計のデータも利用することで30年以上にわたる雪氷圏の変動把握が可能である。

雪や氷は、地球表面の熱放射特性を変化させ、また、大きな潜熱を蓄える物質として気候に対し大きな影響を与える。北半球の雪氷圏は温暖化の速度が速いと考えられており、その変動は、指標として利用されている。また、雪氷圏の変動は、雪氷圏自信の変化を起こす原因として働く。例えば、日射がある時期は、アイスアルベドフィードバック効果があり、日射のない時期には、海水による大気 - 海洋間の熱や水蒸気の放出制御、また、積雪が地表面の冷却に与える影響などである。温暖化の指標としては、北半球の海水変動が注目されている。北半球の海水は、2007年9月に、北半球の海水面積が1978年の観測以来最も減少した。その後海水面積は、増加傾向にあったが2012年8月に、2007年の最小値よりも縮小し、その後さらに縮小し2012年9月に1978年以降最も海水面積となったことがAMSR2によって観測された。さらに、2012年北半球の夏季雪氷圏の変動は、グリーンランド氷床でも起きた。グリーンランドは、面積約220万km²の世界最大の島であり、そのほとんどが雪や氷に覆われている。そこで、2012年7月にグリーンランド氷床表面がほぼ全面湿った状態になった現象について報告する。

2. 解析方法

図1は、2007年1月1日と2007年8月1日のグリーンランド36GHz垂直偏波の輝度温度である。冬季グリーンランドは、氷床の温度も低く、ほぼ乾雪であると考えられ氷床から射出されたマイクロ波が体積散乱され低い輝度温度となっている。夏季は、沿岸部分は、陸が露出し輝度温度が高くなっている。また氷床上においても南部の内陸部に見られるように輝度温度が高い領域がある。このように、グリーンランドの輝度温度は、6月から8月まで高くなり、その他の時期は低い。本研究では6月から8月を融解期として解析した。

AMSR2および2002年から2011年まで観測したAMSR-E、空間分解能はAMSRシリーズより劣るが1987年以降継続して観測しているSpecial Sensor Microwave/Imager(SSM/I)は、上昇軌道と下降軌道があり、

上昇軌道は観測地点を日中に観測し、下降軌道は夜間に観測している。グリーンランド氷床は、上昇軌道及び下降軌道ともに約100分間隔で2~3パスで全体を観測している。また、それぞれのパス

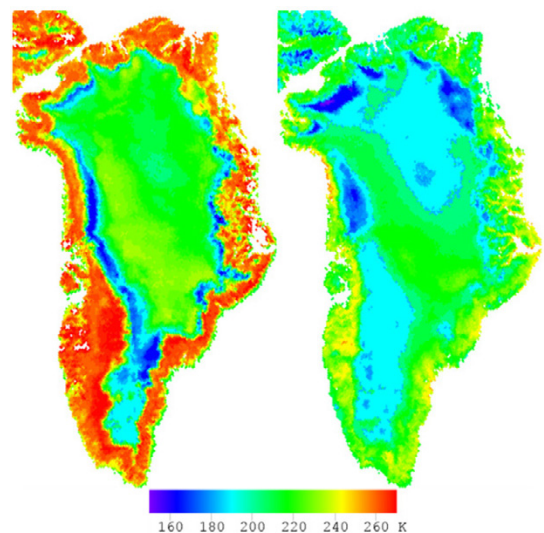


図1. グリーンランドの36GHz垂直偏波の輝度温度 左:2007年8月1日 右:2007年1月1日

4. GCOM 利用研究

には重複部分がある。そこで本解析では、最もグリーンランド氷床を広範囲に観測しているパスを主とし、未観測領域を他のパスのデータを用いて合成した。

衛星搭載型マイクロ波放射計によるグリーンランド氷床の研究は、これまでに表面の融解検知を SSM/I の輝度温度を用いて行われている (Adbalati et al., 1997)。19GHz の水平偏波 (T_{B19H}) と 37GHz の垂直偏波 (T_{B37V}) の輝度温度を用いて Cross Polarization Gradient ratio (XPGR) を計算し融解域を検知している。XPGR は、 T_{B19H} と T_{B37V} の差と和の比である。この XPGR とグリーンランド氷床に設置された気象観測システムの気温との比較を基に融解域を推定している。

3. 結果及び考察

図 2 は、AMSR2 が観測した 2012 年 7 月 11 日から 7 月 13 日までの 36GHz 垂直偏波の輝度温度画像である。7 月 9 日までの輝度温度は図 1 に示す夏季の輝度温度のようにグリーンランド南部のみ内陸部まで高い輝度温度を示していた。10 日からグリーンランド北部においても沿岸部分から内陸部へ向け輝度温度が上昇し始めた。図 2 に示すように 7 月 11 日には、東部に輝度温度の低い領域がまだあるが、7 月 12 日にはグリーンランドほぼ全体が 250K 以上になった。その後 13 日には、中央部の標高 3000m を超える Summit 基地周辺や南部において輝度温度が下降していることが分かる。

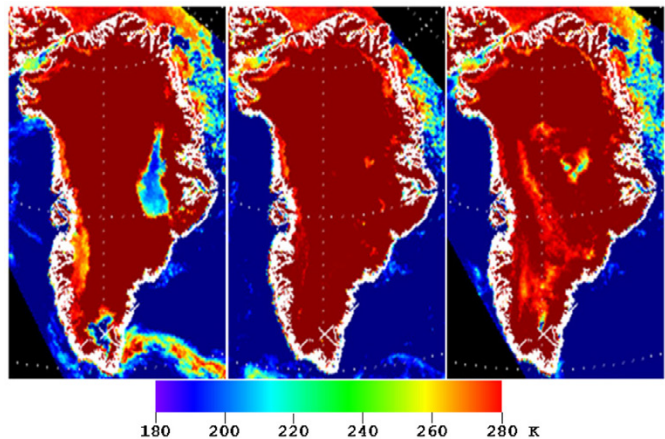


図 2. 2012 年 7 月のグリーンランドの 36GHz 垂直偏波の輝度温度 左:2012 年 7 月 11 日 中:2012 年 7 月 12 日 右:2012 年 7 月 13 日

図 3 は、グリーンランド全面の輝度温度が上昇した 7 月 12 日の観測パス毎の輝度温度を示している。図 3(A) は、東グリーンランド時刻の 03:59 の輝度温度であるが、南部のほとんどの領域が 200K 以下となっていることが分かる。その後未観測領域もあるが時間経過とともに上昇し、(D)11:58 には僅かな領域にのみ低輝度温度領域が存在しさらに、(E)13:38 にはさらに上昇していることが分かる。

グリーンランド氷床のマイクロ波の輝度温度特性は、表面状態の影響を強く受ける。冬季はほぼ全面乾雪で覆われていると考えられるが、夏季の表面は、乾雪・湿雪・融解水・夜間の再凍結等様々な状態となる。Stiles and Ulaby, 1980 では、陸上積雪の 37GHz 水平偏波の輝度温度を連続観測し、午前中 160K 程度であったが、14 時過ぎに 260K 以上になっている。またその時の積雪の含水率は、1% 程度と報告している。同様に図 2 に示すグリーンランド表面の輝度温度は、260K 以上になっている。この輝度温度は、グリーンランド表面の積雪が湿雪になり、湿雪からの射出が支配的になったために起きた現象であると考えられる。また、13 日には、輝度温度が減少していることから表面の積雪含水率は、1% 程度の低い状態であったと考えられる。これらのことから、7 月 12 日にグリーンランド氷床の表面はほぼ全面湿雪になったと考えられる。

4. GCOM 利用研究

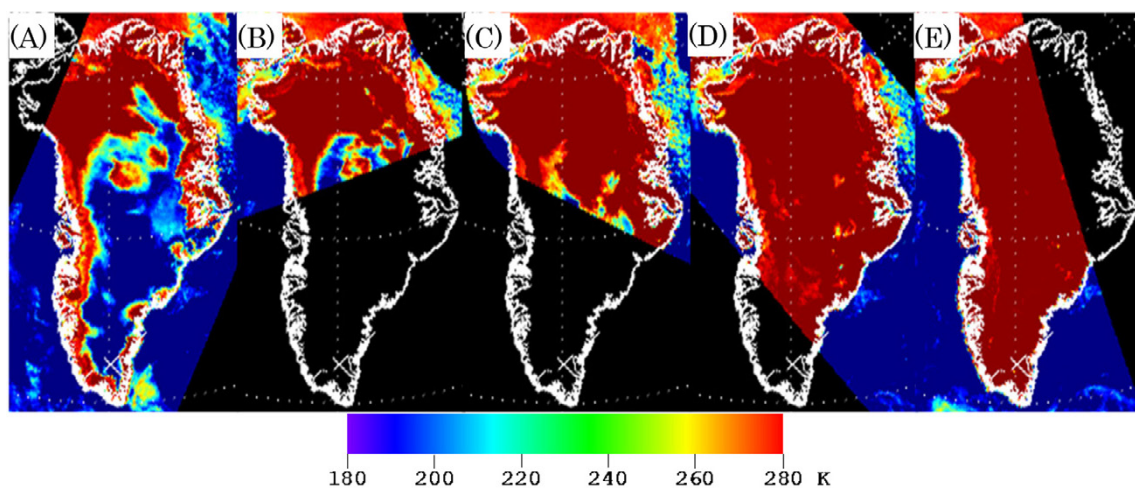


図 3. 2012 年 7 月 12 日のグリーンランドの 36GHz 垂直偏波の輝度温度 各画像の観測時刻 (A)03:59 (B)07:19 (C)10:18 (D)11:58 (E)13:38 東グリーンランド時刻

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

現在 EORC/GCOM 利用研究グループでは、気候変動観測ミッション (GCOM-C) のアルゴリズム基本性能開発フェーズとして、JAXA 担当アルゴリズム (PAR, クロロフィル a 濃度 (Chl-a), LAI, fAPAR、火災等のプロダクト) や分野共通アルゴリズム (大気補正・雲雪識別等) 開発や、外部 PI と連携したアルゴリズム開発・検証、模擬データを用いた処理試験等を実施している。このうち、沿岸の海色 (Chl-a 等) の推定においては、Chl-a 以外の吸収・散乱などの構成要素を考慮できる水中光学特性 (Inherent Optical Properties: IOP) の推定が鍵となる。IOP 推定研究が近年進んでいるが、その限界や必要となる情報について明らかにしておくことが、今後のアルゴリズム開発やその基礎となる現場データの取得計画において必要である。2 年前の FY22 には AVNIR-2 や MODIS 500m データなどの限られたバンド数による推定を検討している。FY24 年度は、PI から新たに提供されたニューカレドニア東岸における現場ハイパースペクトル放射計 TriOS RAMSES の海面射出反射率 (Rrs) と採水による吸収スペクトル計測データを用い、波長数の制約が無い場合の IOP 推定とその検証を実施し、さらに MODIS の 500m 処理へフィードバックを行った。

2. データ

GCOM-C1 の主任研究者である R. Frouin、共同研究者の C. Dupouy (IRD, New Caledonia) 他によるニューカレドニア東岸の観測研究プログラム CALIOPE 観測 (研究船 Alis 03-13 Oct. 2011) で取得されたデータを主に使用した。

1. TriOS 海面射出反射率 (リモートセンシング反射率: Rrs)
 - ✓ 海面直下輝度 $Lu(0, \lambda)$ (FOV=7°) と海上天空照度 $Ed(0^+, \lambda)$ の計測から $Rrs(\lambda)$ ($\lambda = 320\sim 950\text{nm}$, $\Delta \lambda \sim 10\text{nm}$) を算出
2. 採水による吸収計測
 - ✓ 海水の吸収 a_t と 0.22- μm フィルタ濾過後の吸収 (~CDOM 吸収 a_g) を Point-Source Integrating-Cavity Absorption Meter (PSICAM) で計測し (Röttgersetal., 2005, 2007)、純粋な海水の吸収 a_w を引いて解析
3. 採水 Chlorophyll-a 濃度 (Chl-a)
 - ✓ 25-mm GF/F Whatman filters で濾過したサンプルを計測
4. MODIS data (NASA LADDS, OBPG)
 - ✓ 500m 大気上端輝度: 646, 857, 466, 554, 1242, 1628, & 2114nm (v5)

3. 手法

植物プランクトン吸収 a_{ph} , CDOM+ デトリタス吸収 a_{dg} , 懸濁物質後方散乱 b_{bp} (442nm における a_{ph} / a_{dg} 比: r_{ph} , 微小プランクトン比: r_{pico} , a_{dg} 波長勾配: S , and b_{bp} 波長勾配: Y) を linear matrix inversion LMI(Hoge and Lyon, 1996) 手法で推定した (各波長の Rrs を IOP 要素による線形和で表し、逆行列で

IOP を計算)。安定した処理のため、吸収・散乱の要素や吸収の各要素、吸収・散乱の波長勾配などを段階的に分離するようにした。それぞれの分離については感度が高く、他の要素の影響が小さい波長範囲を感度シミュレーションによって設定した。海底の反射率については、Maritorenna 1994 の Coral sand の反射率スペクトルと Lee et al., 1999 の手法を用いて補正した。

4. 結果

図 1 が各サイトでの推定結果である。Chl-a や a_{pg} は現場と TriOS で良い対応 ($r=0.86, 0.88$) だが、 a_g ではやや悪く ($r=0.62$) になった。紙面上図を示さないが S や r_{pico} ではさらに悪い ($r=0.12, r=-0.1$) 結果となった。

MODIS 500m データへの応用では、 R_{rs} ($r=0.55$ @466nm and 0.92 @554nm), a_{pg} ($r=0.88$ (\log_{10})), Chl-a ($r=0.87$ (\log_{10})) が良く一致し、この海域での、IOP との関係を用いて推定した Chl-a は標準の Chl-a よりも高精度を示していた。

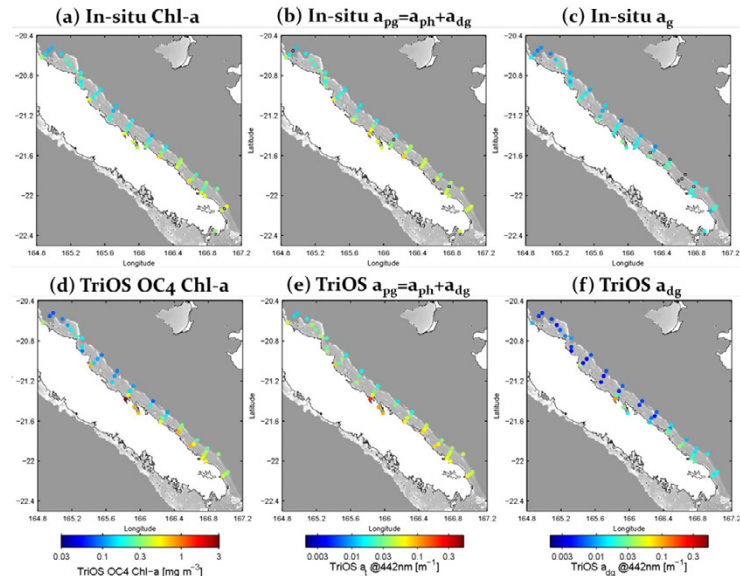


図 1. 現場 (上段) と TriOS (下段) による Chl-a、 a_{pg} ($=a_{ph}+a_{dg}$)、 a_g 分布

5. 結論とまとめ

TriOS による IOP 推定では a_{pg} と a_g までは推定できたが、波長勾配 S, r_{pico} , (and Y) では多数の波長を用いても難易度が高いことが分かった。S については UV 域の TriOS の校正精度、 r_{pico} については a_{ph} スペクトルの候補モデルの改善が必要であると思われる。現場で得られた IOP の特徴を MODIS に適用すると標準アルゴリズムよりも高精度で Chl-a を推定できた。ただし降水時期などの様々な条件下で検証し、ロバストなアルゴリズムにする必要がある。

今回の結果から、沿岸海色推定では、環境条件による候補スペクトルの選択など、現場の知見・観測との統合が必要であることが再確認された。来年度は他の海域も含めた Case Study (季節変化・年々変化の再現性)・最適化処理 (フラグ、大気補正、水中 IOP スペクトル) の蓄積を更に進める計画である。

関連する FY24 外部発表

- 1) H. Murakami and C. Dupouy, Atmospheric correction and inherent optical property estimation in the southwest New Caledonia lagoon using AVNIR-2 high-resolution data, Appl. Opt. 52-2, 182-198, 2013.
- 2) H. Murakamia, C. Dupouyb, R. Röttgersc, R. Frouin, Estimation of inherent optical properties using in-situ hyperspectral radiometer and MODIS data along the East Coast of New Caledonia, SPIE-AP, 8525-14, 2012.

4.5 SGLI/TIR バンドを用いた雪氷面射出率推定手法の開発

堀 雅裕

1. はじめに

積雪の熱赤外域射出特性は、概して黒体に近いものの僅かに波長依存性を有する。GLI/SGLI 地上検証実験においてこれまで FT-IR を用いて実測した分光射出率は、 $11 \mu\text{m}$ より長波長側において積雪粒子径及び射出角度の増大に伴い 1 より低下した¹⁾。また、熱赤外域に感度を有するサーモグラフィによる熱画像からは、1) サンクラストのように氷粒子が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) ざらめ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、が視覚的に確認された²⁾。以上の観測事実をもとに、本研究では、熱赤外域における雪面射出率の半経験的なモデルを構築し³⁾、衛星搭載熱赤外域バンドを用いた雪氷表面の射出率の推定と雪質分類への応用可能性を検討する。

2. 射出率のモデル化の考え方

雪氷面の中でも表面が滑らかな裸氷の射出率は、氷の複素屈折率を用いたフレネルの式⁴⁾により再現可能であることが明らかとなっている¹⁾。一方、その対極である粒径が細かい新雪粒子の場合、個々の結晶表面は鏡面反射を若干示すもののバルクでは黒体に近い 0.98 以上射出率を有していた¹⁾。また、中間的な大きさのざらめ粒子は、個々の結晶表面は微小なフレネル反射面を構成すると考えられたものの、空隙部分も合わせた積雪表面全体としては、新雪と裸氷の中間的な射出率を有していた。本研究では、雪氷表面を構成する個々の氷結晶が全てフレネル反射特性を有し、空隙部分が微小黒体の役目を果たすと考え、両者の面積比率（ここではフレネル反射面の面積比率 F_{sp} ）で重み付けした線形結合として射出率を表現し、過去の射出率実測値の再現を試みた。

3. 結果と考察

図 1 は雪氷面の分光射出率の実測値及び計算値を示す。裸氷はほぼ全てがフレネル面 ($F_{sp}=0.99$) と仮定した条件で実測値とよく一致している。また、新雪、ザラメ雪もそれぞれ全体の 2 割 ($F_{sp}=0.22$)、5 割 (0.50) をフレネル面と仮定することで実測値を再現できることがわかった。これにより、 F_{sp} を介することで雪氷面の熱赤外域の分光射出率を一意に決定できるため、複数の熱赤外域バンドを用いたりモートセンシングにより雪氷面の射出率の決定、そして、雪質分類への応用が可能となる。図 2 は、NASA の MODIS センサが観測する雪氷面の輝度温度を F_{sp} の関数として計算したものである。 F_{sp} が新雪から裸氷相当に変化するにつれてバンド $11 \mu\text{m}$ と $12 \mu\text{m}$ の輝度温度差が 0.3K から 1.6 - 2.1K まで変動しており、雪質に対して 1K 以上の感度があることがわかった。

参考文献・関連する外部発表

- 1) Hori et al. (2006) : In-situ measured spectral directional emissivity of snow and ice in the 8-14 μm atmospheric window, Remote Sens. Environ., 100, 486-502.
- 2) 堀他 (2011): 携帯型赤外線カメラを用いた積雪の熱赤外域射出特性の可視化, 雪氷研究大会(長岡).
- 3) 堀他 (2012): 雪氷面の熱赤外域射出率のモデル化と雪質分類への応用可能性, 雪氷研究大会(福山).
- 4) Hapke, B. (1993) : Theory of reflectance and emittance spectroscopy, Cambridge Univ. Press.

4. GCOM 利用研究

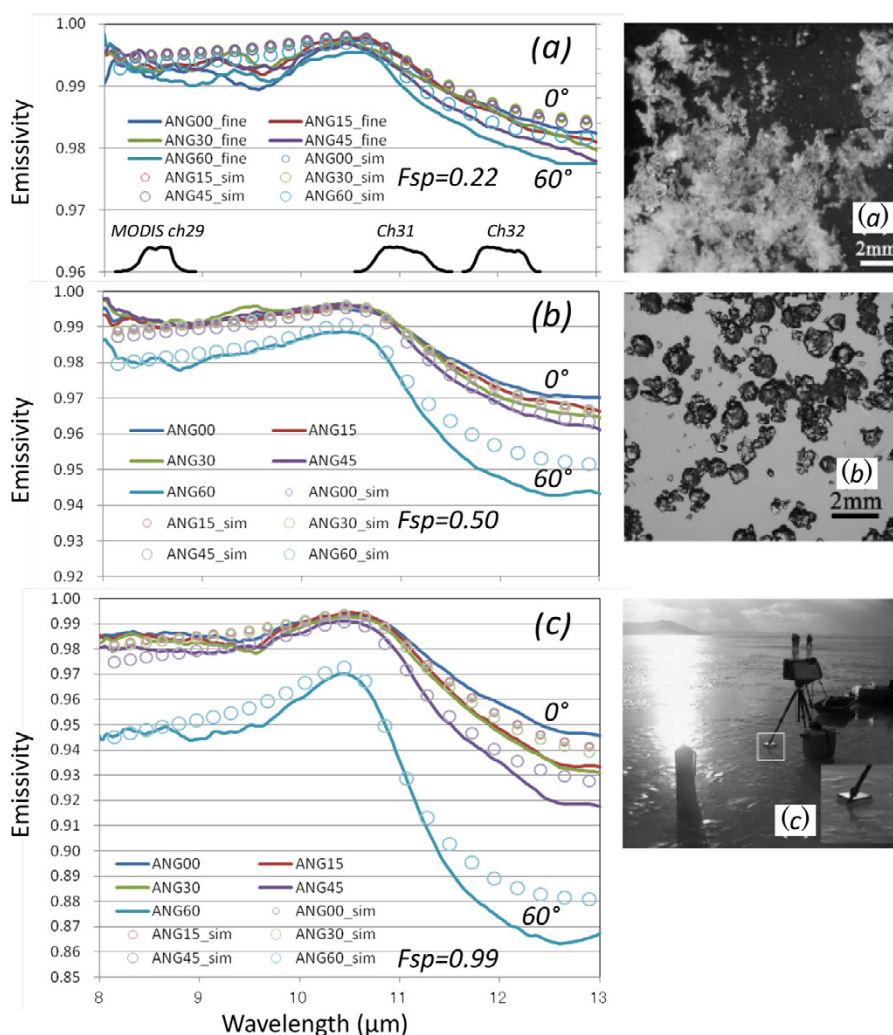


図 1. 雪質毎の熱赤外域分光射出率 (a) 新雪, (b) ざらめ, (c) 裸氷。実線は射出角度 0-60 度における実測値、○印は図中に記載のフレネル面比率 (F_{sp}) を使用した時の計算値を、また (a) に MODIS センサの波長応答関数を示す。右側の写真は各射出率計測時に観察された表面粒子の写真。

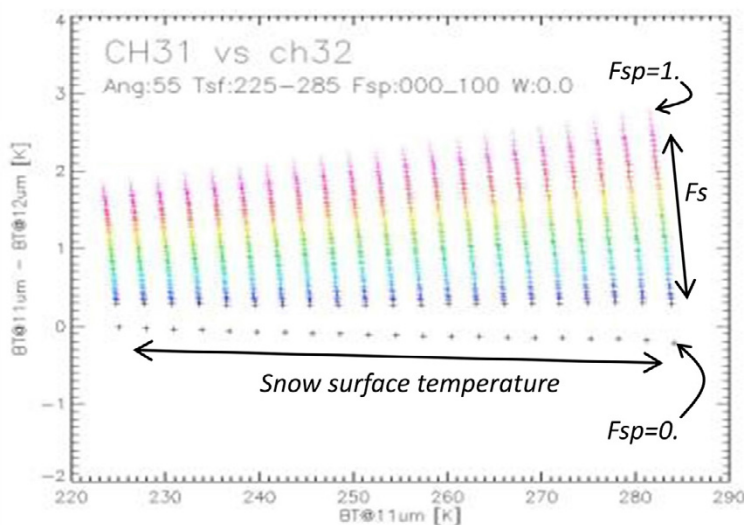


図 2. 雪面のフレネル面比率 (F_{sp}) を 0.0-1.0 まで変化させた場合に Terra/ MODIS センサの熱赤外バンド (Ch31 及び Ch32) が観測する輝度温度の差を MODTRAN にてシミュレーションした結果。

4.6 GCOM-W1 AMSR2 L1R プロダクトの検証

前田 崇

1. はじめに

2012年5月に AMSR2 が搭載された GCOM-W1 が打ち上げられ、その後の初期校正検証期間を経て2013年1月に AMSR2 の L1(レベル1) データが一般公開された。このことから、今年度は AMSR2 の L1 データ公開に向けた準備作業に専念した。担当した L1R の検証作業は、今後の自らの研究(陸面物理量のリトリバル)に大きく関わる部分でもあり、今年度の作業を通して、今後の研究成果を得るための基礎的な知見は得られたと考えている。

2. L1R プロダクトの概要

AMSR2 の L1 プロダクトには L1A, L1B, L1R の 3 種類がある。L1A プロダクトには観測データが校正前のカウント値として、L1B プロダクトには観測データが校正済みの輝度温度として格納されており、いずれも各周波数の受動センサが観測したデータがそのまま格納されている。しかし、図1に示すように、AMSR2 における1回の観測のアンテナパターンの大きさと中心位置は観測周波数毎に大きく異なっている。例えば、L1B プロダクトに図1の観測で得られた輝度温度として 89GHz で 250K、6.9GHz で 200K が格納されていた場合、本来なら両者を同じ地点のデータとして大気補正などを行うことはできない(現状では物理量推定アルゴリズムの中にはこのような処理を行っているものがあり、推定精度悪化の原因になっていると考えられる)。特に、狭い範囲で放射が大きく変化する陸面の場合はおさらである。

L1R プロダクトは L1A・L1B プロダクトが持つこの問題点を解決するために、アンテナパターンの大きさと位置を各周波数間で共通化したプロダクトであり、JAXA から提供される L1 プロダクトとしては AMSR2 で新たに設定された(AMSR-E については、NASA から同様のコンセプトの下で開発された L2A プロダクトが公開されている)。

図2に例として 89GHz のアンテナパターンの大きさと位置を 6.9GHz のアンテナパターンに揃える手順を示す。まず、89 GHz の複数のアンテナパターンを適切な重み付け(重み付け手法は Backus-Gilbert 法と呼ばれる)で合成し、6.9 GHz のアンテナパターンをできるだけ精度よく近似する。この時自ずと、6.9 GHz の

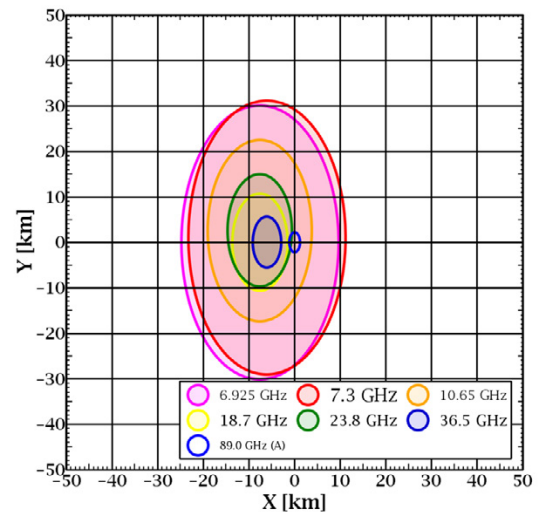


図1. 1回の観測でのアンテナパターンの大きさと中心位置

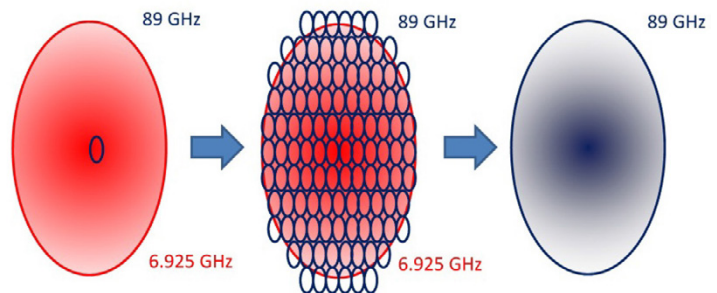


図2. L1R プロダクトの概念(89 GHz のアンテナパターン群で 6.9GHz のアンテナパターンを近似する例)

アンテナパターンの中心部分(周辺部分)に対応する 89GHz のアンテナパターンの重みは大きく(小さく)なる。次に、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。

3. L1R プロダクトの検証

当初の L1R プロダクトの仕様では、NASA が作成した AMSR-E の L2A プロダクトに倣って、常に同一観測の上下左右± 15 ピクセルの範囲、すなわち $(15 \times 2+1)^2 = 961$ 個の小さなアンテナパターンを合成して大きなアンテナパターンを近似することとなっていた。しかし、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ため、「合成範囲を上下左右± 15 ピクセル」とした場合、近似すべき大きなアンテナパターンを完全に覆えない場合が有り得る。近似すべき大きなアンテナパターンを小さなアンテナパターン群で完全に覆えなければ、どのような重み付けを与えても小さなアンテナパターン群で大きなアンテナパターンを再現することはできず、リサンプリングされた輝度温度の品質は劣化してしまう。

このことから、スキャンの各位置で近似すべきアンテナパターンが合成前の小さなアンテナパターン群にどの程度覆われるのかを調べた。図 3 に示すように、アンテナパターンは地上試験のデータに基づいて厳密に評価した。

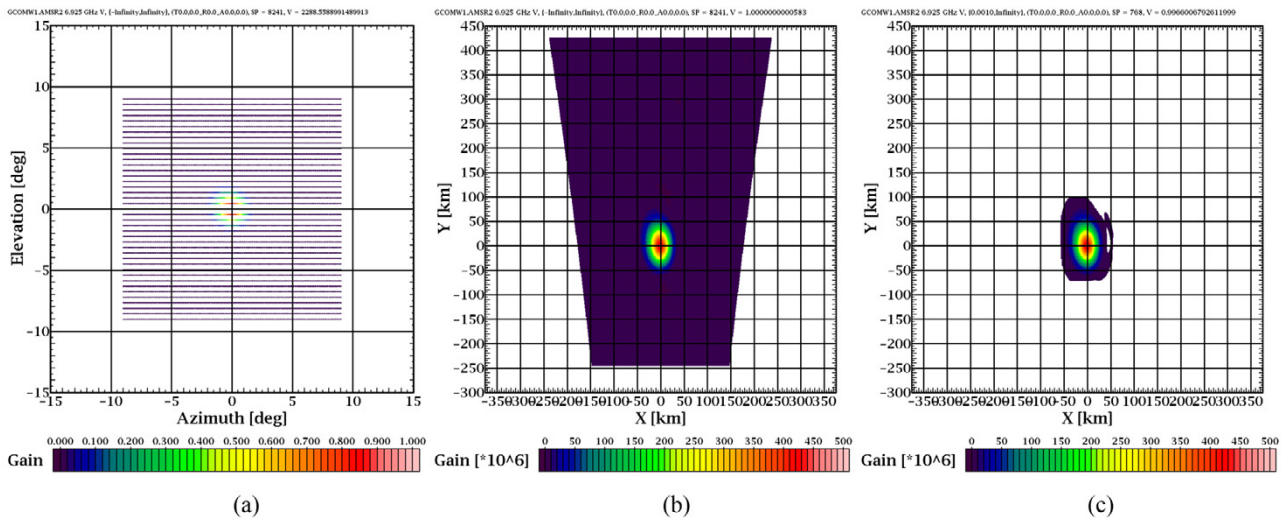


図 3. 評価に用いたアンテナパターンの生成、評価に用いたアンテナパターンは地上試験で得たアンテナパターンデータ (a) を AMSR2 の高度・入射角・オフナディア角の公称値を用いて地球上に投影(球面効果考慮済み)し (b)、最大利得から -30dB 以下を無視したもの (c) を用いた。ここでは 6.9 GHz V のアンテナパターンを例示しており、(c) のサイズはフットプリントの大きさの公称値 (35 × 62 km) の 9 倍になる。

89 GHz V のアンテナパターンを合成して 6.9 GHz V のアンテナパターンを得る場合の検証結果を図 4 に示す。図 4 (a) は「合成範囲を上下左右± 15 ピクセル」とした場合の、スキャンの各位置での 89 GHz V のアンテナパターン群による 6.9 GHz V のアンテナパターンの包含率を示している。この場合、理論上正確にリサンプリングされた輝度温度が求まる包含率 100% の範囲はスキャン中央から± 50 ピクセル程度に限られる。そこで現行の L1R プロダクトでは「合成範囲を上下左右± 30

ピクセル」とし、図 4(b) の評価結果を得て包含率 100% の範囲を拡大した。しかし、それでもなお AMSR2 のフットプリントの分布に起因してスキャン端部では包含率が低下する部分があるため、この品質情報はデータ利用者に提供することとした。

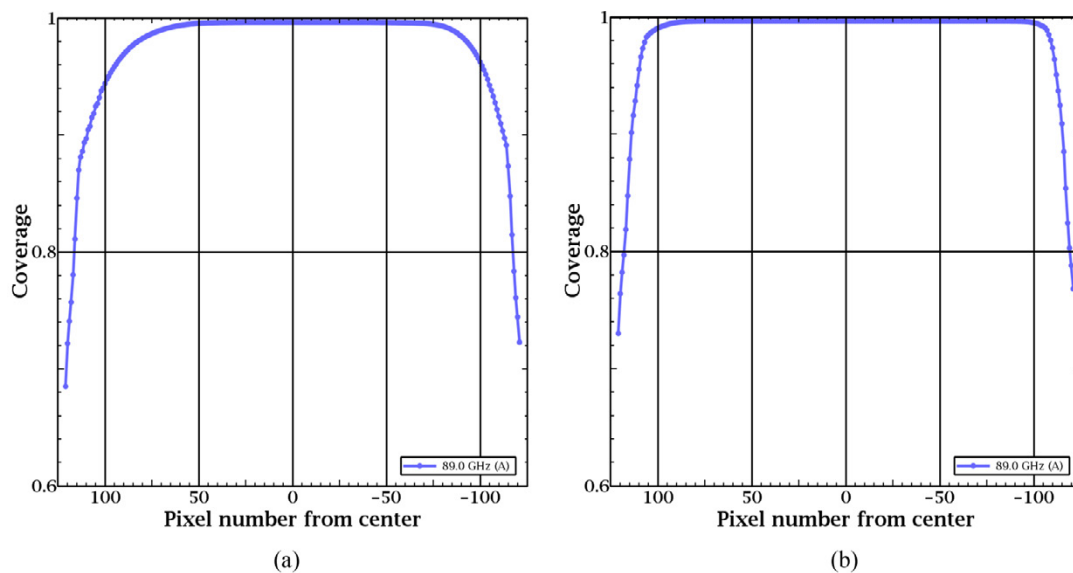


図 4. スキャンの各位置での 89 GHz V のアンテナパターン群による 6.9 GHz V のアンテナパターンの包含率、(a) は「合成範囲を上下左右± 15 ピクセル」と設定した場合、(b) は「合成範囲を上下左右± 30 ピクセル」と設定した場合 (現行の L1R)

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

昨年度は各 PI から提出された GCOM-C/SGLI の海洋アルゴリズムの実装を行い、JAXA 内の計算機でアルゴリズムが動作することを確認した。今年度は、模擬 SGLI データによる処理性能試験と、現場観測等を用いた精度評価を行い、打ち上げ後の精度目標に達しうるかという目的のもと、海洋アルゴリズムの処理性能試験、検証作業を進めた。

また、GCOM-C/SGLI は最大 250m の解像度があり、従来の海色衛星リモートセンシングでは困難であった沿岸域の解析が可能である。しかし、植物プランクトン以外の色素の影響やエアロゾルの影響を受けるため水中アルゴリズムや大気補正に推定誤差が生じる。沿岸域での精度向上には、海域の光学的特徴や大気のエアロゾルの特徴を把握する必要がある。そのパイロットケースとして、昨年度から陸奥湾の衛星クロロフィル a の解析を行っている。前年度は、陸奥湾の衛星クロロフィル a は、秋季から冬季に懸濁物や吸収性エアロゾルの影響で水中アルゴリズム、大気補正が機能せず過大評価されている可能性があることを報告した。そこで、今年度は陸奥湾にて 10 月と 12 月に観測を行った。

2. 海洋アルゴリズムの性能試験と精度評価

大気補正、懸濁物濃度、海表面水温、水中光学特性、そして海洋純基礎生産アルゴリズムについて、模擬 SGLI データを使用した処理性能試験を行った。各アルゴリズムのコードは、GCOM-C/SGLI のインプット/アウトプット仕様である HDF5 に変更した。処理性能試験では各アルゴリズムの処理時間と、メモリ使用量から実際の使用に耐えうると考えられた。また、現場データ等の整理を行い、検証作業を行った。検証の結果、今回作業を行ったアルゴリズムは、打ち上げ後の精度目標に達しうると考えられたが以下の改善点が挙げられた。海表面水温は、アルゴリズムの係数を SGLI 用に変更する必要がある。大気補正は、リモートセンシング反射率が GLI に比べて高かった。海水固有の光学特性は、MODIS を使用して現場と比較した場合の精度は、リリース前の精度に達していたが、GLI のバンドを用いた現場データとの検証では、過大評価の傾向が見られた。海洋純基礎生産では、一般的に使用されているモデルにクロロフィル a 濃度を加えたアルゴリズムは水温依存の影響が少なかった。植物プランクトンの吸収をベースにしたアルゴリズムは、より水温の影響が少なかったが植物プランクトンの波長帯の最適化が上手くいっていなかった。

3. 陸奥湾観測

10 月は台風一過の晴天下で観測を行った。MODIS/Aqua のリモートセンシング反射率データから算出したクロロフィル a 濃度は、現場に比べ誤差範囲内に収まっていた (表 1)。懸濁物濃度は低く、衛星の大気的光学的厚さも小さく、それぞれ現場の値に対し誤差範囲内に収まっていたことから、水中アルゴリズムと大気補正は機能していたと考えられた。また、12 月の観測では、天候が悪く衛星データは取得できなかったが、懸濁物濃度は低く、現場リモートセンシング反射率から推定した

4. GCOM 利用研究

クロロフィル a 濃度は現場の値の誤差範囲内に収まっており、水中アルゴリズムは機能していたと考えられた。

吸収性エアロゾルの影響を受けていると考えられる負のリモートセンシング反射率の季節的な頻度は、秋季から春季に多くみられ、黄砂が陸奥湾に飛来していた日が見られた。このことから、陸奥湾では秋季から春季にかけて黄砂の影響で大気補正が機能していない可能性が考えられた（図2）。

表1. 10月の陸奥湾のクロロフィル濃度

表層Chl-a (mg m ⁻³)	St2	St4
現場	0.57	0.67
衛星Rrsから推定	0.36	0.44
現場Rrsから推定	0.57	0.65

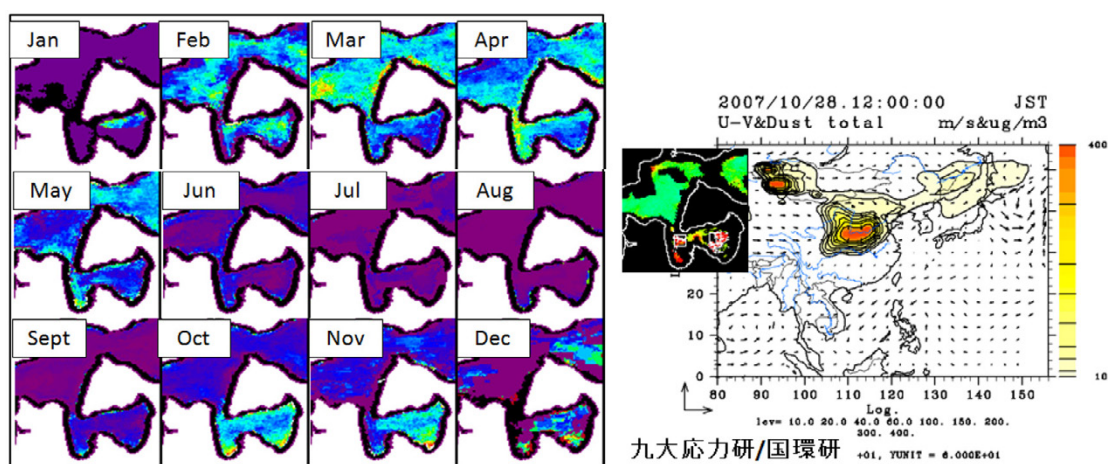


図2. 陸奥湾における負のリモートセンシング反射率の割合の季節変動（左）と、負のリモートセンシング反射率が見られた日（2007年10月28日）の黄砂の分布（右）。

4. 課題

海洋アルゴリズムのより正確な精度評価のためには現場データの追加、また、精度評価の方法、そしてアルゴリズムの最適化を議論する必要がある。そのため来年度は上記を目標にして作業を進める。衛星データの水産資源管理への応用では、陸奥湾では黄砂の影響で大気補正が機能していない可能性が示唆された。以上の解析結果は論文にまとめつつあるが、吸収性エアロゾル以外の影響も考慮するために陸奥湾の水中光学特性を解析する必要がある。来年度は、引き続き陸奥湾の解析を進めるとともに、赤潮が多発する大分沿岸で観測を行い、赤潮時の水中光学特性を解析する予定である。

外部発表

山口他（2012）：陸奥湾における衛星クロロフィル a 濃度の変動解析、日本海洋学会秋季大会（静岡）

4.8 GCOM-C 高次雪氷プロダクトの評価およびグリーンランド氷床における積雪物理量の長期変動

谷川朋範

1. はじめに

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) では地球観測変動観測ミッション (GCOM) 計画のもと、現在、GCOM-C1 の打ち上げに向けて雪氷プロダクトの開発を行っている。この雪氷プロダクトは大きく分けて、積雪 / 海水の面積や分布に関するプロダクトと、大気 / 積雪 / 海水の物理量に関するプロダクトの2つに分けられる。本年度はこのうち標準プロダクトについて現場データを用いた検証を行い、プロダクト精度および課題を精査した。一方、昨年7月、グリーンランドの氷床表面が30年以上にわたる衛星観測以来、これまでに確認されることがない規模で融解したことが GCOM- W1/AMSR2 をはじめとする各種センサによって明らかとなった。また9月には北極海の海水面積が2007年以降最低面積を更新するなど、予想を超える現象が続けて観測された。温暖化の影響は北極域、とりわけ雪氷圏で顕著に現れることから、雪氷圏を時間的・空間的に密に監視する必要がある。そこで現在開発している雪氷プロダクトを用いて、グリーンランド氷床の積雪物理量の長期監視を行い、時間・空間変化を解析したので紹介する。

2. 標準プロダクトの検証結果

2.1 雲・積雪分類アルゴリズム

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つのカテゴリ(雲 / 裸氷 / 海水上積雪 / 海水(湖水) / 陸上積雪 / 森林が混在した積雪 / 森林)に分類するものである。積雪 / 海水面積や分布に関するプロダクトはこのアルゴリズムを通して求められる。このプロダクトの検証を2012年6月28日-7月14日の期間、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を用いて行った。全天カメラ画像は彩度法を用いて雲量を推定し、Aqua/MODIS画像に適用したアルゴリズムの雲 / 積雪判別結果を検証した。その結果、49データ(晴天27データ / 曇天22データ)中、47データを正確に判別することができた(正答率96%)。次にMODISプロダクト(MOD35)との比較を行った。その結果、南極氷床、グリーンランド氷床、アラスカ北方森林帯ではよく判別できていることを確認した。しかし、オホーツク海ではMODISプロダクトに比べ海上の雲を過小評価している傾向にあった。この主な理由は熱赤外チャンネルの閾値の設定にある。今後、現場の検証データと併せて閾値の値を検討する必要がある。

2.2 積雪物理量アルゴリズム

積雪物理量アルゴリズムとは積雪や海水上の積雪粒径、積雪中に含まれる不純物濃度、積雪表面温度、積雪アルベドを求めるものである。これら物理量は大気-積雪系の放射収支を決める重要な物理量である。今年度は標準プロダクトである積雪粒径と積雪表面温度の検証を行った。検証データは北海道、アラスカ、グリーンランドで取得した現場データを用いた。図1(a)にAqua/MODISから求めた積雪粒径の検証結果を示す。新雪などの小粒子は過大評価、ざらめ雪などの大粒子は過小評

価する結果となった。RMSEは0.61であった。リリース基準(1.0)を満たしているものの、ややバイアスが掛かっている傾向にあり、今後、更なる検証データの蓄積と精度向上のための詳細な検討が必要である。図1(b)は(a)同様Aqua/MODISから求めた積雪表面温度の検証結果である。RMSEは2.8Kであり、リリース基準(5.0K)を満たしているものの、低温域でやや値が分散する結果となった。積雪粒径同様、今後、更なる検証データの蓄積と精度の向上を図る。

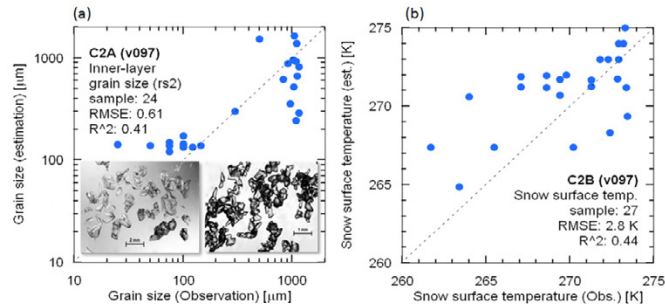


図1. (a) 積雪粒径, (b) 積雪表面温度の検証結果

3. グリーンランド氷床の積雪物理量の長期監視

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。昨年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。この氷床表面の融解は積雪粒径を増加させるため、積雪アルベドを低下させる働きがある。グリーンランド氷床における放射収支、延いては気候に与えるインパクトを理解するためには積雪アルベドを支配する積雪粒径の衛星広域監視が必要である。そこで本研究では過去10年の融雪期の積雪物理量に注目し、積雪粒径と積雪表面温度の経年変動を明らかにすることを試みた。図2(上段)は2003年から2012年までの各年7月の晴天日のみのデータを合成したRGB可視画像(RGB214)である。グリーンランド西部沿岸域および北東部沿岸域において輝度が減少していることが確認できる。図2(中段)はGCOM-C1雪氷プロダクトの積雪粒径を示したもので、2007年以降、氷床南部および北東部で積雪粒径が増大していることが確認された。特に2012年は極端に粒径が大きくなっており、これは氷床表面の全面融解によるものと思われる。図2(下段)は氷床表面の積雪温度を示したものである。2007年以降、ほぼ0度の領域が西側沿岸部および北東部を中心に拡大していることがわかる。また2012年は内陸部まで進行したことが明らかになった。グリーンランド西側沿岸域と北東部は氷床の浅薄化が観測されている地域である。温暖化に伴う雪氷圏変動の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。

4. GCOM 利用研究

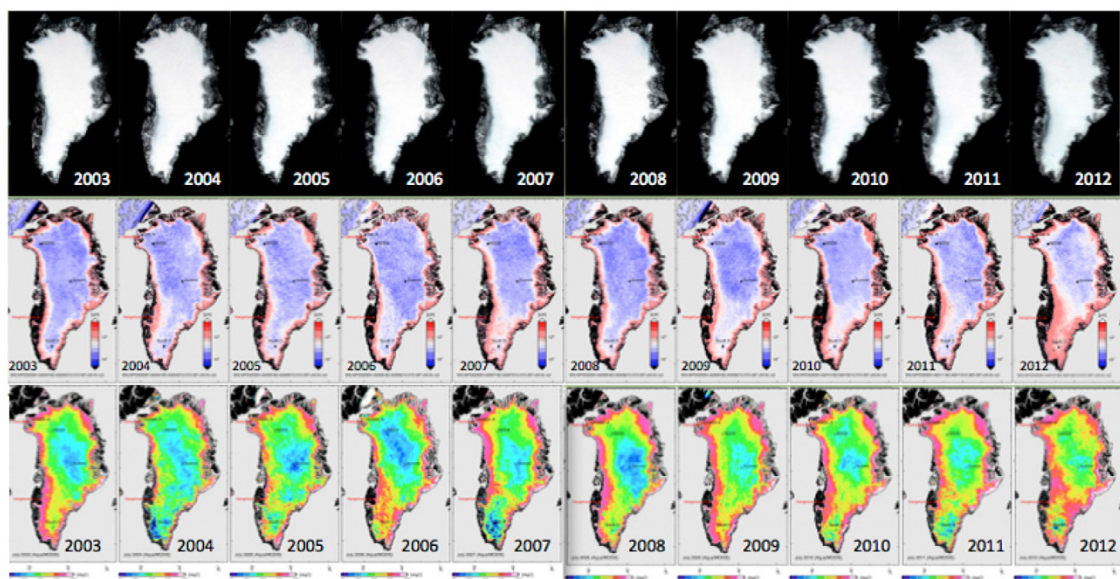


図2. Aqua/MODIS 各年7月の1カ月合成画像：(上段)RGB合成画像(RGB214)，(中段)積雪粒径，(下段)積雪表面温度。

Abstract

The objective of the Global Change Observation Mission-Climate (GCOM-C) satellite carrying the Second Generation Global Imager (SGLI), is to monitor long-term climate change and enable the understanding of global radiation and carbon cycle mechanism. Atmospheric variables (Clouds and aerosols) are among the essential components of this observation system. During this fiscal year, the algorithms needed for the retrieval of cloud and aerosols properties were implemented and evaluated. The results of these important steps in the development of these algorithms are presented here. The implementation step consisted of gathering the appropriate ancillary data related to the running of the programs, adapting parameters to the SGLI sensor characteristics, testing input data and verifying the validity of various assumptions as well as the memory use of these programs. The evaluation step, aimed at assessing the performance of the algorithms, was conducted against products from a spectrally compatible satellite, Terra-MODIS and, ground-based measurements from SKYNET and AERONET. The accuracies of the results obtained, in comparison to the GCOM-C/SGLI target accuracies, are discussed. For most of the retrieval parameters, the target accuracies are either fully or nearly met. However relatively large dispersions seem to affect, more than other parameters, the cloud optical thickness (COT) retrieved by the cloud properties' algorithm. To deal with this matter, some adjustments of the cloud retrieval scheme such as, the addition of an ice cloud phase will be necessary. The land aerosol algorithm has some issues also, with the retrieval of the aerosol optical thickness (AOT) at high surface elevation. The aerosol Ångström (AE) produced by the ocean aerosol properties' algorithm is mostly off-target and would need to be corrected.

Introduction

Last year, the cloud detection algorithm (CLAUDIA) permitting to obtain the cloud or clear sky confidence level, was presented. The results of the implementation and evaluation of the initial version of this algorithm were discussed. The performance of the algorithm was tested on a variety of surfaces (desert, bare land-sparse vegetation, forest, sunglint, poles etc.). Last year also, the initial stages of the implementation of the cloud properties (CAPCOM) and aerosols properties (Land, Ocean) algorithms were introduced. This year, the focus was on the full implementation and evaluation of these cloud and aerosols algorithms.

1) Cloud properties algorithm

Uses 3 satellite channels (1.05, 1.65 or 2.21, and 10.8 μ m) and ancillary data to retrieve mainly daytime COT, cloud particle effective radius (CLER), cloud top temperature (CTT), cloud top pressure (CTP), cloud liquid water path (CLWP). These cloud properties are evaluated against Terra-MODIS retrievals for matching cloud scenes at ± 20 min (Dim et al, 2012). Figure 1 shows the results of this evaluation and the comparison with the SGLI target accuracy.

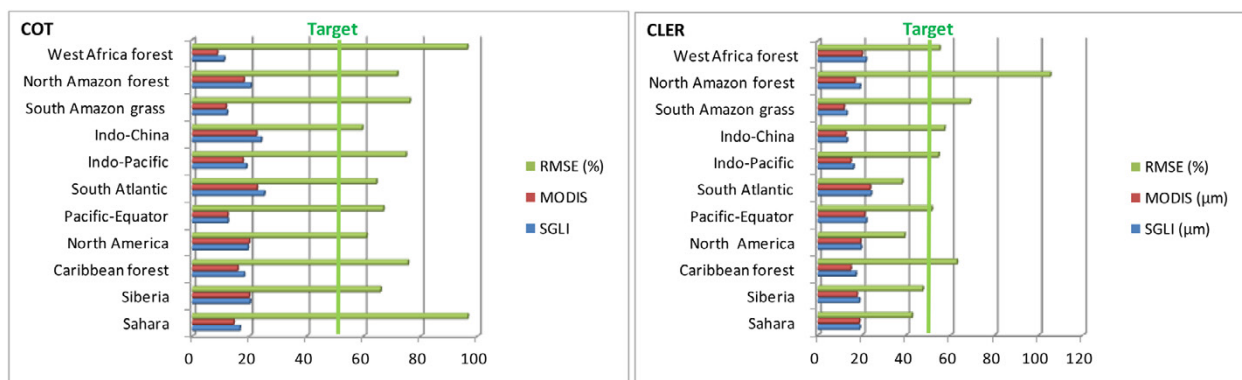


Figure 1. Evaluation of SGLI cloud properties (COT and CLER) and comparison with the SGLI target accuracy (Target: 50%).

For most of the retrieval parameters, the target accuracies are either fully or nearly met. However relatively large dispersions seem to affect, more than other parameters, the COT retrieved by the cloud properties' algorithm. To deal with this issue, some adjustments of the cloud retrieval scheme such as, the addition of an ice cloud phase will be necessary.

II) Aerosol properties algorithms

There are 2 algorithms here (Land and Ocean), using radiances from 4 channels (0.38, 0.68, 0.86 and 1.65 μm), and ancillary data to retrieve daytime AOT at land then ocean, and AE at the ocean. Figure 2 shows the results of the evaluation of these algorithms for the AOT, and how much they meet the SGLI target accuracy. It is clear that, most of the AOTs both at land and ocean are within target. However, during the implementation process, we realized that the land aerosol algorithm has issues with the retrieval of AOT at high surface elevation. There is a systematic overestimation at this level. The AE produced by the ocean aerosol properties' algorithm is mostly off-target and would need to be corrected.

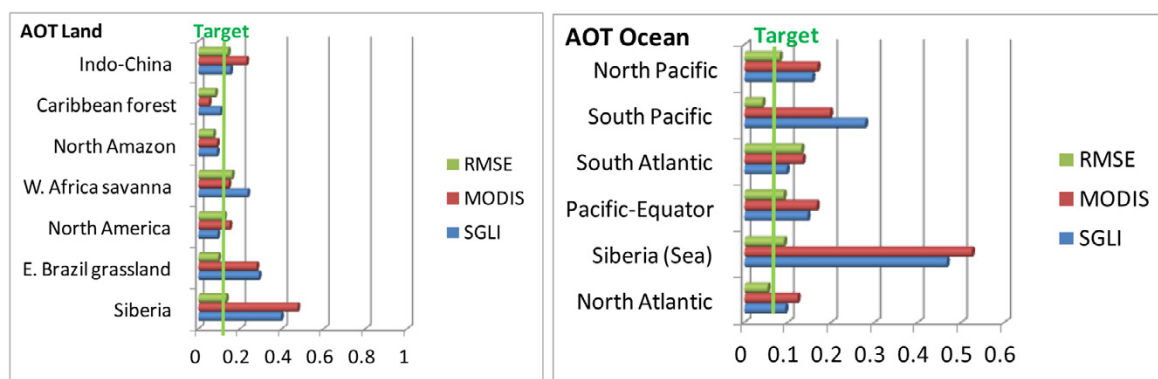


Figure 2. Evaluation of aerosols properties (AOT at land and ocean) in comparison to the SGLI target accuracy (Target: 0.1 at land and 0.05 at ocean).

References

Dim J. R., T. Y. Nakajima, and T. Takamura. 2012. Performance and sensitivity tests of the future climate satellite GCOM-C/SGLI' s cloud algorithm. Proceedings, CMOS/AMS joint meeting. Montreal (Canada) 29 May-1 June 2012

4.10 GCOM-C1 陸域プロダクトの開発

小野祐作

1. はじめに

宇宙航空研究開発機構 JAXA は、多波長光学放射計 SGLI を搭載した第一期気候変動観測衛星 GCOM-C1 を 2015 年度に打ち上げる予定である。GCOM-C1 では、陸域に関する 9 つの標準プロダクトと 5 つの研究プロダクトを生成する予定である。今年度は、“GCOM-C1 の陸域プロダクト（地上部バイオマス、植生指数、地表面温度、土地被覆分類など）を推定するアルゴリズムの性能試験”と“GCOM-C1 の陸域に関する標準プロダクトである光合成有効放射吸収率 FAPAR（植生が吸収する光合成有効放射量の比率）と葉面積指数 LAI（単位面積あたりの植生の葉の総面積）を推定するアルゴリズムの開発”を実施した。本発表では、構築した FAPAR・LAI 推定アルゴリズムに Terra/MODIS のデータを適用した結果について報告する。

2. FAPAR・LAI 推定アルゴリズム

構築したアルゴリズムでは、現場データとモンテカルロ法を利用した植生の放射伝達コードである FLiES(Kobayashi et al., 2008) に基づいて FAPAR と LAI を推定する。FLiES では、太陽から植生のモデルに射出された光子の位置、方向、重みを物理法則に基づいて再現しながら、FAPAR と植生の双方向反射率をサンプリングする。ここで、草原を平行平板の層、広葉樹林の樹冠を回転楕円体、針葉樹林の樹冠を円錐、幹を円柱、林床を平行平板で仮定する。また、樹木の配置を六方光子で仮定する。尚、葉は樹冠の中、枝は樹冠の中に定義された形状の中に一様に分布していると仮定する。

まず、JapanFlux などの観測サイトで計測された単葉の分光反射率・透過率（繁葉期）、LAI、植生の双方向反射率を FLiES に適用して、太陽とセンサの幾何と LAI に依存した FAPAR と植生の双方向反射率（GCOM-C1 の可視・近赤外の波長帯）の LUT ルックアップテーブルを植生の種類毎（草原、広葉樹林、針葉樹林など）に予め作成しておく。そして、GCOM-C1 の可視・近赤外の波長帯の大気補正済み地表面反射率 (1day, 250m) と土地被覆分類 (1year, 250m) のプロダクトを利用して、作成しておいた LUT から対応する植生の双方向反射率を検索することで FAPAR と LAI を推定する。

3. Terra/MODIS 適用結果

五大湖周辺の Terra/MODIS の可視・近赤外の波長帯の大気補正済み地表面反射率 (1day, 500m) と土地被覆分類 (1year, 500m) のプロダクトを構築したアルゴリズムに適用した。

3.1 FAPAR

図 1 は、五大湖周辺で推定した 2007 年 8 月 5 日の FAPAR(1day, 500m) と Terra/MODIS の FAPAR のプロダクト (8days, 1km) である。推定した FAPAR は、Terra/MODIS の FAPAR のプロダクトと比較して、やや過大であるが、その分布と良く一致している。図 2 は、AmeriFlux の落葉広葉樹林の観測サイトである Bartlett Experimental Forest(US-Bar) で推定した 2007 年 1 月 1 日から 12 月 31 日までの FAPAR、Terra/MODIS の FAPAR のプロダクト、計測された FAPAR(Li-COR LI-190) を比較した結果である。推定した FAPAR は、Terra/MODIS の FAPAR のプロダクトと比較して、良く一致している

4. GCOM 利用研究

が、計測された FAPAR と比較して、落葉期で過小である。この原因は、植生の放射伝達のシミュレーションで利用した単葉の分光反射率・透過率が繁葉期のみ（季節変化を考慮していない）であること、AmeriFlux での FAPAR の計測方法などが考えられる。

3.2 LAI

図 3 は、五大湖周辺で推定した LAI(1day, 500m) と Terra/MODIS の LAI のプロダクト (8days, 1km) である。推定した LAI は、Terra/MODIS の LAI のプロダクトと比較して、やや過大であるが、その分布と良く一致している。図 4 は、AmeriFlux の US-Bar で推定した LAI、Terra/MODIS の LAI のプロダクト、2007 年 7 月 29 日に計測された LAI(Li-COR LAI-2000) を比較した結果である。推定した LAI は、Terra/MODIS の LAI のプロダクトと比較して、落葉期で過大であるが、それ以外では良く一致している。この原因は、植生の放射伝達のシミュレーションで利用している枝の分光反射率と面積密度が現実と一致していないことが考えられる。また、推定した LAI は、計測された LAI と比較して、よく一致している。

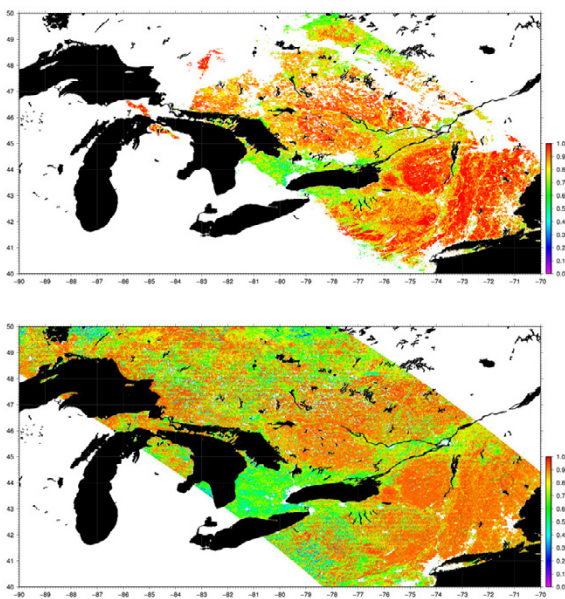


図 1. 五大湖周辺で推定した 2007 年 8 月 5 日の FAPAR (上) と Terra/MODIS の同日の FAPAR のプロダクト (下)

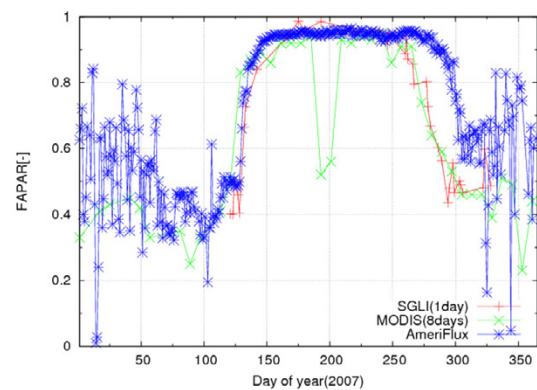


図 2. AmeriFlux US-Bar で推定した 2007 年 1 月 1 日から 12 月 31 日までの FAPAR (赤)、Terra/MODIS の FAPAR (緑)、計測された FAPAR (青) を比較した結果

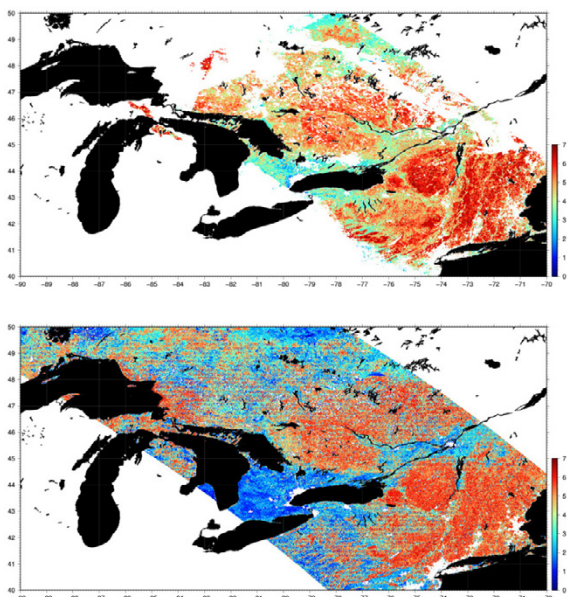


図 3. 五大湖周辺で推定した 2007 年 8 月 5 日の LAI (上) と Terra/MODIS の同日の LAI のプロダクト (下)

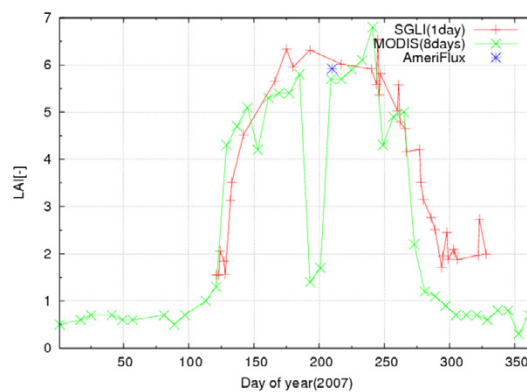


図 4. AmeriFlux US-Bar で推定した 2007 年 1 月 1 日から 12 月 31 日までの LAI (赤)、Terra/MODIS の LAI (緑)、2007 年 7 月 29 日に計測された LAI (青) を比較した結果

5. センサ研究の概要

5. センサ研究の概要

5.1 センサ研究の成果概要

佐藤亮太、今井正、片山晴善、内藤聖貴、植松明久、原田昌朋、中村良子、加藤恵理、室岡純平、矢島由貴江、久世暁彦、須藤洋志、丹下義夫

1. はじめに

EOIRC センサ研究室では、将来の地球観測センサのための技術研究を行っている。イメージング FTS の研究では、2次元 InGaAs カメラを実装したフーリエ干渉計を用い、多数のスペクトルの同時取得を実現した（第2節）。戦略的技術研究として実施している宇宙用赤外線検出器の研究では、Type II 超格子検出器の単画素検出器の性能向上とアレイ化を行いその評価を行なった（第3節）。小型赤外カメラの開発では、JEM/CALET(2014年度打上げ予定)のPFMの開発を進めると共に地上系の整備を実施した（第4節）。光学センサの校正・性能評価装置の整備として、1mφ金積分球の製作を実施し、筐体完成後に初期性能評価試験を行った（第5節）。海面高度計ミッションの検討では、センサ・衛星システムの概念設計を実施し技術課題の抽出を行った（第6節）。サブミリ波放射計の研究では、共同研究により製作した高周波デバイスについて電氣的性能評価試験を実施した（第7節）。大型マイクロ波の研究では、ユーザ要求の整理と技術調査を実施した（第8節）。宇宙用レーザーの研究では、研究モデルの製作、評価試験を実施した（第9節）。植生ライダーの研究では、アレイ検出器の試作と共に地上実験により樹冠高解析の実現性を確認した。（第10節）。

2. イメージング FTS の研究

2.1 研究の背景

近年のアジア地域の急速な経済発展に伴い、大気汚染物質の放出量が増大し、我が国を含む広域への直接・間接的影響が懸念されている。静止衛星からの観測によりアジアの広域大気汚染の動態を常時観測することが重要と考えられている。また、極軌道衛星搭載の高鉛直分解能サウンダデータを同化することにより、数値予報精度の向上が確認されており、静止気象サウンダからの常時観測により高い鉛直分解能・精度・頻度で観測することが望まれている。JAXA では、大気汚染観測ミッションと気象観測ミッションを合わせ、FY18 から静止大気・気象観測ミッションの研究を実施してきた。静止大気観測ミッションを実現できるセンサの候補としてはいくつかの方式があるが、FY21 に実施したトレードオフの結果、大気汚染観測、気象観測のミッション要求を満足できるセンサはイメージングフーリエ干渉計（イメージング FTS）であるという結論に至り、FY22 よりその技術的実現に向けての重要技術課題を抽出し、技術開発・研究を実施することとした。

イメージング FTS を用いる大気気象観測では地球ディスクを1時間に1度で観測する必要があるため、複数地点を一度に観測する必要があり、検出器に積分型アレイ検出器を用いる。FTS は、等間隔の光路差でサンプリングした干渉光：インターフェログラム（IGM）を逆フーリエ変換することで、元のスペクトルを得る。そのため基本原理として等光路差間隔でサンプリングされた IGM を得ることが必要である。GOSAT に搭載されている FTS（TANSO-FTS）では、サンプリングに使用さ

れるレーザ干渉光と太陽光が地表面で反射し大気吸収を受けた観測光を、サンプリングの際に発生するタイミングの差を微調整する遅延回路、および、サンプリング信号のゼロ点調整を厳密に行うことにより、一定距離間隔にサンプリングできるようハードウェアで対応した。遅延時間を任意に変えることが難しい積分型検出器を使用するイメージング FTS では、TANSO で確立した上記の補正技術を使用することが出来ないため、一般的な FTS で使用している等光路差間隔サンプリングを適用することは難しく、観測信号の IGM とサンプリングレーザの IGM を、時刻を基準として個別にサンプリングする方式（ユニフォームタイムサンプリング：UTS 方式）に変更する必要がある。UTS 方式のフローチャートを図 2-1 に示す。

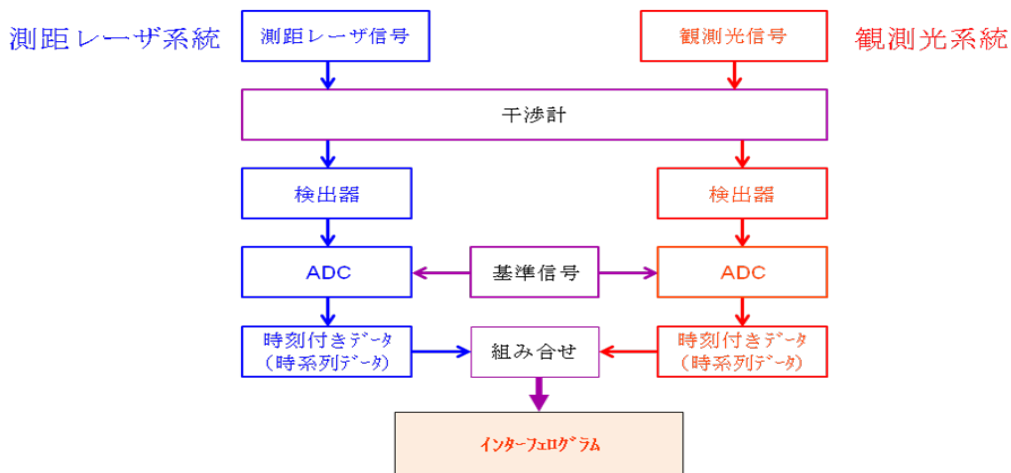


図 2-1 UTS 方式におけるデータ処理フロー
時刻を基準としてデータを取得し、後処理で測距信号と観測光を合わせ、インターフェログラムを生成する。

UTS 方式では、逆フーリエ変換する前に、時刻を基準にサンプリングされたデータを、等間隔の光路差の IGM に再生成する。その際に、走査速度不安定性や微小振動の影響を補正するためには、サンプリングレーザのフリッジのゼロクロス点だけでなく、オーバーサンプリングする必要がある。

UTS 方式を用いた FTS については宇宙機搭載の実績・経験がないことから、必要なサンプリング周期、必要なデータ処理方法について解析、実験で確認する。また、単素子を使用する通常の FTS では光軸上データのみを取得するが、イメージング FTS では光軸外素子データも取得することから、実験により光軸外の特性も評価することとした。

2.2 FY24 研究の概要

- ・ UTS 方式を用い、アレイ検出器を用いた複数スペクトル取得を実証した。静止大気気象観測の要求を実現するためには 128×128 アレイ検出器が必要であるが、検出器の開発費用が膨大になるため、本研究では 1/4 スケールとなる 64×64 アレイ InGaAS 検出器を用いて実施した。また、実際に取得したデータの波数精度、吸収線透過率精度を評価し、良好な結果を得た。
- ・ 宇宙機で発生が予想される擾乱環境下においてスペクトル導出実験を実施し、良好な結果を得た。

5. センサ研究の概要

2.3 FY24 の結果

一般市販品のフーリエ干渉計を、低速動作が可能となるように改修し、 $1 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 付近に感度を持つ InGaAs 積分型アレイ検出器を組み合わせ、実験・評価系を構築した。光源にはハロゲンランプを使用し、スペクトルを取得する大気成分としてメタンの入ったガスセルを使用した。図 2-2 に実験系の写真を示す。この試験系を用いて、複数スペクトルを導出した。本試験により開発したアルゴリズムの妥当性を確認した。

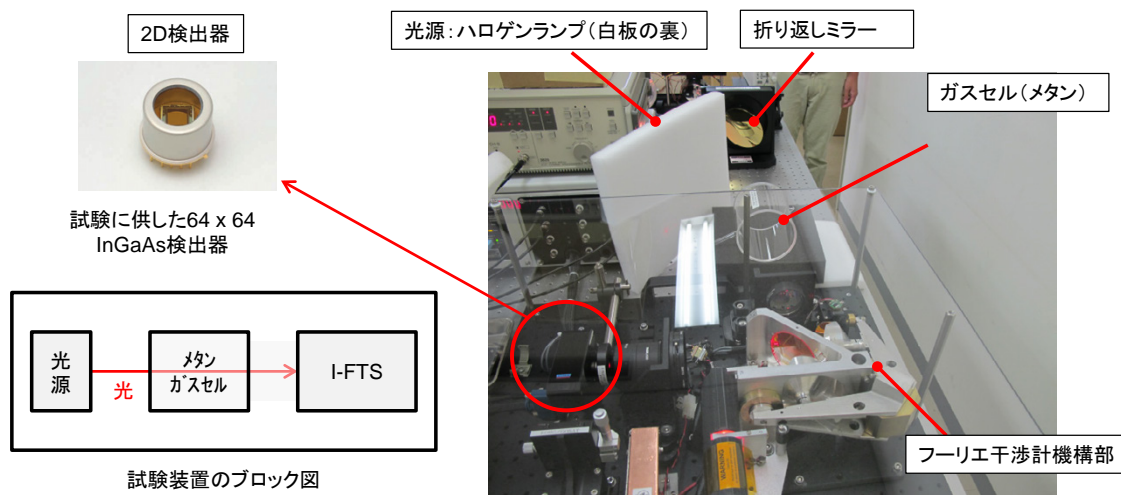


図 2-2 構築した実験評価システム

図 2-3 にこの実験系で取得したスペクトルを示す。4096 個のスペクトルを取得したが、スペースの関係上、ここでは代表例として、画角中央、画角端、および、その中間で取得した 3 つのスペクトルを示す。入射光の強度の違いにより出力の差はあるが、スペクトルの形状は一致していることが分かる。

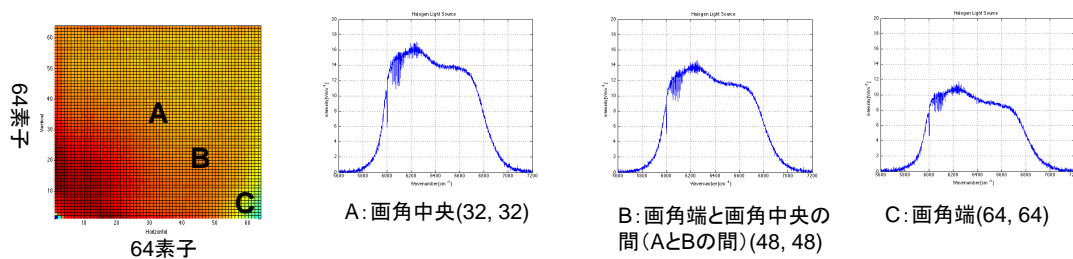


図 2-3 アレイ検出器の異なるエリアで取得したスペクトル

上記で取得したスペクトル、および、ガスセルを通さないで取得したスペクトルから、吸収スペクトルを導出した。スペクトルは、画角中央と画角端で求め、エリアの違いによるスペクトル形状を比較した。結果を図 2-4 に示す。画角中央と画角端でスペクトル形状の差はほとんどないことが分

かる。吸収線位置の精度については、2つのスペクトルのそれぞれについて、HITRAN データベースのライン位置とスペクトルの吸収線の位置を比較した。図中の黒線が HITRAN データベースのライン位置であり、実験で得られた吸収線との差は、両者とも 0.5cm^{-1} 以下の結果となった。

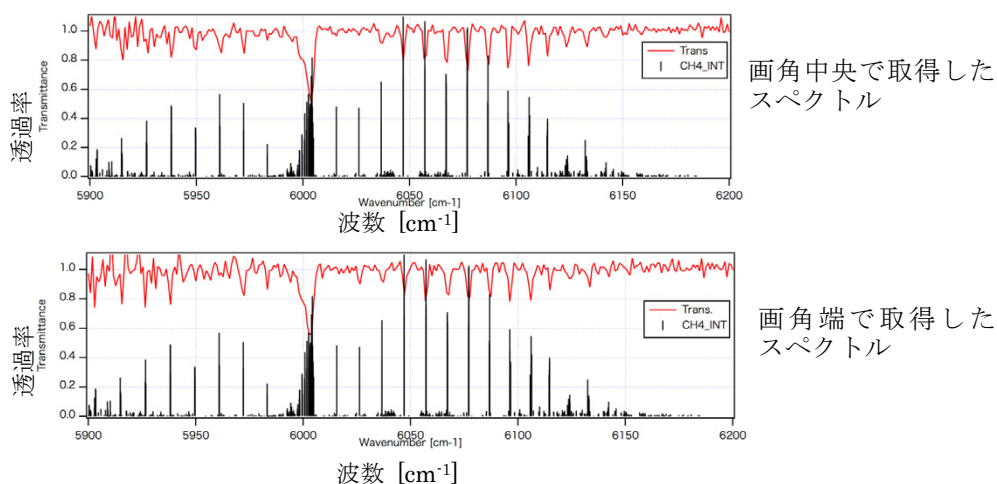


図 2-4 画角中央、および、画角端で所得した吸収スペクトル。赤線が吸収スペクトル、黒線が HITRAN データベースのメタンの吸収線位置

また、ガスセルのメタン濃度、干渉計の干渉効率、光学系の透過率、および、検出器の感度から解析で求めた吸収スペクトルと、実験で取得したスペクトルを比較した。ここでは画角中央のスペクトルを用いた。結果を図 2-5 に示す。解析で求めたスペクトルと実験で求めたスペクトルの間に、ほぼ差が無いことが分かる。

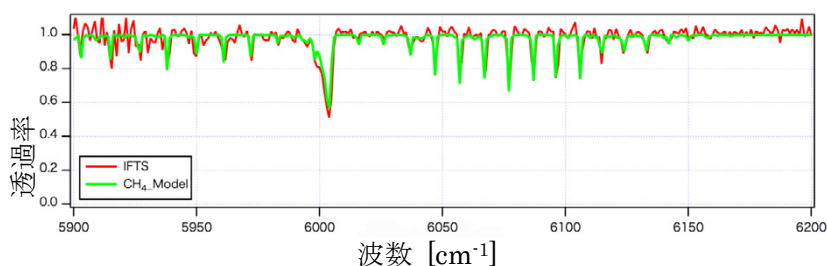


図 2-5 解析で求めた吸収スペクトル(緑線)と実験で求めたスペクトル(赤)の比較

静止大気気象ミッションと同じ処理パラメータである 10kHz フレームレート検出器の実験系で取得した試験結果を図 2-6 に示す。実験系の都合で、 1kHz フレームレート検出器の実験系で取得したデータと波数分解能が異なっているため、 10kHz フレームレート検出器実験系の方に合わせているが、 6000cm^{-1} 付近のメタン吸収線の位置が一致していることから、良好に取得出来ていることが分かり、静止大気気象ミッションと同じ高速フレームレートの条件でもスペクトルが取得できることを実証した。

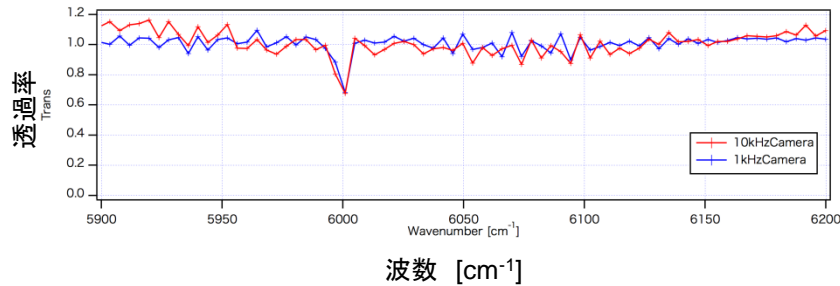


図 2-6 10kHz フレームレート検出器で取得したスペクトル (赤) と 1kHz フレームレート検出器で取得したスペクトル (青) の比較

振動環境下の実験としては、図 2-2 の実験系に小型の加振器を取り付け、干渉計機構部の共振周波数 (100Hz) に 1mG の振動を印可してスペクトルを取得した。1mG は、軌道上の GOSAT で実測されたレベルである。干渉計機構が擾乱により一定速度からずれるが、同じ干渉計を通り、同じく振動の影響を受ける測距レーザ系のデータも取得しており、このデータを用いて振動の影響を補正している。取得したスペクトル、および、振動が無い条件で取得したスペクトルを図 2-7 に示す。両者の差はほとんどないことから、補正が良好に機能していることが分かる。

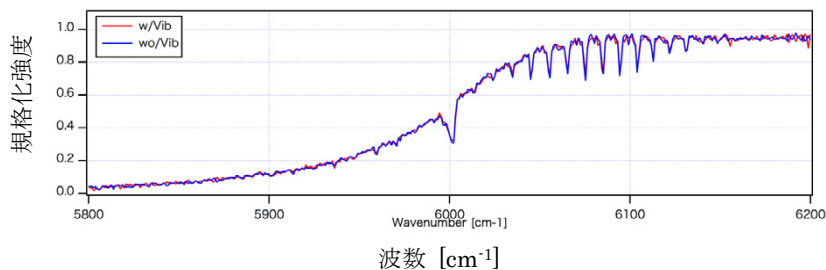


図 2-7 振動環境下で取得したスペクトル (赤) と振動が無い条件で取得したスペクトル (青)

2.4 まとめと今後の計画

FY24 までの実験により、UTS アルゴリズムの技術的実現性を確立することが出来た。また、静止大気気象ミッションの 1/4 レベルの素子数、および、同じ処理速度の 10kHz フレームレートの条件で実験を実施し、良好な結果を得た。衛星搭載で課題となる振動環境については、小型の加振器で振動環境を印可した条件でのスペクトルを取得し、振動が無い条件と同等のスペクトルを取得できることを実証した。

今後は、更に地上実験を行ってデータの精度を高めるとともに、ISS 搭載、小型衛星搭載等で軌道上での技術実証も目指し、静止大気気象ミッション実現に向け研究を進めていく。

3. 宇宙用赤外線検出器の研究

常時観測を実現できる静止地球観測の要望は、気象に限らず多く、JAXA ミッションロードマップでも第 3 期中期計画期間に新たに実現すべき高度なミッションの中核となる技術分野である。またミッションを成立させるために必要となる観測センサおよびその検出器技術は、ミッションの成否

5. センサ研究の概要

を握る重要な鍵である。このため、戦略的に進める技術分野を「静止地球観測技術における検出器技術分野」として、ミッション成立に必要となる検出器について研究開発を進めることとした。

検出器のうち、特に中間、熱赤外域の赤外検出器は、以下のような高い戦略性を有し、かつ JAXA の将来的なミッションの高度化や創出に貢献するため、重点的に研究を進めることとした。

- (1) 世界最大フォーマットの非冷却赤外検出器の開発により、JAXA の静止地球観測、及び惑星大気観測等のミッションの高度化が可能となり、かつ、民生技術への波及効果も期待できる。
- (2) 従来の HgCdTe 検出器に代わり得る、世界最高感度の新たな冷却型赤外検出器の研究開発が成功すれば、将来の観測ミッション（気象センサを含む）の高度化に大きく寄与できる。なお、HgCdTe は米国輸出管理品目であるため、本研究開発により、わが国のミッションの自在性確保にも貢献できる。（欧州各国や韓国は、赤外検出器確保のため、国が大規模な研究体制を構築）

3.1 InAs/GaSb Type II 超格子 (InAs/GaSb strained layer superlattice) の研究

超格子は、1970 年代に Esaki and Tsu により発見された。1987 年には Smith and Mailhot によって InAs/GaSb Type II 歪み超格子 (strained layer superlattice) 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。その後分子線エピタキシー法 (MBE; Molecular Beam Epitaxy) の発達により精度の高い結晶が作られるようになり、近年その性能が飛躍的に向上してきている。InAs/GaSb Type II 超格子は図 3-1 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、そして③III-V 族化合物半導体の技術を利用できることが挙げられる。

また HgCdTe と比較して、電子の有効質量が大きく ($m^* \sim 0.03m_0$)、バンドギャップに対する依存性も弱いためトンネル効果による漏れ電流の影響が小さくなると考えられている。HgCdTe に比べて均質な結晶を作りやすいことも利点として挙げられる。

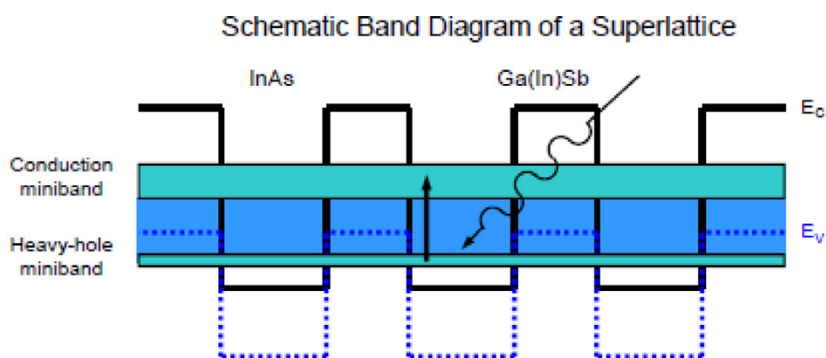


図 3-1 Type II 超格子のバンド構造と吸収プロセス (Hill et al 2009)

Type II 超格子は国際的にも研究レベルで、製品化されているのは中間赤外域のごく一部である。Type II 超格子の開発は各国で精力的に進められており、検出器としてのパフォーマンスを示す RoA はほぼ年間 1 桁の割合で向上している。このため本研究においてもこのような世界動向を抑えた研究の進め方が必要である。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 100×100 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なっている。FY23 までは $6\ \mu\text{m}$ カットオフの単画素検出器を試作し、目標とする暗電流、量子効率の赤外検出器が製作可能であることを確認した。

FY24 は FY23 までの成果をもとにメーカーと共同で国内では初となる $6\ \mu\text{m}$ カットオフの多画素検出器の試作を行った。図 3-2 に試作した多画素検出器と多画素検出器で取得した赤外線画像を示す。本研究で日本初となる Type II 超格子による赤外線画像の取得に成功したものの、性能面ではまだ改良の余地があり、今後解決すべき課題が明らかとなった。

また単画素検出器の開発では、超格子の層厚を変更することにより、 $6\ \mu\text{m}$ よりさらに長いカットオフ波長をもつ検出器を試作し、その分光感度の測定を行った。図 3-3 に試作した検出器の分光感度特性を示す。層厚のコントロールにより目標とする $15\ \mu\text{m}$ の長波長までカットオフを持たせることが可能であることを確認した。しかしながらこちらも長波長ほど暗電流が大きくなる、カットオフが不明瞭であるなど今後解決すべき課題が明らかとなっており、FY25 以降でこれらの課題を解決していく予定である。

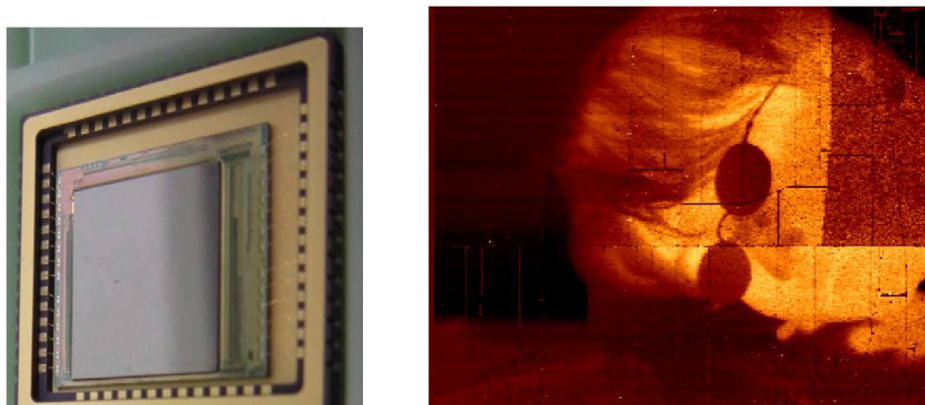


図 3-2 (左) 試作した多画素検出器と (右) 多画素検出器で取得した赤外線画像

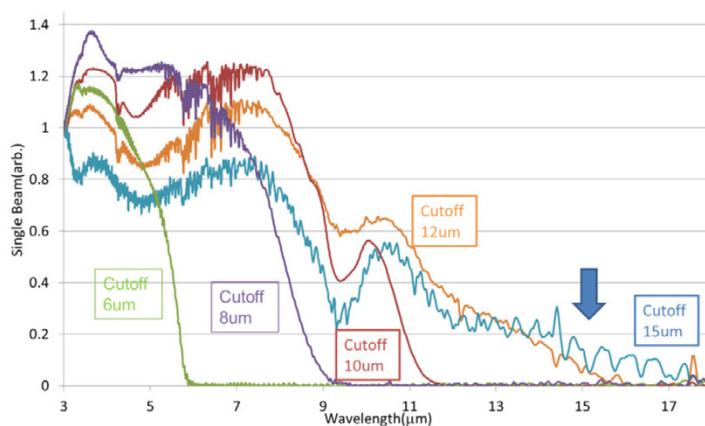


図 3-3 カットオフを長波長まで伸ばした Type II 超格子の分光感度測定結果

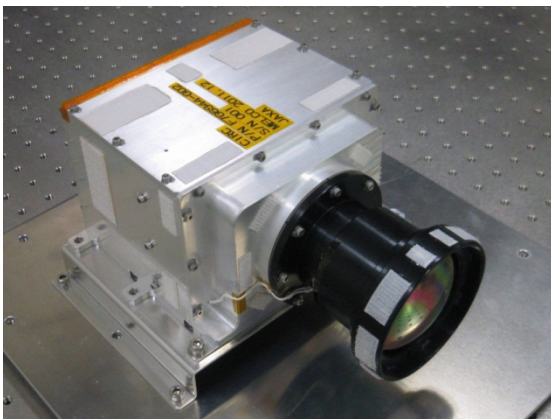
5. センサ研究の概要

4. 地球観測用小型赤外カメラ (CIRC) の開発

4.1 CIRC の概要

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 4-1 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 × 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。



項目	性能
波長域	8-12 μ m
画素数	640 × 480 SOI ダイオード
瞬時視野	0.0183° (GSD200m@ 高度 600km)
視野角	11.7° (CT) × 8.8° (AT) (128×96 km)
寸法	108 x 183 x 230 mm
重量	3.1kg
消費電力	20W

図 4-1 ALOS-2 搭載 CIRC の外観と主要諸元

4.2 CIRC の開発状況

CIRC は、ALOS-2(2013 年度打上げ予定)、および JEM/CALET(2014 年度打上げ予定) に搭載される。

ALOS-2 搭載用 CIRC PFM は FY23/3 月にシステムへの引き渡しを完了し、FY24 は衛星システムに組み込まれた状態での初期電気性能、熱真空試験が実施された。

JEM/CALET 搭載用 CIRC PFM は、FY24/3 月までに三菱電機にて製作・プロトフライト試験を完了した。その後、筑波宇宙センターにて真空中校正試験を実施し、性能評価および温度校正に必要なデータ取得を行った(4.3 項参照)。PQR を実施後、CALET システムへの引渡しを完了した。

4.3 真空中校正試験

JEM/CALET 搭載用 CIRC の真空中での性能確認、および温度校正用データ取得のため、筑波宇宙センターにて真空中校正試験を実施した。

性能確認については、CIRC の動作温度範囲 (-15 ~ 50°C) において、(i) 結像性能 (MTF) と、(ii) ラジオメトリック性能の評価を行った。図 4-2 に結像性能 (MTF) の試験結果を示す。CIRC の動作温度

5. センサ研究の概要

範囲において、AT 方向 MTF は仕様の 0.3 を上回っていることを確認した。一方 CT 方向 MTF は画角端に測定誤差を考慮しても 0.3 を満たさない測定点があったが、実運用上は画像の重ね合わせを行うことで影響は軽減される。従って、画像取得には大きな影響はないと判断した。ラジオメトリック性能に関しては、NEDT が 0.2K 以下、FPN は 0.3 以下と仕様を満たしていることを確認した。また、温度校正用データを取得し、温度決定精度が仕様の 4K 以下となることを確認した。

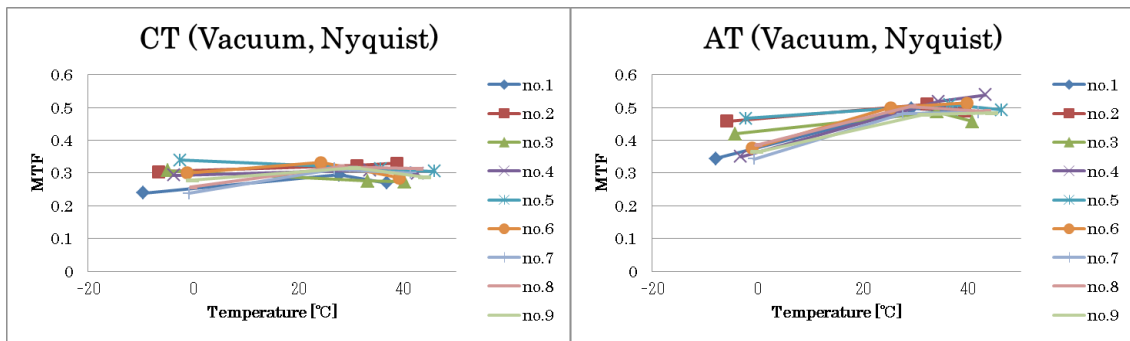


図 4-2 MTF の環境温度依存性
左は CT 方向、右は AT 方向の MTF。また色の違いは画角の位置を示している。

4.4 航空機観測

FY24/1 月 29、30 日に、打ち上げ後の校正検証へ向けた準備として中日本航空所有航空機搭載マルチスペクトルスキャナを使って航空機観測を実施した。当初計画では、小貝川河川敷周辺で予定されていた野焼きを観測する予定であったが、野焼きが中止されたため観測対象地区を工業地帯に変更し、航空機観測を実施した(川崎地区、名古屋港地区)。取得した温度分布画像を図 4-3 に示す。

また FY24 に CIRC 地上検証用モデルを航空機に搭載するために必要な設計検討を実施した。搭載設計結果を図 4-4 に示す。



図 4-3 マルチスペクトルスキャナによる温度分布画像
左が川崎地区、右は名古屋港地区の画像。

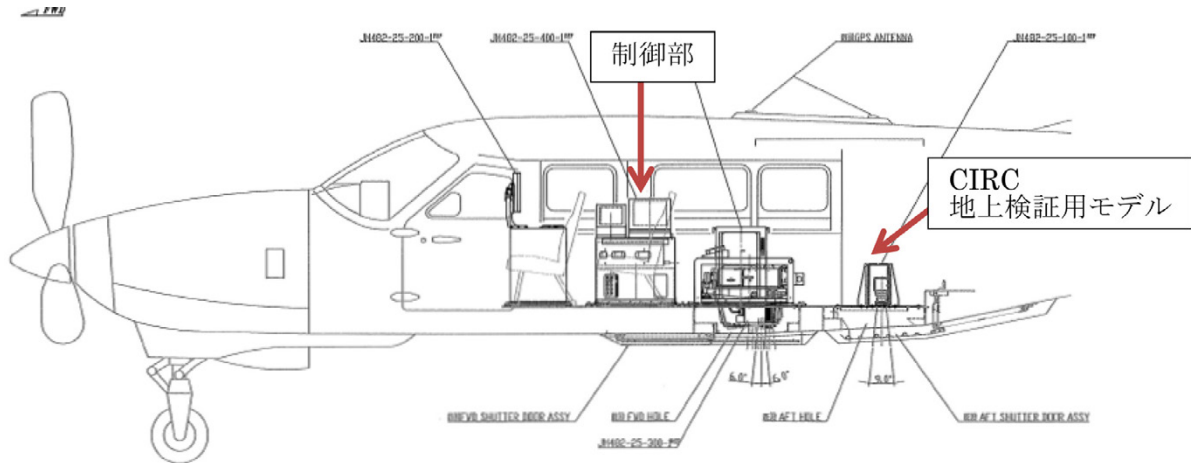


図 4-4 CIRC 地上検証用モデルの航空機搭載設計結果

4.5 地上システムの構築

FY24 は ALOS-2 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。CIRC 地上システムは、次に示す 3 つの装置で構成されている (図 4-5)。

① CIRC 計画立案装置

観測シナリオと衛星側からインプットされる衛星運用情報 (軌道、姿勢等) を元にして、CIRC の観測要求を作成する。

② CIRC データ処理装置

ALOS-2 地上システム側のデータサーバからレベル 0 のデータを受け取り、幾何補正及び輝度補正を行う (レベル 1 データ)。さらにレベル 1 データから火災の検知までを行う (レベル 2 データ)。

③ CIRC データ公開装置

レベル 1 及びレベル 2 データを外部に公開する。

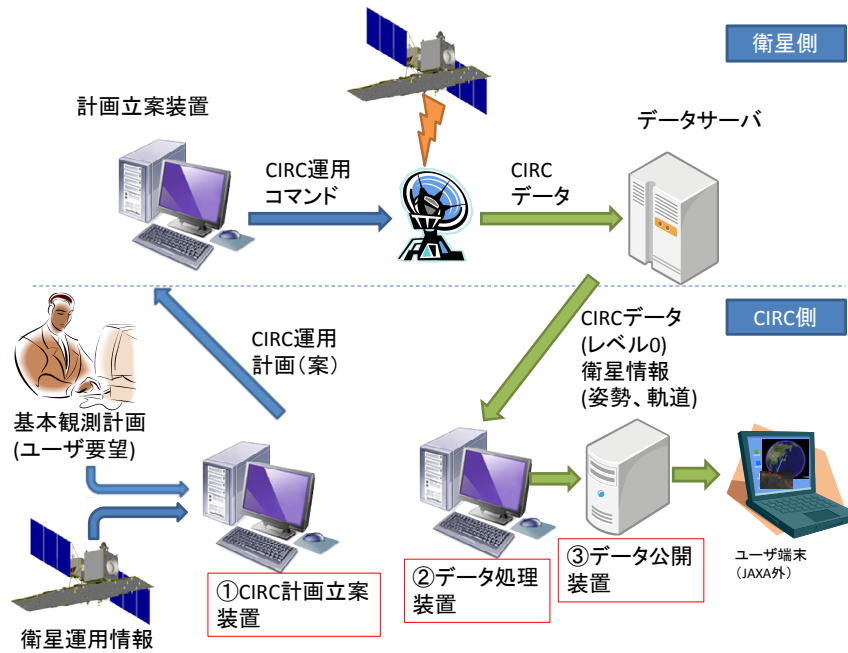


図 4-5 ALOS-2 搭載 CIRC 地上システム概要

CIRC の基本運用フローを図 4-6 に示す。ALOS-2 地上システムは観測要求作成の際に必要な軌道情報、姿勢情報、運用制約情報を CIRC 地上システムへ提供する。CIRC 地上システムは観測要求として、観測開始/終了時刻、画像伝送開始/終了時刻、観測パラメータ等の情報を ALOS-2 地上システムに提出する。ALOS-2 地上システムは提出された観測要求に従って、運用計画の調整を行い要求に対する採否結果を観測計画として CIRC 地上システムへ提供する。

ALOS-2 地上システムは CIRC 観測データのレベル 0 処理を行い、レベル 0 データを CIRC 地上システムへ提供する。また、ALOS-2 地上システムは ALOS-2 軌道データ、CIRC 関連テレメトリデータ、及び姿勢関連（観測方向）テレメトリデータを CIRC 地上システムへ提供する。

CIRC 側は ALOS-2 より配布されたレベル 0 データ（パッケージ化された生データ）を処理し、輝度補正、幾何補正、火災検知を行う。処理後のレベル 1 データ及びレベル 2 データは外部に公開する。

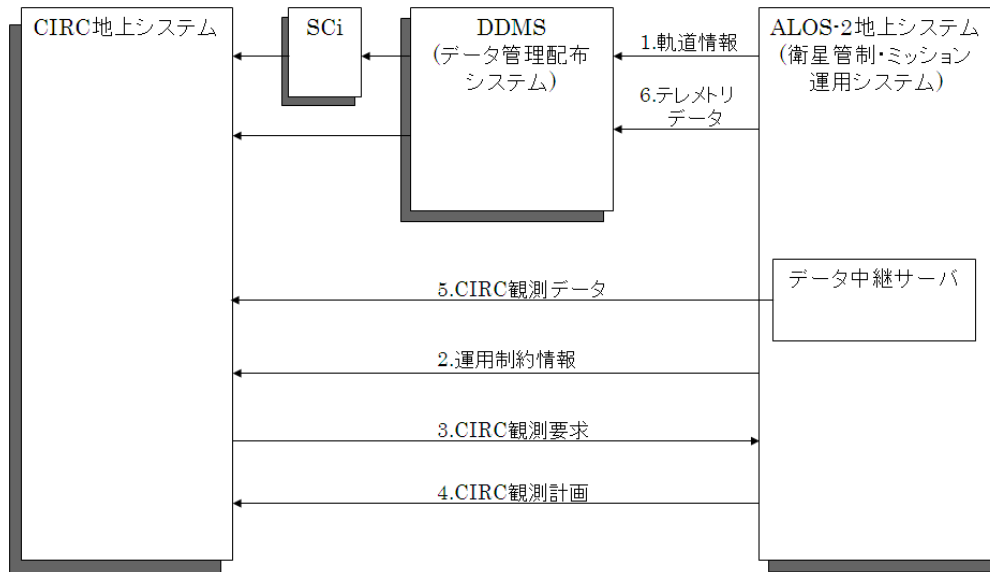


図 4-6 CIRC 基本運用フロー (ALOS-2 地上システムとのデータインタフェース)

5. 光学センサの校正・性能評価試験技術の研究

地球観測センサによる観測精度は、センサの性能だけでなく、センサをどれだけ精度良く校正・特性評価できるかによっても決まる。校正・性能評価試験技術は、地球観測ミッションを実現する上で不可欠な基本的技術である。

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。

本研究の目標は、①輝度校正技術は、可視近赤外（VNIR）と短波長赤外（SWIR）で精度 1 % を達成すること、②波長校正技術は、センサ全系で測定を実施し、波長精度 0.1 nm を達成すること、③今後のプロジェクト支援の目処を得ることである。

(1) 輝度校正標準の維持管理と運用

光学センサの輝度校正標準の概要を図 5.1 に示す。

銅などの金属の固体と液体の相平衡状態を作り出し、その時の温度（1084.62 °C など）を利用する定点黒体炉は、その温度が再現性良く実現されるので、高い精度の放射輝度標準となる。輝度校正標準として、国家標準にトレーサブルな定点黒体炉を用いる。

比較標準分光輝度計は、2つの開口前に設置した測定対象（定点黒体炉、積分球等）の光をそれぞれ、鏡を切り換えることで同じ分光部・検出部に導く。検出器出力を比較することで、各波長における一方の光源の分光放射輝度の値を、他方に移すことができる。

積分球は、中空の球の内壁に硫酸バリウム等を塗布して拡散反射板とし、内部で点灯させたランプの光を完全拡散光にして、開口部より出射するものである。比較標準分光輝度計を用いて定点黒体炉から積分球に分光放射輝度の値を移し、積分球を二次標準としてセンサが校正される。

5. センサ研究の概要

これらの輝度校正標準の精度を維持・保証するために必要な評価試験を定期的の実施している。また、必要に応じて適宜改修を実施している。

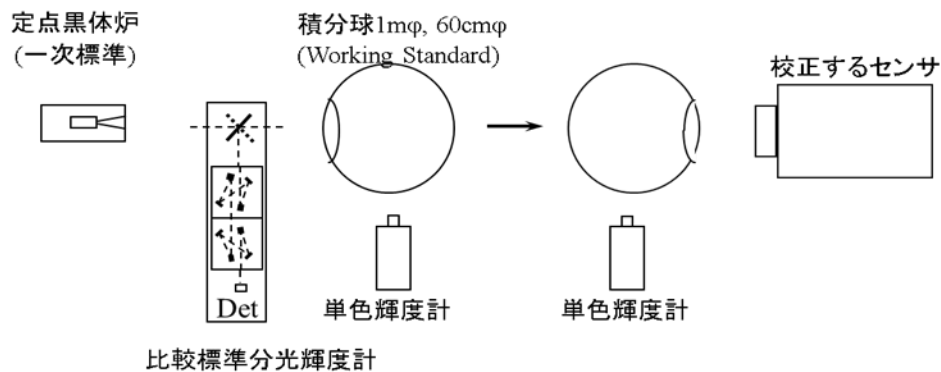


図 5.1 光学センサ輝度校正標準の概要

(2) 短波長赤外域での精度向上の研究

短波長赤外域で精度 1% を目標として、①硫酸バリウムに代わる積分球の開発、②評価ツールである単色輝度計の開発、③分光放射輝度の校正技術の開発を実施している。

従来使われてきた硫酸バリウムによる積分球は、硫酸バリウムが親水性の材料のため、水蒸気吸収の影響を強く受け、光学輝度標準として精度を損なう問題点がある。GCOM-C に搭載される SGLI や、経産省で開発中の HISUI のような大開口のセンサは、開口の大きな硫酸バリウム積分球を使用するしかなく、短波長赤外域での校正精度が大きく損なわれる。一方、近年 EORC センサ研究室での研究を進めている内壁材料としての金は、硫酸バリウムと比べて短波長赤外域での反射特性に優れ、また疎水性であるため水蒸気吸収バンドにかかる波長域での安定度も良い。

FY19～23 の研究により、1 m Φ 金積分球の筐体を製作し、初期性能評価試験を行って、筐体が要求性能を満たすことを確認した。FY24 は、①完成した 1 m Φ 金積分球筐体へのランプやモニタ等アクセサリ類の組み上げ、②シャント抵抗校正、③ランプ電流設定値検討、④ランプエイジング（分光放射輝度モニタの評価を兼ねる）、⑤電源電流安定度評価、⑥輝度安定度・再現性評価、⑦輝度むら評価、⑧分光放射輝度校正、⑨単色輝度計による分光放射輝度校正結果のクロスチェックを行った。図 5.2 に金積分球システム全体の写真を、表 5.1 に⑥～⑧の評価結果概要（FY24 の評価試験で設定した要求仕様値と評価結果）を、それぞれ示す。

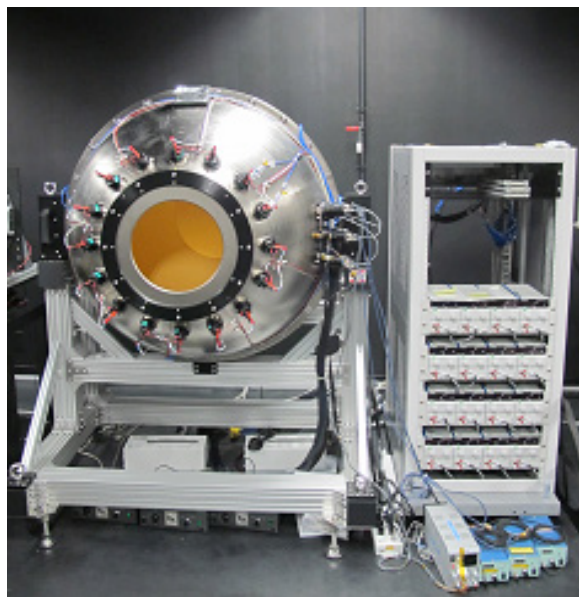


図 5.2 金積分球システム

表 5.1 評価項目

項目	設定した要求仕様	評価結果概要		
輝度安定度・再現性	0.2 %	ランプ定格と比べて非常に低い電流設定の場合を除き 0.2 % 未満（低い電流設定の場合は最大 0.4 % だが電源自動制御化により改善見込み）		
輝度むら（一様性）	ϕ 300 mm 開口で 2 % (peak to peak)	2 % 未満		
分光放射輝度校正 (レベル)	SGLI の SW1-4 の Lmax、Lstd レベルが実現可能	以下のランプを点灯すれば実現可能		
			Lmax レベル	Lstd レベル
		SW1	全ランプ 16 個	50 W ランプ 4 個
		SW2	50 W ランプ 8 個	10 W ランプ 4 個
		SW3	50 W ランプ 4 個	10 W ランプ 4 個
	SW4	50 W ランプ 4 個	10 W ランプ 4 個	

輝度安定度・再現性は、ランプ電流設定後、数時間の運用中、3つの波長（1050 nm、1640 nm、2210 nm）の分光放射輝度モニタの測定値を記録し、評価した。結果の例として、SGLI の SW1（1050 nm）と SW4（2210 nm）の Lstd 相当の輝度レベルにおける分光放射輝度の経時変化を、図 5.3 に示す。電流設定後、輝度が安定するまでの時間が経過してからの測定値を見ると、SW1 では 0.2 % 未満に安定し、異なる日に点灯した場合も再現していることがわかる。SW4 では、ばらつきが 0.3 % 程度となっているが、ランプ電源の自動制御化により、1-2 分間隔で頻繁に電流値を制御すれば改善すると考えている。

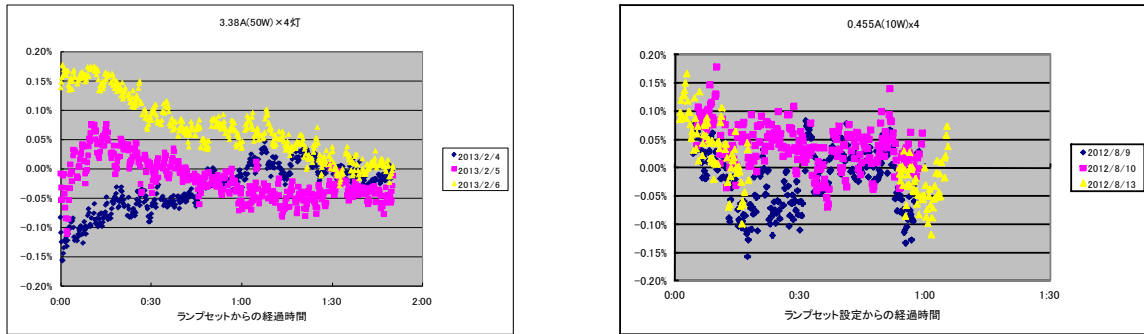


図 5.3 金積分球の輝度安定度・再現性
(左：SGLI の SW1 の Lstd 相当の輝度レベル、右：同 SW4 の Lstd 相当の輝度レベル)

輝度むらは、積分球に正対させた XZ ステージに単色輝度計 (865 nm ~ 2210 nm の 6 波長) を設置し、ステージを 2 cm 間隔で動かしてデータを取得した。開口中心における分光放射輝度との差の peak to peak を、すべての測定結果について表 5.2 にまとめる。また、輝度むらの分布の例として、SGLI の SW3 の Lstd 相当にあたる、φ 300 mm 開口で、10 W ランプを 4 つ点灯しているときの、1640 nm における結果を、図 5.4 に示す。硫酸バリウム積分球の場合、短波長赤外域では 2-4 % 程度となるのに対し、金積分球の場合、φ 300 mm 開口ではすべて 2 % 未満であるだけでなく、1240 nm 以上の波長ではすべて 1 % 未満である。また φ 400 mm 開口でも、1050 nm の一部を除いて 2 % 未満となっている。

表 5.2 輝度むら測定結果 (開口中心との差の peak to peak、単位は %、*** は未測定)

波長 [nm]	φ 300 mm 開口				φ 400 mm 開口			
	50W ランプ × 8	50W ランプ × 4	10W ランプ × 8	10W ランプ × 4	50W ランプ × 8	50W ランプ × 4	10W ランプ × 8	10W ランプ × 4
865	1.19	1.39	1.56	1.37	***	***	***	***
1050	0.73	0.88	1.07	0.89	1.55	1.66	2.18	1.97
1240	0.52	0.61	0.91	0.67	***	***	***	***
1640	0.52	0.54	0.83	0.65	1.21	1.22	1.53	1.53
2000	0.48	0.51	0.75	0.40	***	***	***	***
2210	0.45	0.46	0.66	0.36	1.16	1.18	1.40	1.30

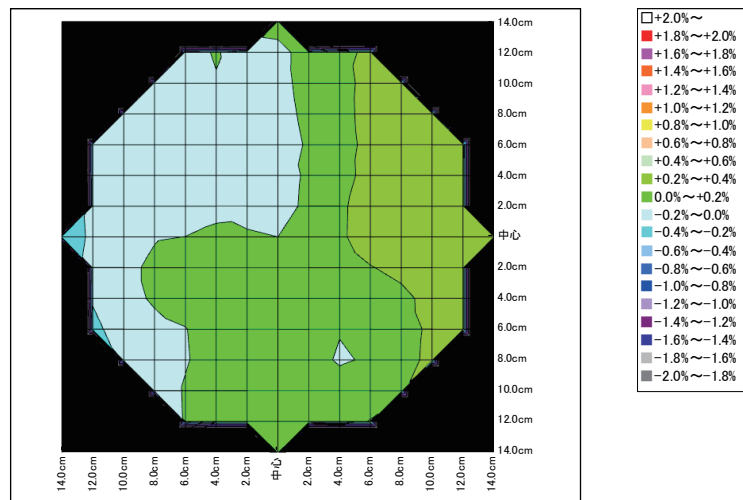


図 5.4 輝度むら測定結果例 (1640 nm、φ 300 mm 開口、10 W ランプ × 4)

FY24 に実施した 1 m Φ 金積分球システム全体の評価試験の結果、所望の性能を満たすことを確認した。FY25 は、ランプ電源の自動制御システムを完成させ、SGLI での利用に特化した評価試験を実施する。

6. 海面高度計ミッションの研究

6.1 ミッションの目的

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) に対するミッション検討を行っている。

COMPIRA ミッションでは、日本を中心とした海域の海面高度を面的かつ、従来と比べ高密度・高頻度に計測することで、下記項目を達成することを目的とする。

(1) 水産分野への貢献

漁場探査の基本図となる海面の数十 km 規模の渦の可視化により、漁場までの移動時間や漁船の燃料の節約を通して漁業の効率化に貢献する。

(2) 海流予測への貢献

海流予測（いわゆる「海の天気予報」）の高精度化に寄与し、船舶航行や海難事故発生時の漂流予測等に貢献することで、国民の安全で安心な生活の確保に資する。そのため、縁辺海や沿岸域等の潮汐の解明と海流の把握を目的とする。

(3) サイエンスへの貢献

サブメソスケール渦の捕捉や高潮、遠地地震による津波観測にも挑戦する。

6.2 研究の実施内容

(1) ミッション要求の検討とミッション定義審査の実施

国内の衛星海面高度計の研究者、ユーザの代表からなる「海面高度計技術検討部会」において、ミッション要求や仕様の調整を行った。調整結果をもとに、24 年 6 月に、ミッション要求を定義するためのミッション定義審査を実施した。

(2) センサ・衛星システムの概念設計

センサ・衛星システムの概念設計を実施し、技術課題の検討を行った。

(3) 航空機実験の実施（別途「航空機搭載干渉 SAR による海面計測実験」で記載）

航空機搭載干渉 SAR を用いた海面高度の計測実験を行った。

6.3 ミッション要求の検討とミッション定義審査の実施

海面高度計技術検討部会において、ミッション要求やセンサ仕様のトレードオフの議論を行い、ミッション要求を調整した。調整結果をもとに、ミッション定義審査を行った。ミッション要求を表 6.1 に示す。

5. センサ研究の概要

6.4 概念設計

センサ・衛星システムの概念設計を実施した。主要搭載機器として、SHIOSAI(SAR Height Imaging Oceanic Sensor with Advanced Interferometry) を搭載する。SHIOSAI は2つのアンテナを有する X 帯干渉型合成開口レーダ (SAR) による海面高度計であり、要求を表 6.2 に示す。また、相対高度を絶対高度に直す補正センサとして直下型レーダ高度計を、水蒸気補正センサとしてマイクロ波放射計を搭載する。

(1) メインセンサ

SHIOSAI ではアンテナを衛星進行直交方向に2台並べることによりクロストラック干渉 SAR 観測を行う。そこで SHIOSAI の仕様について検討を行った。精度要求を満足するため、誤差解析を行うとともに、レーダ構成についてトレードオフを行った。その結果、送受信位相の安定性を高める必要があるため、送受信機について中心集中型とすることが望ましいとの結果を得た。また、レーダ仕様について検討を行った。仕様案を表 6.3 に示す。

(2) 衛星コンフィグレーション

ベースライン長やアンテナ長を確保しつつ、ロール方向の振動による誤差を低減させるため、展開構造を有さないアンテナを衛星構体に貼り付けるコンフィグレーションを選択し、衛星コンフィグレーションを検討した。検討案を図 6.1 に示す。

表 6.1 ミッション要求

仕様項目		ミッション要求		
1. 空間分解能		5 km		
2. プロダクト提供時間		速報プロダクト 6～12 時間後に提供	一般プロダクト 3 日後に提供	高精度プロダクト 60 日後に提供
3. 高度計測精度	相対	5.4cm *	5.4cm *	5.3cm *
	絶対	12.2cm *	7.5cm *	6.9cm *
4. 観測頻度		10 日に 2 回 北緯 35 度における 80% 以上の海域で 10 日に 2 回の頻度で観測すること。		
5. 観測対象海域		インド洋南西部を除く緯度 51 度以内の日本近海及びペルシヤ湾からアメリカ大陸西岸までの海域		
6. 沿岸への観測接近距離		10 km		
7. 降雨によるデータ欠損率		1%		
8. 観測面積比率		98%		
9. プロダクト		海面高度マップ、絶対海面高度、海面高度偏差、Geophysical Data Record		
10. 潮汐把握		主要八分潮の調和定数が算出可能であること。		

* 観測幅内平均値。但し、有義波高 2m、直下における後方散乱係数 11dB の場合。

表 6.2 SHIOSAI センサへの要求

仕様項目	要求値
観測幅	80km × 2(左右両側観測)
周波数	9.6GHz 帯
空間分解能	5km × 5km
計測精度 (*)	4.2cm (観測幅内平均)
観測幅	80km × 2(左右両側観測)

(*) 有義波高 2m、直下における後方散乱係数 11dB の場合。

5. センサ研究の概要

表 6.3 SHIOSAI センサ仕様案

項目	仕様案
中心周波数	9.6 GHz
帯域幅	120 MHz
ベースライン長	3m 以上
ビーム幅	4.3deg
グランドレンジ	10 ~ 90 km
入射角	0.7 ~ 6.3 度
偏波	HH/VV
ピーク送信電力	2000 W
平均送信電力	300 W
RF Duty 比	15 %
パルス繰り返し周波数 (PRF)	17500 Hz
アンテナ利得	38dBi 以上
アジマス方向アンテナ長	4 m 以上
レンジ方向アンテナ長	0.37 m 以上

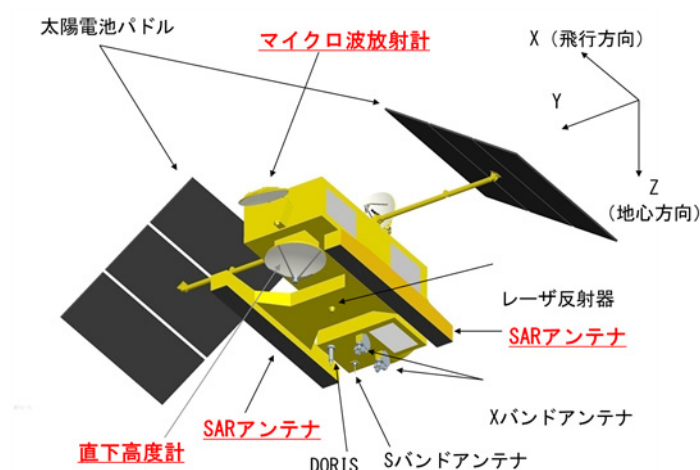


図 6.1 衛星コンフィグレーション検討案

7. サブミリ波放射計の研究

7.1 研究の背景

サブミリ波放射計による氷雲の定量・広域的観測は、気候システム研究等に大きく貢献する可能性がある。同様な観測システムについては過去に欧米等で検討されてきたが、現時点で既定計画はなく、実現すれば世界初のミッションとなる。

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。

7.2 FY24 研究の概要

本年度は、日本国内における高周波デバイスの衛星搭載可能性の目途を得るべく、日本電話電気株式会社（NTT）・情報通信研究開発機構（NICT）との共同研究を元に、NTT フォトニクス研究所が民生品として開発した 190GHz 帯の低雑音増幅器（LNA）の設計・製作及び電氣的性能評価試験を実施した。また、190GHz 帯用 LNA を用いた受信機の構成を検討した。

(1) 190GHz 帯用低雑音増幅器（LNA）の電氣的特性評価について

190GHz 帯用 LNA の設計結果を図 7.2-1、初期評価結果を図 7.2-2 に示す。初期評価では周波数オフセットが低めに出た。FY25 では、この評価結果を元に再設計・製作を行う。

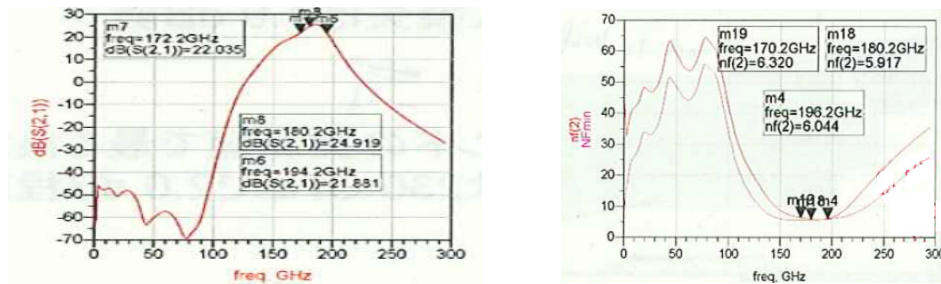


図 7.2-1 190GHz 帯用 LNA / 利得特性 (左図) と 雑音指数特性 (右図) の設計結果

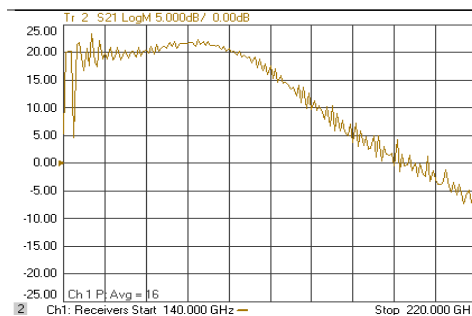


図 7.2-2 190GHz 帯用 LNA / 利得特性の初期評価結果

(2) 190GHz 帯用受信機部の構成検討について

地球観測センサの受信機部として必要なパラメータ等を調整し、受信機部の構成検討を実施した。190GHz 用 LNA を用いた受信機部のチップレイアウトを図 7.2-3 に示す。周波数弁別のため、LNA モジュール間に Band-pass filter (BPF) を挿入する設計としている。また、前述の設計とした場合の受信機についてのレベルダイアグラムを図 7.2-4 に示す。このレベルダイアグラムから計算された受信機部の温度分解能は 0.43 [K] であり、気象衛星 NOAA 搭載のマイクロ波サウンダ AMU-B の同周波帯の温度分解能 0.6 [K] よりも高くなる事が分かる。

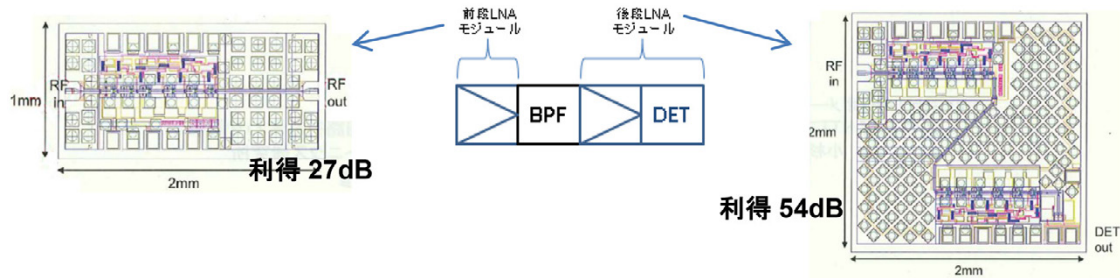


図 7.2-3 190GHz 帯用 LNA チップレイアウト

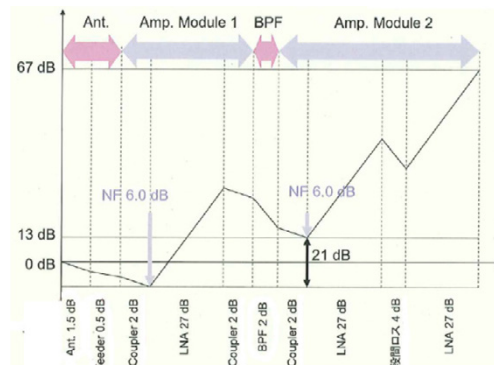


図 7.2-4 190GHz 帯受信機部のレベルダイアグラム

7.3 FY25 研究計画

国内技術による 100GHz 以上の周波数帯における宇宙用低雑音増幅器開発の目途を得るため、下記の検討を行う予定である。

センサ検討

(a) 190GHz 帯低雑音増幅器 (LNA) の環境試験

電気的特性試験結果を踏まえ、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、放射線を例とした環境試験を実施する。

(b) 受信機部全体の検討

LNA 以外を含む受信機部全体について検討を実施する。

- ・受信機部の開発検討
- ・受信機部マルチバンド化の検討

8. 大型マイクロ波放射計の研究

8.1 研究の目的

マイクロ波放射計の空間分解能向上により、土壌水分量の高分解能化による気象予測改善・気象災害の低減、穀物生産状況把握による食料安全保障への寄与や、海面水温の高分解能化による海況把握・漁場環境情報利用の高度化が期待できる。空間分解能の向上のためには、マイクロ波放射計のアンテナ径を大型化することが1つの方策である。そのため、JAXA が有する大型展開アンテナ技術をマイクロ波放射計に応用することを想定し、マイクロ波放射計の空間分解能を向上した場合の

5. センサ研究の概要

効果に関するユーザ調査と、観測幅向上のための技術調査を行った。

8.2 24 年度の実施内容

(1) ユーザ調査

主に 1.4-6GHz 帯の観測対象となる土壌水分、海面水温を想定し、陸域（食料安全保障分野）、海域分野の 2 分野について、ユーザとのヒアリング等を通して、高分解能化によって得られるメリットについて整理を行った。

土壌水分の衛星利用について、食料安全保障の観点では干ばつ等の兆候を早期に把握する「早期警戒」としての利用等がなされている。その上で、既存プロダクト (50km 級) より分解能が向上 (10 ~ 20km 級へ) した場合の効果について議論した結果、10km 空間分解能の衛星降雨マップ (GSMaP) および土壌 (水収支) モデルと組み合わせることで、耕作地の土壌水分量の精度向上に期待するというコメントや、気候や生態系等のモデルについて、10km 程度の土壌水分量データが利用できれば、モデルの空間分解能と同等となり、作物収量予測に不可欠な気象予測や植物生長予測の精度向上にも貢献できるというコメントを得た。

また、海面水温の衛星利用について、現行のマイクロ波放射計観測は空間分解能が 25 ~ 50km 程度と粗いものの、雲を透過する高頻度観測の恩恵は、気象庁の全球日別海面水温解析や漁業情報サービスセンターでの利用等で実証されている。この利点を有しつつ、旧来の静止気象衛星の赤外観測等と同等程度の空間分解能として 5km 程度、かつ典型的な極軌道衛星の観測頻度である 2 日程度を達成できれば、人間の生活圏に近い沿岸観測をカバーできることになり、漁場探査など、海洋観測に多大な貢献が期待できるとのコメントを得た。

(2) 技術調査

高分解能と広観測幅を両立するための初期的な技術調査として、類似技術を用いたミッションとして、TanDEM-L、SMOS、Aquarius、SMAP 等の調査を実施した。その結果、アンテナの回転に代わる電子走査方式として、TanDEM-L 等で採用が計画されているフィーダ走査が有望である可能性を得た。また、校正については、海外の類似衛星についてはノイズダイオードが採用されている例が多いことが分かった。一方、計測精度については、さらなる検討が必要であるとの結論を得た。

8.3 25 年度の計画

25 年度は大型展開アンテナによるビームパターンの検討や、計測精度にかかわる課題の抽出を中心に、技術検討を進める予定である、

9. 宇宙用パルスレーザの研究

9.1 研究の背景

ライダ (LIDAR) はレーザを用いて遠隔地の情報を取得する観測センサである。氷床・森林や大気環境計測に用いられるライダは地上設置型、航空機搭載型システムを経て、2000 年代に入ってよう

やく宇宙で利用されるようになった地球観測センサとして新しいシステムである。ライダーは送信用レーザ、望遠鏡と光学素子からなる受信光学系、検出器、信号処理部で構成される。なかでも送信用パルスレーザは宇宙用ライダー実現に重要な要素技術である。

地球観測衛星にレーザを搭載する場合、地上で用いる機器と比べて保守は一般的に不可能であり、観測に必要な出力を保持したまま5年以上にわたる継続運用が必須となっている。この課題に対処するためには、1) 打上げ衝撃時に耐えられる光共振器の実現、2) 高出力レーザ特有の排熱処理（伝導冷却）、3) レーザ誘起コンタミネーションによる光学素子損傷閾値低下に関する知見向上、4) 長期間の安定動作が可能な励起用レーザダイオード (LD) や光学素子の選定、といった課題が挙げられる。上記の克服を最終的な課題とし、本年度では研究モデルの製作による宇宙用 Qsw パルスレーザ製作に必要な基礎データ取得のために発振器と前段増幅器の製作・評価、信頼性評価試験（放射線照射、寿命試験）、レーザ誘起コンタミネーションの基礎実験を行った。

9.2 FY24 研究の概要

9.2.1 研究モデルの製作

宇宙用ライダーでは微弱な信号を 400km 以上離れた宇宙から取得するため、ピーク出力の大きな Qsw レーザが求められる。FY24 現在、各国で運用中、開発中のシステムを含めた送信用レーザの仕様（一部実力値）は図 9-1 であり、長寿命化と高出力化が同時に要求されている。レーザの高出力化では一方で素子から排熱される熱量も増加する。この発熱量は 5-10W/cm² にも達し LSI と同等かそれ以上の発熱量 (MPU:5.7W/cm², アイロン: 5.2W/cm²) におよぶ。軌道上では冷媒による冷却が困難であり、ヒートパイプなどを駆使した伝導冷却による排熱を行う。研究モデルの製作では平均出力 10W 以上の Qsw パルスレーザを製作し、伝導冷却による各部位の温度制御のほか、送信機全体の熱分布に応じた Qsw レーザ発振器への影響を取得する予定である。

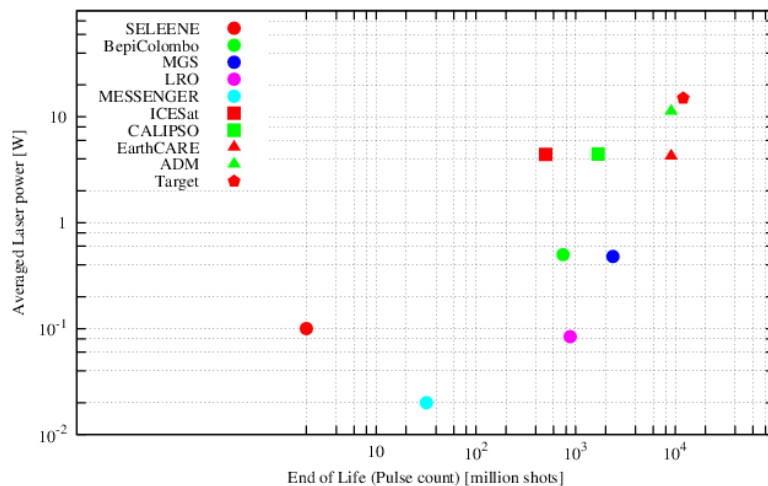


図 9.1 衛星搭載用ライダーの寿命と出力のベンチマーク

9.2.2 信頼性評価試験

レーザの寿命として 3～5 年以上が求められる場合、最終的なレーザの寿命を決定するのは励起

用 LD の寿命であり、目標として軌道上の環境下で 100 億ショット駆動可能な LD が要求される。LD 自体は半導体であり、軌道上では地上と比較して宇宙放射線の影響を強く受けるため、ほかの宇宙用電子機器同様、宇宙放射線による偶発的な故障の有無は重要となる。軌道上での利用性能が高い励起用 LD を取り扱うベンダーの LD について連続照射試験による寿命評価試験とプロトン照射の耐性試験を実施した。

9.2.3 レーザ誘起コンタミネーションの評価

宇宙用レーザの長期運用では光学素子や誘電体多層膜に対するレーザ損傷閾値の確保が必要となる。薄膜の作成方法によって損傷閾値に差が認められることが報告されているが、Qsw パルスレーザの軌道上運用では光軸上のアウトガスによる分子状コンタミネーションが、レーザ照射により薄膜上に沈着し、一定量の堆積で本来の損傷閾値よりも小さなレーザ照射で深刻な損傷を引き起こす課題がある。アウトガスによるコンタミネーションは衛星システム製作時のベーキングにより量を減らすことはできるものの、宇宙空間の高真空状態では時間とともにコンタミネーションが微量ながら発生し量が増加することが確認されている。この評価では真空時と乾燥空気による与圧条件化でのアウトガス発生量を評価する。

9.3 FY24 研究の結果

研究モデルの製作：

発振器用励起モジュールのテストベッドを製作し、Qsw 発振実験を行った。入出力特性や、パルス幅について本研究用に制作した設計データとの比較を実施し、本年度の目標である出力値を達成でき、設計データの妥当性が評価できた。またテストベッド用前段増幅器の設計・製造を行い、本年度の目標とする増幅後の出力 30mJx150Hz を達成できた。ただし当初の性能においては、熱分布において結晶と冷却用熱ブロックの設置面で設計時には表れない熱コンダクタンスの悪化や、LD 設置部の温度が仕様を逸脱する温度まで上昇する課題があったものの、研究開発本部熱 Gr. の協力のもと、組立時の調整と国産でかつ世界的にも高い性能を持つ Nd:YAG セラミックを用いて結晶構造の改善により解決した。

信頼性評価試験：

LD の寿命評価試験では実際の使用条件よりも悪条件下で動作させ、FY24 末時点で 35 億ショット（全体計画の 1/3）まで完了した。得られた値の解析を行い、現在と同様の経年変化で順調に推移した場合、期待される寿命が 140 億ショットになる見込みが得られた。またプロトン照射による照射試験を実施し、軌道高度 400km、10 年相当量に対応する 30krad の条件の前後で励起用 LD やほかの光学素子で波長変換用結晶に変化がな区耐性があることを確認した。

LIC 評価試験：

用意した容器の一報には、実際に利用が想定される部材を容器に配置し、残りは何も配置しないブランクの状態でも両方の容器内の空気を排出後、60 度 3 日間、冷却 1 日のベーキングを行い、容器に設置した QCM センサにより、コンタミ発生量を評価した。得られた結果を評価するとセン

サ上に原子1層程度の付着を確認されたが、薄膜を損傷させるほどの数十 nm 近い堆積はないことは確認できた。一方で双方の比較で有意差を検出することはできなかった。原因を調査したところ容器内を封じ切りにしたため、ベーキングの前後で容器内の圧力が変動しており、十分な高真空を保持できなかったことがあげられる。この対策として高真空を保持できるチャンバーを用いた評価を行う予定である。

9.4 今後の計画

来年度に製作した各モジュールを組上げ、研究モデルのパッケージ化を行う予定である。この研究モデルを用いて全体出力の特性評価試験、熱モデルを用いた全体評価を予定している。

LD の評価試験は継続して実施し、引き続き寿命曲線の定量評価を実施する。

LIC 評価試験では評価用の真空容器にサンプルを配置し実際に LIC を光学素子上に堆積させ、高真空時と与圧環境下での抑制条件を評価する予定である。

10. 植生ライダーの研究

10.1 研究の背景

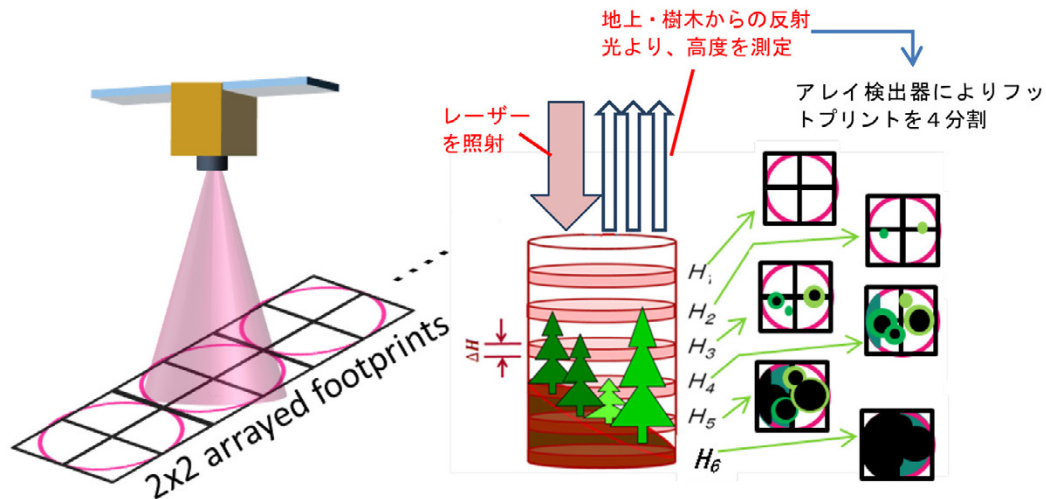
過去 50 年で地上の森林などが化石燃料により排出された CO₂ のおよそ 1/3 を取り除いてきたという研究結果 (Canadell et al., 2007) があり、地上の森林は炭素循環の特に吸収において重要な役割を担っていると考えられる。しかし、炭素量・炭素循環の把握に際し、地上の森林量 (バイオマス) は全球規模の最も大きな不確定性源となっており (IPCC, 2007)、正確な炭素循環の把握には精度の良いバイオマスの測定が不可欠である。このバイオマスを正確に求めるために、木を切り倒して重量 (樹木個体の乾燥重量) を測る方法があるが、人間が入ることが可能な場所に限定されることや伐採費用等のため伐採には限界がある。このため、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。

本研究では、軌道上から樹冠高を測定する植生ライダーの技術開発・研究を FY23 から実施している。

10.2 FY24 研究の概要

精度良く樹冠高を測定するためには地表の斜度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斜度の情報を同時に取得する方法を検討している (図 10-1)。

FY24 は、きぼう曝露部搭載植生ライダーのミッション要求を整理するとともに、FY23 課題として抽出されたノイズに対する受信信号の比 (S/N) が高いアレイ検出器の試作を実施した。また、フットプリントを模擬した地上実験により、樹冠高解析の実現性を確認した。



左右のピクセルの地表面検出時刻の差により、地表が斜面であることを把握する

図 10-1 アレイ検出器による地表の斜面把握のイメージ

10.3 FY24 の結果

(1) きぼう曝露部植生ライダーミッション要求の検討

サイエンスチームとの議論を通じ植生ライダーの基本機能/オプション機能の優先順位を整理した。

- ・ライダー波形取得機能要求（ライダー仕様）

観測点内の最大樹冠位置と地盤面平均高さまでの距離が 3 m の精度で算出可能であること。オプションとして、大気観測機能も考慮する。

- ・水平位置決定機能要求（イメージャ仕様）

地上検証のため、観測点の中心位置が 10 m の精度で特定可能であること。オプションとして、樹種判定機能も考慮する。

また、これらを実現するきぼう曝露部搭載植生ライダー仕様案を検討した。その結果を表 10-1 に示す。

表 10-1 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	オプション：532nm 追加
	レーザー出力	60mJ	
	パルス繰り返し	150Hz	
	パルス幅	7nsec	
	レーザー広がり角	0.123mrad	地上フットプリントφ 50m に相当
	検出器アレイ数	4 素子 (2×2)	地表分解能 約 25m
イメージャ	分解能	2m	オプション：0.75m のパンクロ追加
	観測幅	500m	
	バンド数	3(Green,Red,NIR)	オプション：Blue 追加

(2) APD アレイモジュール試作

FY23 の検討により、一般的な Si-APD アレイは樹冠高の測定で用いる近赤外領域での感度が不足していることおよび Si-APD アレイの後段のアンプには植生ライダーに求められる高帯域でノイズが非常に大きくなってしまふことが判明した。近赤外（1064nm）で高感度となる APD アレイの国内製作実績がなかったことから、近赤外高感度の 2×2 Si-APD アレイモジュールを試作した。植生ライダーの仕様目標は、樹冠高精度 3m を計測するために必要な S/N20 以上であるため、試作する検出器の仕様は、表 10-2 に示す目標値を仕様とした。

試作した 2×2 Si-APD アレイモジュールを図 10-2 に、試作結果を表 10-2 に示す。試作の結果、目標仕様をほぼ満足し、 2×2 Si-APD アレイモジュール製作実現性の見込みを得た。

表 10-2 2×2 Si-APD アレイモジュール目標値および試作結果

項目	目標値	試作結果
増倍率	70	70
感度	0.40 A/W 以上	0.49 A/W
暗電流	2.0 nA 以下	1.5 nA
雑音電圧	0.47 mVrms 以下	0.45 mVrms
雑音等価電力	1.2 nWrms 以下	1.3 nWrms

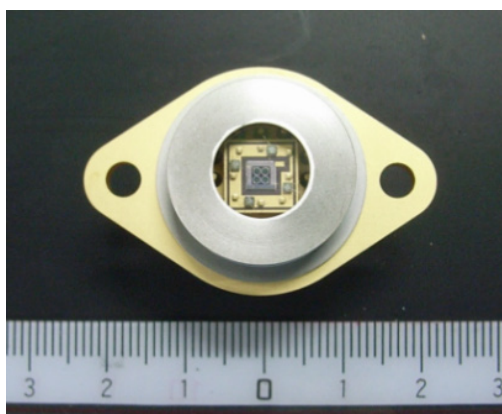


図 10-2 試作モジュール概観

(3) 地上実験

アレイ検出器から得られるデータの模擬として吊橋橋上から約 100 m 直下にある広葉樹林の隣接した複数の ϕ 10 m フットプリント (図 10-3) の反射パルスを計測し、その波形解析による樹冠高算出の実現性について評価した。

得られた波形 (例: 図 10-4) から最後のピークを地面位置、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 3m 以内の精度で算出できる見込みを得た。



図 10-3 地上実験フットプリントイメージ

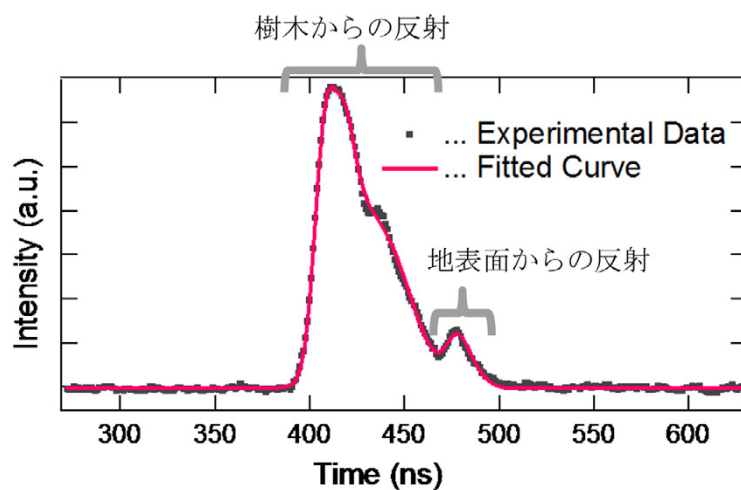


図 10-4 得られた波形と解析結果の一例

10.4 今後の計画

FY24 に試作したアレイ検出器による地上実験を実施し樹冠高精度の確認を実施するとともに、ミッション要求をもとにきぼう曝露部搭載植生ライダーのシステムの実現性を確認していく予定である。

6. 将来の利用推進ミッションの研究 (共通)

5. 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

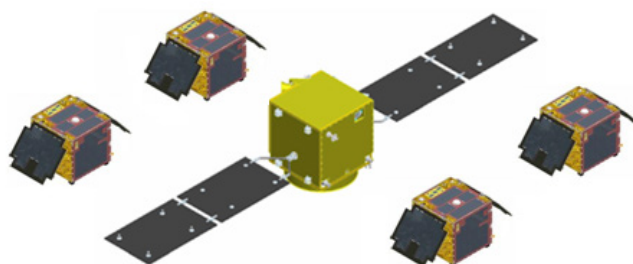
地球電磁環境モニター衛星群：ELMOS Constellation

—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—

児玉哲哉

1. ELMOS 衛星群の目的

ELMOS 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¹⁾。



ELMOS 小型衛星群の構成案

ELMOS 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・宇宙天気分野への貢献である。

これまでに多くの衛星によって地球観測が実施されているが、ほとんどの観測機器として放射計や散乱計、特殊な干渉計などが用いられてきた。また、同一センサによる長期間の継続的観測は未だ達成されていない状況である。

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²⁾。また、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³⁾。

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^{4,5)}。

6. 将来の利用推進ミッションの研究（共通）

2. 新機軸ミッション提案

平成 24 年の新機軸実証ミッションに「超小型衛星による ELMOS 子衛星実証ミッション (ELMOS-DM: ELMOS Demonstrator Mission)」を提案した結果、不採択ではあったものの、以下のコメントを得た⁶⁾。

- ・ 複数の小型衛星を用いて、大気圏から電離層の物理量を観測することの科学的意義は高いものと評価できる。
- ・ 原理実証で予測通りの成果ができれば画期的と考える。
- ・ ミッション機器、衛星ともすでに既存技術をベースにする計画であり、大きなリスクはない。
- ・ 地震学者が地震発生と電離層の変化に関する相関を否定しなくなっている状況もあると理解している。
- ・ 科学ミッションとしての ELMOS 意義は高いものと評価できるので、もっと、サイエンスに特化したミッションにすべきと考える。その上で、成果を地球観測、地震観測のシステムへと繋げるようにストーリーを見直すべきである。

3. 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、社内検討を実施した。

今後、JAXA の研究開発活動としてのオーソライズ、研究体制の確立、解析技術の先行研究と、それに基づく観測機器仕様の設定を実施する予定である。

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) 上田他, 地震予知研究計画への提言 I: 短期予知, 日本地球惑星科学連合, 2012 年 5 月
- 5) 上田他, 地震予知研究計画への提言 II: 衛星観測, 同上
- 6) 研究推進委員会 (社内サイト)

1. はじめに

農業分野においては、食料需要を満たしながら（食料安全保障）、温室効果ガスの排出や水質汚染などの環境負荷を軽減（持続可能な農業）することが今世紀の世界的課題となっている [1]。食料安全保障については、FAO の試算によると 2050 年までには人口増加や飼料用穀物の需要増加によって現在より 70% の食料増産が必要とされており、現在においても約 10 億人が栄養不足である。さらに近年は、気候変動による極端気象（干ばつや洪水）の影響や原油価格の高騰、投機などにより、食料価格の乱高下が発生している。このような乱高下は食料供給に関する情報の不透明さが一つの原因とされている。このような背景を受け、昨年 G20 の農業大臣および G20 サミットにおいて「食料価格乱高下および農業に関する行動計画」が採択された [2]。この中で農業市場の透明化に向けて、リモートセンシングによる客観的な作物生産量予測や農業気象情報を提供する GEO Global Geo-Agricultural Monitoring (GLAM) イニシアチブが立ち上げられた。GEOGLAM において、特に JAXA はアジアの稲作監視 (Asia-RiCE: Asia Rice Crop Estimation and monitoring) を主導しており、GISTDA や ISRO などのアジアの関係機関と連携して作業計画を策定し、実施に向けた調整および研究開発を行っている。また、平成 21 年度より JAXA が主催している「食料安全保障分野の地球観測衛星利用研究会」や関連するプロジェクトを通じて農業・食料安全保障分野での衛星データ利用の研究開発・推進を進めている。

図 1 は地球観測衛星データを利用した作物監視システムの枠組みを示している。4 つのサブシステム（耕作地図作成システム、農業気象および生育監視システム、単収・収量推定システム、情報提供システム）から構成されており、それぞれのシステムは光学、合成開口レーダ、マイクロ波放射計など様々なデータ・プロダクトを必要としており、作物監視システムを構築するには様々なデータを統合的に利用することが必須となる。このように総合的な農業監視システムを構築し、作物収量を推定することが本研究の最終的な目的である。

2. これまでの成果および進捗状況

昨年度はタイ国東北部のコンケン域の 240 区画の水田を対象として、合成開口レーダを利用した作付け地図の作成、刈取り調査および作物モデルによる単収の推定を実施した。これにより情報提供システムを除いた一連の解析を試行し、システムのプロトタイプを作成した。だが、本手法を国レベルに広域展開するには、詳細な作物暦の作成や、衛星の観測頻度を確保するために ScanSAR を利用した作付け地図の作成手法、単収推定手法等の開発や高精度化による手法の汎用化が必要である。以下では本年度実施した水田を対象とした各サブシステムの概要および研究開発状況を示す。

(1) 耕作地図作成システム

はじめに高頻度観測データを利用して作物がいつどこで作付けされたかを示す作物暦を作成する。その作物暦を利用して、水田作付け判別のための衛星観測時期を決定し、雲量の多いアジアモンスーンに適した合成開口レーダから目的に応じて空間分解能が 10m (特定の関心領域) から 100m (国全体)

6. 将来の利用推進ミッションの研究（共通）

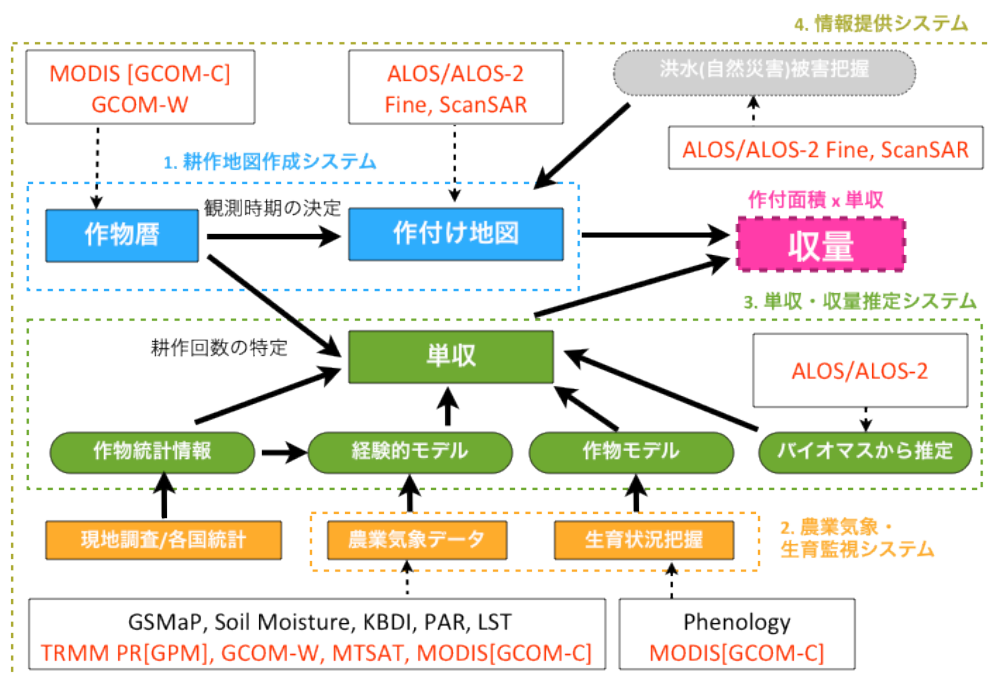


図 1. 地球観測衛星データを利用した作物監視システムの概念図
耕作地図作成システム、農業気象および生育監視システム、単収・収量推定システム、情報提供システムの4つのサブシステムで構成されている。

程度スケールでの作付け地図を作成する。東南アジアの作物暦（作付時期、収穫時期、作付回数など）は複雑であり、主に水資源の利用可能性により、年に1-2回、場所によっては3回作付けされている。作付け地図の作成や収量の推定にはこの作物暦が必要不可欠となる。2002年から2011年のMODIS NDVI (MOD13) の16日間合成画像の時系列データに対してスペクトル解析を行い、画素ごとの周波数成分を解析することで年間作付け回数の推定を行った(図2)。また、位相情報を解析することで、各耕作期の開始日の推定を行った。現在結果については検証中であるが、河川沿いで水資源の豊富なところは2-3期作となっており、定性的には適合していると考えられる。

今後は、この作物暦から得られる年間の耕作回数および各々の耕作期の作付け時期および成長期の情報を利用して、観測頻度の高いScanSARデータを利用した国レベルでの広域の水田作付け地図を作成する手法の開発を実施する計画である。

(2) 農業気象および生育監視システム

作物の生育状況や作物の生育に影響を与える農業気象データを利用した観測システムの構築を行う。特に東京大学と共同で開発したGSMaPとMTSATを利用した干ばつ監視システムにおいては、MTSATによる地表面温度推定を担当している。今年度は、開発したシステムがアジア開発銀行の技術協力プロジェクトである「中核的農業支援プログラムの実施の推進」および「食料安全保障のための農業及び地方統計の改善」において、メコン地域およびフィリピンにシステムがインストールされることが決定した。また、昨年9月28日に開催された第12回ASEAN+3農林業大臣(AMAF+3)会合においてインドネシア農業省、ベトナム農業地域開発省と共同で当該システムを用いた事業を日本の農林水産省と提案し了承されている。

6. 将来の利用推進ミッションの研究(共通)

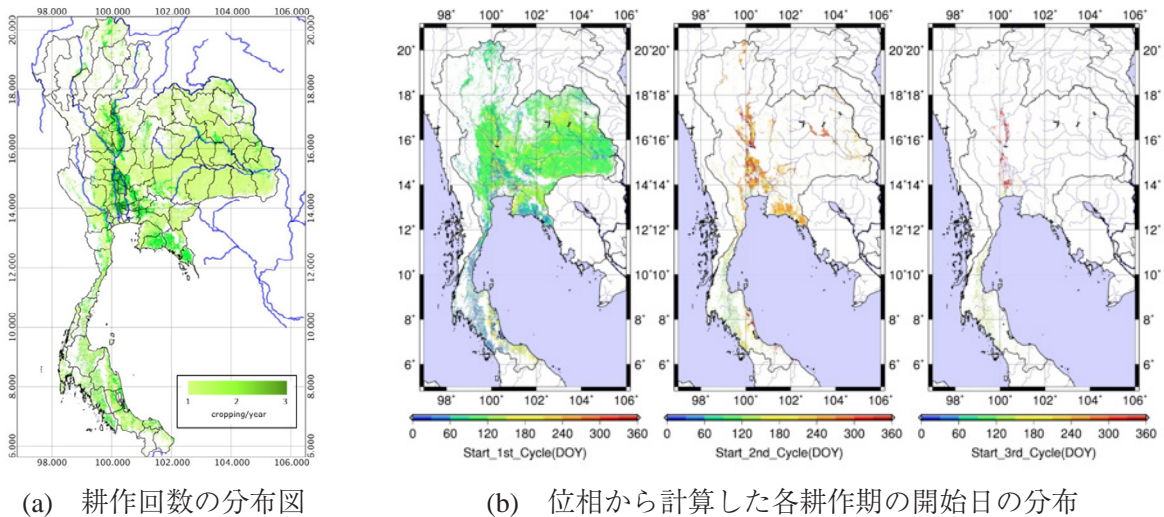


図 2. MODIS から作成されたタイ国の作物暦

今後は農業気象データやそれらから作成される干ばつなどの指標と、収量データや作付面積データの解析を行うことにより、早期警戒情報として農業気象データの平年差だけでなく、収量への影響を定量化する手法の開発が必要である。

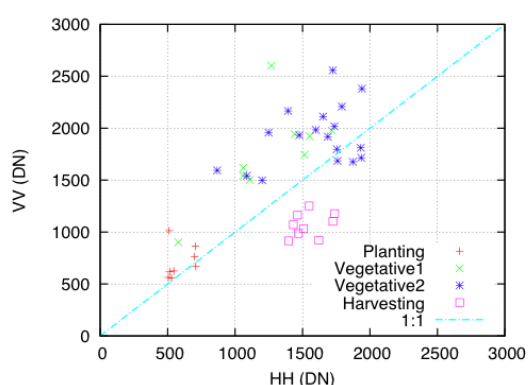
(3) 単収・収量推定システム

対象地域全体の収量を推定するには単収の推定が必用となる。単収の推定には各国の農業統計や実際に刈り取り調査をする他に、収量と農業気象データの関係を記述した経験的モデルや、作物生長のメカニズムをモデル化した作物モデル、SAR によるバイオマス推定結果からの直接推定などが考えられ、それぞれの手法の検討を行った。

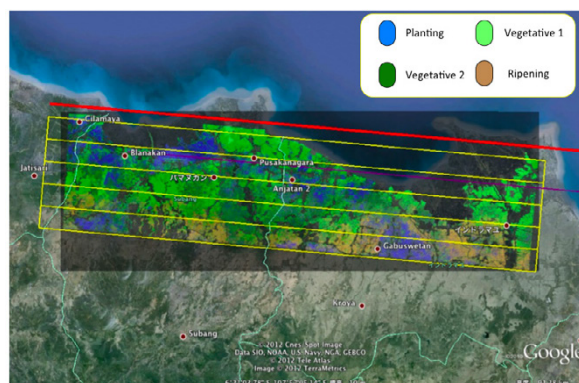
この中で SAR による直接推定については、インドネシアを対象として航空機搭載 L バンド合成開口レーダ (Pi-SAR-L2) を利用した手法を検討した。単収を推定するにはまず収穫期の水田を検出し、その水田のバイオマスを推定する必要がある。対象としたインドネシアのジャワ島の Subang では、生育段階のばらつきが大きく、対象とした 20x90km の範囲においても、作付け直後や生育期、収穫期、収穫後など様々な生育段階が観測された。そのため、収穫期の水田を識別するために今年度は生育段階の分類を実施した。結果としては HH と VV の偏波を利用することで他の生育段階との分類が可能であり、偏波情報を利用した解析の有効性が示された。しかしながら、Pi-SAR-L2 は入射角が 10-60 度と広範であり、後方散乱係数の入射角依存性が確認されたため、バイオマス推定を行う際には入射角依存性の扱いについて検討を行う必要があると考えられる。

また、経験的モデルや作物モデルによる単収推定は降雨量や日射量などの自然条件の他にも、灌漑や施肥、圃場の管理状態によって収量が大きく変化するため、4つのサブシステムの中でも最も汎用的な手法の開発が難しいと考えられる。収量推定のための様々なパラメータがある中で、どのようなパラメータに対する感度が高いかや、広域にわたるパラメータの取得可能性を考慮して今後研究を進めていく計画である。

6. 将来の利用推進ミッションの研究 (共通)



(a) 後方散乱係数 (HH、VV) と生育段階



(b) 生育段階の分類を可視化した結果 (作付期、成長期 1、成長期 2、収穫期)

図 3. 航空機搭載 L バンドレーダによる生育段階の分類

(4) 情報提供システム

(1)、(2)、(3) のシステムで構築したプロダクトや各種情報を国内外の食料安全保障担当者や農業統計機関などの地球観測の非専門家には、ウェブを利用した方法が簡便で有効である。今年度はビジュアライゼーションと、異なるセンサから得られた情報を一元的かつ即時的に閲覧できるシステムのプロトタイプを作成した。前者については WebGIS を利用して背景地図情報と重ね合わせ、利用者が自由に表示領域の変更や、拡大・縮小を可能とした。後者については、タイ王国を対象として、準実時間で MODIS NDVI、GSMaP、MTSAT による地表面温度および擬似カラー画像が見えるシステムを構築した。今後はプロトタイプを公開し、システムの改良を行っていく必要がある。

まとめ

耕作地図作成システム、農業気象および生育監視システム、単収・収量推定システム、情報提供システムの 4 つのサブシステムで構成される作物監視システムの構築を目的として各要素の開発を実施した。主として、高頻度で観測可能な MODIS データのスペクトル解析による作物暦の作成、単収推定を目的とした航空機搭載合成開口レーダによる水田バイオマス量推定に向けた生育段階の分類、WebGIS による利用者に親和的および準実時間での農業情報の提供手法の検討を行った。次年度も引き続き、システム全体としての調和を図りつつ、各サブシステムの開発および高精度化を実施する予定であるが、特に作物暦を利用した ScanSAR による国レベルでの水田作付け地図の作成と単収の推定手法については大きな課題となっており、集中的に実施する計画である。また、本稿では触れなかったが洪水等の自然災害は収量に大きな影響を与えるために被害推定手法の検討も必要である。

参考文献

- [1] Solutions for cultivated planet. Foley, J. et al., Nature, 478, pp.337-342, 2011.
- [2] Action plan on food price volatility and agriculture. Meeting of G20 Agriculture Ministers, Paris, France, Jun. 2011.

付録

2012 年 EORC 研究成果発表

1. 論文発表

大木真人 2012/3/1 地球観測衛星データを活用した宇宙教育活動：授業実践および教員研修 埼玉県立総合教育センター 埼玉教育

Haruyoshi Katayama/Junpei Murooka 他 13 名 2012/4/24 Development of type II superlattice detector for future space applications at JAXA SPIE SPIE

Hidenori FUJII/Shigenori HAGINOYA/Jihua SUN/Jianyu LIU 2012/5 月 Features of Air-Lake Interaction in Heat and Water Exchanges over Erhai Lake 日本気象学会 Journal of the Meteorological Society of Japan

田殿武雄 / 島田政信 / 高橋陪夫 2012/5 月 PRISM と AVNIR-2 の校正検証と観測成果の一例 日本航空宇宙学会 日本航空宇宙学会誌

片山晴善 2012/5/11JAXA における Type II 超格子赤外検出器の開発 月刊 オプトロニクス

Manabu Watanabe / Takeshi Motohka / Yousuke Miyagi / Chinatsu Yonezawa / Masanobu Shimada 2012/5/1 Analysis of Urban Areas Affected by the 2011 off the-Pacific-Coast of Tohoku Earthquake and Tsunami with L-band SAR Full-Polarimetric Mode IEEE Geosci. Remote Sensing IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing Letter

奈良間千之 / 田殿武雄 / 池田菜穂 2012/5/31 西ヒマラヤ, ラダーク山脈の氷河湖研究 京都大学ヒマラヤ研究会 ヒマラヤ学誌

柿並義宏 / 鴨川仁 2012/6/1 Tsunamigenic ionospheric hole American Geophysical Union Geophysical Research Letters

藤田耕二 / 西村浩一 / 小森次郎 / 岩田修二 / 田殿武雄 2012/6/1 Outline of research project on glacial lake outburst floods in the Bhutan Himalayas 国際環境研究協会 Global Environmental Research

D.Sakaizawa/S.Kawakami/M.Nakajima/T.Tanaka/I.Morino/O.Uchino 2012/6/18 An airborne amplitude-modulated 1.57 μ m differential laser absorption spectrometry: simultaneous measurement of partial column-averaged dry air mixing ratio of EGU Atmospheric Measurement Techniques

D.Sakaizawa/T.Tanaka/S.Kawakami/M.Nakajima/M.Inoue/I.Morino/O.Uchino 2012/6/25 ~ 29 RECENT RESULTS OF AIRBORNE MEASUREMENTS USING CHIRPED INTENSITY-MODULATED 1.57 μ M LASER ABSORPTION SPECTROMETER ICLAS/NASA/ESA 26th ILRC

田殿武雄 / 河本佐知 / 山之口勤 / 富山信弘 / 奈良間千之 2012/6/30 Development and Validation of New Glacial Lake Inventory in the Bhutan Himarayas Using ALOS "DAICHI" 国際環境研究協会 Global Environmental Research

陳思偉 / 大木真人 / 島田政信 / 佐藤源之 2012/7/10 Deorientation Effect Investigation for Model-Based Decomposition Over Oriented Built-Up Areas IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters

Chinatsu Yonezawa / Manabu Watanabe / Genya Saito 2012/8/7 Polarimetric Decomposition Analysis of ALOS PALSAR Observation Data before and after a Landslide Event Remote Sensing Remote Sensing

田殿武雄 / 島田政信 / 高久淳一 2012/8/25 ~ 9/1 VALIDATION STUDY ON ALOS PRISM DSM MOSAIC AND ASTER GDEM 2 ISPRS Congress/International Annals of Photogrammetry and Remote

今岡啓治 / 可知美佐子 / 福田徹 / 伊藤徳政 / 中川敬三 2012・09 第一期水循環変動観測衛星 GCOM-W1 「しずく」の観測開始について 写真測量学会 写真測量学会誌

石元裕史 / 増田和彦 / 真野裕三 / 折笠成宏 / 内山明博 2013/9/1 対流性氷雲に存在する不規則形状氷粒子の光学モデル (Optical modeling of irregularly shaped ice particles in convective cirrus) International Association of Meteorology and Atmospheric International Radiation Symposium(IRS2012)

高橋陪夫 / 島田政信 2012/09/10-13 Disaster monitoring by JAXA for Japan Earthquake with satellites International Workshop on Remote Sensing for Disaster Response 2012 RCDM

本岡毅 / 島田政信 / 白石知弘 / 渡邊学 / Rajesh Thapa 2012/9/16 森林地上部バイオマス分布・動態の衛星観測 日本植物学会 第76回大会本部企画シンポジウム

児玉哲哉 / 鴨川仁 2012/10/1 ~ 4A Proposal of Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling Observation Mission by Small Satellite Constellation IUGG/EMSEV EMSEV 2012

児玉哲哉 2012/10/1 ~ 4 A Review of Seismo-Electromagnetic Satellite Missions -Recent Results and Prospects- IUGG/EMSEV EMSEV 2012

奥山新 / 可知美佐子 / 今岡啓治 2012/10/3 第一期水循環変動観測衛星「しずく」(GCOM-W1) : 初期校正結果 日本気象学会 日本気象学会 2012 年度秋季大会

久世暁彦 2012/10/5 宇宙から地球大気中の二酸化炭素・メタン分析を行う「いぶき」「ぶんせき」10月号 562-565 分析化学会

D.Sakaizawa/Y.Satoh/Y.Chishiki/T.Hanada/S.Yamakawa/T.Ogawa/S.Wada/S.Ishii/K.Mizutani/M.Yasuda 2012/10/8 ~ 123-Year-Program of 10W-Class Space-Borne Q-sw Laser Technology: Development of Entry Model for Earth Observation CNES ICSOS 2012

内藤聖貴 / 片山晴善 / 原田昌朋 / 中村良子 / 加藤恵理 / 丹下義夫 / 佐藤亮太 / 中右浩二 2012/10/9 Development of the Compact Infrared Camera (CIRC) for earth observation International Conference on Space Optics (ICSO) ICSO

木田智史 / 久保田拓志 / 可知美佐子 / 沖理子 / 重尚一 / 妻鹿友昭 / 牛尾知雄 / 青梨和正 / 岡本謙一 2012/10/15 ~ 19 マイクロ波サウンダによる降水推定手法の開発 (DEVELOPMENT OF A PRECIPITATION RETRIEVAL ALGORITHM FOR PASSIVE MICROWAVE SOUNDER) International Precipitation Working Group 6th IPWG Workshop

Rajesh Thapa 2012/10/22 Monitoring landscape change in Kathmandu metropolitan region using multi-temporal satellite imagery SPIE Asia-Pacific Remote Sensing 2012 Kyoto, Japan

木田智史 / 久保田拓志 / 可知美佐子 / 沖理子 / 重尚一 2012/10/29 Development of precipitation retrieval algorithm for microwave sounder over land (衛星搭載マイクロ波サウンダによる陸上降水推定手法の開発) SPIE-The International Society for Optical Engineering SPIE 2012 Asia-Pacific Remote Sensing

村上浩 / Cecile Dupouy / Rudiger Rottgers / Robert Frouin 2012/10/29 ~ 11/1 ニューカレドニア東岸における現場ハイパースペクトル放射計と MODIS を用いた水中光学特性の推定 SPIE SPIE Asia-Pacific Remote Sensing 2012

村上浩 / Cecile Dupouy 2013/1/10 AVNIR-2 高分解能データを用いたニューカレドニア南西域における大気補正と水中光学特性の推定 (Atmospheric correction and inherent optical property estimation in the southwest New Caledonia lagoon using AVNIR-2 high-resolution data) Optical Society of America Applied Optics

D.Sakaizawa/Y.Satoh/Y.Chishiki/T.Hanada/S.Yamakawa/T.Ogawa/S.Wada/S.Ishii/K.Mizutani/M.Yasuda 2012.10.29 ~ 11/2 3-Year-Program of 10W-Class Space-Borne Q-sw Laser Technology: Development of Entry Model for Earth Observation SPIE SPIE Asia Pacific

田殿武雄 / 堀雅裕 / 橋本秀太郎 / 小野里雅彦 2012/10/31 Applications of an Automatic Change Detection for Disaster Monitoring by the knowledge-based Framework SPIE Asia-Pacific Remote Sensing

Noriyuki kawano / Masanobu Shimada 2012/10/31 Post disaster monitoring for the great east Japan earthquake with a new L-band airborne SAR 'Pi-SAR-L2' SPIE SPIE Asia-Pacific Remote Sensing 2012

Manabu Watanabe/ Noriyuki Kawano/ Kazuhiro Naoki/ Masanobu Shimada 2012/11/1 PiSAR-L2 observation of agricultural area damaged by seawater during the Great East Japan Earthquake in 2011 SPIE

H.Suto/M.Reurer/H.Bovensmann/M.Buchwitz/J.P.Burrows/N.M,Deutscher/A.Rozanov/O.Schneising/T.Warneke/G.C.Toon 2012/11/1 On the potential of the 2041-2047nm spectral region for remote sensing of atmospheric CO2 ELSEVIER Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer

渡邊学 / 河野宣幸 / 直木和弘 / 島田政信 2012/11/20 PiSAR-L2 を用いた農地塩害域検出の試み リモセン学会

渡邊学 / 高倉浩樹 / 米澤千夏 / 吉川泰弘 / 島田政信 2012/11/20 PALSAR フルポーラリメトリによる極域洪水原因の推定 リモセン学会

島田政信 2012/11/20 Pi-SAR-L2 の開発と検証 [Calibration and Validation of the Pi-SAR-L2] 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

片山晴善 2012/11/20 ~ 22 将来の地球観測に向けた光学センサ技術の研究 宇宙科学技術連合講演会 日本航空宇宙学会

重尚一 / 木田智史 / 久保田拓志 / 芦分洋起 / 青梨和正 41275 山岳地域における TMI 降水推定手法の改良 (Improvement of TMI Rain Retrievals in Mountainous Areas) American Meteorological Society Journal of Applied Meteorology and Climatology

片山晴善 41426 地球観測衛星における赤外線的应用 Infrared applications of Earth observaton satellites 日本赤外線学会 日本赤外線学会

橋本秀太郎 / 小野里雅彦 / 田殿武雄 / 堀雅裕 2013/1/30 衛星データによる災害状況把握のための知識駆動型自動変化検出システムの提案 日本リモートセンシング学会 学会誌

島田政信 2013/2/22 陸域観測衛星の森林監視の現状 JSPS 日本学術振興会 日本学術振興会

児玉哲哉 2013/2/28 小型衛星群による大気圏-電離圏の時空間的観測 神戸大学惑星科学研究センター 第3回宇宙惑星科学の将来を語る会

久保田拓志 / 可知美佐子 / 沖理子 2013/3 月衛星からの降雨観測と災害監視 日本電気学会 電気学会誌

福田徹 2013/3/21 次世代地球観測衛星および測位衛星の農林水産業への実利用 日本学術会議 農学委員会 公開シンポジウム 農林水産業への地球観測・地理空間情報技術の応用

2. 口頭発表

河野宣幸 2012/2/5 航空機搭載 L 帯合成開口レーダ 2 の開発 民生用合成開口レーダシステム開発と応用 東北大学

島田政信 / 渡邊学 / 本岡毅 / 白石知弘 / Rajesh Thapa 2012/4/3 Stability of GAMMA-NAUGHT and THE PALSAR based FOREST MRV SYSTEM GEOS-AP

児玉哲哉 / 鈴木睦 / 小山孝一郎 / 小原隆博 2012/4/12 ELMOS 小型衛星群 小型科学衛星バスによる小型地球観測衛星のシリーズ化に向けて 日本航空宇宙学会 第43期年会講演会

山口宗彦 2012/4/16 熱帯低気圧進路予報誤差の診断のための新しいアプローチ (New Approach to Diagnose Tropical Cyclone Track Prediction Error) 30th Conferecen on Hurricanes and Tropical Meteorology American Meteorological Society

山口宗彦 2012/4/17 新しい GSMaP 陸上降水リトリバルアルゴリズム (NEW GSMaP OVERLAND PRECIPITATION RETRIEVAL ALGORITHM) 30th Conferecen on Hurricanes and Tropical Meteorology American Meteorological Society

須藤洋志 / 久世暁彦 / 塩見慶 / 中島正勝 2012/4/22 GOSAT three-years operation on orbit and updated Level-1 processing EGU General Assembly 2012 EGU

可知美佐子 / 久保田拓志 / 木田智史 / 沖理子 / 吉田直文 / 井口俊夫 / 中村健治 2012/4/23 Current Status of Japan's Activity for GPM/DPR and Global Rainfall Map algorithm development EGU General Assembly 2012 EGU

Haruyoshi Katayama/Junpei Murooka 他 13 名 2012/4/24 Development of type II superlattice detector for future space applications at JAXA SPIE SPIE

加藤恵理 2012/4/27 地球観測用小型赤外カメラ (CIRC) の開発 (Development of the Compact Infrared Camera (CIRC) for earth observation) SPIE Defense, Security, and Sensing SPIE

佐藤亮太 2012/5/3 Earth and Atmosphere Monitoring from ISS ESA ISS Symposium 2012

島田政信 2012/5/7 修正 FA 法を用いた PALSAR ScanSAR 干渉について - 干渉性の改善 - 地球惑星科学連合大会 地球惑星科学連合大会

島田政信 2012/5/7 ~ 9 Synthetic Aperture Radar -Science and Application- インドネシア・ウダヤナ大学講義時の発表 ウダヤナ大学

石橋俊之 2012/5/7 ~ 11 ① JMA 再解析データを使った AMSR2 用降水リトリバルアルゴリズム (Passive microwave precipitation retrieval algorithm for AMSR2 using JMA reanalysis data) ②データ同化システムの診断 (観測データのインパクト評価、誤差共分散行列の最適化、解析誤差の推定) (Diagnosis of data assimilation systems; observation impact estimation, error covariance matrix optimization, and analysis error estimation) 4th World Climate Research Programme International Conference on Reanalyses World Climate Research Programme(WCRP)

塩見慶 / 須藤洋志 / 川上修司 / 田中智章 / 久世暁彦 / 大山博史 / 中島正勝 2012/5/15 GOSAT on orbit over 3 years Atmospheric Science from Space using Fourier Transfer Spectrometer 16th ASSFTS

塩見慶 / 須藤洋志 / 川上修司 / 久世暁彦 / 中島正勝 2012/5/17 In-flight calibration for GOSAT TANSO The American Astronautical Society (AAS) 13th International Space Conference of Pacific-basin

児玉哲哉 / 鈴木睦 / 小山孝一郎 / 小原隆博 2012/5/20 ~ 25 GPS 掩蔽観測小型衛星群 : ELMOS Constellation 地球惑星科学連合大会 JpGU2012: 新たな宇宙からの地球観測ミッションの創出

上田誠也 / 早川正士 / 茂木透 / 児玉哲哉 他 2012/5/20 ~ 25 地震予知研究計画への提言 I : 短期予知 地球惑星科学連合大会 JpGU2012: 地震学への提言

上田誠也 / 小山孝一郎 / 早川正士 / 児玉哲哉 他 2012/5/20 ~ 25 地震予知研究計画への提言 II : 衛星観測 地球惑星科学連合大会 JpGU2012: 地震学への提言

植松明久 / 海面高度計検討チーム 2012/5/20 ~ 25 海面高度計ミッションの概念検討について (Conceptual study on Japanese altimetry mission) 日本地球惑星科学連合 日本地球惑星科学連合 2012 年度連合大会

久保田拓志 / 可知美佐子 / 沖理子 / 木田智史 / 小嶋正弘 / 中村健治 / 高藪緑 2012/5/20 ~ 25 熱帯降雨観測衛星および全球降水観測計画の降水プロダクトにおける最近の進展について 日本地球惑星科学連合 日本地球惑星科学連合 2012 年大会

辻政信 2012/5/22 Tectonic Application in Japan ESA International Forum on Satellite EO for Geohazard Risk

米沢千夏 / 井上晋平 2012/5/23 中分解能衛星データを用いた防潮林の津波被害判読 (社)日本リモートセンシング学会第 52 回 (平成 24 年度春季) 学術講演会 (社)日本リモートセンシング学会

佐久間史洋 2012/5/23 ~ 24 移送放射計の温度目盛値付けと不確かさについて Establishment of temperature scales of transfer radiometers and their uncertainties at JAXA EORC 第 52 回 (平成 24 年度春季) 学術講演会 社団法人 日本リモートセンシング学会

田殿武雄 / 浮田甚郎 / 奈良間千之 / 山之口勤 / 富山信弘 2012/5/23 ~ 24 ブータンヒマラヤにおける高解像度氷河湖インベントリの作成 日本リモートセンシング学会 第 52 回学術講演会

田殿武雄 / 島田政信 / 高橋陪夫 / 高久淳一 2012/5/24 「だいち」(ALOS) 搭載 PRISM/AVNIR-2 の幾何校正の最新結果 日本リモートセンシング学会 第 52 回学術講演会

高橋陪夫 2012/5/24 JAXA 高解像度土地利用土地被覆図の更新及び地上検証データの整備 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

Dim Jules Rostand/Takahashi Y. Nakajima/Tamio Takamura 2012/5/29 Performance and sensitivity tests of the future climate satellite GCOM-C/SGLI's cloud algorithm The Changing Environment and its Impact on Climate CMOS 2012 Congress/AMS 21st NWP and 25th WAF Conferences

福田悟 / 中島映至 / 竹中栄晶 / 菊地信行 / 日暮明子 2012/5/29 CAI エアロゾルプロダクトの地上観測との比較 日本気象学会 日本気象学会 2012 年度春季大会

児玉哲哉 2012/5/30 Electromagnetic Precursors Observed by Satellite 北京工業大学 The International Conference on Earthquake Prediction

高橋陪夫 2012/5/31 東日本大震災における JAXA の災害取組 ESRI ジャパン GIS コミュニティフォーラム

島田政信 2012/6/12 PALSAR-2 for ALOS-2 ブラジル国ワークショップ IBAMA

Kei Shiomi/Shuji Kawakami/Hiroshi Suto/Akihiko Kuze/Yasushi Mitomi/Riko Higuchi/Nami Sekio/Fumie Kataoka/Taichiro Hashiguchi 2012/6/18 GOSAT on-orbit calibration over 3 years International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space (IWGGMS) 8th International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space

久保田拓志 / 佐藤正樹 / 那須野智江 / 瀬戸心太 / 井口俊夫 / 沖理子 2012/6/18 ~ 22 Diagnosis of liquid water profiles in precipitating clouds using global cloud-system resolving model ESA, JAXA, NASA CALIPSO, CloudSat, EarthCARE Joint Workshop

平形麻紀 / 沖理子 / 岡本創 / 萩原雄一朗 / 吉田良 / 早坂忠裕 2012/6/21 Development of Cloud Phase and Ice Crystal Orientation Discrimination toward Cloud Particle Type Product in EarthCARE ESA,IPSL,CNES CALIPSO, CloudSat, EarthCARE Joint Workshop

島田政信 2012/6/22 高分解能 SAR による災害観測事例と感度の向上について - Pi-SAR-L2 と PALSAR-2 - GEO 空間ワークショップ 日本写真測量学会

高橋陪夫 / 田殿武雄 / 大澤右二 / 鈴木新一 / 今井浩子 / 大串文美 2012/6/22 ALOS-3 の動向 (PRISM から PRISM-2 へ) G 空間スペシャル 日本写真測量学会

計盛正博 2012/7/21 ~ 27 気象庁のメソ解析における衛星観測輝度温度データの現業利用 (Operational use of satellite radiance in JMA Mesoscale Analysis) 米国電気電子技術学会 国際地球科学リモートセンシングシンポジウム

大木真人 / 島田政信 2012/7/21-27 ALOS PolInSAR Data Processing for Classification and Change Detection IGARSS2012 IGARSS 2012

高橋陪夫 / 島田政信 / 田殿武雄 / 渡邊学 2012/7/22 ~ 28 CALCULATION OF TREES HEIGHT USING PRISM-DSM IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium

木田智史 / 久保田拓志 / 可知美佐子 / 沖理子 / 重尚一 2012/7/22 ~ 28 衛星搭載マイクロ波サウンダによる陸上降水推定手法の開発 (DEVELOPMENT OF PRECIPITATION RETRIEVAL ALGORITHM OVER FOR A SATELLITE-BORNE MICROWAVE SOUNDER) IEEE Geoscience and Remote Sensing Society IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2012

柴田彰 2012/7/23 ~ 27 AMSR で観測される全球海面水温 (GLOBAL SEA SURFACE TEMPERATURE OBSERVATION BY AMSR) IGARSS 2012 IGARSS 2012

久保田拓志 / 佐藤正樹 / 那須野智江 / 瀬戸心太 / 井口俊夫 / 沖理子 2012/7/23 ~ 27 DEVELOPMENT OF CLOUD LIQUID WATER DATABASE USING GLOBAL CLOUD-SYSTEM RESOLVING MODEL FOR GPM/DPR ALGORITHM IEEE Geoscience and Remote Sensing Society IGRASS 2012

田殿武雄 / 堀雅裕 / 森山隆 / 橋本秀太郎 / 小野里雅彦 2012/7/24 PROBABILISTIC LAND COVER CLASSIFICATION APPROACH TOWARD KNOWLEDGE-BASED SATELLITE DATA INTERPRETATION IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium

田殿武雄 / Mark L. Williams / Scott Hensley 2012/7/24 COMPARISON OF STEREO-OPTICAL AND DUAL-BAND INSAR DEMS IN PAPUA NEW GUINEA IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium

島田政信 2012/7/24 PALSAR ScanSAR Interferometry using the modified full aperture processing IGARSS2012 IGARSS 2012

島田政信 2012/7/24 Stability of GAMMA-NAUGHT and THE PALSAR based FOREST MRV SYSTEM IGARSS2012 IGARSS 2012

田殿武雄 / 島田政信 / 村上浩 / 高久淳一 2012/7/26 UPDATE CALIBRATION RESULTS OF PRISM AND AVNIR-2 ONBOARD ALOS "DAICHI" IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium

田殿武雄 / 高久淳一 2012/7/26 HIGH RESOLUTION DSM GENERATION FROM ALOS PRISM -MOSAIC DATASET- IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium

Katsuyuki Kuchiki / Teruo Aoki / Masashi Niwano / Yuji Kodama / Yukiyo Iwata / Tomonori Tanikawa 2012/8/6 ~ 10 3種類の積雪粒子形状モデルを用いて地上分光放射計から推定された積雪物理量 (Snow physical parameters retrieved from a ground-based special radiometer using different shape models of snow particles) 国際放射委員会 国際放射シンポジウム

-
- 高橋陪夫 2012/8/10, 13 -JAXA Activies- ALOS mission and products KSIM JICA 第三国研修
-
- 島田政信 2012/8/22 Polarimetric Geometric Calibration and Validation of the newly developed JAXA Pi-SAR-L2 and the Interferometric and polarimetric performances PolSAR WS PolSAR WS
-
- 田殿武雄 / 島田政信 / 高久淳一 2012/8/25 ~ 9/1 VALIDATION STUDY ON ALOS PRISM DSM MOSAIC AND ASTER GDEM 2 ISPRS Congress/International Annals of Photogrammetry and Remote
-
- 福田徹 2012/8/28 JAXA's Earth Observation Programme 国際写真測量リモートセンシング学会 (ISPRS) XXII ISPRS Congress Earth Observation Forum
-
- 渡邊学 2012/8/30 PALSAR モザイクを用いた、洪水域検出の試み
-
- 渡邊学 2012/9/2 Analysis of Urban Areas Affected by the Great East Japan Earthquake in 2011 With L-band SAR Full-Polarimetric Mode
-
- 可知美佐子 / 今岡啓治 / 他 6 名 / 下田晴久 / 沖大幹 2012/9/4 Status of the first satellite of the Global Change Observation Mission - Water (GCOM-W1) EUMETSAT 2012 EUMETSAT Meteorological Satellite Users Conference
-
- 白石知弘 / 本岡毅 / RaheshThapa / 渡邊学 / 島田政信 2012/9/4 ~ 6 教師付き分類を用いたリモートセンシング画像の土地利用分類 電子情報通信学会 第 11 回情報科学技術フォーラム
-
- 木股雅章 2012/9/5 ~ 7 Development of type II superlattice detector for future space applications at JAXA SPIE MIOMD-XI
-
- 片山晴善 2012/9/5 ~ 7 Development of type II superlattice detector for future space applications at JAXA SPIE MIOMD-XI
-
- 高橋陪夫 / 島田政信 2012/09/10-13 Disaster monitoring by JAXA for Japan Earthquake with satellites International Workshop on Remote Sensing for Disaster Response 2012 RCDM
-
- 計盛正博 2012/9/11 気象庁の数値予報システムにおけるマイクロ波放射計データ利用についての最近の活動 (Recent activities on utilization of microwave radiometer data in the JMA NWP system) AMSR Science Team Meeting
-
- 向井田明 2012/9/13 PiSAR によるタイ洪水解析 平成 24 年度 賛助委員会・技術成果報告会
-
- 奥村俊夫 2012/9/13 衛星データを用いた水稻収量予測システムの試作 平成 24 年度 賛助委員会・技術成果報告会
-
- 見富恭 2012/9/13 環境観測衛星の校正検証及びデータ利用 平成 24 年度 賛助委員会・技術成果報告会
-
- 植松明久 / COMPIRA 検討チーム 2012/9/21 日本における海面高度計ミッションの検討状況 (Current status of the Japanese Altimetry Mission) ESA 6th Coastal Altimetry Workshop
-
- 久保田拓志 2012/9/24 ~ 27 衛星搭載雲・降水レーダによる降雪観測：全球降水観測計画と EarthCARE 日本雪氷学会 日本雪工学会 雪氷研究大会 (2012・福山)
-
- 朽木勝幸 / 青木輝夫 / 庭野匡思 / 兒玉裕二 / 的場澄人 2012/9/26 札幌における 2007-2012 年の 5 冬期間の積雪不純物濃度 雪氷研究大会 (2012・福山) 雪氷研究大会講演要旨集
-

植松明久 / 中島康裕 / 中村良子 / 矢島由貴江 / 大木真人 / 磯口治 / 篠崎昭彦 2012/9/27 日本の海面高度計ミッションのための X バンド干渉 SAR センサと航空機実験 (X-band interferometric SAR sensor for the Japanese altimetry mission and aircraft experiment) CNES Ocean Surface Topography Science Team Meeting

青木輝夫 / 朽木勝幸 / 庭野匡思 / 的場澄人 / 谷川朋範 / 堀雅裕 2012/9/27 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) 雪氷研究大会講演要旨集

中村良子 / 有川善久 / 板橋孝昌 2012/9/27 ~ 10/5 宇宙太陽光発電システムを用いた台風制御 (ACTIVE TYPHOON CONTROL with SPACE SOLAR POWER TECHNOLOGY) SGC, IAC

児玉哲哉 / 鴨川仁 2012/10/1 ~ 4 A Proposal of Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling Observation Mission by Small Satellite Constellation IUGG/EMSEV EMSEV 2012

児玉哲哉 2012/10/1 ~ 4 A Review of Seismo-Electromagnetic Satellite Missions -Recent Results and Prospects- IUGG/EMSEV EMSEV 2012

高橋徹 / 藤島豊久 / 臼井敏夫 / 小定弘和 / 安田みお / 大木真人 2012/10/2 Development of the Space Education Program for the Next Generation Using Earth Observation Data International Astronautical Federation The 63rd International Astronautical Congress

岡本幸三 2012/10/3 雲・降水域の衛星輝度温度データの同化に向けて (その 3) 日本気象学会 日本気象学会 2012 年度秋季大会

平形麻紀 / 沖理子 / 岡本創 / 萩原雄一郎 / 吉田良 / 早坂忠裕 2012/10/3 CloudSat/CALIPSO の複合利用による雲粒子タイプ識別の改良 日本気象学会 日本気象学会 2012 年度秋季大会

可知美佐子 / 今岡啓治 2012/10/5 第一期水循環変動観測衛星「しずく」(GCOM-W1): 概要と運用状況 日本気象学会 日本気象学会 2012 年度秋季大会

山口宗彦 / 青梨和正 / 今岡啓治 / 可知美佐子 / 武藤太郎 / 小林和史 2012/10/5 マイクロ波放射計降水リトリバルのための海上輝度温度補正 日本気象学会 日本気象学会 2012 年度秋季大会

石橋俊之 2012/10/5 随伴演算子による観測データのインパクト評価とその応用 日本気象学会 日本気象学会 2012 年度秋季大会

Rajesh Thapa 2012/10/7 ~ 11 Spatiotemporal modeling of urban growth dynamics in Kathmandu, Nepal International Symposium on Changing Mountain Environment in Asia Kathmandu, Nepal

内藤聖貴 / 片山晴善 / 原田昌朋 / 中村良子 / 加藤恵理 / 丹下義夫 / 佐藤亮太 / 中右浩二 2012/10/9 Development of the Compact Infrared Camera (CIRC) for earth observation International Conference on Space Optics (ICSO) ICSO

今岡啓治 / 可知美佐子 / 奥山新 / 前田崇 / 笠原希仁 / 伊藤徳政 / 中川敬三 2012/10/9 GCOM-W1 と AMSR2 の現状 (Current status of GCOM-W1 and AMSR2 instrument) Korea Meteorological administration (KMA) 第 56 回宇宙科学技術連合講演会

中村良子 / 植松明久 / 中島康裕 / 矢島由貴江 / 佐藤亮太 / COMPIRA 検討チーム 2012/10/12 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) 宇宙・航空エレクトロニクス研究会 ICSANE2012

久保田拓志 / 木田智史 / 正木岳志 / 沖理子 / 金子有紀 / 可知美佐子 / 井口俊夫 / 沖理子 2012/10/10 ~ 12 Current Status of Japan's Activity for GPM/DPR algorithm development 電気情報通信学会 ICSANE2012

可知美佐子 / 今岡啓治 2012/10/14 Current Status of the AMSR2 and the GCOM-W1 "SHIZUKU" CGMS-IPWG (International Precipitation Working Group) 6th IPWG Workshop

木田智史 / 久保田拓志 / 可知美佐子 / 沖理子 / 重尚一 / 妻鹿友昭 / 牛尾知雄 / 青梨和正 / 岡本謙一
2012/10/15 ~ 19 マイクロ波サウンダによる降水推定手法の開発 (DEVELOPMENT OF A PRECIPITATION RETRIEVAL ALGORITHM FOR PASSIVE MICROWAVE SOUNDER) International Precipitation Working Group 6th IPWG Workshop

青梨和正 2012/10/16 GSMaP プロジェクトの現状と新しいマイクロ波イメージャ降水リトリバルアルゴリズム (Current Status of GSMaP Project and New Microwave Imager Precipitation Retrieval Algorithm) WMO CGMS IPWG(International Precipitation Working Group) 6th IPWG(International Precipitation Working Group) Workshop

辻政信 2012/10/23 ~ 25 Jaxa's Earth Observation Satellites and Forest Mapping IPCC Technical Support Unit IPCC Expert meeting: Role of Remote Sensing in Forest and GHG

木田智史 / 久保田拓志 / 可知美佐子 / 沖理子 / 重尚一 2012/10/29 Development of precipitation retrieval algorithm for microwave sounder over land (衛星搭載マイクロ波サウンダによる陸上降水推定手法の開発) SPIE-The International Society for Optical Engineering SPIE 2012 Asia-Pacific Remote Sensing

浅井和弘 2012/10/29 ~ 11/1 iLOVE iss-jem Lider for Observation of Vegetation Environment SPIE SPIE Asia-Pacific Remote Sensing

村上浩 / Cecile Dupouy / Rudiger Rottgers / Robert Frouin 2012/10/29 ~ 11/1 ニューカレドニア東岸における現場ハイパースペクトル放射計と MODIS を用いた水中光学特性の推定 SPIE SPIE Asia-Pacific Remote Sensing 2012

島田政信 2012/10/30 SAR 観測における電離層の影響 SPIE 第8回 SPIE-AP

島田政信 2012/10/30 ALOS、ALOS-2 の次の SAR 衛星、Pi-SAR-L2 に関して SPIE 第8回 SPIE-AP

田殿武雄 / 堀雅裕 / 橋本秀太郎 / 小野里雅彦 2012/10/31 Applications of an Automatic Change Detection for Disaster Monitoring by the knowledge-based Framework SPIE Asia-Pacific Remote Sensing

計盛正博 2012/10/31 気象庁のメソスケールモデルにおける衛星マイクロ波観測の同化 (The assimilation of satellite microwave observation in JMA's meso-scale model) SPIE Asia-Pacific Remote Sensing 2012

島田政信 / 大澤右二 2012/10/31 ALOS-2 Science Program and High Resolution SAR Applications SPIE 第8回 SPIE-AP

Noriyuki kawano / Masanobu Shimada 2012/10/31 Post disaster monitoring for the great east Japan earthquake with a new L-band airborne SAR 'Pi-SAR-L2' SPIE SPIE Asia-Pacific Remote Sensing 2012

Manabu Watanabe / Noriyuki Kawano / Kazuhiro Naoki / Masanobu Shimada 2012/11/1 PiSAR-L2 observation of agricultural area damaged by seawater during the Great East Japan Earthquake in 2011 SPIE

Kei Shiomi / Shuji Kawakami / Hiroshi Suto / Akihiko Kuze / Masakatsu Nakajima / Yasushi Mitomi / Riko Higuchi / Nami Sekio / Fumie Kataoka / Taichiro Hashiguchi 2012/11/1 On-orbit calibration of TANSO on GOSAT SPIE SPIE Asia-Pacific Remote Sensing 2012

須藤洋志 / 久世暁彦 / 塩見慶 / 中島正勝 2012/11/2 GOSAT から GOSAT-2 へ：宇宙からの高精度 CO2 観測を目指して 計測自動制御学会 第 38 回リモートセンシングシンポジウム

前田崇 / 今岡啓治 / 可知美佐子 / 奥山新 / 直木和弘 2012/11/2 第一期水循環変動観測衛星 GCOM-W1「しずく」の観測開始について 計測自動制御学会 第 38 回リモートセンシングシンポジウム

可知美佐子 / 久保田拓志 / 木田智史 / 沖理子 / 牛尾知雄 他 3 名 2012/11/12 ~ 16 Production of Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) Near-Real-Time and Reanalysis Versions, and Preparation for GPM JAXA,NASA The 4th TRMM and GPM International Science Conference

木田智史 / 久保田拓志 / 可知美佐子 / 沖理子 / 井口俊夫 / 高藪緑 2012/11/14 TRMM 軌道変更の影響を除いた気候学研究の為にデータセット作成について (A reduction of discontinuity due to the orbit boost in a TRMM Precipitation Radar product for climate studies) JAXA,NASA The 4th TRMM and GPM International Science Conference

福田徹 2012/11/19 海洋活動に貢献する JAXA 衛星計画 JAXA satellite programs that contribute to the maritime sector Techno-Ocean Network Techno-Ocean 2012

木田智史 / 大倉幸恵 / 岡本謙一 2012/11/19 TRMM 降雨レーダで観測された全球降雨強度ヒストグラムの年々変化 (Interannual changes of global rain rate histogram observed by TRMM PR) (社)日本リモートセンシング学会 第 53 回学術講演会

佐久間史洋 2012/11/19 ~ 20 高温域比較黒体炉の改修と性能評価 (Improvement of high temperature comparison blackbody and its quality estimation) (社)日本リモートセンシング学会 第 53 回 (平成 24 年度秋季) 学術講演会

室岡純平 2012/11/19 ~ 22 植生ライダーの研究開発状況 日本航空宇宙学会 第 56 回宇宙科学技術連合講演会

矢島由貴江 / 植松明久 / 中村良子 / 中島康裕 / 佐藤亮太 2012/11/20 JAXA における海面高度計ミッションの検討 日本航空宇宙学会 第 56 回宇宙科学技術連合講演会

大木真人 2012/11/20 陸域観測技術衛星「だいち (ALOS)」における広報・教育活動と、後継機における展望 日本航空宇宙学会 第 56 回宇宙科学技術連合講演会

渡邊学 / 河野宣幸 / 直木和弘 / 島田政信 2012/11/20 PiSAR-L2 を用いた農地塩害域検出の試み リモセン学会

渡邊学 / 高倉浩樹 / 米澤千夏 / 吉川泰弘 / 島田政信 2012/11/20 PALSAR フルポーラリメトリによる極域洪水原因の推定 リモセン学会

島田政信 2012/11/20 Pi-SAR-L2 の開発と検証 [Calibration and Validation of the Pi-SAR-L2] 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

本岡毅 / 島田政信 2012/11/20 ALOS PALSAR による 2007-2010 年のインドネシア森林減少観測 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 H24 秋季学術講演会

高橋陪夫 2012/11/20 ~ 22 「だいち」ALOS による高解像度土地利用土地被覆図 宇宙科学技術連合 宇宙科学技術連合

片山晴善 2012/11/20 ~ 22 将来の地球観測に向けた光学センサ技術の研究 宇宙科学技術連合講演会 日本航空宇宙学会

河野宣幸 2012/11/21 航空機搭載 L 帯合成開口レーダ 2 を用いたインドネシア観測キャンペーン 宇宙科学連合 宇宙科学連合

塩見慶 / 久世暁彦 / 川上修司 / 田中智章 / 須藤洋志 / 中島正勝 / 片岡文恵 / 橋口太一郎 / 樋口理子 / 見富恭 2012/11/22 GOSAT の代替校正実験と月校正の状況 第 56 回宇宙科学技術連合講演会

今岡啓治 / 可知美佐子 / 直木和弘 / 奥山新 / 前田崇 / 藤井秀幸 2012/11/22 高性能マイクロ放射計 2 (AMSR2) の校正検証の現状と期待される成果 日本航空宇宙学会 第 56 回宇宙科学技術連合講演会

高橋陪夫 2012/11/26 ~ 30 JAXA High Resolution Land-Use and Land-Cover Map ACRS2012Asian Association on Remote Sensing (AARS) ACRS2012

青木輝夫 / 朽木勝幸 / 庭野匡思 / 的場澄人 / 山口悟 / 谷川朋範 / 本山秀明 2012/12/3 Meteorological and snow properties measured at SIGMA-A site on northwestern Greenland during drastic melting event in July, 2012 American Geophysical Union AGU Fall Meeting 2012

Jules R. Dim/Hiroshi Murakami/Tamio Takamura/Takahashi Y. Nakajima 2012/12/3 Implementation of Future Climate Satellite Cloud Algorithms: Case of the GCOM-C/SGLI AGU Fall Meeting 2012 Atmosphere

Kei Shiomi/Taichiro Hashiguchi/Fumie Kataoka/Riko Higuchi 2012/12/5 GOSAT lunar calibration in three years American Geophysical Union AGU Fall Meeting 2012

辻政信 2012/12/6 Los Satelites Ovs. de la Tierra y Actividad REDD+ por JAXA (JAXA の地球観測衛星と REDD+ 活動) JICA/JSPS JICA/JSPS 科学技術研究院派遣要請に係るコロンビア IDEAM 現地調査と打ち合わせ

福田徹 2012/12/12 エネルギー問題と地球観測 宇宙航空研究開発機構 平成 24 年度 JAXA 宇宙航空技術研究発表会

辻政信 2012/12/27 IDEAM 現地調査および打ち合わせ結果の報告 JICA/JSPS JICA/JSPS 科学技術研究院派遣要請に係るコロンビア IDEAM 現地調査の報告会

Dim Jules Rostand/Hiroshi Murakami 2013/2/4 Decomposition of satellite Derived Images for the Distinction of Cloud Types Features SPIE, Image processing: Algorithms and Systems IS&T/SPIE Electronic Imaging

高橋陪夫 2013/2/13 Overview of ALOS and mapping project cooperating in developing countries, in cooperation with JICA 科学技術小委員会 宇宙空間平和利用委員会 (COPUOS)

木田智史 2013/2/28 GPM に向けたマイクロ波サウンダアルゴリズムの開発状況 名古屋大学地球水循環研究センター 平成 24 年度共同研究集会プログラム 衛星による陸上の高精度降水推定技術の開発とその水文学への利用の研究企画のための集会

児玉哲哉 2013/2/28 小型衛星群による大気圏-電離圏の時空間的観測 神戸大学惑星科学研究センター 第 3 回宇宙惑星科学の将来を語る会

國井大輔 / 米澤千夏 2013 年 3 月 (予定) メタン発酵による消化液の液肥利用が周辺水域に及ぼす影響の評価 日本農業経済学会 2013 年度日本農業経済学会大会

本岡毅 2013/3/6 現在, および今後の植生関係の衛星観測についての概説 日本生態学会 日本生態学会第 60 回全国大会

室岡純平 2013/3/7 国際宇宙ステーション搭載 植生ライダーの研究 第 17 回大気ライダー研究会

福田徹 2013/3/13 利用コミュニティの強化に向けて 日本リモートセンシング学会 社会課題解決に向けたリモートセンシングデータ利用拡大に関するシンポジウム

渡邊学 2013/3/14 衛星データを用いた、極域洪水の監視と起源解明のための手法開発 第二回洪水共同研究会 第2回極域洪水研究会

植松明久/COMPIRA 検討チーム 2013/3/14 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)国内組織 ILRS 科学技術セミナー

木田智史/久保田拓志/可知美佐子/沖理子/井口俊夫/高藪緑 2013/3/18 ~ 22 TRMM 軌道変更の影響を除いた気候学研究の為にデータセット作成について (A reduction of discontinuity due to the orbit boost in a TRMM Precipitation Radar product for climate studies) NASA 2013 NASA Precipitation Measurement Mission (PMM)

福田徹 2013/3/21 次世代地球観測衛星および測位衛星の農林水産業への実利用 日本学術会議 農学委員会 公開シンポジウム 農林水産業への地球観測・地理空間情報技術の応用

3. その他

渡邊学 2012/5/23 ~ 24 小型気球カメラを用いた樹高推定 (Tree height estimation by using compact balloon camera) 日本リモートセンシング学会

福田悟/中島映至/竹中栄晶 2012/6/18 ~ 22 Algorithm development of aerosol product of MSI CALIPSO, CloudSat, EarthCARE Joint Workshop

福田悟/中島映至/竹中栄晶/菊地信行/日暮明子/石田春磨/中島孝 2012/8/6 ~ 10 A development of an algorithm for atmospheric aerosol remote sensing with use of near ultraviolet band of GOSAT/TANSO-CAI International Radiation Symposium 2012

福田徹 2012/8/16 JAXA's Earth Observation Program APEC APEC Workshop on Climate Change Adaptation in the Asia-Pacific

山口寿史/村上浩/蛭名政仁/田中淳也 2012/9/14 陸奥湾における衛星クロロフィル a 濃度の変動解析 日本海洋学会 2012 日本海洋学会秋季大会

久保田拓志/可知美佐子/木田智史/沖理子/青梨和正/重尚一/牛尾知雄/岡本謙一 2012/10/29 ~ 11/1 熱帯降雨観測衛星および全球降水観測計画の降水プロダクトにおける最近の進展について SPIE SPIE Asia-Pacific Remote Sensing 2012

福田悟/中島映至/竹中栄晶 2012/10/31 Algorithm development for remote sensing of aerosol of MSI SPIE SPIE Asia-Pacific Remote Sensing

Noriyuki kawano / Masanobu Shimada 2012/10/31 Post disaster monitoring for the great east Japan earthquake with a new L-band airborne SAR 'Pi-SAR-L2' SPIE SPIE Asia-Pacific Remote Sensing 2012

Manabu Watanabe/ Noriyuki Kawano/ Kazuhiro Naoki/ Masanobu Shimada 2012/11/1 PiSAR-L2 observation of agricultural area damaged by seawater during the Great East Japan Earthquake in 2011 SPIE

渡邊学/河野宣幸/直木和弘/島田政信 2012/11/20 PiSAR-L2 を用いた農地塩害域検出の試み リモセン学会

渡邊学/高倉浩樹/米澤千夏/吉川泰弘/島田政信 2012/11/20 PALSAR フルポーラリメトリによる極域洪水原因の推定 リモセン学会

高橋陪夫 2013/2/13 Overview of ALOS and mapping project cooperating in developing countries, in cooperation with JICA 科学技術小委員会 宇宙空間平和利用委員会 (COPUOS)

岡本幸三 2013/2/26 ~ 27 アンサンブル予報誤差解析に基づく、雲解像モデルのサンプリング誤差減衰法 (Sampling Error Damping Method for a Cloud-Resolving Model Based on Ensemble Forecast Error Analysis) 計算科学研究機構 (AICS) AICS 国際データ同化ワークショップ

祖父江真一 2013/3/25 わが国の今後の衛星観測計画について 気象学会 学会誌 (天気)

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 Gasses 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

空へ挑み、宇宙を拓く



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.