

空へ挑み、宇宙を拓く



ISSN 1349-113X
JAXA-SP-11-010

宇宙航空研究開発機構特別資料

EORC

2010年度
地球観測研究センター年報
Annual Report 2010 No.14

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

2010年度 地球観測研究センター年報

Annual Report 2010 No.14

地球観測研究センター

Earth Observation Research Center (EORC)

2012 年 1 月

January 2012

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

2010年度 地球観測研究センター 年報 目次

はじめに	住 明正 …………… iii
2010年EORC活動の概要	福田 徹 …………… v
1. ALOS利用研究	
1.1 ALOS利用研究プロジェクトの成果概要	島田 政信 …………… 2
1.2 GENERATION OF 10m RESOLUTION PALSAR and JERS-SAR MOSAICS AND FOREST/ NON FOREST MAPS FOR FOREST CARBON MONITORING	島田 政信 …………… 3
1.3 ALOS/PALSARによる、活動的火山地域に対する観測	宮城 洋介 …………… 5
1.4 合成開口レーダによる沿岸海洋モニタリングへの応用研究	磯口 治 …………… 9
1.5 合成開口レーダを用いた災害監視実証実験と事例について	河野 宜幸 …………… 11
1.6 SARポラリメトリデータ利用化研究	大木 真人 …………… 15
1.7 ALOS/AVNIR-2を用いた高解像度土地利用土地被膜図	高橋 陪夫 …………… 17
1.8 PALSARを使用したインドネシア・スマトラ島の土地被覆分類	白石 知弘 …………… 20
1.9 ALOS PALSARによる森林バイオマス推定手法の検討	本岡 毅 …………… 22
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 …………… 28
2.2 GOSATデータの校正評価	塩見 慶 …………… 31
2.3 TANSO-FTSにおける軌道上擾乱影響補正アルゴリズムの開発	須藤 洋志 …………… 34
2.4 GOSAT熱赤外スペクトルを用いた大気微量成分濃度の導出	大山 博史 …………… 36
2.5 JAMSTEC船舶を利用したGOSAT検証データ取得実験	川上 修司, 大山 博史 …………… 38
2.6 航空機搭載CO ₂ -LASを用いたGOSAT比較検証データ取得試験	境澤 大亮, 川上 修司 …………… 41
3. EarthCARE/TRMM/GPM利用研究	
3.1 EarthCARE利用研究の成果概要	沖 理子 …………… 44
3.2 EarthCAREのサイエンスとプロダクト	片桐秀一郎 …………… 45
3.3 TRMM/GPM利用研究の成果概要	沖 理子 …………… 49
3.4 Bootstrap法によるTRMM/PR降雨量プロダクトのサンプリングエラーの評価： サンプリングエラーの推定とトレンド解析への応用	飯田 泰久 …………… 51
3.5 GPM/DPR レベル1Bアルゴリズム (Ver.1) 開発	吉田 直文 …………… 55
3.6 GPMに向けた降水推定アルゴリズムの開発	久保田拓志 …………… 57
3.7 衛星による全球降水マップ作成システムの改良と再処理版作成	可知美佐子 …………… 59
3.8 地上検証用Ka帯レーダを用いたGPM打上げ前観測計画	清水 収司 …………… 63
4. GCOM利用研究	
4.1 GCOM利用研究の成果概要	今岡 啓治 …………… 68

4.2	AMSR-E等を用いた対流システムの解析	今岡 啓治	71
4.3	AMSR-E/AMSR2に対する海面水温・海上風速算出アルゴリズムの開発 ーWindsatへの応用ー	柴田 彰	73
4.4	サブミリ波放射計による雲氷観測	上澤 大作	75
4.5	GCOM-W1陸面プロダクトの開発	藤井 秀幸	78
4.6	マイクロ波放射計から観測される輝度温度を用いた海氷厚推定	直木 和弘	80
4.7	中・高空間分解能の大気上端輝度データを用いた海洋大気補正と水中光学特性の推定	村上 浩	83
4.8	JASMES積雪分布プロダクトの開発と検証	堀 雅裕	88
4.9	GCOM-C雪氷分野高次アルゴリズムの開発 ー積雪物理量の高精度化にむけてー	谷川 朋範	93
4.10	Long- term Cloud Trends and Evaluation of Aerosols Retrievals for the GCOM-C/SGLI	Dim, Jules Rostand	96
4.11	様々な植生における可視・近赤外の双方向反射率のデータセットの作成	小野 祐作	103
4.12	森林火災検知分類アルゴリズム開発と社会実装を目指した応用	中右 浩二	106
5.	センサ研究の概要	佐藤 亮太	112
6.	将来の利用推進ミッションの研究(共通)		
	地球電磁気観測ミッションのプロジェクト化準備作業		
	地球電磁環境モニター衛星群：ELMOS Constellation		
	ー小型科学衛星バスを利用した小型地球観測衛星シリーズ化の提案ー	児玉 哲哉	134
付録			
	2010年EORC研究成果発表		138
	関連略語集		147

はじめに

技術参与 住 明正

2011年度は、文明論的な意味において一つの区切りの年になったと思われる。

言うまでもなく、東日本大震災の発生が、原因の一つである。自然の猛威の再認識と、原発事故に見られるように巨大化した科学技術の安全管理に関しての我々の「甘さ」を実感した。増長せずに、謙虚に現実と対処してゆかねばならぬことを再確認することとなった。また、この出来事は、我々の毎日の生活に対する反省をもたらした。そのほかにも、ギリシャの経済危機をはじめとする世界経済の不調が挙げられる。これも、従来の常識では対処できないような事態が起きていることを予感させる。とにかく、「一つの時代」が終わったことは確かである。

地球観測、および、EORCの活動についても、一つの区切りとなった年と思われる。

その理由の一つは、ALOSの停止である。もちろん、ミッション期間の5年は終了していたといえ、LOSに倣って「後、5年ぐらいは動くだろう」と暗黙のうちに全員が考えていた。商業利用に関して「夢」を描いていた時だけに、その失望感は大きなものがあつた。同じく、AMSR-Eが停止したことも大きな出来事である。これも、理由はないのであるが、「もう少し持つであろう」と考えていたことが背景に存在する。もちろん、ALOS-2、ALOS-3やGCOM-wが予定されているとはいえ、現実には、色々なことが起きるのである。原発事故に関して「想定外」という言葉がはやったが、人間は、「現状が継続する」と思いがちである。出来る限り様々な事態を想定して活動を展開してゆく必要がある。言うなれば、現在展開している研究や業務を支える戦略に、多様な事態を見据えた深さと幅広さが必要なのであろう。

地球観測に関しては、継続性が重要と言うことをEORC発足当時から訴え、その結果としてGCOMシリーズなどが定義された。現在は、このコンセプトに従い、すべての衛星計画が展開されていると言ってよい。しかしながら、10年も経過すると、外部の状況も変化する。宇宙開発戦略本部の登場による宇宙開発の見直しも、JAXAに関して「過去の遺産に安住して新しいことに挑戦する気概を失っているのではないか？」という反省が行われたのも、今年の特徴の一つである。常に、「現状に甘んじているのではないか？」という内省を持って活動してゆくことが重要であろう。幸い、若手を中心に、大気、海洋、陸域に関して新しいミッションを考える作業委員会が発足した。今年が、新しいミッションを生み出してゆく活動、夢を抱いて必死に活動するという熱気、これらの課題を担う若い人の存在など、新しいEORCの時代を構築してゆく最初の一年となることを願う次第である。

ここでは、EORCが発足した時期とは、取り巻く状況が異なっていることも意識する必要がある。ともすれば、団塊の世代は、「昔はもっと熱気があつた」と言いがちである。EORCが発足した時は、更地に作られたのであり、何事も新しかった。また、世の中はバブルの最中であり、「イケイケ」の時代の雰囲気であつた。今は、多くの衛星を抱え、その維持も大きな仕事の一つとなっている。その結果、さまざまな仕事が降ってくる。その多くは、研究の邪魔であり、処理したとしても新しい仕事には直結しないような気になってくる。世間は、何も無いところに新しいことができる大きく評価するが、現存するシステムを間違いのないように維持してゆく努力は、評価

が低くなる傾向にある。しかしながら、そのように愚痴を言っても仕方がない。どのような時代にも、苦労はあったのである。成功すれば苦労は勲章になる。ともあれ、今の一刻、一刻の振る舞いが重要なのである。「一期一会」という言葉があるが、今日という一日は二度と来ないという覚悟を持って、毎日の活動に当たることが重要とすることであろう。

2010年EORC活動の概要

地球観測研究センター長 福田 徹

地球観測研究センター（EORC）は、地球観測衛星の搭載センサから得られるデータが社会における様々な活動において有効に使われるようにするための活動を行っている。EORCが六本木や晴海に在ったときは独立した事業所としての体制を持っていたが、筑波宇宙センター内に移転し本体たる宇宙利用ミッション本部と合流したことにより、事業所としての自己完結的な業務形態から業務の本質的な部分に集中するための組織へと体制を変更した。

近年は地球観測センサデータが様々な分野で利用されるようになってきたことに伴い、利用者はリモートセンシングの専門家では無く当該分野の専門家であることが通常となっている。このため、これら利用者には単なる観測データではなく利用者が求める情報を提供する必要がある。提供するデータセットをプロダクトと称するが、プロダクトの作成には高度な科学研究の裏付けが必要であり、また単独センサからではなく複数センサのデータを複合して作成することが大きな流れとなっている。また、現実の課題を解くにあたって複数のプロダクトや関連する地上データ、モデルなどを統合して用いることも必須である。当然ながらこれらすべてをEORC単独で行うことは全く不可能であり、外部の研究コミュニティとの密接な連携協力の下で業務を行っている。さらに、プロダクトの利用推進のために国内外で共同研究を進めている。

一方で、JAXAが開発した地球観測センサから得られる観測データを校正し、品質保証を行うことは、高精度のプロダクトを作るための前提としておろそかにできない業務である。観測データの校正は、衛星／センサの開発プロジェクトと密接に情報交換を行いながら実施している。

校正検証、プロダクトの研究開発、利用推進の成果を次世代の計画の立ち上げにつなげることも重要である。そのための「種」を作り出す機能としてセンサ研究室がある。新規のセンサ研究は、利用要求との対話のもとで進めるべきであるとの考えから同研究室をEORC内部に置いている。

以上が、EORC業務の全体像であるが、本報告書からその現状について把握いただくとともに、目標に対するアプローチと成果が適切であったかとの観点から忌憚無きご意見、コメントをいただければ幸いである。

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

島田 政信

ALOSは打ち上げから4年目を迎えて、以下の項目を継続的に実施した。1) ALOSの校正検証を継続し、センサ毎の画像の品質の維持、精度（幾何学精度、ラジオメトリック精度）を維持する、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による森林変化抽出を実施し、関連情報をGEOSS等に提供する、5) 災害、生態系（環境）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、6) プロジェクトと協力し、ALOS-2及びALOS-3の利用手法の研究開発を行う。結果として、全ての業務を実施することができた、詳細は、個々の報告書に見ることができる。さらに、特筆すべき項目を列記すると、7) 査読論文が16編を数えることができた、8) IEEE JSTAR special issue on Kyoto and Carbon Initiative, vol. 3, Issue 4, 2010, 9編収集を発行した(図1)、9) 一般向けにGlobal Environmental Monitoring by ALOS PALSAR（地球環境をとらえる「だいち」：図2）を発行した、10) 第4回PI成果報告会実施@サンケイプラザ、東京2010年11月15～17日を実施した。



図1 IEEE JSTARS特集号、図2「だいち」本

1.2 GENERATION OF 10m RESOLUTION PALSAR and JERS-SAR MOSAICS AND FOREST/NON-FOREST MAPS FOR FOREST CARBON MONITORING

島田 政信

地球上の全陸域の約3割を占める森林の減少と劣化は、地球温暖化の加速や生物多様性の減少等の地球環境に影響を及ぼすため、森林の現状とその時間変化を全球規模で把握することは緊急課題となっている。特に、森林の減少と劣化に伴う二酸化炭素の排出量は、化石燃料（石油、天然ガス、石炭）の燃焼について、全体の2割強を占めており、地球環境保全にとって極めて重要です。地球を短時間で周期的に観測する地球観測衛星は環境変化の把握に適しており、古くは米国のランドサット衛星（光学センサ）が1970年以降実施してきた。しかし、光学センサの弱点は晴天画像が得られにくいということであった。それに対し、レーダーは天候に左右されずに観測が可能である。図1は「だいち」に搭載されたレーダー（PALSAR）が2009年6月から9月までの乾期に観測した全世界データを10m分解能で処理（幾何学補正1、ラジオメトリック補正2）し、全球86000シーン相当分のモザイク処理（接続処理）をしたものである。本画像は、PALSARの有する二種類の情報（水平偏波、垂直偏波）を赤、緑に、そしてこれらの比率に青を着色し、カラー画像としたものである。緑色がかかったものが森林を、暗い緑から黄色が非森林を表す。地上バイオマス量100t/haを一つの目安として、それ以上を森林として緑色、それ以下を非森林として黄色の2つのカラー（2値画像）で表現したのが図2に示す森林・非森林分類図（2009年分）である。この二値画像の森林・非森林の分類精度は地上基準データセット3との比較で84%の正確さを持つことを確認している。

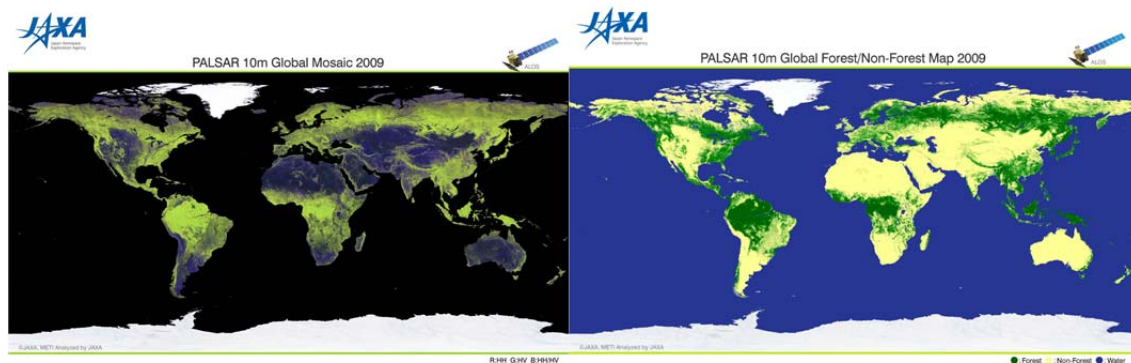


図1 左 2009年の10m分解能の全球モザイク画像（PALSAR,FBD）

図2 右 全球森林・非森林分類図（2009年分）

平成22年度の発表論文（審査付き、主著者分のみ）

M. Shimada, “Model-based Polarimetric SAR Calibration Method Using Forest and Surface Scattering Targets,” IEEE Trans. GRS, in press.

M. Shimada, “Ortho-rectification and Slope Correction of SAR Data Using DEM and Its Accuracy Evaluation,” IEEE JSTAR special issue on Kyoto and Carbon Initiative, vol. 3, Issue 4, 2010, pp. 657-671.

M. Shimada and T. Otaki, “Generating Continent-scale High-quality SAR Mosaic Datasets: Application to

PALSAR Data for Global Monitoring,” IEEE JSTARS Special Issue on Kyoto and Carbon Initiative, vol. 3, Issue 4, 2010, pp.637-656.

M. Shimada, “On the ALOS/PALSAR operational and interferometric aspects - in Japanese,” J. Geodetic Society of Japan, vol. 56, no. 1, pp.13-39, 2010.

M. Shimada, T. Tadono, and A. Rosenqvist, “Advanced Land Observing Satellite (ALOS) and Monitoring Global Environmental Change,” P. IEEE, vol. 98, no.5, pp.780-799, May 2010.

1.3 ALOS/PALSARによる、活動的火山地域に対する観測

宮城洋介

1. はじめに

活動的火山に対する人工衛星を使ったリモートセンシング観測は、危険なフィールドに行く必要もなく、広範囲に渡るデータを定期的に取り得できるという点で、非常に有効である。とりわけL-band合成開口レーダであるALOS/PALSARは、波長の長いマイクロ波を使用しているため、噴煙や雲の影響もなく地表を観測する事が可能であり、噴火中の火山のモニタリングにも適している。本発表では活発な火山が多く存在するカムチャッカ半島における広域地殻変動観測の結果と、2011年1月に始まった霧島連山・新燃岳の噴火に対する、PALSARによるモニタリングの結果を紹介する。

2. 広域地殻変動観測

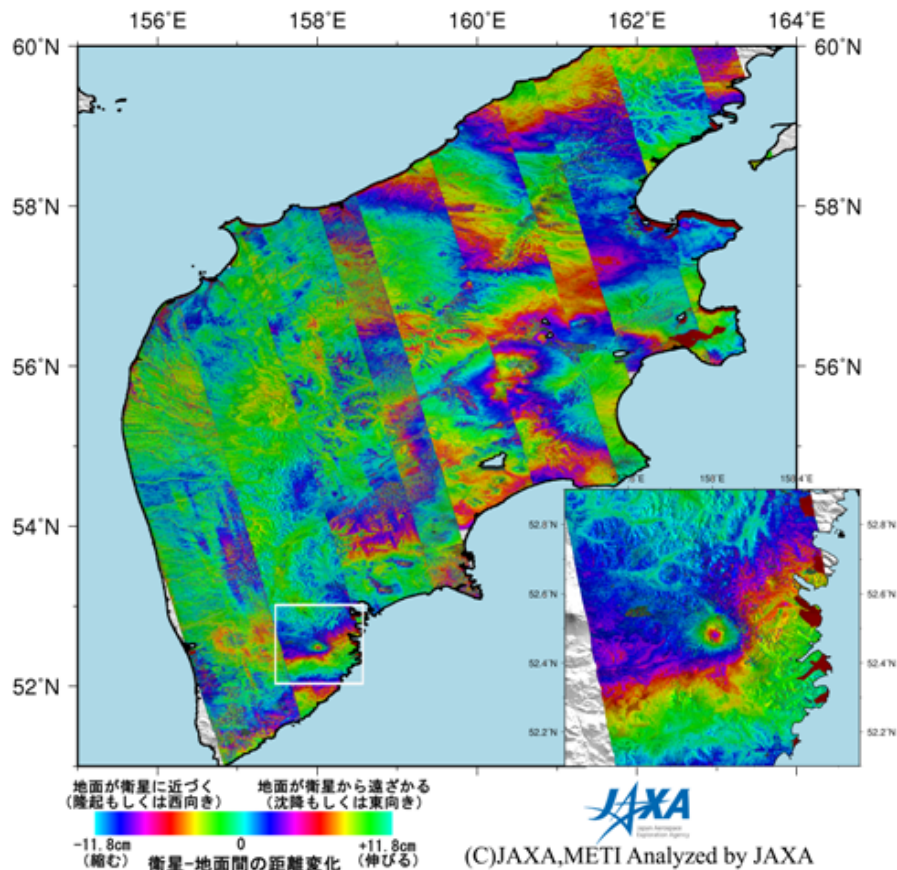


図1：カムチャッカ半島全域の差分干渉画像（地殻変動画像）。右下はGorely火山（図中白枠）を拡大したもの。

2010年2月に発生したチリ地震は地震の規模がM8.8と非常に大きかったため、地震に伴った地殻変動を検出するために広範囲に渡る観測が必要となった。この際元々の狙いとは違ったが、チリにあるLaguna del Maule火山において、地震に伴う地殻変動とは明らかに異なる火山性の地殻変動が検出された。このように、活動的火山地域を広範囲に観測したPALSARデータを干渉解析（DInSAR

解析)することによって、何らかの火山性地殻変動を検出できる可能性があることが分かった。そこで、活動的火山が多く存在するカムチャッカ半島全体をターゲットとして広域の地殻変動マップを作成した(図1)。カムチャッカ半島全域をカバーするのに使用したPALSARデータは延べにして約350シーンであった(※火山が集中しているエリアだけであれば150シーンほど)。その結果Gorely火山において顕著な膨張を示す地殻変動が検出され、2008-2010年の当火山における火山活動に伴った(地下マグマ溜りの膨張による)地殻変動であったと考えられる。

基本的に、過去観測データに対するパラメータの見直しは今回が初めてである。2007年4月以降観測データの新しいパラメータによる再処理プロダクトは現在精度評価中であるが直下視6.7m、前方視6.2m、後方視7.5m程度になる見込みである。

3. 2011年霧島連山・新燃岳噴火

2011年1月19日、鹿児島県と宮崎県の県境にある霧島連山・新燃岳が2010年3月以来の噴火を起こした。最初はそれほど規模の大きい噴火ではなかったが、同年1月27日に爆発的な噴火を起こし、火口内には溶岩ドームが出現した。新燃岳は近年も活動的ではあったが、今回の噴火は1958年以来の規模の大きな噴火であり、1月27日以降の噴火は1822年以来189年ぶりのマグマ噴火(マグマが直接噴出するタイプの噴火)であった。ALOS/PALSARは噴火後から様々な入射角からの観測を続け、溶岩ドームの急速な成長をモニタリングすることに成功した(図2)。2月1日以降溶岩ドームの成長は止まったが、爆発的な噴火はそれ以降も続き、3月1日時点で13回の爆発的な噴火を記録している。

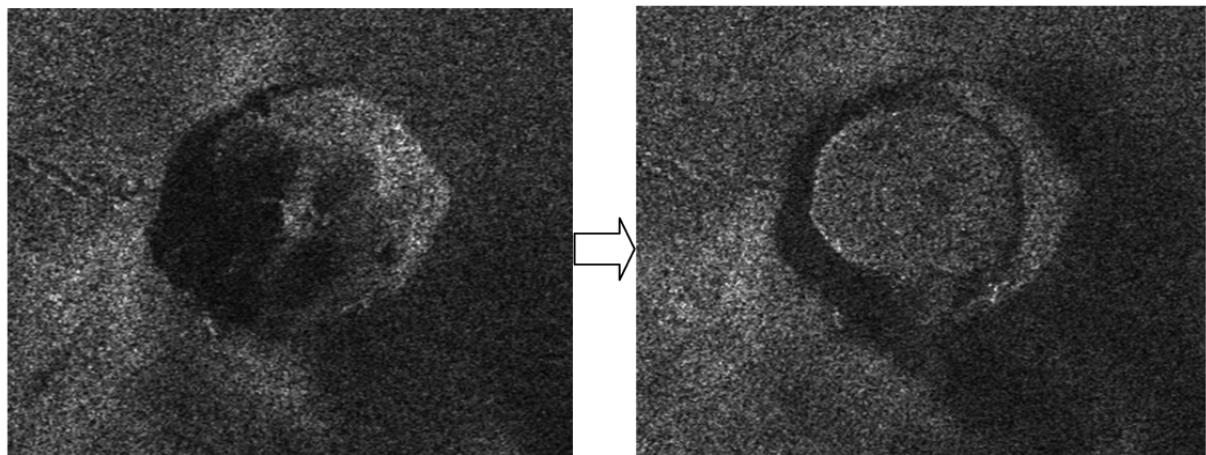


図2左：2011年1月27日の爆発的噴火後に観測されたPALSAR強度画像(FBS43.4°)。

火口中央部に溶岩ドームが出現している事が確認できる。

図2右：左図から5日後の2011年2月1日に観測されたPALSAR強度画像(FBS47.8°)。

溶岩ドームが火口内をほぼ埋めるまでに成長している。

また、噴火前後、そして噴火前の二画像を使った差分干渉解析により、本噴火に関係した地殻変動を検出することに成功した(図3)。噴火前後のPALSARデータを干渉させて得た差分干渉画像(図3)から、新燃岳の西約5kmを中心に衛星から遠ざかる地殻変動が検出された。これは噴火

時の地下マグマ溜りの収縮に伴った地表面の収縮（沈降を含む）を表していると思われる。この色の変化は、①観測時期も軌道も異なる二つの画像ペア（図3左：アセンディング、図3右：ディセンディング）の両方の画像ではほぼ同じ位置に色の変化が見られること、②噴火前ペアから得られた差分干渉画像ではほぼ同じ位置に、逆に衛星に近づくパターン（沈降）の色の変化が見られること、③国土地理院が行っているGPS観測、東京大学地震研究所が行っている重力観測でも、同様に新燃岳西に変動源が推定されていること、の理由からシグナル（地殻変動）である可能性が高いと思われる。Mogiモデル[Mogi, 1958]を用いた変動源のモデリングによると、マグマ溜りの位置を地下5kmと仮定した時の体積変化量は106m³のオーダーであり、実際に噴出されている噴出物の量に比べて桁が一つ以上少なく見積もられてしまう。原因として、このマグマ溜りへのさらに下部からのマグマの供給が続いているため、見かけ上の地殻変動は小さく検出された可能性が考えられる。仮にそうだとすると、浅部のマグマ溜りには未だに十分な量のマグマが存在していることになり、今後も噴火活動は継続していくことを示唆している。

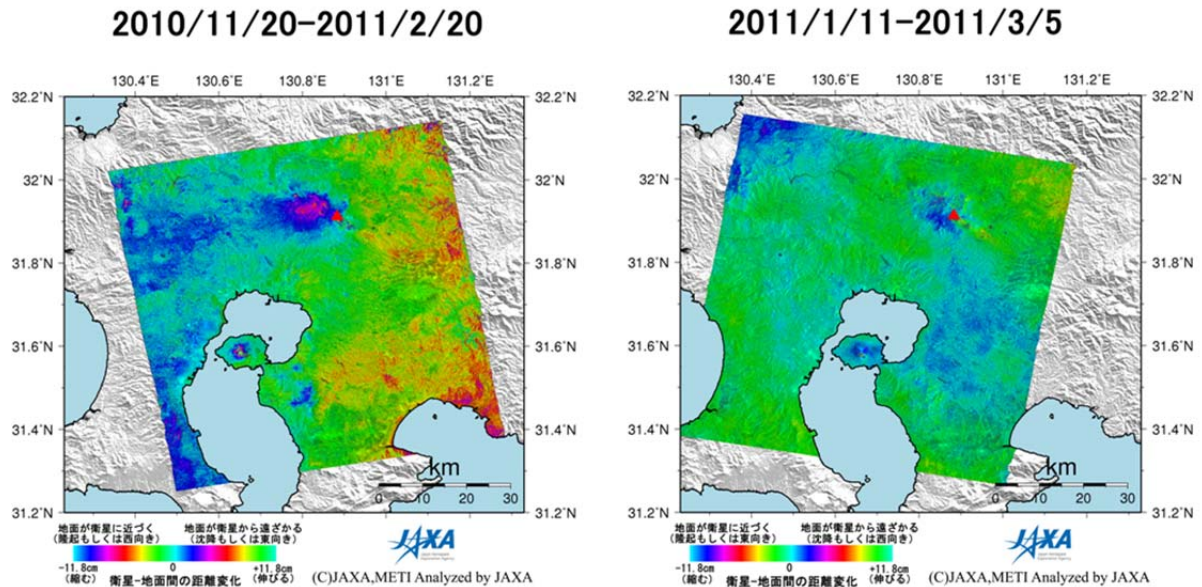


図3左：噴火前（2010年11月20日）と噴火後（2011年2月20日）に、アセンディング軌道から入射角 34.3° で観測されたPALSARデータを干渉処理して得られた差分干渉画像。赤三角は新燃岳を示す。

図3右：噴火前（2011年1月11日）と噴火後（2011年3月5日）に、ディセンディング軌道から入射角 34.3° で観測されたPALSARデータを干渉処理して得られた差分干渉画像。

4. 世界の地震活動に対するALOS/PALSAR観測

2010年度も世界中で多くの地震が発生し、主な被害地震として、中国青海省地震（M6.9, 4月14日；図4左）、ニュージーランド南島・ダーフィールド地震（M7.0, 9月4日；図4右）、イラン南東部地震（M6.5, 12月21日）、そして2011年2月22日に発生したニュージーランド南島・クライストチャーチ地震（M6.3）等が挙げられる。これらの地震に対してALOS/PALSARによる

緊急観測が行われ、地震に伴った地殻変動が検出された。その地殻変動データから断層モデルの推定を行い、その結果や解釈を EORC ホームページや学会等で発表した。

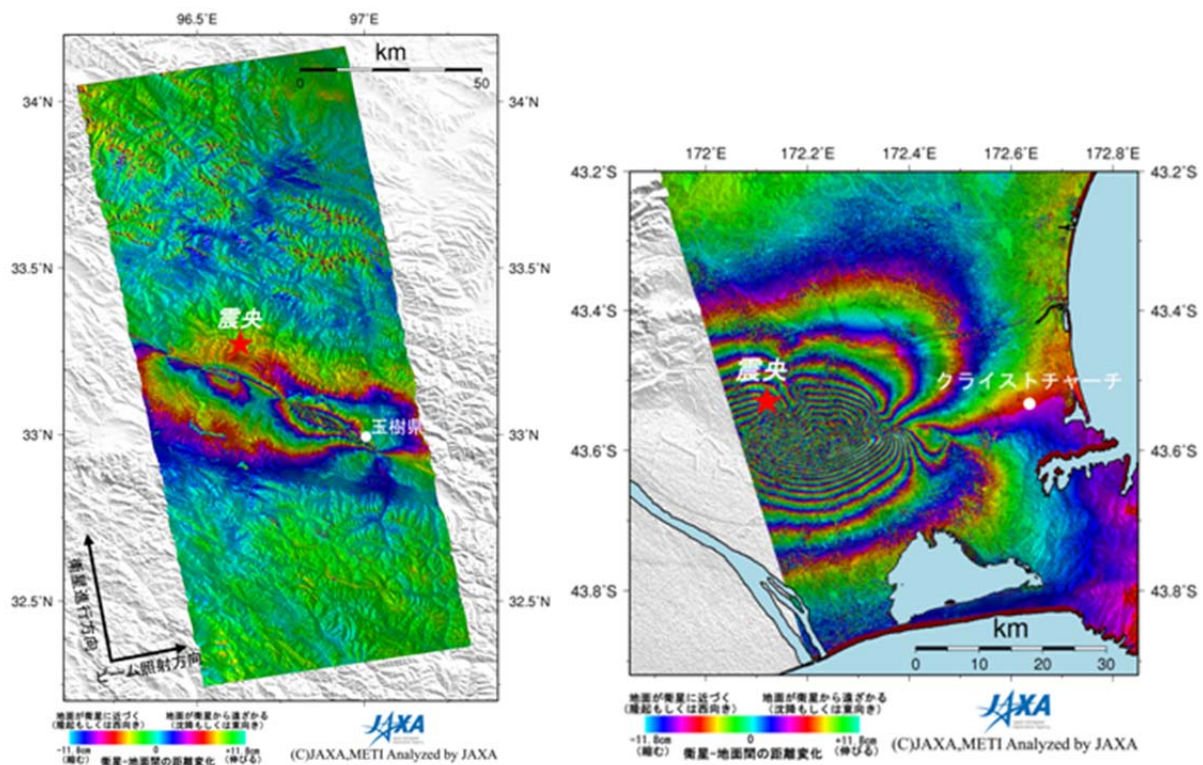


図4左：2010年4月14日中国青海省で発生したM6.9の地震に伴う地殻変動

図4右：2010年9月4日ニュージーランド南島ダーフィールドで発生したM7.0の地震に伴う地殻変動。この震央から約40km東にあるクライストチャーチでは、約半年後の2011年2月22日にM6.3の直下型地震が発生し、多くの被害をもたらした。

1.4 合成開口レーダによる沿岸海洋モニタリングへの応用研究

磯口 治

1. はじめに

世界の人口の約60%は海岸線から60km以内の陸域に集中していると報告されており、沿岸域は人間活動が活発な海域となっている。また、陸上・海底地形、陸域からの付加等により、沿岸域の海洋、気象現象は外洋に比べて時空間的に複雑な振る舞いをする。マイクロ波センサは昼夜問わず、海面水温、海上風、海面高度、波浪等を全球で観測し、多くの新たな知見をもたらすと共に、オペレーショナルな気象、海象の情報発信に不可欠なツールとなっている。しかしながら、多くのセンサは陸域の信号の混入により沿岸域において十分な精度の観測が行われておらず、沿岸域は観測の空白域となっている。合成開口レーダ(SAR)は、人間活動に直接影響するスケール(10-100m)で情報が可能な唯一のセンサであり、特に、沿岸域の監視に重要な役割を果たすと期待される。これまでに開発したL-bandの風速算出モデル関数により、PALSARによる海上風マッピングが可能となった。本報告では、SARによる沿岸海洋モニタリングへの応用研究として2つの話題を報告する。はじめに、SARによる高解像度海上風マッピングの研究事例として、離島周りの海上風分布形態と大気場の関係を調べた結果を報告する。続いて、将来的なPALSARによる沿岸波浪マッピングを目的として、波浪パラメータの検出アルゴリズムの開発を行った結果を報告する。

2. 孤立島周辺の海上風分布特性

孤立島である利尻島周りの海上風形態と大気状態との関係を調べるために、ALOS/PALSARとERS-1/2 SARデータからL-bandとC-bandの風速算出モデル関数を適用して115ケースの海上風マップを作成した。島周辺の海上風は主に以下の4つの形態に分類された。A)島の影響がほとんどみられない(17%)。B)島の風下では弱風域(島陰)が形成されるが、特にその左側で強風ジェットが形成(22%)。C)島の風下で強風域が形成(17%)。D)島の風下で弱風域(島陰)が形成(43%)。稚内における高層気象データを用いて、上記の分類毎、風速、温位勾配に対する散布図、また、無次元標高(Non-dimensional mountain height : $\hat{h} = Nh/U$, N:浮力振動数, h:山の高さ, U:上流での風速)に対するヒストグラムを作成した(図1)。A)は主に、風速が弱い場合に相当する。B)は主に、 $\hat{h} > 2$ に集中しており、逆転層を含むような下層大気の安定度が非常に強い場合が多い。逆にD)は主に、 $\hat{h} < 1.75$ に分布しており、大気安定度が中立に近い場合が多い。一方、C)はB)とD)の遷移域に分布が集中している。これらの無次元標高に対する海上風パターンの遷移過程は、模型実験や数値実験により調べられてきた、以下の形態と整合性がとれた結果である。D)線形の山越え山岳波($\hat{h} < 1$)。C)碎波による島の後方斜面でのおろし風の発達($\hat{h} \sim 1$)。B)山の迂回と島後方での渦の発達。今回の結果で注目すべきは、 \hat{h} の増加に伴い、D)、C)、B)の形態へと遷移していくが、島後方では、海上風が弱風、強風、弱風と変化することである。以上のように、遷移域付近では大気安定度の変化に応じて、海上風の形態が大きく変化する可能性が明らかとなった。

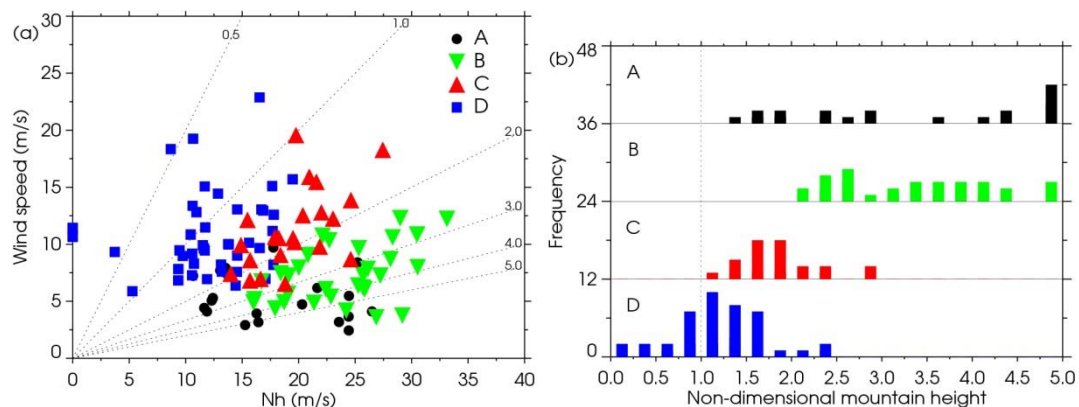


図1. (a)海上風形態の浮力振動数×標高(x軸)と風速(y軸)に対する散布図。(b) 海上風形態の無次元標高(\hat{h})に対するヒストグラム。

3. PALSARによる波浪パラメータの検出

海上ブイによる波浪データと、ブイを含む領域を観測したPALSARデータにより、波浪パラメータの検出を試みた。ブイを中心に256×256ピクセル(約3.8×3.8km)の画像を切り出し解析に使用した。切り出し画像に対してFFTにより2次元スペクトルを算出し、ピークから主要波向と波長を算出する。SAR画像から波浪スペクトルさらに波高情報を抽出するためには、SAR画像スペクトルからインバージョンにより波浪スペクトル推定することが必要となる。これまでの研究により、非線形性マッピングを取り入れた手法等が提案されているが、ここでは、以下の経験的手法により、SAR画像スペクトルから有義波高(SWH)を算出した。

$$SWH = a * 4 * \sqrt{E * (1 + \cos(\alpha))} + b, E = \int F(\vec{k}) d\vec{k}$$

ここで、 $F(k)$ はSAR画像スペクトル、 $\alpha (\leq 90^\circ)$ はエネルギーピークと衛星飛行方向とのなす角で、 $1+\cos(\alpha)$ がアジマス方向のスペクトルの歪みを考慮した補正係数となっている。

有義波高、波向、周期を検出しブイと比較した結果を表1に示す。本手法ではSARスペクトルから算出される波向には180度のアンビギュイティが残るが、実測データに近い方向を選択している。有義波高の比較は波高が高い領域でばらつきが大きい。また、周期は短い周期でSAR画像が長周期に見積もる傾向が強く、特にアジマス方向の短波長成分のcutoffの影響が現れている。ブイデータとの比較によりPALSARによる外洋の波浪パラメータの検出を試みた。検出結果はL-band SARによる検出の実現可能性を示すものであったが、特に、周期を過剰見積もりする傾向が得られた。さらなる精度向上のためには、非線形性を考慮に入れたinversion方法の開発が必要となると考えられる。

表1. 波浪パラメータ比較結果。

	データ数	相関	バイアス	Rms error
有義波高	189	0.84	0.00(m)	0.65(m)
周期	189	0.58	-1.52(s)	3.1(s)
波向	137	0.83	6.34(deg)	38.7(deg)

1.5 合成開口レーダを用いた災害監視実証実験と事例について

河野 宣幸

1. はじめに

合成開口レーダを用いた災害監視実証実験と事例について、航空機搭載合成開口レーダを用いた水害状況把握のための実証実験と観測事例、及びALOS-2打ち上げ前にPALSAR-2の主要機能を実証するためのPALSAR-2に対応した航空機搭載合成開口レーダの開発について記す。

2. 国土交通省（競争的資金） 河川技術研究開発公募

合成開口レーダを利用した防災情報把握に関する技術開発

「高分解能ポラリメトリックSARを用いた水害状況把握技術開発」

2.1 技術開発概要

本研究は、(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)と日本大学が共同で、国土交通省河川技術開発制度「平成21年度 河川技術研究開発公募(河川技術分野) 合成開口レーダ(SAR)を利用した防災情報把握に関する技術開発」に「高分解能ポラリメトリックSARを用いた水害状況把握技術開発」というテーマで応募し採択されたもので、本年度はその2年次に相当する。

航空機搭載高分解のポラリメトリックSAR(Pi-SAR-L)を用いて、模擬水害検出実験を実施し、撮影技術や水害情報抽出のための解析手法と検討を行い、実用に供するための技術開発を行ったものである。

なお、平成21年度の成果については、国交省河川局設置の有識者会議「河川技術評価委員会」の中間審査において最高評価「A：非常に優れた研究であった」と評された。

2.2 技術開発内容

(1) 浸水域情報抽出技術の開発

平成21年度調査結果をもとに、浸水域情報抽出技術をさらに詳細に検討し、各技術の精度について定量的に評価した。平成21年度調査結果では、HV偏波の1ルック処理強度画像を用いたが、2ルック処理、4ルック処理、続けてガウシアン・フィルタ、Sigma Leeフィルタ、IDANフィルタ等の各種フィルタ処理を施し、閾値によって水域／非水域の二値化された領域を現地調査の精密測量によって水域／非水域に二値化された測量結果と比較した。評価法はそれぞれの面積比を算出して行う。

正解率＝現地調査の水域かつSAR画像でも水域となる面積／現地調査の水域面積

誤り率＝現地調査の非水域かつSAR画像の水域となる面積／現地調査の非水域面積

判定率 ＝ (正解率) － (誤り率)

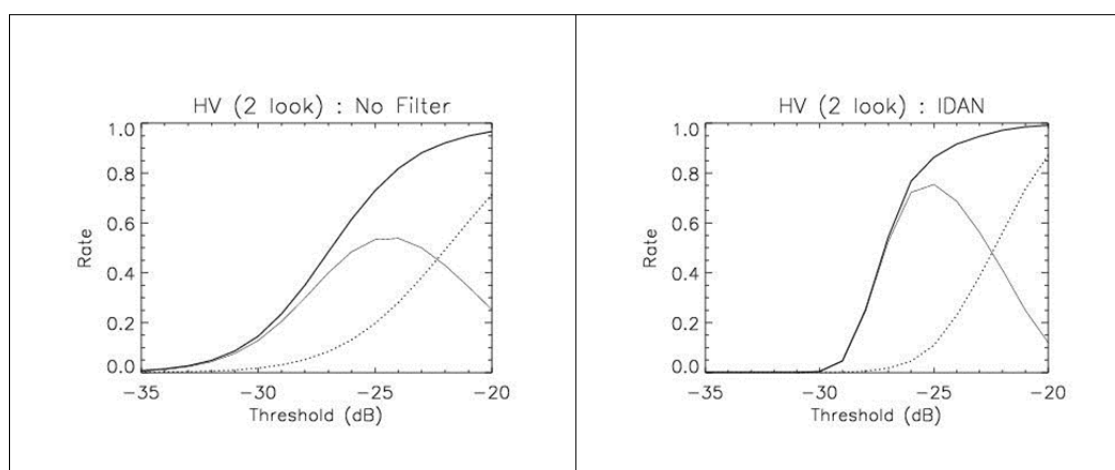


図1 HV偏波2ルックのフィルタ無し（左）とIDANフィルタ（右）の判定率（細線）

太線：正解率、点線：誤り率（平成22年2月24日長良川鵜飼大橋上流）

図1はHV偏波2ルックのフィルタ無しとIDANフィルタの判定結果を比較した結果で、フィルタ無しでは-24dBにて判定率0.53であるのに対し、IDANフィルタでは-25dBにて判定率約0.75となった。

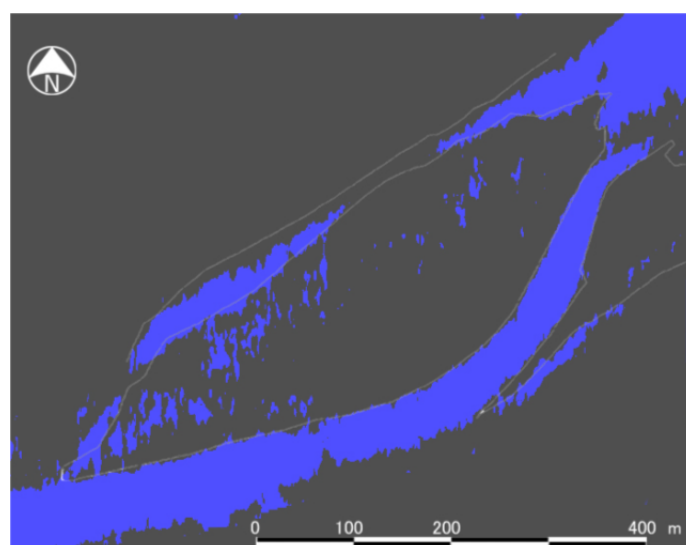


図2 HV偏波2ルックのIDANフィルタ閾値-25dBによる水域（青色）と現地調査による境界線（平成22年2月24日長良川鵜飼大橋上流）

浸水域抽出にはSAR画像の二値化が必要であり、その為にIDANなどのフィルタ適用と閾値の設定が重要であることが本技術開発の結果、確認された。閾値については-25～-30dBが最適であるが、水面や地表面の状態により異なる値を持ち、マニュアルでの設定が必要となる。

2) 緊急災害観測の実証と課題の検討

緊急災害観測の事例として、2010年9月8日に中部地方を横断した台風9号の大雨に伴う長良川増水の観測を記す。通常の観測飛行については、航空法に基づき「航空管制区及び管制圏内の特殊飛

行」の申請として、1～3週間ほど前に航空局へ飛行許可申請を行う。この期間は観測コースや飛行エリアの範囲に依存し、関係する調整先が複数になればそれぞれ時間を要する。ただし、災害発生時の緊急観測に関しては、事前に緊急の要件であることを関係官署に説明して調整が順調に進めば、最短で1～2日で飛行許可が出る場合もある。平成22年9月8日台風9号による大雨増水時の長良川観測事例では、8月30日に発生した台風7号の針路を基に、同じ海域で新たに発達中の熱帯性低気圧がほぼ同じ針路を進むと予測し、熱帯性低気圧が台風9号に発達する直前の9月2日に9月8日観測の飛行許可申請を行った。緊急災害観測においては、この飛行許可申請の時間が最も懸念材料である。

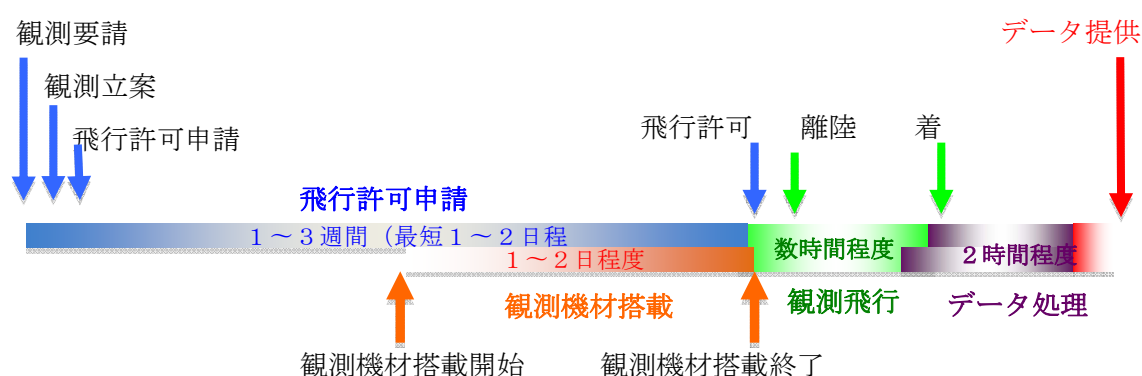


図3 航空機観測のタイムライン

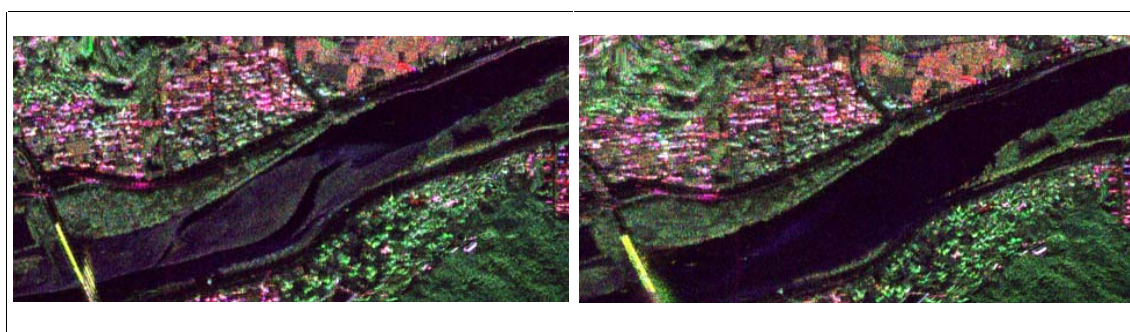


図4 通常期（2010年8月3日）と大雨増水時（2010年9月8日）の長良川鵜飼大橋

3. PALSAR-2に対応した航空機搭載合成開口レーダー（Pi-SAR-L2）の開発

1996年に就航したPi-SAR-LをALOS-2/PALSAR-2に対応した高分解能・高性能を有するPi-SAR-L2に改修することにより、ALOS-2打ち上げ前にPALSAR-2の主要機能をシミュレーションでき、ALOS-2の利用開発、利用促進を図ることが可能となる。さらに、PALSAR-2の有する性能向上についても実データにより確認できるのと同時に、ALOS-2で用意すべき高次成果物、研究成果物の再定義も可能になる。また、この改修したPi-SAR-L2を利用することで、ALOS-2打ち上げ後にPALSAR-2の校正検証作業が容易となる。Pi-SAR-L2は2010年12月より設計を開始し、2012年3月には就航予定である。

表1 Pi-SAR-L / Pi-SAR-L2 / ALOS-2 主要機能比較表

項目	Pi-SAR-L		Pi-SAR-L2		ALOS-2	
中心周波数	1271.5MHz		1257.5MHz(50MHzモード時1271.5MHzへの切り替え可)		1257.5MHz	
送信電力	3kW		←(アンテナ部最大耐圧4.5kWのため)		5.1kW	
周波数帯域幅	50MHz/45MHz/22.5MHz/11.3MHz		150MHz/85MHz/50MHz		84MHz/42MHz/28MHz/14MHz	
パルス幅	10μs		10~30μs(TBD)		TBD	
アンテナ(長さ×幅)	1.55m×0.65m		←		9.9m×2.9m	
観測入射角	20°~60°()フナディア角:40°()		←		8°~70°	
観測モード	1ch	4ch	2ch	4ch	1ch	2/4ch
	単偏波(HH or VV)	フルポラリメトリ	2偏波(HH+HV or VV+VH)	フルポラリメトリ	単偏波(HH or VV or HV)	単偏波/2偏波/CP/FP
観測幅 (高度12km、速度220m/s)	42.5km	19.6km	40km以上	20km以上	25km(入射角37度赤道上)	50/70/350/30km
スラントレンジ分解能	3/5/10/20m	3/5/10/20m	1/2/3m	1/2/3m	3m	3/6/10/100m
アジマス分解能	0.8m(1ルック)		0.8m(1ルック) (簡易スライディングスポットライト機能有り)		1/3/6/10/100m(1ルック)	
チャープ	Downチャープ		Up/Down切替可(PRF毎の切替も可)		Up/Downチャープ	
データサンプル周波数	61.7/30.9MHz		1.6GHz(200/100/66.7MHz)		104.79/52.4/34.93/17.46MHz	
量子化ビット数	8bit I/Q方式		8bit リアル方式		8bit I/Q方式	
データレート	32MByte/sec×1ch		200MByte/sec×2ch		800MByte/sec×1ch(最大)	
搭載航空機	ガルフストリームⅡ(ダイヤモンドエアサービス所有)					
その他	機内搭載ラック3本、I/Fケーブル約40本		機内搭載ラック2本、I/Fケーブル約20本(搭載時間の短縮) コンパクトポラリについては、実験時対応可能な部材を準備しておく。 GPSからのPPS/時刻データに同期した時刻制御機能を持ち、μ秒単位の時刻を生成することでPRF毎の時刻付与が可能			

4. おわりに

合成開口レーダを用いた災害監視実証実験と事例について、2010年度に実施した航空機搭載合成開口レーダを用いた水害状況把握のための実証実験と観測事例、及びPALSAR-2に対応したPi-SAR-L2の開発について記した。2011年度はPi-SAR-L2の開発を進めると共に、海外衛星も含めた災害発生時の観測頻度向上など、実利用に基づいた実証実験等を通じて合成開口レーダの利用実証を進める予定である。

1.6 SARポラリメトリデータ利用化研究

大木 真人

1. 背景と概要

ALOS/PALSARは世界初のフル・ポラリメトリ(4偏波)観測が可能な衛星搭載SARであった。PALSARは従来の航空機SARでは不可能な広範囲・高頻度での陸域ポラリメトリ観測を初めて実現し、後継機ALOS-2/PALSAR-2ではさらに、分解能、入射角などの点でより柔軟なポラリメトリ観測が検討されている。

SARは雲に影響されずに地表の情報収集が可能なことから、PALSARポラリメトリデータからの情報抽出が実用化すれば、これまでにない広範囲・高頻度の土地被覆、森林、災害情報などの把握への応用が期待できる。

前年度までの研究では、教師付きWishart分類法を用いてPALSARポラリメトリデータによる土地被覆分類を行い、単一時期のポラリメトリデータを用いるよりも2時期のポラリメトリデータを用いてポラリメトリック・インターフェロメトリ(多偏波干渉SAR; PolInSAR)処理を行い、情報量を増やして分類することが有効であることが実証された。しかし、ポラリメトリデータから得られる地表の散乱特性は実際の土地被覆と1対1に対応しない(例えば市街地や農作地は、観測する方向によって異なる散乱特性を示す)ため、精度を確保するために手動での作業が必要であった。この手動の作業とは、それぞれの土地被覆を、散乱特性に応じてさらに複数の分類に細分化するもので、閾値を設定して決定木により分割するため、閾値の妥当性などの疑問が残っていた。

前年度の結果を受け、今年度も引き続きPolInSARにより土地被覆分類を試行したが、土地被覆がさまざまな散乱特性をもっているにもかかわらず正確に分類できる非線形の分類アルゴリズムとしてサポートベクタマシンを導入した結果、手動による作業を伴わずとも分類が可能となったほか、分類精度も向上した。

来年度は、分類精度の向上のためのアルゴリズムの改良と、PolInSARが土地被覆把握に寄与することの理論面での検証を試行する。

2. 分類手法およびテストデータ

本研究では、(1)水域、(2)水田、(3)水田以外の農作地、(4)草地、(5)裸地、(6)森林、(7)市街地という7カテゴリの単純な分類を行った。既に公表されている他の土地被覆プロダクトとの互換性の向上のためカテゴリ設定を見直し、昨年度の6カテゴリから7カテゴリに増やした。また、これに伴い分類に必要な教師データ、および検証用データも再構築した。この教師/検証用データは昨年度と同様に国土地理院の国土数値情報・土地利用細分メッシュ(2006年度)及びALOS光学画像(AVNIR-2、2007年5月15日)の判読により手作業で作成している。

分類の手法は、比較のため昨年度と同じ教師付き複素ウィシャート分類法と、今年度導入したサポートベクタマシン(SVM法)をそれぞれ用いて、結果を比較した。入力データとしては、単一時期のポラリメトリデータ、および二時期のポラリメトリデータによるPolInSARデータを与え、それぞれ結果を比較した。

テストデータは、茨城県西部・千葉県西部をカバーする(パス400フレーム710)、1回帰(46日)

1. ALOS利用研究

離れた2時期のポラリメトリデータ（2007年4月2日、2007年5月18日）である。

画像化および干渉処理ソフトウェアはShimadaによるSIGMA-SARを使用、ポラリメトリ解析および分類処理のソフトウェアは本研究で開発した。

3. 分類結果および考察

分類の結果、SVM法による精度がポラリメトリ分類で68.5%であったが、PolInSAR分類では80.1%に向上した。土地被覆別に検証すると、水田の分類精度が大きく向上し、その他の土地被覆もやや改善した。森林と市街地の誤分類は依然多く残っており、森林の面積を約9.9%過大評価する結果となった。

おだやかな水域と裸地は、極めて後方散乱が小さくLバンドSARでは原理的に区別が困難だが、PolInSAR処理で得られるHH+VV偏波のコヒーレンスで比較すると裸地のコヒーレンスが高く、水域とある程度区別でき、これが分類精度の向上に寄与したと見られる。

森林と非直交市街地は、HV偏波成分が比較的強い類似した偏波特性をもつためPolSAR分類では誤分類が起きていたが、コヒーレンスで比較すると森林が若干低く、これが森林の判別にある程度寄与したとみられる。

水田は、使用した2時期のデータがそれぞれ湛水時期前、湛水時期中であったため、明瞭かつ特徴的な季節変化が捉えられており、これが精度向上に寄与していたことは明らかである。

4. まとめと今後の課題

PolInSAR分類は、従来LバンドSARでは困難と見られていた水域と裸地の判別や、非直交市街地（レーダの照射方向と市街地の構造が直交でない）と森林の判別への可能性も示され、PolInSAR解析の土地被覆モニタリングへの有効性が示された。

今回の研究では1回帰離れた干渉ペアを用いたが、コヒーレンスの差はデータ取得期間の差にも依存するため、今後は2回帰以上離れた干渉ペアも用いて精度を比較する。また、これまではPolInSARデータにより分類精度が向上するという最終結果のみが得られ、PolInSARデータのどのパラメータがどのようなメカニズムで土地被覆の判別に寄与しているか十分な考察がされていないため、回帰分析等によりどの偏波情報が寄与しているかを評価する、ないしはPolInSARのモデル化による成分分解等により土地被覆依存性を考察する、などの必要がある。

1.7 ALOS/AVNIR-2を用いた高解像度土地利用土地被膜図

高橋 陪夫

1. はじめに

陸域観測技術衛星「Advanced Land Observation Satellite, ALOS（だいち）」が2006年1月24日に打ち上げられ、5年余りが経過した。災害発生後の被害状況把握や地図作成など様々な成果を上げている。本研究では、AVNIR-2データを用いた、日本全域の高解像度土地利用土地被膜図について述べる。次章以降は、使用データ、処理及び分類方法、精度検証について記す。

2. 使用データ

I. 解析データ

ALOS搭載のAVNIR-2で観測した、2006年5月7日から2010年11月2日までの日本全域のデータに対し、オルソ補正、斜面補正および大気補正を行った約1,900シーンのデータを用いている。また、オルソ補正及び斜面補正には、国土地理院発行の「数値地図50mメッシュ（標高）」およびSRTM3（90m相当解像度、北方領土のみ使用）を用いている。大気補正は観測時のセンサおよび太陽の位置、NCEP客観解析データによる水蒸気量と国立環境研究所/GOSAT・Open CLASTRプロジェクトにて開発・提供されている大気放射伝達コードPstar2b1)を用いた。

II. 補助データ

地形情報は、「数値地図50mメッシュ（標高）」（標高、傾斜、海域）およびSRTM3（標高、傾斜；北方領土のみ使用）を使用している。また、ALOS/PALSAR K&Cモザイク(10m解像度、斜面輝度補正済)²⁾、さらに夏期のAVNIR-2データ欠損箇所の補完Terra/MODIS（250m解像度、NDVI）に用いた。特に、2009年の比較結果に見られるように、画像オブジェクトを基本とした手法を適用したことにより、比較的複雑な空間構造を持つ伐採域の検出にも成功している。一方で、PALSARの検出はWWFの(LANDSATによる)結果と比べて検出の時間レスポンスが遅い傾向が見られる。2008年6月22日観測のLANDSATによる検出と2008年6月6日観測のPALSARによる結果では、PALSARはLANDSATのおおよそ50%の領域の検出に留まっている。伐採の初期段階においてSARでは信号の変化が明瞭でないことを示唆しているが、今後詳細な検討を行う必要がある。

3. 処理及び分類方法

I. シーン単位のAVNIR-2のオルソ補正・斜面補正・大気補正済のデータを、観測年によらず緯度経度1度毎の月単位コンポジットを作成する。尚、コンポジット作成においては、最大値となるNDVI画像を採用した。

II. AVNIR-2の月単位コンポジットデータセットと地形情報を用いて、植生フェノロジーを考慮した上で決定木（ディシジョン・ツリー）によって分類を行う。この際、AVNIR-2月単位コンポジットデータが雲・雲陰の影響を含め空間的に十分でない場所はMODIS、水面の判別等にPALSARを補助データとして用いた。

日本のほぼ全域を50m解像度（Px方向0.0005度、Ln方向0.00041667度）で以下の9つの分類カテゴリーに分ける。1度グリッド画像は、2,000（ピクセル）x2,400（ライン）である。

①水域、②都市、③水田、④畑、⑤草地、⑥落葉樹、⑦常緑樹、⑧裸地、⑨雪氷

AVNIR-2月単位コンポジットが空間的に十分でない場所は、分類結果に不連続が生じている。図.1は作成した本高解像度土地利用土地被覆図の日本全域画像である。

4. 精度検証

分類結果の精度検証は、分類に使用したコンポジットデータとは異なる独立なAVNIR-2画像や公開情報から独自に整備した2,500点の検証点を用いて離散的に評価した。また、全体精度算出に総務省統計局発表の国土利用の現況（平成19年）3)を用いているが、分類カテゴリーが網羅されていないため、表2の通り各カテゴリーを統合し、土地利用面積率を乗じて算出した。表1の結果の合計より、本土土地被覆図の全体精度は85.8%である。前バージョン10.08から、4.2%精度が向上した。

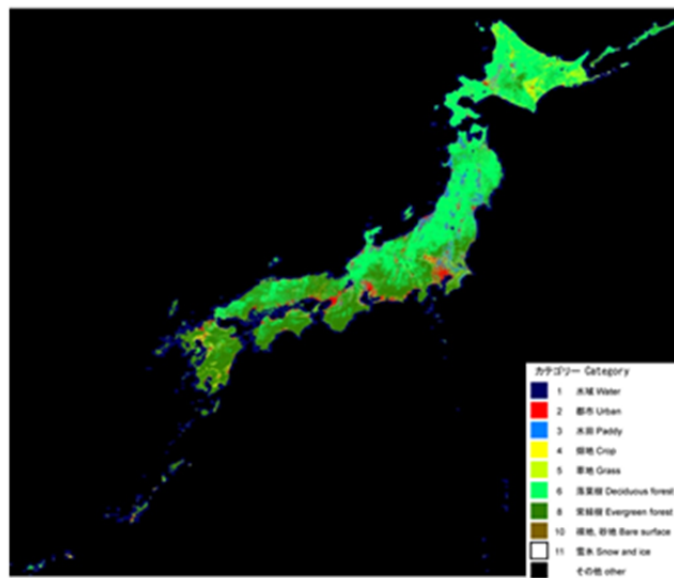


図1：日本全域の高解像度土地利用土地被覆図

表1：約2,500点の検証点における精度評価結果

	水域 (Water)	都市 (Urban)	水田 (Paddy)	畑地 (Crop)	草地 (Grass)	落葉樹 (Deciduous Forest)	常緑樹 (Evergreen forest)	裸地 (Bare)	雪氷 (Snowice)	合計 (Sum)	Usr acc (%)
水域 (Water)	175	5	0	1	0	0	0	106	1	288	60.80
都市 (Urban)	17	322	4	4	0	2	0	85	0	434	74.20
水田 (Paddy)	16	0	223	41	9	0	0	6	0	295	75.60
畑地 (Crop)	15	1	82	107	21	5	0	17	0	248	43.10
草地 (Grass)	44	2	52	74	88	4	0	28	0	292	30.10
落葉樹 (Deciduous Forest)	11	16	8	40	26	82	57	42	0	282	29.10
常緑樹 (Evergreen forest)	1	0	4	20	16	66	223	5	0	335	66.60
裸地 (Bare)	112	23	14	14	1	1	0	153	1	319	48.00
雪氷 (Snowice)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
合計 (Sum)	391	369	387	301	161	160	280	442	2	2493	
Prod acc (%)	44.80	87.30	57.60	35.50	54.70	51.20	79.60	34.60	0.00		55.10

表2：カテゴリーの統合と土地利用の面積率に基づく分類精度評価結果

本プロダクトに おけるカテゴリー	国土利用現況に おけるカテゴリー	面積率 (%)	正答率 (表1より, %)	面積率を換算 した精度(%)
落葉樹+常緑樹	森林	66.4	97.3	64.6
水田+畑地	農用地	12.5	65.8	8.2
都市	宅地+道路	8.4	87.3	7.3
水域	水面・河川・水路	3.5	44.8	1.6
草地+裸地	その他	9.1	44.8	4.1

参考文献

- 1) 国立環境研究所/GOSAT・OpenCLASTRプロジェクト
<http://www.ccsr.u-tokyo.ac.jp/%7ecclastr/index.html>
- 2) EORC ALOS/PALSAR K&Cモザイク http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/kc_mosaic/jkc_mosaic.htm
- 3) 総務省統計局 国土利用の現況(平成19年) <http://www.stat.go.jp/data/nihon/g0101.htm>

1.8 PALSARを使用したインドネシア・スマトラ島の土地被覆分類

白石知弘

1. はじめに

インドネシア・スマトラ島はアマゾンと並び森林伐採が最も行われている地域の一つであり、森林減少による温室効果ガスの増加や生態系の変化を防ぐためにも、正確な森林域の把握は重要な課題である。しかし現状の土地被覆分類図の作成は光学画像を用いる有識者による目視判読が一般的であり、土地被覆が雲に隠れて確認できないことによるデータ不足や時間・人的コストが高いことが問題であり、天候による影響が少ないPALSARを使用した土地被覆分類や森林炭素量推定が注目されている。我々はインドネシア・スマトラ島のリアウ州を中心にALOS/PALSARデータを使用した土地被覆分類に取り組んでおり、本稿はこの土地被覆分類の状況を報告する。

2. 使用データ

本研究で使用した画像データはALOS/PALSAR、SRTM3、WWF提供の土地被覆分類図の3種類である。ALOS/PALSARデータは25m分解能のモザイク画像、2偏波高分解能(HH/HV偏波)、オルソ・斜面勾配補正を施したデータを使用した。SRTM3データは分解能が90mであり、標高情報を得るために使用した。WWF提供の土地被覆分類図はインドネシア・スマトラ島のリアウ州を中心に、LANDSAT画像をもとに合計13種類のクラスに目視判読した土地被覆分類データである。また、PALSARデータと土地被覆分類図は2009年のデータを使用した。

3. 分類方法

本研究ではWWF提供の土地被覆分類図をトゥルースデータとして、商用の画像解析ツールであるeCognition Developer version 8.0.1を使用して教師付き分類を行った。トゥルースデータは図1(c)で示すようにUnclassifiedクラスを除き13種類の分類クラスが存在する。分類の手順は、セグメンテーション処理、フィルタリング処理、セグメンテーション処理、分類処理の順に行った。

セグメンテーション処理は画像を似た性質を持つ領域(オブジェクト)に分割する処理で、本研究では2度行っている。この理由は後の工程でノイズ除去等のためにフィルタリング処理を行っているが、森林と非森林等、各分類クラス間の境界を平滑化させないために、オブジェクトに対しフィルタリングを行うためである。

フィルタリング処理は、スペckルノイズの除去や各クラスが特徴として持っている後方散乱断面積(NRCS)や標高データ値を均一化する目的で、全オブジェクトに対して行った。このフィルタリング処理にはメディアンフィルタを用い、その範囲は7x7ピクセルで行った。

分類処理は、閾値と最短距離法による2種類の方法を用いて行った。例えば、他のクラスよりも低いNRCSを持つWaterクラスのように、他クラスと明確に区別できる特徴を持つクラスには閾値を用いた。逆に、区別しにくい似た特徴を持つクラスの分類には最短距離法を使用した。最短距離法にはオブジェクトごとに標高値とNRCS(HHとHV)の平均、標準偏差を使用した。

4. 結果

トゥルースデータを図1(a)に分類結果を図1(b)に示す。また、図中で使用している分類クラスとカラーマップを図1(c)に示す。また、これらのクラスのうちDry ForestとWet Forestを森林、それ以外を非森林と定義して森林/非森林の分類精度も導出した。分類結果は表1に示すように、13種類のクラス分類で52.29%、森林/非森林分類で85.61%である。

当初の分類手順は、セグメンテーション処理後そのまま分類処理を行っており、精度は13種類のクラス分類で40.96%、森林/非森林分類で72.66%であった。この状況から、SRTM3データによる標高データとフィルタリング処理を追加することで、両者共におよそ12%程度精度が向上した。しかし、例えばDry ForestとRubberのように、似たNRCSを持ち、標準偏差に重みがあるクラス間の分類が難しくなるという影響もある。図1に示す結果では、Rubberが過大分類されていることが見て取れ、その他にも、特に非森林と定義しているクラスの精度が低く、分類アルゴリズム・手順の見直しや他のテクスチャ情報を追加する等、更なる改善が必要である。

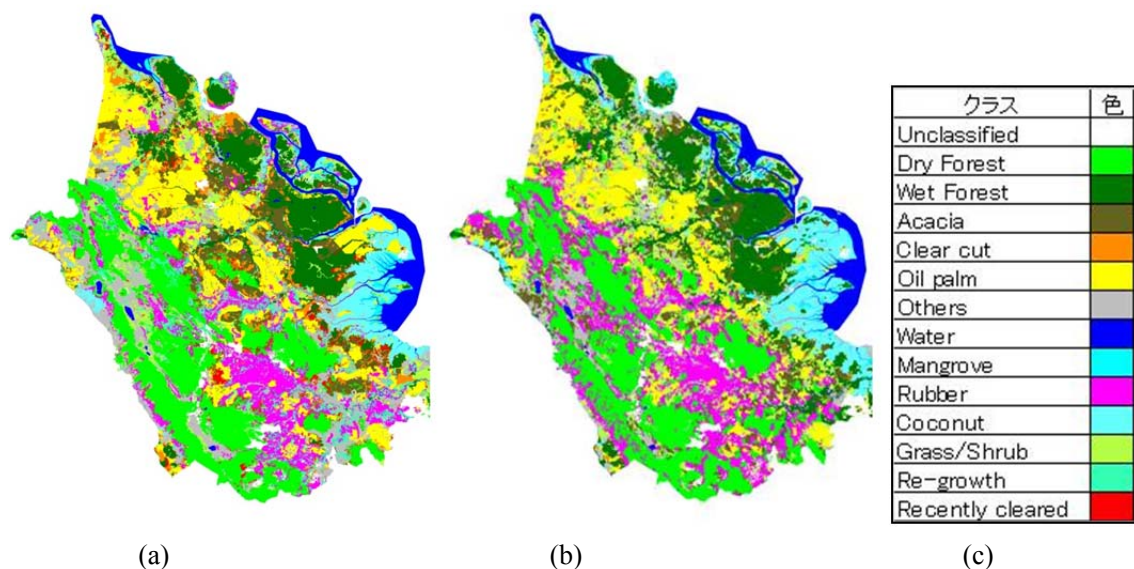


図1. 土地被覆分類結果、(a)トゥルースデータ、(b)分類結果、(c)クラスとカラーマップ

表1.分類結果の精度

分類対象	精度 [%]
13 種類の分類	52.29
森林非森林の分類	85.61

5. おわりに

本稿では、ALOS/PALSARを用いたスマトラ島・リアウ州近郊の土地被覆分類結果を述べた。商用ツールであるeCognition Developerを利用して、分類アルゴリズムの改善や入力情報にSRTM3データを追加することで分類精度は向上し、現状13クラスの分類で52.29%、森林非森林の分類で85.61%という結果を得ている。今後も更に精度を上げるために、分類アルゴリズムや付加情報等の調査・検討を行いたい。

1.9 ALOS PALSARによる森林バイオマス推定手法の検討

本岡 毅

1. はじめに

森林のバイオマス（単位面積当たりの乾重量）は、炭素循環や生物多様性など、陸域生態系研究において最も重要な生物物理量のひとつである。特に近年は、温室効果ガス削減の取り組みを進めるうえで、森林の伐採防止や回復促進が重要視されており、バイオマスのMRV (Measurement, Reporting, and Verification) システムの構築が急務となっている。そのなかで衛星リモートセンシングは、観測の広域性・周期性・継続性・平等性などの点において優れており、貢献が強く期待されている。そこで本研究では、ALOS を用いた森林バイオマス推定手法の構築を進めている。今年度は、PALSARによるバイオマス推定の可能性や課題について明確化することを目的に、日本各地を対象にして、PALSAR後方散乱データと地上部バイオマスの関係を調べた。また、そこで得られた経験式を用いてバイオマスマップを試作した。

2. PALSAR後方散乱データと森林地上部バイオマスの関係

環境省モニタリングサイト1000 によって集計された毎木調査データから、地上部の幹枝バイオマスを計算した（表1）。日本全国44地点（落葉広葉樹林23地点、常緑広葉樹林11地点、常緑針葉樹林10地点、混交林4地点）について、約1 haの調査区内の全立木の胸高直径を、各樹種に応じたアロメトリー式を用いてバイオマスに変換した。PALSARデータは、2007年と2009年の10 m分解能全球モザイクデータセットを用いた（観測モード: FBD、取得時期: 6月～10月）。各観測地点の周囲15×15ピクセルの平均強度をガンマノート（後方散乱係数の入射角依存性を除去したもの）に変換した。

表1 用いた森林地上部バイオマスデータの概要

	Mean	Median	Range
Observation year	2007	2007	2005 - 2009
Elevation (m)	583	460	40 - 1880
Annual mean temperature (degree)	10.5	9.4	2.5 - 21.9
Stand size (ha)	0.9	1.0	0.1 - 1.2
Tree density (number/ha)	1304	1164	493 - 3975
Mean DBH (cm)	16.9	17.3	8.7 - 26.8
Basal area (m ² /ha)	44.8	44.0	13.0 - 78.2
Above ground biomass (t/ha)	270.7	270.7	46.7 - 467.9

図1に、地上部バイオマスとPALSAR観測値の散布図を示す。バイオマスが増加するにつれてガンマノートは増加したが、ある一定のバイオマスに達すると飽和する傾向が見られた。対数関数に近似したところ、HVの方がばらつきは小さく（HH: RMSE = 1.073 dB, HV: RMSE = 0.753 dB）、飽和も起きにくかった（微分係数が0.005のとき、HH: 136 t/ha, HV: 182 t/ha）。近似した対数関数のパラメータは、他の国（アメリカ、ヨーロッパ、アフリカ、ブラジルなど）における既往研究のものと概

ね近い値を示した。今回のデータは十分に数が多いもの、森林の種類による関係の違いは、明確には現れなかった。勾配補正処理の有無による違いは顕著に見られ、勾配補正なしの場合はバイオマスとの相関が低くなった。

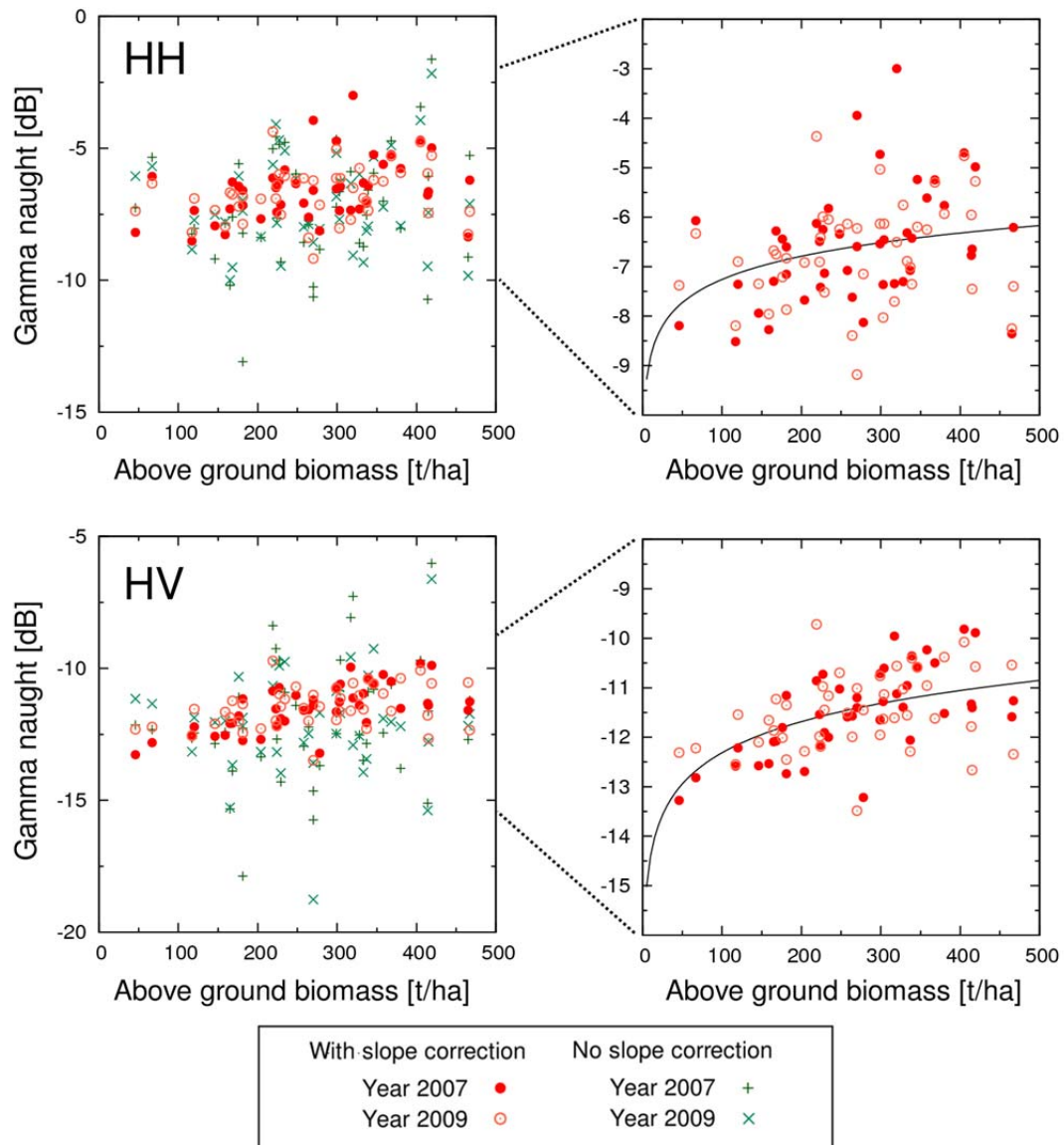


図1 森林の地上部バイオマスとPALSAR観測値（ガンマノート、2007年/2009年、HH/HV偏波）の散布図。
右図中の黒実線は、近似した対数関数（HH: $y = 0.68 \ln(x) - 10.38$; HV: $y = 0.53 \ln(x) - 16.49$ ）。

3. 経験式による森林地上部バイオマス推定マップの試作

上記で得られた関係に基づき、2007年のPALSAR 10mモザイクデータセットを用いて日本全土の森林地上部バイオマスを推定した。用いた経験式に対する現地観測データ(44地点)のRMSEは106.23 t/ha、%RMSE (= RMSE/平均) は39.3 % であった。結果の例を、図2と図3に示す。

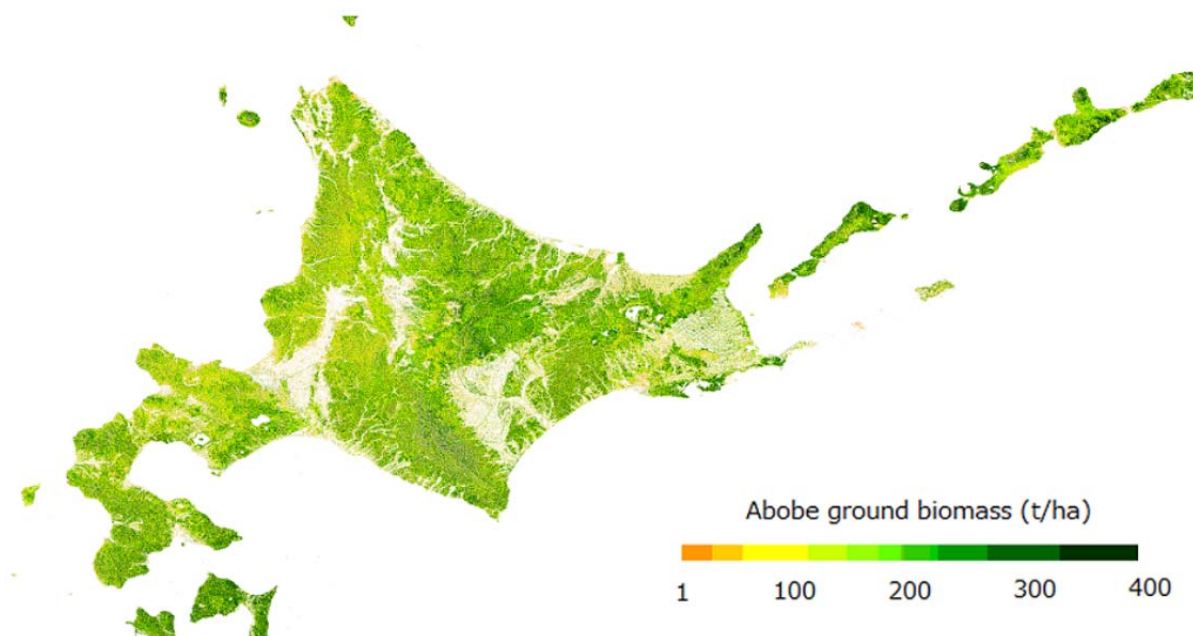


図2 経験式により推定した、北海道の森林地上部バイオマス。

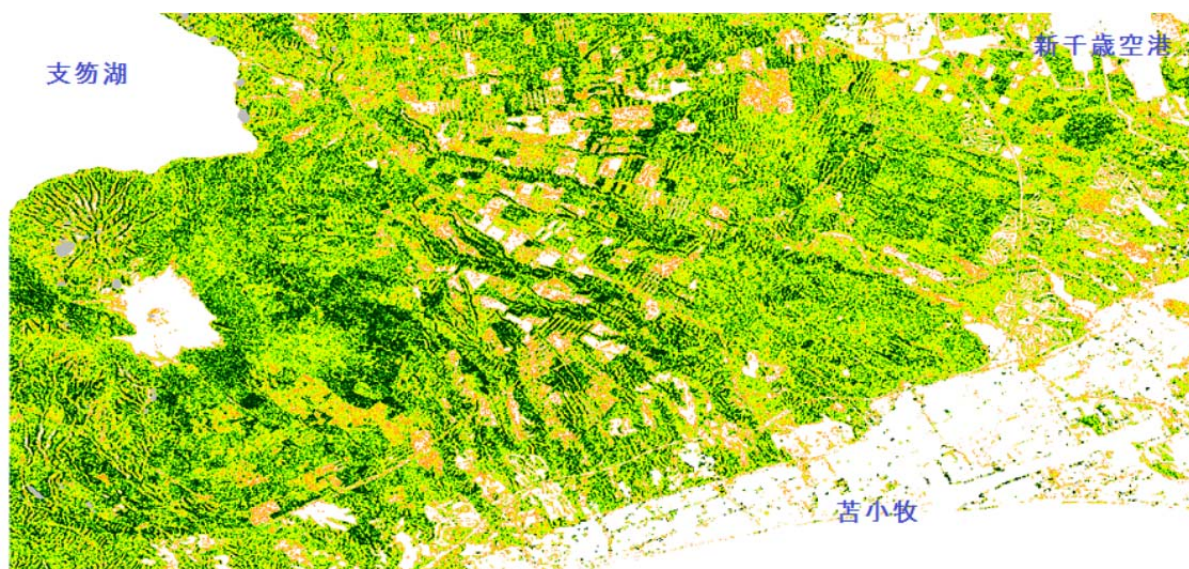


図3 苫小牧周辺の拡大図。

4. 今後の計画

より多くの現場データを収集し、引き続き検証を行っていく。特に、日本だけでなく、観測需要の高い熱帯林での調査（特に、インドネシアやブラジルを検討中）を進める。しかし現状では、熱帯よりもバイオマスの比較的低い日本でさえ、PALSARからの推定値はまだ誤差が大きく（関係も

ばらつきが大きい)、さらには、高いバイオマスにおける飽和の問題もある。これらを改善するため、土壌水分など他の因子の影響の考慮、ポラリメトリ・コヒーレンス・インターフェロメトリ等の活用、植生キャノピーのマイクロ波後方散乱モデルの利用なども考えている。一方、世界的な動向としては、土地被覆分類図をベースとした森林MRVシステムについても検討が進められている。そこで、ALOSを用いた土地被覆分類についても研究していく予定である。

5. 参考文献

- [1] M. Ishihara et al., “An introduction to forest permanent plot data at Core and Subcore sites of the Forest and Grassland Survey of the Monitoring Sites 1000 Project,” *Japanese Journal of Ecology*, Vol. 60, pp. 111-123, March 2010 (in Japanese).
- [2] M. Shimada, and T. Otaki, “Generating continent-scale high-quality SAR mosaic datasets: application to PALSAR data for global monitoring”, *IEEE JSTAR*, Vol. 3, pp. 1939-1404, December 2010.

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、約2年間観測データを継続して提供している。GOSATの運用期間は京都議定書の第1約束期間(2008～2012年)を含み打ち上げ後5年である。全球で二酸化炭素の気柱量を測定することにより、インバースモデルから導出される地表面での二酸化炭素の収支の推定誤差を半減することが目的である。搭載されたセンサは、Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation - TANSOと呼ばれ、温室効果ガス観測センサTANSO-FTS (Fourier Transfer Spectrometer)、および、雲・エアロソルイメジャTANSO-CAI (Cloud and Aerosol Imager) で構成されている。

JAXAは、衛星及び搭載センサの開発、打上げ、L0/L1プロダクト処理、校正を担当し、国立環境研究所(NIES)は、CO₂の吸排出量の推定を含めたL2以降のプロダクト処理を担当している。EORC GOSAT利用研究は、打上げ後の代替校正やTIRバンドの利用研究を担当している。

TANSOレベル1プロダクトは、打ち上げ後9カ月後である2009年10月から一般提供が継続されている。L2プロダクトは、FTS SWIRの二酸化炭素・メタンのカラム平均濃度が2010年2月から一般提供されている。FTS SWIR レベル3プロダクト(全球カラム平均濃度分布)が、2010年11月から一般提供開始されている。いずれのプロダクトも、NIESのGOSATホームページから入手可能である。

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22年度の計画としては、TANSO-FTS、CAIの校正検証を継続し、L1プロダクトの品質を向上させるとともに、熱赤外データ等の高次処理を行うこととした。さらに、CEOS炭素タスクフォース及びGEO Carbon Taskを通じて、GOSATデータ利用の促進、成果の公開を促進していくことである。平成22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のバージョンアップの実施、及びL2プロダクトのバージョンアップ、L3プロダクトの一般公開に貢献できたことである。

初期校正は、軌道上校正としての拡散板を用いた太陽照度校及び深宇宙校正、及び代替校正として、TANSO-FTSで観測された輝度を、高輝度及び低輝度の地表の安定した場所を選び比較を実施することで実施する。特に代替校正は、軌道上校正とは独立にセンサの特性を把握する手法として重要である。また、月校正は、原則として1年に一度、衛星を月に向けて月の輝度を測定し、センサ感度の安定性をモニタする。主要な結果は、TANSO-FTS SWIRバンドの輝度については感度劣化補正係数を決定できた。また、TIRの校正については、非線形補正係数の見直し及び偏光補正により改善

を目指したが、昨年度0.78K (TIR@280K) から0.87Kと若干悪くなった結果もあり、さらに調査して、更なる精度向上を目指す必要がある。TANSO-FTSの幾何精度については、ポインティングミラーの静定異常に伴い、幾何評価は継続的に視野モニタカメラ(CAM-H8)を用いて継続的に評価しているが、誤差が時系列的に変動しているため、レベル1処理への反映を実施するには至っておらず、幾何精度の情報として評価結果をユーザに提供している。継続して年2回の月校正データを取得しており、その評価から、月の輝度の変化が大いことが確認され、およそ満月(月齢 14.8 ± 0.1)の時期にGOSATを月に指向し月校正データを取得していたが、衝効果の強い位相角を避け、位相角7deg付近の月を使用することとした。

TANSO-FTSの絶対感度の変化を代替校正により確認することを目的とし、GOSAT チームは、国立環境研究所、NASA ACOS (Atmospheric Carbon Observation from Space) チームと共同で、2010年6月21日～6月25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。初期解析結果では、もっとも感度変化が大きいFTSバンド1で、打ち上げ前感度校正值に対して-14% (昨年度は-9%)であった。これらは、感度の経時劣化と考えられるため、提供中の輝度換算係数(大気による吸収補正済)に加えてバンド別に劣化補正係数を提供する予定である。評価結果の誤差要因としては、地表面BRDFの補正、太陽照度データベース、TANSO IFOV補間方法等が考えられることから、今後、これらの要因を精査して評価を行う予定である。

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、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)を運用している。地上FTSを、12フィートの中古海上コンテナ内に収納した後、筑波宇宙センター内に設置し観測を実施した。また、8月～10月にかけて、JAMSTEC研究船に地上FTSを搭載して海上の検証データを取得した。

熱赤外データ等の高次処理については、TANSO-FTSの熱赤外バンド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、精度検証を実施した。熱赤外バンドの校正の非線形補正係数の見直し及び偏光補正の実施し、CO₂, CH₄導出アルゴリズムを確定し、プロダクトの作成を実施した。一般には公開には至っていないが、来年度の公開へ向けて一定の目処をつけることができた。GOSATの熱赤外領域のスペクトルデータの9.6 μ m帯付近のオゾンの吸収線から導出されるオゾンの全カラム量および対流圏カラム量の精度を評価及び全球データ解析を行った。オゾンに加えて水蒸気のコラム量も同様に実施した。

また、校正検証及び次世代の二酸化炭素気柱量の測定法開発として、校正検証用二酸化炭素差分吸収ライダーを用いて2011年1,2月に昨年度と同様、つくば上空での飛行試験を実施した。ライダー観測データでは、準備的な解析を実施しエアロゾルによるバイアス誤差を入れずにCO₂濃度を処理した。GOSAT 検証のため航空機に搭載した現場測定器の二酸化炭素濃度から求めた部分気柱量とライダーで取得した部分気柱量との比較により、火力発電所周辺のブルーム検出を試みた。

宇宙からの温室効果ガス国際委員会の活動として、CEOS炭素タスクフォース及びGEO Carbon Taskを通じて、GOSATデータ利用の促進、成果の公開を実施するとともに、GOSATに続く次期ミッション

の創出への貢献を行った。「GEO炭素戦略」を、GEOの2009-2011年の最重要課題の気候変動タスクの一環で実施しレポートとしてまとめた。これらの活動を通じて、世界の宇宙機関が宇宙からの温室効果ガス観測に積極的になり 相次いで観測計画が打出される動機付けを行った。

2.2 GOSATデータの校正評価

塩見 慶

1. はじめに

GOSATは打ち上げ後、2年を経過し定常観測運用を行っている。初期校正後は、L1アルゴリズムの改訂を行いながら、プロダクトの精度向上、精度評価を実施している。本発表では、GOSAT打ち上げ後2年間の校正評価結果について報告する。

2. FTS校正評価結果

2.1 FTS-SWIR輝度

SWIR感度評価のために、安定したサハラ砂漠での評価を実施している。図1に、サハラ砂漠における相対反射率評価の1例を示す。太陽入射角の季節変動は、1年後はほぼ同じであるため、比率2010年/2009年を出すことで経年変化率を得る。1年間のうちにバンド1で約2%の劣化、バンド2、3ではほぼ劣化はなかった。太陽照度校正でも同様な評価を実施しており独立な手法による2つの結果は一致していることを確認した。

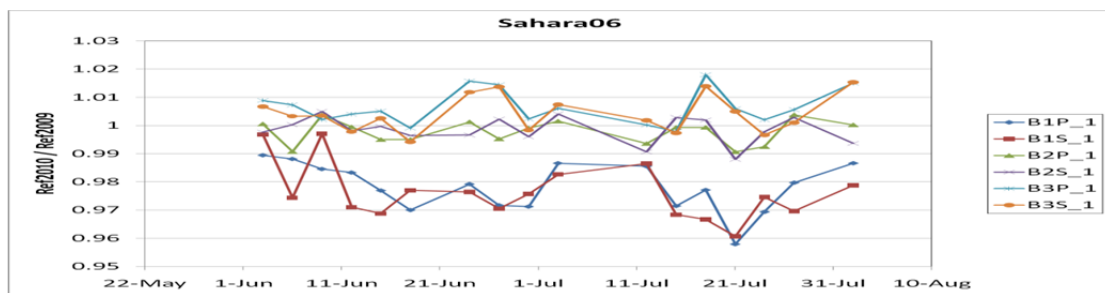


図1 FTS-SWIRバンドでのサハラ砂漠の経年変動評価結果

2.2 FTS-TIR輝度

TIR輝度評価は、放射計算LBLRTMによる比較、他衛星との相互比較 (IASI,AIRS) を実施している。11月にリリースしたVer110の改訂では、軌道上でのDCレベル変動の補正、地上試験から非線形補正の改修を行った。しかし、低輝度、低波数で負のバイアスがあることが図2左のIASI輝度比較で解る。また、2011年3月リリース予定Ver130では、深宇宙視野遮蔽効果を取り入れることにした。図2右に3%の遮蔽率を仮定した場合の、IASIの輝度比較を示す。負のバイアスが解消されていることを確認した。

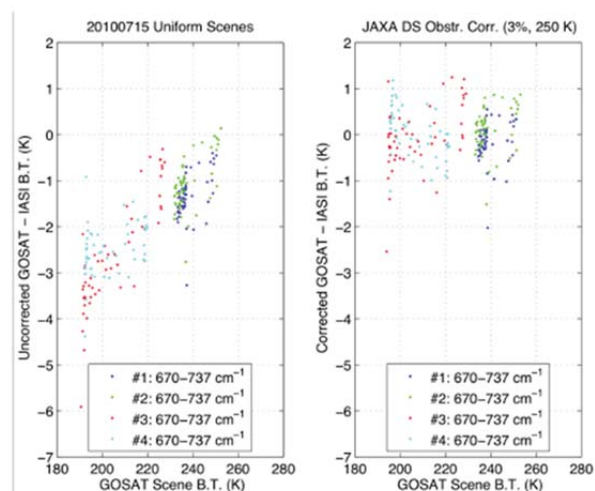


図2 IASI 比較による深宇宙視野遮蔽効果の確認 (左: なし、右: あり)

2.3 FTS幾何

FTS幾何評価には、モニタカメラ（CAM）画像を用い幾何校正済AVNIR-2データを参照として位置標定を行っている。5点格子点観測における位置精度を格子点毎に図3に示す。5点観測モードのときには、AT方向にミラーを大きく振った観測点では、AT進行方向にエラーが大きいことがわかる。2010年8月以降、ミラーの運用を安定させるため、3点観測モードに切り替えた。補正後には目標精度4km以内に収まることを確認している。

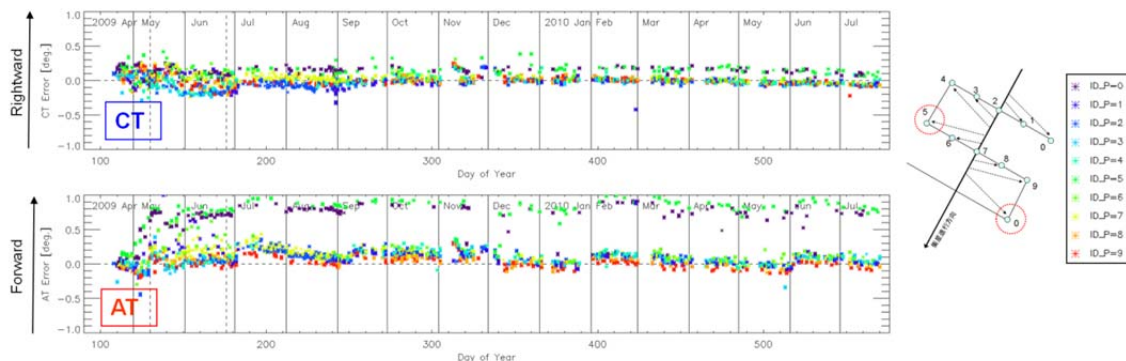


図3 5点格子点観測幾何評価結果

2.4 FTSスペクトル性能

波数精度については太陽照度校正スペクトルにおけるフラウンフォーファ線位置により評価している。現在、波数に対して30ppm程度のずれがあるが、打上げ日起算の補正式を適用することで0.2ppm程度になることを確認している。また、軌道上ではバンド2の装置関数を1.55 μm レーザを用いて月毎に確認している。出力規格化後の装置関数のFWHMは 10^{-4}cm^{-1} 以下の変動であり、装置関数は2年間の運用で変化していないことを確認している。

3. CAI校正評価結果

3.1 CAI輝度

CAI感度評価は、FTS-SWIRと同様にサハラ砂漠で実施している。バンド2は約4%の劣化を、バンド1、3、4は約1~2%の劣化であった。

4. まとめ

打上げ後2年の校正評価結果を表1にまとめる。輝度の経年変化については、環境研のL2処理に反映されており、波長補正はTIR L2処理、気象利用向けプロダクトの開発に反映されている。FTSおよびCAIのL1データを用いたL2、L3データ処理が行われ、成果物は一般に公開されており、L1精度維持を着実に実施し、更なる精度向上を目指す。

表1 校正評価結果

	項目	評価結果			備考
F T S	SWIR輝度	経年変化 B1=-2~3%程度、B2,B3ほぼ変化なし			太陽照度、サハラ砂漠で 同様の結果。
	TIR輝度	(RMSE)280K@CO ₂ (V100) 0.77K -> (V110) 0.88K -> (V130) 数値未評価			深宇宙視野遮蔽補正によ り精度向上することを確認。
	幾何		5点格子点観測 (~2010年7月)	3点格子点観測 (2010年8月~)	補正後は、目標精度4km 以内に収まる。
		BIAS	AT=2.10km CT=0.23km	AT=5.09km CT=2.39km	
		STDEV	AT=3.04km CT=1.15km	AT=1.62km CT=0.88km	
	波数精度	(BIAS) $\Delta\sigma/\sigma \sim 30\text{ppm}$ (STDEV) $\Delta\sigma/\sigma \sim 0.2\text{ppm}$			気象利用向け研究プロダ クトに反映した。
	装置関数	FWHM $\sim 10^{-4}\text{cm}^{-1}$ 以下の変動。PFTから変化なし。			
C A I	輝度	経年変化 B1=-1.6%, B2=-4.0%, B3=-1.2%, B4=-1.1%			STDEV<3%で評価
	幾何	本年度は未評価			来年度実施

2.3 TANSO-FTSにおける軌道上擾乱影響補正アルゴリズムの開発

須藤 洋志

1. はじめに

軌道上擾乱影響により、バンド1 Gain M観測データのばらつきがGain H観測時よりも大きいことが確認された。本データはL1プロダクトのみならずL2プロダクトの導出精度にも大きく寄与するものである。本研究では新たに擾乱影響補正アルゴリズムを開発し、定常処理に反映しバンド1 Gain Mプロダクトの精度向上を実施した。

2. 観測データへの軌道上擾乱影響

軌道上擾乱がTANSO-FTSに与える影響は、1) 変調効率の変化、2) サンプリングジッターの増加、3) IFOVジッターの増加で識別される。これらはすべて、スペクトル空間上で、誤信号を発生させる影響をもたらす。誤信号の発生により結果として、観測スペクトルの信号対ノイズ比が低下する。図1に典型的な擾乱影響によるノイズの増加を示す。

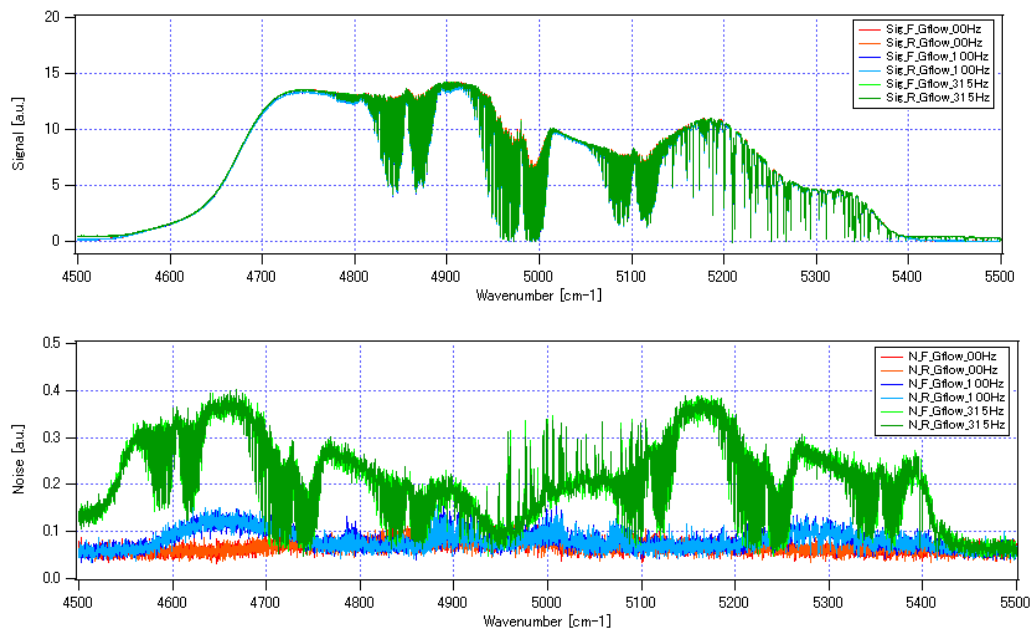


図1：上段：擾乱環境下での観測信号、下段：擾乱環境下でのノイズ

これまでの解析より、軌道上擾乱は244Hz（地球センサ由来）と325Hz（FTS機構部の固有振動数）で顕著であることが判明している。これらの周波数において軌道上で誤信号が発生していることも確認しているが、その影響度はGain H観測では十分小さく無視できる。しかしながら、Gain M観測では同じ振動周波数・エネルギーが印加されているとした場合、ノイズレベルと同等の影響を発生することがシミュレーションから判明した。図2に軌道上擾乱特性を示す。

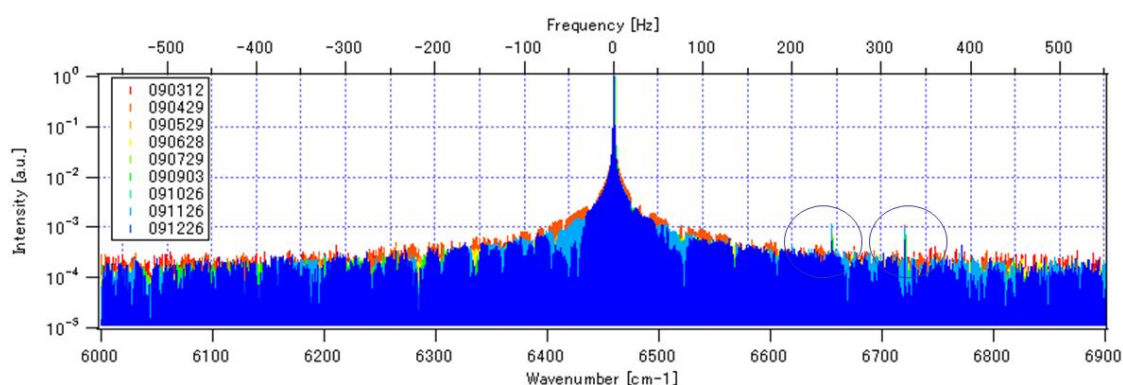


図2 軌道上擾乱影響

3. 補正アルゴリズムの開発

一定走査速度で動作するFTS機構部に対し、擾乱により速度不安定性が発生することが、擾乱影響の主原因である。同定された2周波数の擾乱に対し、擾乱強度と走査速度に対する位相がスペクトル空間における影響度を最小にするように反復計算により導出する。本アルゴリズムを適応による改善結果を表1に示す。表より、本アルゴリズムを適応することにより、バンド1の気圧導出結果のばらつきが減少することが確認された。

表1 擾乱補正適応によるプロダクトの差

Items	unit	L2 Products (without correction)	Valiation	L2 Products (with correction)	Valiation	Ground Meas.
Height	m	1428	—	1428	—	1442
Latitude	deg	38.4941	—	38.4941	—	38.5044
Longitude	deg	-115.6567	—	-115.6567	—	-115.6919
Pressure	hPa	848.888	—	858.808	—	854.2
		865.645	-16.757	857.722	1.086	
		864.273	-15.385	859.174	-0.366	
xCO ₂	ppmv	384.623	—	383.768	—	
		378.363	6.26	381.039	2.729	
		379.614	5.009	381.384	2.384	
xCH ₄	ppmV	1.80016	—	1.79403	—	
		1.77781	0.02235	1.79554	-0.00151	
		1.77464	0.02552	1.78609	0.00794	

4. まとめ

開発した擾乱補正の適応によりバンド1 Gain Mプロダクトの精度が向上した。その結果、地表面気圧導出精度が向上した。一方、本アルゴリズムは、処理するための計算負荷が大きく、処理の高速化が課題として抽出された。

2.4 GOSAT熱赤外スペクトルを用いた大気微量成分濃度の導出

大山博史

1. はじめに

GOSATに搭載されているTANSO-FTS (Thermal and Near-infrared Sensor for Carbon Observation-Fourier Transform Spectrometer) は、地表面で散乱された短波長赤外領域の太陽光スペクトルと、地球表面および地球大気から放出される熱赤外領域の放射スペクトルを測定する。熱赤外領域では二酸化炭素やメタンの他に、(対流圏)オゾンやメタノールなどの大気汚染物質や水蒸気の同位体 (H_2O , HDO) による吸収線が観測される。本研究では、TANSO-FTSで観測された熱赤外領域のスペクトルデータを用いて、水蒸気の吸収線から H_2O とHDOの高度プロファイルおよび全カラムの導出を行い、ラジオゾンデや地上FTSのデータと比較して H_2O のリトリバルの精度を評価した。また、 H_2O と独立にHDOの濃度をリトリバルすることにより、降水過程や水蒸気輸送などの水循環と関連のある水蒸気の同位体比 ($\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$) の空間分布を導出した初期結果について報告する。

2. 解析方法

GOSATから観測される放射輝度スペクトルを計算するために、Clough et al. [2006] に基づいて地球表面および地球大気から放出される放射輝度スペクトルを計算する放射伝達モデルを開発した。解析に使用した波数領域は $1190\text{--}1229\text{ cm}^{-1}$ であり、 H_2O , HDO, CH_4 , N_2O , O_3 , CO_2 の吸収線および H_2O , CO_2 の連続吸収を放射伝達計算の中で考慮した。高度グリッドは $0\text{--}82\text{ km}$ までを42層 (43レベル) に分けた [Hase et al., 2004]。放射伝達計算に用いる気圧、気温、 H_2O 濃度の高度分布はNCEPの6時間ごとのデータを用いた。

観測スペクトル \mathbf{y} と導出したいパラメータ \mathbf{x} は、放射伝達モデル \mathbf{F} (フォワードモデル) によって次のように表される。

$$\mathbf{y} = \mathbf{F}(\mathbf{x}, \mathbf{b}) + \boldsymbol{\varepsilon}$$

ここで、 \mathbf{b} 、 $\boldsymbol{\varepsilon}$ はそれぞれモデルパラメータ、観測誤差である。観測スペクトル \mathbf{y} から \mathbf{x} を求めるために、Rodgers [2000] のOptimal Estimation Method (OEM) に基づいて次のような反復計算により最適解を求めた。

$$\mathbf{x}_{i+1} = \mathbf{x}_i + \left[\mathbf{K}_i^T \mathbf{S}_\varepsilon^{-1} \mathbf{K}_i + (1 + \lambda_i) \mathbf{R} \right]^{-1} \left\{ \mathbf{K}_i^T \mathbf{S}_\varepsilon^{-1} [\mathbf{y} - \mathbf{F}(\mathbf{x}_i, \mathbf{b}_a)] - \mathbf{R}(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_a) \right\}$$

ここで、 \mathbf{x}_a 、 \mathbf{b}_a はそれぞれ \mathbf{x} の初期値、 \mathbf{b} の推定値である。 \mathbf{K} はヤコビアン行列、 \mathbf{S}_ε は観測値の共分散行列、 \mathbf{R} はregularization行列、 λ_i はLevenberg-Marquardt パラメータである。 \mathbf{R} はblock-diagonal行列であり、各blockのsub-regularization行列は分子ごとに次のように設定した。 H_2O とHDOについては、共分散行列 (対角成分が各高度における濃度の30%であり、相関距離 5 km で高度間の相関が小さくなるような非対角成分を持つ行列) の逆行列とした。ただし、高度 20 km 以上は初期値に固定されるように拘束を大きくした。 CH_4 および N_2O はTikhonovのfirst derivative operator \mathbf{L}_1 によるregularization行列 $\alpha \mathbf{L}_1^T \mathbf{L}_1$ [Tikhonov, 1963] を使用し、拘束値 α を大きくすることによりスケールリトリバルとした。地表面気温と陸域での地表面放射率は同時にリトリバルすることとし、それぞれの分散値は $(5.0\text{ K})^2$ 、 $(2\%)^2$ とした。 O_3 , CO_2 および気温プロファイルについては固定値とした。

3. 解析結果

2010年9月3日にTANSO-FTSによりつくば周辺を観測したスペクトルをFigure 1に示す。リトリーバルにより算出された濃度プロファイルから放射伝達モデルにより計算したスペクトルを合わせて示す。両者の残差（観測-計算）はスペクトルのノイズレベルに収まっており、吸収線のところで系統的な残差構造を持っていない。リトリーバルの感度を表すアベレージングカーネル行列 \mathbf{A} は真値 \mathbf{x} に対するリトリーバル値 $\hat{\mathbf{x}}$ の比で表され、 $\mathbf{A} = (\mathbf{K}^T \mathbf{S}_\varepsilon^{-1} \mathbf{K} + \mathbf{R})^{-1} \mathbf{K}^T \mathbf{S}_\varepsilon^{-1} \mathbf{K}$ によって計算できる。アベレージングカーネル行列のtraceはDegree of Freedom for Signal (DOFS) と呼ばれ、リトリーバルされた高度プロファイルが実質的に何層の情報を持っているか（何層に分割できるか）を示す物理量である。Figure 1に H_2O のアベレージングカーネルの一例 (DOFS = 3.6) を示す。次に、OEMに基づくリトリーバルの誤差はリトリーバル値 $\hat{\mathbf{x}}$ と真値 \mathbf{x} の差で表され、スムージング誤差、干渉誤差 (H_2O または HDO , CH_4 , N_2O , 地表面気温, 地表面放射率)、モデルパラメータ誤差 (気温)、ノイズ誤差からなる [Rodgers, 2000]。各誤差成分について計算した結果、スムージング誤差による寄与が最も大きく続いてノイズ誤差、モデルパラメータ誤差であった。全誤差行列から H_2O カラム量および HDO カラム量の誤差について評価し、理論的にはそれぞれ4.4%と6.2%程度の精度で導出できるという結果を得た。

次に、算出された高度分布から H_2O の全カラム量を求め、検証データとの比較を行った。検証地点 (札幌、つくば、那覇) における2009年4月から2010年12月までのカラム量の時系列を算出し、ラジオゾンデデータ (JST 9時) と比較して20-25%程度の差があることがわかった。水蒸気のように変動の大きい大気成分の場合、検証データとの時間的な一致が重要になるため、 ± 1 時間の以内のつくばにおける地上FTS観測と比較を行い11%程度で一致する結果を得た。また、季節ごとの全球分布を導出し、緯度の違いによる水蒸気量や水蒸気の同位体比 ($\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$) の検出を試みた。

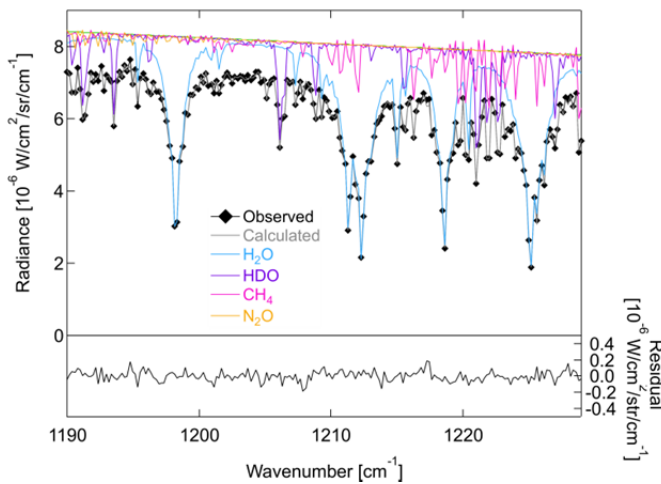


Figure 1. スペクトルフィットの例.

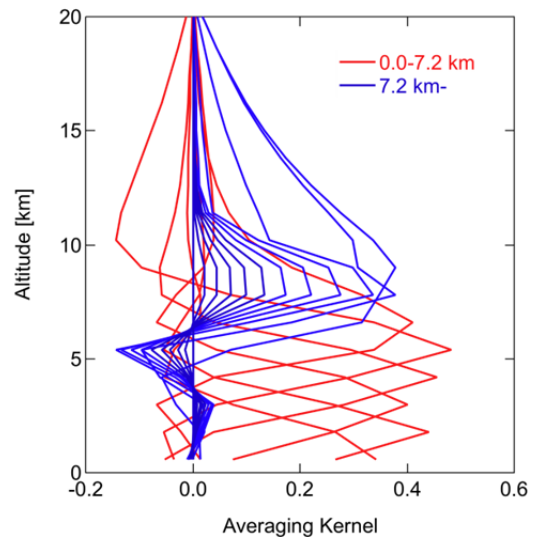


Figure 2. H_2O のアベレージングカーネル.

参考文献

- Clough, S. A., et al. [2006], IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 44, 1308–1323.
 Hase, F., et al. [2004], J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 87(1), 25–52.
 Rodgers, C. D. [2000], Inverse Methods for Atmospheric Sounding: Theory and Practice.
 Tikhonov, A. [1963], Dokl. Acad. Nauk SSSR, 151, 501–504.

2.5 JAMSTEC船舶を利用したGOSAT検証データ取得実験

川上修司、大山博史

1. はじめに

海洋研究開発機構（以下「JAMSTEC」）の船舶「かいよう」及び「かきれい」を利用した、洋上船舶における二酸化炭素気柱量観測データ取得試験を実施した。この実験は、海洋と宇宙の連携（JAMSTEC-JAXA連携）の観測研究WGの活動として、JAMSTECと密接に連携した活動である。このため、平成21年11月より、観測研究WGを定期的に開催し平成21年度末に研究計画をまとめた。その計画に従い、平成22年8月4日（水）～13日（金）にJAMSTEC観測船「かいよう」において二酸化炭素気柱量観測データ取得試験を実施した。その結果、船舶上でも計画通りに測定することができ、海上において所定の観測精度のデータが取得できたことを確認した。引き続き、平成22年9月10日（金）～10月5日（火）にJAMSTEC研究船「かきれい」にて二酸化炭素気柱量観測データの取得試験を実施した。

2. 目的

GOSATから導出されたデータを、それとは独立な観測手法から得られたものより精度の高いデータを用いて検証する必要がある。現在、GOSATの検証に利用できるデータは、陸上に設置された高分解能フーリエ変換分光計（FTS）のデータと民間航空機に搭載されたCO₂濃度連続測定装置による空港周辺のデータに限られている。そこで、不足している海洋上での検証データを取得していく必要がある。

JAMSTEC研究船に、JAXA所有の大気観測用超高分解赤外フーリエ干渉分光計（地上FTS）を搭載し、船舶へ搭載した地上FTSで海洋の観測技術の知見を取得し、海洋上にてGOSAT検証データとしての二酸化炭素平均カラム濃度(XCO₂)が取得できることを実証することを目的とする。

3. 実験結果

本実験では、図1-1に示すように、「かいよう」及び「かきれい」に地上FTSを搭載し、図1-2、1-3に示す海域でXCO₂を取得した。本実験における確認結果を下記に示す。

●太陽追尾装置の塩害対策保護ケースの観測窓を通した観測データの確認

保護ケースの観測窓の透過率約90%であることから、スペック通りに、スペクトル強度の低下が約10%で、その波数依存性は小さいことを確認した。観測スペクトルに一次関数をかけて透過率に変換するため波数依存性を線形で補正できるので濃度算出に影響しない。

●FTSの動作確認（スキャン機能など）及び洋上での太陽追尾機能の確認

洋上の船の動揺に対してもFTSのスキャンは正常に動作し、インタフェログラムを取得できた。動揺等船観測に特有な原因で、インターフェログラムに微小な変動が見られたが、低周波補正を適用することで補正することができることを確認した。低周波補正で補正しきれない変動により、XCO₂のばらつきが大きくなる場合があった。揺れが大きい時にはXCO₂のばらつきも大きくなっているため、船舶のピッチとロール角を使って、太陽追尾装置のスペックである1.5度/secでスクリーニングをかけることとした。

●GOSAT観測データの検証への活用

JAMSTEC観測船「かいよう」と「かきれい」においてXCO₂データが取得できた。日変化が少ないと仮定して日平均値からのばらつきを相対精度として評価すると、「かいよう」:0.16%、「かきれい」:0.24%の相対精度でデータが取得できたことを確認した(参考:[つくば]:0.13%, [Bremen大の船舶観測]:0.4%, (類似装置によるBruker 120M, Warneke et al., 2005))。GOSAT観測との同期観測データの取得に成功した。今後は、GOSATデータの検証に活用していく。

「かいよう」での地上FTS観測



図1-1 観測実験概要



図1-2かいよう航海(KY10-11)の航路

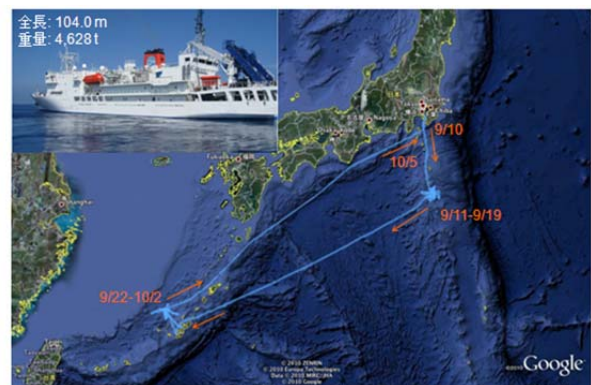


図1-3かきれい航海(KR10-E02)の航路

4. 今後の予定

平成23年度研究船利用公募枠にて、平成23年4月4日～25日に、JAMSTEC研究船「みらい」の実験実施予定である。本実験では、公開西部北太平洋亜寒帯循環域～亜熱帯循環域にて、これまでの船舶観測で得られた知見を元に、高分解能FTSを船舶に搭載して温室効果ガスのカラム平均濃

度を測定し、海洋上のGOSATプロダクトの検証を行うことを目的とする。本実験では、JAXAが実施する二酸化炭素気柱量に加えて、「みらい」の定常観測等で、海面表層大気及び表面海水中のCO₂濃度が、ラジオゾンデによる気温、湿度のプロファイル(実施については調整中)が得られる予定である。今後も、JAMSTEC船舶を利用した検証を継続的に実施していくことを、観測研究WGにて検討していく予定である。

謝辞

この観測機会を与えていただいた独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構及び独立行政法人 海洋研究開発機構に深く感謝いたします。この観測実験は、多くの方に支えていただきました。ありがとうございます。

2.6 航空機搭載CO₂-LASを用いたGOSAT比較検証データ取得試験

境澤 大亮、川上 修司

1. はじめに

GOSATが、宇宙から地球大気中の温室効果ガス観測を開始して2年が経過した。その間、観測で得られたデータの検証作業も継続している。同時にデータ利用ユーザの極めてハードルの高い要望を満足していくため、より高精度の観測データを提供できる衛星搭載センサを研究していくことも重要となる。宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センターでは、GOSATデータの検証を実施しつつ、次世代の衛星搭載センサの有力な候補となるレーザによる二酸化炭素測定装置の航空機搭載試験を実施した。つくば上空や、火力発電所周辺空域で飛行試験を実施し、GOSAT 検証に使用した航空機搭載型の現場測定器と比較を行った。部分気柱量で1ppm程度の差で二酸化炭素濃度を取得でき、火力発電所周辺の高濃度データの取得に関して評価を実施した。

2. 航空機に搭載したシステム

航空機試験には波長GOSATで使用している1.57 μ m で発振する半導体レーザを光源とするレーザサウンダを用いた。本システムは光学回路のほぼすべてを光ファイバで構成しており、飛行中や離着陸時の振動に対して高い安定性を持つ。またシステム構成では、光ファイバとCW レーザを核とする送受信光学系であるため観測に使用する波長セットの追加が容易である。したがってCH₄, CO 等CO₂ 以外の微量気体観測を考慮する場合、観測のコンフィグレーションの追加は容易に実現できる。本システムにはサイン波で強度変調し、かつその位相差を用いて航空機と地表の高度を同時測定可能となっている。この場合、送受信信号の位相差が地表までの距離に比例する。この観測ではエアロゾルによる影響は地表面反射率が高ければ高いほど抑圧されるシステムであるが、システムにより近い位置にあるシーラスなどは重大なバイアス誤差要因となる。本航空機試験は送信出力1.2W, オンライン、オフラインの波長安定度12MHz、48MHz、受信望遠鏡有効径110mm、積算時間1 秒の条件で実施した。

3. 航空機試験

本航空機観測ではCO₂ 連続測定装置とフラスコサンプリング装置(NIES)でCO₂ プロファイルの観測も実施した。観測飛行は名古屋小牧空港から出発し、熊谷—つくばの観測を実施後、火力発電所（鹿島、常陸那珂発電所（東京電力所管））周囲を巡回し、プルーム検出の可否やその精度の評価を実施した。

図1に熊谷—つくば間で取得した観測データを示す。上段はシステムで取得している送信レーザ強度と受信レーザ強度のS/N を対数表示している。飛行高度が6500ftであるため地表面からのリターン信号での観測S/Nが300を超えている。システムの出力値である二酸化炭素の光学的厚さも0.12程度で得られており、地上から飛行高度までの部分気柱量は403.1ppmに相当する。現場測定器から得られた値等で推定したXCO₂は403.2ppmと0.1ppm程度の差で得られている。二酸化炭素の光学的厚さの観測データのばらつきから見積もった観測精度は図に示した1秒平均データ（移動距離：120m）の場合で1%程度、10秒平均（移動距離：1.2km）を行うと0.4%となる。

図2は鹿島火力発電所（図中A）周辺で旋回を繰り返したデータの一部である。図にプロットした○点がレーザサウンダによる観測であり、緑色からオレンジになるほどCO₂濃度が濃いことを表している。観測は2月7日13:15 - 13:30に実施した。現地の気象台データによると地上の風向風速は平均2-3 m/s、北東からの風が記録されている。図中に示した他の三角形（B,C）も同様に火力発電所や製鉄所の煙突を示しており、それぞれ風下の点で二酸化炭素濃度が濃い領域がとらえられている。二酸化炭素の光学的厚さから比較するとオレンジ色の領域と海上の緑色の領域では最大で10%程度の違いがあり、このデータは2km程度の空間平均を実施してもコントラストとして検出可能である。

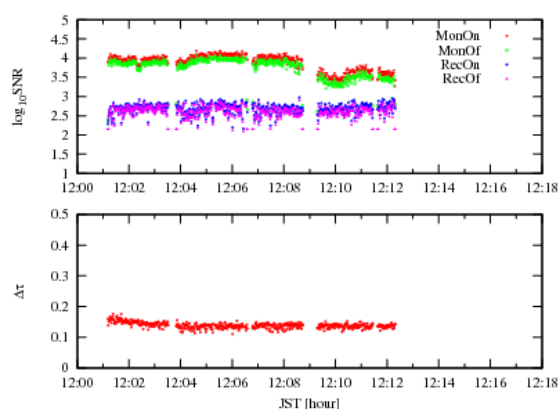


図1 熊谷—つくば間フライト



図2 鹿島火力発電所周辺

4. まとめ

1.57μm 帯のレーザセンサを航空機へ搭載し、二酸化炭素カラム濃度観測の取得試験を行った。同じく航空機に搭載した現場測定器で取得した二酸化炭素濃度から取得した部分気柱量は403.2ppm、レーザセンサにより403.1ppm(精度0.4%)で得られた。火力発電所周辺の飛行試験では火力発電所、もしくは製鉄所から排出されたプルームによる高濃度領域を捕えることに成功した。

謝辞：本航空機観測試験を実施するに至り国立環境研究所 森野勇博士、田中智章博士、井上誠博士に航空機搭載データを提供していただき感謝いたします。

3. EarthCARE/TRMM/GPM利用研究

3. EarthCARE /TRMM/GPM利用研究

3.1 EarthCARE利用研究の成果概要

沖 理子

EarthCARE利用研究は、利用研究系システムの開発として、高次アルゴリズムの開発を実施した。

(1) アルゴリズム開発

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て、アルゴリズムの開発・試作を実施した。今年度はアルゴリズムα版として、ツールキット作成に必要なフォーマット仕様の検討、平成21年度作成のATBD(アルゴリズム理論説明書)の改訂を行った。これらを通じてJAXA標準プロダクト、研究プロダクトの決定を行った。またアルゴリズム開発の一環としてJ-シミュレータ開発を行った。これはEarthCAREの各センサの観測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)のデータを用いている。また同時に、EORCにおけるアルゴリズム試験環境(計算機)の検討を行った。

(2) 校正・検証

EarthCARE委員会の下に検証チームを形成し、平成21年度に作成したEarthCARE/CPR校正検証計画書の維持・改訂を行った。

(3) 利用研究・利用促進

国内EarthCARE委員会の運営を通じて国内ユーザの獲得に努めた。今年度は5月18日と3月11日(地震のため会議途中で中断)の2回委員会を開催した。

また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。今年度は6月8日から11日にかけて両会議を筑波および東京で開催し、JADEでは各アルゴリズムについて日欧カウンターパート開発者を軸に情報交換を行い、JMAGにおいては日欧共有のプロダクトリストの更新を行った。

3.2 EarthCAREのサイエンスとプロダクト

片桐秀一郎

1. はじめに

EarthCAREのサイエンスについては、日本の研究者グループによりScience Planの β 版がすでにまとめられており、日本側高次プロダクトリストはサイエンスプランに基づき作成され、EarthCARE委員会での承認を得ている。本年度はそのプロダクトリストの詳細化を計りながら、地上系での設計や、入出力等のツールキット作成の元となる資料を作成している。ただし、プロダクトに関しては欧州との調整事項を多く抱え、まだ日欧でのJMAGを通した合意を得ていないものもあり、それについては来年度前半に開催予定のJMAGでの合意を目指している。

2. 今年度の研究計画

今年度末に、委託研究を行っている各高次プロダクト導出アルゴリズムの α 版の開発が終了予定であり、また、そのATBDの α 版についてもまとめに向けた作業を行い、欧州と合意の上高次プロダクトの詳細化を進める計画を立てた。また、地上SDRも予定されていたため、その資料となるデータの作成も計画として含まれていた。

EarthCAREのサイエンスプランでは、雲解像モデルなどと相互協力による雲エアロゾル相互作用の解明を目標に掲げており、それに向けて利用研究側でも数値モデルを用いた研究を進めるための基盤整備も計画された。

3. 今年度の研究成果

欧州側ではまだ高次プロダクトの詳細については進捗がほとんど無いため、日本側は計画に従い、先行して作業を行った。開発中の各高次プロダクト導出アルゴリズムについて調査を行いながら、プロダクトリストの詳細化を進めると共に(図1、2)、EarthCARE全体のアルゴリズムのフロー(案)(図3)についてまとめ、現在入出力の細部の調査調整を行っている。

Standard Products (1/2)										標準定義は赤字のレゾリューションに差し代へ。							
Sensor(s)	Processing Level	Status	File Name	File Content	Algorithm Name	Product Name	プロダクト	Reference Name	Primary Parameters	主要パラメータ	Product Resolution	Release Accuracy	Standard Accuracy	Target Accuracy	Volume (1/obj)	each size	
QPR	L1b	ST				Received Echo Power Products	受信電力プロダクト	Received Echo Power	受信電力	レーザ反射率	0.5km	100m	< 4.7dB	< 2.7dB	< 2.7dB	340MB	340MB
		ST				Doppler Products	ドップラー速度プロダクト	Doppler Velocity	ドップラー速度	地表面レーザ断面傾	0.5km	100m	< 4.7dB	< 2.7dB	< 2.7dB	340MB	340MB
QPR	L2a	ST	ECH	QPR Echo Product	OECM	QPR Echo Product	QPRエコープロダクト	IRFragas_C	Integrated Reflective Factor	積分反射因子	1km	100m	100m	100m	300MB	300MB	
						ISV_C	Integrated Doppler Velocity	積分ドップラー速度									
QPR	L2a	ST	CVM	QPR Cloud Mask & Type (Analyzed without Doppler)	COMK	Cloud Mask without Doppler	雲マスクプロダクト	MSK_C	Cloud Mask	雲マスク	1km	100m	100m	100m	40MB	20MB	
								CCTY	Cloud Type Products without Doppler	雲タイププロダクト	TYP_C	Cloud Particle Type	雲粒タイプ	1km	100m	100m	100m
QPR	L2a	ST	CVP	QPR Cloud Properties (Analyzed without Doppler)	COPM	Cloud Products without Doppler	雲プロダクト	DBZ_C	Radar Reflectivity with attenuation correction	補正済レーザ反射率	1km	100m	< 7.6dB	< 5.7dB	< 4.5dB	510MB	510MB
								LWG_C	Ref of Liquid & Ice and LWG & SWG	雲粒有効粘り度・雲水量・雲氷量							
MSI	L2a	ST	CHF	MSI Cloud Flag	MCFG	Cloud Flag	雲フラグプロダクト	FLGG_M	Cloud Flag including Cloud Phase	雲フラグ・雲フェーズ	500m	-	±10% (Ocean ±25% Land ±1)	-	±10% (±2)	380MB	380MB
								COTI Liquid_M	Cloud Optical Thickness	水雲光学の深さ					±10% (±2)	-	±50% (±4)
MSI	L2a	ST	CHM	MSI Cloud Properties	MCPM	Cloud Products	雲プロダクト	REF16_M	Ref of Liquid (3.16um)	水雲粒有効粘り度	500m	-	±20% (±4)	-	±50% (±4)	250MB	250MB
								REF22_M	Ref of Liquid (2.16um)	水雲粒有効粘り度							
												</					

Sensor(s)	Processing Level	Status	File Name	File Content	Algorithm Name	Product Name	Reference Name	プロダクト	Primary Parameters	主要パラメータ	Product Resolution		Volume (tentative)																															
											Horizontal	Vertical																																
ATLID	L2a	ER	AET	ATLID Aerosol Extinction Coefficients for Water Soluble, Dust, Sea Salt, & Black Carbon	AEXT	Aerosol Extinction Products	EXTTwo.A EXTJust.A EXTSea.A EXTSo.A	エアロゾル消滅係数プロダクト	Aerosol Extinction Coefficient (Water Soluble) Aerosol Extinction Coefficient (Dust) Aerosol Extinction Coefficient (Sea Salt) Aerosol Extinction Coefficient (Black Carbon)	Water Soluble消滅係数 ダスト消滅係数 海塩消滅係数 ブラックカーボン消滅係数	1km 10km 100m 100m	400MB																																
ATLID + MSI	L2b	ER	AME	ATLID & MSI 3D Aerosol Components and their Extinction Coefficients, and Size information	AMAS	Aerosol Component + Products	AWSEXT.AM ADSEXT.AM ASSEXT.AM ABCEXT.AM AFMER.AM ACMER.AM	エアロゾル成分プロダクト	Aerosol Extinction Coefficient (Water Soluble) Aerosol Extinction Coefficient (Dust) Aerosol Extinction Coefficient (Sea Salt) Aerosol Extinction Coefficient (Black Carbon) Aerosol Size information (Fine-mode) → mode radius Aerosol Size information (Coarse-mode) → mode radius	Water Soluble消滅係数 ダスト消滅係数 海塩消滅係数 ブラックカーボン消滅係数 エアロゾルサイズ情報 (Fine mode) エアロゾルサイズ情報 (Coarse mode)	10km 100m	600MB																																
BBR	L2a	ER	RFX		BFLX	Radiative Flux Products	RFsea.B RFsoa.B	放射フラックスプロダクト	Radiative Flux at TOA Radiative Flux at BOA	放射フラックス(TOA) 放射フラックス(BOA)	10 km -	1MB																																
CPR	L2a	R	CDP	CDPP	CDLD	Doppler Products with Doppler	DIVhine.C MSE.C MSKDP.C TYPCP.C LWCDP.C WCDP.C ERDPlid.C ERDPic.C COTDP.C	ドップラープロダクト 雲プロダクト (ドップラー使用)	Doppler Velocity (inhomogeneous) multiple scattering effect Cloud Mask with doppler Cloud Particle Type with doppler LWC IWC Ref of Liquid Ref of Ice Optical Thickness with Doppler	ドップラープロダクト (inhomogeneous) 多重散乱効果 雲マスク(ドップラー有り) 雲粒タイプ(ドップラー有り) 雲水量・雲氷量 有効粒径(水・氷) 光学的厚さ	1km 10km 100m 500m -	170MB 20MB 20MB 500MB -																																
													ER	CRS	CRSP	Rain & Snow Products	WCrain.C WCsnow.C WCDPrain.C WCDPsnow.C RR.C RRsnow.C	雨・雪プロダクト	Rain Water Content without doppler Snow Water Content without doppler Rain Water Content with Doppler Snow Water Content with Doppler Rain rate Snow rate	雨水量・雪氷量(ドップラー無し) 雨水量・雪氷量(ドップラー無し) 降雨強度・降雪強度	1km 10km 100m 500m	500MB																						
																							ER	CVV	CVVD	Vertical Velocity Products	VAM.C VSED.C	鉛直速度プロダクト	Vertical air motion Sedimentation velocity	大気鉛直速度 沈降速度	1km 10km 100m 500m	200MB												
																																	MSI	L2a	ER	MCI	MICE	Ice Cloud Products	ICD16.M ICD22.M ICD22.M ICD22.M ICD22.M ICD22.M	氷雲プロダクト	Optical Thickness (Ice) with Reflection method Ref of Ice with Reflection method (1.6 channel) Ref of Ice with Reflection method (2.1um channel) Ice Cloud Top Temperature Ice Cloud Top Pressure Ice Cloud Top Height	氷雲光学的厚さ(反射法) 氷雲有効粒径(1.6 & 2.1um ch.) 氷雲有効粒径(1.6 & 2.1um ch.) 氷雲頂部温度・気圧・高度 氷雲頂部高度	500m -	300MB
		R	DPC	CAMD	Cloud Mask Products	MSKDP.CA TYPCP.CA CATD ERDPC.CA ERDPlid.CA LWCDP.CA WCDP.CA COTDP.CA	雲マスク(ドップラー使用) 雲タイプ(ドップラー使用) 雲プロダクト(ドップラー使用)	Cloud Mask Cloud Particle Type Ref of Liquid Ref of Ice LWC IWC Optical Thickness	雲マスク(ドップラー有り) 雲タイプ(ドップラー有り) 有効粒径(水・氷) 雲水量・雲氷量 光学的厚さ	1km 10km 100m 500m 100m 100m 100m 500m	20MB 20MB 400MB																																	
												ICM	CAMR	Particle Mass Ratio	MR2D.CA MR2DDP.CA WCDPlid.CA WCDPlid.CA WCDPlid.CA WCDPlid.CA WCDPlid.CA WCDPlid.CA WCDPlid.CA	雲粒体積比プロダクト	Mass Ratio (2D Ice/WC) without doppler Mass Ratio (2D Ice/WC) with doppler Rain Water Content with Particle Snow Water Content with Particle Snow Water Content with Particle Snow Water Content with Particle Snow Water Content with Particle Snow Water Content with Particle Snow Water Content with Particle	体積比(2D氷/WC)(ドップラー有り・無し) 体積比(2D氷/WC)(ドップラー有り・無し) 雨水量(ドップラー有り・無し) 雪水量(ドップラー有り・無し) 雪水量(ドップラー有り・無し) 雪水量(ドップラー有り・無し) 雪水量(ドップラー有り・無し) 雪水量(ドップラー有り・無し) 雪水量(ドップラー有り・無し)	1km 10km 100m 100m 100m 100m 100m 100m 100m	20MB 20MB 500MB 500MB 500MB 500MB 500MB 500MB 500MB																								
																					RSP	CARS	Rain & Snow Products	WCrain.CAM WCsnow.CAM WCDPrain.CAM WCDPsnow.CAM RR.CAM RRsnow.CAM	雨・雪プロダクト	Rain Water Content without doppler Snow Water Content without doppler Rain Rate Snow Rate	雨水量・雪氷量(ドップラー無し) 雪水量(ドップラー有り・無し) 降雨強度・降雪強度	1km 10km 100m 500m	500MB															
																														VVP	CAVV	Vertical Velocity Products	VAM.CAM VSED.CAM	鉛直速度プロダクト	Vertical air motion Sedimentation Velocity	大気鉛直速度 沈降速度	1km 10km 100m 500m	200MB						
																																							LR	SCD	CAMD	Cloud Products with Doppler	ERDPlid.CAM ERDPic.CAM WCDPlid.CAM WCDPlid.CAM COTDP.CAM LWP.CAM IWP.CAM	雲プロダクト(ドップラー使用)
LR	SRS	CAMR	Rain & Snow Products	WCrain.CAM WCsnow.CAM RR.CAM RRsnow.CAM	雨・雪プロダクト	Snow Water Content Rain Rate Snow Rate	雨水量・雪氷量(ドップラー無し) 降雨強度・降雪強度	1km 10km 100m 500m	300MB																																			
										LR	SVV	CAMV	Vertical Velocity Products	Var.CAM VSED.CAM	鉛直速度プロダクト	Vertical air motion Sedimentation Velocity	大気鉛直速度 沈降速度	1km 10km 100m 500m	200MB																									
LR	SCI	CAME	Emission Method Products	EREMice.CAM COTEMice.CAM	氷雲計出力 (赤外計出力)	Effective Radius (Ice) Optical Thickness (Ice)	氷雲有効粒径 光学的厚さ	500m 500m	-											200MB																								

Research Products														L3b 研究プロダクト	
Sensor(s)	Processing Level	Status	File Name	File Content	Algorithm Name	Product Name	Reference Name	プロダクト	Primary Parameters	主要パラメータ	Product Resolution	Horizontal	Vertical	Volume (tentative)	
TBD	L2c	ER				Seasonal		季節(TBD)	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	
						Fortnightly		2週間(TBD)	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	

赤R: 1年後に標準になる見込みで、検証用プロダクトとして当初からMOSへわたるもの
 ER: 利用研究で出すもの
 LR: 研究室ベースで出し、公開するもの

図2. 研究プロダクトリスト

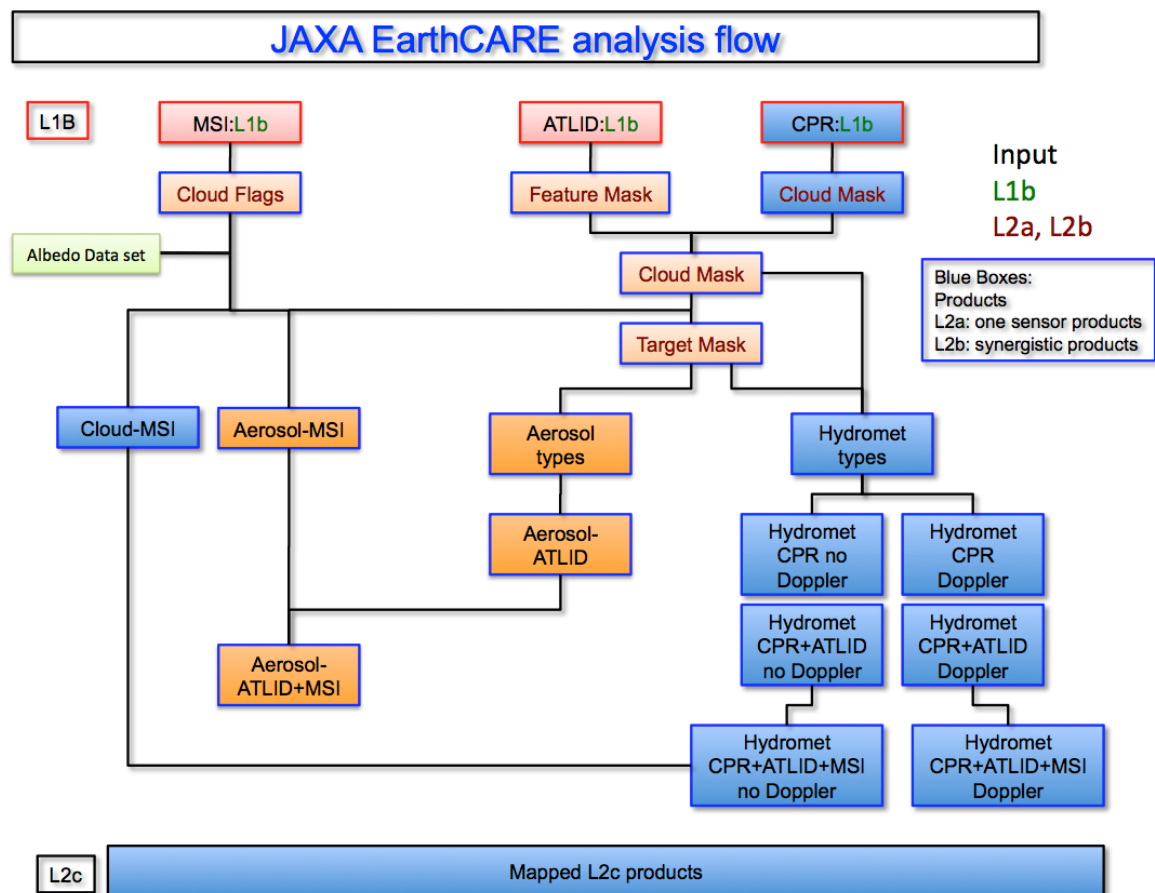


図3. 高次プロダクト導出の流れ

他、利用研究内へSVNサーバを導入し、委託研究者のソース管理を開始した。また、委託研究者が直接納品コードのチェックを行えるよう、EarthCARE用サブネットを開設しその上にSVNサーバを移動させる準備を行った。数値モデルや利用研究で処理するアルゴリズムの計算環境として、新しく計算機サーバをEarthCARE用サブネット上に設置をおこなった。

4. 来年度の計画

来年度に当たっては、委託研究者から納品されたα版アルゴリズムのチェックおよびテストと、それらの入出力の解析を行い、ツールキット作成に向けた準備を行う。また、ATBDおよびサイエンスプランをまとめ上げ、研究プロダクトについても詳細を検討し、利用研究での処理を行うためのテスト環境を構築する。

3.3 TRMM/GPM利用研究の成果概要

沖 理子

1. はじめに

2010(平成22)年度には、降水を観測するミッションとして、熱帯降雨観測衛星(TRMM)は2010年12月に運用14年目に入り、提供データの精度向上、新規データセットの生成、利用分野の開拓を進めた。またその後継ミッションとして、2013年度に打上げが計画されている全球降水観測(GPM)ミッション衛星の利用研究系システムの開発として、そのアルゴリズム開発、校正検証及び利用推進に貢献する利用研究を継続して実施した。

2. GPM

(1) アルゴリズム開発

DPRレベル1および高次アルゴリズム、DPR/GMI複合アルゴリズムの開発を、計画スケジュール通りに実施した。DPRレベル1アルゴリズムについてはVer.1を完成し、引き続きVer.2アルゴリズムの開発を継続する。DPRレベル2アルゴリズムおよびDPR/GMI複合アルゴリズムについては、ATBD(基本アルゴリズム・理論説明書)を作成し、日米合同サイエンスチーム(JPST)のアルゴリズムレビュー委員会での審査を受けた。DPRレベル2アルゴリズム開発に関しては、DPR模擬データの作成を行った。

全球降水マップアルゴリズムとそのシステムについての改良及び機能付加を実施した。具体的には京都大学の重准教授との共同研究により、SSM/Iの後継センサであるDMSP-16号、17号搭載のマイクロ波イメジャサウンダSSMISのイメジャ部分を利用したアルゴリズム、および、マイクロ波サウンダ用アルゴリズムを開発した(Shige et al., 2009)。6月にはSSMIS用アルゴリズムをGSMaP_NRTシステムに導入した。AMSU用のアルゴリズムについては平成23年3月時点でNRT処理の切り替えのための試験を実施している。またアルゴリズムモジュールのうち、マイクロ波サウンダおよびマイクロ波-IR複合アルゴリズムについてIDL言語で記述された部分をFortran/C言語に変換し、それまでの0.7倍に高速化を達成した。更に準リアルタイムデータとは別に、同一アルゴリズムで長期のデータを処理する再解析プロダクトの作成にも取り組み、2007年-2008年の2年間の再処理を実施した。

(2) 校正・検証

DPRをはじめとする各アルゴリズム開発・改良に資するために地上検証用Ka帯レーダ2式の製作を一昨年度より継続し、製作を完了した。同時に、地上検証用Ka帯レーダを用いた打上げ前検証計画を策定した。Ka帯レーダの納期が遅れたために金沢での観測がキャンセルされたが、その影響は限定的で、他の観測でカバーする。今年度は沖縄での本観測を開始した。打上げ前検証計画策定では、沖縄での降雨観測に続き、融解層観測(富士山)、降雪観測(長岡、札幌)の各観測サイトを設定した。

3. TRMM

TRMM/PRの標準アルゴリズムのバージョン7への改訂を、アルゴリズム開発者とともに実施した。特に地上観測データを用いた検証をサイエンスチームと協力して実施した。またバージョン7で初め

て標準プロダクトとしてリリース予定の潜熱アルゴリズム(SLHアルゴリズム)の開発支援を行った。

4. TRMM/GPM共通

(1) 利用研究

第6回降水ミッション科学研究公募による共同研究等を通じて、TRMMデータを用いた、水循環変動等の応用研究を継続した。

(2) 利用促進

GPM利用検討委員会、ワークショップやセミナー等を通じて、国内外のユーザや機関との連携やデータ利用の拡大、新規ユーザの獲得を継続した。具体的には以下のような活動を実施した。

- GPM利用検討委員会の開催。
- 国土交通省河川局・土木研究所・国際建設技術協会(IFNet事務局)との連絡会を開催し、三者協定の調整実施。
- 土木研究所/JICA主催セミナーでのレクチャー。
- 気象庁・気象研究所とGPMに向けたデータ交換、GSMaPアルゴリズムの改良、衛星搭載レーダデータの同化などの案件で協力を確認。
- 第2回GPMアジア降水データ利用技術会合を開催。
- CEOS降水コンステレーションにおいてNASAと共同議長をつとめ、協力機関の拡充や国際ユーザ獲得のための活動を行った。

3.4 Bootstrap法によるTRMM/PR降雨量プロダクトのサンプリングエラーの評価：サンプリングエラーの推定とトレンド解析への応用

飯田 泰久

1. はじめに

TRMM/PRによって観測された2001年9月から2008年8月までの3ヶ月平均降雨量を解析した。この3ヶ月平均降雨量にはPRの低頻度観測に起因するサンプリングエラーが多く含まれる。そこで、本研究では、Bootstrap法を用いてこのサンプリングエラーを評価する手法を開発するとともに、その応用としてサンプリングエラーを考慮して、この期間における長期的なトレンドの有意性検定を行うことを目的とした。

2. 進捗状況

1年目は、研究方針を決定し、Bootstrap法を用いてサンプリングエラーを評価する手法を開発し、PR観測範囲でグローバルに平均した7年間のPR観測降雨量に対して、この手法で推定したサンプリングエラーを除去した正味のトレンドの有意性検定を行い、トレンドが有意であることを示した。

2年目は、1年目と同様な解析を海陸別、地域ごとに行い、地域ごとの水循環変動を議論した。さらに、これらの結果を海外論文誌に投稿する準備を進めた。

3年目は、これをAGUのJournal of Geophysical Research(JGR)誌に投稿し、reviewerの意見をもとに、改訂作業を行った。11月末に論文が掲載され、目標を達成した。

3. 論文発表（海外雑誌）

Iida, Y., T. Kubota, T. Iguchi, and R. Oki (2010), Evaluating sampling error in TRMM/PR rainfall products by the bootstrap method: Estimation of the sampling error and its application to a trend analysis, J. Geophys. Res., 115, D22119, doi:10.1029/2010JD014257.

4. 研究成果

これまでの成果をJGRに論文として掲載することで、関連分野の国内外の多くの研究者に広く知らしめることができた。以下に成果の要点を纏める。

- PR観測データを使って、Bootstrap法によりサンプリングエラーを推定する手法を開発した。(図1) これにより、PR観測範囲内におけるサンプリングエラーの地域ごとの違いや特徴が明らかになった。(図2)
- 7年間のPR観測降雨量に対してサンプリングエラーを考慮したトレンド解析を行い、サンプリングエラーによらず、PR観測範囲、海陸別で降雨量が有意に増加していることを統計的検定により示した。(図3, 表1)
- 緯度経度5度グリッドの地域ごとにも同様な解析を行い、降雨が有意に激しく増加・減少する地域は過去の研究で指摘されているENSOが降雨に影響を与える地域と一致することを示した。トレンドが有意であると判定された地域はPR観測領域全体の55%を占めることもわかった。(図4)

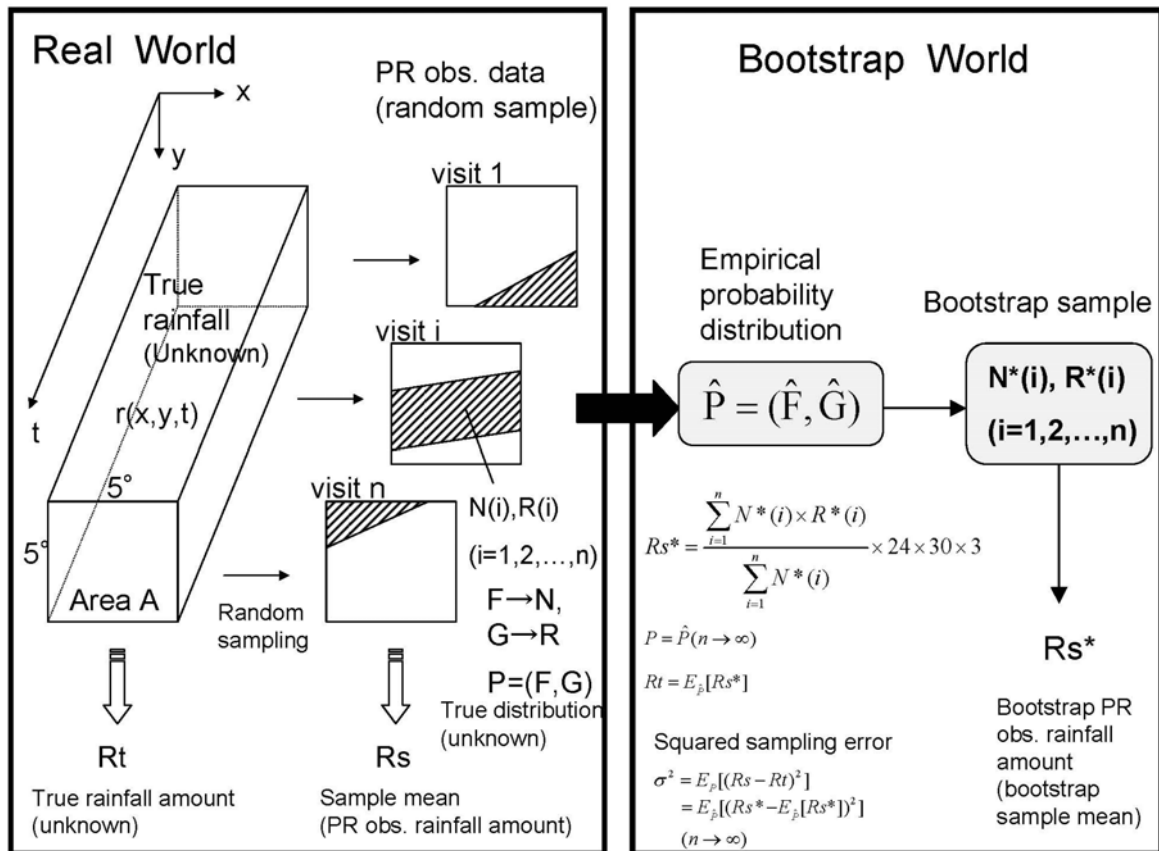


図1：PR観測データを使って、緯度経度5度領域ごとの3ヶ月平均降水量におけるサンプリングエラーをBootstrap法により推定する手法の概念図 (N:5度領域におけるPR観測範囲内の観測ピクセル数、R: PR観測範囲内のピクセルの降雨強度の平均値、F:Nの分布関数、G:Rの分布関数)

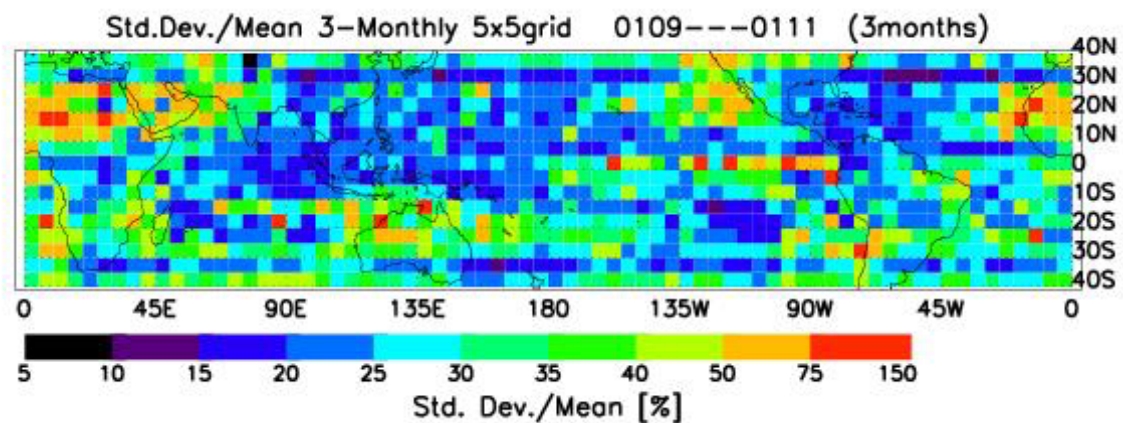


図2：緯度経度5度領域ごとの3ヶ月平均降水量における相対サンプリングエラー（標準偏差 σ /平均値 R_t ）(%)

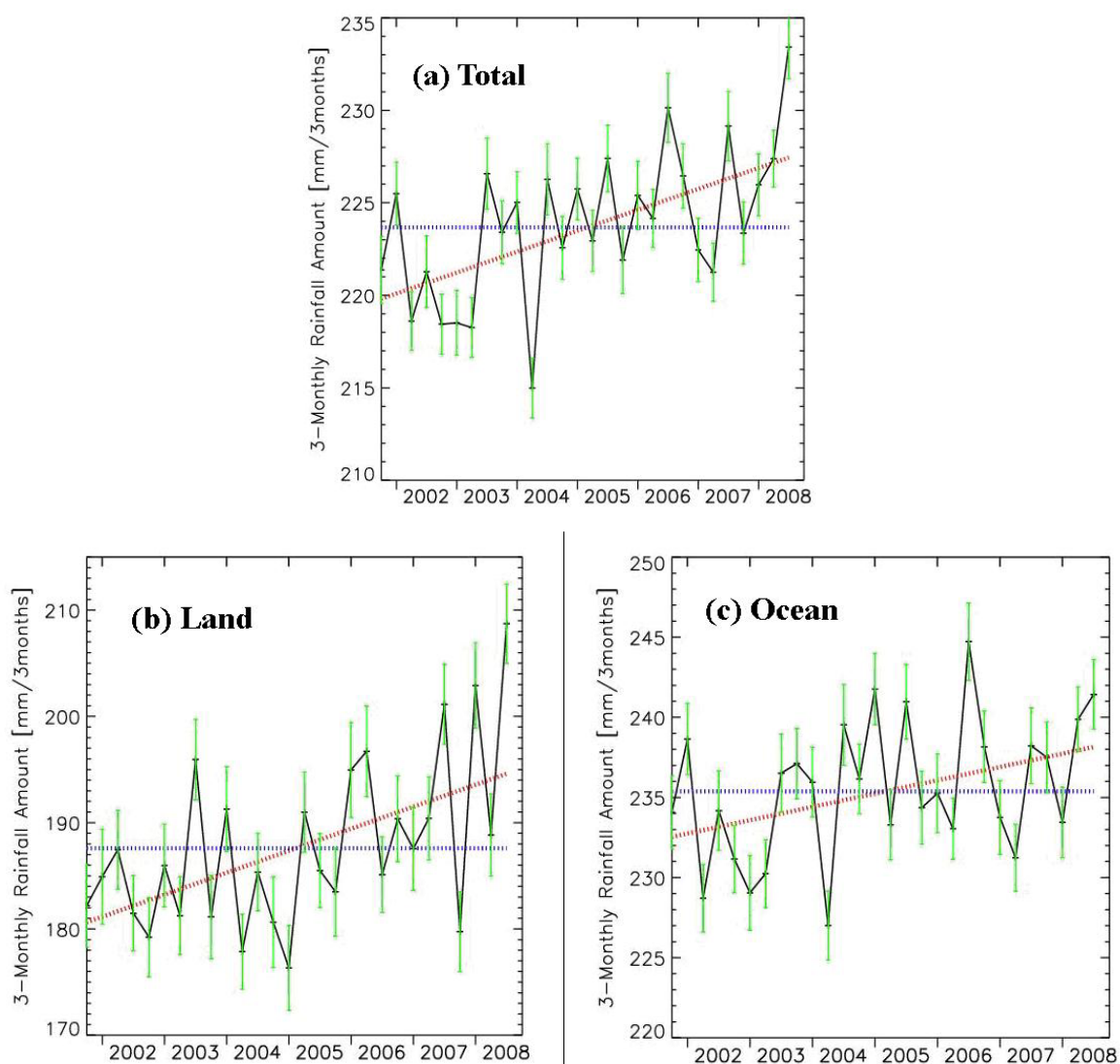


図3: サンプルエラーの重みをつけて直線回帰モデル (0次: 青、1次: 赤) を7年間の3ヶ月平均降雨量の時系列にfitした結果 (a: PR観測範囲全域の平均値, b: 陸域の平均値, c: 海域の平均値、黒線に付与された緑色のエラーバー: サンプルエラー)

表1: トレンドとAIC (トレンド: 1次線形モデル $y=ax+b$ の係数 a [$\text{mm}(3\text{months})^{-2}$]、AIC: Akaike's Information Criterion、AIC(0): 0次モデルのAIC、AIC(1): 1次モデルのAIC)

	a	AIC(0)	AIC(1)
Total	0.283	189	237
Land	0.518	214	245
Ocean	0.208	187	201

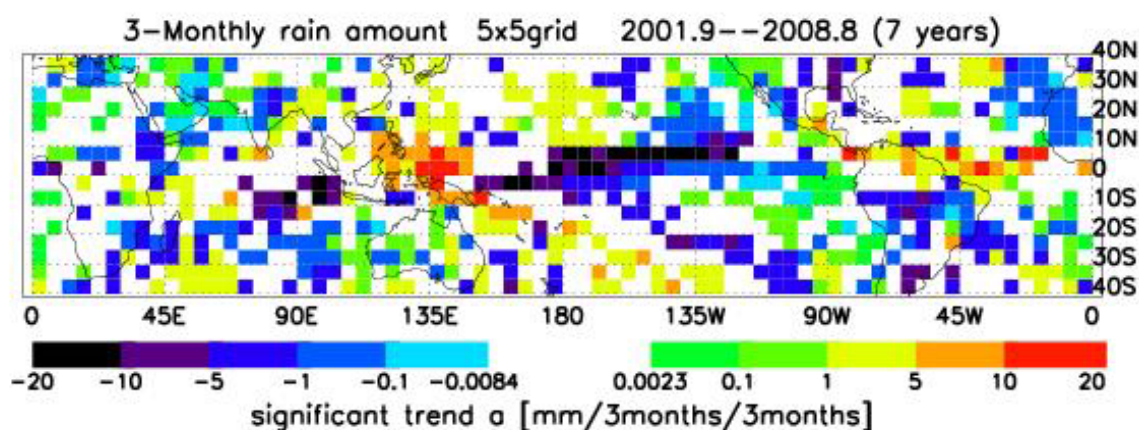


図4：緯度経度5度領域においてPRが観測した7年間の3ヶ月平均降雨量のトレンド
(トレンドが有意な地域)

4. まとめと結論 (TRMM/GPMグループへの貢献)

PR降雨量プロダクトに多く含まれるサンプリングエラーをPR観測領域でグローバルに評価する手法を開発したことにより、PR降雨量プロダクトの信頼性評価に貢献した。また、サンプリングエラーを考慮したPR観測データのトレンド解析を行うことにより、PR観測領域全体、海陸別で降雨量が有意に増加していることを統計的に初めて証明した。さらに地域ごとの解析より、エルニーニョ・ラニーニャ現象が降雨に影響を与える地域をPRでは初めて示した。こうした本研究成果はPR観測データの有用性を裏付けるだけでなく、PRが長期にわたって降雨を観測する意義を示したことにもなる。また、JAXAが開発を担当するGPM主衛星搭載2周波降雨レーダ (DPR) によってPRに引き続き長期間の降雨量データがPRと同精度で提供される。本手法をDPR観測データにも適用可能で、本研究と同様の手法で解析を行うことでさらに長期の変動を検出することが可能となる。

3.5 GPM/DPR レベル1Bアルゴリズム (Ver.1) 開発

吉田直文

1. はじめに

GPM主衛星は、全球降水観測を目的として、2013年夏に打ち上げを予定している。GPMには、JAXA・NICTが開発した二周波降水レーダ（DPR）が搭載され、異なる2つの周波数（KuPR=13.6 GHz, KaPR=35.6 GHz）で三次元降雨分布を詳細に観測する。この二周波降水レーダによって観測された生データから、校正済受信電力値、幾何、時刻などの基本情報を算出する役割をDPRレベル1Bアルゴリズムは担う。

JAXAが提供する代表的なGPM標準プロダクトは、二周波降水レーダプロダクト、二波降水レーダ+マイクロ波放射計複合プロダクト、全球合成降水マッププロダクトの3種類である。DPR レベル1B プロダクトは、これら3種類のプロダクトの直接的・間接的な入力データであり、その影響は大きい。GPMプロジェクトの成功には、DPRレベル1B アルゴリズムの成功が必須条件であるため、利用研究が主体となって着実に開発を進めることとした。

2. 今年度の目標、成果、達成度

今年度の目標は、「DPR レベル1B アルゴリズム Ver.1 コード（全機能の50%）の完成」である。

これを実現するために、まずハードウェア開発担当のプロジェクトチームおよび開発メーカからの情報収集・調整を行った。さらに地上系開発担当の地上系および開発メーカからの情報収集・調整を行った。また、GPM共通ツールを提供するNASAとの情報交換・調整を行った。

これらの結果を、DPRレベル1アルゴリズム仕様書（111page）にまとめ、技術資料として登録した。Ver.1として実装する主な機能には、スキャン定義（欠損検出）、House Keepingデータのリサンプリング、ビーム単位ベクトル計算、校正係数との連携、主系・従系との連携、PPS I/O Toolkitを用いたHDF4出力などを定義した。これらは全体機能の約50%にあたる。

DPRレベル1アルゴリズム仕様書をコーディング担当の富士通に提示し、定例会を通じてアルゴリズムコードの作成を進めた。作成されたアルゴリズムコードの機能を確認するため、9000スキャン程度の模擬データを作成し、それを入力として出力されるサンプルプロダクトを解析・評価することで、DPRレベル1アルゴリズムの機能確認を行った。

DPRレベル1Bアルゴリズム開発の報告会を3月14日に予定しており、それに向けて最終確認作業を行っている。現時点までの確認では、実装機能に支障は無く、今年度の達成度は100%となる見込みである。

3. DPRレベル1Bアルゴリズム

DPR レベル1Bアルゴリズムは、KuPR用とKaPR用の独立した2つのアルゴリズムから構成される。両者の多くの部品を共通化することで、アルゴリズム開発効率をあげている。

それぞれのレベル1Bアルゴリズムは、図1に示したように、大きくわけて3つのモジュールから構成される。1つ目のPreparation モジュールでは、データ入力、スキャン定義、データリサンプリングなどを行う。2つ目のGeolocationモジュールでは、フットプリントの位置情報算出、レンジ方向の

幾何計算を行う。最後にTransformationモジュールで、校正済受信電力値を算出し、プロダクト出力する。Ver.1の機能としては、Preparationモジュール90%、Geolocationモジュール40%、Transformationモジュール20%を定義し、それらを予定通り実装することができた。

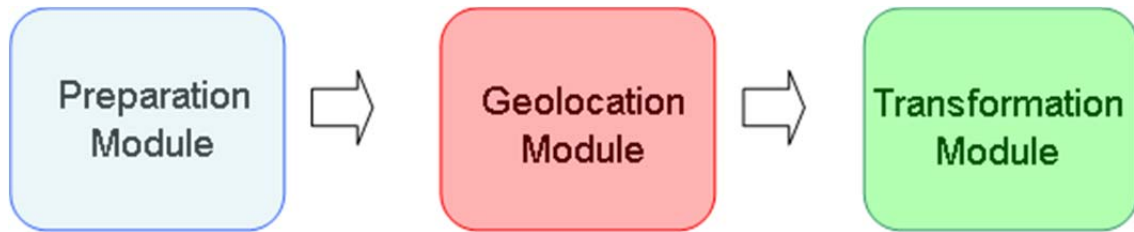


図1. DPRレベル1Bアルゴリズムの基本フロー

DPRは、TRMM/PRからの新規要素として、VPRFテーブルの導入（送受信タイミング調整による観測高度最適化）や、KuとKaのビームマッチング調整（電波送信遅延調整、ビーム走査角調整）などのDPR独自要素が挙げられるが、いずれもDPRレベル1BアルゴリズムVer.1の枠組みで対応することができた。

さらに、DPRでは、TRMM/PRに比べ、より複雑なオフノミナルケースが規程されているが、これらの多くにも動的に対応できるようにDPRレベル1Bアルゴリズム設計し、Ver.2までに対応する予定である。

3. まとめと来年度の目標

DPRレベル1Bアルゴリズム Ver.1（全体機能の50%）開発という目標に対して、仕様書作成、情報収集、コーディング（メーカ殿）、擬似データによる機能確認等を行った。このVer.1には、DPR独自要素への対応を含めている。3月14日に報告会を開催する予定であり、基本的には本年度の目標は100%達成できる見込みである。

来年度は、DPRレベル1Bアルゴリズム Ver.2（全体機能の90%）開発へ発展させる。Ver.1をベースとし、NASA提供のGPM共通ツール（Time、Geo、I/O）との連携、地上試験結果のデータベースへの反映、エラー処理の強化、受信電力値の算出機能などを実装する予定である。

3.6 GPMに向けた降水推定アルゴリズムの開発

久保田 拓志

1. はじめに

全球降水観測計画（GPM）主衛星（2013年の打上げを予定）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。

2. 今年度の研究計画

TRMM/PRやGPM/DPRのような衛星搭載降水レーダは「受信電力値」の大きさを観測するので、受信電力値の大きさから降水強度の大きさに変換する「降水推定アルゴリズム」が必要となる。今年度は降水推定アルゴリズムのAlgorithm Theoretical Basis Document（ATBD）をPIと連携して作成すること、来年度秋に提出予定の初期アルゴリズムに向けて、担当しているVertical Profile Moduleのプロトタイプを開発すること、降水推定アルゴリズムの開発やそのテストに必要なDPR模擬データ（初期バージョン）を開発すること、を計画した。

また全球降水マップについては、マイクロ波センサによるサンプリングを増やすために、SSMISやAMSUのような、まだ導入されていないセンサをシステムに組み入れることを計画した。

3. 今年度の研究成果

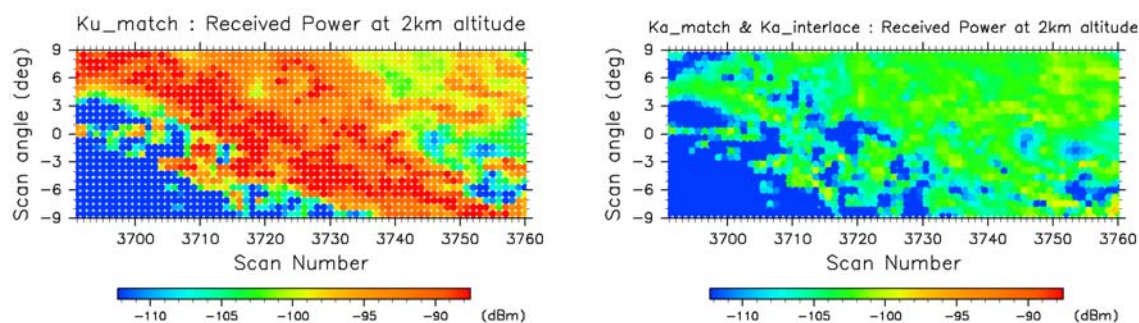
DPR降水推定アルゴリズムのATBDについては、2010年11月末に初版を作成し、技術文書（NDX-100015）として登録した。Vertical Profile Moduleは、外部データ（客観解析データ）から、補間により水蒸気、気温、雲水、気圧等の値を求め、また非降水粒子に関する減衰補正計算を行う。今年度は、客観解析データの格子点データから、DPRのピクセル・レンジビンに対応して時空間補間を行うツールを作成した。水蒸気と酸素の減衰補正は、過去研究（Waters 1976, Rosenkranz 1975, Ulaby et al. 1981, Meneghini and Kozu 1990）の手法に基づくプログラムを開発した。雲水量の減衰補正は、簡単な粒径分布を仮定した減衰補正計算プログラムを作成した。ただ、雲は非一様性が大きいので、サブグリッドスケールの変動を考慮する必要があるが、現在は考慮していない。これについては、来年度以降の課題とする。

DPR模擬データ作成については、TRMM/PRから作成する手法と、雲解像数値気象モデルから作成する手法の2通りを実施している。TRMM/PRからの作成する手法は、Seto and Iguchi (2010)の手法に基づいて、降水の液層部分に対して、DPR模擬データの作成するプログラムの開発を行った。また雲解像数値気象モデルから作成する手法は、昨年度までに融解層より下側の大枠は開発済みであるので、それを用いて降水の非一様性についての検討を行った（IGARSS 2010, 日本気象学会秋季大会の2件で学会発表済み）。衛星レーダのデータ同化利用に向けては、気象庁気象研究所 岡本主任研究官と初期検討を進めている。

全球降水マップアルゴリズムについては、イメージチャネルを利用したSSMISアルゴリズムを作成して、2010年6月に準リアルタイムシステムに導入した。再解析システムにも導入済みである。AMSUアルゴリズムでは、PIと連携してEORCで格子点化ツールを開発した。再解析システムには導入済み、準リアルタイムシステムには導入準備中である。また最近の進捗について、学会発表を行った（ISPRS, AP-RASC, AGU2010の3件）。

4. 来年度の計画

DPRのアルゴリズム開発スケジュールでは、2011年秋に初期アルゴリズムの提出することに計画である。2011年秋までに現在のプロトタイプのVertical Profile ModuleをDPR-L2アルゴリズム本体に組み込む。また初期アルゴリズムにDPR模擬データを適用して、その課題を抽出する。全球降水マップアルゴリズムでは、SSMISの高度利用、特に、現在、使われていないサウンダチャネルの利用が課題である。



雲解像数値気象モデルから計算したGPM/DPR模擬データ。（左）KuPR、（右）KaPRの高度2kmの受信電力値。TRMM/PR 軌道番号59200スキャン番号3678- 3767（90 scans分）を想定して計算。

3.7 衛星による全球降水マップ作成システムの改良と再処理版作成

可知 美佐子

1. はじめに

2013年に主衛星が打ち上げ予定のGPMに向けて、現在、利用可能な衛星を用いた全球降水プロダクト作成及び配信が進んでいる。日本における、衛星データを主体とした全球降水マップの開発は、平成14～19年度のJST/CRESTの「水の循環系モデリングと利用システム」の研究課題「衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成」（通称、GSMaPプロジェクト）の下で実施された。平成19年度以降はGPMサイエンスチームの下で活動を継続している。GSMaPアルゴリズムをベースにした準リアルタイム版（GSMaP_NRT）処理システムは、平成18年から、EORCのTRMM利用研究計算機設備内に構築された。GSMaP_NRTは、マイクロ波放射計データ及び静止気象衛星の赤外情報を利用し、0.1度格子で、観測後約4時間で全球の降水マップを毎時作成している。画像を平成19年11月に一般に公開し、平成20年10月より降水プロダクトを登録ユーザへ配信開始した。今年度は、新たなマイクロ波放射計の導入を行うなどのシステムの改良を行うとともに、過去データの再解析を一部実施した。

2. 今年度の研究計画

今年度は、現在整備されている全球合成降水マップシステムの維持と改良、さらにアルゴリズム改良や新たな機能の付加を行い、利用者拡大に努めることを計画した。また、過去データの再処理を進め、連続性のあるデータセットを作成し、利用者に提供することも計画した。さらに、降水マップの検証、応用利用に関する共同研究を進めることも計画した。

3. 今年度の研究計画

3-1 システムの改良と機能付加

ここ数年、GSMaPで利用可能なマイクロ波イメージャの数が減少しており、平成21年11月にDMSP-13号衛星搭載のSSM/Iが運用停止となって以降は、マイクロ波イメージャとしては、TRMM搭載のTMI、Aqua搭載のAMSR-E、DMSP-15号搭載のSSM/I（23GHzチャンネルに干渉があり、海上の降水推定にのみ利用）のみとなっていた。GSMaPではマイクロ波放射計による精度のよい降水観測を、静止衛星の雲移動ベクトル情報で補間しているため、マイクロ波放射計の観測減少は、精度低下に直接繋がる。このため、京大の重准教授との共同研究により、SSM/Iの後継センサである、DMSP-16号、17号搭載のマイクロ波イメージャサウンダSSMISのイメージャ部分を利用したアルゴリズム、および、マイクロ波サウンダ用アルゴリズムを開発した（Shige et al., 2009）。

今年度はSSMIS用のアルゴリズムを平成22年6月にGSMaP_NRTシステムに導入した。AMSU用のアルゴリズムについては、NOAAからの準リアルタイムでのデータ取得を定常化し、NRTシステムへの組み込み作業を実施し、平成23年3月現在、NRT処理の切り替えのための試験を行っている。

図1はマイクロ波サウンダを利用した場合の、受動マイクロ波センサの観測領域の増加を示したものである。同じ2007年1月1日0時（世界時）に対して、受動マイクロ波センサの観測領域を薄い黄色で示している。上段は、マイクロ波イメージャ（TMI, AMSR-E, SSM/I 3台）のみの場合であり、

下段はマイクロ波イメージャ5台に加え、マイクロ波イメージャサウンダ（SSMIS 1台）とマイクロ波サウンダ（4台）が加わった場合である。マイクロ波放射計が増加することにより、明確にマイクロ波放射計による観測領域が拡大し、IRによる補間が少なくなることから、降水推定の信頼性が高くなることを意味する。

3-2 過去データの再処理

GSMaP_NRTは、GSMaPアルゴリズムの成果を最大限に利用し、かつ、準リアルタイムでの運用性を確保するために、処理の一部簡略化を行っている。しかし、気象や気候ユーザのニーズを考慮し、利用可能なすべての衛星データ（受動マイクロ波センサ及びIR放射計データ）を利用し、処理も省略せずに行うことで、より精度が高く継続性のある再解析プロダクト（GSMaP_MVK）の作成システムを昨年度に構築した。

今年度は、このシステムに、新しくSSMISおよびAMSU/MHSのリトリバルも追加した上で、2007～2008年の2年間の再処理を実施し、NRT登録ユーザに対して公開した。また、2000年以降の長期間の処理を行うために、過去分のSSMIS及びAMSU/MHSデータを収集したほか、ジョブ管理システムを試験導入した。また、GSMaPのいくつかのアルゴリズムコードがIDL言語で開発されているが、IDL言語のプログラムを実行するにはライセンスが必要であるために、再処理の複数並行処理のボトルネックとなるため、これらをアルゴリズム開発者が維持改訂可能な言語（Fortran/C言語）にコード変換を行った。この結果、トータルの処理時間がIDL言語の処理時間の0.7倍となり、大幅に改善した。

図2と図3はGSMaPプロダクトの準リアルタイム版（GSMaP_NRT）と再解析版（GSMaP_MVK）を比較した結果である。NRTとMVKは、アルゴリズムは同一であるが、NRTにはSSMISおよびAMSU/MHSのデータが含まれていない。また、MVKはcombined（forwardとbackwardの両プロセスを平均）であるが、NRTでは、forwardプロセスのみを行っている。また、マイクロ波イメージャ用のルックアップテーブルが、NRTは処理時刻に存在する最新の客観解析データを利用しているが（半日～1日程度ずれていることがある）、MVKでは観測時刻に最も近いデータを利用している等の違いがある。図2で、熱帯の陸上でNRT（緑）がFW（黒）に比べて、低い値を示している。図3の分布図でみると、西部熱帯太平洋の島嶼域や南米のアマゾン域などで、MVKの降水量が増加していることがわかる。この結果は、マイクロ波放射計のリトリバルのみを平均した結果ともおおよそ一致しており（図省略）、MVKにおいて、新たにSSMISおよびAMSU/MHSを導入した効果であると考えられる。

3-3 GSMaPデータの検証と利用推進

GSMaPの検証に関しては、京都大学を主体とするGSMaP_NRT検証の取り組みに協力・参加した。また、複数降水マップの比較検証を行っている、WMO/CGMSの下でのInternational Precipitation Working Group (IPWG)の第5回ワークショップに参加し、JAXAのGSMaP_NRTシステム及び再解析プロダクトについて発表した。

EORCのGSMaPデータ利用の登録数は順調に増加しており、2008年10月のデータ公開以降の登録者数は150名である（平成23年2月末現在。平成22年度の登録者数は61名）。利用分野を集計したとこ

ろ、気象・気候学的な研究への利用が全体の1/3程度、水関連の災害である洪水や地滑り、干ばつ等の現象の監視や予測のために衛星降水マップを用いる利用者も全体の1/4以上を占めている。

最近では、気象サービスや農業収量予測、流出解析などの分野で、商業利用の問い合わせも増えており、平成23年2月に利用実証の目的で、日本気象協会との共同研究を開始するなど、いくつかの計画がある。

4. 来年度の計画

来年度は、今年度試験導入したジョブ管理システムを本格稼働させるほか、処理時間軽減のために、今年度作成したIDL言語部分の変換コードを再処理システムに導入する。また、GSMaP_MVK処理を、NOAAが全球IRデータを作成している2000年3月以降の期間について実施する。また、陸上のマイクロ波イメージャの過小評価の改善のため、アルゴリズム改訂やデータベース更新についても導入検討を行う予定である。

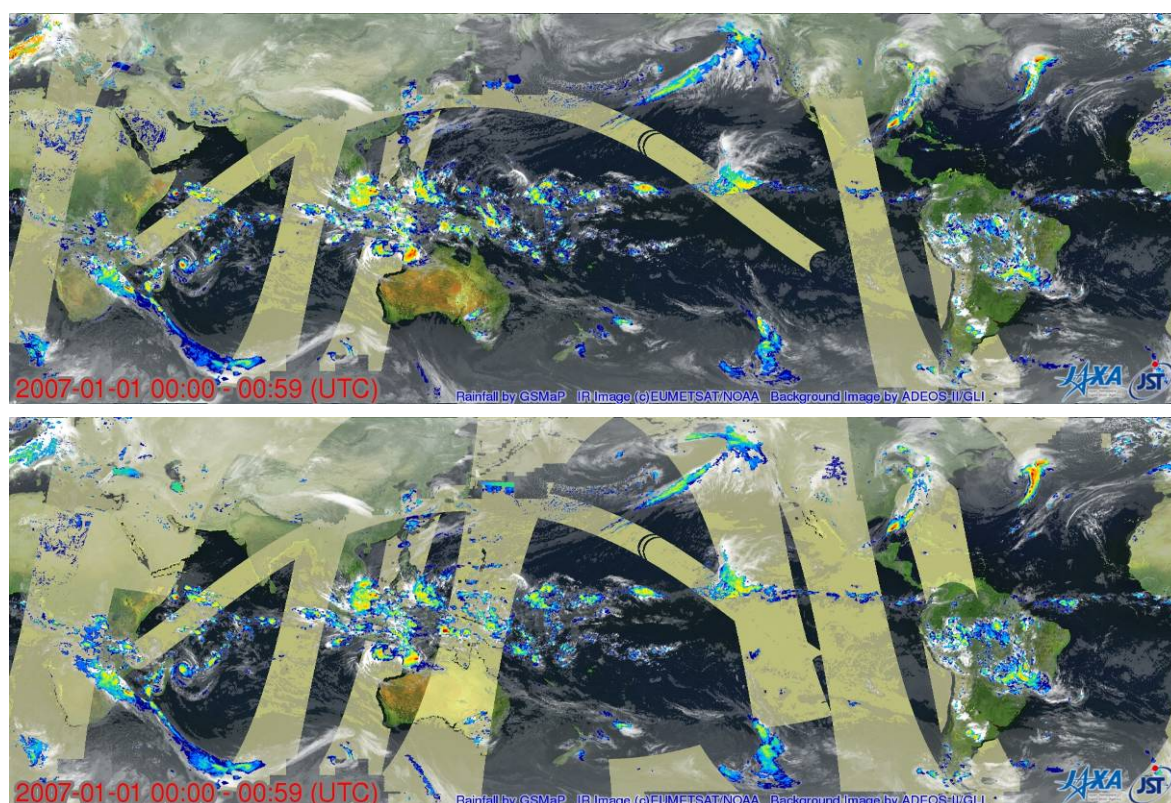


図1 受動マイクロ波センサの増加による効果。2007年1月1日0Z～1Zの観測例。黄色が受動マイクロ波センサによる観測領域を示す。(上段) マイクロ波イメージャ (TMI、AMSR-E、SSM/I) による観測。(下段) マイクロ波イメージャ及びサウンダ (SSMIS、AMSU、MHS) による観測。

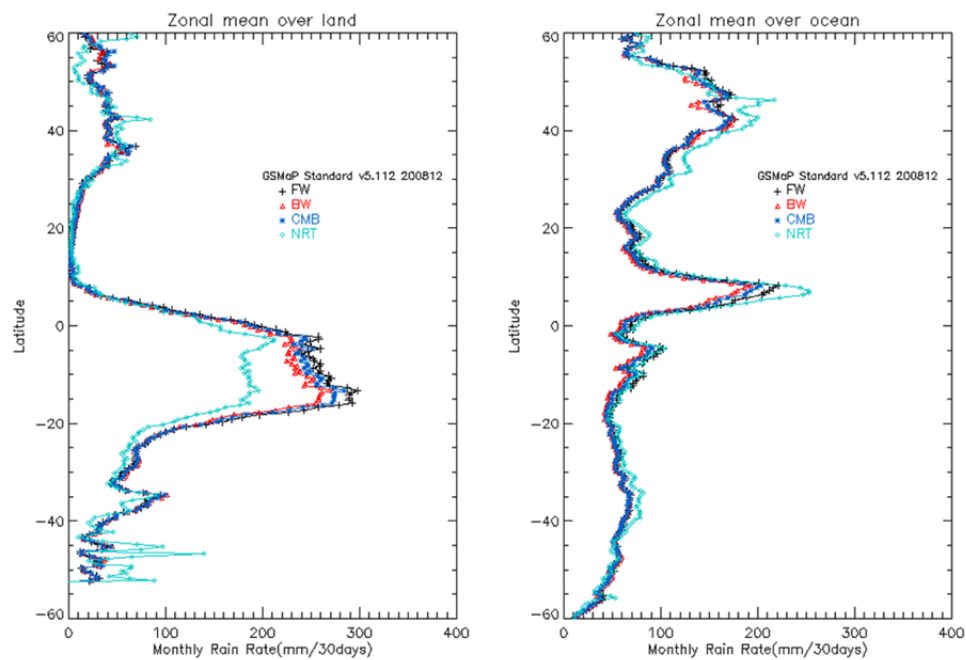


図2 GSMaP_NRTとMVVKの比較。2008年12月の経度方向の帯状平均。(左) 陸上。(右) 海上。黒がMVKのforward processのみ (NRTと同等)、赤がMVKのbackward processのみ、青がforwardとbackwardの合成 (combined)、緑がNRTのみ。

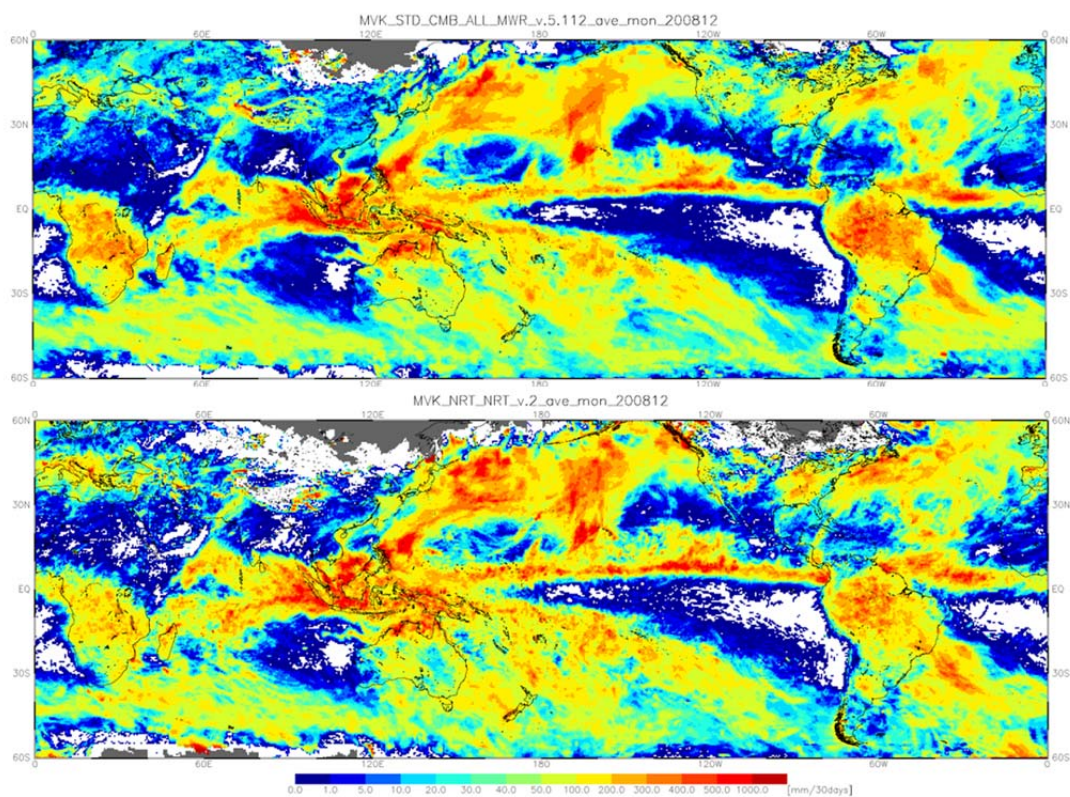


図3 GSMaP_NRTとMVKの比較。2008年12月の平均降水量の分布。
(上) MVK (combined)。(下) NRT。

3.8 地上検証用Ka帯レーダを用いたGPM打上げ前観測計画

清水 収司

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（2013年打上げ予定）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（constellation）により、衛星による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、Ku帯レーダ（以後KuPR）とKa帯レーダ（以後KaPR）により降水を同時観測し、弱い降水や降雪まで含めた高精度の降水プロダクトを導出する。またGMI及び複数個の副衛星による観測データを組み合わせることにより、高頻度で全球合成降雨マッププロダクトを導出する。このようにして得られる全球の高精度・高頻度・定常的な降雨観測プロダクトを生成・提供し、全球水循環変動の把握や予測、及び現業利用への貢献を行うことがGPM計画の目的である。そのために全球で正確な、かつ均一で長期間安定した精度を有するデータの生成が求められる。

2. GPM検証方針

降水は時間・空間的に変動が激しい物理量であり、観測体積において、その大きさ、形状に違いのある衛星搭載降水レーダと地上測器（地上設置レーダも含む）との瞬時値での単純な物理量同士の比較だけでは、アルゴリズムへの反映に不足する。このことからGPMにおける検証活動では、下記のような方針で行う。

- ・衛星降水量と地上降水量の比較検証だけでなく、アルゴリズム内で仮定されている物理モデルの検証も行うことにより地上検証実験の結果を有効に利用する。
- ・短期間の観測だけではなく、既存の観測測器と合わせ、長期間の物理モデルの検証データを取得する観測測器を集結させたサイトを用意する。

熱帯降雨観測衛星（TRMM）搭載の降雨レーダ（PR）に比べ、GPM/DPRではより高精度・高感度に対応した検証を行う必要がある。そのため弱い降水や固体降水の検証が必要となる。固体降水に関しては、降水量推定アルゴリズムおよび検証手法については、まだ確立されていない。このためまず降雪に関する特性について、調査を行う必要があり、この意味でも主衛星打上げ前からアルゴリズムを対象とした検証を行うことは非常に重要である。

3. GPM検証方針

衛星降水推定アルゴリズムに含まれる降水粒子による減衰、雨滴粒径分布、雪の落下速度・密度等に関わる様々なパラメータの誤差を、地上観測を通じて検証することにより、DPR、DPR/GMI複合、全球合成降水マップの各アルゴリズム開発・改良に資する。この目的のためには、現在の地上観測測器では対応が困難であるので、本アルゴリズム検証のために最適な地上検証用Ka帯レーダ（以下Kaレーダ）を開発した。またアルゴリズムに必要な様々なパラメータを取得するために、観測測器を集中させた観測サイトを設定し運用する。以上のような地上観測は、アルゴリズムの開発時点で不可欠なものであるため、主衛星の打上げ前から地上観測を行う。

4. GPM検証方針

KaPRは衛星搭載のレーダとしては世界初であり、その地上検証を重点的に行う必要がある。DPRではKuPRとKaPRの減衰特性の違いを利用して、降水粒子の粒径情報を得ることにより、TRMM/PRよりも高精度の降水観測を行うことを目的としている。そのためにKa帯電波の散乱・減衰特性を把握することがDPRによる降水推定アルゴリズムを開発する上で非常に重要である。Ka帯(35 GHz)は降水(雨、雪、氷)による減衰が大きく、その補正が必要であるが、降雨のタイプ(層状性/対流性、小さな雨粒の霧雨/大きな雨粒の雨)や雪の性質の違いで、降水強度、散乱、減衰の関係が異なる。そのために2台のKa帯レーダを対向させて同じ線上の降水を観測することにより、総減衰量が同じになることを利用して、散乱(Z_e)と減衰(k)を降水の固相/液相に関係なく直接的に測定する。これまでこの目的を達成するためのKa帯レーダは存在しなかったため、新たに2台のKaレーダの開発及び製作を行った。図1に本レーダの空中線装置の写真を、主な仕様は表1に示す。本レーダはFMCW方式を採用し、連続波(CW)信号に周波数変調(FM)を施すことにより、送信信号と受信信号の周波数差を利用して、目標までの距離を決定するものである。



図1 GPM地上検証用Ka帯レーダ

表1 GPM地上検証用Ka帯レーダの主な仕様

レーダ方式	FM-CW 方式
周波数	35.25 GHz
感度	-20 dBZ (距離 10 km)
距離分解能	12.5 m
観測間隔	5 秒
ドップラー速度	±10 m/s
最短観測距離	500 m 以下
最大観測距離	15 km/30 km
アンテナビーム幅	0.6 度
アンテナサイドローブ	-23 dBZ 以下

5. 検証観測計画

図2はGPM/DPRの検証を目的とした観測サイトについてまとめたものである。アルゴリズム開発及び検証のために、液体降水、固体降水、及び融解層をターゲットとして、4カ所の観測サイトを設定した。降雨観測については沖縄、降雪観測に関しては札幌、湿雪観測に関しては長岡、及び高度方向に雨、融解層、雪による減衰特性を対象とした観測を富士山で行い、アルゴリズム検証に必要なパラメータを観測もしくは解析で求める。

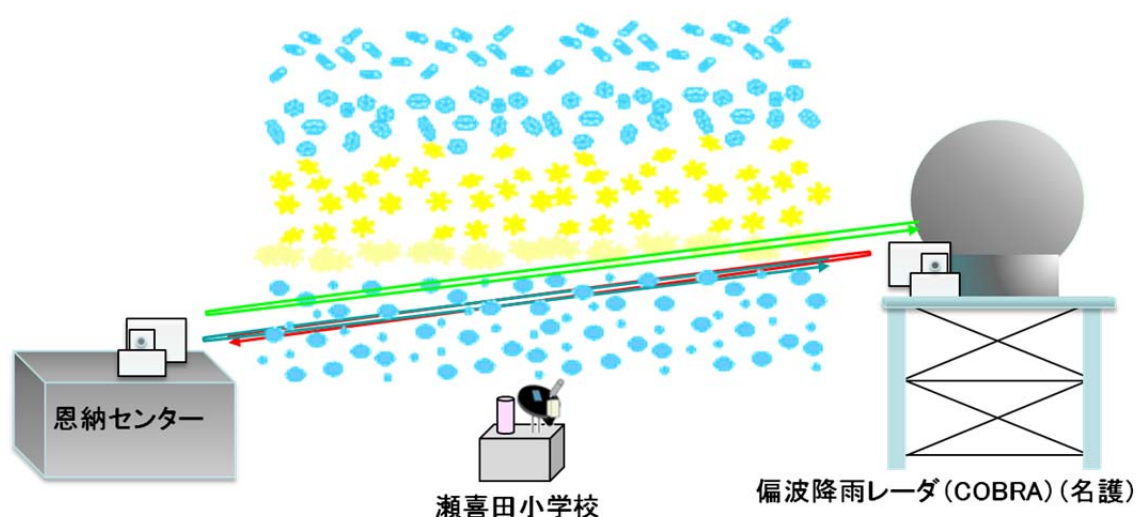


図2 沖縄におけるKaレーダ対向観測概念図

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

地球環境変動観測ミッション（GCOM）利用研究グループでは、第1期水循環変動観測衛星（GCOM-W1）、および第1期気候変動観測衛星（GCOM-C1）に関するアルゴリズム開発、校正検証、地球科学研究、利用促進などの研究活動を継続的に実施した。これらの活動にはその成果を円滑にGCOMへ反映する意図から、AMSR-EやMODISなどの既存データの解析研究も含む。

2. アルゴリズム開発・校正検証

（1）GCOM-W1関連

標準アルゴリズムの選定やシステムへの実装を完了した。アルゴリズム開発は第1回研究公募による代表研究者（PI）との協力により実施しており、本年度で研究期間を一旦終了した。複数候補が存在する積算水蒸気量、積算雲水量、土壌水分量、積雪深については、AMSR-Eデータによるアルゴリズム性能比較を進め、実用的な評価項目と併せて標準アルゴリズムを決定した。また、全ての標準アルゴリズムを処理システムへ実装するための作業をほぼ完了した。打上げ後の検証準備として、GPS可降水量など新たな検証データの利用検討、オーストラリア陸面検証サイトの新規展開準備などを進めた。

（2）GCOM-C1関連

GCOM-C1については、第2回研究公募で選ばれたPIと協力しアルゴリズム開発を進めてきた。今年度で2年目を終える研究の結果として、次年度に予定するアルゴリズムの提出と集約の実現性を確認できた。これらのアルゴリズム開発に必要な現場基礎データの収集についても、陸域タワー観測、東京湾等海洋観測、SKYNET大気観測、積雪光学観測等を実施した。また、SGLI性能のプロダクト精度への影響評価を目的とした偏光・多方向の輝度・幾何シミュレーションについて、主要コンポーネントを完成した。検証準備として各種観測機材の整備を進めるとともに、現場観測データ・情報提供のためのサイトを立ち上げ、PIおよび外部研究者で有効に現場データの情報を共有できる環境を整えた。

3. 地球科学研究・利用促進

GCOMで取得する長期データによる気候変動解析の事前実証、ならびに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・提供を実施した。JASMES (JAXA Satellite Monitoring for Environmental Studies)を継続運用し、MODISデータを用いた日本周辺の日射量・積雪域、全球版では日射量・積雪分布・水ストレス傾向・林野火災・曇天率の結果を公開中である。今年度は新たに3件のパラメータを追加し、次年度公開を予定している。次年度以降、GCOM-W1の日平均画像をJASMES Dailyとして統合し、総合的で利用者が使いやすいサイトの整備を目指している。長期データ関連として、米国のNimbus搭載SMMR（1978年）、DMSP搭載SSM/I、AMSR-Eのデータ

を用いた長期海水データ構築を進めているが、今年度は北極域のSSM/I（1987年）～AMSR-Eの期間についてほぼ完成した。SMMRからGCOM-W1まで加えると40年に近いデータセットが構築される。同じく長期間の観測実績を有するNOAA/AVHRRデータについてもデータ整備を進めている。長期データとしての整合性を保つため、南極のDome-Cを相互校正サイトとして複数のAVHRR間の相互校正を行っている。

関係機関等との共同研究の実施により利用促進を図った。水産総合研究センターとの共同研究では、昨年度までの活動に続けて赤潮監視など水産業・海洋生態系への衛星データ利用に関する研究が進展した。水産関連は衛星データ利用が幅広く定着している分野であるが、GCOM-C1に向けて一層の利用進展が望まれる。気象庁は特にAMSRシリーズの顕著なユーザであるが、新たな利用分野を拓くため、AMSR-E・WindSatの全天候海上風速の試行処理・提供等を行い利用者と協議している。今年度より、気象庁のメソ数値予報モデルへAMSR-Eを含むマイクロ波放射計輝度温度の直接同化が開始されており、データ利用の高度化が進んでいる。農業利用はGCOMシリーズの新たな利用分野として期待される。今年度、農林水産省が海外からの食料調達等の円滑化をねらいとして毎月公表している海外食料需給レポート（2011年2月）で、米国・中国の小麦生産に関する情報の一部として、AMSR-E土壌水分の時系列変化情報が用いられた。今後、MODIS情報の追加も検討し、GCOM-C1の利用へつながることを期待している。民間連携として、ウェザーニューズ社（WNI）との間で、海水予測モデル検証とJAXA衛星プロダクト検証を目的とした共同研究を継続した。WNIの現場海水レポートを用いたJAXA衛星データ検証や、AMSR-Eデータと比較したWNI海水予測モデルの検証等に着手した。

4. 連携協力・将来計画等

GCOM固有の研究活動に加え、様々な活動との連携を図った。国際的な取り組みとしては、各国宇宙機関等から構成される地球観測委員会（CEOS）の仮想コンステレーション活動および校正検証作業部会へ積極的に参画した。また、今年度からWMOおよび気象衛星調整会議（CGMS）が主導する全球宇宙相互校正システム（GSICS）の正式メンバとなったため、今後可視赤外・マイクロ波の研究ワーキンググループに参加する。NOAAとは科学協力も含めた連携を進めており、GCOM-W1・NPPの相互校正やデータ利用、将来計画について議論を進めた。EORC内部においては、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）データセットの開発・提供、土地被覆分類に対する陸域大気補正開発など、水循環グループのYesterday Earth for EORC（YEE）に対するPARデータ導入支援や土壌水分・積雪深等の比較検証を行った。国際北極圏研究センターについても、森林火災モニタや海水関連の活動で貢献した。

将来計画の検討として、GCOM-W2に関してAMSR後継機センサチームと協力し、AMSR3に新たに要求する高周波チャネルの仕様を設定するとともに、NOAA・NASA、および国内利用者との協力により散乱計を含むGCOM-W2の科学要求文書の作成を行った。また、氷雲の全球定量観測により気候モデル改善を目的とするサブミリ波放射計について、センサ間比較や感度解析を通じてミッションコンセプト構築に貢献した。

5. 連携協力・将来計画等

前述のとおり、GCOM-W1は2011年度の打上げを目指し鋭意準備中である。打上げに向けた最終アルゴリズム調整と打上げ後の校正検証等を主目的とした第3回研究公募を2011年1月21日に発出済みであり、次年度早い時期にサイエンスチームを再構築して体制を整える予定である。GCOM-C1については、次年度からPIアルゴリズムの提供を受け、処理スキームの全体像を具体化するフェーズに入る。また、雲・積雪識別といった分野共通課題に対する検討も進める予定である。GCOM-C1はGCOM-W1と比較してプロダクト数も圧倒的に多く、システムティックな研究開発の進捗が必要である。

4.2 AMSR-E等を用いた対流システムの解析

今岡 啓治

1. はじめに

2011年度打上げ予定の第1期水循環変動観測衛星（GCOM-W1）は、NASAやCNESが主導する衛星コンステレーションA-Trainに参加する。A-Trainには、AquaやAuraのような多センサ搭載中型衛星や、CloudSatやCALIPSOなど単一センサを搭載した様々な衛星が参加しており、GCOM-W1搭載の高性能マイクロ波放射計2（AMSR2）を加えた複合的な観測が可能である。既にAquaには改良型高性能マイクロ波放射計（AMSR-E）が搭載されており、現在でも複合利用を進めることができる。今回、AMSR-E・CloudSatデータの利用事例として、高頻度観測が可能な静止気象衛星データを交えて、熱帯域の対流システムの発達段階に関する解析を試行した。雲降水システムの発達過程の理解は気象科学における継続的な研究課題であると同時に、降水推定精度の発達段階への依存性なども指摘されている。

2. 解析内容

海洋大陸を含む熱帯域（20S-20N, 90E-180）を解析対象とし、静止気象衛星MTSAT-IRの赤外チャネルIR1を用いて、時間的に連続したコンパクトな雲システムを抽出した。MTSAT-IRデータは、1時間毎に取得された2006年6月～2006年5月の4年分のデータを、千葉大学環境リモートセンシング研究センターから入手して利用した。抽出にはKondo et al. (2006)が用いた雲追跡プログラムを用いた。このプログラムは1時間毎の0.1度格子のIR1データを入力とし、赤外輝度温度のしきい値として235Kを用いて最小速度法により雲追跡を行う。融合・分離を伴わない場合のみを取り出し、孤立した単純な雲システムのみを対象とした。このように抽出した雲システムに対し、AMSR-EとCloudSatの同期データを探索して発達段階毎に整理し、雲システムの発達と輝度温度シグナル、Wバンドレーダ反射因子の関係を調べた。AMSR-EについてはJAXAが配布する輝度温度プロダクトLevel-1B、CloudSatについてはコロラド州立大が配布する反射因子プロダクト2B_GEOPROFを用いた。

3. 結果・考察

対象とした4年間のデータから抽出した約31万個の雲システムは、全体の90%以上が持続時間1～5時間と比較的短く、平均半径が60km以下の比較的小さい特徴を有した。これは、融合・分離を伴わない場合のみ選択したことによると考えられる。雲システムの発現頻度には顕著な地域差、日変化がみられた。海洋域では、A-Trainの観測時刻付近である深夜01:00～02:00と午後13:00～14:00に2つの極大が見られ、海洋大陸周辺の沿岸海洋域ではやや午後の極大が卓越し、陸域では16:00付近の極大が顕著であった。

対象領域内で面積の狭い陸域については、特にCloudSatとの同期に際し十分なデータ数が得られないため、以下では海洋・沿岸海洋域における平均結果を示す。CloudSatレーダ反射因子の平均プロファイルには、Sassen et al. (2007)によって示されるBright BandおよびDark Bandが見られる。レーダ反射因子はこれらより上層の5～10kmの間でシステムの発現時に最大値をとり、経過時間とともに減少する傾向がみられる。また、プロファイルの高度も経過時間とともに減少する傾向が見られ

た。二次元確率密度分布からは、経過時間とともに分布が上層に集中する変化があった。これらの傾向は、発現時をピークとして雲システムが徐々に減衰し、融解層より上部の雲が残る様子を捉えていると考えられる。AMSR-Eの18GHz輝度温度偏波差(PD18)および89GHz偏波補正輝度温度(PCT89)は、それぞれ雨滴による放射と散乱の信号を定性的に表す(図1)。持続時間の短いシステムについては、PD18はシステムの発現時より前に最小値となっており、経過時間とともに増加している。これは、システムが含む液滴水量、おそらくは降水量がシステム発現より先行していることを示すと考えられる。一方、PCT89はシステム発現時に最小、あるいは持続時間の長いシステムに対しては更に1時間ほど遅れる傾向があった。これらの指標、特にPCT89は陸域降水量の算定に用いられているが、これは発達段階の後期に近い時間帯での氷晶の発達に感度があると考えられ、降水量の算定には時間ラグが生じていることが推察される。

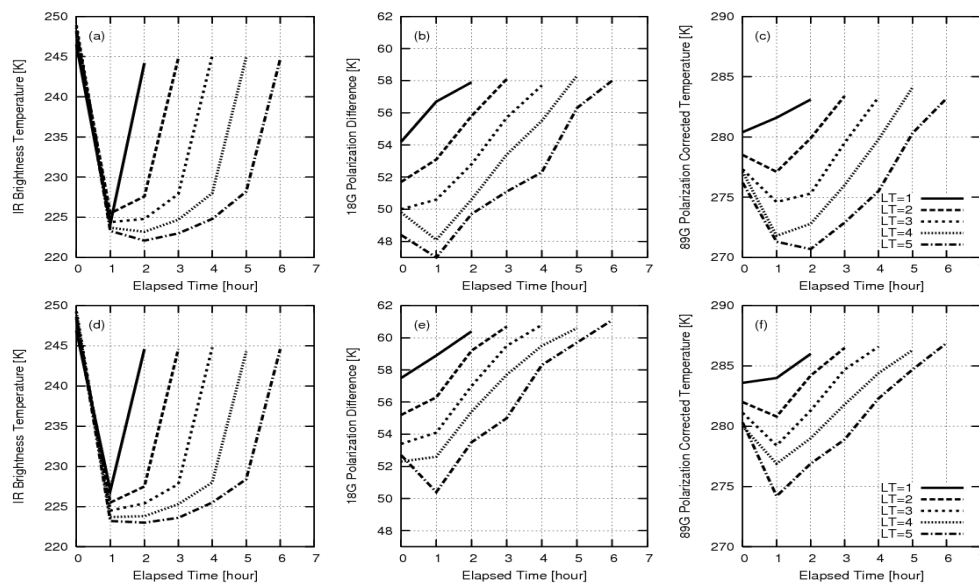


図1 深夜観測における(a) MTSAT-1R IR1、(b) AMSR-E PD18、(c) AMSR-E PCT89の経過時間に対する変化。異なる線種は持続時間を示す。(d)から(f)は昼間観測の結果を示す。

4. まとめ

MTSAT-1R、AMSR-E、CloudSatのデータを用いた試行解析により、対流システムの発達段階毎のWバンドレーダ反射因子プロファイルとマイクロ波輝度温度の特徴を示した。今度、統計結果の検証や他衛星データによる情報の追加を行い、周辺場との関係から発達過程に関する考察を行う必要がある。極軌道衛星と静止気象衛星の複合は情報量を増やす点で意義があり、今後も検討する価値があると考えられる。

[参考文献]

Kondo, Y., A. Higuchi, and K. Nakamura, 2006: Small-scale cloud activity over the maritime continent and the western pacific as revealed by satellite data, *Mon. Wea. Rev.*, 134, 1581-1599.

Sassen, K., S. Matrosov, and J. Campbell, 2007: CloudSat spaceborne 94 GHz radar bright bands in the melting layer: An attenuation-driven upside-down lidar analog, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L16818, doi:10.1029/2007GL030291.

4.3 AMSR-E / AMSR2に対する海面水温・海上風速算出アルゴリズムの開発

- WindSatへの応用 -

柴田 彰

1. はじめに

AMSR/AMSR-Eに対する海面水温・海上風速アルゴリズムの精度を維持すると共に、GCOM-W搭載AMSR-2のためのアルゴリズムを準備する。対象は、標準プロダクトの海面水温・海上風速、及び研究プロダクトの全天候風速である。さらに、AMSR/AMSR-Eアルゴリズムを元に、類似のセンサーであるWindSatから、全天候風速、及び海上風ベクトルを算出するアルゴリズムを開発する。

2. 平成22年度の研究

AMSR/AMSR-Eに対する海面水温・海上風速アルゴリズムに関し、次の改善を行った。

- a. ハワイ諸島・アセシオン島周辺で見られる電波干渉の除去
- b. インド周辺で見られる電波干渉の除去
- c. ホットロード温度変化に伴う、輝度温度経年変化(9年目)への対応

aに関しては、2002年に両島周辺で見られ、一時中断したが、2009年からアセシオン島周辺で見られるようになったため対応した。bに関しては、経年と共に増えたことから対応した。cに関して、ホットロードの温度分布が変化しているようで、校正しても、輝度温度に誤差が生じている。2005年前後から目立つようになり、2010年のAMSR-Eの輝度温度を、ブイ水温データを用いて補正した。図1が誤差の経年・緯度分布図である。図1の左側が上昇軌道、右側が下降軌道で、9月のものである。誤差は月単位で求め、9月は一例である。9月に関し、2010年は前年と変わっていないが、他の月も2010年はあまり変わっておらず、経年変化は多少落ち着いてきたと見られる。

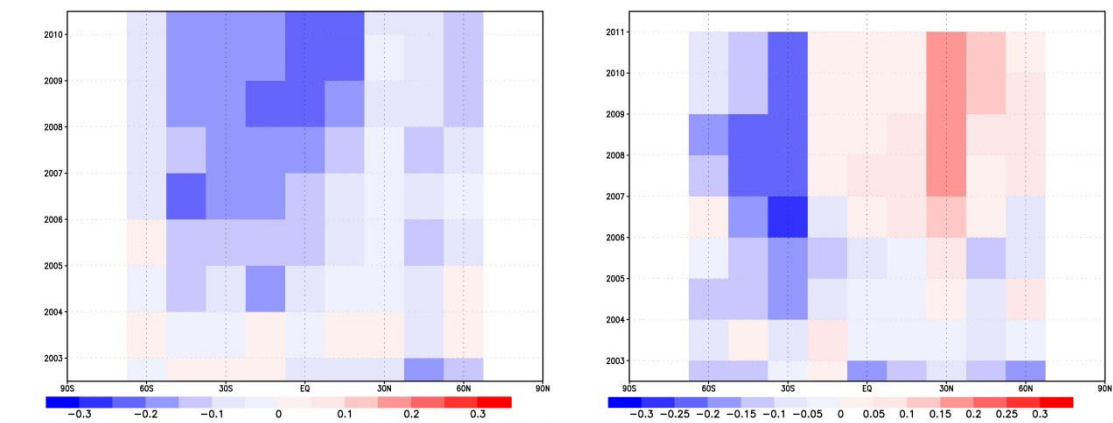


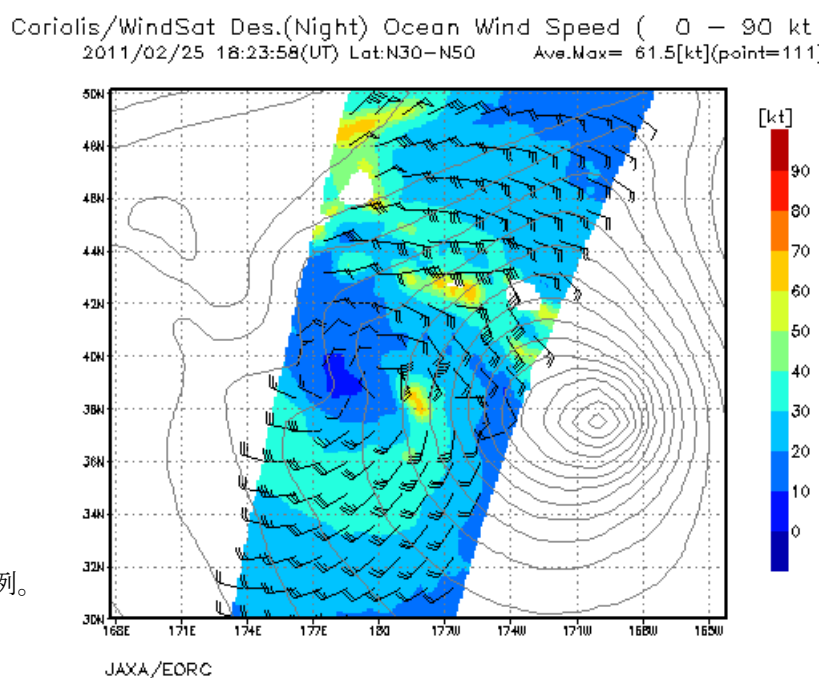
図1 経年に対するL1B/6GHz垂直偏波に対する補正量。横軸は緯度、縦軸は年である。左が上昇軌道、右が下降軌道である。

上記AMSR/AMSR-Eアルゴリズムを元に、米国海軍衛星WindSatから全天候風速、及び海上風ベクトルを算出するアルゴリズムを開発した。WindSat海上風データに関しては、Quickscat/SeaWindsが2009年11月に停止したことにより、他衛星の海上風データの需要が増えたことから、アルゴリズム

開発を進めた。全天候風速データは、主に台風・ハリケーンを対象にしたもので、AMSR-Eだけでは観測幅が不十分のため、WindSatを追加した。平成21年度に、大枠を作成し、平成22年度に6/10GHzの空間マッチングなどの改良を行った。

海上風ベクトルは、WindSat の19GHz 第3・4パラメータを使って、風向を算出するもので、新たに開発した。散乱計海上風ベクトルと比較すると、6-7m/s以下で風向のデータがないこと、降水域で風速・風向のデータがないことが弱点である。さらに、SeaWindsと比較すると、観測幅が狭くなっている(1800Km → 1200Km)。MSSにより、WindSatデータから準リアルタイムに海上風ベクトルを算出し、ホームページに掲載・ftpサイトに保存する仕組みを作っても貰った。図2はその一例である。

図2 WindSat海上風ベクトルの例。
気圧も表示してある。



GCOM-W1のアルゴリズムは、AMSR/AMSR-Eアルゴリズムを元に、RESTECが書き換えを行い、正常に動くことを確認した。

3. 平成23年度の予定

(GCOM-W1/AMSR-2について)

輝度温度・入射角・スキャンバイアスについて、AMSR-Eと相互比較しながらAMSR2データを評価する。AMSR2アルゴリズムの中の係数を調整する。

(海上風データについて)

AMSR-E/WindSatの全天候海上風速について、気象庁の精度解析を元に、アルゴリズムの調整を行う。WindSat海上ベクトルについて、気象庁の精度解析を元に、アルゴリズムの調整を行う。

4.4 サブミリ波放射計による雲氷観測

上沢 大作

1. はじめに

衛星搭載サブミリ波放射計はSSM/IやAMSR-Eを代表とする従来型のマイクロ波放射計からの自然な発展のひとつと考えられる。分光観測をするのでなければ、サブミリ波帯は（本報告では概ね百数十GHzから数百GHzとする）水蒸気や雲氷の観測に有効な帯域とされる。特に雲氷については気候モデル間のばらつきが非常に大きく、気候変動予測の信頼性を高めるために精度良い観測データが求められている。

本報告では、サブミリ波放射計による雲氷観測の可能性を確認した昨年度の報告に引き続き、既存の衛星による雲氷観測との比較によりサブミリ波放射計による雲氷観測の特徴を示す。

2. サブミリ波放射計と既存の雲氷観測の比較

衛星搭載サブミリ波放射計と可視赤外放射計の観測をシミュレートして比較を行った。放射シミュレーターにはSDSU（Satellite Data Simulator Unit、Masunaga et al. 2010）を利用した。雲降水（および気温・水蒸気）プロファイルとしてGoddard Cumulus Ensembleモデルによる熱帯スコールラインのシミュレーション結果を利用した。雲降水粒子のカテゴリーは雲粒・雨粒・氷晶・雪・あられの5種類である。これらの光学特性を決める粒径分布等はSDSUデフォルト値とした。地表面は海を仮定している。

シミュレーション結果の一例を図1に示す。中央上段のモデル雲氷量（ここでは氷粒子全種類の鉛直カラム総量）、中央下段のモデル雲氷量（高度14km以上の部分カラム量）と比較すると、サブミリ波輝度温度（左上：220GHz、左下：664GHz、ともに晴天輝度温度からの差分）は雲氷量の水平分布をよく捉えていることが分かる。可視反射率（右上：645nm）は雲氷の情報を含んでいるが、水と氷の識別が必要になるなど定量的な算出は原理的に難しい。巻雲観測に昔から使われる赤外スプリットウインドウ（右下：11 μ mと12 μ mの輝度温度差分）は薄い氷雲に対して有効であるが、厚い氷雲に対しては飽和してしまう。これらの結果より、可視赤外では困難な厚い対流雲や上層雲（アンビル）でもサブミリ波放射計によって雲氷量（氷のカラム量）の2次元分布が得られることが分かる。薄い上層雲は高周波サブミリ波（左下：664GHz）と赤外（右下）でカバーすることが可能である。

また、氷晶だけからなる上層雲について、サブミリ波放射計と雲レーダーの簡単なシミュレーション比較を行った（表1）。サブミリ波放射計の場合、輝度温度絶対値でなく晴天輝度温度からの差分が雲氷量と関係するため、晴天輝度温度のシミュレーション誤差を考慮する必要がある。コンサバティブに見積もると、サブミリ波放射計による上層雲の検出限界は雲レーダーと同程度である。

3. まとめ

シミュレーターを用いた比較によってサブミリ波放射計による雲氷観測の特徴が明瞭になった。第一に、鉛直カラム量の水平分布が得られる。雲レーダー等アクティブセンサによって得られる1次元鉛直分布と相互補完的である。第二に、定量的により正確な情報が得られる。赤外では原理的

に見えない厚い氷雲でも観測可能である。

A-TrainやEarthCAREのコンセプトを参考にすれば、サブミリ波放射計を使った観測ミッションは、可視赤外放射計（薄い巻雲）や雲レーダー等（鉛直観測）との同時観測で雲の総合的観測を目指した方がリターンが大きいと考える。さらに、マイクロ波放射計を併用すれば雲降水システムにおける降水から上層の氷晶まで同時に捉えることが可能になる。複合センサによるシナジーの具体化に向けた検討が今後の課題である。

参考文献

Masunaga, Hirohiko, and Coauthors, 2010: Satellite Data Simulator Unit: A Multisensor, Multispectral Satellite Simulator Package. Bull. Amer. Meteor. Soc., 91, 1625–1632.

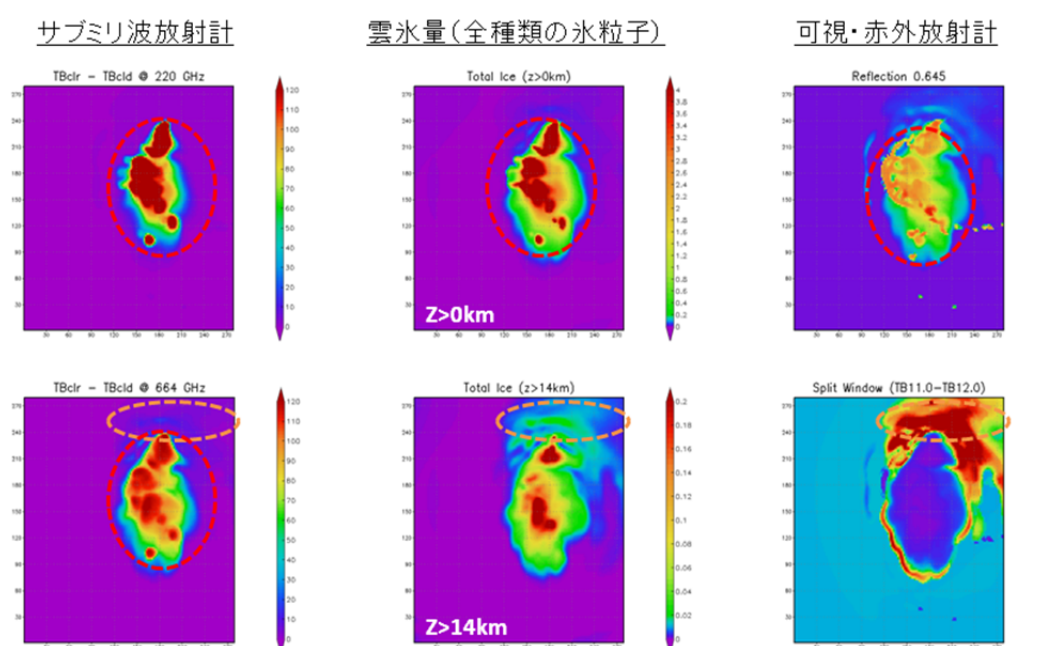


図1：モデルによる熱帯スコールラインのシミュレーション結果にSDSUによる放射伝達計算を適用し、サブミリ波輝度温度（左上：220GHz、左下：664GHz、ともに晴天輝度温度からの差分）、可視反射率（右上：645nm）、および赤外スプリットウィンドウ（右下：11 μ mと12 μ mの輝度温度差分）を求めたもの。中央上段はモデルの雲氷量（ここでは全種類の氷粒子の鉛直カラム総量）、中央下段はモデルの雲氷量（高度14km以上の部分カラム量）。

表 1 : 熱帯標準大気に氷雲（雲頂高度15km、厚さ1km）を挿入した場合の、 ΔTB （晴天輝度温度からの差分、サブミリ波）およびZ（レーダー反射因子、雲レーダー）の雲氷量IWPに対する変化。氷粒子の粒径分布は中央値100 μm のガンマ分布を仮定して計算。 $\Delta TB > 5\text{K}$ （コンサバティブな値）、 $Z > -28\text{dBZ}$ （CloudSatの検出限界）を満たす場合に色を付けた。

IWP		1	5	10	50	100	[g/m ²]
Radiometer ΔTB	220	0.01	0.06	0.12	0.59	1.18	[K]
	243.2	0.02	0.09	0.17	0.85	1.70	
	280	0.03	0.14	0.28	1.42	2.82	
	344	0.06	0.30	0.59	2.92	5.77	
	462.4	0.16	0.79	1.58	7.68	14.85	
	642.9	0.45	2.21	4.37	20.25	37.02	
	664	0.49	2.44	4.82	22.15	40.19	
	683	0.53	2.63	5.20	23.74	42.78	
	874.4	1.02	5.01	9.79	41.44	69.23	[dBZ]
Radar Z	94	-30.07	-23.08	-20.07	-13.08	-10.07	
Frequency [GHz]							

4.5 GCOM-W1陸面プロダクトの開発

藤井 秀幸

1. はじめに

陸域地表面の水文量は、大気との相互作用を通して気候の季節変化や年々変動に深く関与している。とりわけ、積雪や土壌水分などの陸面水文量は、地表面の熱収支と密接に関連するうえ、気候メモリーとしての役割を担うために中・長期的な水循環変動においても重要となる。一方、衛星マイクロ波リモートセンシングの観点からみると、積雪や土壌水分は地表面放射を決定する主要な因子であり、多周波・多偏波観測データを用いて推定することが可能である。

GCOM-W1/AMSR2では、AMSR・AMSR-Eに引き続き、積雪と土壌水分が標準プロダクトとして定義されている。今年度は、AMSR2の標準アルゴリズムの選定と検証方法の検討を行った。さらに、利用推進を図るためにAMSR-E土壌水分プロダクトを用いた応用研究を行った。ここではAMSR-Eによる大規模耕作地の土壌水分モニタリングについて報告する。また、アルゴリズム研究の一環として、AMSR-E土壌水分アルゴリズム問題点の把握と、その改善にも取り組んだ。

2. AMSR2積雪・土壌水分の標準アルゴリズムの選定と検証方法の検討

AMSR2陸面分野PIグループと連携し、積雪と土壌水分、それぞれ3つの候補から標準アルゴリズムの選定を行った。図1に選定の流れを示す。PIグループは、アルゴリズム開発と、比較結果に関する議論と提言のとりまとめを担当し、EORCは、アルゴリズム開発のためのマッチアップデータセットの作成、比較資料作成を担当した。比較では、これまでに取得されたAMSR-Eの輝度温度データを用い、次の2つの観点から地上データと物理量推定結果の比較を行った。

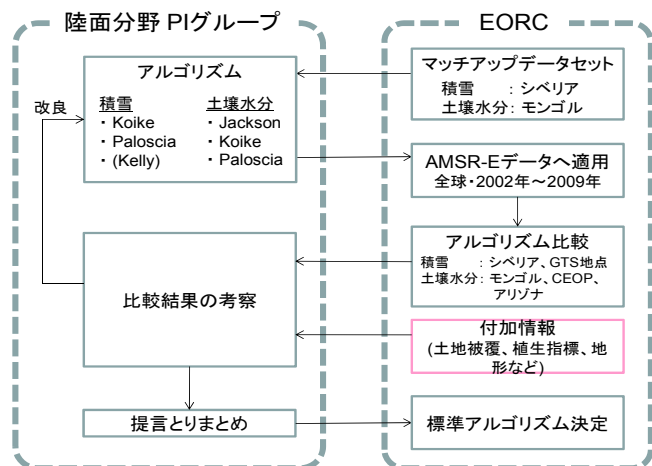


図1：標準アルゴリズム選定の流れ

- 1) 面的な検証：フットプリントスケール内に複数の観測点を有するサイトにおける検証。
- 2) 全球適用性の確認：点の観測データによる様々な地表面状態における検証。

さらに、積雪では、積雪の有無の判定も重要であるため、MODISデータから推定された積雪域プロダクトとの比較を行った。これらの比較結果とともに、別途作成した土地被覆状態などの付加情報をPIへ提供することによって、比較結果の効率的な議論と各PIによるアルゴリズムの改善に利用された。なお、アルゴリズム選定において用いた地上データとの比較方法は、AMSR2検証計画へ反映する予定である。

3. AMSR-Eによる大規模耕作地の土壌水分モニタリング

マイクロ波放射計観測の特長は、高頻度で定常的にデータを取得可能なことであり、AMSR-Eは

既に8年以上のデータが蓄積されている。このような利点を活用した研究事例として、海外の大規模耕作地における土壌水分のモニタリング結果について報告する。

図2は、オーストラリアにおける冬コムギ生産高(2002年～2009年)と耕作地の土壌水分の年々の変動(2002年～2010年)である。土壌水分は冬コムギの生育に重要な9月～10月の2カ月間の平均値を示した。農業分野では行政区分ごとに集計されることが多いため、土壌水分も州別に平均値を算出した。図中のそれぞれの線が西オーストラリア(WA)、ニューサウスウェルズ州(NSW)、南オーストラリア(SA)を示す。オーストラリアでは天水耕作地が多いため、生育時期の土壌水分の変動が冬コムギの生産高に直接影響を及ぼす。図2においても、両者の変動傾向が良く一致していることが分かる。このような大規模耕作地帯の土壌水分モニタリングは、近年頻度が増している干ばつの状況把握のために有効な手段であり、今年度は、対象慮域を拡大して、中国、アルゼンチン、米国の耕作地のモニタリングシステムの試作を行った。

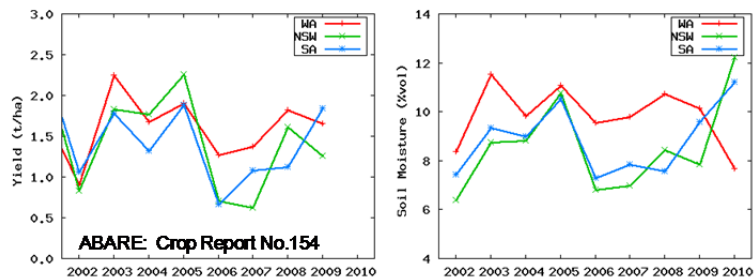


図2：オーストラリアにおける州別の冬コムギ収穫高(左)と穀倉地帯の9月～10月の平均土壌水分の変化(右)

4. 土壌水分アルゴリズムの問題点の検討と改良

前節の耕作地帯における土壌水分モニタリングでは、干ばつ時などの極度に乾燥した条件下でも十分な精度が確保されることが肝要である。しかし、現行のAMSR-E標準プロダクトの土壌水分は極度に乾燥した条件において過大推定になる傾向が強く、改善が必要である。そこで、まず過大推定となる条件を精査して、乾燥時にマイクロ波の侵入深さが増すことにより地表面付近の地温の勾配が推定精度に影響することを指摘し、温度勾配を考慮した土壌水分アルゴリズムの改良を行った。図3にモンゴル検証サイトにおける土壌水分の推定結果を示す。現行プロダクト(青)は、冬期の乾燥したときに地上データ(灰色)と比較してやや湿った値を示しているが、アルゴリズム改良後(赤)では、より地上データに近い値を示している。この検討結果を踏まえ、今後、AMSR-E土壌水分アルゴリズムPIと連携し、プロダクト改善に努める必要がある。

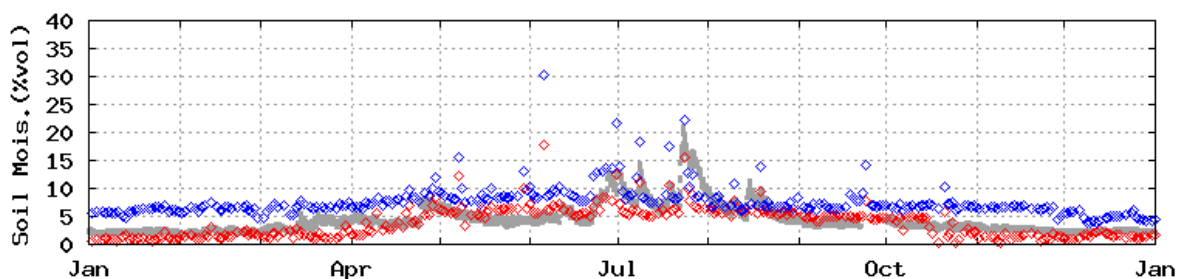


図3：モンゴル検証サイトにおける改良前後の土壌水分推定結果の比較。

灰色：地上データ、赤：改良後、青：改良前(現行)。

比較期間は2006年1年間。

4.6 マイクロ波放射計から観測される輝度温度を用いた海水厚推定

直木 和弘

1. はじめに

2007年9月に、北半球（北極海）の海水面積が1978年の観測以来最も減少した。その後、2008年2009年と最小面積は増加傾向にあったが、2010年には、再び観測史上3番目の最小面積となった。また2010年5月の海水面積は、観測以来最小となった。このような、海水の変動要因解明の研究は、大気と海洋の両面から進められている。海水は、海流や風の影響を受け移動しやすく、広域にわたり存在するために人工衛星による観測が有効である。海水は面積と厚さの変動である。これまでの衛星を用いた海水研究は面積に関する研究が主であった。しかし、現在では、海水の厚さを推定する手法も開発されており検証が進められている。厚さ情報の中でも薄氷域は、大気海洋間の熱輸送や、海水生成時のブラインの析出による海洋の熱塩循環にとって重要である。また、海水面積を推定するために用いられる海水密度推定アルゴリズムにおいて氷縁やポリニア領域など薄い海水が存在する領域は推定精度が低くなる。

衛星から推定された海水情報の検証方法は、1) 海水上で直接観測する方法、2) 船に設置した可視カメラや各種センサによって観測する方法、3) 航空機から各種センサを用いて観測する方法、4) ブイや潜水艦から観測する方法などがある。船や航空機、潜水艦、ソナーによる観測は直接観測ではないが、衛星データを検証するためには、海水の詳細な情報が取得でき、重要な情報となる。しかし、これらの観測は、陸域での観測とは異なり観測を実施するために砕氷船や潜水艦が必要であるため観測機会に制限が多い。特に薄い海水域は安全上の問題から観測データが特に少ない。

そこで、今年度は昨年度から継続し、特に薄い海水域の比較のために可視域のデータを用いる方法を確立することを目的とし研究を行った。解析は、AMSR-Eの輝度温度および放射率をMODISの反射率の比較を行った。また、株式会社ウェザーニューズと「衛星データを用いた北極海航路予測モデルの検証」に関して共同研究を実施しており、この中で開放水面を分類するための最適反射率を解析した。

2. 解析方法

薄氷域の反射率の有効性を明らかにするために、AMSR-Eの輝度温度および放射率と同じ衛星に搭載されているAQUA/MODISの250m分解能であるBand1 (0.62 ~ 0.67 μm)、Band2(0.841~0.876 μm)の大気上端の反射率を比較した。比較対象領域は2003年から2007年までのオホーツク海の雲のない領域とした。比較はMODIS17シーンであった。AMSR-Eは、まず18GHzの輝度温度と密度度から海水の輝度温度を計算し比較した。次に6GHzから推定された海水表面温度を用いて海水の放射率を求め比較した。最後に現在用いている海水厚さ分類手法の10cmの境界値である放射率0.76および20cmの境界値である0.84における反射率と放射率の比較を行った。

また、可視域の海水の反射率を抽出するために、海水水面と海水の境界反射率を解析した。解析は2010年3月10日にアニア湾にて撮影された氷況写真を元に海水の存在を確認しその後、MODISの各バンドの開放水面と新生氷の閾値を求めた。

3. 結果・考察

輝度温度と反射率の関係は、輝度温度が低い領域では反射率が低く、輝度温度の上昇に伴い反射率が高くなった。両者は線形関係であった。また、輝度温度が低い領域では反射率の分布が小さく、輝度温度が高い領域では分布が大きくなった。これは輝度温度が高い領域では海氷上に積雪が存在しており積雪の影響を受け反射率が多い値となったと考えられる。これらの関係は、解析に用いたすべての画像で同様な関係が得られた。

放射率と反射率の関係は、輝度温度との関係と同様に正の線形関係となった(図1)。さらに、輝度温度との関係と比較したときに両者の関係は強くなった。オホーツク海は、いろいろな海氷タイプが混在している領域と考えられ放射率を求めることで海氷表面温度の影響が低減されているためだと考えられる。

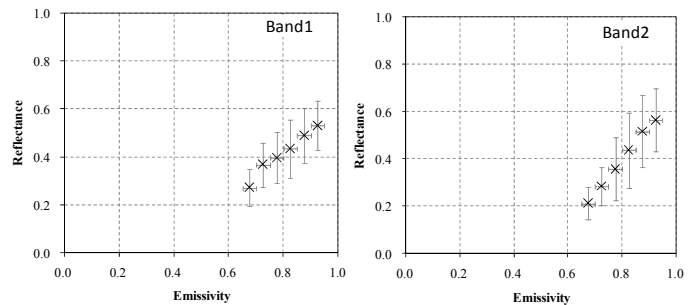


図1 放射率と反射率の比較

現在用いている海氷厚分類方法での10cmの境界値である放射率0.76、20cmの境界値である 0.84 における反射率の比較では、実測データの比較から10cm以下の領域では両者がよい一致が得られた(図2)。20cmの境界値では、今回の解析ではよい一致は得られなかった。これまでの結果でも輝度温度が高い領域では、反射率の分布が大きく積雪の影響が強いため積雪下の海氷の情報が抽出できていないと考えられる。これらのことから、可視域との薄氷域の比較は、10cm以下の領域では有効であることが分かった。次に、可視域における開放水面と新生氷の閾値を解析した結果、Band1では0.09、Band2では0.05であった。

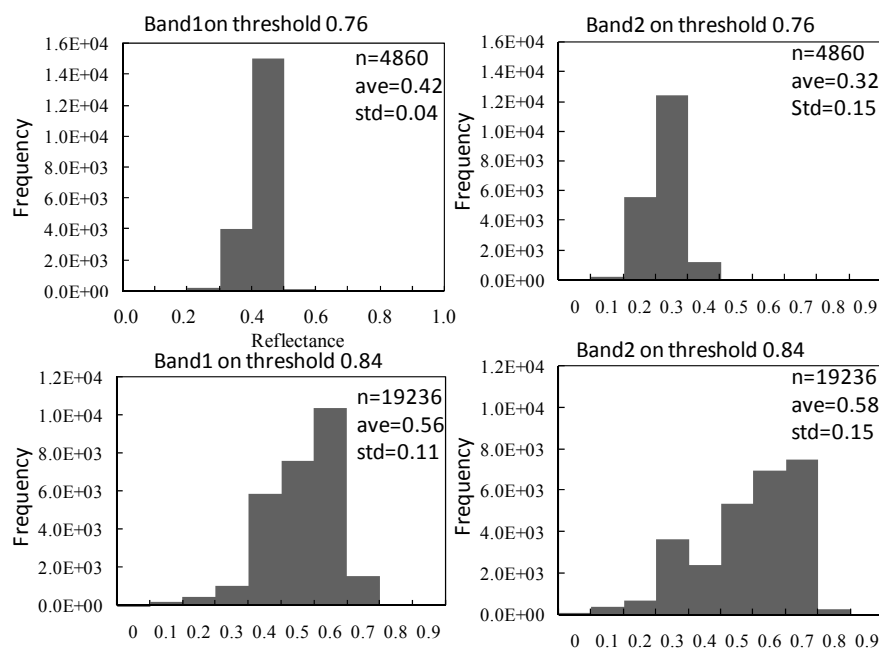


図2 海氷厚10cm・20cmの境界における反射率の分布

4. まとめ

マイクロ波放射計から観測された輝度温度から薄い海氷の厚さを推定するために、これまでに観測結果を元に分類する手法を開発してきた。薄氷域における推定結果の検証は、現場観測が困難である。そのためにMODISの可視(Band1)・近赤外(Band2)域データを用いた。特に薄氷域の特徴を明らかにし、推定結果の検証方法を確立することを目的とし解析した。その結果、AMSR-Eの輝度温度および放射率は反射率と、正の相関関係があり、このことから輝度温度（放射率）が低い領域は薄氷域であり、同時に反射率の低い領域も薄氷域であることが示された。これらは、これまでの観測結果を支持する結果となった。また、10cmの境界における反射率の分布は両バンド共に観測結果と比較したときにyoung grey ice (10~15cm)とよい一致となった、しかし20cm の境界では異なった。これらのことから10cm以下の海氷域の比較は、マイクロ波放射計および可視・近赤外域の反射率の比較が有効であることが分かった。また、開放水面と新生氷の各バンドの境界は、0.09と0.05であることが分かった。

4.7 中・高空間分解能の大気上端輝度データを用いた海洋大気補正と水中光学特性の推定

村上 浩

1. はじめに

気候変動観測ミッション（GCOM-C）の2014年度の打ち上げに向けたアルゴリズムの基本性能開発フェーズとして、現在EORC/GCOM利用研究グループでは、JAXA担当アルゴリズム（PAR、クロロフィルa濃度（CHL）、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、長期変動検出のための課題抽出等を実施している。このうち、沿岸域において従来よりも細かい250m解像度で実施するCHL（海色）推定に置いては、陸タイプエアロゾル補正、海面反射補正、水中光学特性推定アルゴリズムの改良と、そのために効果的な基礎データの収集が重要となっている。本研究では、昨年度までに研究を行ってきた海面反射の高解像度補正に加え、近年研究が進んでいる海水固有光学特性（Inherent Optical Properties, IOP）の手法を応用し、MODIS（500m解像度Level-1Bデータ）とAVNIR-2の大気上端輝度データについて大気補正と水中光学特性（すなわちIOP）推定を試みた。

2. 解析領域

ニューカレドニア環礁（22,177 km²、平均深度25m）は熱帯太平洋南西部に位置し、環礁の狭い隙間で太平洋と接している（図1参照）。環礁外部は低CHL海域で、環礁内部から沿岸にかけては陸の影響を受けて中～高CHLとなる。従来のCHLアルゴリズム（青/緑比による推定）では環礁内外共に合わないことが報告されている(Dupouy et al., 2010)。この海域で2006-2010にVALHYSAT projectによる水中光学・生物観測が行われており、本研究はGCOM-C1の協力研究者の一人であるCécile Dupouy（IRD, New Caledonia, France）提供の現場データを利用し、衛星による水中光学特性推定法の開発・検証を行った。

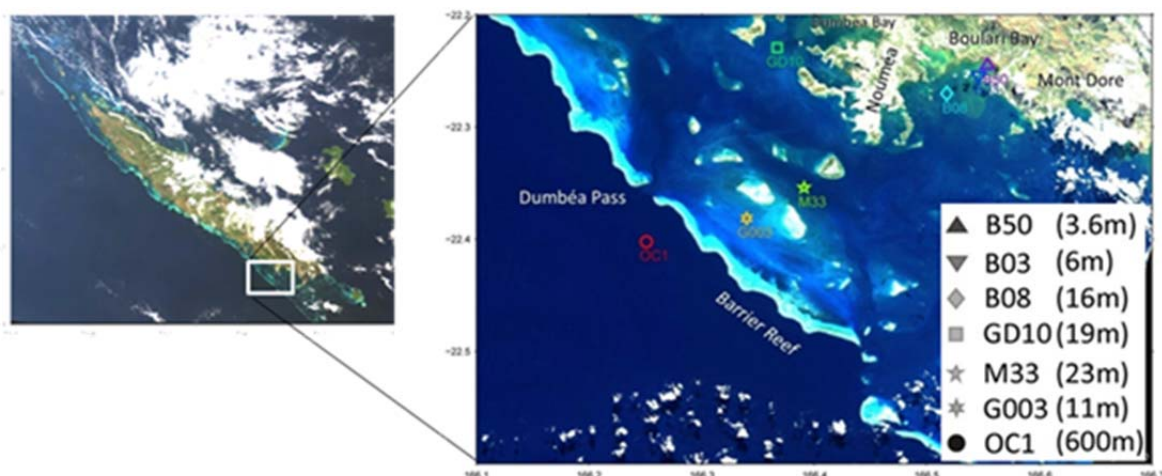


図1 本研究におけるNew Caledonia解析海域とVALHYSAT観測サイト

3. 手法

先ずMODISの500mデータ (B1, B2, B3, B4: $\lambda = 646\text{nm}, 857\text{nm}, 466\text{nm}, 554\text{nm}$) やAVNIR-2の30m解像度 (ノイズ軽減のため10mデータから平均化) 大気上端輝度データを用意し、大気分子散乱と透過率 T_r を補正した反射率 ρ_{t-r} を作成する。各波長の ρ_{t-r} を、エアロゾルによる散乱増加分 ρ_a (エアロゾル光学的厚さ τ_a と種類 M に依存)、海面反射 ρ_g 、白波 ρ_{wc} 、海水射出反射率 ρ_w で表わすと以下のようになる。

$$\rho_{t-r} = [\rho_a(\tau_a, M) + t(\tau_a, M) \times \rho_g + T(\tau_a, M) \times \rho_{wc}] / T_r + T(\tau_a, M) / T_r \times \rho_w$$

ここで透過率 $T(\tau_a, M) / T_r \cong 1$ 、エアロゾル波長特性 $[.] \cong \rho_{ag857\text{nm}} \times (\lambda / 857\text{nm})^\alpha$ と近似すると以下のよう表わせる。

$$\rho_{t-r} \cong \rho_{ag857} \times (\lambda / 857\text{nm})^\alpha + \rho_w$$

Gordon et al., 1988 より、 ρ_w を吸収・散乱係数で表すと以下となる。

$$\rho_w = \pi \times 0.564 \times r_{rs}$$

$$r_{rs} = 0.0949u + 0.0794u^2$$

$$u = b_b / (b_b + a)$$

$$a = a_w + a_{pg}, \quad b_b = b_{bw} + b_{bp}$$

$$a_{pg}(\lambda) = a_{pg442} \times (2/3 \times a_{ph}^*(\lambda) + 1/3 \times \exp(S \times (\lambda - 442\text{nm})))$$

$$b_{bp}(\lambda) = b_{bp442} \times (\lambda / 442\text{nm})^Y,$$

$$a_w(\lambda), b_{bw}(\lambda): \text{Pope and Fry, 1997}$$

a_{pg} は植物プランクトン吸収 a_{ph} と CDOM+デトリタス吸収 a_{dg} の和、 $(\lambda / 442\text{nm})^Y$ は後方散乱係数の基本スペクトルである。ここで用いた係数 $S = -0.010$, $Y = -1.4$ と $a_{ph}^*(\lambda)$ (442nm で 1.0 に規格化した $a_{ph}(\lambda)$) は VALHYSAT 観測による平均的な値 (B1~4: 0.0967, 0.0, 0.8216, 0.2027) に設定した (図2 参照)。

4つの未知数 (エアロゾル反射率 ρ_{ag857} と波長勾配 α 、442nm での水以外の吸収 a_{pg442} と散乱 b_{bp442}) は、衛星からの ρ_{t-r} と、単純化した行列逆演算法 (Lyon and Hoge, 2006) による B3 と B4 の r_{rs} からの IOP、IOP からの B1, B2, B4 の ρ_w 、の繰り返し演算によって推定することができる (α の推定で補助的に B7: 2114nm も利用)。ここで一連の処理は 1000×1000 画素あたり 30 秒程度で行うことができる。

4. 結果

IOP 推定を行うことにより、従来の CHL だけでなく、散乱、吸収を分けて推定することができる。図3や図4のように、吸収係数 a_{pg} は散乱係数 b_{bp} に比べて比較的外洋に広く広がっている。大きな後方散乱をもたらす陸からの懸濁物質が CHL よりも沿岸周辺に集中しやすいことを考えると妥当な分布である。また、 b_{bp} の画像では浅い環礁内で大きな値を示しているが、これは環礁内での懸濁物質の巻き上げと共に、海底の反射光による誤差が含まれていると考えられる。

現場観測データとの比較 (図5) を見ると、浅い海底の影響で a_{pg442} と b_{bp442} 共に過大見積りの場合があるが、それ以外では良い相関を示している。

ここで推定した a_{pg442} と CHL との相関は良いことから、 a_{pg442} から一次式で換算した CHL は従来のアルゴリズムよりも現場 CHL と良い一致を示していた (図6)。

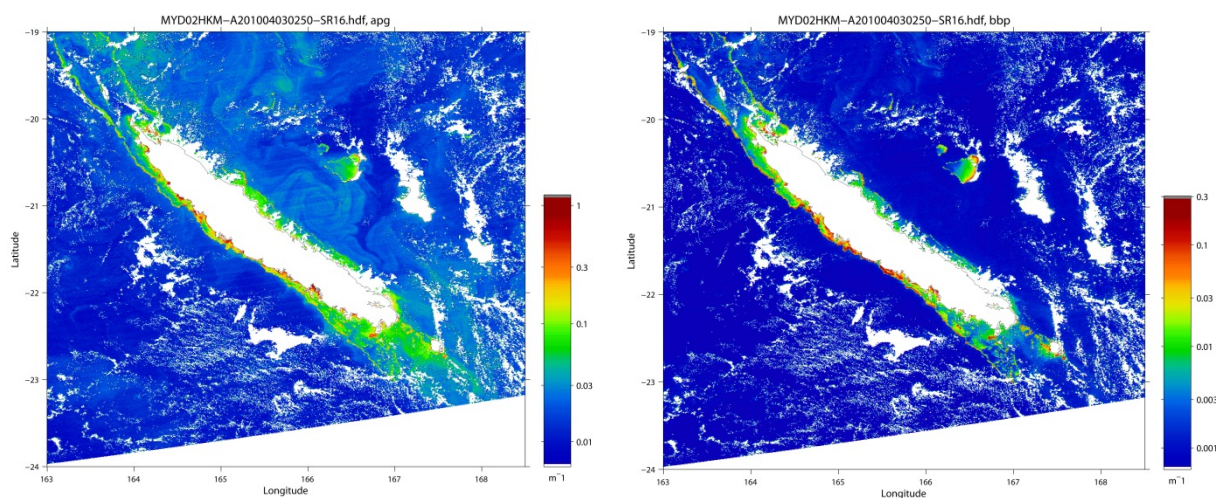


図3 MODIS 500mデータによる推定 a_{pg} (左)、 b_{bp} (右) の例 (2010年4月3日)

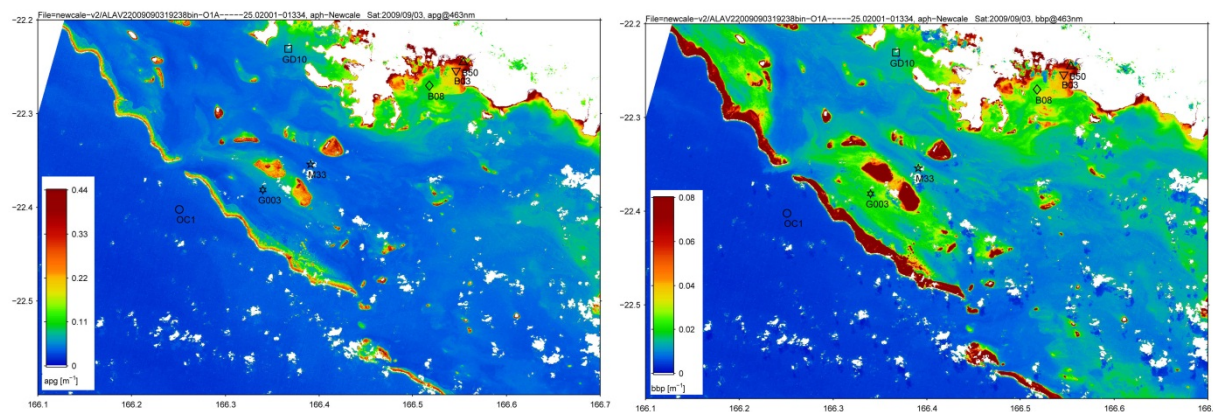


図4 AVNIR-2 30m平均データによる推定 a_{pg} (左)、 b_{bp} (右) の例 (2010年9月3日)

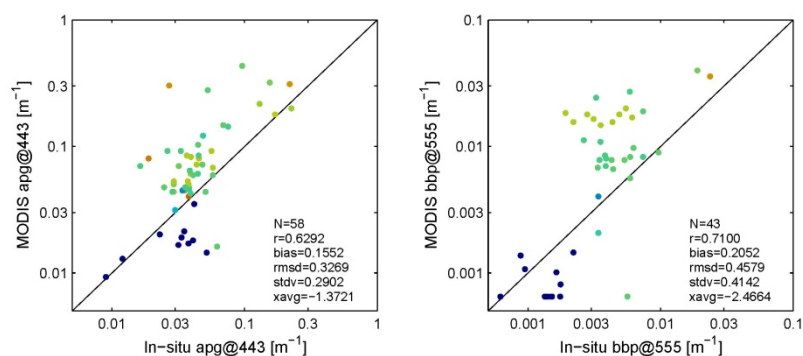


図5 apg_{443} と bbp_{555} のMODISからの推定値 (Y軸) とVALHYSAT現場データ (X軸) との比較。
暖色系の色の点程水深が浅いことを示す。

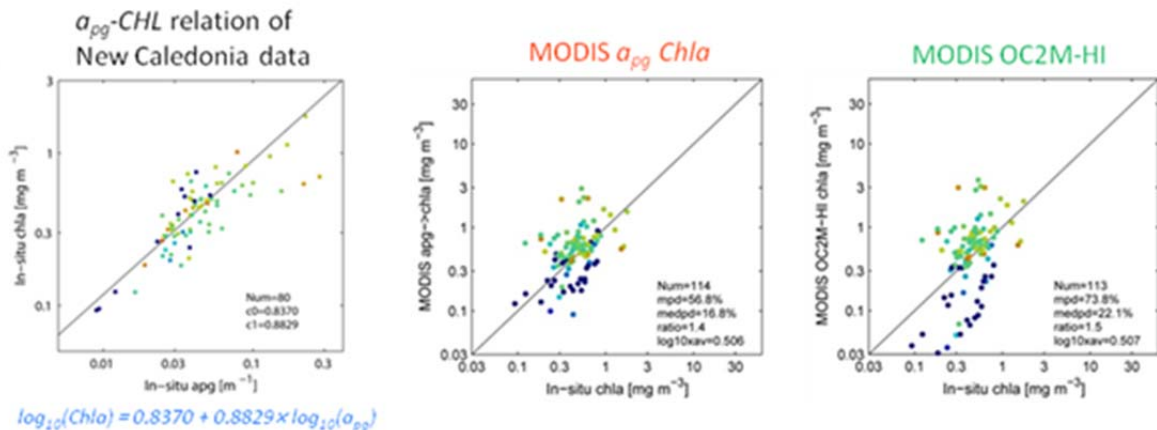


図6 現場での吸収係数 a_{pg442} とクロロフィルa濃度CHLとの関係（左）、衛星 a_{pg442} から換算したCHLと現場CHLとの比較（中）、従来の青/緑比で推定したCHLと現場CHLとの比較（右）

5. 結論とまとめ

本研究のようなIOP推定法によって、少なくとも吸収・散乱成分の分離が可能であり、本解析海域のような沿岸では従来の青/緑比よりも a_{pg} を用いることで、CHL推定精度を向上できる可能性があることが分かった。また、IOP推定で用いる基本スペクトルを変化させると、現場観測との比較精度が大きく変わることから（紙面上ここでは示さない）、基本スペクトルの妥当性がIOPやそれから推定されるCHLなどの精度を決めることが分かった。

本研究では波長バンドが限られているMODISの500mデータやAVNIR-2データを用いたが、植物プランクトンとCDOMの吸収の区別、植物プランクトンの識別にはもっとチャンネル（特に紫～青）が必要である。また、エアロゾル波長勾配の高精度化や海面反射の分離には近赤外-短波長赤外に3チャンネル以上持つことが効果的である。GCOM-Cでは近紫外から青に380nm, 412nm, 443nm, 490nm、赤～短波長赤外に868.5nm, 1050nm, 1640nm, 2210nmのバンドを持っており、より高精度の水中光学特性やエアロゾルの推定が期待される。

本研究を通じ、各海域で特徴を持つ基本スペクトルの整備が重要であることが示された。GCOM-C1で様々な沿岸での水中特性の推定を可能とするため、PIグループと連携しながら現場基礎データを効果的に収集していく必要がある。また、本研究では海洋性エアロゾルが優先する南半球のニューカレドニア海域を対象として解析したが、今後はエアロゾル補正がより困難な日本周辺での検討や、全球への適応性の確認と改善を行っていく計画である。

参考文献

- 1) Dupouy et al., "Monitoring Optical Properties of the Southwest Tropical Pacific", Proc. SPIE 7858, 78580J, (2010)
- 2) Gordon, H.R., et al., "A semi-analytic radiance model of ocean color", J. Geophys. Res., 93 (D9),

10909–10924, (1988).

3) Pope, R.M. and Fry, E.S., "Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water. II. Integrating cavity measurements," Appl. Opt.,36, 8710-8723, (1997).

4) Lyon, P., and Hoge, F., "The Linear Matrix Inversion Algorithm", Chap. 7 of IOCCG Report Number 5, Ed. by Z. Lee (2006).

関連する外部発表

1) Hiroshi Murakami and Cécile Dupouy, "Coastal ocean atmospheric correction for AVNIR-2 high resolution images", Proc. SPIE 7858, 785802 (2010); doi:10.1117/12.869512.

2) 村上浩・Cécile Dupouy, "500m 解像度MODIS 大気上端輝度データを用いたニューカレドニア周辺海域の水中光学特性の推定", 2011年度日本海洋学会春季大会, 2011年3月24日

4.8 JASMES積雪分布プロダクトの開発と検証

堀 雅裕

1. はじめに

宇宙航空研究開発機構（以下、JAXA）では、米国航空宇宙局（NASA）の地球環境観測衛星TERRAおよびAQUAに搭載されている中分解能撮像分光放射計（MODIS）が観測した日本周辺域のデータを、2004年6月28日以降、鳩山の地球観測センター（EOC）にて受信・処理し、主に海洋・漁業関係者向けのプロダクトの公開を行ってきた¹⁾。2008年11月からは、地球環境変動監視webサイト（JASMES）²⁾を立ち上げ、半月単位で作成した積雪分布（および光合成有効放射量）のブラウザ画像およびバイナリデータの公開を開始した。昨年度（2009年）は、積雪分布をさらに湿雪と乾雪に分類する処理を新たに追加するとともに、同様の処理を全球版にも拡張し、同サイトにて2009年12月より公開を開始した。本JASMESサイトにて公開されている積雪プロダクトは、GCOM-C1/SGLIによる雪氷関連プロダクトの試作版、また打ち上げ当初に品質を評価する際のベースマップとしての役割を担う。また、長期13年間のGCOM-C1プロダクトに接続するとともに、過去へはNOAA/AVHRRデータを用いたプロダクトともつなげ、半世紀規模の長期気候変動解析に資する衛星データセットの構築を目指すものである。本年度は、地上気象観測ネットワーク（AMEDAS）のデータを用いてJASMES積雪分布プロダクトの積雪検知精度の検証を実施したので、その結果をご報告する。

2. JASMES積雪分布プロダクトの概要

積雪分布プロダクトの日本版領域は、日本列島を含む24-49° N, 123-148° Eの範囲で、空間分解能は500m、また全球版は、90° N-90° S, 0-360° の範囲を等緯度経度格子で配列した5km分解能のデータである。まず、1日当り午前・午後軌道の2回（TERRA+AQUA）の日照側観測データを1日単位で合成し、雲域および積雪域（乾雪・湿雪）を識別したDailyフラグを作成する。次に、半月間（各月の1-15日、16日-月末最終日）のDailyフラグを参照し、積雪域として1日以上かつ晴天域として3日以上以上の観測機会を記録した画素をその半月間の「High Conf.」、晴天域3日未満の画素を「Low Conf.」と定義し、HLFMONフラグを作成した。その際、半月間の全積雪機会に占める湿雪の割合が5割を超えるものを湿雪、超えないものを乾雪に分類した。最後に、各月の前半・後半の2つのHLFMONフラグを参照し、Very High Conf. - Low Conf.までの4段階のConfidenceレベルおよび乾雪-乾・湿混合-湿雪の3段階の雪質レベルの積雪域を定義し、月単位の積雪分布（MONTHLYフラグ）を作成した。公開されているデータは、半月および1ヶ月単位で作成される上記のHLFMON、MONTHLYフラグ（バイナリ）である。図1は、2010年3月前半の積雪分布の解析例を、また図2は、1月後半に見られた全積雪機会に占める乾雪頻度割合を示している。積雪の乾湿情報は、アルベドや融雪水の見積り等気候・水文学的に大変重要である。

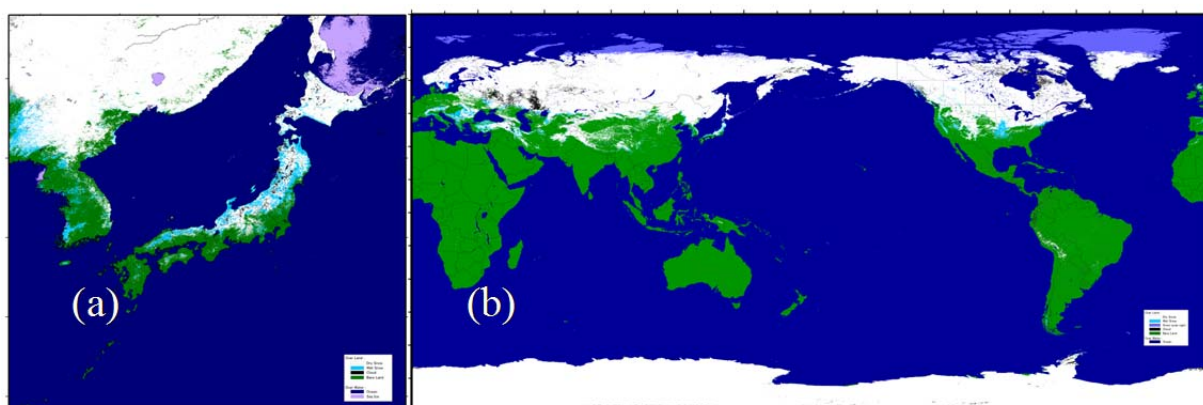


図1 MODISデータから抽出された2011年2月前半の(a)日本周辺域（500m分解能）
および (b)全球（5km分解能）の積雪分布（白色は乾雪、水色は湿雪を示す）

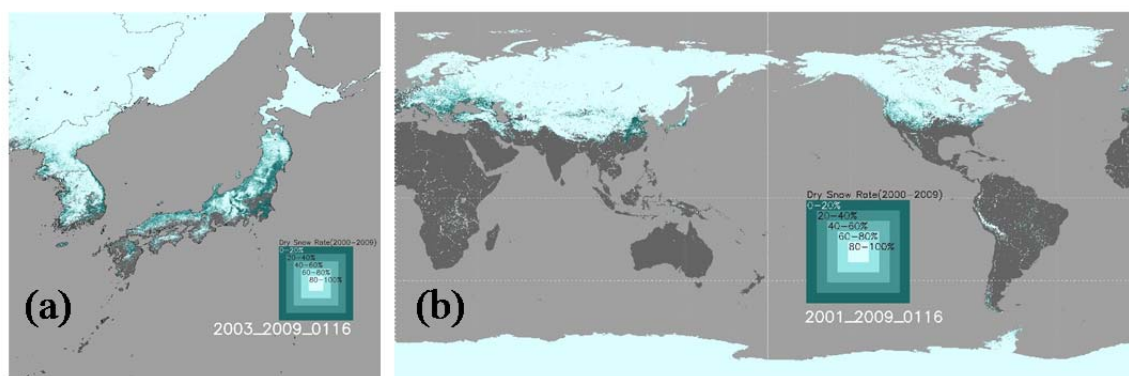


図2 MODISデータから抽出した1月後半の (a) 日本付近および(b)全球の積雪機会に占める乾雪
の頻度割合（明るいほど乾雪の頻度が高く、暗いほど湿雪頻度が高いことを示す）

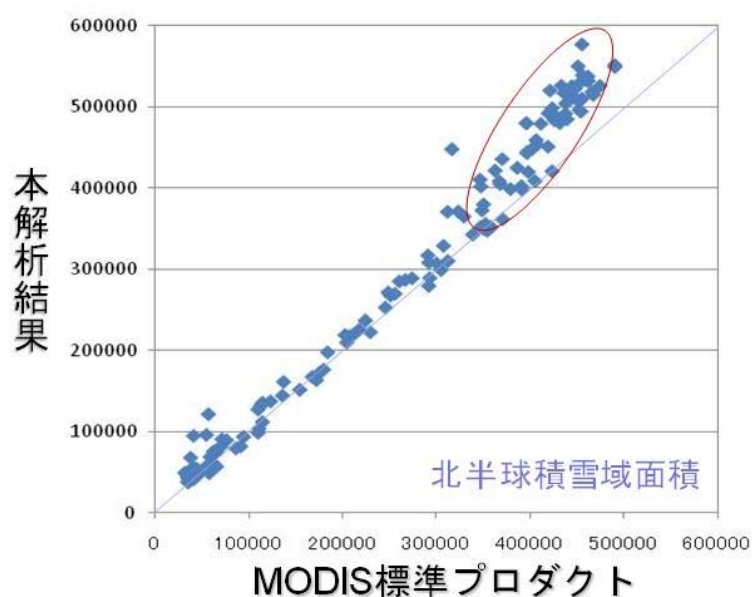


図3 MODIS標準積雪分布プロダクト（MOD10C2）とJASMES積雪分布の北半球面積値での比較（散布図）。2000, 2001, 2002, 2008, 2009年の5年間分データを使用。MOD10C2の積雪割合20%以上を積雪域と仮定。

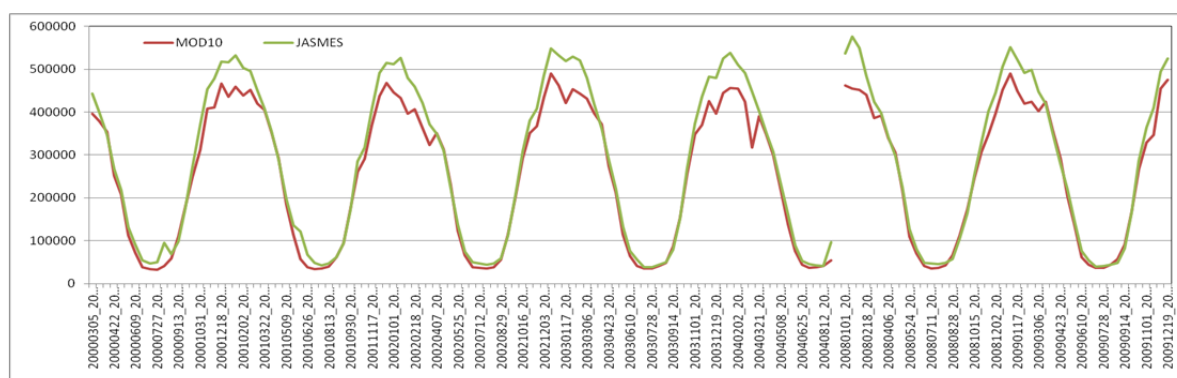


図4 MODIS標準積雪分布プロダクト（MOD10C2）とJASMES積雪分布の北半球面積値での比較（時系列）。2000, 2001, 2002, 2008, 2009年の5年間分データを使用。MOD10C2の積雪割合20%以上を積雪域と仮定。

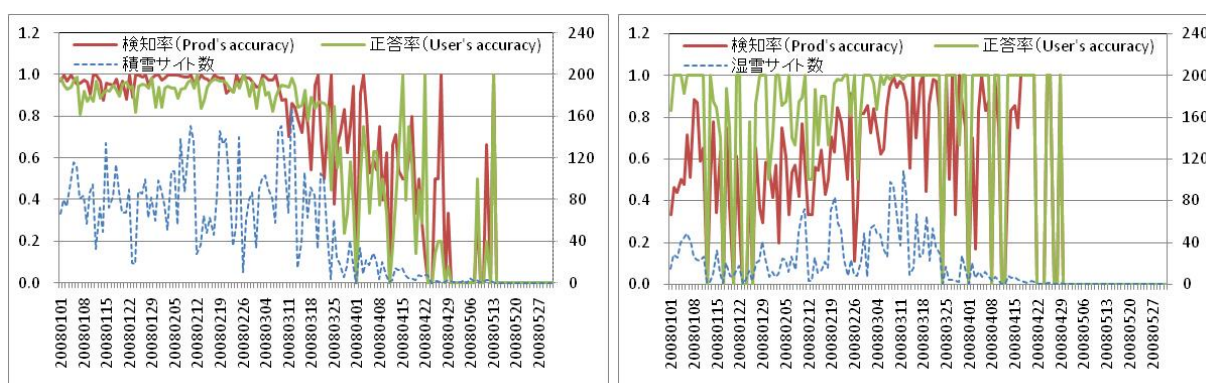


図5 アメダス積雪深を用いたJASMES積雪分布プロダクトの積雪識別（左図）および湿雪識別（右図）の検知率および正答率の評価結果。2008年1-5月分のデータを使用。アメダス積雪深が0cmより大きい場合を積雪あり、アメダス気温が0℃以上を湿雪ありと判断し、衛星側の検知率、正答率を評価している。

3. 積雪・湿雪判定アルゴリズムの検証

3.1 他衛星プロダクトとの比較

JASMES積雪分布プロダクトのNASAのMODIS標準積雪分布プロダクト（MOD10C2）を用いて、北半球積雪面積値による比較を行った（図3、4）。JASMES積雪プロダクトは、MODIS積雪域面積（MOD10C2）に比べて、積雪域が拡大する冬期に若干大きめに見積もっているものの、総じて一致していた。JASMES側が大きめに出ている原因として、MOD10の方では極夜周辺部分に欠損域が多く定義されていることによると考えられた。極夜周辺部分以外では、部分的にMOD10の方が大きい部分やその逆もあるが、総じてJASMESとMOD10はほぼ同等と考えられた。

3.2 地上データとの比較

JASMES積雪分布を処理する際の積雪・湿雪判定の性能を評価するために、気象庁から提供されている地域気象観測システム「アメダス（AMeDAS: Automated Meteorological Data Acquisition System）」

の積雪深測定サイト（約300か所）における積雪深および乾球温度（気温）データを使用した。アメダスデータに基づく積雪および湿雪判定結果を真値と仮定し、JASMES積雪プロダクトの検知率（Producer's accuracy）および正答率（User's accuracy）を評価した結果を図5および表1に示す。

まず積雪識別については、厳冬期の1-2月については、検知率、正答率ともに概ね8-9割程度の高い値を保っているが、融雪期に入ると徐々に低下し、特に4-5月には5割を切る低い判定率となっている。原因としては、積雪域の縮小に伴い、相対的に積雪判定の誤差が大きい森林域の割合が増加したことによる検知漏れの増加、また、アメダスサイト自身がその付近の積雪有無を正確に表しているかといった代表性の問題も考えられる。

一方、湿雪判定については、湿雪サイト数が増加する融解期（3-4月）には、8割以上の検知率、正答率を示しているが、逆に厳冬期（1-2月）に検知率・正答率ともに大きく変動し、特に検知率は平均でも5割程度に低下する傾向が目立っている。検知率低下の原因としては、湿雪上を薄い雲が覆った場合に、現状の雲識別処理では積雪域と判定されてしまい雲域として除去できていないために、湿雪・乾雪判定の際に乾雪と判定されていることが考えられる。同様の誤識別は、GCOM-C1打上げ後に、SGLIの積雪分布・積雪物理量を抽出する際にも起こり得ることであり、積雪粒径や雪面温度の抽出時の雲判定に注意を要する問題点として挙げられる。

今後は、積雪・湿雪判定の地上データを用いた精度検証を全球プロダクトについても行い、精度低下の要因分析を行うとともに、アルゴリズムの改良検討、JASMESプロダクトの再処理を行う計画である。また、融雪期の積雪判定の精度低下をより詳細に検討するために、ALOS・AVNIR-2などの高分解能衛星画像を用いた評価を取り入れることを検討する。また、より短期的な変動をとらえるために、JASMESの処理単位を1週間程度に短期間化させた処理プロダクトの性能評価、利用可能性を検討する。将来的には、AMSR-Eや次年度打ち上げ予定のAMSR2等のマイクロ波放射計のデータを複合的に用いた積雪分布プロダクト（光学・マイクロ波センサデータのブレンドプロダクト）の検討を行う。

表1 積雪および湿雪識別精度の評価結果（2008年1-5月）

	1月	2月	3月	4月	5月
積雪検知率(Producer's accuracy)	0.967	0.98	0.82	0.502	0.167
積雪正答率(User's accuracy)	0.927	0.941	0.794	0.383	0.17
積雪サイト数	78.5	84.9	71.5	9.1	0.8
湿雪検知率(Producer's accuracy)	0.457	0.559	0.824	0.814	n/a
湿雪正答率(User's accuracy)	0.92	0.844	0.979	1	n/a
湿雪サイト数	19.2	28.1	38.2	3.9	0

参考文献・関連する外部発表

- 1) JAXAのMODIS準リアルタイムデータwebサイト
http://kuroshio.eorc.jaxa.jp/ADEOS/mod_nrt/
- 2) JAXAの地球環境変動監視（JASMES）webサイト
<http://kuroshio.eorc.jaxa.jp/JASMES/index.html>

- 3) Hori M. and H. Murakami, 2010: Satellite derived snow cover extent in consideration of dry/wet classification, International Symposium on Snow, Ice and Humanity in a Changing Climate, Sapporo.
- 4) 堀・村上, 2010: 中程度分解能衛星データを用いた日本列島および世界の積雪分布データの作成・公開(その2), 雪氷研究大会, 仙台.

4.9 GCOM-C雪氷分野高次アルゴリズムの開発

—積雪物理量の高精度化にむけて—

谷川 朋範

1. はじめに

急激な気候変動は雪氷圏で顕著に現れることから、雪氷圏における気候変動を時間的、空間的に密に監視することが重要である。これまで温暖化に伴う雪氷面の急激な変動は、アメリカ国立雪氷データセンターが中心となって海氷の広がりや陸上の積雪面積・分布を捉えてきた。しかし、積雪粒径の大きい地域や積雪不純物で汚染された地域では積雪アルベドが減少し、日射の吸収が加速されるため、その結果、急激な融解が起こる可能性がある。したがって、これからは温暖化の結果としての雪氷面積変動ではなく、温暖化の兆候としての積雪粒径の変動や雪氷融解の原因となる積雪不純物濃度を把握する必要がある。

GCOM-C1/SGLI雪氷高次プロダクトではMidori-II/GLIの雪氷プロダクトを引き継ぎ、積雪粒径、積雪不純物濃度が標準、研究プロダクトとして計画されている。Midori-II/GLIのアルゴリズムでは球形の積雪粒子からなる均質な積雪1層モデルを仮定して、そこから積雪物理量を抽出していた。しかし、地上における積雪分光観測、積雪断面観測の結果、積雪層は鉛直不均一で積雪粒子の形も非球形であるため、アルゴリズムで用いた積雪モデルにやや無理があり、双方向反射率の精度も不十分であった。このため精度の高い積雪物理量を抽出するためには、積雪の層構造と非球形積雪粒子の光学特性を考慮した高精度アルゴリズムの開発が必要である。

このような背景のもと本年度は積雪粒子の形に注目し、積雪放射伝達モデルに入力する積雪モデル粒子について、どのような形の粒子が適切か積雪分光観測と大気—積雪系放射伝達モデルを用いて調べた。また、非球形積雪粒子を用いたアルゴリズムを開発し、その結果をMidori-II/GLIデータに適用した。

2. 積雪分光測定と積雪放射伝達モデル

積雪分光測定は北海道東部更別村および中札内村の雪原において行った。分光測定は樹枝状結晶からなる新雪およびざらめ雪を対象におこなった。光学的等価粒径は新雪で約30-150 μm 、結晶の厚さは10-20 μm 、ざらめ雪は約100-500 μm であった。双方向反射率の測定は米ASD社の分光器FieldSpec FRを用い、独自に開発したプローブを用いて行った。積雪放射伝達モデルは積雪粒子に非球形粒子を用い、一次散乱に幾何光学的近似法、多重散乱には加算増加法を適用した。粒子の形は円柱と回転楕円体をそれぞれ仮定した。

図1に波長1.6 μm における新雪の双方向反射率(HDRF)を示す。反射率は前方側で高く、天底反射率の10倍以上であった。この理由は、近赤外光は氷による光の吸収が非常に強いいため、反射光は積雪表面でのほぼ1回散乱で決まるためである。反射率は側方から後方側で低くなり、主平面の後方側で最小値をとった。

モデル計算と比較した結果、側方から後方側にかけて粒子の形による違いが確認された。特に球形粒子のHDRFには不連続な分布がみられた。これはMie理論における散乱角130° -135° 付近の虹のピークによるものである。実際の雪面にはこのような分布は見られないため、球形粒子を仮定し

たこれまでのMidori/GLIのアルゴリズムでは、実際の積雪粒径よりも過大評価されている可能性がある。一方、球形粒子のかわりに円柱や回転楕円体を用いた場合、新雪では円柱（もしくは回転楕円体）モデル、ざらめ雪では回転楕円体（結果省略）が適切であることが分かった。この理由は円柱や回転楕円体粒子の位相関数が球に比べて非常に滑らかな関数であるためである。

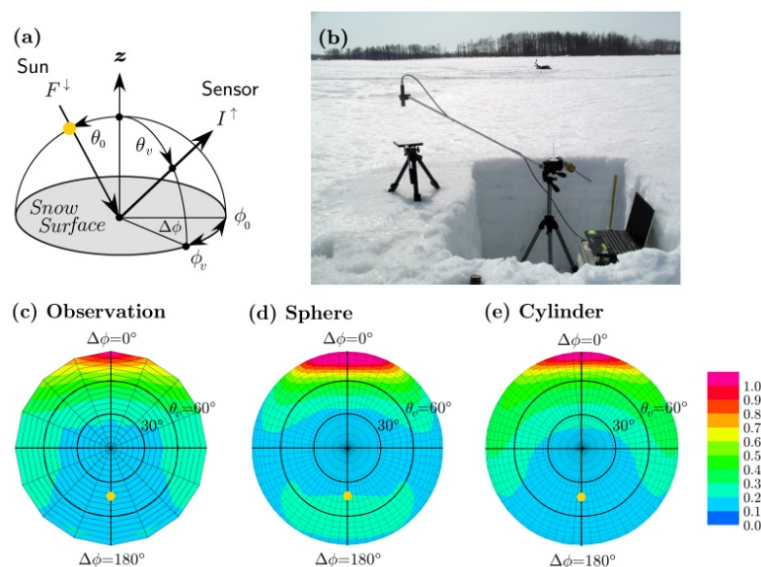


図1.(a)HDRFの概念図, (b)積雪HDRFの観測風景とその時に測定した(c)波長 $1.6\mu\text{m}$ の新雪のHDRF観測値. (d)(e)波長 $1.6\mu\text{m}$ のHDRF理論計算値:(d)球形粒子($r = 25\mu\text{m}$), (e)円柱粒子(底面半径 $R=25\mu\text{m}$, 長さ $L=150\mu\text{m}$)

3. Midori-II/GLIデータへの適用

非球形積雪粒子の光学特性を考慮した積雪粒径アルゴリズムを構築し、Midori-II/GLIデータに適用した。積雪粒子の形に回転楕円体を仮定し、一次散乱には幾何光学近似法、多重散乱過程には加算増乘法を適用した。回転楕円体粒子のアスペクト比は(極半径)/(赤道半径)=3.0に固定し、粒径の大きさは回転楕円体の体積と表面積の比が等しい球の半径で定義した。大気条件はOPACのSub-Arctic冬型モデルを使用した。積雪の層構造を考慮するため積雪2層モデルを使用し、表層と内部の積雪粒径を推定した。波長は $0.46\mu\text{m}$, $0.86\mu\text{m}$, $1.64\mu\text{m}$ を用いた。積雪粒径の推定にはニューラルネットワークを用いた近似関数と最適化法を組み合わせたアルゴリズムを適用した。

図2にMidori-II/GLIに適用した積雪粒径の推定結果を示す。表層、内部の粒径ともに球形粒子よりも回転楕円体粒子の方が系統的に小さくなった。これは近赤外域の反射率(もしくは放射輝度)が粒子の形状に依存するためである。いずれのケースも地上観測値の範囲内であり、推定精度は問題ないと思われる。

4. まとめ

GCOM-C1/SGLI雪氷高次プロダクトに定義されている積雪粒径の精度向上を目指し、本研究では積雪粒径アルゴリズムで用いる積雪粒子の形の効果について調べた。新雪とざらめ雪の双方向反射

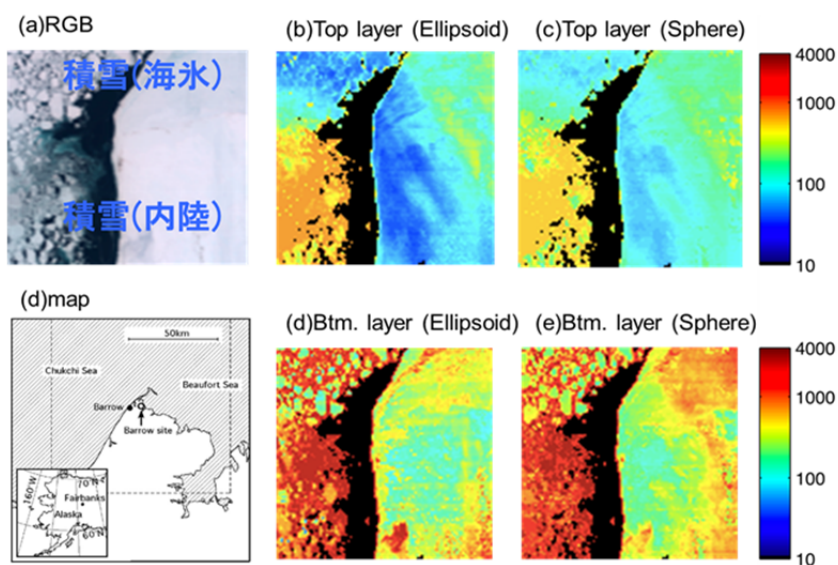


図2.(a) Midori-II/GLIで撮られたアラスカバロー周辺のRGB画像、(b)(d)回転楕円体粒子を仮定した積雪表層および内部の積雪粒径推定値、(c)(e)球形粒子を仮定した積雪表層および内部の積雪粒径推定値、単位は μm 、(d)周辺域模式図

率を測定し、積雪放射伝達モデルの計算結果と比較したところ、測定結果は球形粒子よりも円柱や回転楕円体などの非球形粒子を用いた計算結果とよく一致した。積雪粒径の推定精度向上のためには、非球形粒子の効果を取り入れたアルゴリズムが必要である。

回転楕円体粒子の光学特性を考慮した積雪粒径アルゴリズムを構築し、Midori-II/GLIデータに適用したところ、表層の粒径は回転楕円体粒子の方が球形粒子にくらべ系統的に小さく推定された。一方、積雪内部の粒径は回転楕円体粒子の方が球形粒子にくらべて若干大きく推定された。しかし、いずれのケースも地上観測値の範囲内であり、少なくとも非球形粒子を用いる事で積雪粒径の過大評価を十分回避できると思われる。

今後は非球形の積雪粒子のアルゴリズムに変更することで、積雪不純物濃度や大気エアロソル濃度にどう影響するのか考察し、他の大気/積雪物理量の精度向上にむけた解析を行う。

4.10 Long-term Cloud Trends and Evaluation of Aerosols Retrievals for the GCOM-C/SGLI

J. R. Dim

ABSTRACT

Clouds and aerosols properties related issues are the focus of this study. First, long-term cloud types variations derived from two cloud classification algorithms are discussed as well as the necessary corrections inherent to such extended climate studies. Then, aerosols properties derived from comparable satellites to the GCOM-C/SGLI are evaluated based on ground-truth data from three SKYNET sites located in the southern part of Japan. For the building of the GCOM-C/SGLI long-term data series (1st part of this work), meaningful climate trends can be achieved only through smooth connections between this satellite series, as well as between these series and the pre-GCOM/SGLI era satellites (NOAA-AVHRR, Terra/Aqua-MODIS). Long-term climate (e.g. cloud type variation) problems related to such connections and the remedies are presented. The data used are from the NOAA-AVHRR satellites. In the 2nd part of this study, we examine the data quality of aerosols properties derived from two algorithms using Terra and Aqua-MODIS satellites observations, against SKYNET ground data. SKYNET stations are potential validation sites for the GCOM-C/SGLI. The evaluation of aerosols properties i.e. the aerosols optical thickness (AOT) and the Ångström exponent derived from MODIS sensors and the difference with ground-truth data can be considered as minimum accuracy targets for the GCOM-C/SGLI.

INTRODUCTION

For its long-term climate change objectives, the Global Change Observation Mission-Climate (GCOM-C/SGLI) will have to rely both on previous satellites (building of long-term series) and its proper observation capacities (quality of data). For the building of long-term series (1st part of this work), meaningful climate trends can be achieved only through smooth connections between the GCOM-C/SGLI satellites series, as well as between these series and the pre-GCOM/SGLI era satellites (NOAA-AVHRR, Terra/Aqua-MODIS). The present work discusses the long-term climate (cloud type variation) problems related to satellites' connections and the remedies. The data to be used for this purpose are daytime cloud data from NOAA-AVHRR satellites series. In the 2nd part of this study, we examine the data quality of aerosols properties derived from two algorithms using Terra and Aqua-MODIS satellites observations, against potential GCOM-C/SGLI validation sites (the SKYNET radiation network). These kinds of evaluations can set targets and instruct on the minimum performance to be attained by the GCOM-C/SGLI atmospheric products.

I) Long-term cloud types trends issues and the GCOM-C/SGLI

I-1) Cloud type classification algorithms

Daily cloud images from NOAA-AVHRR series 7, 9, 11, 14, 16 and 18 are examined. The total period of study is 25 years (1982-2006). Two cloud types' classification algorithms are used in this study. The first is known as the ISCCP cloud classification (Rossow et al., 1993). This classification distinguishes 9 cloud types

based on the cloud optical depth (COD) and the cloud top pressure (CTP). The second classification is new algorithm that can be considered as an alternative to the previous classification. It distinguishes clouds according to their external shape expressed by the cloud top temperature gradient (CTT gradient). The comparison of the results of both algorithms shows that most of the differences occur in flat top clouds (stratus, nimbostratus and deep convection) because of the difficulties to detect low gradient tops.

I-2) Long-term cloud types trends issues and the GCOM-C/SGLI

The reliability and consistency of the cloud amount (CA) results from the cloud classifications should be verified for long-term climate analyses as we are dealing with many series of satellites. Figure 1 shows the decrease in the cloud amount (CA) with each NOAA satellite life-span. This is a satellite orbit drift problem. It can be seen directly with the increase of solar zenith angle (SZA) with time for each satellite series. Still in Figure 1 an image of the difference between the cloud frequency at the beginning and end years of NOAA-9 is presented. It shows a decrease in the cloud frequency as a consequence of the satellite orbit drift. To remedy to this drift problem, we use a signal filtering method (Huang et al. 1998) called the empirical mode decomposition (EMD). This method is a sifting process allowing the distinction of a seasonal variation and an inter-annual trend in the data series. If the inter-annual trend of the SZA shows a correlation with the inter-annual trend of the CA, the latter can be corrected (Figure 2).

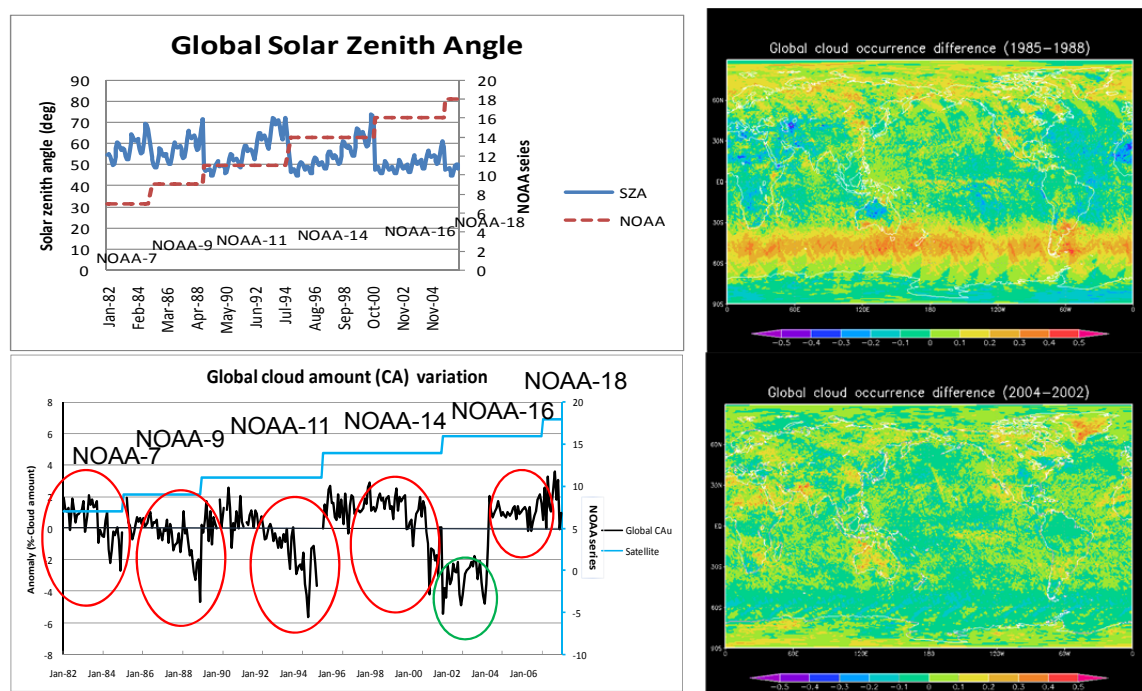


Figure 1. Solar Zenith angle (upper left), global long-term cloud amounts' variations (lower left) with red circles showing the satellite drift (map on the upper right: global cloud frequency difference between the beginning and end of NOAA-9) and the green circle illustrating the cloud detection problem in NOAA-16 (map on the lower right).

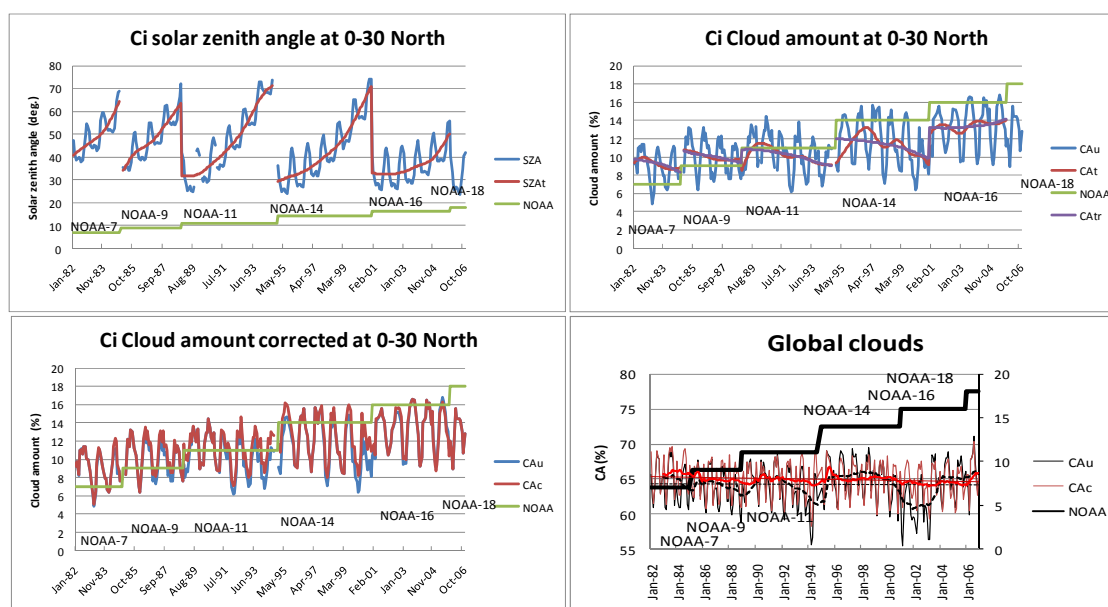


Figure 2. Upper left: Solar zenith angle (SZA) for Cirrus (Ci) clouds at 0-30 deg. North latitude, with its trend (SZAt) reflecting the NOAA satellites orbit drift. Upper right: The cloud amount uncorrected (CAu), the trend (CAt), and the contaminated cloud amount trend removed (CAtr). Lower left: Ci cloud amount uncorrected (CAu) and corrected (CAc). Lower right: Same as the latter but for global clouds.

From Jan 2001 to Apr 2003, i.e. the first part NOAA-16, there is a sudden dip in the cloud amount. This is due to the change of channels in the cloud detection algorithm (from the 3.75 μm channel generally used, to the 1.6 μm channel). The latter channel has a deeper cloud penetration depth than the former. It is likely to miss the detection of cloud edges or some thin clouds. A remedy to this situation can be found with the integration of the inter-annual trend of Terra-MODIS to the NOAA-16 satellite data (Terra-MODIS covers the reported problematic period). The GCOM-C/SGLI is lacking the 3.75 μm channel and, if a similar detection problem as in NOAA-AVHRR occurs, the solution proposed here can be applied. Clouds as some other climate variables have a daily cycle. For polar orbiters such as the NOAA satellites used in this study, or others like the GCOM-C/SGLI, which are either, afternoon or morning satellites, the other half of the day should be integrated to have a complete picture of the daytime clouds. One of the remedies to this situation can be the use of the CA differences between Terra-MODIS (morning satellite) and Aqua-MODIS (afternoon satellite).

II) Evaluation of satellite aerosols retrievals and merits of the SKYNET

Quality thresholds targets for the future GCOM-C/SGLI polar orbiter can be set through the evaluation of current satellites (Terra-MODIS and Aqua-MODIS) aerosols products against ground-truth data from SKYNET sites. To fulfill this objective, MODIS derived aerosols properties from two algorithms are tested.

II-1) Evaluation of satellite aerosols retrievals

Satellites retrievals from two algorithms using Terra- and Aqua-MODIS, against 3years of SKYNET in-situ data (2008-2010) at 3 Japanese locations (Fukue-Jima, Hedo-Misaki, Miyako-Jima), and potential GCOM-C validation sites, are evaluated. The aerosols products discussed in this work are the aerosol optical thickness (AOT) and the Ångström exponent (Alpha). The first algorithm, besides being applied on MODIS was previously used for the precursor of the GCOM-C/SGLI (i.e. the ADEOS-II/GLI). For this purpose, this algorithm will be named in this report, the GLI algorithm. The second algorithm, developed by NASA, is used for the MODIS standard products, and will be named here NASA algorithm. Among the differences between the two algorithms it is worth mentioning the resolution scale of the aerosols retrievals. It is pixel-by-pixel for the GLI algorithm (Higurashi, and Nakajima, 1999) and 10*10 pixels for the NASA algorithm (Kaufman and Tanré. 1998). Figure 3 presents the density difference of the retrievals between the two algorithms.

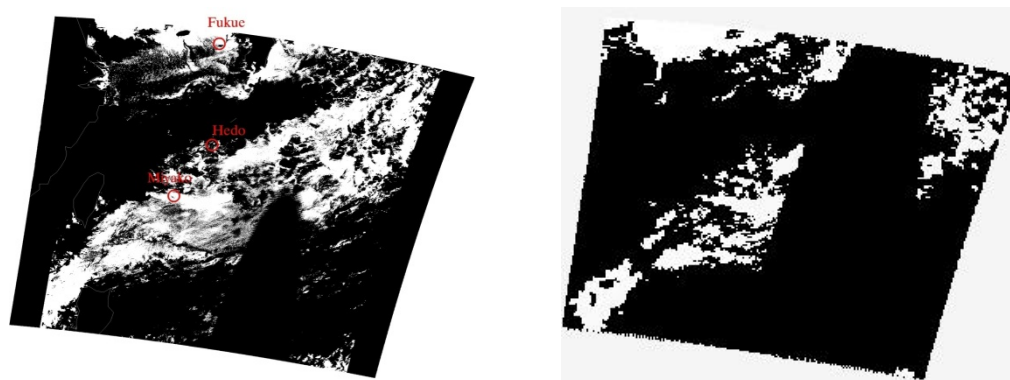


Figure 3. Satellite retrieved aerosols optical thickness (AOT) from GLI (left) and NASA (right) algorithms on Feb 19, 02:05:00 UTC.

The satellites data obtained on a daily basis (satellite pass) above each SKYNET station, are analyzed. Figures 4 presents the comparisons between the aerosols properties (AOT and Alpha) retrieved from both the GLI and NASA algorithms and the ground-truth data from the 3 SKYNET sites. The GLI algorithm AOT values are systematically overestimated compared to the ground data, while a good matching is seen between the latter and the NASA algorithm. For Alpha, there is also a stronger proximity between the ground data and the NASA data compared to the latter with the GLI data. The strongest discrepancies between the GLI algorithm and ground data seem to occur between May and August for both the AOT and the Alpha.

Various factors can be evoked to explain the dissimilarities noticed between the satellites and ground data. Among these, the aerosols size distribution model assumed for the retrievals, the cloud contamination, the wind speed etc. In this report we will deal only with the cloud contamination effect. Some small clouds can contaminate the aerosols and therefore contribute to measurement errors of the aerosols properties. To verify this effect, we group the cloud fractions in classes of 0.1 increments and plot these classes against the root-mean square error (RMSE) between the satellites derived aerosols properties and the ground data (Figure 5). A clear increase of the RMSE with the cloud fraction is visible for the AOT of both algorithms.

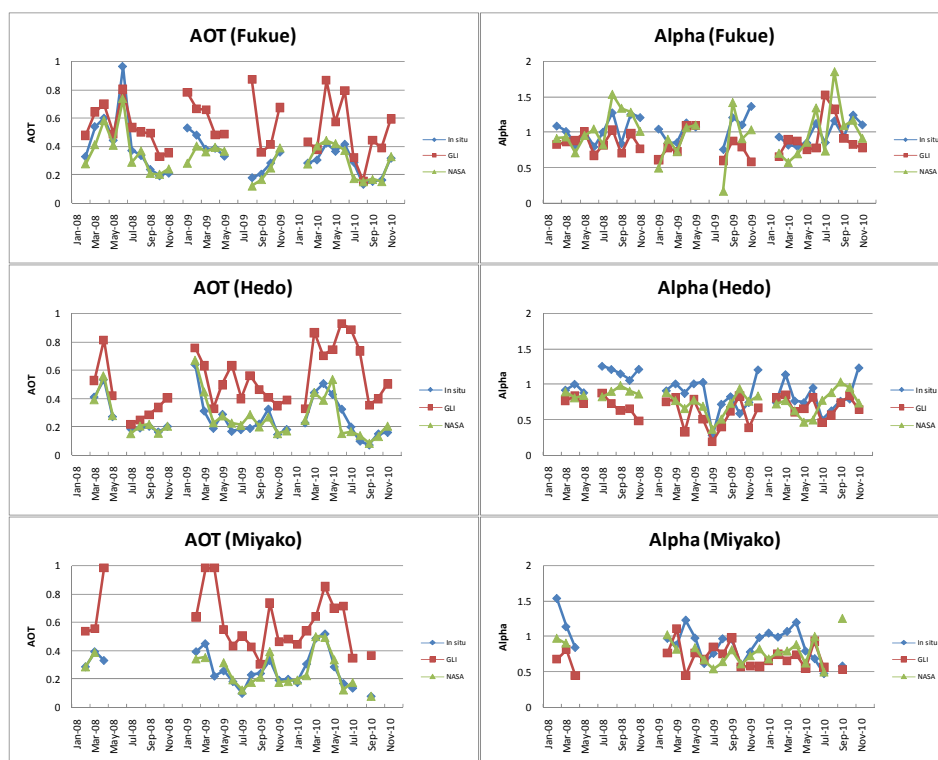


Figure 4. Comparison between monthly satellite derived and in-situ aerosol optical thickness (AOT), then Ångström exponent (Alpha).

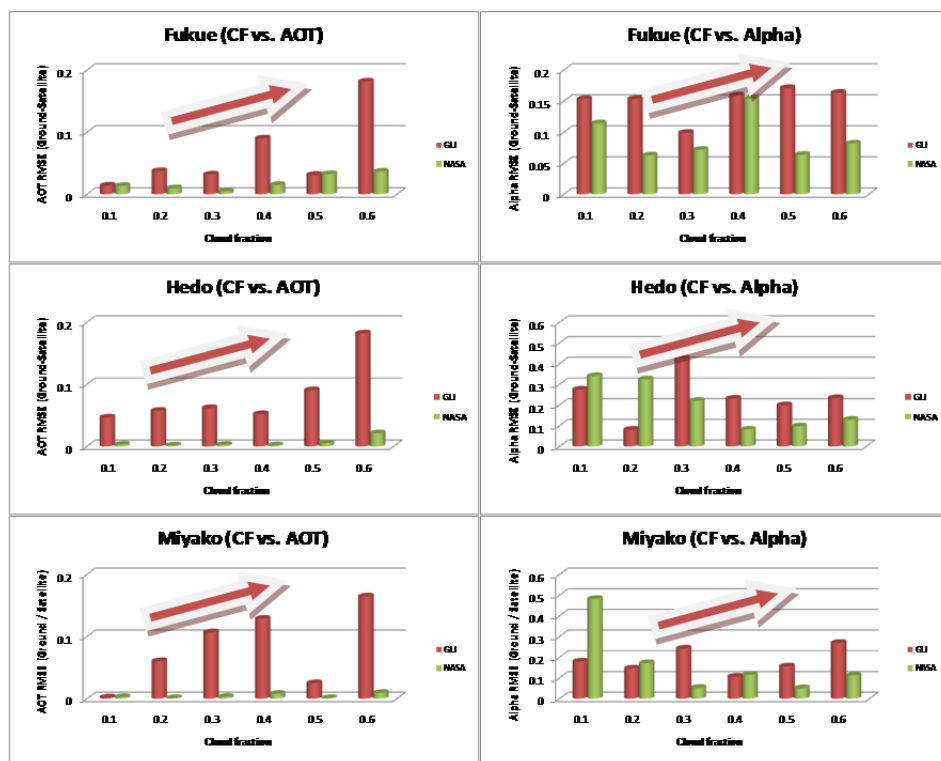


Figure 5. Cloud fraction variation with the root-mean-square error (RMSE) of ground Vs. satellite data for AOT and Alpha.

This increase is stronger with the GLI algorithm where the error can reach RMSE of 0.15 at cloud fractions of 0.6. For Alpha, the relationship between the RMSE and the cloud fraction, though still slightly visible with the GLI algorithm, is not clear with the NASA algorithm. The retrieval resolution (pixel-by-pixel for the GLI, and best pixels selection in a 10*10 km box for the NASA algorithm) may likely make the NASA algorithm data to be less contaminated by clouds. Besides the NASA algorithm has often been validated or improved with AERONET ground data (Chu et al, 2002; Ichoku et al, 2004; Remer et al, 2005)

II -2) Merits of SKYNET

The AERONET sites around the world have been often used to validate or improve MODIS standard/other products. Though having a wide global extension, there are fewer AERONET sites in and around JAPAN, compared to the SKYNET sites. The AERONET sites are equipped with sunphotometers while the SKYNET sites have skyradiometers. These instruments are used to observe aerosols. A study on aerosols properties over the Loess Plateau of Northwest China (Bi et al., 2010), showed the good match between the AOT retrieved by both networks at four major channels. Figure 4 already showed a very close proximity between the NASA and the 3 SKYNET sites retrieved aerosols properties. These interesting correlations between the SKYNET and the AERONET, then MODIS retrievals show the reliability of the SKYNET sites for the validation of actual and future satellites data such as those of the coming GCOM-C/SGLI.

REFERENCES

Bi, J., Y. Liu, J. Huang, G. Shi, T. Takamura, Z. Huang, P. Khatri, J. Shi, T. Wang, X. Wang, B. Zhang (2010). Characteristics of dust aerosols derived from sky-radiometer over Loess Plateau of Northwest China. Proceedings of the 16th CERE international symposium on climate change studies through activities of SKYNET and virtual laboratory for climate diagnostics, 95-100. Oct 21-23, 2010, Nago, Okinawa, Japan.

Chu D. A., Y. J. Kaufman, C. Ichoku, L. A. Remer, D. Tanré and B. N Holben. (2002), Validation of MODIS aerosol optical depth retrieval over land. Geophys. Res. Lett, VOL. 29, NO. 12, 10.1029/2001GL013205

Higurashi, A., and T. Nakajima, (1999). Development of a Two Channel Aerosol Retrieval Algorithm on Global Scale Using NOAA / AVHRR. J. Atmos. Sci., 56, 924-941.

Huang, N. E., Z. Shen, et al. (1998), The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis, Proceedings of the Royal Society of London 545, 903-995.

Ichoku C., Y.J. Kaufman, L.A. Remer, R. Levy. (2004). Global aerosol remote sensing from MODIS. Advances in Space Research 34. 820–827

Remer L. A., Y. J. Kaufman, D. Tanre, S. Mattoo, D. A. Chu, J. V. Martins, R. -R. Li, C. Ichoku, R. C. Levy, R. G. Kleidman, T. F. Eck, E. Vermote and B. N. Holben.(2005). The MODIS aerosol algorithm, products, and validation. J. Atmos. Sc.-Special section. Vol 62. pp 947-973).

Rossow, W.B., A.W. Walker, and L.C. Garder, (1993), Comparison of ISCCP and other cloud amounts. J. Clim., 6, 2394-2418.

Yoram J. Kaufman and Didier Tanré. 1998. Algorithm for remote sensing of tropospheric aerosols from MODIS (Product ID: MOD04, Revised).

4.11 様々な植生における可視・近赤外の双方向反射率のデータセットの作成

小野 祐作

1. はじめに

2014年に打ち上げが予定されている気候変動観測ミッション（GCOM-C1）では、多波長光学放射計（SGLI）の軌道方向±4.5度の斜方視と直下視の光学センサで取得された可視・近赤外の双方向反射率（太陽天頂角、太陽方位角、センサ天頂角、センサ方位角を規定された反射率のこと）の特性に基づいて、植生の地上部バイオマス（乾燥重量）を陸域の標準プロダクトとして生成する予定である。GCOM-C1用の地上部バイオマス推定アルゴリズムを検証する為には、様々な植生における可視・近赤外の双方向反射率のデータを収集することは必須である。そこで、今年度は、様々な植生における可視・近赤外の双方向反射率のシミュレーションを実施することで、データセットを作成した。また、SGLIの代替衛星データとして、軌道方向に9つ（0度、±26.0度、±45.6度、±60.0度、±70.5度）の光学センサを有するTerra/MISRの主に日本域の2000年から2010年までのデータ（精密幾何補正済み放射輝度と大気補正済み地表面反射率）を収集した。

2. シミュレーションの概要

シミュレーションのアルゴリズムは、線形混合モデルを基に構築してある。線形混合モデルとは、太陽天頂角、太陽方位角、センサ天頂角およびセンサ方位角（以降、観測幾何条件）で変化する光学センサ視野内における日向と日陰（影）の植生、日向と日陰（影）の林床など（以降、各構成要素）の被覆率を利用して、三次元構造を有する植生の可視・近赤外の双方向反射率を式（1）で記述したものである。

$$\rho(\theta_s, \varphi_s, \theta_v, \varphi_v, \lambda) = \sum_{i=1}^n c_i(\theta_s, \varphi_s, \theta_v, \varphi_v) \cdot \rho_i(\lambda) \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n c_i(\theta_s, \varphi_s, \theta_v, \varphi_v) = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n c_i(\theta_s, \varphi_s, \theta_v, \varphi_v) \geq 0 \quad (3)$$

$$\rho_i(\lambda) \geq 0 \quad (4)$$

ここで、 ρ は双方向反射率、 c_i は構成要素 i の被覆率、 ρ_i は構成要素 i の反射率、 λ は波長、 θ_s は太陽天頂角、 φ_s は太陽方位角、 θ_v はセンサ天頂角、 φ_v はセンサ方位角である。また、式（2）は光学センサ視野内の各構成要素の被覆率の総和が1であることの条件式、式（3）は構成要素 i の被覆率が非負であることの条件式、式（4）は構成要素 i の反射率が非負であることの条件式である。

シミュレーションは以下の手順で実施する。まず、現地で取得した複数の観測幾何条件での各構成要素の被覆率（デジタル画像を分類することで推定）と双方向反射率（以降、現地データ）を利用して、式（1）の最小二乗法で各構成要素の反射率を推定する。但し、林床（例えば、土壌や植生など）の反射率は、地上で直接計測したものを利用する。次に、樹冠の形状を円錐や回転楕円体などの幾何形状で近似した樹冠を平行平板の上に配置して再現した植生に対して、任意の太陽天頂角、太陽方位角、センサ天頂角、センサ方位角、センサ高度およびセンサ視野角でレイトレーシングを行うことで各構成要素の被覆率を推定する。ここで、樹冠の位置は、樹冠径に対する樹木間距離の

比を考慮した正六角形で配置する。最後に、各構成要素の反射率と各構成要素の被覆率を利用して、式（1）で植生の可視・近赤外の双方向反射率を推定する。

3. シミュレーションの結果

表1にシミュレーションの条件を示す。シミュレーションは、樹冠径に対する樹木間距離の比と観測幾何条件をそれぞれ変化させながら様々な植生に対して実施する。デジタルカメラ（Ricoh社製GR Digital III）と分光放射計（英弘精機社製MS720）を搭載した自律航行型産業用無人ヘリコプタ（ヤマハ発動機社製RMAX）を高知県土佐清水市のアカガシ林（常緑照葉樹林）と山梨県富士吉田市のカラマツ林（落葉針葉樹林）で飛行させることで取得した現地データを利用して、植生の可視（670 nm）と近赤外（865 nm）の双方向反射率をシミュレーションした結果の例を図1、2、3に示す。アカガシの樹冠は樹冠径15.3 m、樹冠の高さ4.0 mの半球、カラマツの樹冠の形状は樹冠径9.3 m、樹冠の高さ7.2mの円錐で近似した。図1より実施したシミュレーションは、樹種の違いによる植生の双方向反射率の特性（特に近赤外）を再現できていることが確認できる。更に、図2より実施したシミュレーションは、樹冠径に対する樹木間距離の比の違いによる植生の双方向反射率の特性（特に可視）も再現できていることが確認できる。

表1 シミュレーションの条件

項目	値
太陽天頂角 [deg.]	0: 8: 80 (11)
センサ天頂角 [deg.]	0: 8: 62 (9)
太陽とセンサの相対方位角 [deg.]	0: 15: 180 (13)
センサ高度 [km]	798
センサ視野角 [km]	1
樹冠径に対する樹木間距離の比 [-]	0.73, 1: 0.25: 25 (8)
樹冠の形状	円錐, 回転楕円体

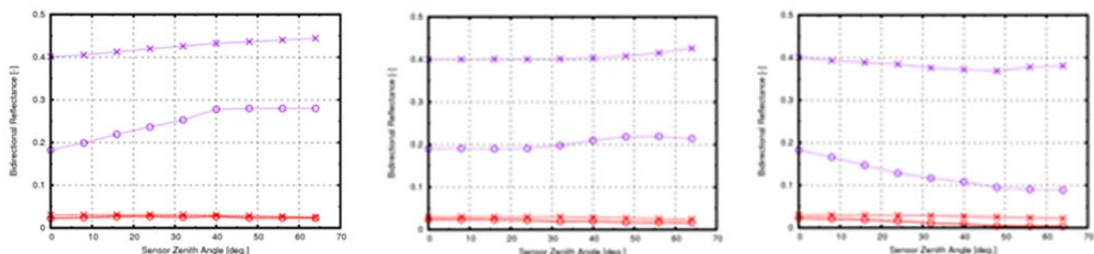


図1 太陽方位角40度、センサと太陽の相対方位角0度（左側）、90度（中央）、180度（右側）、樹冠径に対する樹木間距離の比が1.0（樹冠と樹冠の端が接した状態）のときのアカガシ林（○印）とアカガシ林（×印）の可視（670 nm）（赤線）と近赤外（865 nm）（紫線）の双方向反射率をシミュレーションした結果

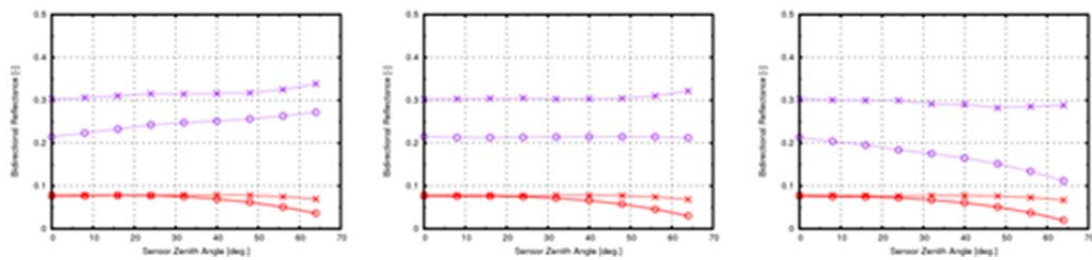


図2 太陽方位角40度、センサと太陽の相対方位角0度（左側）、90度（中央）、180度（右側）、樹冠径に対する樹木間距離の比が1.5のときのアカガシ林（○印）とアカガシ林（×印）の可視（670 nm）（赤線）と近赤外（865 nm）（紫線）の双方向反射率をシミュレーションした結果

4. おわりに

今年度は、GCOM-C1用の地上部バイオマス推定アルゴリズムを検証することを目的に、様々な植生における可視と近赤外の双方向反射率のシミュレーションを実施することで、データセットを作成した。また、SGLIの代替衛星データとして、軌道方向に9つの光学センサを有するTerra/MISRの主に日本域の2000年から2010年までのデータを収集した。ここで、実施したシミュレーションでは、植生の三次元構造は考慮されているが、植生の放射伝達過程は考慮されていない。植生の放射伝達過程を考慮することは、GCOM-C1の標準プロダクトである葉面積指数（LAI）・光合成有効放射吸収率（FAPAR）推定アルゴリズムを開発する上で必須である。そこで、来年度は、植生の三次元構造だけでなく、植生の放射伝達過程も考慮した可視と近赤外の双方向反射率のシミュレーションを構築（例えば、SAILモデルとの結合）・実施することで、GCOM-C1用のLAI・FAPAR推定アルゴリズムを開発・検証する予定である。

4.12 森林火災検知分類アルゴリズム開発と社会実装を目指した応用

中右 浩二

1. はじめに

森林火災は時に危険な災害へ発展するため、防災の面が注目されがちである。しかし、気候や環境への影響も無視できない。森林火災で放出されるCO₂は、化石燃料燃焼による温暖化効果ガスの1/4から1/2に匹敵すると推定される(IPCC AR4)。そのため、森林火災管理は気候変動への影響緩和に非常に重要である。特に熱帯では焼畑や開墾、極域では火の不始末などで、生態系に必要以上の森林火災が生じているが、これらは過疎地や途上国に集中し、現地の統計は不正確で管理活動も不十分である。それゆえ、衛星観測が森林火災管理に果たす役割は大きい。

そこで、本研究ではGCOMでは森林火災検知・分類アルゴリズムの開発検証を、北極圏では環境や気候への影響を観測するための森林火災モニタを、応用システムの開発としてSAPCと協力して森林火災情報通報システムの研究開発を行った(図1)。なお組織目標との対応については、末尾の表1に記載した。

2. 森林火災検出・分類アルゴリズムの研究開発(JAL森林火災観測)

GCOM-C1森林火災検出分類アルゴリズム開発のため、森林火災の燃焼タイプと輝度温度について現地観測を、燃焼位置・時刻については日本航空との共同観測を行った。

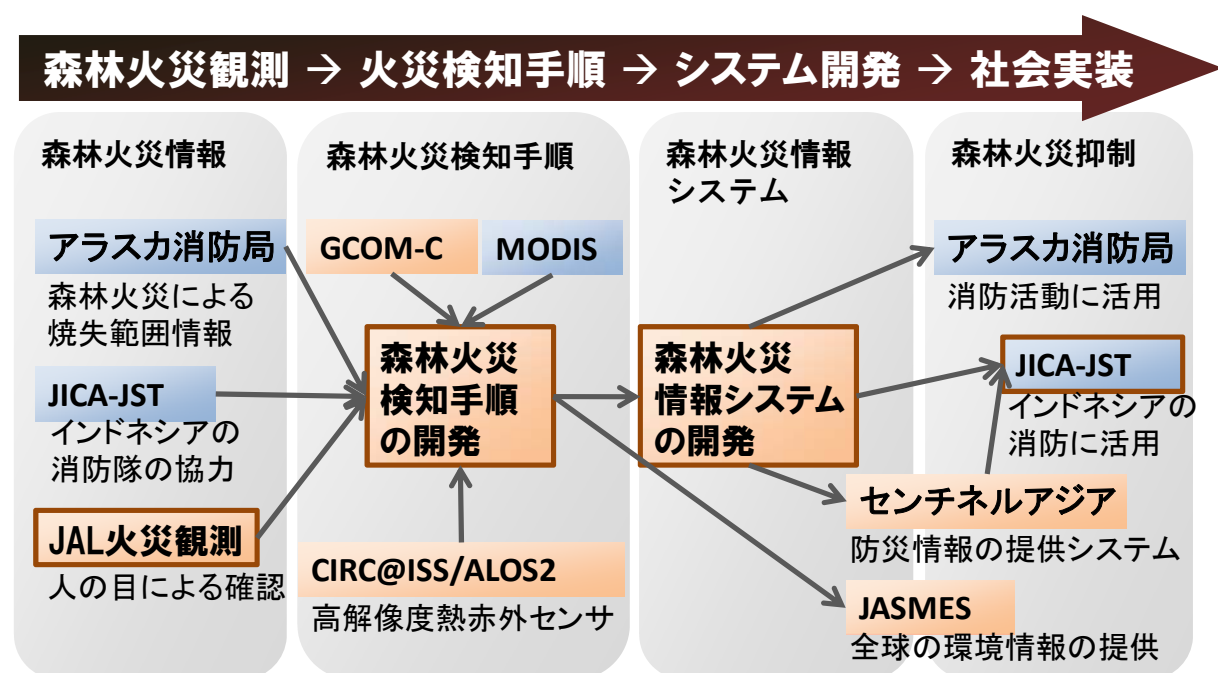


図1：森林火災監視に関する研究の関係（橙：JAXA内、青：JAXA外、茶枠：担当）

現地観測では、小型チャーター機により上空から森林火災をサーモグラフィで輝度温度の分布を計測し、同時観測した可視画像と照合して輝度温度に対する燃焼分類に関する尤度の分布を推定した(図2)。

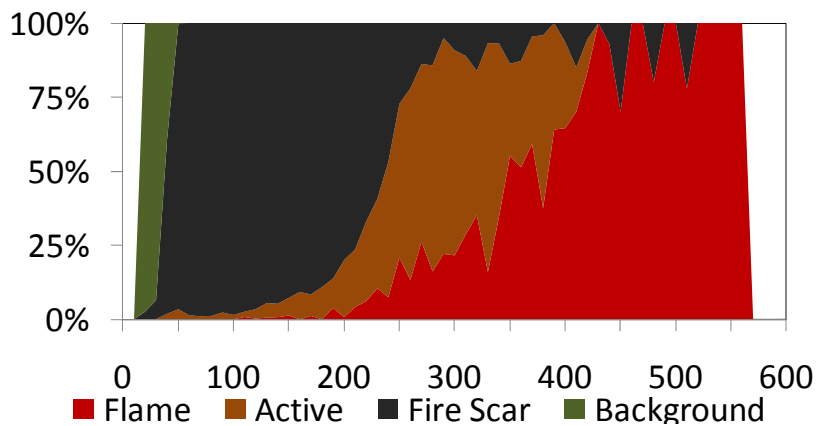


図 2：森林火災の燃焼分類に関する尤度分布

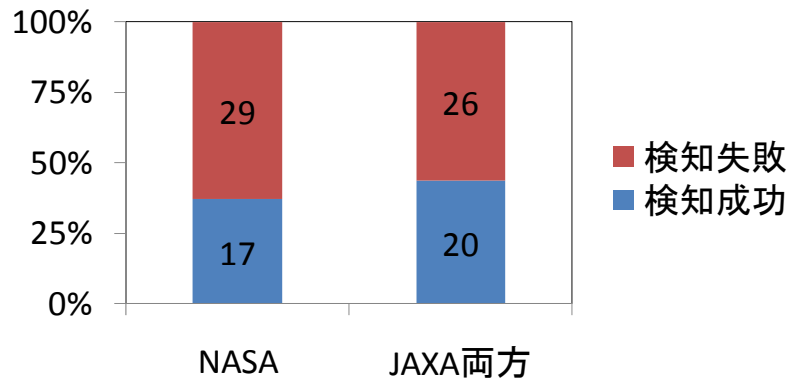
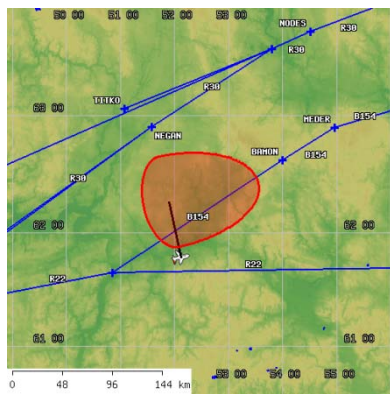


図 3：2010年度JAL共同観測データ事例と森林火災検出アルゴリズムの検証結果

森林火災プロダクトの検証にあたり、「実在する火災の何割が衛星で検出できたか」は非常に重要である。しかし、森林火災は低頻度のイベントであり、頻繁かつ広域に観測して、燃焼のあった位置と日時を収集する必要がある。そこで、多数の定期便を運航する日本航空と協力して森林火災観測を行った。本観測は森林火災を目視確認した日時と火災の位置の情報を提供して頂いている。2010年度には7月27日より9月27日まで観測を実施、51件の報告を得た。これを衛星の検出結果と照合した結果、JAXAのアルゴリズムによりMODIS標準アルゴリズムよりも17%検出の成功率が向上している事が確認された（図 3）。

また、日本航空主導で広報活動を活発に行っている。今年度は機内誌に記事1件を掲載（末尾、図 5）、テレビ放映も2件(再放送などで別途1件が未確認)放映された。

3. 森林火災モニタシステムの開発と北極圏の研究推進・研究基盤(IJIS)

森林火災検出プロダクトを環境研究や消防の実利用に活かすため、IJIS(IARC-JAXA Information System)にて、アラスカの森林火災の発生状況をモニタするシステムを開発した。現時点では、MODISによる森林火災位置情報とJALによる火災目視情報が投入されており、火災位置情報を自動的に森林火災の発生状況を外部に公開している。今後、SGLIやCIRCその他のセンサによる森林火災情報を投入し、森林火災目視情報と併用して、統合的な森林火災モニタシステムに発展させたいと考え

ている。

4. 森林火災情報通知システムの開発 (北大JICA-JST)

JST-JICA地球規模課題対応国際科学技術協力事業「インドネシアの泥炭・森林における火災と炭素管理」プロジェクトのFFサブグループでは、泥炭地での森林火災を抑制するため、衛星を活用して森林火災に関する統合情報を現地消防団に提供するシステムを開発中である。先進国と異なり、途上国の農村では地図を理解する者が少なく、従来的に画像データとして火災分布を提供する事が意味をなさない。また、インターネット回線がなく、直接データを提供できる手段は、携帯電話に限られる。そのため、本プロジェクトでは図4に示すようなサーバで衛星データを解析し、SMS (Short Message Service)により、消防団に対して直接森林火災情報を提供する事を目的としている。

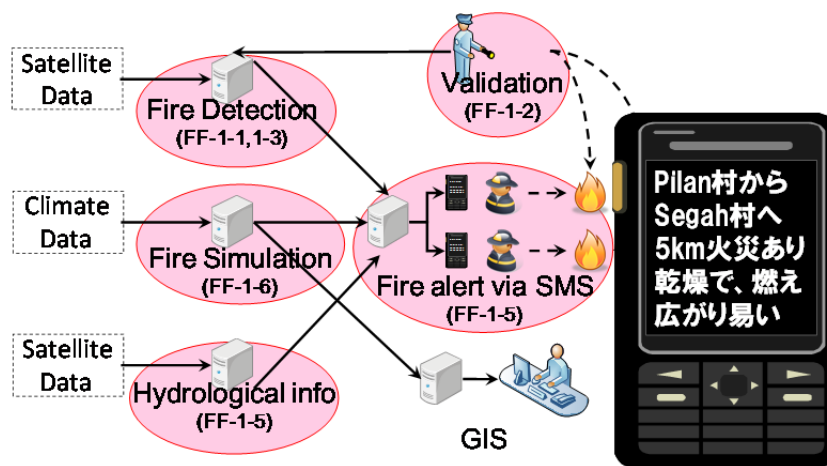


図4：森林火災通報システムの開発

5. 来年度の計画

来年度は、の森林火災検出・分類アルゴリズム開発を進め、完成アルゴリズムを提出する。また、森林火災モニタについて、MODIS以外にも複数の衛星観測による森林火災検出結果を統合できるシステムの開発を行う。これにJAL観測協力のデータも統合して、森林火災の総合的データベースを構築し、これらを実利用に役立てるため森林火災情報をセンチネルアジアへ提供したい。また、消防庁寄附講座との交流を通じ、国内での森林火災の情報提供の在り方を検討したい。

来年度は、の森林火災検出・分類アルゴリズム開発を進め、完成アルゴリズムを提出する。また、森林火災モニタについて、MODIS以外にも複数の衛星観測による森林火災検出結果を統合できるシステムの開発を行う。これにJAL観測協力のデータも統合して、森林火災の総合的データベースを構築し、これらを実利用に役立てるため森林火災情報をセンチネルアジアへ提供したい。また、消防庁寄附講座との交流を通じ、国内での森林火災の情報提供の在り方を検討したい。

表 1：今年度の研究開発項目と組織目標との対応

森林火災検出・分類アルゴリズムの研究開発

GCOM 目標：アルゴリズム開発、校正検証・精度・品質向上
 →分類アルゴリズム開発に目処、現地観測実施・データ解析中
 センター目標：衛星及び衛星データの利用成果を外部に発信
 →機内誌 1 件、テレビ報道 2 件、一般に衛星利用の必要性をアピール

森林火災モニタシステムの開発

GCOM 目標：衛星観測データの利用継続
 →MODIS データ用アルゴリズムによる検知結果の消防機関への提供

森林火災情報通知システムの開発 (北大 JICA-JST)

センター目標：GEOSS/JAXA 貢献タスクに SAPC と一体の対応に、
 人材育成目標：現業利用へ発展、社会への定着に広い視野と総合力育成、
 国際枠組み活動への積極的な参加
 →開発をリード、他グループへ衛星データ利用効果を説明

北極圏の研究推進・研究基盤(IJIS)

GCOM 目標：衛星観測・地上観測・モデル統合利用のための共同研究
 総合調整との協力：北極圏データ利用研究などプロジェクトの推進・維持
 衛星観測データの利用継続
 →森林火災モニタの IJ-Dir と融合、IJ-Dir への研究メタデータ投入調整
 RA の実施、研究成果取りまとめに関する調整

空のエコ

環境への取り組みをご紹介します

空から見守る地球環境～森林火災の発見通報

空から見た森林火災の様子と
JAXAが開発中の「気候変動観測衛星(GCOM-C1)」

JALグループでは、航空会社ならではの環境社会活動にも力を入れています。そのひとつが、「森林火災の発見通報」です。

シベリアやアラスカの北方針葉樹林、インドネシアの熱帯林などの豊かな森林は、人間の出す二酸化炭素(CO₂)を吸収して酸素を生みだし、地球の大気環境を保つ役割を果たしています。しかし、その森林で火災が発生すると、樹木、下草や落ち葉だけでなく、土壌の有機物が燃え、長年蓄積した炭素を大量に放出します。「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第4次報告書」によると、

1年間に排出されるCO₂量は、人間活動によるものが260億トンであるのに対し、森林火災では62～150億トンに上ると推定されています。森林火災の影響がいかに大きいかわかります。

森林火災の原因は、落雷などによる自然発火のほか、人為的な失火などさまざまです。北方森林は広大で、火災を見つけることすら簡単ではありません。たった1回の落雷がきっかけで東京都と同じ広さの森が燃えることもあり、地域によっては小型飛行機でパトロールをしています。また、消火活動も通常とは異なり、ときにはパラシュートで、またときには道を切り拓きながら、火災現場へと向かいます。

森林火災の影響を最小限に留めるには、小さいうちに火を見つけ、延焼を予測し、効率的に消火することが必要です。そのため、人工衛星による森林火災検知システムを、宇宙航空研究開発機構(JAXA)とアラスカ大学国際北極圏研究センター(IARC)が行っています。ただ、700km上空の衛星からすべての火災を

正確に見つけるのは容易ではないため、JALはこの研究チームの要請に応じ、火災が多発する夏の間、シベリアやアラスカなどの上空を運航中のパイロットが火災を発見した場合に、情報提供をする活動を2003年より始めました。パイロットから報告された情報を、研究チームは衛星による赤外線画像と照合し、システムの精度向上を図っています。2009年度までの7年間で、合計918件の情報提供を行ってきました。

JALの発見通報は直接的な消火活動に繋がるものではありませんが、この火災検知システムが高精度になれば、効率的な消火活動ができ、火災を最小限に留める効果が期待されています。今年も7月より観測を開始し、今日もJALのパイロットが空の上から地球環境を見守っています。

「JALと環境」ホームページでは、さまざまな取り組みを紹介しています。「空から見守る地球の自然」コーナーで、森林火災通報についても詳しく説明していますので、どうぞご覧ください。

<http://www.jal.com/ja/environment/>

図 5：JAL共同観測に関する記事（機内誌8月号）

5. センサ研究の概要

5. センサ研究の概要

佐藤亮太、今井正、山本泰志、片山晴善、内藤聖貴、植松明久、原田昌明、中村良子、久世暁彦、須藤洋志、丹下義夫、久田安正、菅沼正洋

1. はじめに

EORCセンサ研究グループでは、将来の地球観測センサのための技術研究を行っている。超軽量大型鏡の研究は、 $\Phi 800\text{mmSiC}$ 望遠鏡の波面縫い合わせ実験を行った（第2節）。イメージングFTSの研究（前年度までは静止大気・気象観測ミッションの研究）では、基礎特性についてシミュレーション解析と基礎実験を実施した（第3節）。小型赤外カメラの開発では、 ΔCDR を実施し、地上検証モデルの製作を進めると同時に地上校正試験の準備を整えた（第4節）。また、戦略的技術研究として昨年度から開始した宇宙用赤外線検出器の研究については、非冷却赤外検出器については200万画素検出器の設計まで完了し、タイプ2超格子検出器については単画素検出器の試作評価まで終了した（第5節）。光学センサの校正・性能評価試験技術の研究（第6節）、およびコンタミネーションの研究（第7節）を、昨年度から継進して進めている。また、将来の地球観測ミッションに必用なセンサシステムの調査を行った。海面高度計測用センサについてはミッション要求調査・センサ検討を行い（第8節）、サブミリ波放射計については研究計画をまとめた（第9節）。

2. 超軽量大型鏡の研究

将来の地球観測分野ならびに天文観測分野では、より高空間分解能の観測が求められるため、より大型のミラーが必要となる。また、重量の制約がある宇宙機にとっては軽量化が重要な要素である。センサ研究グループでは、大型ミラー技術を基盤技術として蓄積することを目指して、他本部と連携して検討チームを立上げ、超軽量大型構造のSiCミラーを利用した光学系実現のための技術課題を抽出し、その解決のための研究を行っている。主な項目として、①大型SiC鏡の品質評価技術確立のためのサンプル試験、② $\Phi 800\text{mm}$ の超軽量SiCミラーならびにそれを用いた光学系試験モデルの試作／試験、③大型光学系の高精度計測技術確立するための波面縫い合わせ測定技術の研究、そして④波面補償技術の研究が挙げられる。このうち、FY22では主に③について取り組んだ。また、②においては、FY21で製作した $\Phi 900\text{mm}$ 大型平面鏡を用いて、真空下での波面測定も行った。

2.1. 真空下での超軽量大型鏡波面測定

FY21に製作した軽量大型平面鏡(有効径900mm, 質量47kg, 190mmRMS)を用いて、真空環境下での $\Phi 800\text{mmSiC}$ 望遠鏡全面の干渉計測定を実施した。真空試験は筑波宇宙センター 6m Φ 放射計スペースチャンバで実施した。試験のコンフィギュレーションを図1に示す。

真空試験の結果を図2に示す。大気中と真空中で波面に大きな差は見られず、真空環境下での光学調整、波面測定技術を実証することができた。これにより、 $\Phi 900\text{mm}$ までの大型望遠鏡の真空試験が可能となり、今後の大型光学系を用いるプロジェクトに活用することができる。

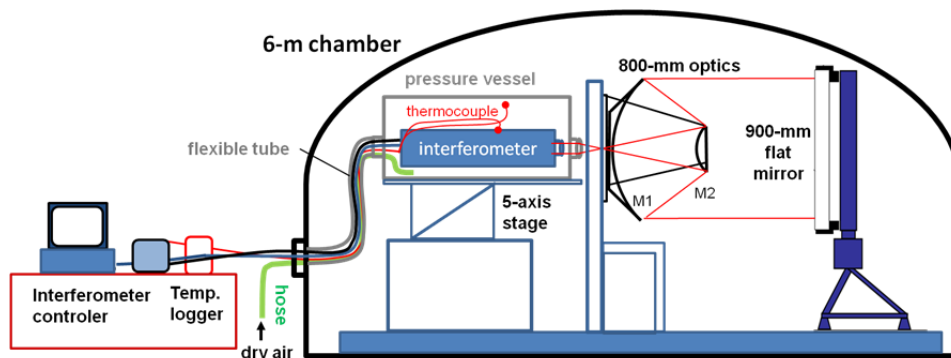


図1 真空試験のコンフィギュレーション
(筑波宇宙センター 6mφ放射計スペースチャンバ)

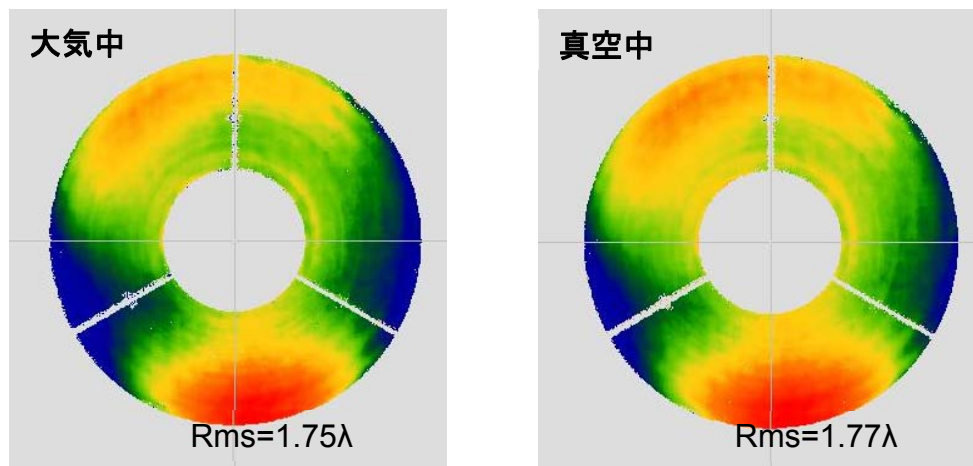


図2 左：大気中で取得したΦ800mmSiC 望遠鏡の波面
右：真空中で取得したΦ800mmSiC望遠鏡の波面

2.2. 波面縫い合わせ測定

上記の Φ800mmSiC 望遠鏡を用いて、大型望遠鏡の波面縫い合わせ測定手法の技術検証を行った。直径300mmの小型高精度平面鏡を用いてSiC望遠鏡の小開口波面を測定し、波面縫い合わせ技術によりΦ800mmSiC望遠鏡全面の波面測定を行った(図3)。波面波面縫い合わせ処理には、FY19より継続して開発しているアルゴリズムを用いた。

図4に示す通り、Φ300mm小型平面鏡で縫い合わせ測定した波面は(図4右)、Φ900mm平面鏡で瞬時測定をした波面(図4左)をよく再現しており、波面の縫い合わせが高精度に行われていることを確認した。これにより、波面縫い合わせによる大型望遠鏡の光学性能を測定できる見通しを得た。口径800mmクラスの望遠鏡の透過波面を波面縫い合わせ法で光学測定した例は、世界的にも珍しい。

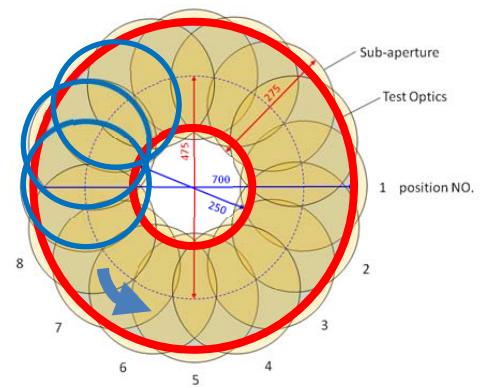


図3 左：波面縫い合わせ測定の様子

右：波面縫い合わせ測定概念図

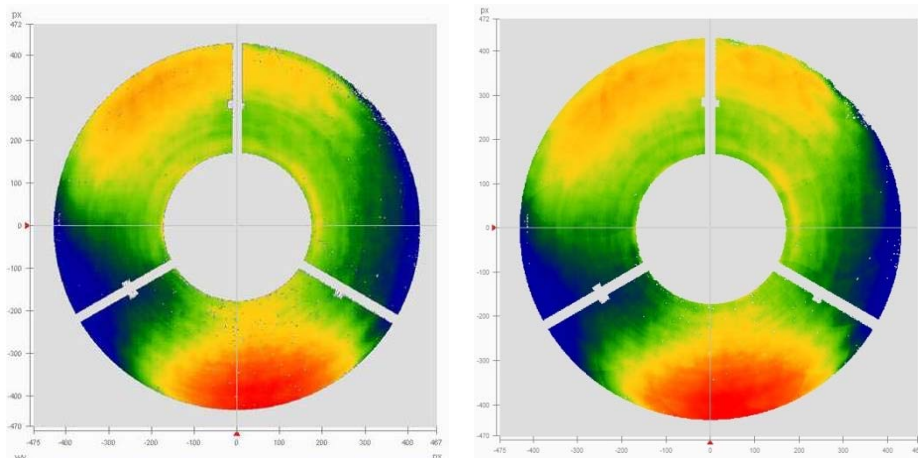


図4

左： $\Phi 900\text{mm}$ 鏡で瞬時測定した SiC 望遠鏡の波面。RMS=1.718 λ 右： $\Phi 300\text{mm}$ 鏡で縫い合わせ測定をしたSiC望遠鏡の波面。RMS=1.704 λ

参考文献：

- [1] Kaneda, H., Nakagawa, T., Onaka, T., et al. Proc. SPIE 6666, 666607 (2007)
- [2] Kroedel, M., R. and Ozaki, T., et al. Proc. SPIE 6666, 66660E (2007)
- [3] Kroedel, M., R. and Ozaki, T., Kume, M., et al. Proc. SPIE 7018, 70180A (2008)
- [4] Yui, Y., Goto, K., Kaneda, H., et al. Proc. ICSO (2008)
- [5] Katayama, H., Yamamoto, Y., Miyamoto, M., et al. Proc. SPIE 7436, 74360Q (2009)
- [6] Kroedel, M. R., Ozaki, T., Kume, M., et al. Proc. SPIE 7426, 74260K (2009)
- [7] Suganuma, M., Katayama, H., Naitoh, M., et al. Proc. SPIE 7731, 77313X-1 (2010)
- [8] Suganuma, M., Imai, T., Katayama, H., et al. Proc. ICSO (2010)
- [9] Kaneda, H., Naitoh, M., Imai, T., et al. APPLIED OPTICS, 3941, Vol. 49, No. 20 (2010)
- [10] Enya, K., Yamada, N., Imai, T., et al. Cryogenics, submitted
- [11] Otsubo, M., Okada, K. and Tsujiuchi, J., Optical Engineering, 33, (1994):608

3. イメージングFTSの研究

3.1 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、我が国を含む広範囲の地域への直接・間接の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向を常時観測することは極めて重要と考えられている。

また、現在、極軌道衛星搭載のFTSや回折格子型の高鉛直分解能サウンダ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、イメージングFTS、回折格子型分光計、フィルタ方式分光計等が挙がるが、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FTSであるという結果を得たため、イメージングFTSの技術課題についての研究を実施することとした。

3.2 FY22研究の概要

イメージングFTSは、地球ディスクを1時間に1度で観測す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、光路差を等間隔でサンプリングしたインターフェログラム (IGM) をフーリエ変換することで、元のスペクトルを得るため、大前提として、等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 TANSOでは、レーザと観測光のサンプリングのタイミングの差を微調整する遅延回路を取り入れ、ハード的に対処していた。イメージングFTSは積分型検出器を用いるため、必然的に遅延が大きいとともに、TANSOで確立した遅延補正技術が使えない。そのため、従来のTANSOの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、独立して時刻を基準としてサンプリング (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3-1に示す。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に再生成しなおす。その際に、走査速度不安定性や微小振動の影響も補正するためには、サンプリングレーザのフリン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、光軸外も使用して観測することから、解析、実験により光軸外の特性も確認することとした。

FY22は、UTSサンプリングの基礎を得るため、模擬する計算機シミュレータを作成し、データ処理方法を確認・検討するとともに、GOSATのTANSO BBM (GOSAT TOKYOモデル) を改修して上記シミュレーションについて確認実験を実施した。

3.3 FY22の結果

(1)シミュレーション結果

5. センサ研究の概要

アルゴリズムを開発し、積分型検出器の遅延誤差のみを考慮したケースで波長 $5\mu\text{m}$ の単色光を観測するシミュレーションを実施し、スペクトルを生成出来た。また、軌道上ではFTSに1%の走査不安定性が想定される。擬似的に走査不安定性を加味したシミュレーションを試行した結果、オーバーサンプリングを2.5倍以上とすると、SNが維持できることが分かった。

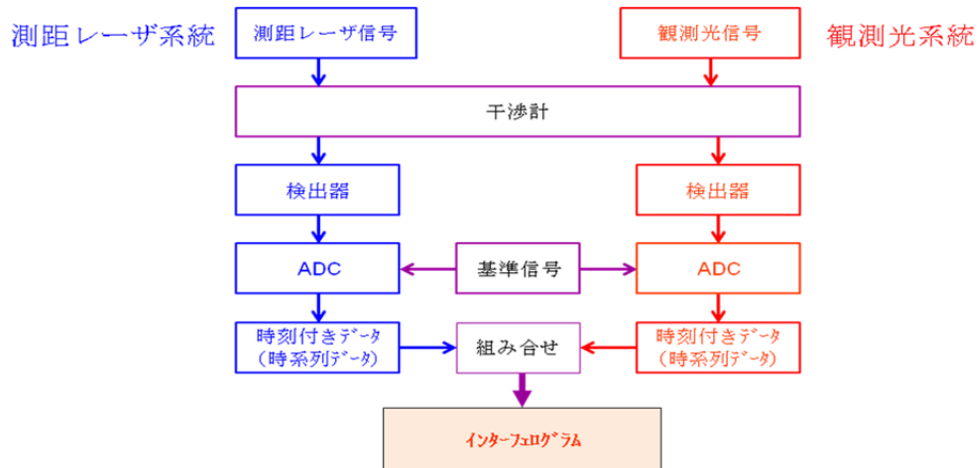


図3-1 時刻を基準としてデータを取得し、後処理で測距信号と観測光を合わせてインタープログラムを生成する。

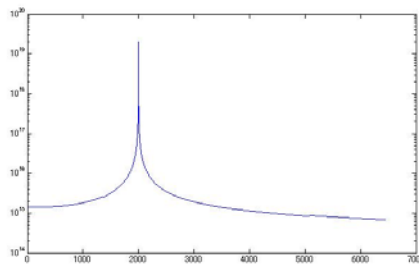


図3-2 波長 $5\mu\text{m}$ の単色光を観測するシミュレーション。横軸は波数、縦軸は強度で任意の単位。波長 $5\mu\text{m}$ の単色光が再現できている。

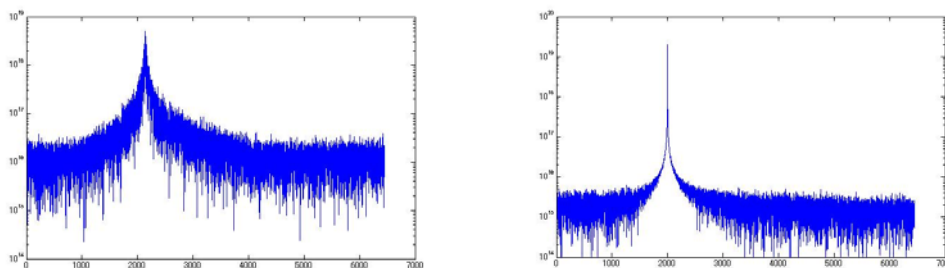


図3-3 擬似的に1%の走査不安定性を加味した波長 $5\mu\text{m}$ の単色光を観測するシミュレーション。図3-1と同じく横軸は波数、縦軸は強度で任意の単位。左図は2倍、右図は2.5倍のオーバーサンプリングでデータを取得した。左図ではノイズが大きく、ピーク形状が不明確であるのに対し、右図ではピークが明瞭に識別できていることから、オーバーサンプリングが2.5倍以上必要であることが分かる。

(2)TANSO BBMを使用した試験

TANSO BBMを用いて、UTS方式を使用してハロゲンランプを測定し、スペクトルを再現する実験を実施した。TANSO BBMでは測距レーザのゼロクロス時に観測データをサンプリングするため時刻信号が付加されていない。このため、観測光の検出器から直接、信号を取り出してA/D変換し、時刻データを付加出来るように信号線を追加した。同じく、測距レーザ信号についても同様の改修を行った。観測信号と測距信号は同じ時刻信号を基準とするために同じパルス発生器を基準としてA/D変換を行った。

上記の改修を行った後に実験を実施し、取り込んだ時刻付き観測信号と測距レーザ信号を組み合わせ、スペクトルを再現した。等光路差間隔サンプリング方式で取得したデータと比較し、ほぼ一致していることを確認した。

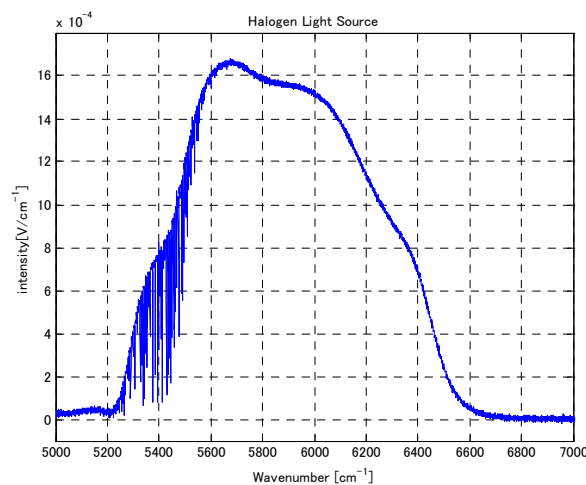


図3-4 UTS方式で取得したハロゲンランプのスペクトル

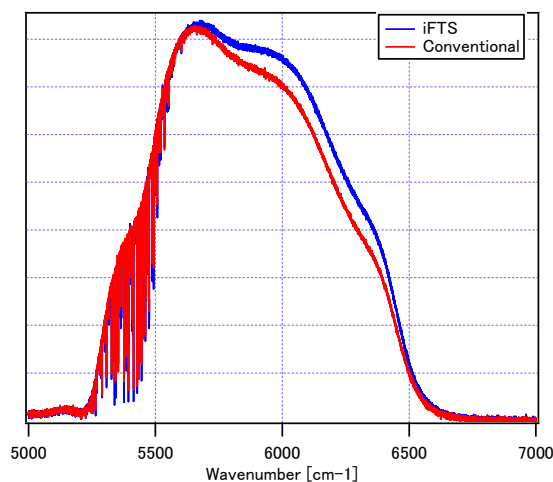


図3-5 UTS方式で取得したハロゲンランプのスペクトル（青線、図3-4と同じ）と等光路差間隔サンプリングで取得したスペクトル（赤線）の比較。ほぼ一致している。5700～6300cm⁻¹で少し形状が異なるのは取得した時刻が異なり、ランプの温度が変わってスペクトルが変化したためと考えている。

次に検出器を光軸外に設置し、光軸外の特異（装置関数）を取得した。結果を図3-6に示す。また、図3-7に当光路差間隔方式で取得した装置関数を示す。両図を比較し、UTS方式で装置関数が得られたことが分かる。

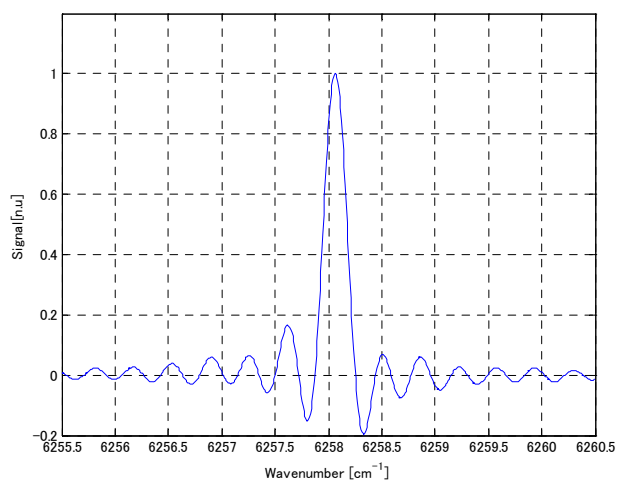


図3-6 UTS方式で取得した光軸外の装置関数

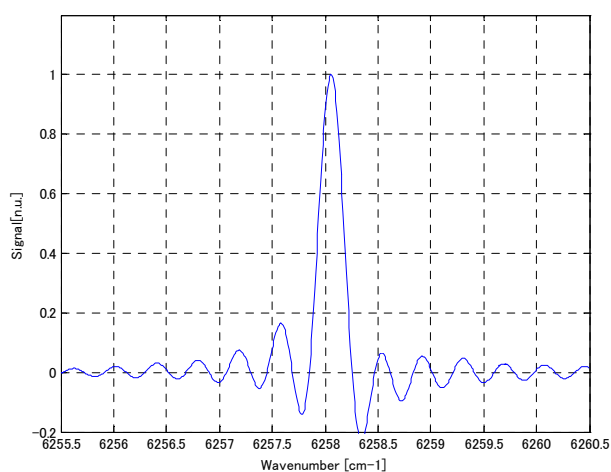


図3-7 等光路差間隔サンプリング方式で取得した光軸外の装置関数

3.3 今後の計画

FY23も、引き続きイメージングFTSの基礎実験を続ける。具体的には、シミュレーションの精度を向上させ、必要なオーバーサンプリング量の精度を高める。TANSO BBMの実験では、アレイ検出器を設置し、光軸上、光軸外の装置関数を同時に取得することを計画している。また、これらの結果を反映し、FTS駆動部の要素検討等を実施することも計画している。

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の主要諸元を表4-1、外観を図4-1に示す。検出器はこれまでの宇宙で使用されたものでは最大となる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。

表4-1 CIRCの主要諸元

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 CIRC(地上検証用モデル)の外観

4.2 CIRCの開発状況

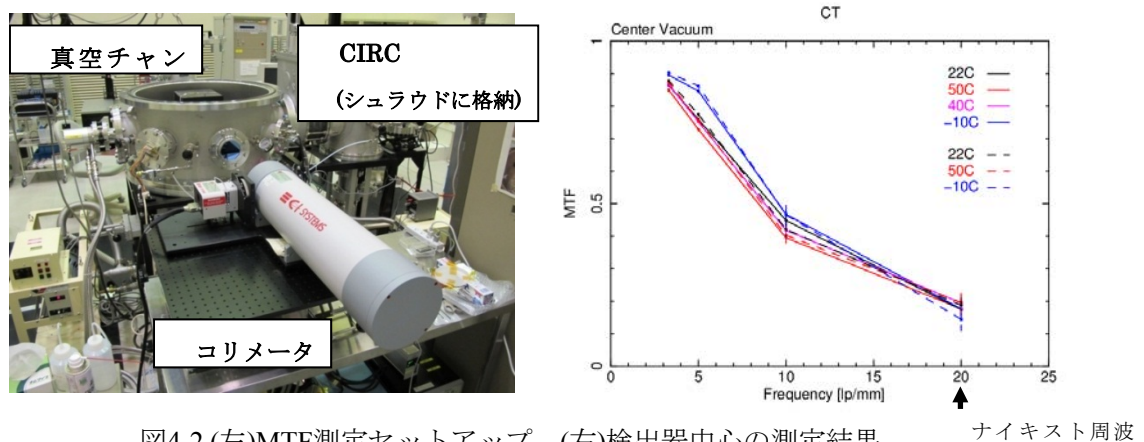
FY22でCIRCのALOS-2(2013年打上げ)、JEM/CALET(2013年打上げ予定)への搭載が決定した。ALOS-2搭載用PFMは現在製作を行っており、FY23/9末に完了する。CALET搭載用PFMはALOS-2用PFMをベースとしており、機械環境条件等のIF調整を行っている。FY23から製作を開始し、FY24/2末に完了予定である。

5. センサ研究の概要

一方、CIRCの地上校正試験はインハウスで行うため、試験手順確立を主目的とした地上検証モデルの真空中校正試験を行った。試験項目は(i)結像性能(MTF)測定と、(ii)ラジオメトリック測定である。

4.2.1 MTF測定

MTF測定箇所は検出器中心とCT方向 $\pm 5^\circ$ 、AT方向 $\pm 3.5^\circ$ であり、使用した4 barターゲットは、CIRCのナイキスト周波数の1、1/2、1/4、1/6倍の4種類である。図4-2(左)に測定セットアップを示す。コリメータに4 barターゲットをセットして測定を行った。またCIRCの温度を変えて測定することで、アサーマル性の確認も行った。図4-2(右)は検出器中心での測定結果である。本測定で測定手順・手法を確立し、検出器中心でのアサーマル性を確認することができた。



4.2.2 ラジオメトリック測定

軌道上での温度校正に必要なデータを取得するため、ラジオメトリック測定を行った。今年度は迷光補正用データを取得した。来年度に温度校正精度導出用データの取得、および測定手順・手法の確立を行う。測定セットアップを図4-3に示す。

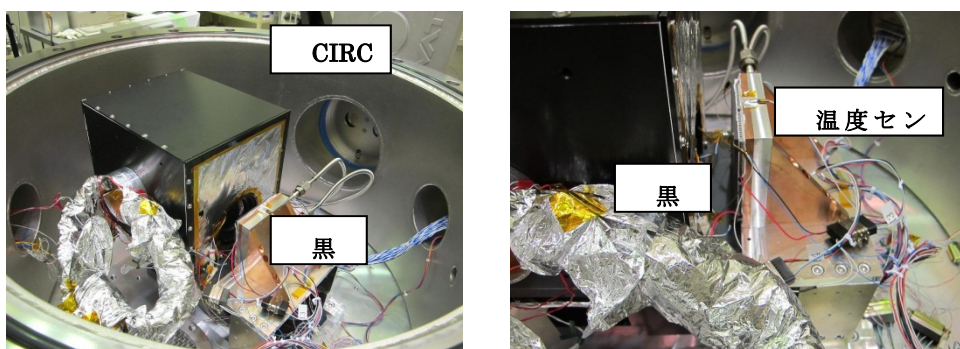


図4-3 ラジオメトリック測定セットアップ

5. 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な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）

5.1 非冷却赤外検出器の研究

非冷却赤外検出器については、最終的な目標として、静止軌道から簡易なセンサ機能により5km程度の分解能でリアルタイムモニターを可能とするため、4Mpixelクラスの検出器を製造可能とする技術の獲得を目標とする。FY21からの3年間の研究としては、1Mpixelクラスの検出器の開発を目標とする。

赤外検出器の大フォーマット化を実現する上での最も大きな制約は、現状の設備を活用する場合、製造プロセスにおける露光範囲の制約である。このため、限られた露光範囲で多素子化するための画素ピッチの微細化技術やスティッチング（ショットの繋ぎ合せ）技術が必要である。

現在の国際的なレベルは、画素ピッチ17 μ mであり、15 μ m画素、12 μ m画素の研究も始まっている。国内ではNEC、MELCOが非冷却赤外検出器を開発しているが、研究開始時点では640 \times 480pixelであり、4Mpixelクラスの大フォーマット化に関する技術開発は進んでなく、画素ピッチも25 μ mレベルに留まっていた。ただし、量産体制を通した技術基盤があるため、世界レベルへのキャッチアップを経由してその先の世界トップを目指すこととした。

FY21は要素試作と技術検討を実施し、画素微細化のための要素試作、および大フォーマット製造技術の設計検討を実施した。試作の結果、画素微細化の目処を得た。FY22はスティッチングの試作を実施し、技術の実現性を確認した。

FY21、FY22の試作、および、設計の進捗により、試作品の仕様を、世界最大フォーマットの画素数：200万画素、世界最小画素ピッチの画素ピッチ：15 μ mと設定した。主な仕様を表5-1に示す。

本設計に基づいて試作品の設計を進め、マスク設計まで完了した。FY23はこのマスクを用いて試作品を製作し評価する。

表5-1 試作する検出器の仕様

項目	当初目標	設計仕様	現在の市販品
フォーマット (画素数)	100 万画素以上	200 万画素 (2000×1000)	約 80 万画素 (1024×768)
画素ピッチ	17 μ m 以下	15 μ m	17 μ m
熱時定数	20msec 以下	12msec	10msec
雑音等価温度差 (NETD)	100mK 以下	84mK	40mK

5.2 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5-1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 μ m～30 μ 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こと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。

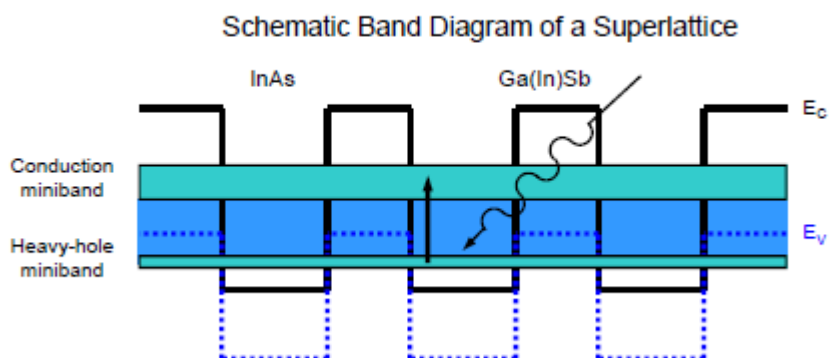


図5-1 Type II 超格子のバンド構造と吸収プロセス(Hill et al 2009)

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と考えられる。

FY21はType2 超格子(T2SL)の結晶成長を行い、赤外検出器として良好な結晶を得るための結晶成長技術を獲得した。FY22はT2SLの単画素検出器の試作と評価を行った。試作したTEGチップと30Kまで冷却可能な評価システムに設置したTEGチップの写真を図5-2に示す。

検出器の評価として、暗電流雑音と分光感度特性の測定を行っている。暗電流の測定結果を図5-3に示す。海外のPINダイオードの暗電流レベルと比較しても十分低く、プロセス等に大きな問題はないことを確認した。しかしながら多画素の赤外検出器の実現にあたっては、現状のPINダイオードの暗電流レベルはまだ2-3桁高く、nBn等の超格子構造の見直し等によって暗電流を低減させる必要がある。分光感度特性については、カットオフ波長の設計値6 μm に対して、ほぼ設計値通りのカットオフとなっていることを確認した。しかしながら感度に関しては、期待される感度の数倍となっていた。これは検出器の特性ではなく、測定系の迷光、光学的なクロストークに原因あると考えており、上記を解消するため光束を制限するなどの測定が必要であると考えている。

FY21～FY22の2年間で、①超格子結晶の設計・製作、②単画素検出器製作のためのプロセス、③単画素検出器の評価を行い、夫々の技術を獲得した。特に検出器性能の鍵となる超格子結晶の製作技術は海外に比べても十分良質な結晶を得られるレベルにあり、今後nBn等の超格子構造の見直しにより暗電流のレベルを下げる事が出来れば、世界最高感度を持つ赤外検出器の実現は可能と考えている。

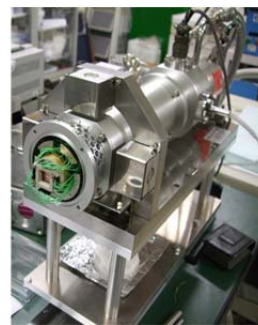
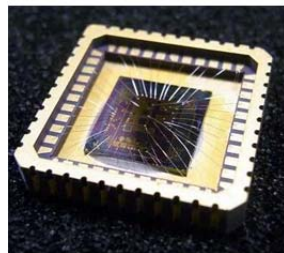


図5-2 試作したTEGチップ(右)と評価システムに設置したTEGチップの写真 (左)

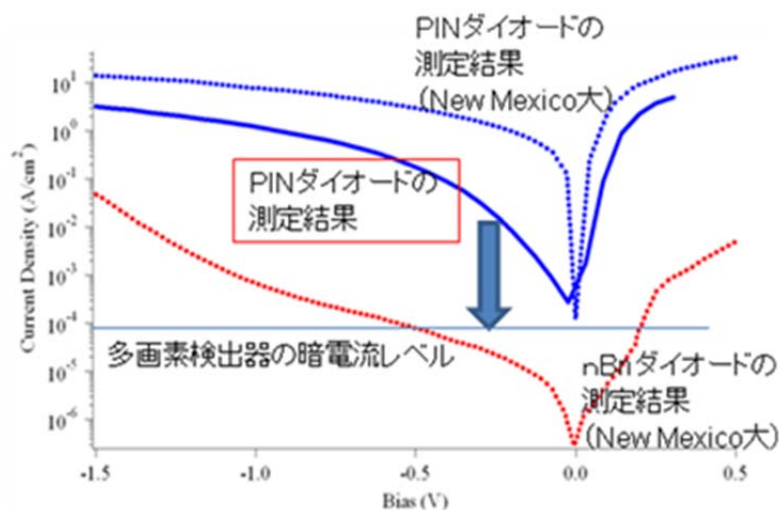


図5-3 暗電流の測定結果。実線が測定結果、点線は海外の文献値(Bishop 2008)。

6. 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な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0.1nm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℃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、測定対象(定点黒体炉、積分球等)を鏡で切り換えて、各波長における分光放射輝度の値を移す。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。精度を維持・保証するために必要な、評価試験および必要ならば改修を、定期的実施している。

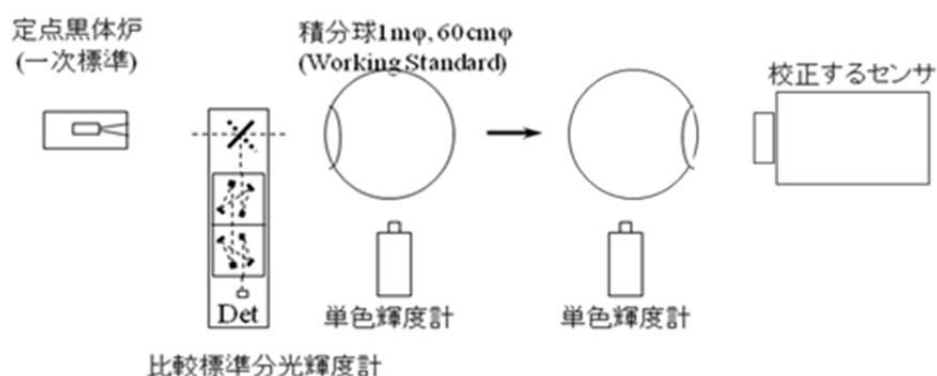


図6-1 光学センサの輝度校正標準の概要

(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。現状は、センサの開口が10 cm程度までならば、校正光源までの精度1%を達成している。

従来使われてきた硫酸バリウムによる積分球は、硫酸バリウムは親水性の材料のため、水蒸気吸収の影響を強く受け、Working Standardとして精度を損なう問題点がある。赤外では金が最も理想的な材料である。GCOM-CおよびALOS-3搭載センサのような大開口のセンサは硫酸バリウム積分球を使用するしかなく、校正精度が大きく損なわれている。そのため、金積分球の大型化(直径1mΦ)の検討を実施している。

本年度は、1mΦ半球の製造工程を検討した。積分球内面の拡散面は、ブラストによって拡散性を高め、その後に下地ニッケルメッキを行い、最後に金蒸着を行う。下地のニッケルメッキの課題は、メッキ厚さのコントロール(ブラストを埋めてしまわないこと、拡散特性を損なっていないこと)と、ムラやシミが生じないことである。図6-2に下地のニッケルメッキの概要とニッケルメッキ後の半球を示す。3回メッキを実施した結果は以下の通りである。メッキ前後で表面粗さの変化はほとんど無く、メッキ前後で拡散特性の変化はほとんど無く、ブラストを埋めていないことつまり拡散特性を損なっていないことを確認した。また、ムラやシミは無かった。



図6-2 下地のニッケルメッキの製造ライン ニッケルメッキ後の半球

金蒸着の課題は、蒸着膜剥がれと、いろいろな方向を向いているブラスト面の全面に蒸着されることである。工夫したことは、洗浄槽が使えないために蒸着前の洗浄工程の工夫と、なるべく全面に対して法線方向から蒸着するように線源との位置関係・治具・治具の動かし方である。図6-3に金蒸着後の半球とウィットネスサンプルを示す。2回蒸着を実施した結果は以下の通りである。テープテストでの膜剥離は無かった。蒸着膜厚のムラは無かった。反射率のムラは無かった。拡散特性の評価結果は良好だった。



図6-3 金蒸着後の半球とウィットネスサンプル

FY19～22の研究によって、1mΦ金積分球の製造方法の確立と全ての性能仕様を満たす目処を得た。これによって、GCOM-CおよびALOS-3搭載センサのような大開口のセンサをSWIRで1%の精度で校正する実現性を得た。プロジェクトに適用する1 mΦ金積分球の実機をFY23に製作することが可能となった。

7. コンタミネーションの研究

これまでの衛星搭載センサの運用結果から、コンタミネーションによる光学センサの性能劣化は、ほぼ普遍的に発生するものと考えられる。光学センサの観測精度の向上を目的として、その評価および対策の検討を実施する。

本研究では、コンタミ付着量と光学特性変化の関係を定量的に評価するとともに、その数値モデル化を目指し、コンタミ許容値やコンタミ管理条件の設定のための指標を得ることを目的とする。

本年度は、分子状コンタミ付着量と分光透過率変動の相関を測定する技術の研究を行った。真空中で分子状コンタミが付着した状態で分光透過率を測定するが、分子状コンタミ付着量を定量的に測定するため、TQCM (水晶微量天秤)を用いた。図7-1に製作した測定装置の概要を、表7-1に測定装置の仕様を示す。

本実験では、吸着面の温度を制御することで吸着量を制御した。温度を制御した時のQCMの振動数を測定し、以下の関係より膜厚 t を推定した。

$$\Delta f = \text{振動数} - \text{基準振動数}$$

$$\Delta m = -1.96 \times 10^{-9} \cdot \Delta f \text{ [g/cm}^2\text{]}$$

$$t = \Delta m / \rho \quad (\rho: \text{吸着ガス密度})$$

図7-2にコンタミ付着量の測定結果を示す。また、コンタミ付着量を1%程度で知るには、吸着面の温度変動を0.1 K程度に抑えると共に サンプルとTQCMの温度を0.1 K程度で合わせる必要がある。実験の結果、サンプルとTQCM共に0.1 K以下の安定性であり、両者は0.1～0.2 Kで一致した。上記より、コンタミ付着量を10 Åあるいは1%程度の精度で制御・測定することが可能となった。

フタル酸 (DEHP)を用いて、コンタミ付着量と分光透過率変動の相関を測定した。図7-3に測定結果を示す。また、実際に衛星に使われている数種類の代表的な有機材料 (フタル酸ジオクチル、ケミグレース、ヘキサトリアコンタン) からのアウトガスを硝材に吸着させ、分光透過率変動の評価を行った。



図7-1 測定装置の概要

表7-1 測定装置の仕様

サンプル大きさ	Φ13 mm	
分光透過率の測定波長範囲	200～2500 nm	
測定温度範囲	0℃～+30℃	測定装置自身は-20℃～50℃まで対応可能。 吸着面の温度を制御することで吸着量を制御する。
吸着量の制御範囲	100～1,000 Å	軌道上で運用されたセンサの見積もりから設定。 (MSX ～100 Å、Hinode ～1,000 Å) 吸着面の温度を制御することで吸着量を制御する。分子ガス種にもよるが、30℃の温度変化で吸着量は20倍程度変化。100-1,000 Å(10倍の変化)を達成できる。
吸着量の測定精度	10 Å(目標) (吸着量が 1000 Åの時は 1%)	物質によるが、分子膜1層の厚さがまぼ10 Å程度。 1 Å まで制御できたとしても、透過率に対する変化は 非常に微小で、現実的には検出できない。 吸着による透過率変動については、実際のセンサで透過率変動が無視できなくなる程度の膜厚がわかれば良く、その意味では 10 Å程度の制御ができれば十分と考えている。

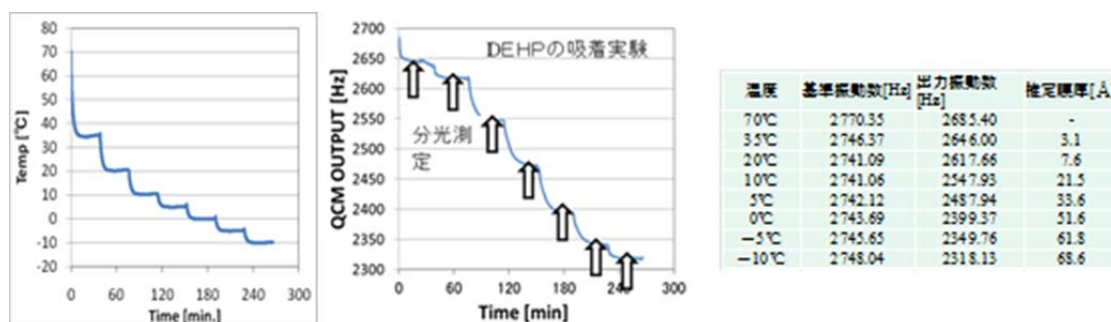


図7-2 コンタミ付着量の測定結果

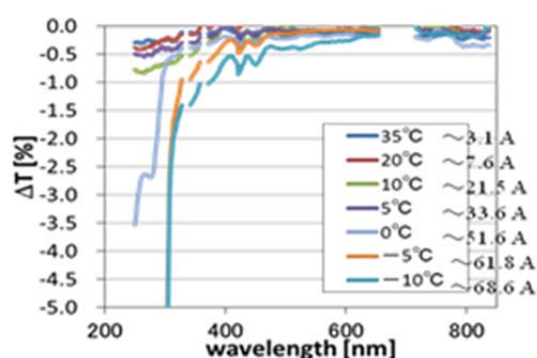


図7-3 コンタミ付着量と分光透過率変動の相関の測定(フタル酸)

8. 海面高度計ミッションの研究

8.1 ミッションの意義と目的

海面高度や海流は、海面水温・海上気象・塩分濃度・海色情報等と並び、多彩な利用ニーズを持つ主要計測項目である。我が国周辺の海域・沿岸特性に合わせた海面高度の計測を行うとともに、海面高度の4次元同化を行うことにより、海流予測の高度化へ貢献することができ、海洋の抱える様々な課題に貢献することができる。また、海面高度計の保有により、国際的な海洋ガバナンスの形成・発展及びその遵守の確保について、我が国が先導的な役割を担えるようになる。

本研究では海面高度計測ミッションを創出するため、ミッション要求に関する検討・ユーザとの調整とミッションの実現に必要なセンサ・衛星システム・データ補正・データ解析等のシステムについての検討を行う。

今年度は、ニーズ分析とミッション要求調整を行うとともに、センサ・衛星システムに関して実現可能な仕様を把握するための概念検討を実施し、ユーザからコメントを得た。

8.2 ニーズ分析とミッション要求の調整

海洋・宇宙連携委員会における、海面高度や海流に対する行政・現業を中心とするニーズの集約作業（ギャップ分析）を通して、さまざまな利用対象ごとに海面高度計測に対するユーザ要求を整

理するとともに、抽出作業を実施した。その抜粋を表8-1.に示す。

表8-1 海面高度計測に対するユーザ要求（抜粋）

パラメータ	要求の幅
空間分解能	1 km～50 km
高度精度	1 cm～数cm～10 cm
観測頻度	1日～30日
カバレッジ（注）	0～100%

（注）カバレッジとは、衛星が周回するエリアの全面積に対する、実際にレーダ観測を行う面積の割合である。100%に近いほど隙間が少ない。

8.3 干渉SAR高度計の選択について

ユーザニーズのギャップ分析の過程で、従来型のレーダ高度計(直下型レーダ高度計)と、面的観測可能な干渉SAR高度計（クロストラック干渉SAR）の比較検討を行った。

直下型レーダ高度計の限界として、水深の浅い縁辺海（水深200m以浅の東シナ海、南シナ海、黄海等）では信頼できる海流予測データが存在しないことが分かった。観測が直下に限られるため、軌道間間隔が広く、データサンプリング空間・時間間隔が広すぎて精度の高い4次元同化に十分なデータが存在しないからである。

一方、干渉SAR高度計では、面的な観測を行うため時空間サンプリング頻度が飛躍的に向上する。例えば、適切な軌道選択を行うことによりほとんど隙間のない密な観測を行うことも可能である。その結果、4次元同化による海流予測が飛躍的に向上する。また、潮汐モデルの精度が飛躍的に向上するため、これまで海流予測が困難であった縁辺海での海流予測が実現する。

8.4 海流予測に必要な海面高度計のスペック調整

海面高度計の専門家や4次元同化専門家で構成する海面高度計技術検討部会を発足させ、本ミッションの主要目的である海流予測の高度化に寄与するために、海流の4次元同化や海流予測に必要な物理現象のスケーリングを行い、海流予測に必要な海面高度計に関するスペックについて調整を行った。

8.5 センサ・衛星システムの概念検討

前述の比較検討を踏まえて、干渉SAR高度計を搭載したセンサ・衛星システムの概念検討を実施した。

(1) 軌道選択

軌道選択については、高精度の海面高度計測に必須となる潮汐除去が可能であり、かつ、ユーザニーズとの調整結果として、観測頻度・観測領域を勘案した軌道として、高度937.49km、軌道傾斜角約51°、回帰10日の太陽非同期軌道を有力な候補とした。

(2) センサ誤差解析

消費電力やアンテナ長の制約を考慮し、観測幅140km（70 km×左右両側観測）で、5km分解能、位相誤差5cmの成立解があることを確認した。

(3) 衛星規模・データ通信解析

搭載コンポーネントの概算積算を行い、衛星規模が1.4トン、2.5kW程度であれば制約範囲内に収まる見込みを得た。また、観測領域を日本近海に限定することにより、データ収支を取れる見込みを得た。

(4) トータル性能

軌道選択検討とセンサ検討を組み合わせた結果、5km分解能で、センサ位相誤差5cm(トータル誤差10.2cm)のデータが、北緯35°において98%のカバレッジで10日に2回弱観測できる成立解があることを確認した。

上記の検討結果をもとに、海面高度計技術検討部会において、スペック設定についての優先順位に関するコメントを得た。一方、センサ・衛星システムやデータ補正・解析に関する詳細な検討課題の抽出を行い、次年度以降の検討に反映させることとした。

9. サブミリ波放射計の研究

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おいて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予定の常温ショットキーミキサ(SBD)とは技術的に異なる。今年度はサブミリ波放射計を開発する上での主要開発課題の洗い出し及び受信機部についての検討を行った。

9.1 センサ検討暫定仕様

サブミリ波放射計の観測周波数選択について過去に実績のある文献に基づき仕様設定を行った(200～600GHz帯)。検討を進める上での指標となる暫定仕様^[1]を表9-1に示す。

表9-1 ミリ波放射計暫定仕様

中心周波数 (GHz)	帯域幅 (GHz)	偏波	ΔT (K)
220.00±2.5	3	V	0.6 (0.3)
325.15±1.5	1.6	V	0.8 (0.4)
325.15±3.5	2.4	V	0.8 (0.4)
325.15±9.5	3	V	0.8 (0.4)
448.00±0.9	0.8	V	1.0 (0.5)
448.00±2.5	2.2	V	1.0 (0.5)
448.00±6.6	3	V	1.0 (0.5)
664.00±4.2	3	V	1.0 (0.5)

5. センサ研究の概要

9.2 センサ技術検討

サブミリ波放射計を構成する主要な開発課題は、①アンテナ部、②準光学部、③受信機部(IFにD/Cするまで)の3つに大別される。①及び②に関してはAMSRやSMILESの実績があることから技術的実現性は高い(高周波化に伴うホーンの微細加工、校正源等の課題について別途検討する必要がある)。③受信機部については、常温ミキサを用いた高周波数帯における国内開発実績はないため、優先的に検討を進める必要があると識別した。

受信機部の方式としては直接信号を検波する「直接検波方式」と、信号と局部発振器からのローカル信号をミキサで混合し中間周波数帯へD/Cする「ヘテロダイン方式」の2つがある。調査の結果、直接検波方式を採用する場合には200GHz以上で使用可能な低雑音増幅器(LNA)を新規開発する必要があることから、既に海外ミッションで開発実績のあるヘテロダイン方式を採用することとした。

高周波帯用受信機を構成するクリティカルなコンポーネントであるミキサ及び局部発振器(増幅アンプ、逡倍器含)については、国内技術による開発可能性、外部部品調達の可能性について検討を詳細に詰める必要がある。ただし外部民生品を調達する場合においても、宇宙用対策が必要となるため国内開発同様の課題は残る。

今後、国内技術／海外技術動向を踏まえて受信機部の詳細検討を行い、受信機部開発実現性の目途を得ることを目的とする。その他サブミリ波放射計の開発課題について並行して検討を進め、ユーザの要求と付け合わせながらセンサシステムとしての成立実現性を確認する。

参考文献：

- [1] K. F. Evans, “Submillimeter-wave Ice Cloud Radiometry Channel Selection Study”(2004)
- [2] “Establishment of Mission and Instrument Requirements to Observe Cirrus Clouds at Sub-millimetre Wavelengths”, Final Report (2007)

6. 将来の利用推進ミッションの研究 (共通)

6. 将来の利用推進ミッションの研究（共通）

地球電磁気観測ミッションのプロジェクト化準備作業

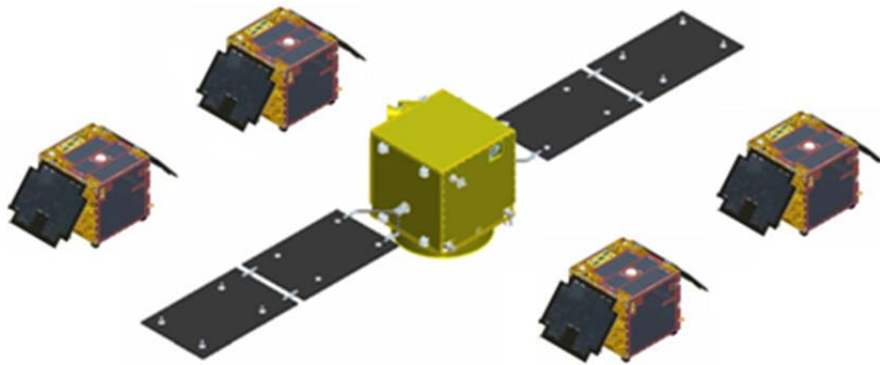
地球電磁環境モニター衛星群：ELMOS Constellation

ー小型科学衛星バスを利用した小型地球観測衛星シリーズ化の提案ー

児玉 哲哉

6.1 ELMOS衛星群の目的

ELMOS衛星群は、200kg級の小型衛星と4～5機のマイクロ衛星で構成され、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ー成層圏ー電離圏を観測する新技術の発展が要望されている2)。

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。

6.2 第54回宇宙科学技術連合講演会オーガナイズドセッション

2010年11月に開催された第54回宇宙科学技術連合講演会において、気象・大気圏・電離圏科学・

地震電磁気等、横断的分野の研究者及び超小型衛星の技術者と幅広い情報交換を行い、本衛星計画の推進を図ることを目的として、オーガナイズドセッション「ELMOS Constellation : GPS掩蔽観測衛星群が拓く地圏-大気圏-電離圏結合の観測」を開催し、12件の講演を実施した（オーガナイザー：児玉哲哉(JAXA)、渡部重十(北海道大)、鴨川 仁(東京学芸大)、長尾年恭(東海大)、後援：電気学会・自然災害軽減のための早期警戒システムと電磁界技術調査専門委員会）3）。

6.3 今後の展開：小型地球観測衛星のシリーズ化

本年は宇宙理学委員会小型科学衛星ワーキンググループ（WG）に大気プラズマ観測衛星WG（仮称）を新規提案する予定であり（代表提案者：渡部重十）4）、ELMOS衛星群の科学ミッションの具体的な立案に入る。

一方、GPS掩蔽観測技術は、高精度で安価な長期安定・総合的地球環境計測手法として獲得すべき技術である。また電子密度・温度との同時測定は、電離圏研究のみならず、技術データ取得装置：TEDAとともに宇宙環境モニターとしても有用である。

特にGPS掩蔽・電子密度・電子温度観測は、現在進展中の超小型衛星研究開発事業の共通ミッションとして位置づけられようとしており、まさに今、産学官の力を結集する必要がある5）。

小型衛星による地球観測ミッションの実施は、低コストで打上げ機会を増やすという点で、地球観測のみならず、小型科学衛星及びロケット全分野における信頼性向上と、量産効果によるコストの低減、そして研究開発衛星から現業衛星へ繋げるという「よい循環」が期待できる。

数十億円規模の小型地球観測衛星を主衛星として打上げることで、超小型衛星の実証機会は確実に増加し、我が国の将来の宇宙開発を担う人材の育成機会を提供することが可能となる。

参考文献

- 1) 児玉, 小山, 鈴木, 芳原：衛星群による電子温度・電子密度・GPS掩蔽観測の提案, 日本航空宇宙学会第41期年会講演会講演集, 2010年4月
- 2) 日本学術会議地球電磁気学研究連絡委員会：21世紀の地球電磁気学, 平成17年5月19日
- 3) ELMOS Constellation : GPS掩蔽観測衛星群が拓く地圏-大気圏-電離圏結合の観測, 第54回宇宙科学技術連合講演会講演集, 2010年11月
- 4) 渡部：ISS-IMAP後の大気プラズマ観測衛星についての提案, NICT/STEL研究集会「中間圏・熱圏・電離圏(MTI)研究会」, 2010年12月
- 5) 鈴木, 小山, 海老沼, 藤原, 渡部, 栗原, 和田, 山本, 大塚, 齊藤, 坂野井, 青山, 児玉：GPS掩蔽・海面反射・電子密度・電子温度同時観測による大気圏-超高層-電離圏観測, 2016年以降の「きぼう」の地球観測分野に係る活用についてのアイディア提案書, 2011年1月

付 録

2010年 EORC研究成果発表

1. 論文発表

福田徹 2010/4 月 日本の地球観測衛星計画 30 年 Japan's Earth Observation Satellite Program in 30 years 日本リモートセンシング学会誌 日本リモートセンシング学会

Hui Lu/Toshio Koike/Katsunori Tamagawa/Mohamed Rasmy/Hiroyuki Tstsui/Hideyuki Fujii/Tetsu Ohta 2010/6 月 Towards the development of level1-3 products of GCOM: estimating hourly soil moisture and land surface energy fluxes by LDAS-UT 2010 土壌水分ワークショップ論文集 2010 土壌水分ワークショップ実行委員会

玉川勝徳/小池俊雄/Hui LU/藤井秀幸/Kun Yang/Xin LI 2010/6 月 陸面データどうか手法を用いた土壌水分推定に影響を及ぼす植生の不均一性に関する検討 2010 土壌水分ワークショップ論文集 2010 土壌水分ワークショップ実行委員会

白石一晃/開発一郎/藤井秀幸/小池俊雄 2010/6 月 東アジア地上データによる AMSR-E 土壌水分アルゴリズムの検証 2010 土壌水分ワークショップ論文集 2010 土壌水分ワークショップ実行委員会

福田徹 2010 年/6/18 宇宙からの国土観測(Land Observation from Space) 第 13 回 建設・環境マネジメント講演会 山口大学工学部「建設・環境マネジメント研究会」

片桐秀一郎・沖理子・清水収司・木村俊義・中島映至・佐藤正樹・高薮緑・岡本創・佐藤可織・萩原雄一朗・杉本伸夫・西澤智明 & 中島孝・松井隆 2010/8/9~12 EARTHCARE SCIENCE MISSION OBJECTIVES ISPRS Symposium ISPRS

飯田泰久/久保田拓志/沖理子/井口俊夫 2010/11/25~ Evaluating sampling error in TRMM/PR rainfall products by the bootstrap method : Estimation of the sampling error and its application to a trend analysis Journal of Geophysical Research (JGR) AGU

D.Sakaizawa/S.Kawakami/M.Nakajima/Y.Sawa/H.Matsuda 2010/12 中旬 Ground-based demonstration of CO2 remote sensing using a 1.57 μ m differential laser absorption spectrometer for direct detection Journal of Applied Remote Sensing Vol.4 043548 SPIE

境澤大亮/中島正勝 2011/1/15 環境計測用衛星搭載レーザーレーダー(ライダー)技術 レーザ研究 Volume 39 Number 1pp.12-16 レーザ研究

片桐秀一郎・中島映至・関口美保 2011/1 月 Cirrus Cloud Radiative Forcing at the Top of the Atmosphere using Global Distribution of the Microphysical Parameters Derived from AVHRR SOLA 日本気象学会

Hiroyuki Iwasaki/Hideyuki Fujii 2011/3 月 A Study on the Influence of Soil Moisture on Deep Convection around Ulaanbaatar, Mongolia, is an Arid Environment Using AMSR-E Soil Moisture Journal of the Meteorological Society of Japan Meteorological Society of Ja

浮田甚郎/奈良間千之/田殿武雄/山之口勤/富山信弘 2011/3/23 Glacial Lake Inventory of Bhutan using ALOS Data Part 1: Methods and Preliminary Results Annals of Glaciology International Glaciological Society

朝香智仁/岩下圭之/工藤勝輝/藤井壽生/山本義幸 2011/4 月発行 Experimental Evaluation of Digital Surface Model generated from ALOS/PRISM: the Usage of VRS RTK-GPS Tools 日本大学生産工学部 生産工学研究所所報 日本大学 生産工学研究所

Mandira Singh Shrestha/寶馨/久保田拓志/Sagar Ratna Bajracharya 2011/8/14 VERIFICATION OF GSMAP RAINFALL ESTIMATES OVER THE CENTRAL HIMALAYAS Annual Journal of Hydraulic Engineering 土木学会

今井正 2011/未定 将来地球観測センサ技術研究の概要 日本リモートセンシング学会誌 30 周年記念号 リモートセンシング学会

2. 口頭発表

内藤聖貴・片山晴善・原田昌朋・菅沼正洋・岡村吉彦・Kenny Rogers・Yann Guimond 2010/4/8 The Radiation Tolerance of Chalcogenide Glasses SPIE DSS SPIE

児玉哲哉 2010/4/12 地球電磁環境モニター衛星群:ELMOS Constellation -世界初の電子温度・電子密度・GPS 掩蔽同時衛星群の提案- 予報研究部コロキウム 気象庁気象研究所

橋本秀太郎/小野里雅彦/田殿武雄/堀雅裕/森山隆 2010/4/12 画像オブジェクトに基づくコンテキスト認識を用いた変化情報推論 第48回(平成22年度春季)学術講演会 (社)日本リモートセンシング学会

児玉哲哉 2010/4/22 地球電磁環境モニター衛星群:ELMOS Constellation 世界初の電子温度・電子密度・GPS 掩蔽同時衛星群が拓く多分野横断的観測 NICT 宇宙科学セミナー 情報通信研究機構

丹下義夫・片山晴善・内藤聖貴・菅沼正洋・原田昌朋 2010/4/30 Outline of development of the Compact Infrared Camera(CIRC) International Symposium on Reliability of optoelectronics for space ISROS

前田崇・高野忠 2010/5/3 Investigation of early warning method for volcanic activity by microwave radiometer data through case study of Chaiten volcano EGU General Assembly EGU

可知美佐子・清水修司・久保田拓志・吉田直文・沖理子・小嶋正弘・井口俊夫・中村健治 2010/5/5 Japanese Global Precipitation Measurement (GPM) mission status and application of satellite-based global rainfall map Geophysical Research Abstracts, Vol. 12, EGU2010-7477, 2010 European Geoscience Union G

二瓶直子・駒形修・小林睦生・熊谷貴・下河原理江子・太田伸生・斉藤康秀・望月貴一郎 2010/5/11 中国安徽省における日本住血吸虫症中間宿主貝のサーベイランスツールの開発 第79回日本寄生虫学会大会 日本寄生虫学会

川上修司/大山/山本/今井/松井/外部機関は要旨参照 2010/5/12 Plan of Japanese Geostationary Mission for Meteorology and Air Pollution (GMAP-ASIA) スペース FTS を用いた大気科学に関する国際ワークショップ: ASSFTS JAXA, NIES, 奈良女子大学

高橋昌也 2010/5/18~5/20 気象庁データ同化システムにおけるマイクロ波散乱計海上風の現業利用(Operational use of Scatterometer Winds in the JMA Data Assimilation System) International Ocean Vector Winds Science Team Meeting NASA

田殿武雄/高久淳一/河本左知/山之口勤/藤田耕史 2010/5/23 氷河・氷河湖モニタリングを目的とした「だいち」(ALOS)搭載 PRISM による数値地形情報の検証 日本地球惑星科学連合 2010年大会 日本地球惑星科学連合

杉本志織/藤井秀幸/上野健一 2010/5/23~26 チベット高原東部のメソ対流系形成に対する陸面過程と中緯度波動活動の影響 日本気象学会 2010 年度春季大会 日本気象学会

前田崇・高野忠 2010/5/25 マイクロ波放射計を用いた四川地震に関連する地表面変動の検出とその後の解析結果 日本地球惑星科学連合 2010 年全国大会 日本地球惑星科学連合

福田徹 2010/5/26 衛星による全球地球観測システムの構築 日本地球惑星科学連合 2010 年大会 日本地球惑星科学連合

作野裕司・西信昭・立川智基・川村健介 2010/5/27 LCI 法を応用した ALOS データによる宍道湖・中海のクロロフィル推定 (社)日本リモートセンシング学会第 48 回(平成 22 年度春季)学術講演会 (社)日本リモートセンシング学会

計盛正博 2010/6/2~3 最近の気象庁の数値予報のための AMSR-E データ利用の活動について (Recent activities on AMSR-E data utilization for NWP at JMA) Amsr/AMSR-E Science Team Meeting 数値予報研究開発プラットフォーム(気象庁)

福田徹 2010/6/10 日本の衛星による地球観測の未来(将来計画) -社会的貢献を目指して- Digital 北海道研究会 Digital 北海道

田殿武雄/河本左知/山之口勤/藤田耕史/西村浩一 2010/6/21 Glaciers and Glacial Lakes Monitoring in the Bhutan Himaraya by PRISM and AVNIR-2 onboard ALOS INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SNOW, ICE AND HUMANITY IN A CHANGING CLIMATE International Glaciological Society

菅沼正洋・片山晴善・内藤聖貴・今井正・宮本正志・丸山健太・金田英宏・丹下義夫・中川貴夫 2010/6/27 筑波宇宙センター6m 放射計チェンバーにおける干渉計計測技術の開発 (Development and tests of interferometry facility in 6-m diameter radiometer thermal vacuum chamber in Tsukuba Space Center) SPIE Astronomical Telescopes and Instrumenta

Kei Shiomi/Shuji Kawakami/Hiroshi Suto/Akihiko Kuze/Toshiaki Takeshima/Takashi Moriyama 2010/7/19 One year post-launch calibration results of TANSO on GOSAT COSPAR 2010 COSPAR

杉本志織/藤井秀幸/上野健一 2010/7/19~21 Formation processes of mesoscale convective systems(MCSs) over the eastern Tibetan Plateau during monsoon season The 2nd International Workshop on Energy and Water Cycle over the Tibetan Plateau and High-elevations Institute of

徐健青/桑形恒男/萩野谷成徳/藤井秀幸/石郷岡康史/康世昌/張擁軍 2010/7/19~21 The Contrast between the Lake and Land Surfaces of Heat and Water balances over in the Tibetan Plateau The 2nd International Workshop on Energy and Water Cycle over the Tibetan Plateau and High-elevations Ins

徐健青/桑形恒男/萩野谷成徳/藤井秀幸/石郷岡康史/康世昌/張擁軍 2010/7/19~21 Air-Lake Interaction Features Found in Heat and Water Exchanges over Nam Co on the Tibetan Plateau The 2nd International Workshop on Energy and Water Cycle over the Tibetan Plateau and High-elevations Ins

Teruo Aoki/Katsuyuki Kuchiki/Masashi Niwano/Masahiro Hori/Alexander Kokhanovsky 2010/7/21 積雪アルベド物理モデルを用いた積雪アルベドアルゴリズム(Snow albedo algorithm using physically based snow albedo model) 宇宙研究委員会(COSPAR)第 38 回総会 宇宙研究委員会

五十嵐保 2010/7/21 ~ 地球環境変動観測ミッション(GCOM)の総合的データセット (COMPREHENSIVE DATA SETS OF GLOBAL CHANGE OBSERVATION MISSION (GCOM)) 38th COSPAR Scientific Assembly COSPAR

前田崇/高野忠 2010/7/23 New Approach for Monitoring Seismic and Volcanic Activities Using Microwave Radiometer Data COSPAR10 日本地球惑星科学連合

沖大幹/今岡健治/可知美佐子 2010/7/25~30 GCOM-W1/W2 に搭載される AMSR 測器:概要と応用 (AMSR INSTRUMENTS ON GCOM-W1/2:CONCEPTS AND APPLICATIONS) IGARSS2010 IEEE

久保田拓志・水戸久喜・青梨和正・橋本明弘・井口俊夫・花土弘・清水収司・吉田直文・沖理子 2010/7/25~30 Development of Spaceborne Radar Simulator by NICT and JAXA using JMA Cloud-resolving Model IGARSS 2010 IEEE Geoscience and Remote Sensing Society

本多嘉明 2010/7/25~30 Overview of GCOM-C1/SGLI science 2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS 2010

田殿武雄/岩田隆敬/島田政信/高久淳一/河本左知 2010/7/26 UPDATED RESULTS OF CALIBRATION AND VALIDATION OF PRISM ONBOARD ALOS International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2010 IEEE

橋本秀太郎/小野里雅彦/田殿武雄/堀雅裕/森山隆 2010/7/26 CASE STUDIES OF AUTOMATIC CHANGE DETECTION USING AVNIR-2 ONBOARD ALOS International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2010 IEEE

前田崇/高野忠 2010/7/27 APPROACH FOR VOLCANIC SURVEILLANCE USING SATELLITE-BORNE MICROWAVE RADIOMETER DATA IGARSS2010 IEEE,GRSS

計盛正博・江河拓夢 2010/7/29 AMSR-E からの大気中の水蒸気量の算出と気象庁の数値予報での利用 (RETRIEVAL OF ATMOSPHERIC WATER VAPOR FROM AMSR-E AND THE APPLICATION FOR NWP AT JMA) 国際地球科学リモートセンシングシンポジウム 2010 米国電気電子技術学会

田殿武雄/高久淳一/河本左知/山之口勤/藤田耕史 2010/8/9 EVALUATIONS FOR POTENTIAL OF GLACIAL LAKE OUTBURST FLOODS (GLOFS) IN THE BHUTAN HIMALAYA USING PRISM AND AVNIR-2 ONBOARD ALOS ISPRS Commission 8 Symposium International Society for Photogrammetry and Remote Sensing

五十嵐保 2010/8/9~12 第1期気候変動観測衛星(GLOBAL CHANGE OBSERVATION MISSION - CLIMATE (GCOM-C)) ISPRS Technical Commission VIII Symposium ISPRS

米澤千夏・齋藤元也・堀まどか・渡邊学 2010/8/9~12 CONTINUOUS MONITORING OF LANDSLIDES AREA CAUSED BY IWATE-MIYAGI NAIRIKU EARTHQUAKE IN 2008 USING ALOS IMAGES ISPRS Technical Commission VIII JAXA

久保田拓志・可知美佐子・沖理子・清水収司・吉田直文・小嶋正弘・中村健治 2010/8/9~12 RAINFALL OBSERVATION FROM SPACE - APPLICATIONS OF TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION (TRMM) AND GLOBAL PRECIPITATION MEASUREMENT (GPM) MISSION - ISPRS Technical Commission VIII Symposium ISPRS

Dim Jules Rostand/村上浩 2010/8/10 THE GCOM-C/SGLI SATELLITE MISSION AND THE STUDY OF LONG-TERM CLOUD TYPES VARIATIONS ISPRS Technical Commission VIII symposium ISPRS Technical Commission VIII

青梨和正 2010/8/10 Displaced Ensemble を用いた MWI TB の変分法的同化法(Displaced Ensemble variational assimilation method to incorporate microwave imager brightness temperatures into a cloud-resolving model) ISPRS2010 International Society for Photogrammetry and Remote Sens

T.Kina/K.Shiomi/S.Kawakami/Y.Mitomi/M.Yoshida/R.Higuchi/N.Sekio/F.Kataoka 2010/8/10 RESULTS OF CALIBRATION FOR GOSAT TANSO ISPRS 2010 Technical Commission VIII symposium ISPRS, JSPRS

Y.Honda/A.Ono/K.Kajiwar/M.Moriyama/M.Hori/M.Murakami 2010/8/11 POSSIBILITY OF GCOM-C1/SGLI FOR CLIMATE CHANGE IMPACTS ANALYZING ISPRS Technical Commission VIII Symposium (財)日本写真測量学会

前田崇/高野忠 2010/8/12 Detection of land-surface deformations related to the 2010 Chile Earthquake using satellite-borne microwave radiometer data AGU Joint Assembly 2010 AGU

児玉哲哉 2010/8/16~17 ELMOS 衛星群計画ーGPS 掩蔽・電子密度・電子温度同時観測衛星群が拓く多分野横断的観測ー メタ情報のデータベースを利用した分野横断型地球科学研究の進展 京大生存圏研究所

川上修司/大山/山本/今井/松井 2010/8/23 Status of Japanese GEO instrument 静止環境モニタ分光計国際ワークショップ Yonsei University, Dept. of Atmospheric Science

Teruo Aoki/Katsuyuki Kuchiki/Masashi Niwano/Masahiro Hosaka/Taichu Tanaka 2010/8/24~28 大気大循環モデルで用いられる多波長バンドを用いた多層積雪アルベド物理モデル(Physically based snow albedo model for multilayer snow using multi subspectral-band to use in GCM) 第3回アジア太平洋放射シンポジウム アジア太平洋放射シンポジウム

石元裕史・真野裕三・財前祐二・内山明博・増田一彦 2010/8/25~8/27 鉱物性ダスト粒子のボロノイ凝集体形状モデル(Voronoi aggregates for a shape model of mineral dust particles) 2010 APRS Asia Pacific Radiation Symposium

小林隆久・増田一彦。足立アホロ 2010/9/6~10 偏波レーダ並びに衛星搭載用レーダシミュレータの開発 (Development of a radar simulator for space-borne and polarimetric radar) 6th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology ヨーロッパ気象学会

藤井秀幸・小池俊雄・開発一郎 2010/9/7~9 地温を考慮した AMSR-E 土壌水分アルゴリズムの改良とモンゴルにおける検証 水文・水資源学会 2010 年度総会・研究発表会 水文・水資源学会

Teruo Aoki / Katsuyuki Kuchiki / Masashi Niwano 2010/9/7~9 積雪不純物によるアルベド低下とその衛星リモートセンシング可能性 (Snow albedo reduction due to snow impurities and the possibility of satellite remote sensing) Workshop on SGLI Cryosphere Algorithm Developments SGLI Cryosphere Group

児玉哲哉 2010/9/13 ELMOS コンステレーション:世界初の GPS 掩蔽・電子密度・電子温度同時観測衛星群が拓く多分野横断的観測 平成 22 年基礎・材料・共通部門大会 電気学会

Kei SHIOMI/Tomoko KINA/Shuji KAWAKAMI/Toshiaki TAKESHIMA 2010/9/20 Calibration of operational GOSAT Level 1 products SPIE Europe Remote Sensing 2010 SPIE

可知美佐子・沖理子・清水収司・久保田拓志・吉田直文・三浦健史・百束泰俊・古川欣司・小嶋正弘・中村健治・井口俊夫 2010/9/20 Status of development of the GPM Dual-frequency Precipitation Radar (DPR), algorithm development, and ground validation activities SPIE Europe Remote Sensing 2010 SPIE Europe

上沢大作・今岡啓治・可知美佐子・藤井秀幸・笠原希仁・伊藤徳政・中川敬三・沖大幹・計盛正博
2010/9/20 Status of GCOM-W1 Development and Expected Meteorological Applications SPIE
Remote Sensing SPIE

久保田拓志・可知美佐子・沖理子・牛尾知雄・重尚一・青梨和正・岡本謙一 2010/9/22～26
Near-real-time global rainfall map using multi-satellite data by JAXA 2010 Asia-Pacific Radio
Science Conference 国際電波科学連合(URSI)

原田昌朋 2010/10/4～8 地球観測用小型カメラ (CIRC) の開発 (Development of the Compact
Infrared) ICSO 2010 – International Conference on Space Optics 集録 SPIE

D.Sakaizawa/S.Kawakami/M.Nakajima/T.Tanaka/Y.Miyamoto/I.Morino/O.Uchino 2010/10/4～8 A
FEASIBILITY STUDY FOR POTENTIAL CO2 MEASUREMENT FROM SPACE USING THE 1.57-um
DIFFERENTIAL LASER ABSORPTION MISSION ICSO CNES

菅沼正洋 2010/10/4～8 大型軽量化構造の総 C/SiC 光学系の光学試験 (OPTICAL TESTING
OF LIGHTWEIGHT LARGE ALL-C/SiC OPTICS) ICSO (International Conference on Space Optics)
2010 集録 International Conference on Space Optics (ESA Conference Bureau)

計盛正博 2010/10/4～8 AMSR-E のための大気の水蒸気量及び雲水量算出アルゴリズム(A
retrieval algorithm of atmospheric water vapor and cloud liquid water for AMSR-E) 地球、海洋、
大気のリモートセンシングに関するマイクロ波専門家シンポジウム イタリア応用物理学会
(Institute of Applied Physics)

Kei Shiomi/Masakatsu Nakajima/Akihiko Kuze/Toshiaki Takeshima/Shuji Kawakami/Hiroshi
Suto/Dice-K Sakaizawa 2010/10/6 One-year Operation of TANSO-FTS on GOSAT and Follow-on
Mission Feasibility ICSO2010 CNES

児玉哲哉 2010/10/10～20 ELMOS Constellation –GPSGPS 掩蔽・電子密度・電子温度同時観
測衛星群が拓く多分野横断的観測ー 第7回宇宙環境シンポジウム JAXA

青梨和正 2010/10/11～15 新しい GSMaP 陸上降水リトリバルアルゴリズム (NEW GSMaP
OVER-LAND PRECIPITATION RETRIEVAL ALGORITHM) 5th IPWG (International Precipitation
Working Group) Workshop Klima Campus, Max Plank Institut fur Meteorologie, Hamburg Germany

可知美佐子・久保田拓志・沖理子 2010/10/11～15 Status of Japanese Precipitation Measuring
Missions and Global Rainfall Map in Near-Real-Time 5th Workshop of International Precipitation
Working Group IPWG

村上浩/Cecile Dupouy 2010/10/12 AVNIR-2 高分解能画像における沿岸海洋の大気補正 SPIE
Asia Pacific remote sensing SPIE

植松明久・原田昌朋・中村良子・松井快・中山大志 2010/10/18 JAXA における海面高度・海流計
測のための将来ミッション検討(FUTURE MISSION STUDY TO MEASURE SEA SURFACE HEIGHT
AND OCEAN CURRENTS IN JAXA) 2010 Ocean Surface Topography Science Team (OST-ST)
meeting EUMETSAT,CNES

Dim Jules Rostand/Tamio Takamura/Pradeep Khatri/Nobuyuki Kikuchi 2010/10/21 ～ 23
Evaluation of MODIS Aerosols Properties Based on SKYNET Ground Measurements: Implications
on the Quality of Prospective Satellites' Data 16th CERE International Symposium Clim

江河拓夢 2010/10/25~28 JMA(気象庁)での AMSR-E の利用 (The Use of AMSR-E at JMA)
A-Train Symposium NASA

青梨和正 2010/10/27 新しい GSMaP 陸上降水リトリバルアルゴリズム 日本気象学会 2010 年
度秋季大会 日本気象学会

久保田拓志/永戸久喜/青梨和正/橋本明弘/井口俊夫/花土弘/清水修司/吉田直文/沖理子
2010/10/27~29 JMA-NHMを用いた GPM/DPR 観測の降雨非一様性補正手法の開発 日本気象
学会 2010 年度秋季大会 日本気象学会

徐健青/桑形恒男/萩野谷成徳/藤井秀幸/石郷岡康史/康世昌/張擁軍 2010/10/27~29 チベット
高原の浅い湖、深い湖と陸地における熱・水収支のコントラスト 日本気象学会 2010 年度秋季大
会 日本気象学会

青木輝夫・朽木勝幸・庭野匡思 2010/10/29 積雪のアルベド低下をもたらす原因について 日本
気象学会秋季大会 日本気象学会

石井景子 11 月(学術講演会論文集の発行) PALSAR データを用いた差分偏波比による火災焼
失地域の抽出 日本リモートセンシング学会第 49 回(平成 22 年度秋季)学術講演会 (財)リモート・
センシング技術センター

米澤千夏/渡邊弘嗣/国井大輔 2010/11/1~5 Observation of tsunami damage to marine farm on
coast in Tohoku district caused by the 2010 Chili Earthquake using ALOS satellite The 31st Asian
Conference on Remote Sensing (ACRS) JAXA

米澤千夏/今井貴浩/国井大輔 2010/11/1~5 FULL POLARIMETRIC OBSERVATION OF RICE
GROWTH BY PALSAR The 31st Asian Conference on Remote Sensing (ACRS) JAXA

佐藤直紀/米澤千夏/国井大輔/堀まどか/斉藤元也 2010/11/1~5 TEMPORAL CHANGE
OBSERVATION ON DAMAGE SITUATION OF THE IWATE-MIYAGI NAIRIKU EARTHQUAKE IN
2008 USING ALOS SATELLITE IMAGES The 31st Asian Conference on Remote Sensing (ACRS)
JAXA

児玉哲哉 2010/11/4~5 ELMOS コンステレーション -小型衛星群による地圏-大気圏-電離圏結
合の観測- 第 36 回リモートセンシングシンポジウム 計測自動制御学会

朝香智仁 2010/11/9~10 InSAR DEM を利用した地すべり地域の推定:岩手・宮城内陸地震を対
象として 第 49 回(平成 22 年度秋季)学術講演会 (社)日本リモートセンシング学会

田殿武雄/島田政信/高橋陪夫/高久淳一 2010/11/15 UPDATED CAL/VAL RESULTS OF
PRISM ONBOARD ALOS "DAICHI" AND ASSESSMENT OF ASTER GDEM PRODUCT ISPRS
Commission IV Symposium International Society for Photogrammetry and Remote Sensing

田殿武雄/島田政信/村上浩/高久淳一/河本左知 2010/11/15 SUMMARY OF CALIBRATION
RESULTS FOR PRISM AND AVNIR-2 ALOS Joint PI Symposium ALOS Data Node

Dim Jules Rostand/村上浩/堀雅裕 2010/11/15~19 EXTRACTION OF IMAGE INFORMATION
FOR CLOUD TYPE DISCRIMINATION ASPRS/CaGIS 2010 Fall Specialty Conference Geospatial
Data and Geovisualization:

田中智章/森野勇/内野修/町田敏暢/宮本祐樹/横田達也/川上修司/境澤大亮/大山博史/長浜智生 2010/11/17~19 航空機観測による地上フーリエ分光計の検定と GOSAT データプロダクトの検証 大気化学討論会 首都大学東京

塩見慶/川上修司/森野勇/内野修 2010/11/18 GOSAT 観測データの校正検証 第 54 回宇宙科学技術連合講演会 日本航空宇宙学会

児玉哲哉 2010/11/18 ELMOS Constellation の目指すもの 第 54 回宇宙科学技術連合講演会 日本航空宇宙学会

川上修司/塩見慶/大山博史 2010/11/25 GOSAT による温室効果ガス観測とその校正検証 JAXA 宇宙航空技術研究発表会 JAXA 研究開発本部

磯口治/島田政信/ニコラ ロンジェベ/プリーサン ラクワティン 2010/11/25 ALOS/PALSAR による森林観測 JAXA 宇宙航空技術研究発表会 JAXA 研究開発本部

竹部綾子 2010/11/26 ALOS セントラル情報システムの換装とデータ移行運用 平成 22 年度(第 14 回)業務成果社内発表会及び要旨集 財リモート・センシング技術センター

樋口理子 2010/11/26 GOSAT による大気成分の測定度向上に向けた取り組み 平成 22 年度(第 14 回)業務成果社内発表会及び要旨集 財リモート・センシング技術センター

向井田明 2010/11/26 ALOS による災害緊急観測の解析 平成 22 年度(第 14 回)業務成果社内発表会及び要旨集 財リモート・センシング技術センター

須藤洋志・久世暁彦 2010/12/13~17 Correction of scan-speed instability of TANSO-FTS on GOSAT AGU Fall Meeting AGU

Dim Jules Rostand/村上浩/堀雅裕/Takahashi Y./Nakajima 2010/12/13~17 Changes in Climate Variables: Contribution of Cloud Types to Global and Regional Cloud Patterns AGU Fall Meeting 2010 Climate

久保田拓志/可知美佐子/沖理子/牛尾知雄/重尚一/青梨和正/岡本謙一 2010/12/13~18 Near-real-time global rainfall map using multi-satellite data by JAXA and its validation 2010 AGU fall meeting AGU

Kei Shiomi/Shuji Kawakami/Taichiro Hashiguchi/Fumie Kataoka/Riko Higuchi 2010/12/17 GOSAT lunar calibration in one year operation 2010 AGU fall meeting AGU

Kei Shiomi/Naoko Saitoh/Ryoichi Imasu 2010/12/17 CO2 profiles in the middle and troposphere from GOSAT/TANSO-FTS TIR 2010 AGU fall meeting AGU

児玉哲哉 2010/12/24 第 54 回宇宙科学技術連合講演会報告及び衛星観測計画状況 地震電磁気シンポジウム SEMS 研究会

藤井秀幸 2011/1/20 Global soil moisture monitoring with AMSR-E satellite observation Asia Drought Workshop 2011 APN CAPaBLE project AWCi Drought Workshop Group

Dim Jules Rostand/村上浩/堀雅裕 2011/1/23~1/27 Signal Filtering of Daily Cloud Types Trends as Derived from Satellites Images IS&T/SPIE Electronic Imaging SPIE, Image Processing: Algorithms and Systems

D.Sakaizawa/E.Browell/K.Davis/J.Abshire/U.Singh/G.Ehret/P.Flamant 2011/2/2 Current Status of Active Remote Sensing of Carbon Dioxide and Applications to NACP Investigations North American Carbon Program CNES

児玉哲哉 2011/3/1 小型衛星群:ELMOS Constellation の現状 小型科学衛星シンポジウム 宇宙科学研究所

福田徹 2011/3/3 JAXA's satellite program to contribute sustainable development in Asia SECOND ICSS-ASIA INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABILITY SCIENCE IN ASIA

3. その他

徐健青/桑形恒男/萩野谷成徳/藤井秀幸/石郷岡康史/康世昌/張擁軍 2010/5/23～26 チベット高原ナム湖における熱・水循環過程の研究(2) 日本気象学会 2010 年度春季大会 日本気象学会

藤井秀幸・小池俊雄・開発一郎 2010/6/22～6/25 Global Soil Moisture Monitoring using the Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS 2nd Hydrology delivers Earth System Science to Society Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

可知美佐子・藤井秀幸・村上浩・沖大幹 2010/10/27～29 衛星データを利用した陸面水循環シミュレーションとその影響評価 日本気象学会 2010 年度秋季大会 日本気象学会

五十嵐保 2010/11/25 リモートセンシングの動向 画像電子学会誌第 39 巻第 6 号「年報特集号」画像電子学会

沖大幹・可知美佐子・久保田拓志・藤井秀幸・村上浩 2010/12/13～17 Application of GSMap and MODIS/SeaWiFS Downward Surface Short Wave Radiation in the Land Simulation System:Yesterday's Earth at EORC(YEE) American Geophysical Union Fall Meeting 2010 AGU

田殿武雄 2010/12/15 陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)によるアイスランドの火山噴火の観測映像情報メディア学会誌 映像情報メディア学会

児玉哲哉 2011/3/25～26 衛星による地震電磁気減少の現状と成果【小型衛星群:ELMOS Constellation の提案】地震予知研究シンポジウム 関西サイエンスフォーラム・国際高等研究所・SEMS 研究会共催

五十嵐保 2011/3 月 人工衛星(Satellite) リモートセンシング教科書 日本リモートセンシング学会

久保田拓志・重尚一・木田智史・山本友也・牛尾知雄 2011/9 月 High-Temporal Global Rainfall Maps from Satellite Passive Microwave Radiometers INTECH INTECH Open Access Publisher

五十嵐保 2011/未定 JAXA 衛星リモートセンシング社会貢献(JAXA's Satellite Remote Sensing for Social Contribution) 日本リモートセンシング学会誌「30 周年記念号」日本リモートセンシング学会

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

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