

空へ挑み、宇宙を拓く



ISSN 1349-113X
JAXA-SP-12-004

宇宙航空研究開発機構特別資料

EORC

2011年度
地球観測研究センター年報
Annual Report 2011 No.15

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

2011年度 地球観測研究センター年報

Annual Report 2011 No.15

地球観測研究センター

Earth Observation Research Center (EORC)

2012年10月

October 2012

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

2011 年度 地球観測研究センター年報 目次

はじめに	住 明正	iv
2011 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 PRISM/DSM による樹高推定と災害事例	高橋陪夫	4
1.3 「PALSAR 多偏波干渉 SAR データからの有効な特徴量抽出」及び 「東日本大震災海外 SAR データ解析と ALOS-2 解析への知見」大木真人		8
1.4 合成開口レーダを用いた利用実証と災害監視事例について	河野宜幸	12
1.5 ALOS/PALSAR を用いた熱帯域の土地利用分類	白石知弘	16
1.6 ALOS データを用いた森林動態・バイオマス観測手法の開発	本岡 毅	18
1.7 SAR データを用いた森林バイオマス推定精度の向上	渡邊 学	20
1.8 Spatial modeling of deforestation in tropical region: Preliminary results using PALSAR data Rajesh Bahadur Thapa		22
1.9 高分解能衛星データの校正検証およびデータ利用の高度化に関する研究 田殿武雄		26
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	30
2.2 GOSAT データの校正評価 -CAI データの高精度利用に向けて	塩見 慶	32
2.3 TANSO-FTS における非線形補正アルゴリズムの開発	須藤洋志	35
2.4 高分解能分子スペクトルからの大気微量成分濃度の導出	大山博史	37
2.5 観測データを用いた GOSAT 熱赤外データプロダクトの検証	田中智章	39
2.6 航空機試験データで内挿した火力発電所近傍の気柱量データの推定 境澤大亮		42
3. TRMM/GPM/EarthCARE 利用研究		
3.1 EarthCARE 利用研究の成果概要	沖 理子	46
3.2 EarthCARE 高次アルゴリズムの開発	平形 麻紀	48
3.3 EarthCARE/MSI L2 プロダクト (エアロゾル) の開発に向けて	福田 悟	50
3.4 TRMM/GPM 利用研究の成果概要	沖 理子	52
3.5 DPR L1B アルゴリズム開発と PR L1 アルゴリズムの維持改訂	吉田直文	54
3.6 GPM/DPR-L2 及び GSMaP アルゴリズムの開発、EarthCARE データシミュレータの開発 久保田拓志		56

3.7	GPM/DPR L2 アルゴリズムと全球降水マップアルゴリズムの開発	木田智史	58
3.8	全球降水マップアルゴリズム、および、AMS2 高次アルゴリズムの開発	可知美佐子	62
3.9	GPM/DPR の地上検証によるプロダクト精度の向上、EarthCARE/CPR における 地上検証計画の策定及び実施	清水収司	66
4.	横軸		
4.1	水循環研究グループ	沖 大幹・可知美佐子	70
4.2	生態系研究グループ	奈佐原顕郎	72
4.3	数値気候モデル研究グループ	佐藤正樹・久保田拓志	74
5.	GCOM 利用研究		
5.1	GCOM 利用研究の成果概要	今岡啓治	78
5.2	AMS2/AMS2-E / AMS2 に対する海面水温・海上風速算出アルゴリズムの開発 - AMS2-E による海面現象の観測 -	柴田 彰	82
5.3	全天候マイクロ波放射計輝度温度データ同化に向けての調査 - 簡易な雲オーバーラップスキームの評価 -	上沢大作	84
5.4	AMS2 土壌水分プロダクトの開発	藤井秀幸	86
5.5	薄い海水のマイクロ波輝度温度特性	直木和弘	88
5.6	AMS2-E/AMS2 L1R プロダクト生成プログラムの検証と 輝度温度からの大気/地表面由来放射の分離	前田 崇	91
5.7	GCOM-C1 アルゴリズム開発と利用研究	村上 浩	95
5.8	JASMES 積雪分布プロダクトの開発と検証	堀 雅裕	100
5.9	GCOM-C 雪水分野高次アルゴリズムの研究開発	谷川朋範	102
5.10	GCOM-C 海洋アルゴリズムの評価と衛星データの水産資源管理への応用	山口寿史	106
5.11	GCOM-C/SGLI Atmosphere Algorithms Evaluation	Dim, Jules Rostand	108
5.12	GCOM-C1/SGLI LAI 推定アルゴリズムの開発	小野祐作	112
5.13	森林火災検知アルゴリズムの開発とその応用	中右浩二	114
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		
	- 小型科学衛星バスを利用した小型地球観測衛星シリーズ化の提案 -	児玉哲哉	120
7.	地球観測衛星データの農業分野への利用技術開発	大吉 慶	124

8. センサ研究の概要

佐藤亮太、今井正、片山晴善、内藤聖貴、植松明久、原田昌明、中村良子、加藤恵理、室岡純平、 久世暁彦、須藤洋志、丹下義夫	130
--	-----

付録

2011 年 EORC 研究成果発表	154
関連略語集	168

はじめに

技術参与 住 明正

今回もまた、EORC（地球観測研究センター）での研究成果を公表することになった。地球観測の分野では、残念なことに、ALOS（だいち）が、寿命により観測を停止したものの、ほかの衛星は、順調に動いている。TRMM は、15 年の長きにわたり観測を続け、AMSRE も、機器の不調で観測を停止したものの、復旧の努力が続けられている。その後継機である、GCOM-W（しずく）も打ち上げは成功し、順調に稼働している。GOSAT から、興味深い結果が報告されている。

これらの衛星ミッションの進展に基づき、多くの研究成果が生み出されてきている。研究機関は、時間を経過すると、経験が蓄積され、人が育ってくるので、やがて、新たな展開を生み出すものである。EORC が創設されてから、さまざまな紆余曲折があり、すべて、順風満帆とは言えないけれども、継続して地球観測に取り組んできたという、歴史の重みは存在する。そのことは、ここに掲載されている研究成果をご覧になり、最近の研究の進展ぶりを見ていただくことで理解されると思う。

もちろん、これで満足するわけにはいかない。世界には、多くの競争相手が、日夜、必死で頑張っている。常に、新しい成果を生み出すべく努力する必要がある。我々も、新しい成果をさらに生み出すべく、日夜頑張っていく決意である。今後とも、EORC の活動に対するご支援・ご鞭撻をお願いして、挨拶としたい。

2011 年 EORC 活動の概要

地球観測研究センター長 福田 徹

2011 年は様々な危機が現実化した年だった。3 月 11 日に起こった東日本大震災では、EORC が位置するつくば市も震度 6 弱の揺れに見舞われ被災した。人的被害が多くなかったことは不幸中の幸いというべきだろうが、建物や水道などのインフラに少なからぬ被害が出た。EORC ではこれまた幸いにも多少天井が落ちた程度でサーバーもデータも無事であり、停電も速やかに復旧したため ALOS の緊急観測データ、国際災害チャータやセンチネルアジア等の枠組みを通じて提供された海外衛星データにより被災状況の解析を行うことができた。ここでの ALOS 利用研究グループの活動、自身の生活もままならない中での奮闘は大いに賞賛されて然るべきだろう。しかし被災地の緊急観測に活躍した ALOS は震災 42 日後の 4 月 22 日に突然観測を停止してしまった。ALOS は結局回復せず 5 月 12 日に運用を断念することとなった。

一方、タイ王国では夏以来チャオプラヤ流域で雨が降り続き、10 月には上流で氾濫した水がバンコク市内まで流化し大きな社会問題になるとともに、工業団地の日系企業も水没し世界的なサプライチェーンが打撃を受けた。ALOS がすでに失われていたため、EORC は航空機 SAR (Pi-SAR-L) によりこの洪水を観測し、洪水域の解析データをタイ地理情報宇宙開発機構 (GISTDA) に提供した。このさなか、降雨など水循環の観測に威力を発揮してきた AMSR-E の観測が 10 月 4 日に停止した。ALOS、AMSR-E いずれも設計寿命 3 年を大きく超えて稼働していたため、運用終了は時間の問題だったとは言え、怪しい巡り合わせでもあった。

このように、異常な年であった 2011 年であるが、EORC は、その本来業務である地球観測センサデータの校正・検証、処理アルゴリズム及び利用手法の研究開発、センサの研究を淡々と、着実に遂行した。その成果は本年報を見ていただくことでご理解いただけると思う。

2011 年には 1 衛星、1 センサを失ったが、2012 年度以降、つくばでの被災を乗り越えた GCOM-W1、ALOS-2、GPM/DPR、EarthCARE/CPR が続々と戦列に加わる。GCOM-C1、ALOS-3 の開発も進んでいる。また、GCOM-W1/AMSR2 との相互校正を実現すべく AMSR-E の観測再開も準備している。データアーカイブの中にもまだまだ有用なデータが眠っている。このような状況のもと、EORC の本業、すなわち衛星データとその利用ユーザの間の橋渡しを技術、サイエンスの面から行うことはますます重要になっていくものと考えている。また、EORC の活動を停止させないための危機管理も不可欠である。課題はまだまだ多い。本年報をご一読の上、EORC 活動への忌憚無きご意見、建設的なご提案をいただければこれに勝る幸いはない。

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 5 年 3 ヶ月が過ぎた 2011 年 4 月 22 日に電力系が異常を来し、3 週間後の 5 月 12 日に運用終了となった。2011 年度の目標は、運用終了後に以下のように設定された。①プロジェクトと協力し、ALOS アーカイブデータ及び Pi-SAR 等の航空機データを活用して、ALOS-2 及び ALOS-3 の利用手法の研究開発を行う。②高次成果品（オルソ画像、DSM）を定常生産し、その精度評価を継続する。③災害時に得られるデータの解析を行い、有意義な情報を抽出し、適切な手段で提供する。④ KC を推進するとともに、森林変化抽出を実施し、関連情報を GEOS 等に提供する。⑤ REDD+ に関してクレジット取得に関するメカニズムを研究する。⑥災害、生態系（環境）、食料安全保障に関係した研究として、土地利用分類、森林伐採分類と時間変化、炭素量変化抽出などを実施する。得られた成果を関係機関に提供する。

以下で成果を概括する。

- 1) PALSAR の代替手段として Pi-SAR-L を使用し、ALOS-2 利用推進することが本部会議で決定され、それに従って、タイ国における洪水解析（2011 年 9、11 月）、インドネシア航空機実験を 2012 年に実施することとしてプロジェクト推進した（2 月上旬にインドネシア政府から科学プロジェクト計画書が認可される）。また、タイ国用 ALOS-2 利用推進として洪水解析（干渉を含めることで精度向上）、ALOS-2/3 推進の為の、ワークショップの実施、ALOS-2 の推進の為の CSK/DLR との共同研究解析、ALOS-3 の為の疑似画像の作成を行った。また、Pi-SAR-L2（改良型 Pi-SAR-L）は 12 月以降に改修を進めている。3 月の完成、4 月の校正検証フライトを目指す。
- 2) DSM は日本全土の 98% を作成した。又、精度評価を実施し、5m の標準偏差を確認した。
- 3) 2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災のデータについては、防災室と連携をとり、解析と結果の配布を行った。主たる解析結果は、地殻変動、冠水域と時間変化（光学 + SAR）、海洋瓦礫、PolSAR の応用、原発状況、外国衛星とのコラボによる瓦礫の海への流出状況の把握。8 月下旬の台風 12 号の紀伊半島通過に関連した変化抽出、9 月から 11 月に掛けてタイで発生した洪水の冠水域抽出（Pi-SAR-L を主に利用）、検出精度改善に関する研究の実施
- 4) KC-3 として新たに 35 機関を選定、現在契約を実施中。更に、モザンビークとコロンビアとの契約。KC-17 を 3 月 26 ～ 29 日に東京で実施予定。キャパビルも視野に入れ 3 月 26 日は、PALSAR を用いた土地利用分類のトレーニングを実施予定。
- 5) REDD+ クレジット取得に関するメカニズム研究については、他機関の情報を収集中である。
- 6) インドネシアとブラジルをターゲットとした MRV 構築を目的とした活動を継続中である。特にインドネシアに関しては、リアウ州を対象として、地上データ取得（バイオマス、樹高分布）を目的としたプロジェクトを実施しており、2011 年 10 月にインドネシア政府から認可された研究計画書を基に 2012 年 1 月下旬より現地データの取得を開始した。なお、JAXA MRV 構築に関わる研究であり、REDD+ プロジェクトの関係もあり 2012 年度の完成を目指す。

その他としては、7) 査読論文が10編を数える。RA-1/2が2011年3月31で終了し、PIの研究報告書を作成し配布した(図1にDVDの表紙を示す)。ALOSの終了に伴い、その成果を各種symposiumで報告するとともに、宇宙開発委員会に報告(2012年2月13日)。代表的成果としては、PALSAR/PRISMの高精度な幾何学、ラジオメトリック校正の実施と全世界レベルでの検証と精度保証、全球高分解能(10m)森林画像の作成(2007～2011まで)、土地利用分類の試作、運用システムとして森林監視への貢献(準リアルタイム森林伐採監視含む)、ScanSARによる熱帯アマゾンの洪水監視、地殻変動(干渉法)の確実性の向上、ScanSAR干渉による広域地殻変動監視、ポラリメトリによる分類、校正手法の新規開発、極域氷河の連続監視と地球温暖化に伴うと思われる崩壊速度の加速、グリーンランド氷河の散乱機構の複雑かの認識、南極氷の移動速度図の作成(JPLの実施)、PALSARを用いた広域海上風分布図の作成(沿岸域の高分解能か)、PRISMを用いた高分解能DSMの作成と検証、更にはJICA/JSTと共同でのブータン氷河湖監視への応用、PALSAR/JERS-1を用いた地球電波状況監視、電離層変動の状況監視、災害応用として(PolSARの海洋油汚染抽出)等。図2参照

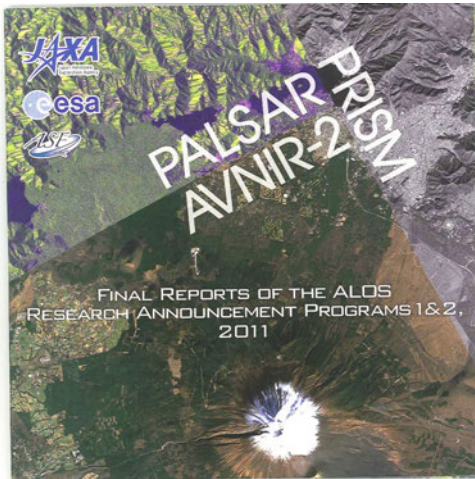


図1. ALOS PI 研究成果報告書

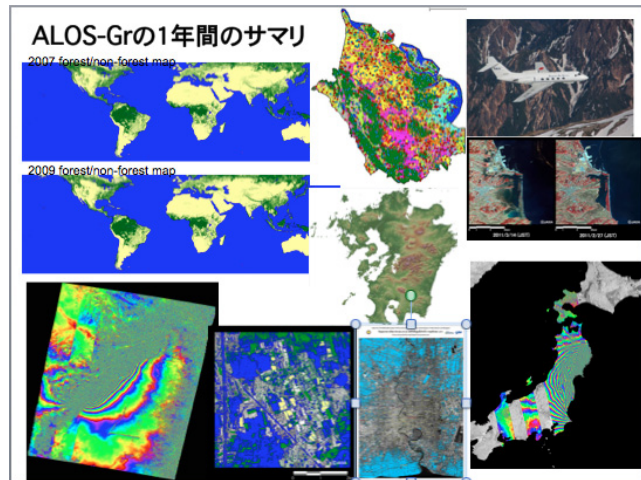


図2. ALOS-Gr の一年間の成果

1.2 PRISM/DSM による樹高推定と災害事例

高橋陪夫

1-1 はじめに

近年、地球温暖化の主要因として二酸化炭素やメタンを代表とする温室効果ガスの影響が大きいとされている。二酸化炭素削減量の評価する際に、森林の材積量を知ることは大切である。また温室効果ガスだけでなく、山の管理を行う林業分野に対しても森林の材積量を把握することは重要なことである。

本研究では、材積量を算出するのに必要な樹高を ALOS PRISM/DSM データを用いて算出した。

1-2 使用データ

本研究で使用した DSM データは ALOS 高次成果品として作成しているシーン単位の DSM を用いて、同一領域内の複数シーンのデータが存在するため、それを隣り合うシーンとのオフセット、平均化処理を施した規格化 DSM を用いた。規格化 DSM は、1 度タイルごとのデータサイズにモザイクし、複数シーンの DSM の平均値を計算している。3074 シーンを用いて、日本全域 98% カバーしている。雲や積雪により良好な画像が取得出来ないエリア（主に、東北地方、北海道、沖縄）が残っている。

1-3 対象地域

森林の現地データが揃っている北海道苫小牧市北西部に位置する約 5569.80 ヘクタールの国有林を対象地域としている。本国有林は、主に常緑針葉樹であるアカエゾマツである。木の高さはほぼ揃っており、密度は均一である。対象地域の PRISM/DSM を図 1 に示す。

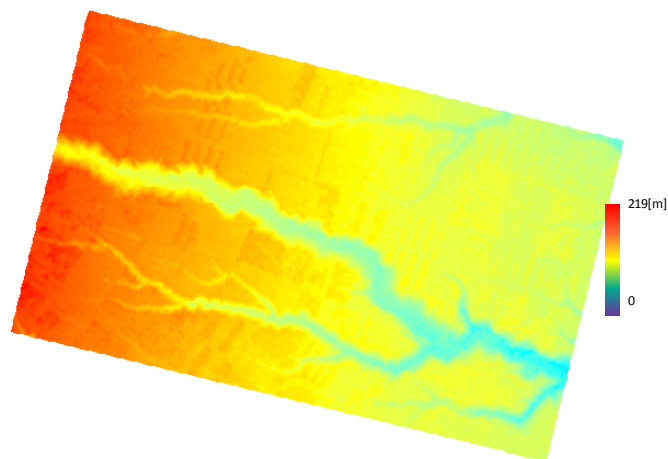


図 1. 対象地域の PRISM/DSM

1-4 解析

PRISM/DSM は楕円体高から高さを表しているため、PRISM/DSM からジオイド高を引き、樹高を算出するためには、PRISM/DSM（ジオイド高）から DEM を引く必要がある。本研究では、DEM データとし国土地理院から公開されている 10m 分解能の DEM を利用した。図 2 にフローを示す。ジオイド高として、EGM94 を使用した。

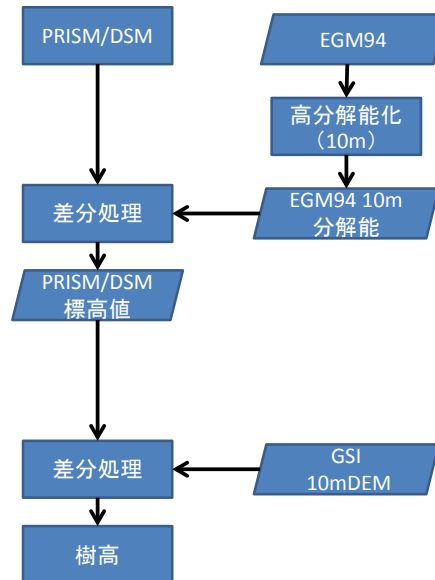


図 2. フロー

1-5 結果

対象とした 4 林班に対し、PRISM/DSM の平均値と現地データとの比較は図 3 の結果となった。DSM により算出された樹高は、該当領域の平均となっているため、現地観測データも平均値とした。201, 225_O は 90% 程度の精度の非常に良い結果となった。尚、RMSE は 2.5m となった。今後、対象エリアを広げていきたい。

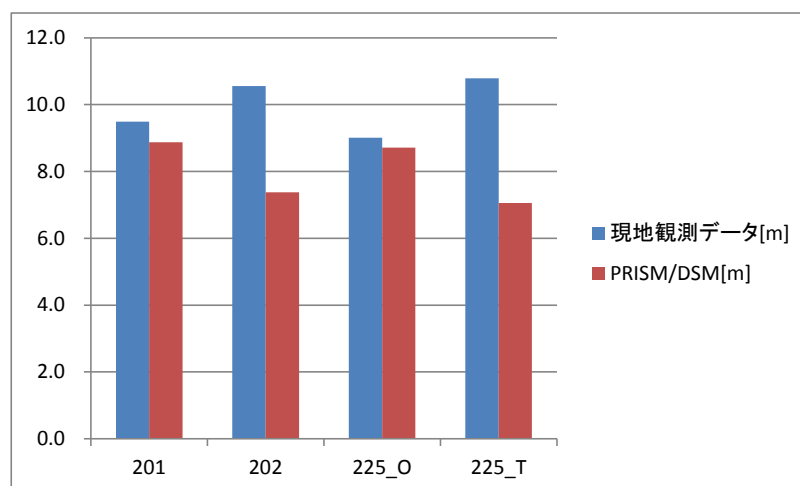


図 3. PRISM/DSM と現地データの比較

2-1 災害事例

2011 年 3 月 11 日午後 2 時 46 分（日本時間、以下同じ）に、三陸沖を震源とするマグニチュード 9.0 の東北地方太平洋沖地震、また、それを起因とする大津波が発生し、東北から関東地方の沿岸部の市町村に甚大な被害が発生した。ALOS の観測画像、国際災害チャータ、センチネルアジアの枠組みから提供された衛星画像及びその解析結果を、中央省庁及び地方自治体に対し迅速に提供した。ALOS は、2011 年 4 月 22 日に軽負荷モードに移行するまで、ほぼ毎日観測を行い、PRISM は 3 回、AVNIR-2 は 34 回それぞれ観測を行った。国際災害チャータ及びセンチネルアジアから提供された画像は、5,000 シーンを超える膨大なものであった。

2-2 ALOS

3 月 14 日に被災地全域に渡って雲のあまりない画像(図 4)が取得出来、全体の被害状況が判明した。沿岸部が広域にわたり湛水し、津波で流されたと思われる海上漂流物が多数確認できた。3 月 24 日、PRISM/AVNIR-2 の同時観測を行い、パンシャープン画像から、より詳細な被害状況を確認することができた。

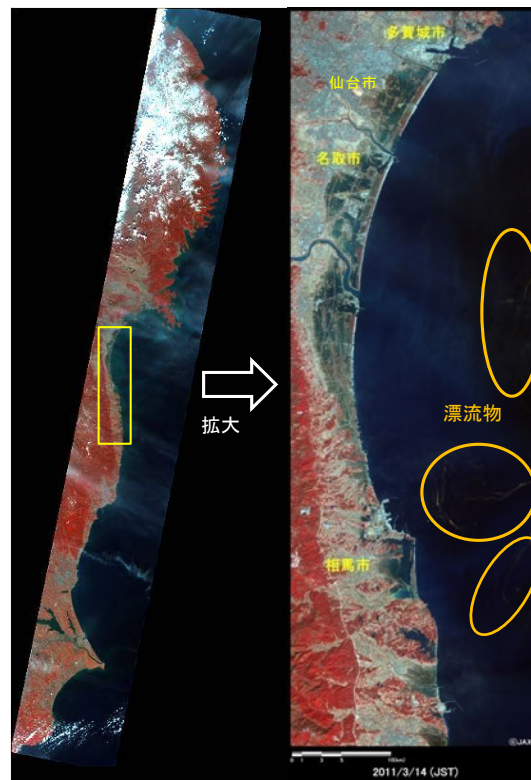


図 4. 2011 年 3 月 14 日の AVNIR-2 の観測画像

2-3 国際災害チャータ及びセンチネルアジア

震災発生後、速やかに国際災害チャータ及びセンチネルアジアに緊急観測を依頼し、多数の画像が観測された。ALOS が観測のない日やより高分解能センサによる画像が必要な対象地域に対して、海外衛星画像を多数利用した。国際災害チャータ（米国 USGS）から提供された WorldView-2 衛星画像を、図 6 に示す。

1. ALOS 利用研究



図 5. 陸前高田市の ALOS パンシャープン画像

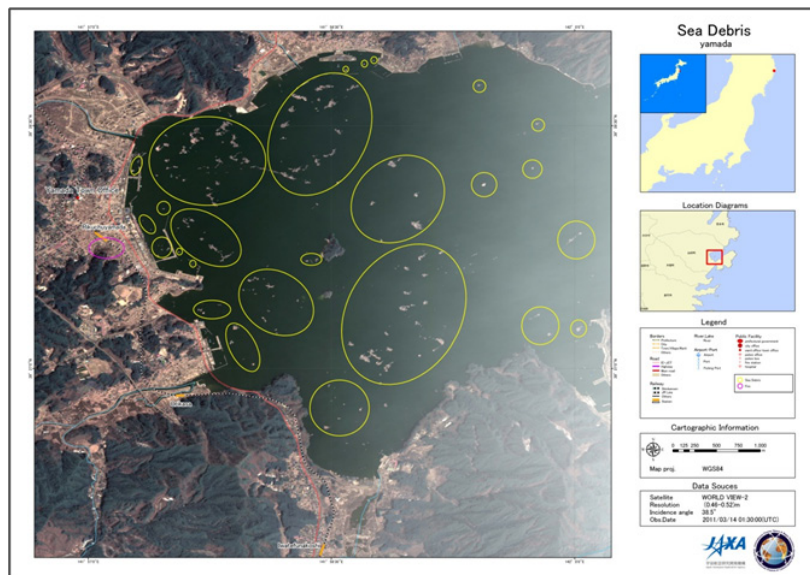


図 6. 岩手県山田湾の WorldView-2 観測画像

2-4 まとめ

中央省庁や地方自治体からの各要望に対し、出来る限り応え、迅速に解析結果及び画像を提供するように務めた。海外宇宙機関からのダウンロード、海外衛星画像のハンドリング、膨大な画像の管理方法、解析結果の公開方法等様々な問題や反省点があった。今後起こる可能性のある災害に対して、本震災で得た教訓を活かしていきたい。

1.3 「PALSAR 多偏波干渉 SAR データからの有効な特徴量抽出」及び

「東日本大震災海外 SAR データ解析と ALOS-2 解析への知見」

大木真人

1. はじめに

ALOS/PALSAR が衛星としては世界で初めて取得した多偏波（四偏波）SAR 観測 (PolSAR) データは、散乱モデルや植生パラメータ推定などの研究などに使用されている。また、分解能や干渉性などが JERS-1/SAR より向上したりピートパスによる干渉 SAR 観測 (InSAR) データも地震、火山、地滑りの監視などに用いられた。一方、PolSAR と InSAR の複合技術である多偏波干渉 SAR (PolInSAR) データも取得されているが、このデータを用いた研究はほとんどなく、その応用分野は未知である。

筆者のこれまでの研究で、PALSAR の PolInSAR データから得られるパラメータは土地被覆依存性が強く、土地被覆分類に有効であることが分かっている。しかし、PolInSAR データから得られるパラメータの種類は極めて多く、それら全てを処理に用いることは計算量の観点から現実的でない。そこで本研究では、どのパラメータが土地被覆の把握に有効か、検証を行った。また、森林分布などの解析を行い、本手法の応用性を検証した。

2. 手法

本研究では、(1) 裸地、(2) 水域、(3) 水田、(4) 畑地（水田以外の農作地とする）、(5) 草地、(6) 森林、(7) 市街地の 7 カテゴリーの土地被覆分類を行った。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を保ちつつ、現時点ではカテゴリ数を少なく設定している。

分類の手法は、これまでの研究で安定した精度が得られたサポートベクタマシン (SVM) を用いた。また、分類精度は真値データを 2 領域に分割し、教師データおよび検証用データの役割を入れ替えて 2 度検証する交差検定により検証した。分類精度を比較するための指標としては、全体精度の評価には、サンプル数の偏りの影響を受けにくいカッパ係数 κ 、個別の土地被覆の精度評価には F 値（提供者精度と利用者精度の調和平均）を用いた。

本研究では PolInSAR データから得られるパラメータ（分類に使用する変数であるとの観点で、以後、特徴量と呼ぶ）の最適化を行った。ここで最適化とは、分類に寄与していない特徴量を除外し、最低限の数の特徴量だけで精度よく分類を行うことを指す。本研究では、特徴量の分類精度への寄与を評価し、寄与の最も低い 1 つを除外する処理を反復して特徴量を 1 つずつ削減し、最も高い精度が得られる特徴量の数とその組み合わせを抽出した。なお、最適化の際に κ 係数、各土地被覆の F 値のどれを最大化させるかで、全体精度を高める最適化と、特定の土地被覆の抽出精度のみを高める最適化の、両方が可能である。

3. データと処理

分類のための教師データおよび検証用データとして用いる真値データは、国土数値情報・土地利用細分メッシュ (2006 年度) 及び ALOS/AVNIR-2 画像 (2007 年 5 月 15 日) の判読により、これまでの研究で作成済みのポリゴンを使用した。データのサンプル数は、スラントレンジ画像上で約 8000 ピクセルであるが、このサンプル数が十分であるかどうかは、サンプル数を変えて処理を試行する

1. ALOS 利用研究

ことによって本研究の中で別途検証した。

分類を行う入力データは、茨城県西部・千葉県西部をカバーする、パス 400・フレーム 710 の、1 回帰 (46 日) 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。また、比較用として同じパス・フレームの、2006 年 8 月 15 日、2009 年 4 月 7 日のデータも用意し、全部でペア A から D まで 4 つの組み合わせの干渉処理を行った (表 1)。干渉処理を行ったデータから、分類に用いる 24 の特徴量を算出した (表 2)。

表 1. 干渉処理を行った観測ペア

干渉 ペア	観測日(YYYY-MM-DD)		軌道間 距離	時間 間隔	検証項目
	マスタ	スレーブ			
A	2007-05-18	2007-04-02	396m	46 日	最も良い干渉条件による処理
B	2007-05-18	2009-04-07	628m	690 日	Aと同じ季節的条件で、時間間隔の長い場合の検証
C	2007-05-18	2006-08-15	611m	276 日	Aと異なる季節的条件での検証1
D	2007-04-02	2006-08-15	1007m	230 日	Aと異なる季節的条件での検証2

表 2. 分類に使用する特徴量 (# は便宜的に付した番号)

散乱強度		偏波相関	固有値パラメータ		コヒーレンス
マスタ	スレーブ		マスタ	スレーブ	
#1 HH	#7 HH	#4 HH・HV	#15 H	#20 H	#10 HH
#2 HV	#8 HV	#5 HH・VV	#16 α	#21 α	#11 HV
#3 VV	#9 VV	#6 HV・VV	#17 A	#22 A	#12 VV
#13 HH-VV	#18 HH-VV				#23 HH-VV
#14 HH+VV	#19 HH+VV				#24 HH+VV

4. 結果

まず、軌道間および時間差がともに最小で、一般的には最も干渉処理に適していると考えられるペア A の最適化結果を示す。図 1 は特徴量の数 (最大 24) に対する全体精度の変化である。特徴量数 11 で精度のピークが見られ、最適化前は 0.78 だった κ 係数は 0.82 に向上した。図 2 は同じ条件で、土地被覆ごとの精度の変化である。水域、水田、森林、市街地の分類精度は安定して高く、F 値は最大約 0.95 となる (おおむね 95% の正解率であることを示す)。裸地、草地、畑地は相対的に精度が低い、特に草地は最適化処理により若干精度が改善する。この最適化で得られた、最適化された 11 の特徴量の一覧を表 3 に示す。

図 3 は、異なる干渉ペアでの精度の比較で、ペア A (赤線) で最も高い分類精度が得られ、ほぼ軌道間距離の短い順に高い精度が得られた。図 4 は、ペア A のデータを用いて、教師データのサンプル数 (全てを使用した場合を 1 とする) を減らした場合の精度評価結果を示す。おおむね 1 つの土地被覆あたり 300 サンプルとなる 0.2 を境に精度が急激に低下する。

森林の抽出精度を最大化する最適化を行った場合では、森林の抽出精度が最も高かったのはペア B であった。このときの最適化された特徴量を表 4 に示す。図 5 はペア B で得られた森林の分布を森林被覆率に換算し、国土数値情報・土地利用細分メッシュから同様に換算したものと比較している。後者を真値と仮定した場合の平均二乗誤差は 0.11、相関係数は 0.87 であった。本研究の抽出結果にはやや正のバイアスが見られる (図 6) が、何らかの用地 (ゴルフ場、公園等) として使われている森林が国土数値情報では除外され、本研究の抽出結果では含まれているということの影響が含まれている。

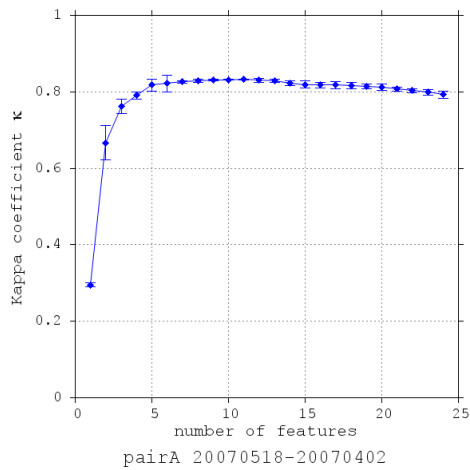


図 1. 特徴量数に対する全体精度の変化。ペア A の場合。

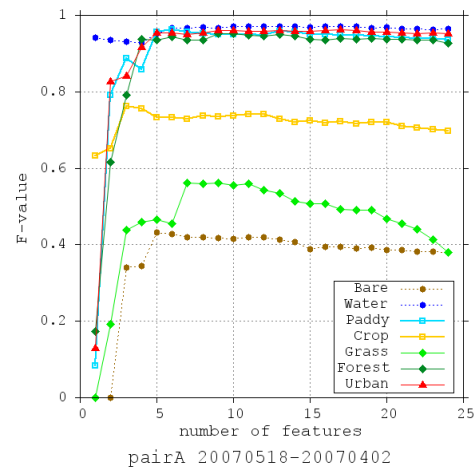


図 2. 特徴量数に対する個別の土地被覆の抽出精度の変化。ペア A の場合。

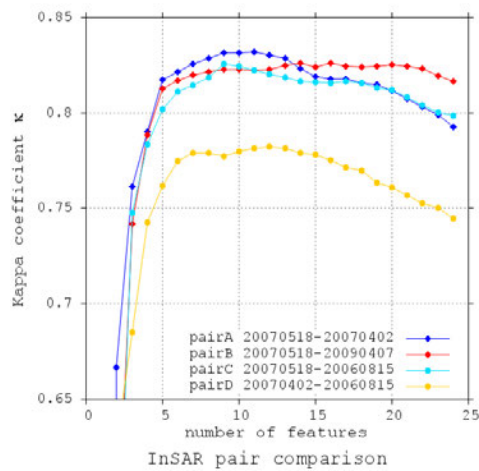


図 3. 特徴量数に対する全体精度の変化。ペア A~D の比較。

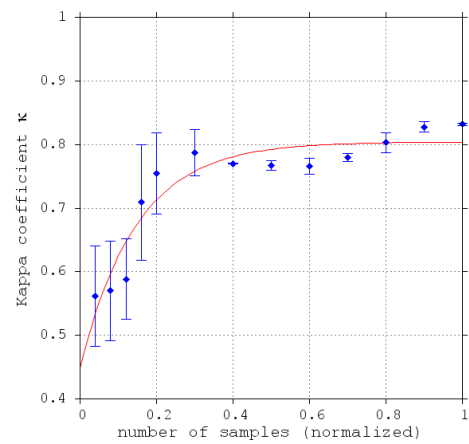


図 4. 教師データのサンプル数（最大値を 1 とする）に対する全体精度の変化。ペア A の場合。

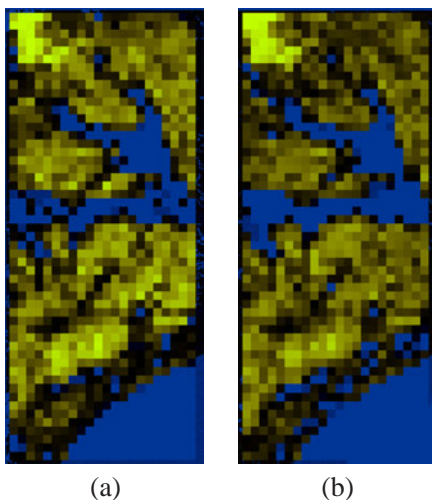


図 5. (a) ペア B の分類結果から、および
(b) 国土数値情報から得られた森林被覆率。

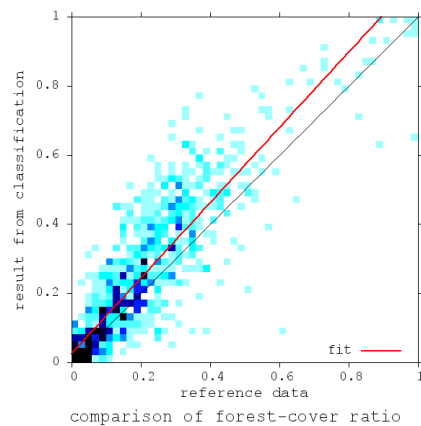


図 6. ペア B の分類結果および国土数値情報から得られた森林被覆率の比較検証結果。

表 3. 最も全体精度の高かったペア A の特徴量の組み合わせ。

散乱強度	偏波相関	固有値パラメータ		コヒーレンス
マスタ	マスタ	マスタ	スレーブ	
#1 HH	#5 HH・VV	#15 H	#21 α	#23 HH-VV
#2 HV		#16 α	#22 A	#24 HH+VV
#3 VV		#17 A		

表 4. 最も森林の抽出精度の高かったペア B の特徴量の組み合わせ。

散乱強度		偏波相関	固有値パラメータ		コヒーレンス
マスタ	スレーブ	マスタ	マスタ	スレーブ	
#1 HH	#19 HH+VV	#5 HH・VV	#15 H	#20 H	#23 HH-VV
#2 HV			#16 α	#21 α	#24 HH+VV
#3 VV			#17 A	#22 A	
#13 HH-VV					

5. 成果

本研究で、PolInSAR データの土地被覆把握への有効性を改めて確認できたと同時に、最適化によって特徴量を削減することで、精度を低下させずに、むしろやや精度を向上させながら計算量を低減できることが分かった。この手法は土地分類だけでなく、特定の土地被覆の抽出にも利用できるため、森林や水稲作付値などの把握への応用も考えられる。

全体の分類精度では軌道間および時間の間隔の短いデータが有利であったが、2 年以上離れたデータでも精度の低下は小さく、森林の抽出ではむしろ時間間隔の離れた干渉ペアが有利であることも分かった。これは、森林域では時間と共にコヒーレンスが低下しやすいため、これが森林を抽出する指標となっているためと考えられる。

ALOS/PALSAR の多偏波観測モードは、実験的な位置づけであり様々な制約があった。特に PolInSAR データ（軌道間距離の短い PolSAR データのペア）は取得頻度が少なく、このテストサイトでの有効な PolInSAR データは 5 年間の運用で、ほぼ本研究で示した 4 例だけである。また観測幅の制約などから、PolInSAR データは全国をカバーできていない。SAR 本来の特長である天候に影響されない高頻度の観測を生かした PolInSAR データの取得は、分解能、軌道制御、観測幅が向上した ALOS-2 衛星に期待される。

6. 付章：東日本大震災海外 SAR データ解析と ALOS-2 解析への知見

海外商用 SAR 衛星画像の判読には、波長や分解能の違いから PALSAR 画像とはやや異なるノウハウが必要である。また、これまで PALSAR 画像では災害前後の画像の差分をとることで浸水域などの抽出を行ってきたが、海外衛星では、観測条件の近い良好な災害前のアーカイブ画像がないことが多い。東日本大震災では、3 月 13 日から 14 日にかけて 4 パスの TerraSAR-X データの解析を主に担当したが、良好なアーカイブデータは 1 パスの一部分のみしかなく、手作業による経験的な判読ノウハウの重要性を再認識した。

また、海外機関では、画像の可視化や発信の仕方に JAXA では行われていない工夫が見られた。例としては①本来白黒である SAR 画像をカラーコーディングし判読しやすいカラー画像に変換している、②インタラクティブな操作で画像を比較する機能を Web ページに備えている、③ソーシャルメディア（twitter など）と連携して情報を共有する、などである。これを教訓に、画像のカラーコーディングや Web におけるインタラクティブな画像表示の手法の開発を行い、ALOS-2 等においても海外機関と同様の画像や Web を作成できるようにした。

1. ALOS 利用研究

1.4 合成開口レーダを用いた利用実証と災害監視事例について

河野宜幸

1. はじめに

2011 年は東日本大震災に代表されるように、自然災害が強く印象に残る一年であった。ここでは、合成開口レーダを用いた利用実証実験と実災害への応用事例について、東日本大震災時の海外衛星を用いた事例、タイ洪水観測事例を記し、最後に PALSAR-2 に対応した航空機搭載合成開口レーダ (Pi-SAR-L2) の開発状況について記す。

2. 東日本大震災による災害監視事例

2.1 海外衛星 (Cosmo-Skymed) による津波浸水域推定

2.1.1 観測頻度向上実証

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分、東日本大震災が発生した。その直後よりイタリア宇宙庁 (ASI) との協定に基づく緊急観測要請を行い、12 日 17 時 28 分～18 時 34 分にかけて Cosmo-Skymed(CSK)4 機による東北沿岸の撮像が実施された。ALOS では 12 日 10 時 29 分 (AVNIR2)、13 日 22 時 12 分 (PALSAR) に撮像したので、その間を埋める形で観測頻度向上として非常に有効であることを示した。

2.1.2 津波の浸水域抽出

津波により広く浸水が残る仙台平野を中心に浸水域を推定した。推定には水面の後方散乱係数が小さい特性を利用するが、平時より後方散乱係数が小さい河川や海面、道路などを区別するのにアーカイブデータが有効である。しかし、CSK では仙台平野付近においてアーカイブが存在しなかったため、災害後のデータのみを用いた。その条件は、a) DEM による標高 0.5 m – 15.0 m、 b) 輝度 80 以下、 c) 前述 2 条件で抽出される微小領域をフィルタ処理により除去、である。浸水域推定結果を Fig.1(a) に示す。この範囲において浸水域は約 137km² である。

2.1.3 災害監視応用への課題

CSK や他の国際災害チャーター経由の海外衛星でも共通しているが、EORC へのデータ転送待ち時間が最大の課題である。ASI ではサーバーの転送速度が異常に遅く、国際災害チャーターではサーバーへのデータ更新と連絡が遅い。EORC の解析処理は素早いだけに、転送待ち時間が最大の懸念材料である。また、このような広範囲な災害では災害域の拡大画像を資料化してユーザーに渡す従来の手法では通用しないことが示された。今後は WEB サーバーなどを介したユーザーフレンドリーな情報提供法の検討が必要となる。

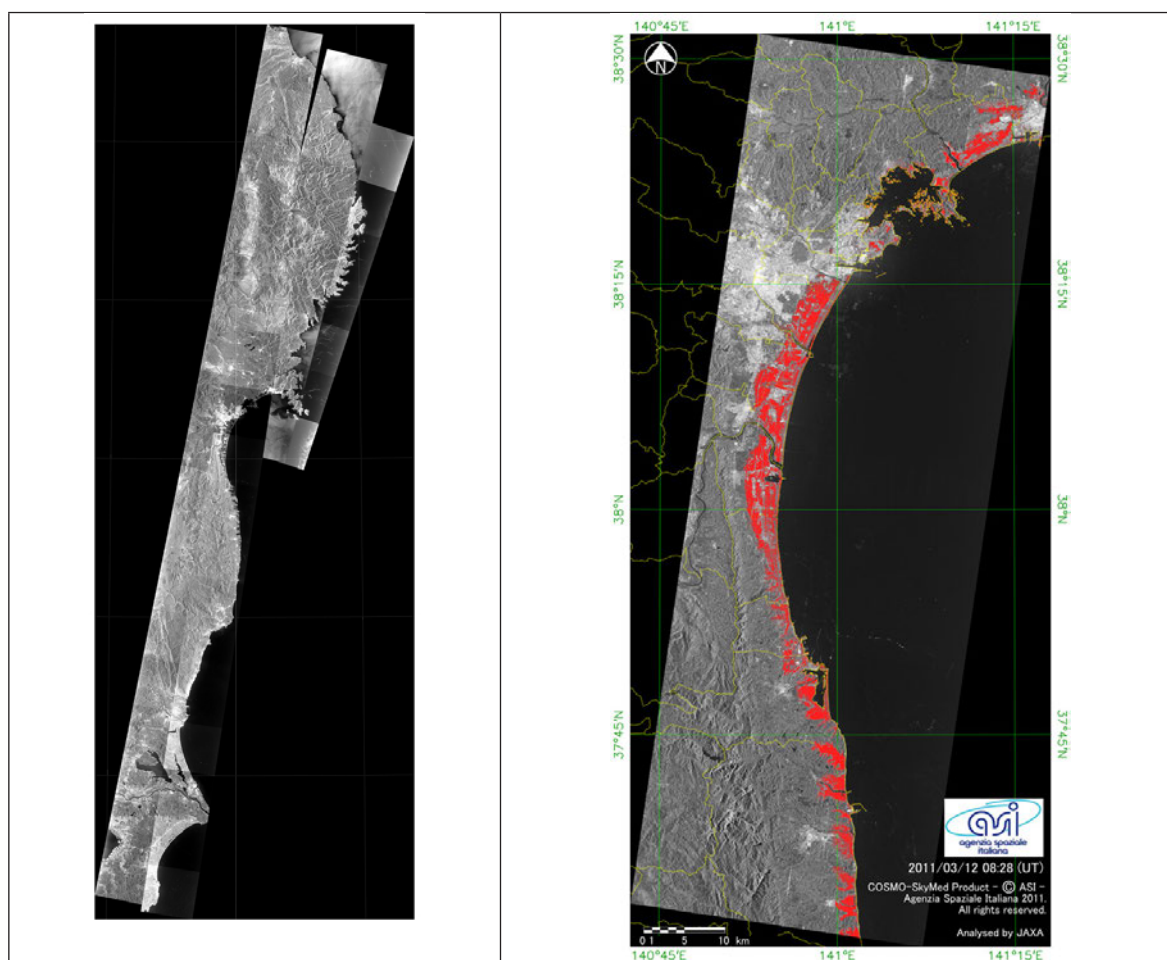


図 1. Cosmo-Skymed による撮像（2011/03/12 CSK1 - 4）と仙台平野周辺の浸水域推定結果

2.2 洋上漂流物検出

東日本大震災では、大量の海上漂流物が発生したが、その漂流物は1～2年でハワイ沖やアメリカ西海岸へ到達することが予測されている。しかし、NOAA や JAMSTEC によるシミュレーションではその予測結果に大きなバラツキがあり、これは初期値となる沿岸域の漂流物分布と沿岸流が未知のためとされる。海洋担当大臣より総合海洋政策本部へ漂流物把握の指示がなされ、京都大学を筆頭に JAMSTEC、原子力研究機構、JAXA、気象研が協力し「平成 23 年度東日本大震災に伴う洋上漂流物に係る緊急海洋表層環境モニタリング調査業務」を実施した。JAXA では、ALOS/PALSAR による漂流物の分布と Cosmo-Skymed による沿岸流の可視化について検討した。

ALOS/PALSAR では海上に物体が存在することで後方散乱係数が増大するため、その検出は比較的容易である。一方、災害直後は捜索や救助関係の船舶も同海域に多数存在するため、漂流物と船舶を識別する必要がある。

図 2 左に ALOS/PALSAR（2011/03/16）による海上の様子を示すが、船舶と思われる孤立輝点の後方散乱係数は高く、漂流物と思われる筋上の物体は後方散乱係数も低いことが分かる。また、孤立輝点でありながら後方散乱係数がやや低めの物体は、捜索中もしくは漂流中の小型船舶か立体構造を有する家屋などと推定される。このような漂流物等を多数抽出し、その後方散乱係数と目視によ

る同定によって、漂流物、高信頼船舶、低信頼船舶に後方散乱係数による経験的な識別を実施した。

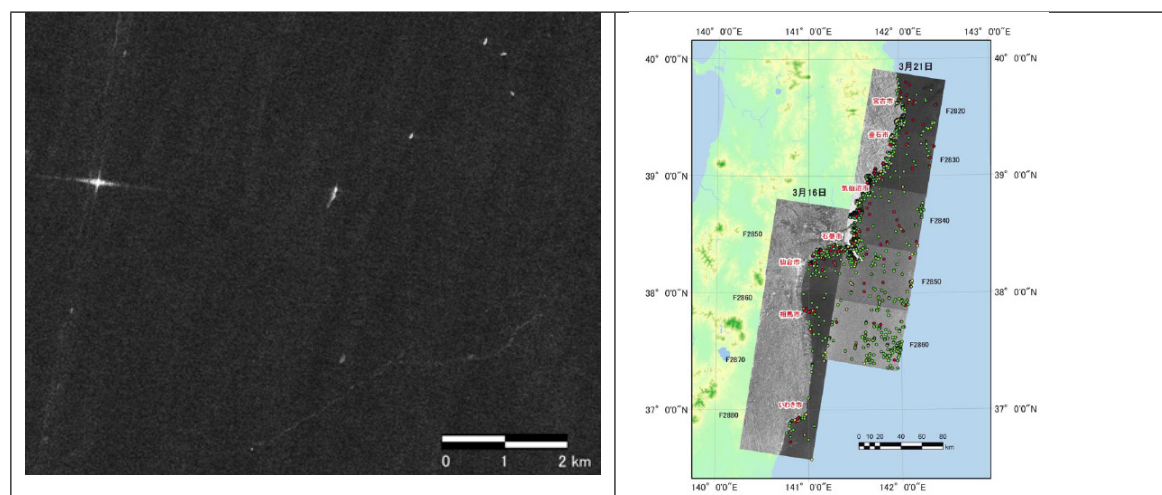


図 2. ALOS/PALSAR による漂流物と船舶 (2011/03/16)、識別した漂流物 (緑)、高信頼船舶 (赤)、及び低信頼船舶 (黄) の分布 (2011/03/16, 03/21)

表 1. 船舶と漂流物の総数

	高信頼度船舶	低信頼度船舶	漂流物	計
2011/03/16	27	27	222	276
2011/03/21	66	55	1583	1704

また、2011/03/12 撮像 Cosmo-Skymed (CSK4/09:10UT, CSK1/09:34) による漂流物の移動を追跡することで、最大 15 m/min となる複雑な沿岸流を数値化することに成功した。これらの結果は JAMSTEC の漂流物追跡モデルの初期値として入力されることが期待される。

3. Pi-SAR-L によるタイ洪水観測 (2011 年 09 月末、11 月)

2011 年雨期、近年まれに見る雨量に見舞われたタイ国では、その緩やかな地形も相まって数ヶ月かけて広範囲な洪水域が南部へ移動し、バンコク周辺も 10 月下旬より浸水が始まった。JAXA では GISTDA と協力して Pi-SAR-L2 を用いた灌水域把握に努め、GISTDA の HP などで公開された。

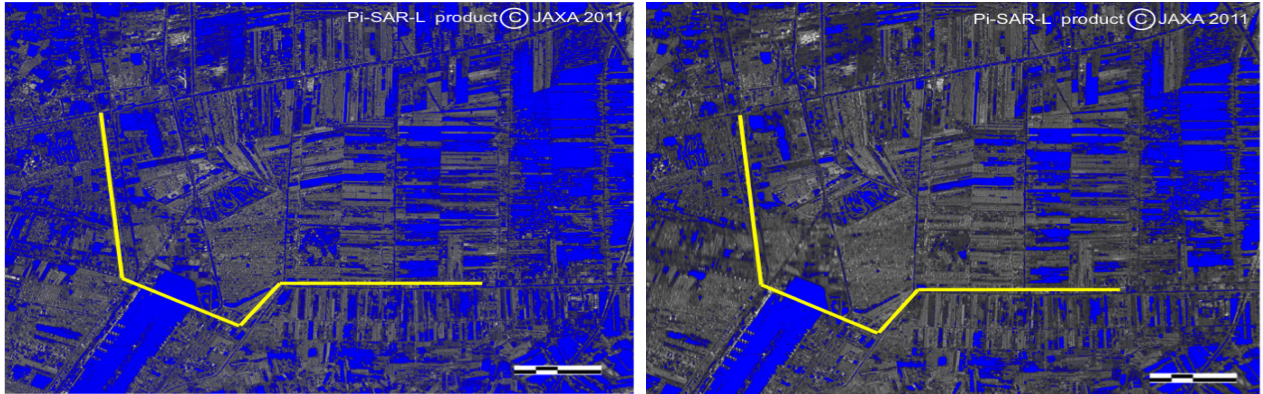


図 3. Pi-SAR-L によるドンムアン空港（旧バンコク国際空港）周辺の灌水域推定結果。約 51.4 km²(左図:2011/11/07) が約 31.1km²(右図:2011/11/25) へと減少している。黄線は、巨大な土嚢による防水壁（Big Barrier）の位置。

4. Pi-SAR-L2 開発状況

当初、2012 年 2 月にはその CAL/VAL 飛行を予定していたが、タイ洪水観測による旧 Pi-SAR-L の使用期間が延びたため、その CAL/VAL 飛行は 2012 年 4 月へと変更となった。現在、その個別試験や無線局申請手続きを実施中である。

5. おわりに

2011 年 3 月 11 日東日本大震災に伴う災害監視において、海外衛星を用いた観測頻度向上は実証された。また、Cosmo-SkyMed を用いた津波灌水域推定のみならず、海上漂流物という新たな利用可能性も拓いた。その一方で、観測データ取得に膨大な時間を要すること、解析結果のユーザー提供法に混乱が見られることなど、実利用までの課題が浮き彫りとなった。2012 年度は、Pi-SAR-L2 を用いて災害時の実観測による提供プロダクト定義と ALOS-2 観測シナリオ検討、災害時の適切なデータ提供システムの検討と確立などを通し、ALOS-2/PALSAR-2 実利用への明確な道筋を付けたい。

1.5 ALOS/PALSAR を用いた熱帯域の土地利用分類

白石知弘

1. はじめに

森林伐採やバイオマス腐朽は世界の温室効果ガス排出量の約 17.3% に相当すると報告されており、極めて重要な課題として国際的に注目されている。巨大な炭素蓄積量を持つ熱帯雨林や泥炭地森林を保有する地域の一つとしてインドネシアが挙げられるが、森林劣化・減少、泥炭地の農地等への転換や生態系の変化が報告されており地球温暖化並びに気候変動に対する影響が大きい地域の一つであると考えられている。そこで我々は森林炭素量や森林被覆の変化を高精度に検出・計測することを目的に ALOS/PALSAR データを使用してインドネシア・スマトラ島リアウ州の土地利用分類に取り組んでいる。今回は画像解析ライブラリである OpenCV が持つサポートベクターマシン分類器を使用して教師付き土地利用分類を行った結果について報告する。

2. 使用データ

本研究で使用した画像データは、ALOS/PALSAR、WWF 提供の土地利用分類図の 2 種類である。ALOS/PALSAR データは 25m 分解能のモザイク画像で、2 偏波高分解能 (HH/HV 偏波)、オルソ・斜面勾配補正を施した 2007、2008、2009 の 3 ヶ年の時系列データを使用した。WWF 提供の土地利用分類図は、インドネシア・スマトラ島のリアウ州を中心に、2009 年の LANDSAT 画像を基準として、合計 10 種類のクラスに目視判読された土地利用分類データである。

3. 分類方法

本研究では、WWF 提供の土地利用分類図を正解データとして、教師付き分類を行った。正解データは図 1(c) で示すように、Unclassified と Cloud クラスを除き、10 種類の分類クラスが存在する。我々は、大きく 2 種類の分類方法を試しており、1 つは商用の画像解析ツール eCognition を使用し、画像データを似た特徴を持つ領域に分割するセグメンテーション処理を施した後に、セグメント領域単位に分類処理を行う方法である。他方はセグメンテーション処理を介さずに、画像のピクセル単位に分類処理を行う方法である。今回の報告は、後者のピクセル単位の分類手法に関して報告する。

本手法で行った分類は、特徴量計算、特徴量選択、分類処理の流れで行った。特徴量は、PALSAR の HH/HV 両偏波の後方散乱係数を基に、基本的特徴量である平均や標準偏差、確率的特徴量である歪度や尖度等、グレースケール同時発生行列のコントラストやエントロピー等、そして時系列データを使用して、これらの特徴量の時間的なばらつき度の、計 64 種類の特徴量を使用している。特徴量選択は、分類クラスごとに対象の特徴量と他クラスの特徴量とのユークリッド距離の大きい順にソートし、各クラス上位 3 個の特徴量を分類器のトレーニングデータに使用した。分類処理は、フリーの画像解析ライブラリである OpenCV のサポートベクターマシンを使用して行った。

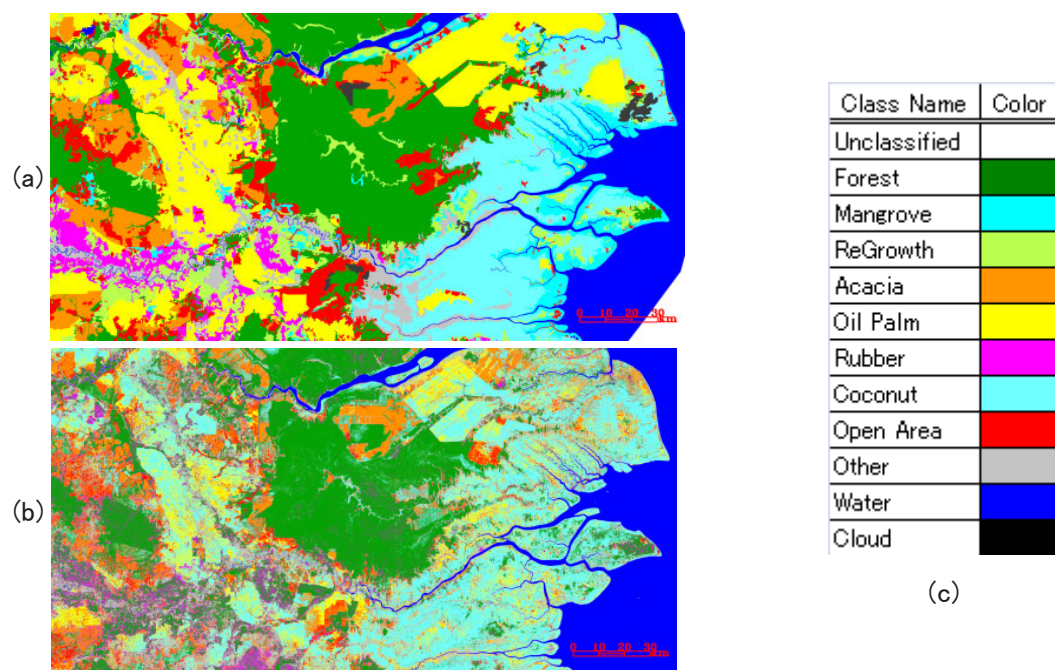


図 1. 土地利用分類結果 : (a) 正解データ、(b) 分類結果、(c) クラスとカラーマップ

4. 結果とまとめ

正解データを図 1(a)、分類結果を図 1(b)、分類対象のクラス一覧を図 1(c) に示す。分類精度は、土地利用分類で 47.3%、森林 / 非森林分類で 87.0% であった。森林 / 非森林分類は、図 1(c) に示す Forest クラスを森林 (自然林) とし、それ以外のクラスを非森林と定義した分類である。Water クラスは、他クラスと比較し後方散乱係数が低く 95.3%、Forest クラスは、植林クラスと比較し後方散乱係数が高く、かつ時系列の変動が小さい等の特徴から 78.9% と比較的精度良く分類できているが、Mangrove、ReGrowth クラスの 3% 台の精度を始めとして Coconut クラスの過大分類等、非森林クラスの分類は課題が残る。また、本手法ではピクセル単位に分類処理を行っているため、スペckルノイズ等の影響もあり、正解データと比較して小領域の誤分類が多く発生することも今後の課題である。

森林炭素量や森林被覆の変化を高精度に検出・計測することは、地球温暖化や生態系の変化を監視・抑制するために重要な課題であり、高精度な土地利用分類は、この課題解決への第 1 歩である。今後も分類精度が向上するように調査・検討を進めたい。

1.6 ALOS データを用いた森林動態・バイオマス観測手法の開発

本岡 毅

1. はじめに

近年、Reducing Emission from Deforestation and forest Degradation (REDD) や、REDD に森林の持続的管理や二酸化炭素吸収能の強化の項目を加えた REDD+ などの国際的枠組みが盛んに議論されている。REDD+ では、森林伐採や劣化を回避することで、それらによって排出される見込みであった温室効果ガス炭素量をクレジットとして取引可能とする仕組みを想定している。そのため REDD+ を遂行する上では、時空間的に詳細な森林面積・バイオマス・炭素量の測定手法がまず必要であり、リモートセンシングの活用が強く求められている。そこで本研究では、ALOS データ (PALSAR、PRISM、AVNIR-2) を用いた森林動態・バイオマス観測手法の開発を目的としている。本発表では、(1) 時系列 PALSAR モザイクを用いた熱帯林伐採の自動抽出、(2) 日本における森林バイオマス広域推定手法の検討について報告する。

2. 時系列 PALSAR モザイクを用いた熱帯林伐採の自動抽出

対象地は、インドネシアのスマトラ島リアウ州とした。PALSAR データは、高分解能二偏波 (FBD) モードで観測された後方散乱係数画像 (HH、HV 偏波のガンマノート、 γ_0) を用いた。オルソ補正、勾配補正、画像間のモザイク (隣接画像間のならし処理を含む) を施し、2007 年から 2010 年の間の 6 枚のモザイク画像を作成した。ルック数は 4 とし、最終的なリサンプリング間隔は 25 m (バイリニア法) とした。さらに、スペckル除去のため、 5×5 ピクセルの平均値フィルタを施した。

まず、自然林伐採地における γ_0 の時間変動を明らかにした。複数時期の ALOS AVNIR-2 と Landsat 7 ETM+ の幾何補正済みフォールスカラー画像を目視判読し、自然林と伐採地のポリゴンを作成し、各ポリゴン内の γ_0 を抽出した。結果、自然林の γ_0 は、すべての時期の間でほとんど差が見られず、 γ_0 の標準偏差は約 1 dB であった。伐採地の γ_0 について、HH 偏波では標準偏差が増加する傾向が見られたものの、系統的な変化は見られなかった。HV 偏波では、伐採後、 γ_0 はどの時期についても系統的に大きく減少した。そこで HV 偏波の γ_0 に対し、しきい値法で伐採地を判別した場合の精度を求めたところ、ほとんどの時期について全体精度 90% 以上、検出率 80% 以上、誤検出率 10% 以下となることがわかった (例: 図 1)。ただし一部時期では、伐採後に HV 偏波の γ_0 が十分に減少せず、精度が低下した (全体精度 80% 程度、検出率 50% 程度)。この理由としては、伐採地の状態の違い、降雨などによる地表面水分の変化が影響していると推察される。

上記結果に基づき、HV 偏波 γ_0 の時間差分値にしきい値 (-1dB) を適用し、各年の自然林伐採地を自動抽出した (図 2)。一部時期の精度低下を回避するため、伐採検出の時間間隔を一年とし、各年内の複数時期の結果を統合した。

本解析により、PALSAR の HV 偏波 γ_0 を用いることで、シンプルなアルゴリズムで自動的に熱帯林伐採を抽出できることが示された。本手法は PALSAR-2 にも適用可能であり、特に ScanSAR モードで HV 偏波が観測可能になるため、より高頻度な伐採監視の運用が期待できる。

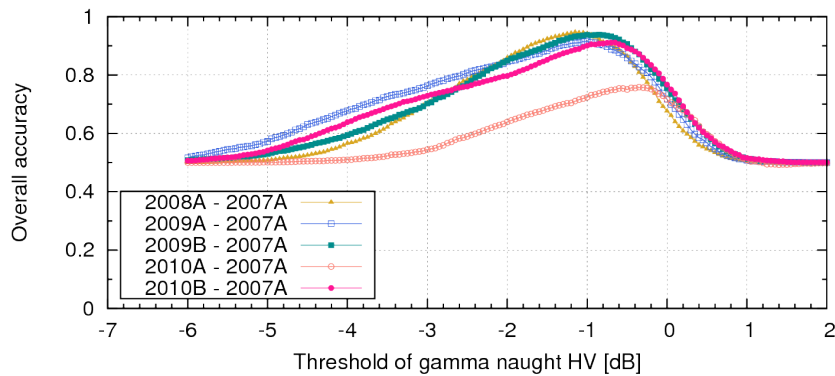


図1. 山岳部森林の検証エリアにおける、閾値ごとの全体精度。HV 偏波の γ_0 の時間差分値について、閾値を下回った場合に伐採と判定した。サンプル数は自然林 1000 点、伐採地 1000 点である。

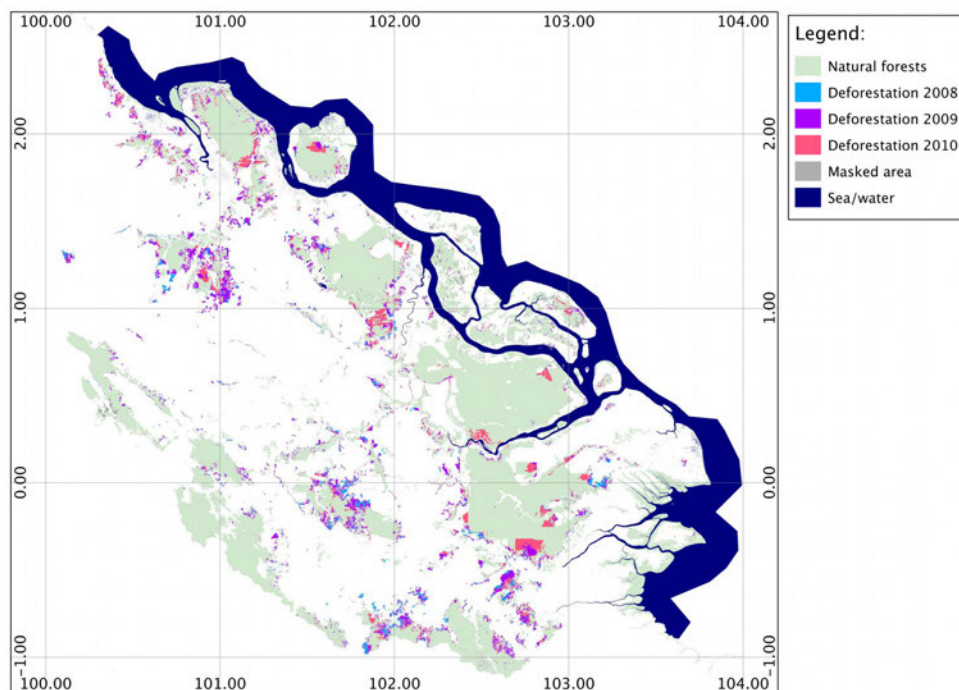


図2. 時系列 PALSAR モザイクより判定した、リアウ州の各年の自然林伐採域。

3. 日本における、森林バイオマス広域推定手法の検討

昨年度、日本における各種森林において SAR 後方散乱係数とバイオマスの相関関係を明らかにしたが、高いバイオマス（100-200 t/ha 以上）において相関が悪くなることがわかっている。そこで本研究では、PALSAR による推定に加えて、PRISM DSM（Digital Elevation Model）を用いて森林容積を推定することで、バイオマス推定精度を向上できないか検討している。現場データとして、北海道の朱鞠内湖周辺に位置する北海道大学雨龍演習林で得られた 25 地点の毎木調査結果を使用した。現場バイオマスと PRISM DSM から求めた樹冠高さ（Digital Canopy Model; DCM）を比較した結果、両者には正の相関が見られた（ $r = 0.634$ 、 $r^2 = 0.402$ 、 $n = 17$ ）。ただし、直線回帰式の RMSE は 96.73 t/ha であり、PALSAR による推定と同程度であった。今後、処理やアルゴリズムについて、さらなる検討を行う予定である。

1.7 SAR データを用いた森林バイオマス推定精度の向上

渡邊 学

1. はじめに

地球温暖化問題を定量的に論じる上で、森林バイオマスとその変化を定量的に捉えることは、重要なことである。そして広範な範囲で捉えるためには、衛星データの利用が不可欠である。従来、データの扱いやすさ、画像判読の容易さという観点から、光学センサによる研究が多く行われてきた。しかし近年、合成開口レーダ (SAR) のオルソ化の技術 [1] や、解析ソフトの普及から、SAR データの普及が森林分野でも急速に拡大しつつある。

SAR データを用いた森林バイオマス推定の主な手法としては、後方散乱係数とバイオマス量の相関関係を用いた手法と、干渉技術を用いた樹高推定による手法の 2 つがあげられる。後者の手法は技術的または観測頻度等の問題から、L バンド SAR で地球全域の森林バイオマス量を調べるのが難しいと考えられている。一方、前者は手法が簡易である反面、森林バイオマス量にして 100 tons/ha という若い森林でしか、バイオマス量が調べられないと考えられてきた。本研究では、SAR の 4 偏波データを含めたさまざまな SAR パラメータを用いて、100 tons/ha 以上の森林で、バイオマス推定を精度よく行うための検討結果について現状を報告する。

2. データと解析手法

本研究では、ペルーと北海道苫小牧のデータを用いた。北海道苫小牧国有林は、2003 年から著者らによってバイオマス測定が継続的に行われており、2011 年度 11 月にも、バイオマス計測が行われた。また、Asner ら [2] によってペルーの広範な範囲で得られた森林バイオマスデータも合わせて用いた。PALSAR は、2 偏波、4 偏波モードのデータから強度画像、エントロピー、4 成分分解成分、相関強度等のパラメータを計算し、バイオマスデータとの相関関係を調べた。

一方、SAR パラメータの時期的安定性を調べるために、レーダ反射係数と直接関係する誘電率計を樹木幹に設置し、その経年変化も同時に調べた。また、苫小牧国有林での 4 年間の σ^0 の変化についても調べた。

3. 結果

ペルーデータで得られた、バイオマスと σ^0_{HV} の相関を図 1(左) に示す。従来の研究結果から指摘されていたように、100 tons/ha 付近で相関カーブは飽和に近付いていた。しかし 180 tons/ha 以上のデータだけを使って直線でフィッティングをしたところ (図 1(右))、正の相関が見られ、完全に飽和していないことが明らかになった。同様のことを他のパラメータで行ったところ、 σ^0_{HH} 等のパラメータでは相関が見られなかった一方で、エントロピーや相関係数など、正の相関が見られるパラメータがあることが分かった。

また、4 年間の森林部の σ^0_{HV} の変化の様子を図 2 に、地上の誘電率計で測定された樹木幹誘電率と雨量の変化を示した結果を図 3 に示す。どちらも時間的な変動を示し、その変動と雨量との間に弱い相関があることが分かった。

4. まとめと今後

本年度の研究結果として以下の結果、知見が得られた。

- i. 森林バイオマスと、 σ^{0}_{HV} 、エントロピーなど一部のパラメータの間に、180tons/ha 以上で正の相関があることが分かった（ペルーデータ使用）。
- ii. 樹木誘電率変化に起因したと考えられる時間変動が、森林部の σ^{0} で確認された。樹木誘電率、 σ^{0} 共に雨量との間に弱い相関が見られた。

今後は、インドネシアで現在取得しているバイオマスデータを用いて本結果を確認すると共に、PALSAR を用いて森林バイオマスを広域に精度よく求めるためのパラメータと、使用する時期、傾斜の影響等についての検討を行いたい。

[参考文献]

- [1] M. Shimada, "Ortho-Rectification and Slope Correction of SAR Data Using DEM and Its Accuracy Evaluation", IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING, VOL. 3, NO. 4, DECEMBER 2010
- [2] G. P. Asner, G. V. N. Powell, J. Mascaro, D. E. Knapp, J. K. Clark, J. Jacobson, Ty Kennedy-Bowdoin, A. Balaji, G. Paez-Acosta, E. Victoria, L. Secada, M. Valqui, and R. F. Hughes, High-resolution forest carbon stocks and emissions in the Amazon, PNAS, 2010 107 (38) 16738-16742

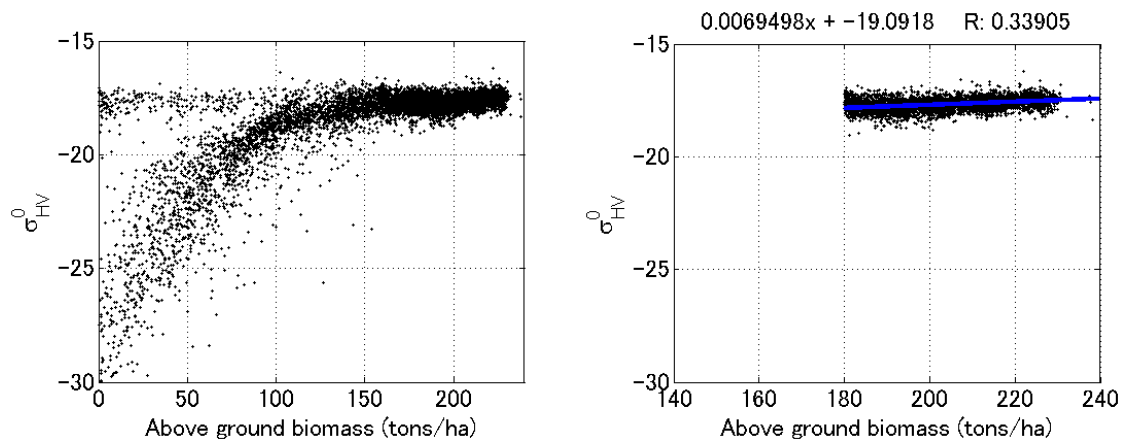


図 1. ペルーのデータから得られた、森林バイオマスと σ^{0}_{HV} の相関（左）。180 tons/ha 以上を取りだして直線で fitting した結果（右）。

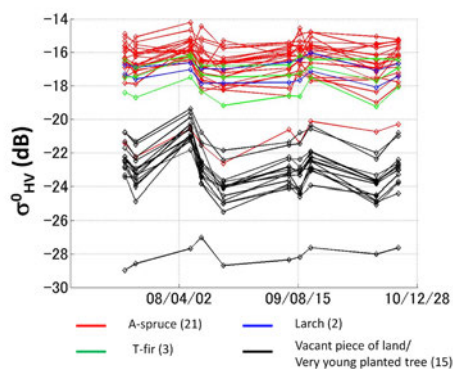


図 2. 4 年間の PALSAR データで得られた、森林部の σ^{0}_{HV} の変化の様子

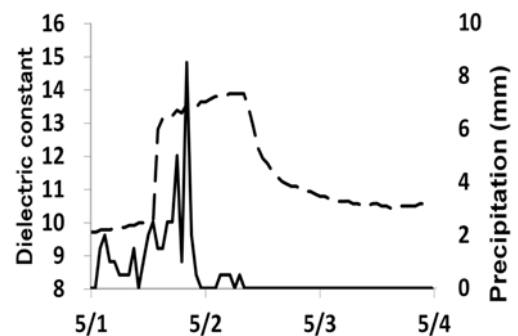


図 3. 地上の誘電率計で測定された樹木幹誘電率と雨量の変化

1.8 Spatial modeling of deforestation in tropical region: Preliminary results using PALSAR data

Rajesh Bahadur Thapa

1. Introduction

Calculation of actual GHG emissions requires regular monitoring of deforestation. Combining remote sensing techniques with ground based survey is an effective mean of monitoring deforestation and forest degradations. Spatial model of deforestation provides important abstract information of the future to understand complex process of land cover change along with a platform to test different policy implications. Various spatial models have provided valuable insights into forest cover change processes in the Amazon region; however, such models are still rare in Southeast Asian region. This may be due to the fact that the forest area in the region mostly covers with cloud creating a major barrier to generate spatiotemporally consistent land use/cover maps using optical remote sensing in the early decades. But recent advances in spatial resolution of Synthetic Aperture Radar (SAR) have altered this barrier significantly. SAR is particularly useful to monitor deforestation and forests degradation due to its capability to monitor earth surface in all weather and solar illumination conditions. It consists of unique characteristics, i.e., greater penetration of vegetation and weaker reflection from the relatively flat surface in the forest (Shimada and Ohtaki, 2010), that provide important information to interpret and separate different type of forests and other type of land uses. SAR has been providing global coverage of earth surface for civilian use since the early 1990s. The most recent sensor, PALSAR (Phased Array L-band SAR) of ALOS (Advanced Land Observing Satellite) has collected a large amount of data consistently for the last five years. PALSAR data are available from a scene to global mosaics which can be used for generating land use/cover data from local to global scales at various spatial resolutions as high as 10 meters.

In this research, we aim to develop a spatial model to simulate future deforestation patterns of tropical forest in Asian region utilizing PALSAR time series data. Currently, Riau Province is selected as a pilot study site for model testing and validation purpose. This province is located in central Sumatra of Indonesia has been facing rapid deforestation threatening to biodiversity, peat drainage, and forest carbon stocks in the region.

2. Database and Methodology

Geographically, Riau Province is situated within the geographic coordinates 1° 7' 24" South latitude to 2° 32' 36" North latitude and 100° 1' 30" to 103° 48' 39" East longitudes. The province consists of 10 administrative districts spanning over 9 million hectares of land. Two land cover maps at 25 meters spatial resolution for the years 2007 and 2010 are prepared using ALOS-PALSAR mosaics. Road, river, coastline, settlement, urban center, altitude, and slope are created using provincial map and other ancillary information. A preliminary framework of the model design is presented in Fig 1. Bayesian approach of conditional probability is adopted. This method concerns the favorability to detect change from forest to non-forest area in relation to potential evidences (i.e., proximity to roads, rivers, etc.). Since the model is in R&D phase, the prediction of future spatial patterns of deforestation is limited to the business as usual scenario only.

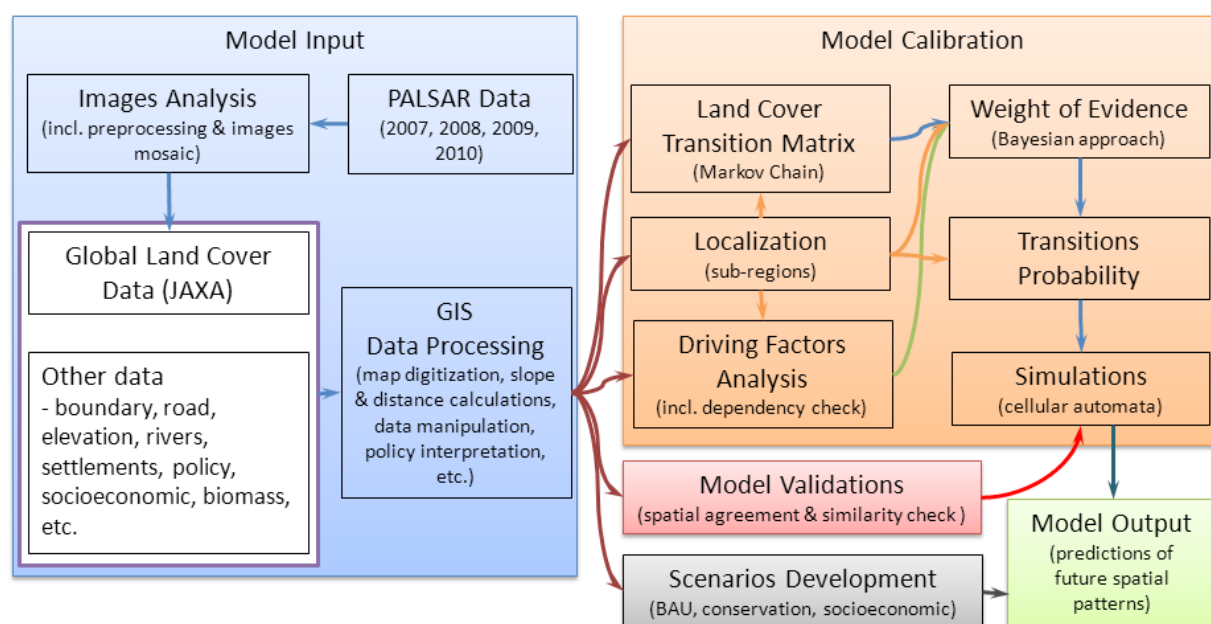


Figure 1. Conceptual framework of deforestation modeling.

Model validation was conducted by comparing the simulated map of 2010 with reference map of 2010. A neighborhood context was considered for validating simulation results because even maps that do not match exactly cell by cell could still present similar spatial patterns and likewise spatial agreement within certain pixels vicinity. We used fuzzy similarity method with exponential decay function that accounts the fuzziness of location and category within a cell neighborhood. The fuzzy similarity test is based on the concept of fuzziness of location, in which a representation of a cell is influenced by the neighborhood cells. A reciprocal two-way fuzzy similarity index, from the reference map (2010) to the simulated map (2010) and vice versa, was computed at multiple window sizes.

3. Results and Discussion

The Figure 2 shows PALSAR based FNF maps of the study area in 2007 and 2010, simulated map in 2010, and similarity map as validation results. The spatial patterns of forest to non-forest changes are easily discernible in the reference maps (Figs 2.a-b) where a large area of the natural forest is converted to non-forest in the north-west part of the province in 2010. Quantitatively, the forest landscape in the province decreased from total 4.76 million hectares in 2007 to 4.28 million hectares in 2010, a gross reduction of 160 thousand hectares each year. The net rate of forest transition from forest to non-forest, calculated based on Markov approach, varies by administrative districts ranging from 6 to 21% per year. Pekanbaru, Rokanhilir, Dumai, and Rokanhulu are facing rapid deforestation compared to other 6 districts in the province.

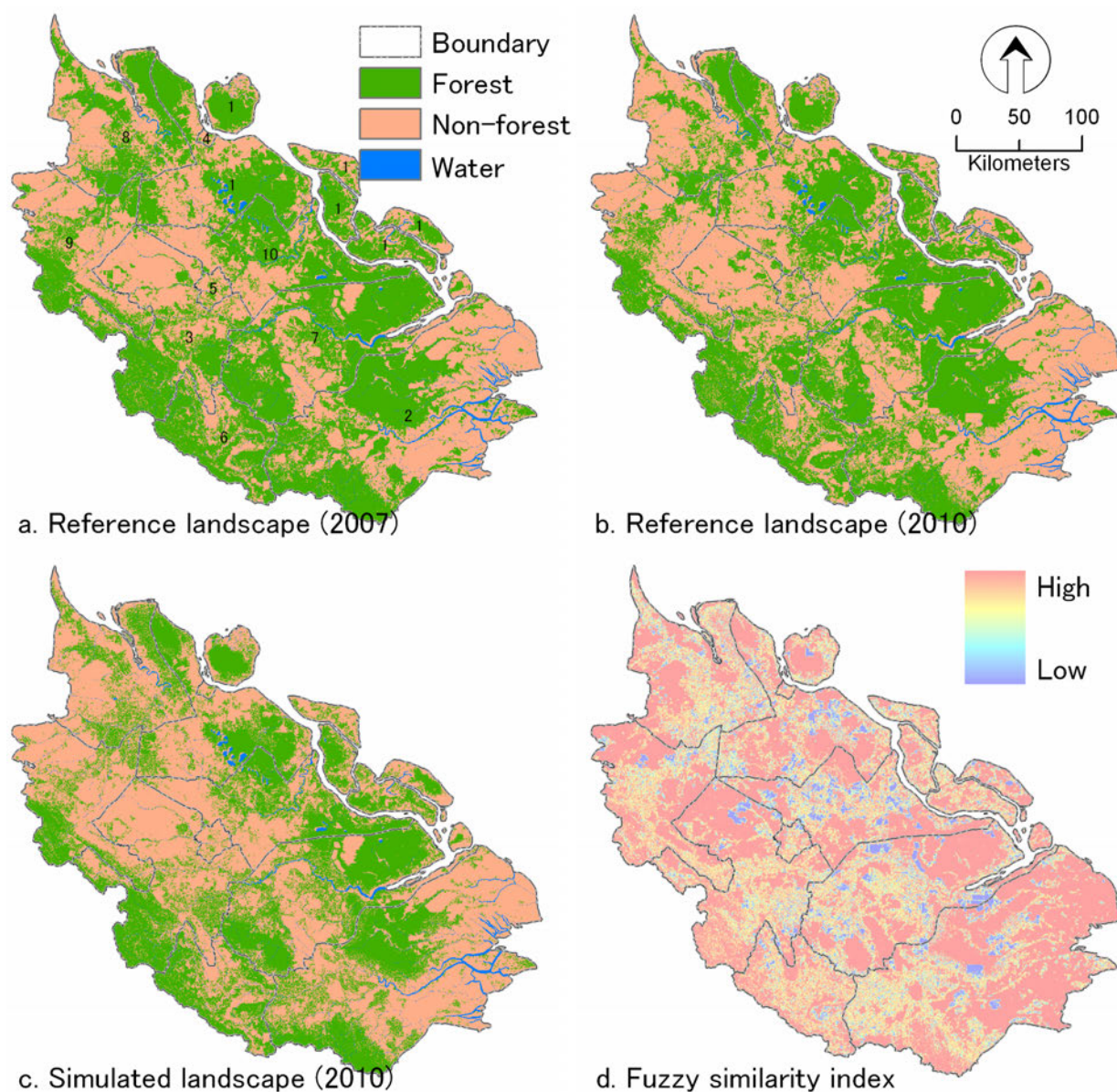


Figure 2. Reference maps (a & b) for Riau Province, simulated map (c), and validation map (d).

Note: The numbers in the map 2.a. represent administrative districts, i.e., 1. Bengkalis, 2. Indragiri Hilir, 3. Kampar, 4. Dumai, 5. Pekanbaru, 6. Singingi, 7. Pelalawan, 8. Rokanhilir, 9. Rokanhulu, and 10. Siak.

The degree of similarity and spatial distribution of the model fitness between the reference (Fig 2.d) and simulated (Fig 2.c) maps can be confirmed by the validation map (Fig 2.d). In Fig 2.d, the bluish color indicates poor fitness of the model while yellow and red colors show higher fitness. The landscape patterns in the simulated map are observed almost similar to the reference map. However, quantification of model accuracies needed for developing forestry related MRV policies. Overall spatial agreements between the reference map (2010) and the simulated map (2010) varied in different window sizes, i.e., 1×1 (78.59%), 3×3 (81.89%), 5×5 (84.01%), 7×7 (84.82%), 9×9 (85.18%), and 11×11 (85.36%). The agreement is improved when the geometry of measuring windows increased. However, a tiny improvement in modeling accuracies is observed

in the window size of greater than 5×5 .

Using the same calibration coefficients and reference map of 2010 as input, we performed a simulation to estimate the spatial patterns of deforestation for the years 2020 and 2030. Figure 3 shows time series spatial patterns of deforestation and remaining state of forest by 2030. If the observed deforestation process continues, most of the remaining forest by 2030 is likely cleared in many districts of the province. Very few forest patches will remain intact in south-western border and mid-eastern parts in the province. However, these deforestation patterns may be altered while incorporating with other deforestation drivers such as socioeconomic and various environmental and land use policies of the government.

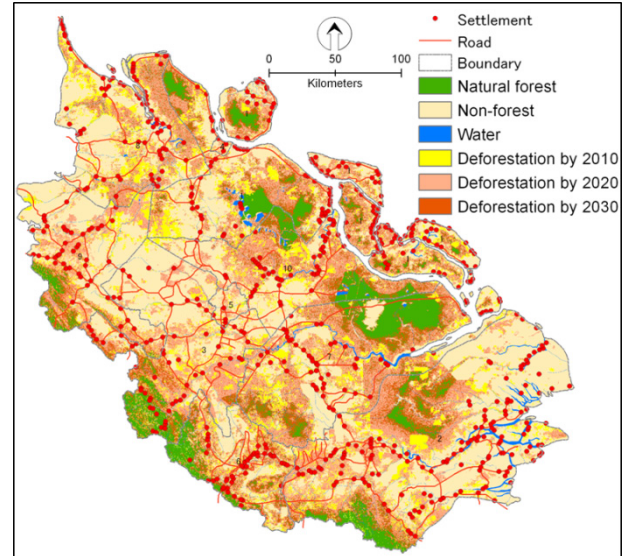


Figure 3. Spatial patterns of deforestation by 2030.

4. Conclusion

PALSAR images are unaffected by cloud cover and provided an opportunity to measure forest changes and estimate of deforestation patterns in Riau Province. The validation technique has captured neighborhood similarities in spatial patterns between the maps compared and provided the information on which scale the model can produce high accuracies. This is an important mean for forest planners to understand performance and predictability of a model by spatial scales. The simulation result provides effective visual and quantitative information to be useful to inform stakeholders on how ongoing business as usual process can affect deforestation patterns over a certain period of time. However, this is a preliminary results, further improvement of the model is necessary incorporating with other deforestation drivers and testing of multiple what-if scenarios. As negotiations within the international community advance toward agreement on policy mechanism to maintain tropical forest intact, further advancement of this method is expected to provide efficient means for building reliable reference level and forest MRV systems in the tropical forest region of Asia.

Reference

Shimada, M. and Ohtaki, T. (2010). Generating large-scale high-quality SAR mosaic datasets: Application to PALSAR data for global monitoring. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 3(4), pp. 637-656.

1.9 高分解能衛星データの校正検証およびデータ利用の高度化に関する研究

田殿武雄

1. 目的

ユーザが衛星データを利用する際最も重要な情報の一つが、提供されるプロダクトの精度や品質であり、これらがニーズを満足できるものでなければ、定常的なデータ利用につながらない。標準プロダクトの精度や品質を向上させることは、データプロバイダー側の責務として実施する必要があるとともに、衛星・センサのハードウェア特性を理解した上で成果を示すことが、潜在的なユーザ開拓や後継ミッションの立ち上げ・要求スペックへのフィードバックが可能となる。本研究は、主に ALOS PRISM/AVNIR-2 および ALOS-3 を対象として、精度向上のための校正と、実利用を想定した高次プロダクトの作成・検証に関わる業務を実施する。なお、2011 年 3 月から一年間、JAXA 長期海外派遣研修のため豪州メルボルンに滞在したが、研修中に実施した研究内容もこれに該当する。

2. 実施内容と成果概要

2-1. ALOS PRISM/AVNIR-2 校正

ALOS は 2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災時も緊急観測を実施し、多くの有用なデータを取得したが、4 月 22 日電源システムの不具合から低負荷モード (LLM) に移行し、5 月 12 日に運用を終了することとなった。しかし、5.3 年間に取得された 654 万シーン (3 センサ合計、PRISM は直下視のみカウント) の全球アーカイブデータは、引き続き利用できる。全定常観測期間に渡る PRISM、AVNIR-2 標準プロダクトの再評価を行い、校正結果をまとめた^{1,2)}。この結果、特に幾何絶対精度に関して、PRISM 直下視は 6.1m、AVNIR-2 (ポインティング角 0 度) は 21.9m (数値は RMSE) を有していることを確認した。

2-2. PRISM 数値表層モデル (DSM) の広域化および検証

PRISM から作成される数値表層モデル (DSM) は、地上基準点を使用しない場合、シーン毎に高さのオフセットを持つ。そこで広域的な DSM 整備手法の検討と精度検証を、日本およびブータン国を対象として実施した^{3,6)}。ブータンについては、JST/JICA 受託研究「ブータンヒマラヤにおける氷河湖決壊洪水に関する研究」⁷⁾の成果であり、JICA 新規プロジェクト (科学技術研究員派遣) 「ALOS 高解像度衛星画像を用いたアルゼンチン・アンデス山岳地帯における氷河台帳作成」(2012 年 3 月 1 日 ~2014 年 3 月 31 日) が採択された。

2-3. ASTER Global DEM (GDEM) Version 2 精度検証

公開されているグローバルな数値標高モデルとして、Terra/ASTER による GlobalDEM Ver.2 (GDEM2) が 2011 年 10 月にリリースされた。本研究では 2-2 で整備したブータン検証データおよび PRISM/DSM を用いて、GDEM2 の精度検証を実施した⁸⁾。

2-4. ALOS-3 高次プロダクトを想定した標定・画像マッチングに関する検討

ALOS-3 関連として、シミュレーション画像および想定されるプロダクトリストの作成、および「ALOS-3 解析研究実施計画書」(NDX-110008)の作成を行った。ALOS-3/PRISM-2 でも提供を想定している、有理多項式係数 (RPC) 生成に関する検討⁹⁾、および DSM 作成時の鍵となる画像マッチングに関して、都市域を対象とした検討などを実施した¹⁰⁾。

2-5. 多時期マルチスペクトル画像を用いた自動変化抽出手法に関する検討

衛星データを用いた災害状況把握には、ALOS での反省点も踏まえロバストな自動変化抽出手法の開発が不可欠である。そこで、ALOS/AVNIR-2 など多時期の中分解能マルチスペクトル画像を想定し、機械学習による自動変化抽出手法の開発を行っている。本手法は、地物の定義記述にオントロジーを導入し、ベイジアンネットワークによる確率推論によって、発災前後の画像(地表面反射率)から被害状況を抽出するものである。本手法を土砂崩れ域および洪水域の推定に適用したところ、約 80-90% 精度で被害状況を抽出できることを確認した¹¹⁻¹⁴⁾。今後さらなる検証と改良を行い、実利用へつなげていく。

3. 平成 23 年度外部発表リスト(共著, 投稿済み・受賞二件を含む)

- 1) 田殿武雄, 島田政信, 高橋陪夫, “PRISM と AVNIR-2 の校正検証と観測成果の一例”, 日本航空宇宙学会誌(解説, 2011 年 12 月 20 日受理済み)。
- 2) T. Tadono, M. Shimada, H. Murakami, and J. Takaku, “Update Calibration Results of PRISM and AVNIR-2 Onboard ALOS ‘Daichi’”, Proc. IGARSS, IEEE, 2012 (accepted).
- 3) T. Tadono, S. Kawamoto, T. Yamanokuchi, J. Ukita, C. Narama, N. Tomiyama, and H. Yabuki, “Development of Glacier Lake Inventory in the Bhutan Himalayas Using PRISM and AVNIR-2 Onboard ALOS “DAICHI””, 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 2011.
- 4) T. Tadono, M. Shimada, T. Yamanokuchi, J. Ukita, C. Narama, N. Tomiyama, S. Kawamoto, K. Fujita, and K. Nishimura, “Development of Glacial Lake Inventory in Bhutan Using “Daichi” (ALOS)”, Proc. IGARSS, IEEE, pp.3202-205, 2011.
- 5) T. Tadono, S. Kawamoto, C. Narama, T. Yamanokuchi, J. Ukita, N. Tomiyama, and H. Yabuki, “Development and Validation of New Glacial Lake Inventory in the Bhutan Himalayas Using ALOS ‘DAICHI’”, Global Environmental Research, 2012 (in press).
- 6) J. Takaku and T. Tadono, “High Resolution DSM Generation from ALOS PRISM – Archiving and Mosaicking -, Proc. IGARSS, IEEE, pp.4336-4339, 2011.
- 7) K. Fujita, K. Nishimura, J. Komori, S. Iwata, J. Ukita, T. Tadono, and T. Koike, “Outline of research project on glacial lake outburst floods in the Bhutan Himalayas”, Global Environmental Research, 2012 (in press).
- 8) T. Tadono, J. Takaku, and M. Shimada, “Validation Study on ALOS PRISM DSM Mosaic and ASTER GDEM 2”, International Annals of Photogrammetry and Remote Sensing, ISPRS, 2012 (submitted).
- 9) J. Takaku and T. Tadono, “RPC Generations on ALOS PRISM and AVNIR-2”, Proc. IGARSS, IEEE, pp.539-542, 2011.

1. ALOS 利用研究

- 10) 岡部慎平, 田殿武雄, 金井理, “都市部における数値地表モデル (DSM) 自動生成のための衛星ステレオペア画像マッチング,” 日本写真測量学会北海道支部平成 23 年度第 30 回学術講演会, 2012 (「平成 23 年度学術講演会論文賞」受賞).
- 11) S. Hashimoto, T. Tadono, M. Onosato, M. Hori, and T. Moriyama, “An Approach for Automatic Change Inference in High Resolution Satellite Images,” 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 2011.
- 12) 橋本秀太郎, 田殿武雄, 小野里雅彦, 堀雅裕, 森山隆, “オントロジーに基づく知識情報処理によるリモートセンシングデータからの変化判読の自動化,” 日本リモートセンシング学会第 50 回学術講演会論文集, pp.113-114, 2011.
- 13) S. Hashimoto, T. Tadono, M. Hori, T. Moriyama, and M. Onosato, “A Framework of Ontology-based Knowledge Information Processing for Change Detection in Remote Sensing Data,” Proc. IGARSS, IEEE, pp.3919-3922, 2011.
- 14) 橋本秀太郎, 田殿武雄, 小野里雅彦, 堀雅裕, 森山隆, “衛星データ判読のためのベイジアンネットワークによる知識表現・学習・推論モデル,” 日本リモートセンシング学会第 51 回学術講演会論文集, pp.127-128, 2011 (「平成 23 年度優秀論文発表賞」受賞).

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、3 年間を超えて観測データを継続して提供している。TANSO レベル 1B プロダクト(輝度スペクトル)は、2009 年 10 月から、L2 プロダクト(FTS SWIR の二酸化炭素・メタンのカラム平均濃度)が 2010 年 2 月から一般提供されている。レベル 3 プロダクト (FTS SWIR CO₂, CH₄ 全球カラム平均濃度分布)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 23 年度の計画は、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。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、GOSAT に続く次期ミッションの推進を行うことである。またこれらの活動成果を GEO 閣僚級会合などで紹介するとともに、世界の温暖化研究機関と協力を通じて GOSAT の成果のアウトリーチを図る。

平成 23 年度の成果は、校正検証を継続して実施し、L1 プロダクトの品質向上としてアルゴリズム改善を実施した。主要な改善点は、Band1 非線形応答補正、サンプリング不等間隔補正、Band1 Gain M データの微小振動補正の高速化である。これらの改善を施した V150.150 は、JAXA, NIES 共催のバージョンアップ確認会にて、確認された。TANSO-FTS SWIR 各バンドの輝度については、感度劣化補正係数を決定しユーザに提供した。TIR バンドの校正は、位相補正の改修を実施し、1% 程度失敗していた低輝度データが改善された。黒体放射率をウィスコンシン大学と協力して測定し、0.5% 精度で求めた。現在、背景輻射の精度を高めるべく検討中である。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、幾何評価は視野モニタカメラ (CAM-H8) を用いて継続的に評価している。誤差が時系列的に変動しているが、AT 角との相関が認められ、環境研でのレベル 2 の前処理への反映を実施することになった。

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。CO₂, CH₄ 導出アルゴリズムを確定し、TIR L2 プロダクトの作成に協力し、5 月に RA PI へ公開することができた。その後、検証を継続し、2 月末にデータリリース確認会を実施して、年度末までの一般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。2009 年 6 月~2012 年 12 月まで各月 3 日分のデータ処理を実施した。オゾンに加えて水蒸気(同位体を含む)のコラム量の導出、メタノール (CH₃OH), アンモニア (NH₃) などの大気汚染物質の月毎の全球カラム量分布を導出し高濃度域の分布や変動を検出している。

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、2011 年 6 月

18 日～6 月 26 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。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値に対して -14%（昨年度は -14%、その前の年 -11%）であった。B2, B3 は、それぞれ、-4%、-6% であった。これらは、感度の経時劣化と考えられるため、この結果を考慮して、提供中の輝度換算係数（大気による吸収補正済）に加えて、バンド別に劣化補正係数の提供を実施した。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 4 月に、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。また、6 月以降、佐賀大学にて検証データの取得を開始し、2011 年 7 月から現在までデータを取得している。データ品質の確認を経て、ユーザでの検証に使用していただくことを目的として、TCCON network へ提供を検討中である。

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（CO₂ ライダー）を用いた飛行試験を実施している。2011 年 1、2 月に実施した飛行試験では、CO₂ ライダーによる部分気柱量で、火力発電所周辺の二酸化炭素プルーム検出が実施できた。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比較により 0.5% の精度で測定できていることが確かめられた。また、2012 年 1 月の関東平野（つくば）、筑紫平野（佐賀）での飛行試験では、CO₂ ライダーに FM 変調機能を追加し、ターゲットとの距離計測を可能とし、雲・地表信号の分離検出の実証試験を実施し、地表面と雲からの信号を分離可能であることを確認した。これにより、衛星観測で巻雲などの雲からの信号と、地表面からの信号区別して測定できることから、より正確に CO₂ コラム量を測定できる見込みが得られた。

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ている。「GEO 炭素戦略」（GEO Carbon Strategy）に纏められた地球規模（陸・海・空）での炭素収支の解明にむけて、宇宙機関の連合体である CEOS がどのように取り組むべきかの戦略文書を、2012 年末を目処にして作成している。この活動により、CEOS 加盟各国の温室効果ガス観測計画（GOSAT-2（日）、OCO-2/3（米）、MicroCarb（仏）、TanSat（中）、Carbonsat（欧）、Melrin（仏・独）など）の着実な実行と、コンステレーション運用や校正検証などの連携強化を図っている。

2011 年 11 月 28 日より 12 月 9 日まで南アフリカ・ダーバンに於いて開催された「国連気候変動枠組み条約締約国会議（COP17）」で、日本政府の展示ブースにて、JAXA、環境省、国立環境研究所の三者で、「いぶき」の観測した二酸化炭素カラム平均濃度の月別全球分布（レベル 3 プロダクト）と、二酸化炭素の吸収排出量の推定と不確実性の低減に関するポスターの掲示を実施した。GOSAT の TANSO-CAI は、2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震による浸水域、2011 年 5 月のアイスランドのグリムスボトン火山の噴煙、2011 年 6 月のチリのプジェウエ火山の噴煙、2011 年 11 月頃のタイの洪水など、様々な現象を捉えることができた。2011 年 10 月に GOSAT 観測データを用いた全球の月別・地域別の二酸化炭素吸収排出量の推定結果が論文として公表され、プロジェクトとして大きな成果に貢献した。

2.2 GOSAT データの校正評価 -CAI データの高精度利用に向けて

塩見 慶

1. はじめに

GOSAT は打ち上げ後、3 年を経過し定常観測運用を行っている。処理アルゴリズムの改訂を通して、プロダクトの精度向上、評価を実施している。本発表では、GOSAT 打ち上げ後の校正評価結果の適用、特に CAI データを高精度に利用するための取り組みについて報告する。

2. CAI データ利用における課題

軌道上事象により CAI のデータを利用する上で以下の留意すべきことがあった。

- 1) CAI バンド 4 偶数奇数素子の IFOV の違い（幾何への影響あり）
- 2) CAI ゼロオフセットバイアス（輝度変換係数への影響あり）
- 3) CAI 画素間感度偏差（輝度変換係数への影響あり）
- 4) FTS 幾何ずれ（FTS 視野位置における CAI 雲エアロゾルデータ利用への影響あり）

1) については、打ち上げ後の幾何評価を偶数奇数画素に別けて海岸線等を相対評価することで、既に改善された。2) および 3) については、校正処理手法、および PFT 感度データを見直すことで改善される。4) については、FTS ポインティングミラーの指向精度を、視野モニタカメラの画像をサンプル的に幾何評価し、オフセット誤差として情報提供を実施してきた。オフセット誤差は、長期的にみて線形ではない時間変動するので、これまで補正をしてこなかった。しかし、FTS と CAI のセンサ間のレジストレーションが合わないことで、特に FTS 前処理において視野内 CAI 雲判別で誤判定している可能性があることが課題であった。

3. CAI 校正手法の改良

CAI 校正処理では、当初ゼロオフセットバイアスの問題が指摘されてきた。最初のリリースでは 2000 画素番号付近の画素端の平均値を引くことで、ゼロオフセットを補正してきた。その後、プリスキャン素子を用いて除去する手法が判明し、偶数、奇数画素毎に差し引くことで補正できることができた。図 1 に校正手法改良前後での輝度比較を示す。ほぼ 1 対 1 の直線に乗っており、1% 以内で合致していると評価される。B1 については帯状で画素間感度を見直したため、標準偏差が大きくなっているが、これは大幅に改善されたことを意味する。本校正手法の適用により、ゼロレベル補正手法と等価な処理が実施されと考えられる。また、それに加えて代替校正係数を施す。代替校正は、2009 年 5 月～8 月の初期のデータを用いて初期の絶対値の値付けをしている。経時変化は、サハラ砂漠の定点評価から劣化曲線を抽出し（図 2）、これらを併せることで校正精度を維持することができる。

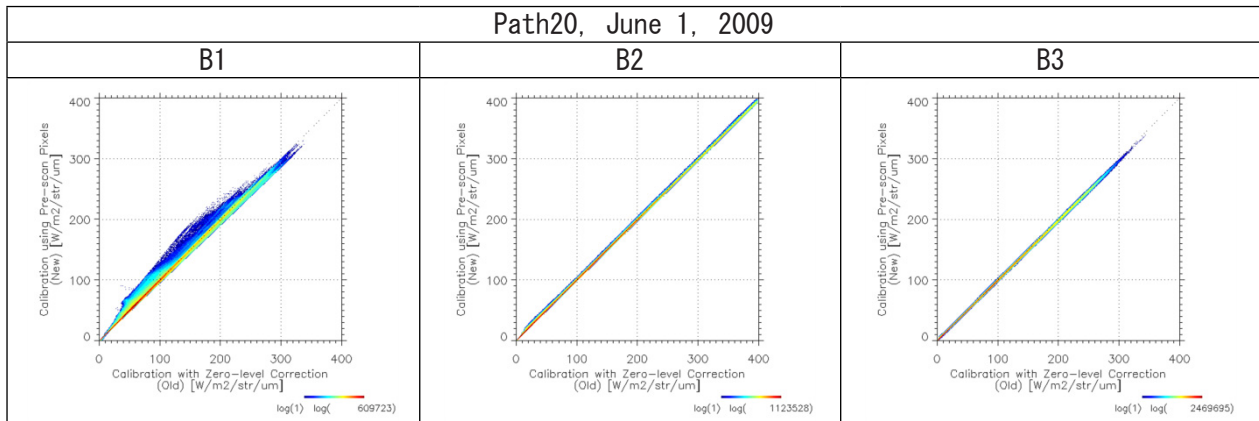


図 1. 校正手法改良前後の輝度比較 (X: 旧手法、Y: 新手法) を密度プロファイル表示

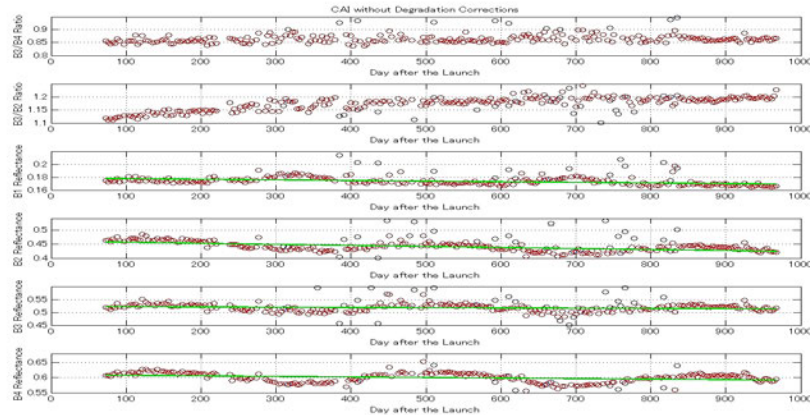


図 2. 校正手法改良による輝度の変化

4. FTS 幾何精度の向上

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 データ等を参照として位置標定を行っている。2010 年 8 月以降、ミラーの運用を安定させるため、5 点格子点観測モードから 3 点観測モードに切り替えた。図 3 に幾何精度について示す。現在、従来の格子点評価に加えて、環境研と協力して検証地点が含まれる特定点観測モードの評価も実施している。AT/CT オフセット角は観測モードによる違いはなく、時間変動していることがわかる。図 4 に 2009 年 7 月 1 日 -11 月 3 日における AT/CT オフセット角特性を示す。AT 角で区別することで AT オフセット角を 2 つに分別でき、AT オフセット角と CT オフセット角には相関があり、回帰式から CT オフセット角を一意に決める。これまで、補正できなかったが、期間を区切ってこのように評価することで AT/CT オフセット角をテーブル化し、補正することが可能となった。系統誤差が改善されてばらつきが 0.2deg 以内で求まることから、約 2.3km の精度に改善することが可能である。

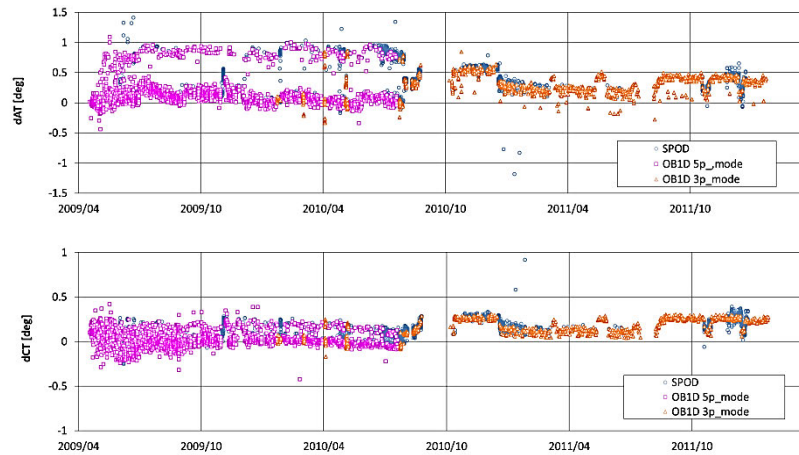


図 3. FTS 幾何評価結果 (格子点観測 + 特定点観測)

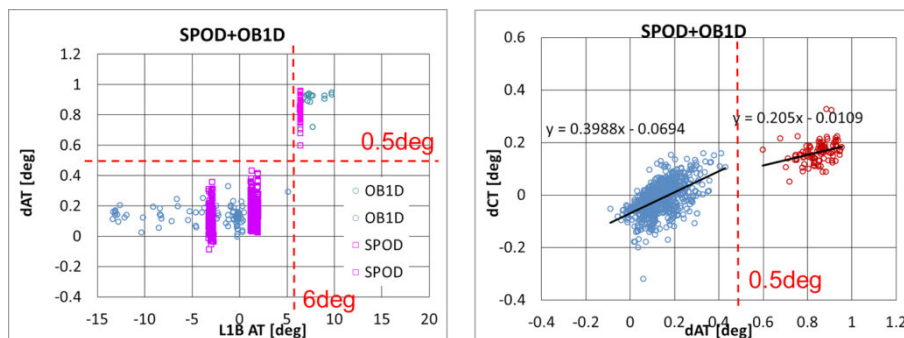


図 4. 2009 年 7 月 1 日 -11 月 3 日における AT 角 CT 角オフセット特性

5. 効果の確認

2013 年 3 月から上記の CAI 輝度補正、および幾何補正を施したプロダクトが生成され、CAI L2 雲フラグは FTS L2 処理に適用される。精度向上の確認は、直接的、間接的に以下の手法が考えられる。

- 1) CAI L2 雲フラグの確認
- 2) FTS 幾何補正効果の確認
- 3) CAI 雲フラグ -FTS 雲判定の相関向上

1) 2) については、効果が確認された。3) は、これから環境研の処理が進む中で確認する予定である。

6. まとめ

今回は雲の高精度利用に注力したバージョンアップを試みた。CAI 輝度精度の向上、および FTS 幾何補正を通じて、L2 雲フラグの高精度利用が可能となった。今後、エアロゾルの精度を高めるために、代替校正を通年で実施し、低輝度のチューニングを実施する。

2.3 TANSO-FTS における非線形補正アルゴリズムの開発

須藤洋志

1. はじめに

TANSO-FTS で観測される O_2A 帯スペクトルを用いた全球蛍光量導出解析の課程において、スペクトル中に入力輝度に依存したオフセットが存在することが確認された。 O_2A 帯は、蛍光量のみならずカラム CO_2 、 CH_4 を導出する際、実効光路長を求めるために使用されるため、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、 O_2A 帯の非線形要因の同定および新たな非線形補正アルゴリズムを開発した。また開発したアルゴリズムは定常処理に反映しプロダクトの精度向上を実施した。

2. 非線形要因

TANSO-FTS-EM（軌道上 TANSO-FTS と同一の信号検出系を持つ）を用い、軌道上事象の再現試験を実施した。その結果、 O_2A 帯 (Band1) H ゲインにのみ実装されているローパスフィルター部で、入力強度に依存した強い非線形応答が確認された。

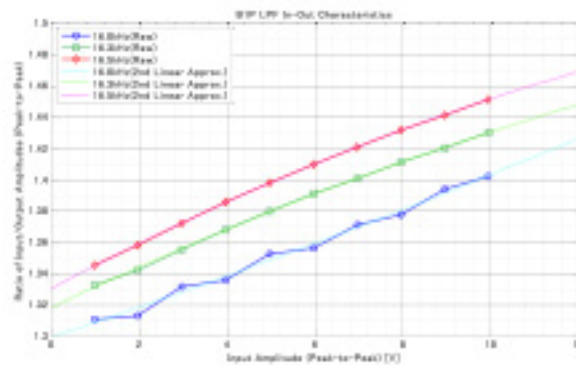


図 1. ローパスフィルターにおける入力信号と出力信号の比

詳細解析の結果、本事象はローパスフィルターで使用されている、セラミックコンデンサに起因していることが判明した。さらに軌道上データ解析より、本非線形に伴い、帯域外に疑似信号が発生していることも確認された。

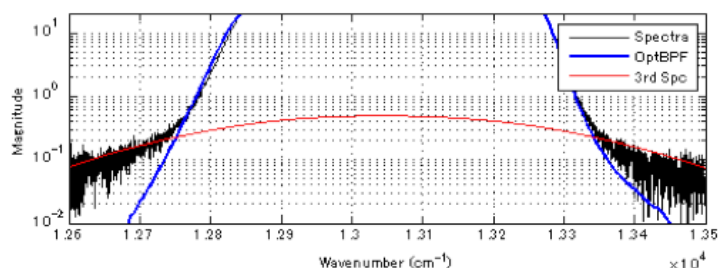


図 2. 帯域外疑似信号

3. 補正アルゴリズムの開発

一般的フーリエ干渉計の非線形応答（特に検出器非線形応答）はインターフェログラム空間における高次の項で表現される。しかし、本非線形の場合、1) 信号処理系での発生、2) 応答がローパスフィルター入力電圧に依存していることから、通常の手法では補正できない。さらに、信号処理部では位相遅延を発生させるため、通常のインターフェログラム空間での補正は、さらなる疑似信号を誘発することとなる。そこで本アルゴリズムでは、位相補正を施し導出されたスペクトルを、再度インターフェログラム空間に戻し補正し、補正項は、これまでの軌道上データ解析から導かれる経験的な値を導入することとした。結果、図3に示される通り、帯域外に発生した疑似信号を低減・除去することに成功した。さらに本補正データを用いたL2プロダクトにおいても、導出オフセットが低減し、精度が向上していることが確認された。

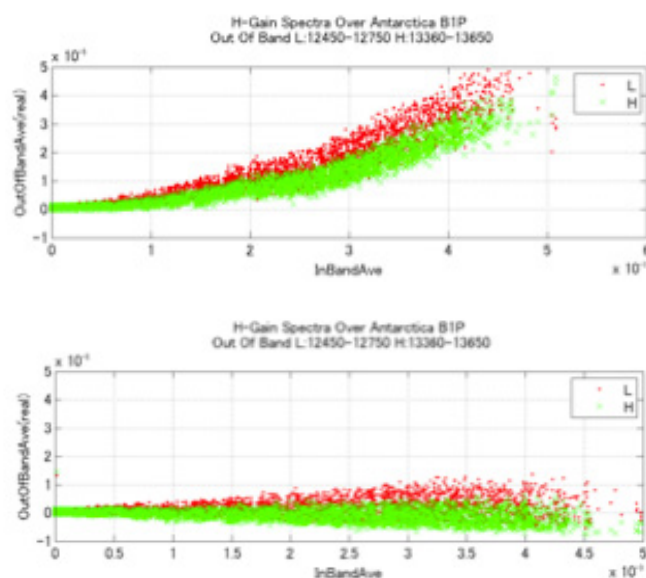


図3. 補正効果（上図：補正前、下図：補正後）

4. まとめ

開発した非線形補正の適応により、O₂A帯 Gain Hプロダクトの品質が向上した。その結果、地表面気圧導出精度の向上をもたらし、さらにはカラムCO₂, CH₄プロダクトの精度向上に貢献することとなった。今後、補正パラメータは軌道上で変化する可能性もあるため、データ解析を通し、確認していく必要がある。

2.4 高分解能分子スペクトルからの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) で観測された、熱赤外領域のスペクトル ($650\text{--}1800\text{ cm}^{-1}$) を用いて、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 (同位体) などの温室効果ガスの濃度を導出 (リトリバル) するアルゴリズムの開発および解析を行い、各大気微量成分の時間的・空間的な変動を観測した。また、GOSAT データの校正・検証用地上設置高分解能フーリエ変換分光計 (FTS) による太陽直達光スペクトルの観測とその解析を実施して、8 種類の大気微量成分のカラム量を導出し、GOSAT で観測されているプロダクトの検証に利用した。

2. 解析方法

GOSAT から観測される熱赤外領域の放射輝度スペクトルを、シミュレートする放射伝達モデルを作成した。HITRAN データベースに編集されている分子の分光パラメータを用いた line-by-line または look-up table による吸収係数の計算を行う。 H_2O および CO_2 の連続吸収も、放射伝達計算の中で考慮した。高度グリッドは、0-82 km までを 42 層 (43 レベル) に分けた。入力値として使用する気圧、気温、 H_2O 濃度の高度分布は、NCEP の 6 時間ごとの再解析データを用いた。 CO_2 および CH_4 濃度の高度分布は、NIES 輸送モデル [Maksyutov et al., 2008; Eguchi et al., 2010] で計算された値に基づいて、月毎・緯度帯毎の平均値 (気候値) を作成して使用した。 O_3 については McPeters et al., [2007] の気候値を用いた。

大気微量成分濃度の高度分布を安定に導出するための逆問題解析の手法 (Optimal Estimation Method) [Rodgers, 2000] に基づいて、最適解を求めた。地表面気温と陸域での地表面放射率は、大気成分の高度分布と同時にリトリバルすることとした。各大気成分の高度分布に関する共分散行列は、次のように設定した。 O_3 は McPeters et al., [2007] の気候値を基に、高度間の相関が距離とともに小さくなるように作成した共分散行列を用いた。 H_2O と HDO については、両者の相関を考慮した共分散行列を設定して、 H_2O と HDO の同時リトリバルを行った [Worden et al., 2006]。

3. 解析結果

オゾン 気候や地表面 (陸・海域) の異なる複数の地点を選定して、2009 年 4 月以降の約 2 年間のデータについて解析を行い、検証データと比較してリトリバルの精度を評価した。検証地点におけるオゾン全量および対流圏カラム量の季節変動を算出し、オゾン全量についてはドブソン分光光度計と比較して 2-3%、対流圏カラム量についてはオゾンゾンデデータと比較して 10-15% 程度の精度で導出できることを示した [Ohyama et al., 2012]。また、季節ごとの全球データを解析し、図 1 に示すようなオゾンホール発生時におけるオゾン全量の変動や、高濃度対流圏オゾンの空間分布を検出した。

水蒸気 (同位体) GOSAT の通過時刻に対して ± 1 時間以内に観測された、つくばにおける地上

設置高分解能 FTS やラジオゾンデのデータを用いて検証を行った。地上 FTS との比較においては、初期値として使用した NCEP 再解析データと地上 FTS から求めた水蒸気カラム量の間で 25% 以上あった RMSE (Root Mean Square Error) を、リトリバー解析によって半分に低減できることを示した。この精度は、地上に設置された測器間と同等の一致であり、高い精度でリトリバーが行えていると言える。H₂O と独立に HDO の濃度をリトリバーし、蒸発・凝結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 (HDO/H₂O) を導出し、地上 FTS 観測から求めた季節変動と同様な傾向であることを示した。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 (HDO/H₂O) の観測を行った。

メタノール・アンモニア 近年、光化学オキシダントの増加により離島でも光化学スモッグが発生するようになり、大気汚染を監視するとともに、その実態を明らかにする必要性が高くなっている。赤外領域には、オゾンや水蒸気の強い吸収に埋もれた種々の大気汚染物質の吸収線が存在している。そこで、これまでにリトリバーしたオゾンや水蒸気のデータを入力値として使用して、メタノール (CH₃OH)、アンモニア (NH₃) などの大気汚染物質の月毎の全球カラム量分布を導出し、高濃度域の分布や変動を検出している。

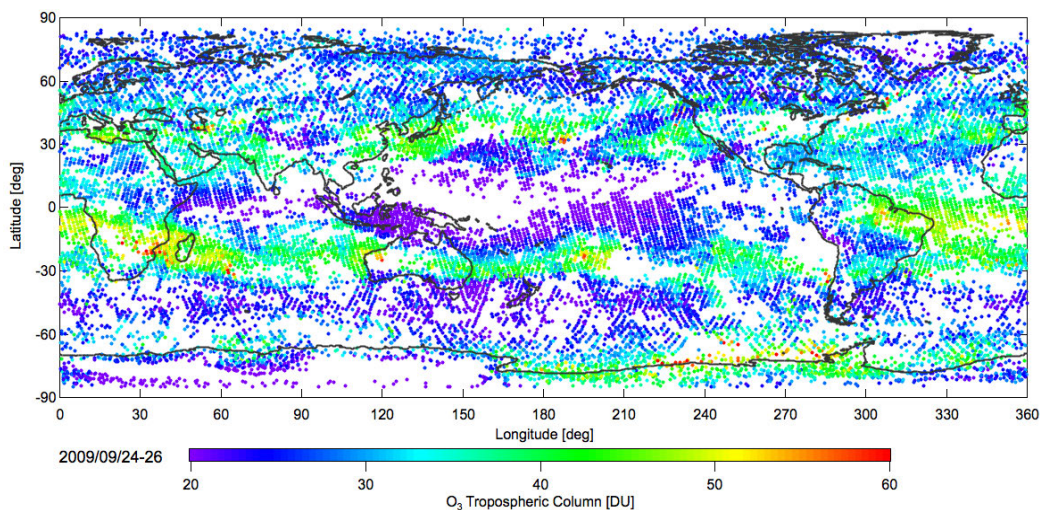


図 1. GOSAT で観測された 2009 年 9 月 24-26 日の対流圏オゾンの全球分布。

参考文献

- Eguchi, N., et al., J. Geophys. Res., 115, D10215, 2010.
 Maksyutov, S., et al., J. Earth Simulator, 9, 3–18, 2008.
 McPeters, R. D., et al., J. Geophys. Res., 112, D05308, 2007.
 Ohyama, H., et al., IEEE TGRS, in press.
 Rodgers, C. D., Inverse Methods for Atmospheric Sounding: Theory and Practice, 2000.
 Worden, J., et al., J. Geophys. Res., 111, D16309, 2006.

2.5 観測データを用いた GOSAT 熱赤外データプロダクトの検証

田中智章

1. はじめに

温室効果ガス観測技術衛星 GOSAT(Greenhouse gases Observing SATellite) は 2009 年 1 月に打ち上げられ、現在まで 3 年にわたり観測を継続している。GOSAT に搭載されている TANSO-FTS (Thermal and Near-infrared Sensor for Carbon Observation-Fourier Transform Spectrometer) は短波長赤外 (SWIR) と熱赤外 (TIR) 領域のスペクトルを測定している。現在、TIR データプロダクトの一般公開が予定されており、そのデータ質の検証が急務となっている。本研究では、航空機観測データを利用した TIR L1 データプロダクトの、データ質検証について報告する。

2. 航空機観測データを用いた検証

2.1 観測方法並びに観測サイト

GOSAT グループでは GOSAT データと比較を行うため、GOSAT と独立に観測された地上並びに航空機、衛星等の飛翔体のデータを用いて検証を進めてきた。検証の一環として、JAXA 並びに国立環境研究所共同で、2009 年から定期的に航空機観測による温室効果ガスの測定を行っている。航空機に in situ 測定機器とサンプリング用のガラスフラスコを搭載し、0.5 - 7km の高度範囲で観測を行い CO₂, CH₄ の高度分布を測定した。in situ 測定装置は、市販の NDIR(non-dispersive infrared) を使用している。NDIR 自体の精度は ± 1 ppm 程度であるが、標準ガスを組み合わせた測定装置を用いることで、高い測定精度を達成することが可能となった。本航空機観測では、10 秒平均値で ± 0.2 ppm の精度で CO₂ の高度分布を観測した。またつくばの観測データに加えて、NOAA/ESRL/GMD (National Oceanic & Atmospheric Administration/Earth System Research Laboratory/Global Monitoring Division) の carbon Cycle Greenhouse Gases グループが、全米の観測サイトで行っている航空機観測によるサンプリングデータを使用した。(<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/aircraft/> 参照)。

CCGG のサイトでは、主として北米で 1992 年から大気微量成分 (CO₂, CO, N₂O, CH₄, H₂, SF₆) の大気のサンプリングを継続して行っている。その目的は大気微量成分の季節変動、経年変動を観測することにある。各サイトによってサンプリングの間隔は異なっているが、1,2 週間から 1 カ月間隔でサンプリングを行っているサイトが多い。北米以外にも NOAA のサイトが存在する。ここでは米国外のサイトとして、南太平洋のニュージーランド自治領クック諸島の主島ラロトンガ島で取得されたデータを採用している。本研究では、2010 年 2 月 14, 20, 23 日につくば上空で行った観測と NOAA サイトの観測データ (期間 :2009/1 - 2009/10) と検証のために作成された GOSAT TIR データ (2009/4/6-8) を用いて、TIR と航空機データの比較を行った。両者の一致をとる条件として、観測地点緯度経度 $\pm 2^\circ$ 以内、観測時刻差 ± 5 日以内とした。今回の一致条件は最適とは言えないが、TIR データ数が限られているため条件を厳しくすると両者の一致が減少する。そこで本研究では、上に述べた条件を採用して両者の一致を求めた。

2.2 CO₂

fig. 1 に航空機観測 (NOAA, つくば) と TIR の CO₂ データのうちの、700 から 800hPa に存在する値を散布図に示す。図中の水色線は $y=a*x$ で fitting した結果である。同様の散布図を 900 hPa から 100 hPa 刻みに 300 hPa まで作成した。その結果、CO₂,CH₄ について以下のことが判明した。CO₂ では 900-800hPa に存在する TIR は、航空機観測データに比べて約 0.2 % の正バイアスが見られる。気圧の減少とともに、正から負のバイアスになりバイアスが大きくなることが、航空機と GOSAT TIR の散布図からわかる。またその RMS(Root Mean Square) は、400 – 900 hPa 間では 8.5-9 ppm で推移しており、ほぼ一定である。300 – 400 hPa 間では RMS が小さくなるが、サンプル数が少ないことに留意する必要がある。fig. 2 は CO₂ の全気圧についてマッチアップをとった結果を示す。全体としては -1.3 ppm (0.3 %) のバイアスと 9 ppm (2 %) の RMS を持つことが分かった。

2.3 CH₄

CH₄ についても CO₂ と同様 (fig. 2) に、航空機データと TIR の散布図を作成した (fig. 3)。気圧ごとの散布図から TIR は航空機データと比較すると CO₂ と同様に負バイアスがあることがわかる。その大きさは気圧に寄らずほぼ一定で、1.1 から 1.6 % で推移している。また RMS は気圧の減少とともに若干の減少傾向があり、30~37 ppb の範囲であることが判明した。全気圧でみると 25 ppb (1.3 %) のバイアスと 36 ppb (1.9 %) の RMS である。

3. まとめ

NOAA、つくばの航空機観測データを基にした TIR の検証を行ってきた。航空機観測データとの比較から、CO₂,CH₄ それぞれのバイアスと RMS から現状の TIR データプロダクトのデータ質を評価した。CO₂ の場合 0.3 % のバイアスに比べ、そのばらつき RMS: 2 %) が大きいことが fig. 2 の散布図からわかる。CH₄ の場合はバイアスが 1.3 % に対し RMS は 1.9 % であり、CO₂ と比べて傾き 1 ($y=x$) に、より則しているように見える。現時点では、TIR の個々のプロファイルを確認すると CH₄ は CO₂ に比べ、よりプロファイルが安定している。そのことが RMS の違いに表れている。

サンプリング観測、in situ による連続観測のデータを用いることで高精度の測定が可能となる。しかし航空機観測は、GOSAT に対して時間的にも空間的にもデータが非常に少ないことが欠点としてあげられる。そこで、今後は時間的、空間的により密に検証を行うために、NIES model を活用した解析を進める予定である。

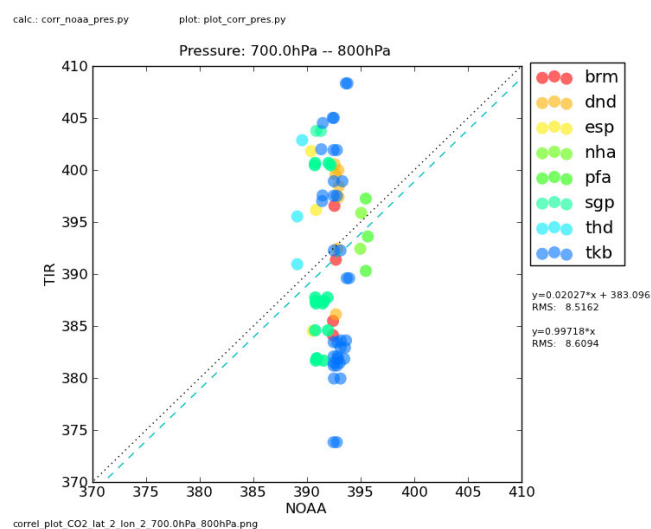


fig. 1 700 から 800hPa の NOAA, GOSAT TIR の散布図（マーカーは各サイト別の観測値を表す）

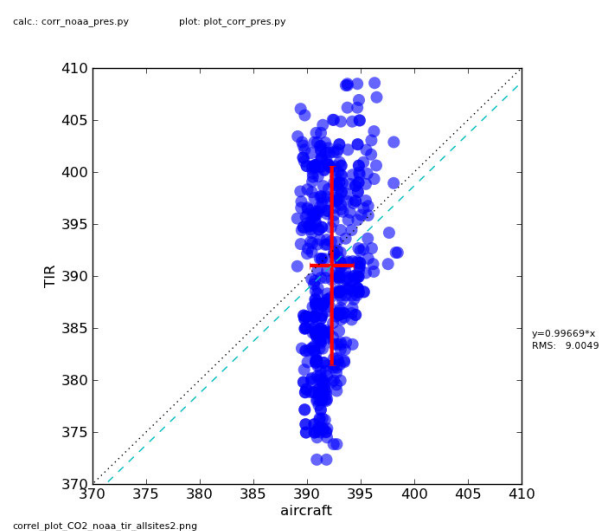


fig. 2 航空機と TIR 散布図 (CO2) : 図中に航空機と TIR の平均と標準偏差 (赤) を記述した

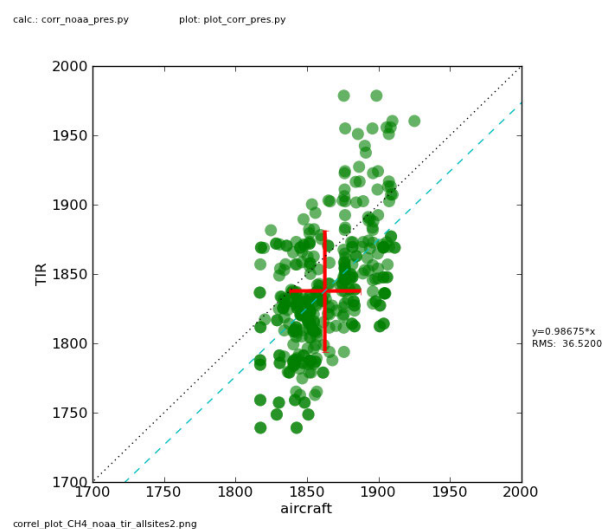


fig. 3 航空機と TIR 散布図 (CH4) : 図中に航空機と TIR の平均と標準偏差 (赤) を記述した

2. GOSAT 利用研究

2.6 航空機試験データで内挿した火力発電所近傍の気柱量データの推定

境澤大亮

1. はじめに

GOSAT の全球の二酸化炭素濃度プロダクト (L3) の提供が開始されたが、火力発電所などの局所的なデータ数が少なく、周辺一帯の観測が比較的困難である。これまで GOSAT 検証用システムとして性能評価を行ってきたライダーデータを用いて、火力発電所周辺の気柱量データを求めた。また観測中に問題となった高層の雲については、周波数変調機能の付加による有効データの増加分について記す。

2. ライダーで推定する気柱量

観測場所は鹿島工業地帯にあるコンビナートである。この区域は電力会社所有の発電所に加え、コンビナートにある企業群が共同で運営する発電所も併設されており、広い領域に渡って高い濃度が検出できることが期待できる。この領域では 2011 年 2 月に飛行高度 2km からプルームの検出を報告した。

気柱全量を求める場合 2km より下はライダーデータを、2km から 7km まではつくば一熊谷で取得した現場測定器の値を、7km よりも上層はつくばに設置されている FTS の *a priori* を用いて気柱量を推定した。得られるデータの誤差はライダーデータの値が支配的であり、飛行高度 2km では空間平均 (1km 相当) で $1\sigma = 0.8\%$ で二酸化炭素濃度が得られている。

また火力発電所周辺の観測データでは、図 1 に示すとおり風下側に強い濃度が得られている。図 1 はライダーの空間分解能で記載されているため、発電所からの排気と思われるプルームの存在を確認できる。このプルームを含む、2km および 10km 相当の空間平均した気柱量を求めた。2km 相当のフットプリントにおいては、403.6 ppm, 10km 相当に拡大すると 394.3 ppm となった。また風上に当たる海上の観測データから推定した気柱量濃度は 391.8 ppm であった。

3. GOSAT 観測データ

鹿島工業地帯を含む地域の月平均データは、NIES 提供の GOSAT-L3 データでは 383.9ppm が得られている。航空機観測を行った 2011 年 2 月の L3 データを図 2 に示す。元来 10km の観測視野で平均された観測値であるため、2.5 度メッシュの L3 では火力発電所を含むこの値を、バックグラウンド濃度として取り扱う。ライダーデータで 10km の空間平均を行った値と海上の気柱量の差分は、2.5ppm と得られている。そのため GOSAT の特定点でピンポイント観測を行った場合、386.4ppm が得られると期待されるが、1 観測点あたりの公証精度は 4ppm 以下であり、GOSAT で得られるバックグラウンド濃度とのコントラストを得る場合、同地点の観測点で多数回の積算量が必要となる。

4. 周波数変調機能による雲・地上散乱信号の分離

2012 年 1 月に実施した関東平野 (つくば)、筑紫平野 (佐賀) の飛行試験では、ライダーに FM 変調機能と地上ターゲットとの距離計測に変更を行い、雲・地表信号の分離検出の実証試験を実施した。

図に示すとおり、可視 CCD カメラでは雲だと判別が困難な地点から、地表面と雲の両信号を検出しており、周波数軸で分離可能であることを確認した。この機能により、従来雲により棄却していたデータのうち 3 割が地上からの信号を受信できている事もわかった。これにより、衛星観測で巻雲などの雲からの信号と地表面からの信号を区別し、正確に CO₂ 気柱量を測定できる見込みが得られた。

5. おわりに

航空機搭載ライダーを用いて火力発電所周辺の気柱量データを求めた。火力発電所一帯のライダーデータから、GOSAT 視野範囲相当の空間平均値と海上データの差分を求め 2.5ppm が得られた。局所的な変動分の取得が他でも得られているか、解析を進める予定である。

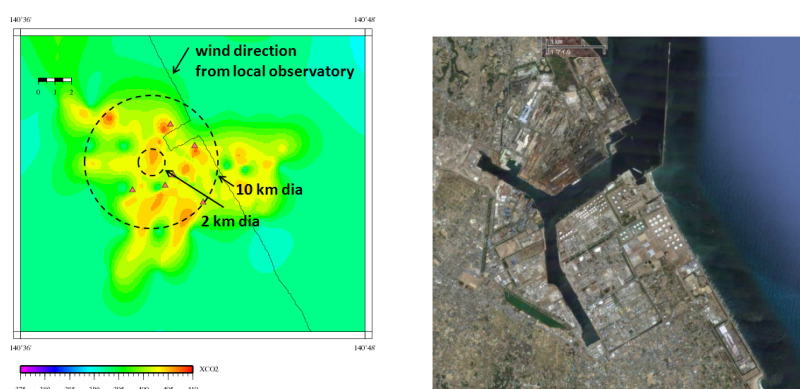


図 1. ライダーで取得した二酸化炭素の気柱量データ（2011 年 2 月）左図中の点は発電所・工場

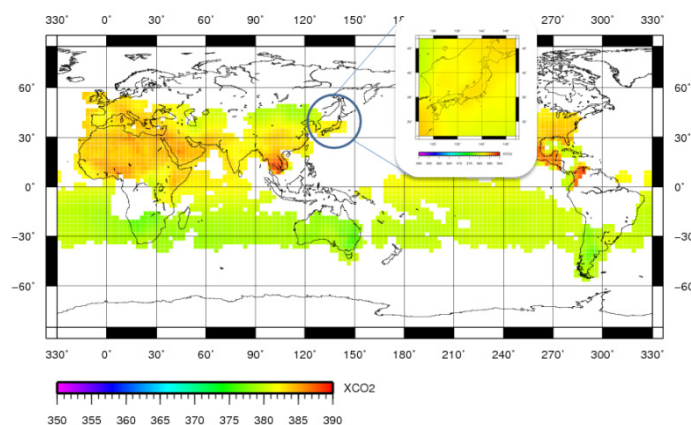


図 2. GOSAT L3(NIES)/L2(ACOS) から求めた二酸化炭素の気柱量データ（2011 年 2 月）

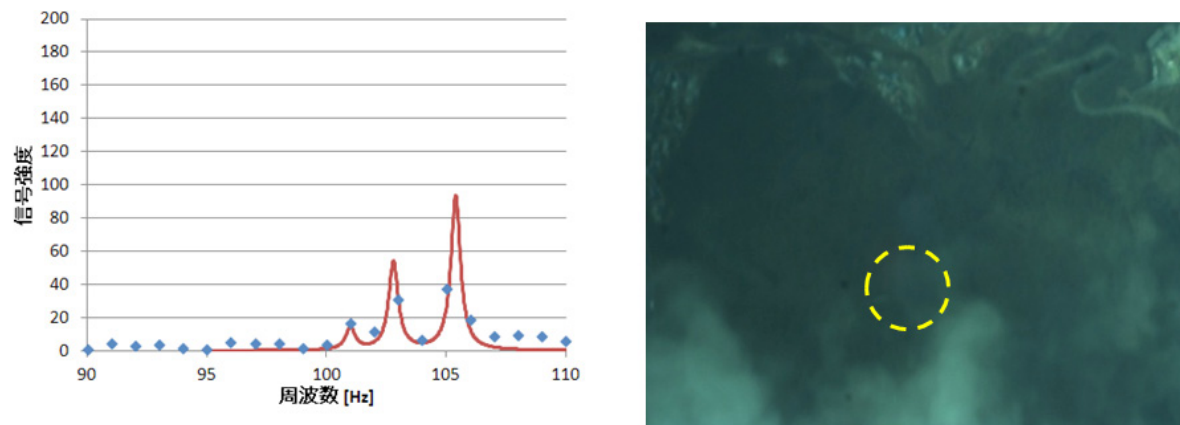


図 3. FM 変調機能による地上・雲散乱信号の分離

3. TRMM/GPM/EarthCARE 利用研究

3. TRMM/GPM/EarthCARE 利用研究

3.1 EarthCARE 利用研究の成果概要

沖 理子

1. はじめに

EarthCARE 利用研究は、アルゴリズム開発についてはアルゴリズム試作・開発、校正・検証についてはプロダクト検証計画の策定、利用研究として国内外のユーザとの連携を継続した。特に今年度は地上システム定義審査を実施し、JAXA プロダクトリスト、プロダクト検証計画、次年度以降のサイエンスチーム体制確立のための研究公募 (Research Announcement, RA) 発出が了承された。

(1) アルゴリズム開発

① 高次 JAXA 標準プロダクト、研究プロダクトの決定

サイエンスチームでの議論を通じて JAXA 標準・研究プロダクト案を作成し、EarthCARE 委員会、ESA(欧州宇宙機関)と共同で開催する合同科学者会議(JMAG)での調整を経て、最終的に地上システム定義(SDR)審査会では了承された。JAXA が提供する標準高次(レベル2)プロダクトは、CPR 単体、ATLID 単体、MSI 単体、CPR-ATLID 複合、CPR-ATLID-MSI 複合、4 センサ複合プロダクトの6種類である。

② アルゴリズムバージョン 0.1 版の提出

委託研究によるアルゴリズム開発研究者からなるサイエンスチームの運営を通し、アルゴリズムの開発・試作を実施した。今年度はツールキット作成に向けて、入出力データ、プログラム起動条件、アルゴリズムフローチャート等について、EORC 担当者 - 地上システム開発担当者 - アルゴリズム開発研究者の三者で調整を行った。その結果をアルゴリズムバージョン 0.1 版として、地上システムに年度末に提出する。

③ ATBD の完成

これまでにドラフトを作成してきた ATBD(アルゴリズム理論説明書)の大幅な改訂を行い、初版をホームページ等に公開した。

④ J- シミュレータ開発

アルゴリズム開発の一環として、Joint- シミュレータ開発を継続した。これは EarthCARE 各センサの観測データを統合的にシミュレートできるソフトウェアで、全球雲解像大気モデル(NICAM)のデータを用いて開発を行っている。今年度は、CPR の dopplar velocity の計算の導入、CPR・ライダー用非球形散乱テーブルの追加、利用できる数値モデルの拡張、計算効率化、バグ対応を行った。

(2) 校正・検証

検証手法の調査、検討を行った。EarthCARE 委員会の下に形成した検証チームを中心に、平成 21 年度に作成したドラフトをもとに、EarthCARE/CPR 校正検証計画書の維持・改訂を行った。この計画は地上システム SDR において了承された。

(3) 利用研究・利用促進

①サイエンスチームの運営

委託・共同研究によるアルゴリズム開発者からなるサイエンスチームを組織、運営した。開発スケジュールに沿って着実にアルゴリズム開発を実施している。

②第1回 EarthCARE 研究公募(アルゴリズム開発)の発出とPI選定

次年度以降のサイエンスチーム体制確立のため、高次アルゴリズム開発研究課題募集の第1回研究公募を発出し、6件の課題を採択した。

③ EarthCARE 委員会

国内関連研究者・データ利用者からなる EarthCARE 委員会の運営を通じて、国内ユーザの獲得に努めた。今年度は12月に委員会を開催した。

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

ESA(欧州宇宙機関)と共同で、合同アルゴリズム開発会議(JADE)および合同科学者会議(JMAG)の運営を実施した。今年度は6月に電話会議でJMAGを、10月にJMAGおよびJADE会議を東京で開催した。6月のJMAGにおいては、EarthCARE プロダクトリストをはじめとする地上SDRに伴うI/F調整を実施した。10月の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、情報交換を行った。

⑤データ利用機関調整

EarthCARE データの利用機関として、気象庁・気象研究所との調整を行った。

2. まとめ

EarthCARE 利用研究は、地上SDR開催、高次プロダクトリストの決定、ATBDの公開、アルゴリズム Ver0.1 版の提出、第1回研究公募の実施とPI選定といった年度当初の計画案件を、全て計画通りに実行することができた。

次年度は、ツールキットを組み込んだアルゴリズム Ver0.2 の開発、J-シミュレータの維持・開発、第1回研究公募(検証)の実施を計画している。またESAと協力して開催するEarthCARE 国際ワークショップを通じて、国内外の研究者・利用者にEarthCAREを広く認知してもらうことで、利用者拡大に努める。EarthCARE 委員会においては開発フェーズの移行を睨み、気候モデルコミュニティとの連携を、更に強化することが課題である。

3.2 EarthCARE 高次アルゴリズムの開発

平形麻紀

1. はじめに

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

JAXA が提供する代表的な高次（レベル 2）プロダクトは、CPR 単体プロダクト、ATLID 単体プロダクト、MSI 単体プロダクト、CPR-ATLID 複合プロダクト、CPR-ATLID-MSI 複合プロダクト、4 センサ複合プロダクトの 6 種類である。その中でも、本研究では、CPR 単体プロダクト及び CPR-ATLID 複合プロダクトに含まれている雲粒子タイプ（雲粒子の相や氷粒子の形状）を導出するアルゴリズムの開発を行なっている。

2. 今年度の研究計画

今年度の目標は、雲粒子タイプを導出するアルゴリズムの開発を遂行することであった。具体的には、学会発表等を通してアルゴリズムの意見交換・情報収集すること、EarthCARE へ応用することを踏まえて、これまで行なってきたレーダとライダを用いたアルゴリズム開発の論文化に向けて執筆すること、及び EarthCARE 高次アルゴリズム開発の進捗を管理することであった。

3. 今年度の研究成果

今年度の主な成果は、アルゴリズムの検証作業を行ったことである。雲粒子タイプは、レーダ（CloudSat/CPR）及びライダ（CALIPSO/CALIOP）から導出されているが、これまでは主に、同じライダ観測から異なるアルゴリズムによって導出された雲粒子タイプの識別結果を、本研究におけるライダによる識別結果と比較することによって、その妥当性を検証してきた。本年度は、本研究によって導出された雲粒子タイプの識別結果と、同期観測しているイメージャ（Aqua/MODIS）によって導出された結果との比較を行った。図 1 は 2006 年 9 月 1 日 1:53UTC 付近における、MODIS の標準プロダクトに含まれている雲相識別結果と、本研究によって導出された雲粒子タイプの識別の一例である。両結果を相互比較することによって、本研究におけるアルゴリズムの妥当性を検証すると共に、アクティブセンサとパッシブセンサによる雲相識別の差及びその限界について考察した。

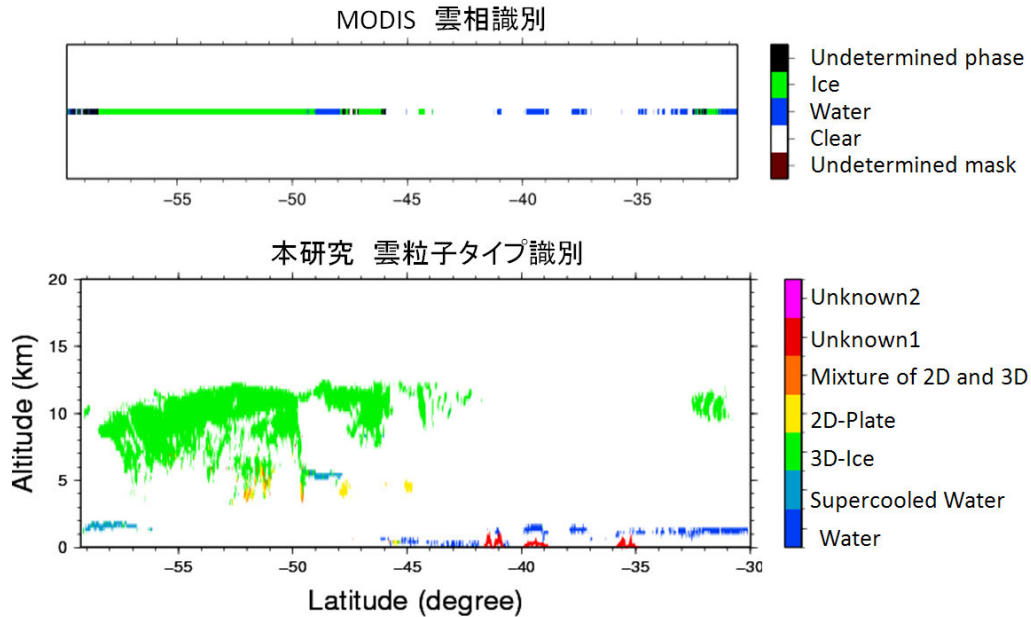


図 1. 2006 年 9 月 1 日 1:53UTC 付近における MODIS（標準プロダクト）による雲相識別結果（上段）と本研究によって導出された雲粒子タイプの識別（下段）

さらに、今年度は秋季気象学会にて研究発表、及び気象研究所にて雲粒子タイプに関する講演を行い、有意義な意見交換・情報収集ができた。

論文化に関しては、第一稿は既に完了しており、EarthCARE の PI でもある共著者による確認作業を行っている。現在、CALIOP のレベル 1 データのバージョンアップに伴う再処理を行い、第二稿にはバージョンアップ後のデータを用いた解析結果に更新する予定である。論文の投稿は早くて今年度中、遅くとも来年度を予定している。

EarthCARE の高次アルゴリズムの開発スケジュールに沿って、本年度は地上 SDR（システム定義審査）を完了し、雲粒子タイプを含むプロダクトリストが定義された。さらに、CPR 単体及び CPR-ATLID 複合プロダクトの雲粒子タイプアルゴリズムのバージョン 0.1 を提出し、着実にアルゴリズムの開発が遂行されている。本年度は ATBD の初稿も完了し、リリースされた。

4. 来年度の計画

来年度の主な計画は、現状の CPR 単体アルゴリズムの改良を行うことである。現状、雲粒子タイプの CPR-ATLID 複合アルゴリズムは開発がかなり進んでいるが、CPR 単体アルゴリズムにおいては、まだ開発要素が多いため、来年度は CPR 単体アルゴリズムの開発に重点を置く計画である。

EarthCARE の高次アルゴリズム開発スケジュールでは、来年度は、CPR 及び CPR-ATLID 複合プロダクトのアルゴリズムに、MOSS によって開発されたツールキットを組み込んだバージョン 0.2 アルゴリズムを提出する予定である。

3.3 EarthCARE/MSI L2 プロダクト (エアロゾル) の開発に向けて

福田 悟

1. はじめに

2015 年度に打ち上げが予定されている EarthCARE は、大気中に漂う、雲やエアロゾルを立体的に観測し、気候変動の予測の精緻化をおこなうための、より詳細な情報を提供することを目的とした衛星である。EarthCARE には CPR, ATLID, MSI, BBR という、4 種類の異なる特色を持つ測器の搭載が予定される。そのうちライダーやレーダーである ATLID や CPR では、大気の鉛直方向の構造を観測することを主たる目的としているのに対して、MSI は大気の水平方向の構造を観測する役割を持つ。MSI 単独でのプロダクトは、標準プロダクトとして、水雲の微物理量に関するものの導出が予定されており、研究プロダクトとして、氷雲の微物理量に関するものと、エアロゾルのそれが予定されている。エアロゾルに関して、導出予定のパラメタは、エアロゾルの光学的厚さ (陸)、エアロゾルの光学的厚さ (海)、エアロゾルのオングストローム指数である。以下、研究プロダクトであるエアロゾルのパラメタ導出に関して、これまでの成果と今後の方針について述べる。

2. イメージャを用いたエアロゾルの導出 (CAI)

これまで、MSI と同様にイメージャである GOSAT/TANSO-CAI のデータを用いた、エアロゾルの導出アルゴリズムの開発をおこなってきた。CAI は近紫外から短波長赤外まで、4 つのバンドを持っている。雲の判定には海陸ともに CLAUDIA (Ishida et al., 2009) のしきい値を調整したものを用いた。この雲判定アルゴリズムは、MSI でも使用される予定となっている。海域におけるエアロゾルの導出には、680nm と 860nm の 2 波長を使った 2 チャンネル法 (Higurashi and Nakajima, 1999) を用いた。エアロゾル粒径が小さいほど、波長が長いときに感度がより小さくなるので、860nm では相対的に大粒子に対する感度が大きくなる。逆に 680nm では相対的に小粒子に対する感度が大きくなる。このような波長による感度の違いを利用することにより、エアロゾルの粒径に対する情報を得るといえるのが 2 チャンネル法である。陸面については修正カウフマン法をもちいた。オリジナルのカウフマン法 (Kaufman et al., 1997) は、2.2 μ m の地表面反射率と 0.44 μ m 及び 0.68 μ m の地表面反射率の比が単純な整数比で表されるとして、0.44 μ m と 0.68 μ m の地表面反射率を 2.2 μ m のそれから導出するというものである。それに対して、ここで用いている修正カウフマン法は、NDVI を使って 0.38 μ m と 0.68 μ m の地表面反射率の比をパラメタライズするというものである。修正カウフマン法によって求められたエアロゾルの光学的厚さ (AOT) と AERONET による地上観測によって求められたエアロゾルの光学的厚さを比較した。また、修正カウフマン法ではなく、31 日間の最小反射率から地表面アルベドを求め、それを使って AOT を求めた場合の比較もおこなった。前者と後者を比べた場合、後者には地上観測に対して衛星観測による AOT の方が過小評価となっていたのに対し、前者ではその過小評価が改善されていた。また、相関係数をとって見たところ、後者に比べて前者の方が大半の観測サイトで、大きな値をとっていた。これらの事柄は、本研究で使った修正カウフマン法が十分に機能していることを示すものである。図 1 に、この手法を用いて求めた 1 月間の AOT の平均値を、他の衛星によるプロダクトと比較して示す。左上が本手法によるものであり、右上は MODIS の

カウフマン法によるもの、左下は MODIS のディープブルー法によるもの、そして右下は Calipso によるものである。それぞれ、観測頻度や観測手法が異なるため、完全に一致する必要はないのだが、本研究による手法は、他の手法に比べておおよそ整合的であり、大きな矛盾はないと言える。また、MODIS のディープブルー法やカウフマン法によるものに比べると、適用できる地域が多く、一つの手法を広範囲にわたって適用できるのはメリットであると言える。

3. イメージャを用いたエアロゾルの導出 (MSI)

MSI には、可視から熱赤外まで7つのバンドがある。海域においては、0.66 μm 及び、0.87 μm の2波長があり、これによって CAI と同じく2チャンネル法が適用できると考えられる。陸面においては、近紫外波長のバンドはない。また、MSI の刈り幅 (swath) は 150km となっており、CAI のそれ (1000km) と比べてとても狭い。ある一定期間に、同一地点を何回観測できるのかを軌道要素を元に見積もってみたところ、中緯度地域では、およそ2回程度であることがわかった。これは一定期間の最小反射率を元にして地表面反射率を求めるには、十分とは言えない頻度である。そこで、陸面においては、現状では以下の2つの方針を検討中である。(1) カウフマン法を用いて 2.2 μm の反射率から 0.66 μm の地表面反射率を求め、それによって AOT を導出する。(2) MODIS や次世代静止衛星といった、他の衛星から地表面反射率を求めてそれを使う。来年度以降はいろいろ考えられる手法の誤差評価などを通じて、妥当な手法を模索する予定である。

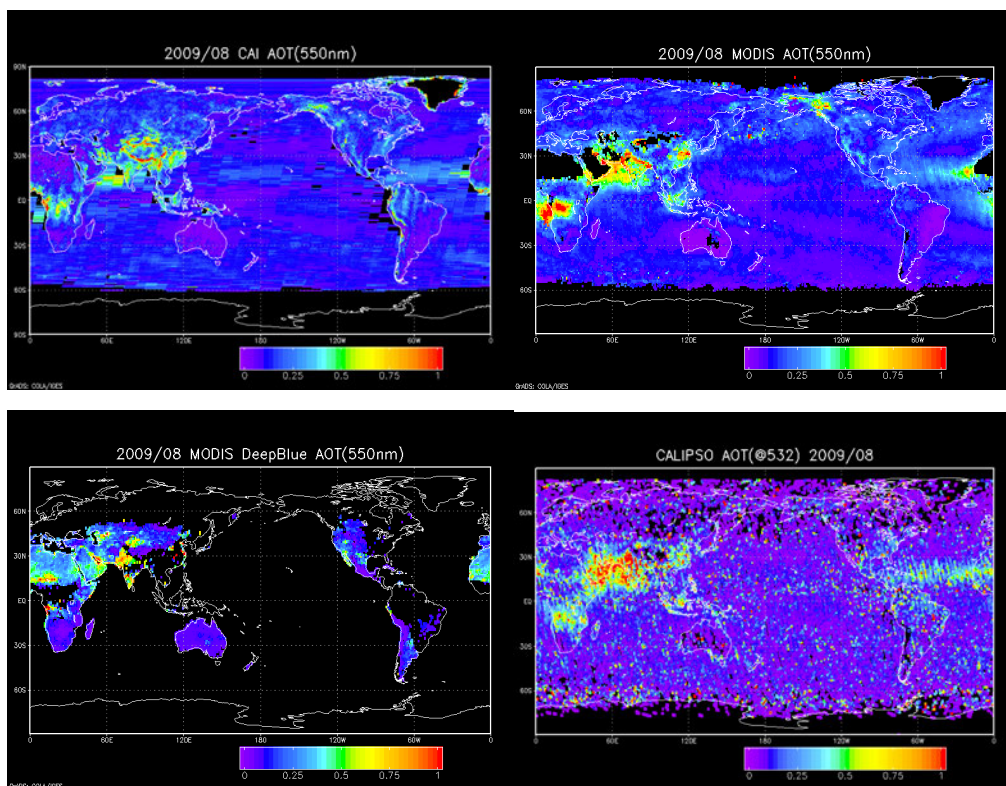


図 1. 2009 年 8 月、1 ヶ月平均の AOT(550nm)。

3.4 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)。6 月には SSMIS 用アルゴリズムを GSMP_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/GPM/EarthCARE 利用研究

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。

3.5 DPR L1B アルゴリズム開発 と PR L1 アルゴリズムの維持改訂

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 年度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=13.6GHz, KaPR=35.6GHz）で三次元降雨分布を詳細に観測する。この二周波降雨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 アルゴリズムが担う。

JAXA が提供する代表的な GPM 標準プロダクトは、二周波降雨レーダプロダクト、二波降雨レーダ+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。

TRMM 衛星は、熱帯地域降水観測を目的として、1997 年に打ち上げられ、14 年以上経た現在も正常に観測を継続している。今年度、アルゴリズムバージョン 7 にアップデートされた。

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.2（全機能の 90%）の完成」と、「PR レベル 1 アルゴリズム Ver.7 の完成」の 2 点である。

DPR レベル 1B アルゴリズムに関しては、プロジェクトチーム、ハードウェア開発メーカ、地上系チーム、地上系開発メーカと定期的な会合を開催し、最新の情報収集とアルゴリズム仕様書へのフィードバックを行った。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（159 ページ）にまとめ、技術資料 B 改訂として登録した。Ver.2 として実装する主な機能には、暫定版データベース導入、PPS ツールキット導入、HDF5 フォーマット対応、基本エラー処理対応、などが挙げられる。これらは全体機能の約 90% 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、様々なケースを想定した複数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 16 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。

技術的なチャレンジとしては、PR 冗長系切替の教訓から、冗長系依存する要素を全て DPR レベル 1B アルゴリズムに集約することに成功したことは、特筆すべき点である。また、コンテンジェンシーケースに対するロバスト的な対応も、これまで判明しているケースに関しては、一部を除いて

動的に対応するようした。費用対効果を考慮し、あえて取り込まなかったケースについては、DPR レベル 1 アルゴリズム仕様書に明記した。

PR レベル 1 アルゴリズム (1A21、1B21、1C21) については、昨年度から引き続き Ver.7 へのアップデート作業および長期データを用いた検証を重ね、2011 年 7 月に正式リリースを実施した。アルゴリズム説明書を改訂し、関係者への配布も完了した。冗長系切替前後のデータ連続性も良好であることが確認できた。現時点において、再処理は円滑に実施されており、今年度の達成度は 100% となる。

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。

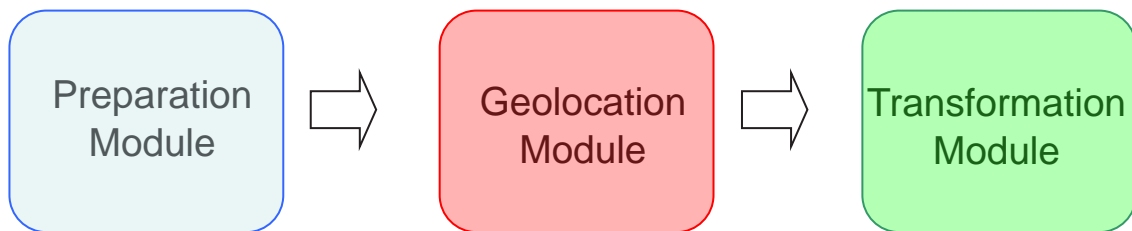


図 1. DPR レベル 1B アルゴリズムの基本フロー

4. まとめと来年度の目標

「DPR レベル 1B アルゴリズム Ver.2 (全機能の 90%) の完成」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。3 月 16 日に報告会を開催する予定であり、本年度の目標は 100% 達成できる見込みである。

「PR レベル 1 アルゴリズム Ver.7 の完成」という目標に対して、2011 年 7 月に正式リリースを実施した。本年度の目標は 100% 達成した。

来年度は、DPR レベル 1B アルゴリズム打ち上げ版 (全体機能の 100%) 開発へ発展させる。Ver.2 をベースとし、最終的な地上試験結果のフィードバック、エラー処理の強化、ロバスト性の確認などを実装する予定である。また、運用者手順書の該当部分の作成を行い、円滑な運用へ向けて準備する予定である。

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

久保田拓志

1. はじめに

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

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

2. 今年度の研究計画

GPM の Level-2 アルゴリズム開発スケジュールに従って、今年度中のベースラインアルゴリズム提出に向けて、着実にアルゴリズム開発を推進する。DPR 高次アルゴリズムのテスト用の模擬データの開発も行う。GSMaP アルゴリズムでは、高精度化を目指したサウンダチャンネルや、新規にリリースされた TRMM PR V7 データベースの利用可能性を検討する。Joint-Simulator は、EarthCARE センサに対するデータシミュレーション機能を確認する。

3. 今年度の研究成果

2012 年 1 月に、DPR Level-2 のベースラインアルゴリズム（Ver. 2 アルゴリズム）を提出した。担当する Vertical Profile Module（VER）は、外部データ（客観解析データ）から、補間により水蒸気、気温、雲水、気圧等の値を求め、また非降水粒子に関する減衰補正計算を行う。今年度は、ベースラインコードに VER を組み込み、模擬データにより VER モジュールが正常に機能していることを確認した。ただし、雲水による減衰量推定手法はデータベースによる高度化が必要なので、その点は、来年度の課題とする。

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、EGU2011、IGARSS2011、日本・中国・韓国気象学会共催国際シンポジウムで学会発表を行った。また雨が規則的に分布しているとして、雲解像数値気象モデルから作成した DPR 模擬データを、DPR Level 1 フォーマットに加工し、それを入力として、ベースラインアルゴリズムの機能を確認した。

GSMaP の SSMIS アルゴリズムについて、現在イメージャチャンネルを利用したアルゴリズムを現業運用している。今後の改善点の一つとして、サウンダチャンネルの利用があり、特に海岸域で検

討を行い、日本気象学会春季大会と第 28 回 ISTS で学会発表を行った。また 2011 年 7 月に TRMM Version 7 (V7) プロダクトがリリースされた。PR V7 アルゴリズムでは、多くの変更点があるため、1998 年 3 月～2006 年 2 月までの PR 2A25 V7 データを用いて、GSMaP データベースの再計算を行い、データベースの変更が GSMaP の降水推定に与える影響について確認を行った。

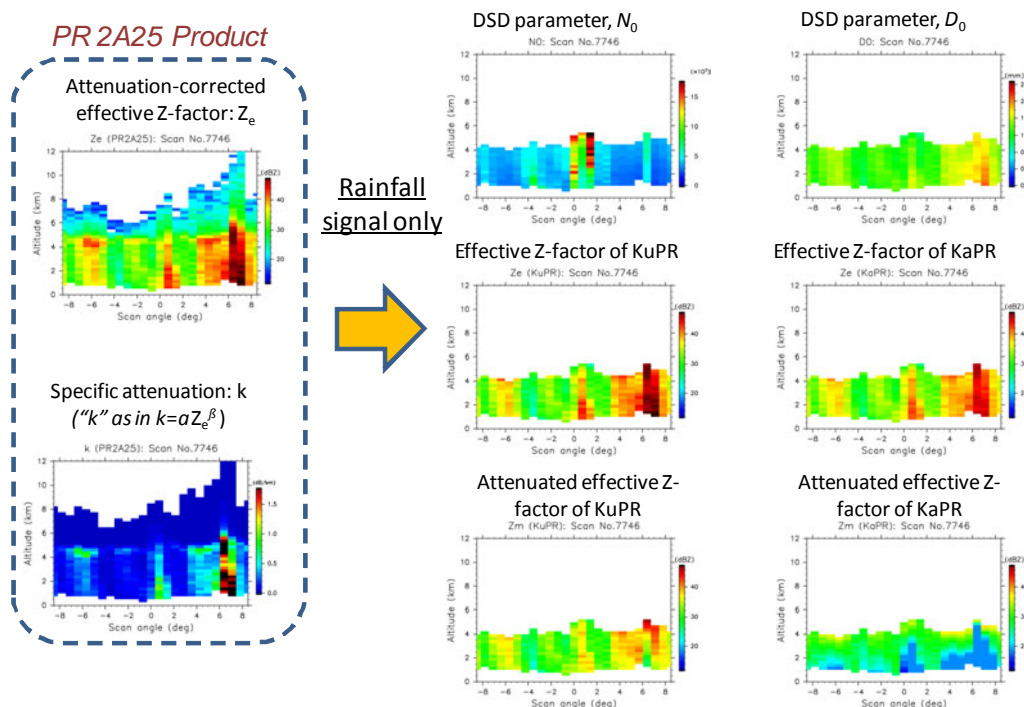
Joint-Simulator は、EarthCARE センサに対するデータシミュレーション機能を PI と連携して確認した。

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、2012 年秋に打ち上げ時アルゴリズム（初版）を提出する。打ち上げ時アルゴリズムに向けて、VER モジュールの雲水による減衰量推定手法では、データベースによる高度化に取り組む。模擬データによるアルゴリズム評価も実施する。GSMaP アルゴリズムでは、PR V7 データによるデータベースをすべてのアルゴリズムに取り込み、それに基づく打ち上げ時アルゴリズムを構築する。Joint-Simulator では、EarthCARE 高次アルゴリズム評価への利用可能性を検討する。

Examples at vertical cross sections from TRMM/PR data

Seto and Iguchi (2010, *Proc. IGARSS*), Kubota et al. (2011, *Proc. IGARSS*)



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

3.7 GPM/DPR L2 アルゴリズムと全球降水マップアルゴリズムの開発

木田智史

1. はじめに

全球降水観測 (GPM) 計画は、JAXA・NICT が開発した二周波降水レーダ (DPR) と GPM マイクロ波サウンダ (GMI) を搭載した GPM 主衛星とマイクロ波放射計 (イメージャ/サウンダ) を搭載した複数の衛星群により、衛星による全球の降水観測を行う計画である。このうち、TRMM 衛星搭載降雨レーダ (PR) の後継センサである DPR は、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り、弱い降水や降雪まで含めた高精度の降水を観測することを目的としている。また、GPM 主衛星と国際パートナー機関が提供する副衛星が連携した、複数衛星による全球降水マップ (GSMaP) を準リアルタイムで利用者に提供することも目的としている。

2. 今年度の研究計画

GPM/DPR L2 アルゴリズムの開発では、TRMM/PR のレーダ反射因子プロファイルデータを取得・整備し、降雨プロファイルの解析を行い、プリミティブなアルゴリズムを開発することを計画した。GPM/ 全球降水マップアルゴリズムの開発では、サウンダチャンネルを利用した降水推定手法の開発を計画した。

3. 今年度の研究成果

3.1 DPR L2 アルゴリズム

DPR L2 アルゴリズムチームに参加し、アルゴリズム開発の現状を把握しつつ、DPR L2 アルゴリズムの降水推定精度の向上のために、日本域における TRMM/PR の降雨プロファイルの解析を行った。

日本域において、TRMM/PR は地上レーダーアメダスとの比較で、降水量が約 23% 程度過小評価している。過小評価の原因として、PR で観測できない地表近傍 (衛星直下で約 500m 以下、走査端で約 1750m 以下) での降水量の鉛直構造の変動がある。現在のアルゴリズムでは、降水の落下速度の違いなどを考慮して約 4% 程度、降雨強度が減少するように地表面の降水強度を計算している。

今年度は、こうした地表面近傍の降水プロファイルの補間の妥当性を検証するために、複数の補間手法を用いて、現在のアルゴリズムとの違いを調べた。

図 1 は、2007 年の日本域で観測された PR の降水プロファイルを、5 種類の方法で地上までの降水プロファイルを補間し、平均したものである。この結果、クラッターフリーボトムの降水強度勾配を用いた補間手法で、海上で違いが見られ、海上では現在のアルゴリズムと同様の推定結果が得られた一方、陸上では現在のアルゴリズムに比べて約 15% 程度、降水量が増加する結果が得られた。

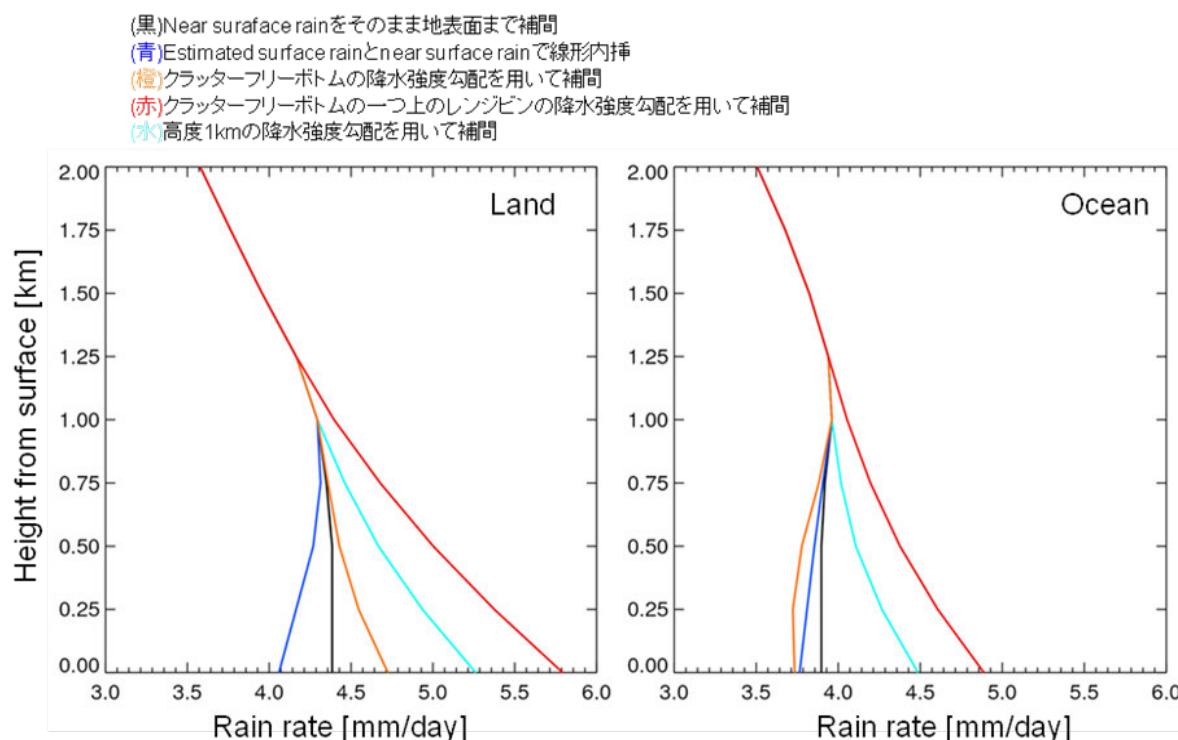


図 1. TRMM/PR における日本域の補間された降水プロファイルの違い

3.2 全球降水マップアルゴリズム

衛星搭載マイクロ波サウンダにおける、陸上降水判定アルゴリズムの開発を行った。今年度は、陸上の降水判定手法の開発を行った。現在の陸上降水判定アルゴリズムは、マイクロ波イメージャで用いられている手法と同様のものを用いている。現在の陸上降水手法は、降水システムの上層の氷晶によるマイクロ波の散乱を利用して降水を推定しているため、従来のイメージャの手法では、上層にほとんど氷晶を含まない背の低い降水は、見逃す傾向にある。一方で、マイクロ波サウンダは水蒸気チャンネル (150GHz および 183GHz 帯) を有しており、イメージャに比べ、下層の降水を捉える可能性がある。そのため、今年度は、マイクロ波サウンダ用 GSMaP アルゴリズムにおける、水蒸気チャンネルを利用した、背の低い降水を捉える降水判定手法の検討を行った。

図 2 は、ほぼ同時刻に観測された、従来の判定手法の GSMaP アルゴリズムと TRMM/PR 2A25 の結果である。GSMaP アルゴリズムは、PR で観測された比較的強い降水域 (1mm/h 以上) に対しては降水を捉えることができているが、弱い降水域 (1mm/h 未満) では見逃す傾向にあることが分かった。

背の低い降水を捉えるために、Shige et al. (2009) で使われている 89GHz と 150GHz を利用した Scattering Index (SI) による判定手法の検討を行った。従来の判定手法が降水を見逃した領域に対して、SI を降水有無の閾値とした場合の Critical Success Index (CSI) の変化を調べた結果、閾値の値を 0 [K] とした場合、CSI が最も良いことが分かった。そのため、本研究では、従来の判定手法が見逃した領域に対し、SI>0 [K] を降水有りの条件として導入した。その結果、図 3 のように従来の手法では見逃していた比較的弱い降水域を捉えることができるようになった。

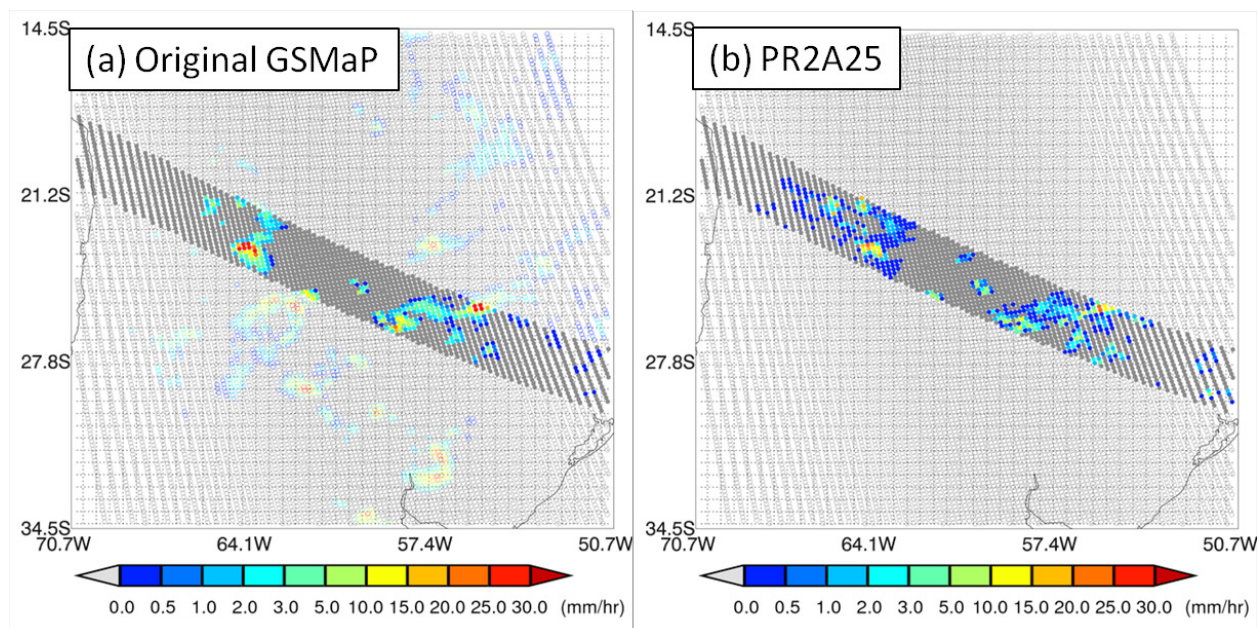


図 2. 降水判定手法の比較。(a) 従来の降水判定手法、(b)TRMM/PR 2A25

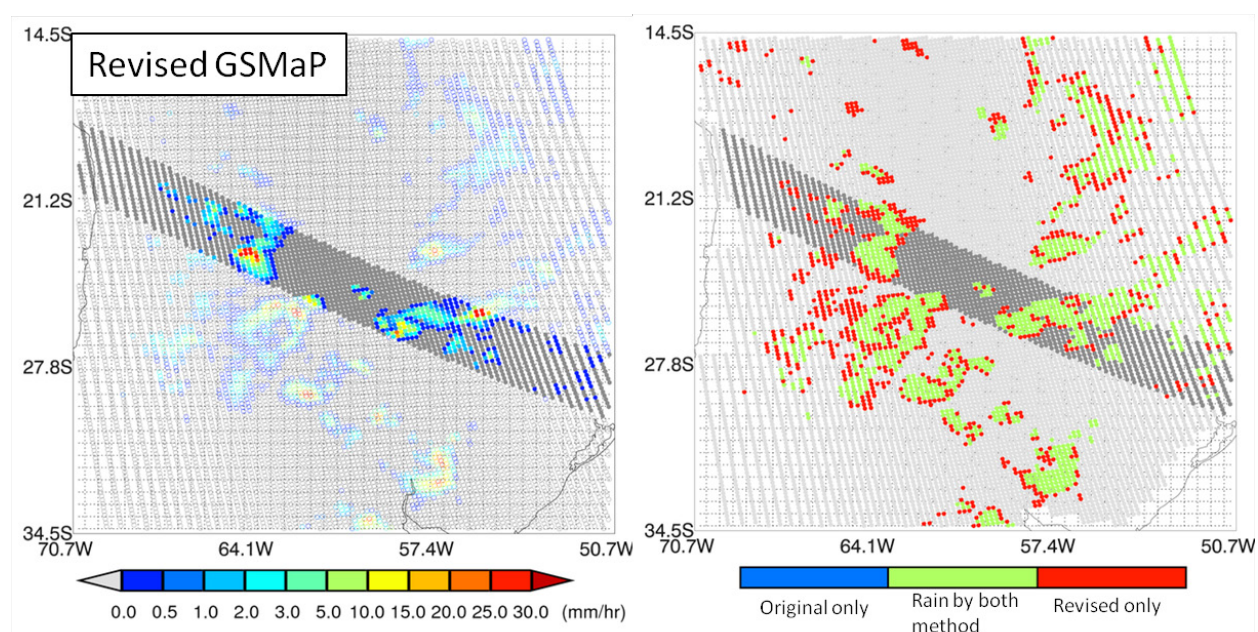


図 3. 新しく開発した降水判定手法の結果および、従来の降水判定手法と新しい降水判定手法の結果の違い

現在、EORC の TRMM 利用研究計算機設備内にて構築されている、準リアルタイム版 (GSMap_NRT) 処理システムで運用されているソースコードの見直しを行い、処理時間の高速化を行った。

TRMM/PR の標準プロダクトのバージョンアップに伴い、全球降水マップに使われているデータベースのバージョンアップが行われた。そのため、マイクロ波サウンダアルゴリズムの精度の初期検証を行った。

4. 来年度の計画

4.1 DPR L2 アルゴリズム開発

TRMM/PR における地表面近傍の降水プロファイルデータを、降水タイプ(対流性降雨・層状性降雨)や地表面状態(陸面、海面)などの状況に分けて、より詳細な解析を行う。得られた知見に基づいて、より推定精度のよい降水プロファイルのモデルの開発を目指す。

4.2 全球降水マップアルゴリズム開発

これまで開発した降水推定アルゴリズムを、準リアルタイム版全球降水マップアルゴリズムに適用する。また、GMI と同様な DMSP/SSMIS などの、他のイメージャ・サウンダ複合センサへ適用し、推定精度の向上を目指す。

3.8 全球降水マップアルゴリズム、および、AMS2 高次アルゴリズムの開発

可知美佐子

1. はじめに

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、2002-2007 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。2007 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。

EORC では、GSMaP をベースとした準リアルタイム（GSMaP_NRT）システムの維持・改良、2013 年度に主衛星を打ち上げ予定の GPM に向けた開発を行っている。GSMaP のマイクロ波放射計降水アルゴリズムは、GCOM-W1/AMSR2 降水アルゴリズムを採用しており、両者の開発は密接に連携して実施している。

2. 今年度の研究計画

今年度の研究計画のうち、GSMaP に関係する項目は以下の通りである。

- ・ GSMaP_NRT システムの維持と改良を行う。2000 年～現在までの過去期間のプロダクトの再処理を完了する。論文を最終改訂する。
- ・ MOS での GPM 高次アルゴリズムのインタフェースについて調整を進める。現在の GSMaP アルゴリズムをベースとして、全球降水マップのベータ版アルゴリズムを開発し、MOS にアルゴリズムコードを提出する。
- ・ AMSR2 降水アルゴリズムについて、降雨レーダとの比較検証を行う。
- ・ 土木研究所、IFNet、日本気象協会、GISTDA 等と、GSMaP の検証、応用利用、利用促進に関する共同研究を進める。横軸水循環研究にて、GSMaP 等の水循環に関連する衛星データを利用する。

3. 今年度の成果

3.1 NRT システムの維持改良

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、さらに、2011 年 10 月に AMSR-E が観測を停止した。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。

SSMIS および AMSU 用のアルゴリズムは、京都大学重准教授との共同研究（EORC 久保田氏、木田氏が CI）で開発している。今年度は、NOAA-19/MetOp-A 搭載の AMSU-A/MHS について、NRT システムへの組み込み作業を実施し、2011 年 8 月より定常運用を開始した。また、これまで準リアルタイムで取得していなかった、DMSP-F18 の SSMIS、NOAA-15/16/18 の AMSU-A/AMSU-B のデータについても、2011 年 10 月から NOAA 経由で定常的に取得を開始した。システム負荷や処理時間も考慮した上で、来年度に、これらについても、NRT システムに導入する予定である。

また、IR のデータは、NRT システム用には、これまで日本気象協会からデータを購入して利用していた。これに対して、過去期間の再処理では、NOAA 気候予測センター（CPC）が作成している

Globally-merged full-resolution IR Data を利用してきた。このデータは欠損領域が少ないが、2 日遅れでインターネットに公開されているため、これまで NRT システムでは利用できなかった。2011 年 12 月より、GPM に向けた協力の一環として、NASA 経由で、観測終了から 2 時間後に定常取得できる環境が整った。安定性も確認できたので、2012 年 3 月に NRT システムでの処理を切り替える予定である。

3.2 過去データの再処理

GSMaP_NRT は、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。これに対して、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再解析プロダクト（GSMaP_MVK）の作成システムを構築し、2010 年度に GSMaP_MVK V5.112 を 2007-2008 年の期間について作成し、NRT システムの登録ユーザに対して公開した。

今年度は、GSMaP_MVK V5.112 で発見された複数のバグや入力の不整合を修正し、また、DMSP-F17 の SSMIS を追加した形で、GSMaP_MVK V5.222 として 2000 年 3 月～2010 年 12 月の期間について再処理を行った。開始時期は、入力の IR データに依存する。このデータは 2012 年 3 月に NRT システムの登録ユーザに対して公開し、画像については、3.1 項の IR データの切り替えに併せて、ウェブより公開する予定である。

図 1 は GSMaP_MVK V5.112 と V5.222 の入力データの違いである。DMSP-F17 が追加された他、V5.112 で不正処理されていた AMSU のパスが追加されるなど、利用可能なマイクロ波放射計の数が増加している。表 1 は、処理期間の各月について、入力に使用したマイクロ波放射計をまとめたものである。

3.3 GPM 全球降水マップアルゴリズムの開発

GPM 全球降水マップアルゴリズムは、GPM ミッション運用系システムで試験を実施するためのベータ版(Baseline code 版)を開発し、2012 年 2 月までに提出した。現在の GSMaP_MVK V5.22 をベースとし、モジュール化およびインタフェースの変更を実施した。

また、アルゴリズム開発 PI と協力し、来年度秋に提出予定の Ver.0 (At-launch code 版) の開発を進めると同時に、EORC において進捗管理とアルゴリズムのバージョン管理を行っている。At-launch code 版のために、マイクロ波放射計リトリバルで利用している TRMM/PR のデータベースを、PR Version7 を利用して再作成した。

この他、処理時間の軽減を図るため、アルゴリズムコードの高速化検討も実施した。この結果、ルックアップテーブルの作成処理、および、マイクロ波放射計リトリバルの部分で、数十 % の高速化が期待できるため、At-launch code 版での採用を予定している。

3.4 AMSR2 降水量アルゴリズムの検証

GPM 全球降水マップのマイクロ波放射計アルゴリズムは、GCOM-W1/AMSR2 の降水量アルゴリズムを採用している。このため、AMSR2 降水量プロダクトの精度検証は、GPM および GSMaP の精

度検証と連携して実施している。

今年度は、現在のアルゴリズムの精度を確認するため、PR との比較検証を実施した。2003 年 1-12 月の期間について、TRMM/PR と時間差 10 分以内の GSMP_AMSR-E 降水プロダクトのマッチアップを作成し、評価用に 0.5 度格子の平均値を作成した。図 2 は、AMSR2 を模擬して作成した AMSR-E データに、pre-launch 版の AMSR2 降水量アルゴリズムを適用して作成した降水プロダクトと、PR Version6 との比較結果である。海上の少雨域でバイアスが残っていること、陸上での過小評価の改善がまだ十分ではないことがわかっており、2012 年 5 月に提出予定の AMSR2 の At-launch code 版に向けて、開発者側でアルゴリズムの調整を行っている。また、このほかに、PR 観測幅に相当する GSMP_TMI 降水プロダクト (BIN=79-130) を使用して、全球マップを作成し、PR の Version6、Version7 との比較を行った。今後、同様の検証手法により、打ち上げ後の AMSR2 データや GPM の At-launch code 版の検証を実施し、精度を評価していく。

3.5 GSMP を利用した共同研究・利用推進

EORC の GSMP 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 210 名、商用利用に向けた試行的利用については 2 件である (2012 年 2 月末現在)。また、この試行的利用から発展して、2011 年 9 月に JAXA-JICA 間で覚書が締結され、ナイジェリアにおける水資源管理開発基本計画策定プロジェクトにおいて、GSMP プロダクトの有効性検証が進められている。

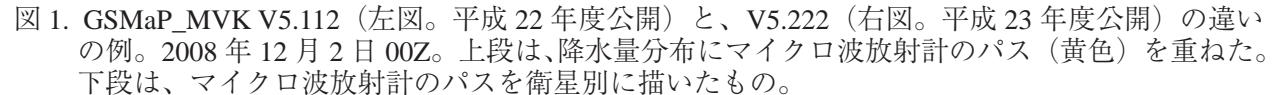
2011 年 2 月より開始した日本気象協会との共同研究の成果としては、2011 年 9 月より、日本気象協会の携帯電話サイト「世界の天気」および NTT docomo の i コンシエルの海外天気サービスにおいて、世界の天気予報とともに、GSMP 降雨画像が公開された。

土木研究所 (ICHARM) および国際建設技術協会 (IDI。IFNet 事務局) と JAXA との間では、三者協定を締結し、洪水予測に関する協力を進める体制が整った。さらに、2011 年 9-10 月のタイの大洪水において、土木研究所および IDI による衛星データを利用した解析結果が国交省からプレスリリースされた他、三者協力の下で、2012 年 3 月に第 6 回世界水フォーラム (マルセイユ) において、衛星降水の洪水分野への利用に関するサイドイベントを開催し、利用者開拓も進める。

4. 来年度の計画

来年度は、GSMP に関して以下の活動を計画している。

- ・ IR 画像の NOAA/CPC 版への統合とメンバーページの廃止
- ・ NRT システムに未導入の衛星 (DMSP-F18, NOAA-15/16/18) の導入
- ・ NRT システムの高速化対応
- ・ Megha-Tropiques データの導入検討
- ・ 陸域の AMSU アルゴリズムの導入検討
- ・ AMSR2 降水量アルゴリズム (At-launch code) の開発、MOS への提出、GCOM-W1 打ち上げ後検証
- ・ GPM 全球降水マップ Ver.0 (at-launch code) の開発、MOS への提出



3.9 GPM/DPR の地上検証によるプロダクト精度の向上、EarthCARE/CPR における地上検証計画の策定及び実施

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、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。一方、雲エアロゾル放射ミッション (EarthCARE) 計画は、雲プロファイリングレーダ (CPR) と大気ライダー (ATLID)、多波長イメージャ (MSI) 及び広帯域放射収支計 (BBR) を搭載した衛星により、全球の雲・エアロゾル観測を行う計画である。このうち CPR は、W 帯 (94GHz) を利用したレーダで、世界初の衛星搭載ドップラーレーダであり、衛星軌道上から地球に向けてミリ波帯電波を送信し、雲粒によって散乱された電波を受信することにより、全球の雲に関する物理量、及び雲の鉛直速度に関するプロダクトを導出する。

いずれの衛星プロジェクトについても、生成されるプロダクトの提供に当たり、その品質を保証するために、地上観測により取得したデータで検証を行い、ユーザーに提供するプロダクトの精度を保証する必要がある。平成 23 年度は、25 年度に打上げ予定の GPM/DPR による降水算定アルゴリズムの検証を行うために、沖縄、筑波、富士山、長岡で観測を行った。

2. 2 台の Ka 帯レーダを用いた GPM/DPR アルゴリズム検証

降雨は時間・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雨レーダと地上測器 (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。この反省から、GPM/DPR における検証活動では、レベル 2/ レベル 3 アルゴリズムの開発及び改良を目的として、衛星打上げ前から継続的にアルゴリズムの検証を行っている。GPM/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) や固体/液体の違いで、降水強度、散乱、減衰の関係が異なる。そのために 2 台の同性能の Ka 帯レーダを対向させて、同じ導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、散乱に関する等価レーダ反射強度 (Z_e) と減衰係数 (k) を、降水の固相/液相に関係なく直接的に測定する。また 2 台のレーダの間に、地上降水粒子観測システムを設置して、粒径分布などの降水に関するパラメータを直接観測することにより、DPR による降水推定アルゴリズムの中で仮定量として与える降水粒子の情報と、実際に測定される Z_e , k の組み合わせを直接観測することが出来る。さらに同時に C, X 帯のレーダと Ka 帯のレーダを同時に観測することにより、二周波観測が可能となり、DPR アルゴリズムの実データによる実証を行うことが出来る (図 1)。各種の降水粒子に対する Ka 帯電波の散乱・減衰特性を把握するため、液体降水、固体降水 (湿雪)、及び融解層をターゲットとして、平成

22 年度に製作した 2 台の地上検証用 Ka 帯レーダ（以下 Ka レーダ、図 2）を用いて、降雨観測については沖縄と筑波、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た。平成 24 年度に札幌において長期的な観測を行い、乾雪を含めた総合的な観測を行う予定である。

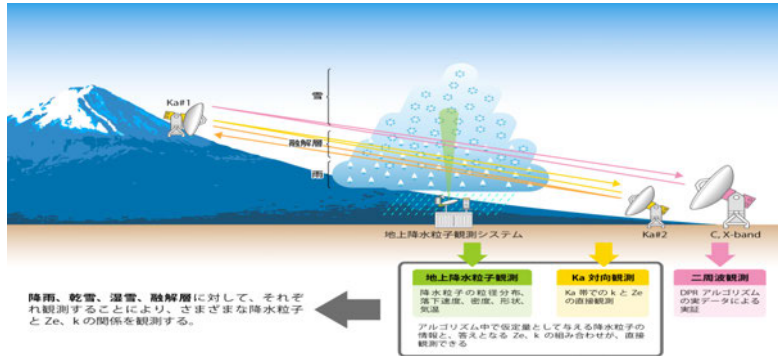


図 1. 2 台の Ka 帯レーダと C (X) 帯レーダを用いた GPM/DPR 地上検証降水観測の概念図



図 2. JAXA 所有の GPM/DPR 地上検証用 Ka 帯レーダ

3. 沖縄での観測結果

平成 23 年度に行った 4 ヶ所での観測のうち、沖縄での観測結果を示す。Ka レーダのうちの 1 台を情報通信研究機構（NICT）・沖縄電磁波技術センター、もう 1 台を沖縄科学技術大学院大学（OIST）に設置し、対向観測を行った。図 3 に両レーダから求められた観測レーダ反射因子（Zm）と Ze の値を示す。このとき中間に設置された降水粒子観測装置上空での k の値は、3.25dB/k と見積もられた。これを含め 2 台の Ka レーダから見積もられた k の値と、地上で測定された雨滴粒径分布から求められた k の値の時間変化は、良い一致を示していた。（図 4）

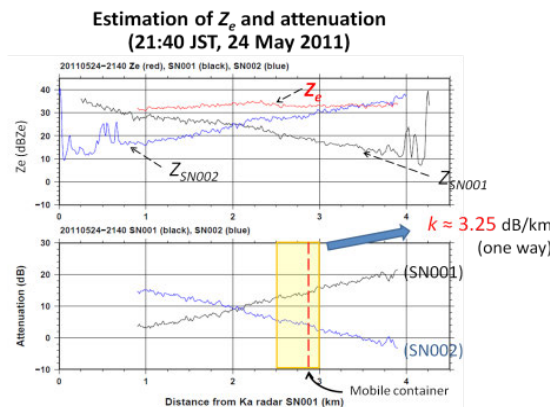


図 3. 2 台の Ka レーダによる 2011 年 5 月 24 日 21:40 (JST) の Zm と Ze（上）及び減衰量（下）。（名古屋大学 西川、中村による）

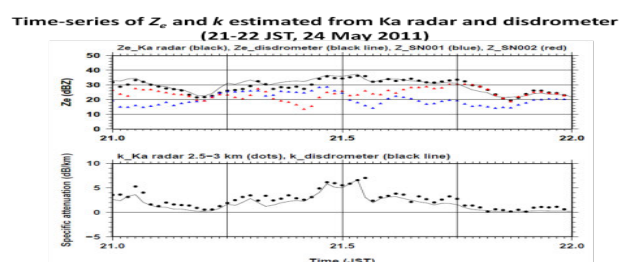


図 4. 図 3 の解析で求められた 2011 年 5 月 24 日 21:00-22:00 (JST) での減衰係数 k の時間変化。（名古屋大学 西川、中村による）

4. まとめと今後

平成 23 年度に Ka レーダにより 4 ヶ所で取得されたデータは、1 年分蓄積されている。今後札幌で取得するデータを含め、各種の降水に対して Ka 帯電波の散乱・減衰特性と降水粒子パラメータとの関係をアルゴリズム開発者に提供することにより、GPM/DPR による降水推定アルゴリズム開発・改良に貢献する。

4. 横軸

4. 横軸

4.1 水循環研究グループ

沖 大幹・可知美佐子

1. はじめに

水循環研究グループは、2007 年に開始して以降、東大で運用されていた、気象庁数値予報データを入力とする陸面モデルおよび水文モデルから構成される、陸面水循環シミュレーション・システムを、EORC で別途整備するマシンに移植し、衛星データセットを初期値入力やデータ同化に用いることが可能のように改良し、全球の河川流量等の陸域水循環データセットの作成および評価を行うことを目的に、研究を進めている。

2. 今年度の研究計画

今年度の研究計画は以下の通りである。

- ・ 過去データ処理のために、気象庁予報値（GPV）の代替として、気象庁再解析（JRA25/JCDAS）データや、衛星データ（GSMaP 降水量、MODIS 日射量、LAI 等）を入力・参照データに利用した過去データのシミュレーションを実施し、地上観測データ（積雪深、土壌水分量等）や衛星データ、他の数値予報機関によるモデル出力等による検証・評価を継続する。
- ・ 本システムを利用して、気象庁 JRA25/JCDAS データを入力とした処理を、準リアルタイムで運用し、関係者向け公開 HP に結果を掲載するようにシステム改修を検討する。

3. 今年度の成果

今年度は、昨年度（平成 22 年度）に実施した陸面シミュレーションモデルの新しいバージョンである MATSIRO5 の移植を完了した。旧バージョンは MATSIRO4 であり、東大・環境研で開発した大気大循環モデル CCSR/NIES AGCM 用に開発された陸面モデルであったが、新しい大気大循環 MIROC 用にバージョンアップされ、さらに、河道網モデル TRIP の新バージョン（TRIP2）も内部に組み込まれた。新バージョンでは、以下のオプションが利用可能となった。

- ・ ダストアルベドの追加
- ・ 氷床の水たまり効果
- ・ 土地利用タイプにモザイク導入（モザイク =1 or 2）

MATSIRO5 はマルチコアでの動作に設定されているため、EORC の計算機環境においても、同様にマルチコアで走らせるよう、ソフトウェアをインストールした。その後、開発者側より、バグを修正したバージョンの提供があったため、入れ替えを実施した。また、EORC の計算機環境が換装となったため、新しい計算機へのシミュレーション環境およびデータの移植を行った。

EORC においては、MATSIRO5 の評価の一環として、新バージョンと旧バージョンの比較、および、過去に旧バージョンについて実施した地上観測データ（積雪深等）との比較を行った。その結果、過去に実施した旧バージョンの一部の実験の設定に誤りがあったことが判明した。このため、旧バー

ジョンの該当実験について設定をし直して、再処理を行った。そのほか、新バージョンにおいてと
きたま見られる、地表面温度とキャノピー温度、雪面温度の異常値について、調査を継続している。

また、新しい衛星データによる Forcing データの差し替え実験として、Terra/Aqua MODIS による
LAI (Leaf Area Index) の利用について検討を行った。米国地質調査所 USGS が提供している MODIS
の LAI のタイルデータは、1km 分解能の 4 日平均と 8 日平均の 2 種類が存在するが、本システムへ
の入力は月平均値での利用を考えているので、8 日平均データを利用することとし、2002 年 ~2009
年のデータをダウンロードした。

シミュレーション・システムの定常処理については、準リアルタイムでの定常運用の検討を開始し、
処理のフローを作成した。もともと、JRA25/JCDAS データが、2 日遅れで提供されているので、こ
れのみを使う場合は、過去の再現のみとなる。このため、2つのシステムを並行運用することを考え
る (図 1)。

- ・ JCDAS 版 (2 日遅れ) :

JCDAS (客観解析) /GSMaP を入力としたシステム (2 日遅れ)

- ・ GPV 版 (リアルタイム) :

GPV (84 時間予報) を入力としたシステム (将来的には、JCDAS 版を初期値として、未来を予測)

4. 来年度の計画

来年度は、当初予定の 5 年計画の最終年度として、以下の活動を計画している。

- ・ 再解析データおよび衛星データを入力とした試験処理と評価の継続
- ・ リスク評価指標の作成 (過去 30 年の気候値データセットの作成)
- ・ 準リアルタイム運用システムの定常運用開始

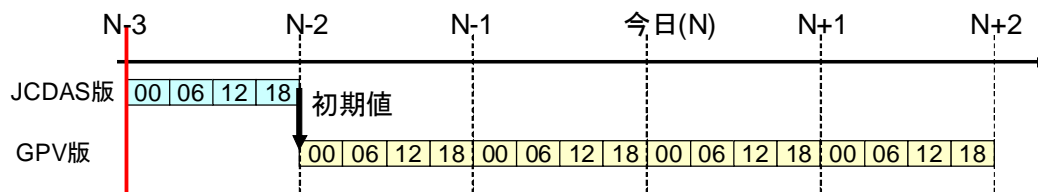


図 1. YEE2 の定常システムの概念

4.2 生態系研究グループ

奈佐原顕郎

1. はじめに

生態系研究グループ（横軸研究グループ）は 2007 年度に開始して以来、以下の 4 つのテーマに取り組んでいる：衛星による日射量の推定、土地被覆分類図の作成、陸域炭素収支解析、サポーター開拓。2011 年度は、それぞれのテーマについて、以下の取り組みを行った。

2. 衛星による日射量（光合成有効放射量 :PAR および、短波放射量）の推定

MODIS や SeaWiFS を用いた、全球の日射量推定プロダクトが、昨年度までにはほぼ完成し、JASMES を通じて公開されている（村上浩）。このプロダクトは徐々にユーザー層を拡大しつつあり、特に生態系プロセスモデル（国立環境研究所の VISIT、名古屋大の BEAMS、福島大・大阪府立大の経験モデル等）や農業モデル（京大）、水文モデル（EORC 水循環研究グループの YEE）に利用されている。一方、このプロダクト、特に PAR の精度検証活動で、検証相手である地上観測の精度向上が求められている。

そこで今年度から、国立環境研究所と共同で、PAR の高精度地上観測を開始した。従来の PAR 計には主に、スペクトル特性に起因するエラーと、コサイン特性に起因するエラーが問題である。そこで、この高精度観測システムでは、分光放射計（英弘精器 MS-700）を 2 台組み合わせ、それぞれ太陽追尾装置と組み合わせて、片方で直達光を正対観測し、もう片方ではシャドウボールによって散乱光のみの条件を作り出して観測する。国立環境研究所で観測していたが、校正基準との比較を容易にするために、2012 年 1 月に高層気象台 BSRN の観測場に移設し、高層気象台の協力を得て、観測を継続している。この測定によって、2012 年度中に、1 年分の PAR 精密継続観測データが得られ、それによって衛星プロダクトを検証し、あわせて、他の地上観測サイトにおける簡易かつ精密な PAR 観測システムを構築・提案する予定である。

3. 土地被覆分類図の作成

土地被覆分類図は、様々なモデル研究や地域研究に必要な基盤情報であり、なおかつ、人為的な影響が大きいため、古典的に、衛星観測に強く期待されるプロダクトである。JAXA には、ALOS による高解像度の観測データが膨大に蓄積されているため、それらを活用した土地被覆図の作成に、日本を対象として取り組んでいる。これまで、2009 年 7 月の初回リリースから、半年ごとにバージョンアップを続けている。

今年度は、JAXA-GISTDA 連携研究で、タイのいくつかの地域について土地被覆分類図の要請があったため、8 月のバージョンアップでは日本を対象とせず、タイの Mun 川流域を対象とする土地被覆分類図を作成・リリースした。また、10 月には、同じくタイのコンケン周辺土地被覆分類図を作成・リリースした。この作成では、筑波大学修士課程の田中健太郎氏・熊谷俊明氏の協力を得た。2 月には、日本域のバージョンアップを行った。

また、土地被覆図の高精度化には、地上教師・検証データの系統的な収集と蓄積が欠かせない。そこで、2012 年 1 月 24 日に、「土地被覆分類図の地上検証情報に関するワークショップ」を開催し

4. 横軸

た（筑波大学春日キャンパス）。

また、今年度は、TRMM/PR を利用した、低緯度地域の森林モニタリングを開始した。PR は降雨レーダーだが、地表面のエコーも観測できるので、陸面研究にも利用されている。本研究では、長年の PR によるデータの蓄積を利用し、植生変動に感度のあるシグナルの探索と、それを用いた低緯度地域の植生経年変動解析を試行的に行った。この解析では、筑波大学生物資源学類の幕田裕貴氏の協力を得た。

4. 陸域炭素収支解析

国立環境研究所・名古屋大学と共同で、衛星と数値モデルを総合的に利用し、陸域炭素収支解析を行なっている。上述の光合成有効放射量プロダクトや、TRMM の降水プロダクト（3B43）を利用している。2011 年度は高分解能化に取り組んだ。

5. サポーター開拓

JAXA の地球観測ミッションを積極的に利用し、成果を出してくれる生態学研究コミュニティをサポートと呼び、彼らとの連携を進めている。その中心は J 連携（JAXA, JAMSTEC, JapanFlux, JaLTER）である。今年度は JaLTER の国際母体である ILTER (International Longterm Ecology Research) の年次総会が 9 月に札幌で開催され、我々は基調講演を行った：

Kenlo N. Nasahara (University of Tsukuba, JAXA) "JAXA's Satellite Program and Commitment for Long-term Ecology"

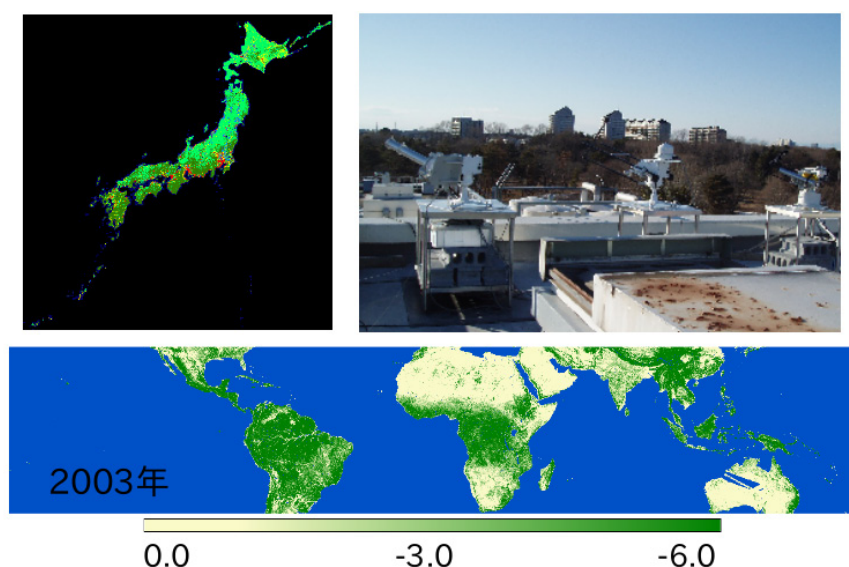


図 1. 生態系研究グループの成果例。左上：高解像度土地被覆図 (ver. 12.02), 右上：PAR 精密観測システム (高層気象台屋上), 下：TRMM/PR による植生分布図 (入射角を制限した γ_0 コンポジット)

4.3 数値気候モデル研究グループ

佐藤正樹・久保田拓志

1. はじめに

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

また雲・降水過程をより現実的に表現しながら地球大気をシミュレーションする、世界最先端の全球雲解像数値大気モデル（NICAM）が、佐藤正樹 RG リーダのグループにより開発されてきた。今後5年後を展望すると、NICAM のみならず世界各国の研究機関で、雲を解像する全球雲解像大気モデル（GCRM）が開発されると予想される。EORC の横軸研究として、ミッション横断的な気候モデル連携プロジェクト研究を立ち上げ、Joint-Simulator を EarthCARE 以外のセンサにも展開し、GCRM と衛星データの連携を推進していく。

2. 今年度の研究成果

Joint-Simulator の他センサへの展開として、ある特定事例のマイクロ波放射計や降水レーダのシミュレーションデータの作成を行った。TRMM/TMI の計算例を図1で示す。図2は、NICAM から計算した輝度温度と TMI 観測輝度温度の海上での比較結果を示す。水蒸気分布と関係が深い 21GHz (v) の輝度温度分布では NICAM と観測がよく対応し、両者の相関係数が 0.80（個数:127704）と高い。一方、降水に関係が深い 19GHz (v) や 85GHz (v) では、相関係数がやや落ち、19GHz の場合は 0.63、85GHz の場合は 0.55 であった。このような解析を発展させるため、Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Triple-Sensor Three-step Evaluation Framework (T3EF) (Matsui et al. 2009) に着目し、松井 俊久博士（NASA/GSFC）から提供を受けた T3EF のツールの分析を行った。今後は NICAM にも適用できるように改良していく。

また岡本創教授（九州大学）よりご提供頂いた CloudSat/CALIPSO データを、EORC 内の計算機に整備すると同時に、端野典平博士（東京大学）からそのための解析ツールのご提供を受け、その内容を確認した。端野博士は1ヶ月分の解析のため、今後、1年分程度に展開する予定。

3. 来年度の計画

CloudSat/CALIPSO や TRMM データを使った GCRM 検証用衛星プロダクトを、1年分程度の期間で作成・整備し、GCRM 検証用衛星プロダクトによる NICAM の検証結果を作成する。加えて、ユーザの利用促進のために、計算や描画などのツールの整備作成し、ホームページを通じて、整備した衛星データ、ツールおよび解析結果を公開する。

4. 横軸

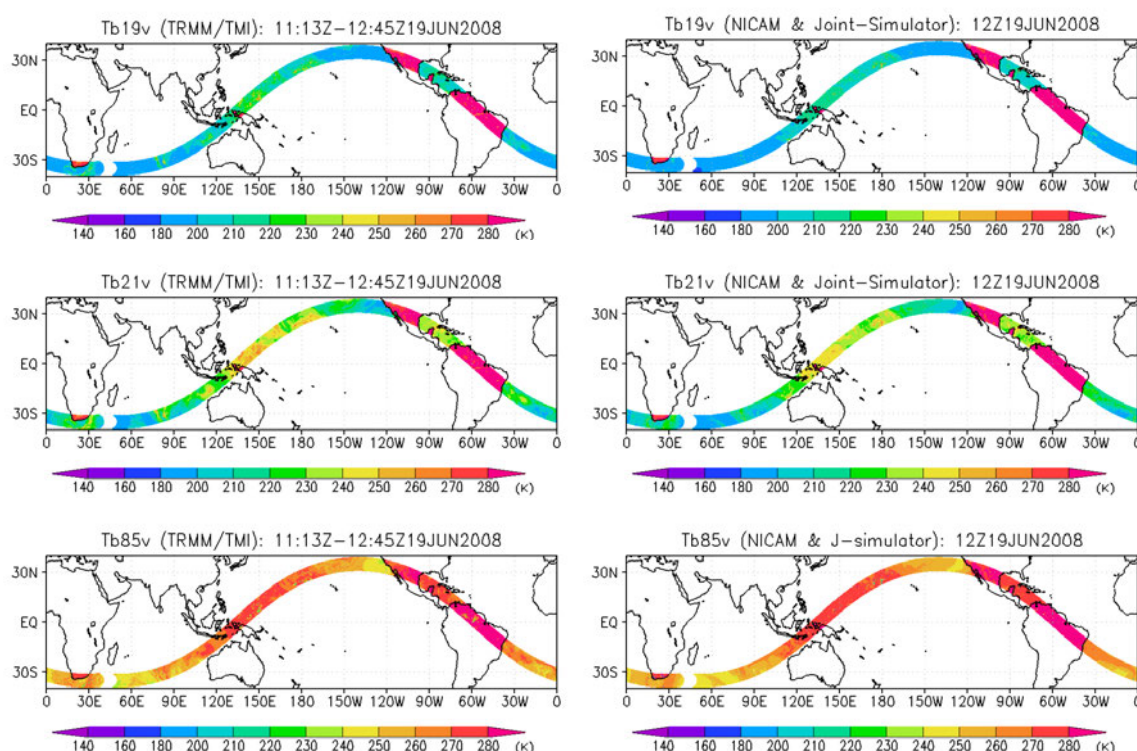


図1. TRMM/TMI 観測値 (左) と衛星データシミュレータ Joint-Simulator を用いて NICAM データ (水平分解能 3.5km, Nasuno et al. 2009) から輝度温度を計算した例 (右)。
上:19GHz(v)、中:21GHz(v)、下:85.5GHz (v)。2008 年 6 月 19 日 12Z の事例。

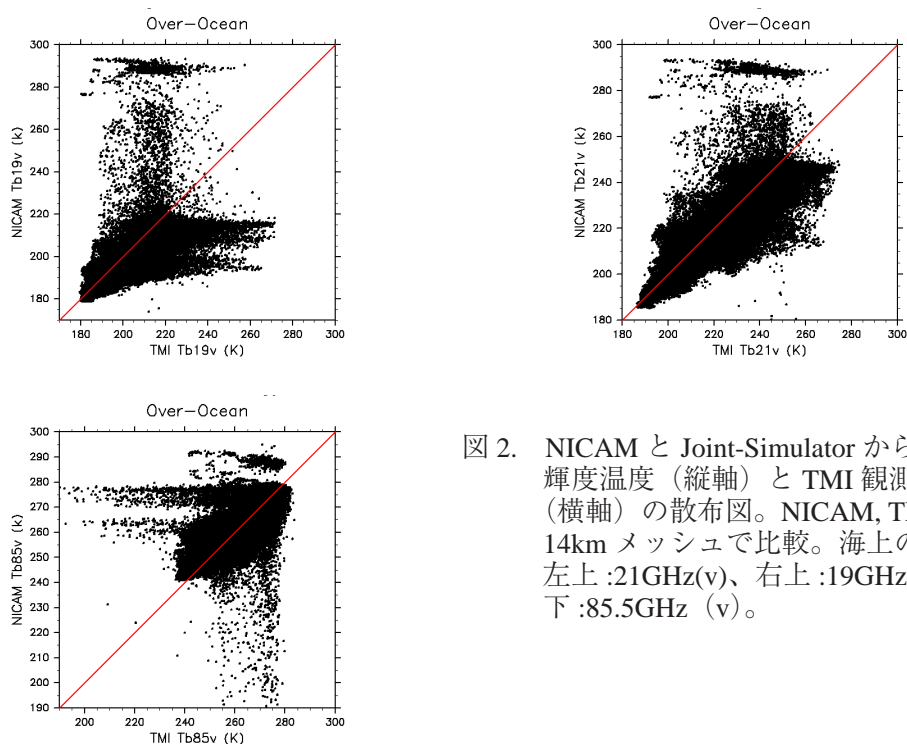


図2. NICAM と Joint-Simulator から計算した輝度温度 (縦軸) と TMI 観測輝度温度 (横軸) の散布図。NICAM, TMI とともに 14km メッシュで比較。海上のみ。
左上:21GHz(v)、右上:19GHz(v)、左下:85.5GHz (v)。

5. *GCOM* 利用研究

5. GCOM 利用研究

5.1 GCOM 利用研究の成果概要

今岡啓治

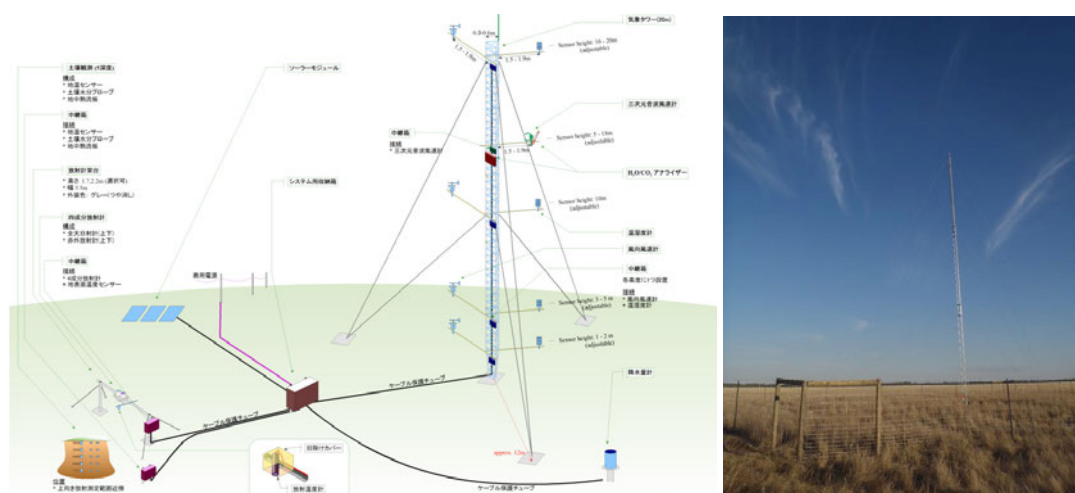
1. はじめに

GCOM 利用研究グループでは、GCOM-W1 と GCOM-C1 のアルゴリズム開発、校正検証、地球科学研究、利用促進などの研究活動を実施した。これらの活動には、その成果を円滑に 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

前年度後半に発出した第 3 回 GCOM 研究公募により選ばれた代表研究者 (PI) によりサイエンスチームを再構成し、アルゴリズム開発や検証研究を進めた。今後、打上げとデータリリースを含む重要な 3 年間の研究を行う予定である。標準アルゴリズムについては、打上げ後に標準プロダクトの処理を行うミッション運用系に対して、前年度に提供し実装されたが、今年度は随時改良を進めるとともに、ミッション運用系の全体試験へ対応した。これらの結果を基に、GCOM-W1 開発完了審査に対応し完了した。現在までの評価で、リリース基準・標準精度の達成見込みを得ている。標準プロダクトの改善と新規研究プロダクトを生成する研究アルゴリズムの研究開発も実施しており、今年度までに研究プロダクト候補の検討を行った。L1 についても、AMSR2 で新たに作成する L1R プロダクトの評価や相互校正手法検討等の準備を進めた。打上げ後の検証準備として、オーストラリア陸面検証サイトに設置する大気境界層・地表面観測システムの整備と試験、および現地設営準備を実施し、今年度末までには完了する予定である。AMSR-E については、L1 幾何補正および高次プロダクトの改良をもとに、プロダクトバージョンアップを実施して精度向上を図った。2011 年 10 月 4 日に AMSR-E はセンサの回転を停止し、データ取得を中断している。現在、AMSR2 との相互校正等のためのデータ取得の可能性を検討しているところである。なお、AMSR-E の特徴的なプロダクトであった全天候海面水温と土壌水分等については、WindSat や SSM/IS による代替処理を円滑に開始し、現業利用へのサービスを継続しており、AMSR2 への接続に備えている。



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。MODIS データを用いた JASMES (JAXA Satellite Monitoring for Environmental Studies) を運用し、日射量、積雪分布、水ストレス傾向、林野火災、NDVI、海色、エアロゾル光学的厚さ、地表面温度、被雲率等の画像とデータ公開を継続した。JASMES データは、積雪分布等の海外食料需給レポート（農林水産省）や空間線量航空機モニタリング（文部科学省等）へ利用された。その他にも、陸域生態系炭素循環や作物収量モデル等へのデータ利用登録が増加中である。長期データセット構築として、1978 年から 30 年超にわたるマイクロ波放射計による長期海水データセットの試作を完了し、学会等での周知を行っており、今後 JASMES Climate として統合していく予定である。AMSR-E は停止中であるが、WindSat を介して AMSR2 へデータセットを接続する予定である。次の長期データセット候補として、積算水蒸気量の作成を検討している。NOAA/AVHRR 長期データ整備として、南極氷床域の Dome-C サイトを利用した相互校正により反射率等の経年変化除去を行い、30 年分のデータセットを構築中である。

関係機関等との共同研究による利用促進を図った。水産総合研究センターとの共同研究を更新し、赤潮監視など水産業・海洋生態系への利用促進を進めた。EORC 側は海色プロダクト改善や陸奥湾等におけるデータ活用事例等の検討を実施した。今後、日本沿岸における GCOM-C1 海洋アルゴリズム改善や検証に必要な基礎データ取得などの協力が期待される。気象庁における新規利用開拓のため、AMSR-E・WindSat 全天候風速、WindSat 海上風ベクトル等の試作と試行提供を継続した。次期の気象庁再解析（JRA55）に入力するための AMSR-E 輝度温度データの提供も開始しており、次年度には解析に加えられる予定である。EORC 側では、雲雨域でのマイクロ波データ同化を更に進展させる検討も実施している。GCOM-C1 については、エアロゾル同化や黄砂モニタ等への利用について、EarthCARE とともに気象研究所との情報交換やエアロゾル推定改善等の活動を実施した。これまでの検討により、従前よりも濃い黄砂条件における算出が改善されている。農林水産省の海外食料需給レポートでは AMSR-E 土壌水分が継続利用され、AMSR-E 停止後は WindSat 土壌水分でのサービスを続けている。今年度から MODIS 積雪分布・地表面温度の利用を新たに開始した。利用者が定常的に用いることができる耕作地監視用の自動処理・掲載ページを構築中であり、MODIS 日射量等の利用も予定している。ウェザーニュース社（WNI）との共同研究による WNI 海水予測モデルの検証も継続した。モデル検証としての AMSR-E データを提供するとともに、検証データの比較的多いアニワ湾での薄氷情報等の新たな可能性を検討した。今年度は日本商船として初めての北極北東航路の利用があり、WNI 社が衛星データも活用した実況・予測情報を提供した。次年度以降は、気象等の他の課題と併せて発展を図る予定である。この他、海上保安庁への海底火山（福徳岡の場）の MODIS 画像の常時提供も実施した。

4. 連携協力・将来計画等

GCOM 固有の研究活動に加え、様々な国内外の活動との連携を図った。国際的な取り組みとしては、地球観測委員会（CEOS）の仮想コンステレーション（VC）活動および校正検証作業部会へ積極的

5. GCOM 利用研究

に参画した。今年度から海面水温 VC が新たに認められ、実施計画の策定等に参加している。次年度、海面水温 VC の科学的母体である高分解能海面水温グループ（GHR SST）の科学会合、および海面水温 VC の第 1 回会合を、気象庁と JAXA の共催により東京で開催する予定である。数少ないマイクロ波全天候海面水温の提供ソースとしての GCOM-W1 と、かつてない高分解能沿岸海面水温を提供する GCOM-C1 により、海面水温 VC へ貢献できると考えている。GCOM に関する NOAA との協力枠組みでは、NOAA からサイエンスチームへ参加するなどの協力を進めている。EORC 内部では、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）データセットの提供を続けて行うとともに、水循環グループの Yesterday Earth for Earth (YEE) では日射・積雪・土壌水分等のモデル出力と衛星観測との比較検証等を行っている。国際北極圏研究センター関連では、森林火災等の衛星情報を IARC-JAXA 研究ディレクトリで提供するとともに、海水関連の研究で貢献した。

将来計画の検討としては、GCOM-W2 に関する新たな協力可能性として、NASA/JPL が提案する Ka/Ku の 2 周波散乱計の搭載に関する科学的な議論を開始した。また、氷雲の全球定量観測により、気候モデル改善等に貢献を目指すサブミリ波放射計については、全球雲解像モデル NICAM データを基にしたリトリバーバル解析や、他センサとのシナジー解析を実施して、想定観測仕様の実現性や周波数選択の検討を進めた。

5. 今後の予定

既に上記でも述べた通り、GCOM-W1 は 2012 年度の早期打上げを目指している。基本的な準備は完了しているが、平成 24 年度内に予定される初画像公開、L1 データ提供、および平成 25 年度早々に予定される高次プロダクト提供と成功基準判定に向けて、アルゴリズム改良等を鋭意進めたい。GCOM-C1 については、今年度から本格的に開始したアルゴリズム統合を更に進め、定量的な精度評価に取り組む予定である。また、次年度の分野共通課題として大気補正を選択しており、今年度同様分野間の議論を通じて、有機的な統合・開発を進めたいと考えている。MODIS や AMSR-E データの利用促進についても、健康・公衆衛生等の新規分野の開拓が必要と考えている。

5.2 AMSR/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

- AMSR-E による海面現象の観測 -

柴田 彰

1. 目的

AMSR/AMSR-E に対する海面水温・海上風速アルゴリズムを維持すると共に、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-E の代替データとして、WindSat から海面水温・全天候風速の算出アルゴリズムを開発し、データを公開する。また、AMSR-E 海面水温を用い、海面現象観測の調査を行う。

2. 平成 23 年度の研究

海面水温・海上風速アルゴリズムに関し、次の作業を行った。

- a. 全天候風速データの観測幅を広げるために、入力データを L1B から L1A に変更し、スキャンバイアスの調査を行った。広げたことで、約 50Km ずつ両側のデータが得られるようになり、台風・ハリケーンの観測頻度を上げることができた。
- b. AMSR-E 停止に伴う代替データとして、WindSat 用の海面水温・全天候風速算出アルゴリズムの調整を行い、データ公開した。
- c. AMSR2 の海面水温・海上風速アルゴリズムについて、開発者 (PI) と実装者 (RESTEC) が異なるため、プログラムの同一を保証する仕組みを作った。

3. 海面現象の観測

AMSR-E 海面水温の利用例として、いくつかの海域で調査を行った。

図 1 は、オホーツク海北部の水温で、左から AMSR-E、Reynolds、両者の差の水温分布図である。Reynolds 海面水温は赤外水温・ブイ水温を元に、1 週間・2 度格子で作られている。サハリン北東の海域に、AMSR-E には低水温域が見られるが、Reynolds には見られない。両者の差は 5℃ 以上になっている。この低水温域は湧昇によって起きていると見られ、冬期の無海水の海域と対応する。類似の湧昇海域は、カナダ沖の Newfoundland 堆、アルゼンチン沖などに見られる。

第 2 の例として、日本東方海域の AMSR-E 海面水温偏差と、JASON 高度計の高度偏差を比較して示す。時期は 2003 年 7 月で、AMSR-E は 2002 年から 2011 年の各月平均値からの偏差で、JASON は NOAA のサイトから取った。JASON から判断される暖水渦と、AMSR-E の高水温域は概ね対応している。黒潮続流域においても、両者は対応している。海面水温が海面下の海況を反映している海域では、AMSR-E 海面水温偏差図は渦の解析に有効と見られる。5 日平均偏差図からは、渦の移動・分離・吸収が見られる。

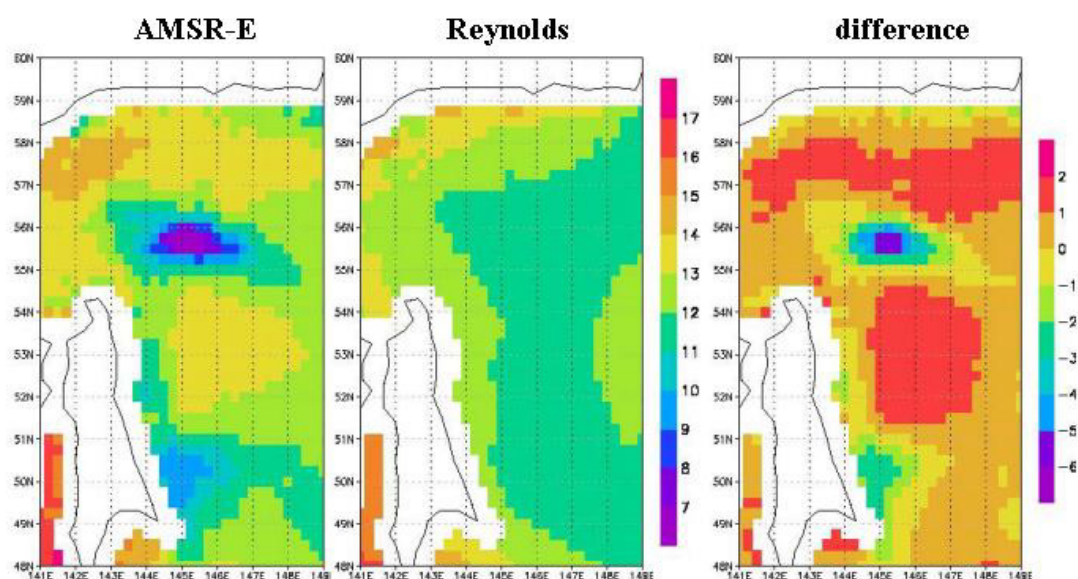


図 1. AMSR-E 及び Reynolds 海面水温と両者の差。2003 年 8 月 27 日前後の 1 週間平均値。

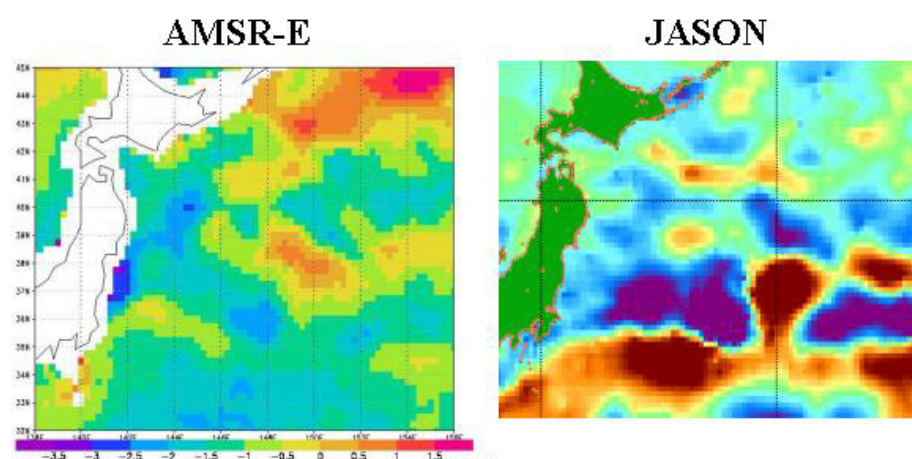


図 2. AMSR-E 海面水温偏差と JASON 高度計偏差。時期は 2003 年 7 月。

4. 平成 24 年度の予定

AMSR2 の実データを評価し、AMSR2 アルゴリズムの中の係数を調整する。

5. 研究発表

- 査読付き論文

A. Shibata, Ocean Wind Speed Retrieval Algorithm using the frequency 36GHz Vertical/Horizontal and 6GHz Horizontal Data of the Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR), Italian Journal of Remote Sensing, 2012 Feb. (in press).

- 口頭発表

Shibata, A., A difference of ocean wind speeds inside of hurricanes and typhoons observed by radiometer and scatterometer, Microrad, Mar. 2012.

5. GCOM 利用研究

5.3 全天候マイクロ波放射計輝度温度データ同化に向けての調査

- 簡易な雲オーバーラップスキームの評価 -

上沢大作

1. はじめに

衛星の輝度温度同化を実現するためには、正確かつ高速な放射伝達計算が必要である。放射計算の誤差の要因のひとつとして、モデルが計算する雲のサブグリッドスケールのバラツキの扱い方が挙げられる。雲域での衛星輝度温度同化の場合、計算時間を考慮すると、モデル内部の放射過程で使用される雲オーバーラップスキームと比べて簡易なスキームが必要となる。本研究では、雲の鉛直構造に関する観測情報を与えてくれる CloudSat データを使って、衛星データ同化での利用に適した、簡易な雲オーバーラップスキームの評価を行った。

2. 方法

複数の雲オーバーラップスキームについて、20km 水平スケール（現在の全球数値予報モデルの解像度を想定）でマイクロ波と赤外の輝度温度を計算して評価を行った。CloudSat データ（水平解像度 1km; 2B-CWC-RO プロダクトを使用）の連続する 20 プロファイルを、仮想のグリッド（水平解像度 20km 相当）とみなし、20 のプロファイルから独立に計算した輝度温度を平均した値を「真値」とする（独立カラム近似）。一方、仮想グリッドの格子平均雲水量・雲氷量および雲量を、20 プロファイル平均の雲水量・雲氷量および 20 プロファイル中に雲水または雲氷が存在する割合から決める。この格子平均の雲水量・雲氷量および雲量から、それぞれの雲オーバーラップスキームに基づいて、格子平均輝度温度を計算する。これを「真値」と比較した（図 1）。また、実観測データとの比較として、CloudSat とともに A-Train を形成する Aqua 衛星に搭載されたマイクロ波放射計 AMSR-E（37GHz では水平解像度 14km）および可視赤外放射計 MODIS データ（CloudSat とマッチアップされた MODIS-AUX プロダクトを使用）との比較も行った。

3. 結果

20km 水平スケールのマイクロ波シミュレーションでは、鉛直方向に重み付けした雲量を用いる簡易な 2 カラムスキーム（RTTOV のマイクロ波散乱コード SCATT で採用されているスキーム；Geer et al. 2009）が 1km 解像度の CloudSat データを使って計算した「真値」と良い一致を示す（図 2）。AMSR-E 輝度温度と比較した結果も、マイクロ波輝度温度同化における 2 カラムスキームの利用がリーズナブルであることを示す。また、赤外シミュレーションの場合、マイクロ波と比べて計算精度は良くなく、簡易な 2 カラムスキームでは不十分であることが分かる。

参考文献

Geer, A. J., P. Bauer, and C. W. O' Dell (2009). A revised cloud overlap scheme for fast microwave radiative transfer. *J. App. Meteor. Clim.* 48, 2257–2270.

関連する外部発表

上沢 (2011). Verification of cloud overlap parameterization schemes for satellite radiance assimilation by using CloudSat data. 日中韓気象学会共催国際会議, プサン.

上沢 (2011). CloudSat データを利用した簡易雲オーバーラップスキームの評価. 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 名古屋.

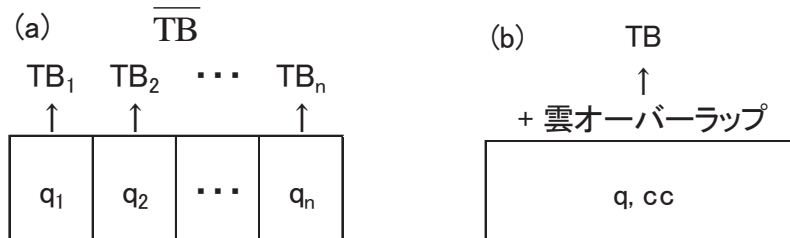


図 1. 評価手法の概念。

- (a) サブグリッドスケールの雲水データを使ってサブカラムの輝度温度を独立に計算し、平均を取る。これを「真値」とする。
 (b) サブグリッドスケールの雲水データからグリッド平均の雲水データと雲量を求め、雲オーバーラップの仮定に基づいてサブグリッドスケールのばらつきを考慮した輝度温度を計算する。これを (a) の「真値」と比較する。

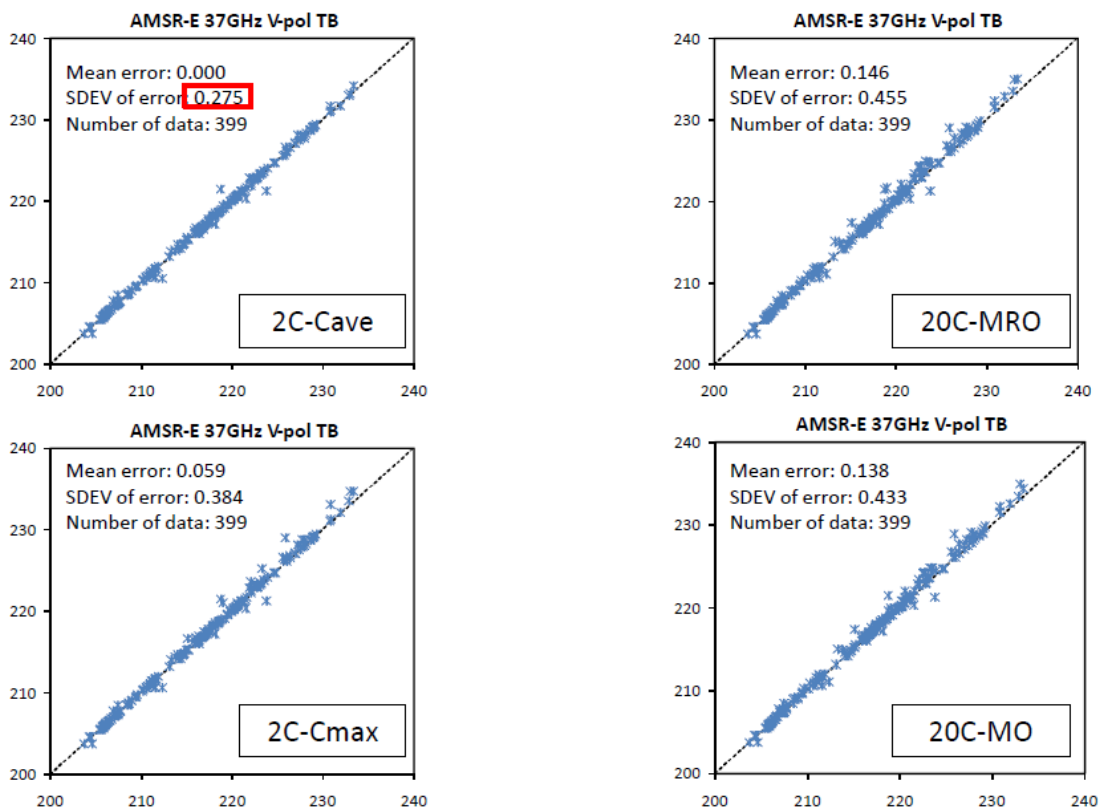


図 2. AMSR-E の 37GHz 垂直偏波輝度温度のシミュレーション結果の例。

CloudSat データ 1 軌道分（ただし南緯 60 度～北緯 60 度）より。横軸が「真値」、縦軸が雲オーバーラップスキームを使った計算値。2 種類の簡易 2 カラムスキーム（Cmax と Cave）、マキシマムランダムオーバーラップスキーム（MRO）、およびマキシマムオーバーラップスキーム（MO）の結果。この例では厚い雲域や雨域のデータが極めて少ないことに注意。

5.4 AMSR2 土壌水分プロダクトの開発

藤井秀幸

1. はじめに

陸域地表面の水分量は、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、土壌水分などの陸面水分量は、地表面の熱収支と密接に関連し、また、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。衛星を用いたマイクロ波リモートセンシングは“水”に感度を有し、グローバルな陸面水分量のモニタリングに有効な手段である。これまで AMSR-E の土壌水分プロダクトは、気象数値モデル研究などの気象・水文研究や、大規模耕作地帯の土壌水分監視などで利用されており、GCOM-W1/AMSR2 でも標準プロダクトとして定義されている。本研究では、主に土壌水分アルゴリズムの開発について報告する。

2. アルゴリズムの概要と問題点

陸域には植生が広く分布する。植生には多くの水分が含まれるため、衛星データから土壌水分量を推定するためには、マイクロ波放射伝達における植生の影響を評価することが不可欠となる。標準プロダクトの土壌水分アルゴリズムでは、10GHz 帯と 36GHz 帯の輝度温度から求まる、偏波指標 PI と周波数指標 ISW を用いてルックアップテーブル (LUT) を参照し、土壌水分と植生水分を同時に推定する方法を採用している。PI と ISW は、それぞれ、偏波差と周波数差を平均値で除した値で定義され、正規化することによって物理温度の影響が少ない特徴をもつ。そのため、アルゴリズムでは物理温度を固定値として処理を簡略化している。しかし、実際には PI と ISW は温度依存性を有し、特に、周波数差を利用する ISW は、観測周波数帯によって侵入深さが異なることから、地表面付近の地温プロファイルの影響をうけ、土壌水分推定の誤差要因となっていた。また、モデルの各パラメータを全球一律としていることも問題となっている。

3. アルゴリズムの改良

昨年度実施した改良では、地温プロファイルを考慮するために、地温推定スキームを組み込んだ土壌水分アルゴリズムを開発した。モンゴルサイトで検証した結果、良好な結果を得ている。しかし、今年度、全球に適用して評価した結果、地域や季節によって誤推定が多く見られたため、さらに、下記の改良を行った。

- 1) 指標・周波数帯の変更 ; PI10GHz-PI18GHz アルゴリズムおよび PI6GHz-PI10GHz アルゴリズムの検討
- 2) 放射伝達モデルの改良 ; 密な植生域の導入、および、地表面粗度モデルの変更
- 3) 粗度パラメータの推定手法の開発 ;
- 4) GCOM-W1/AMSR2 L1R の採用

まず、地温プロファイルの影響を受けにくい低周波数帯に変更したことに加え、温度依存性の小さい偏波指標 PI のみを使用することにより、アルゴリズムの安定性が向上した。次に、基本となるマイクロ波放射伝達モデルを高度化するとともに、これまで定数としていた粗度パラメータを変数

とし、その推定手法の開発を行った。また、AMSR2 にて新しく定義された L1R(各周波数帯のフットプリントの中心緯度経度とサイズを一致させた輝度温度プロダクト) を採用することにより、フットプリントの違いに起因する誤差を軽減した。

4. 推定結果

推定結果の一例として、図 1 に、モンゴル検証サイト BTS 地点における推定結果と、深度 3cm における土壌水分と地温および日雨量の観測データを示す。AMSR-E 推定結果は、土壌水分のほか、植生水分量と地温のデータも示している。土壌水分は、降水時に地上データに比べて過大に推定される傾向があるが、変化のタイミングが一致し、乾燥時の過大推定の傾向が改善されている。また、植生水分と地温に関しても、AMSR-E 推定値は季節変化の様子を良くとらえている。

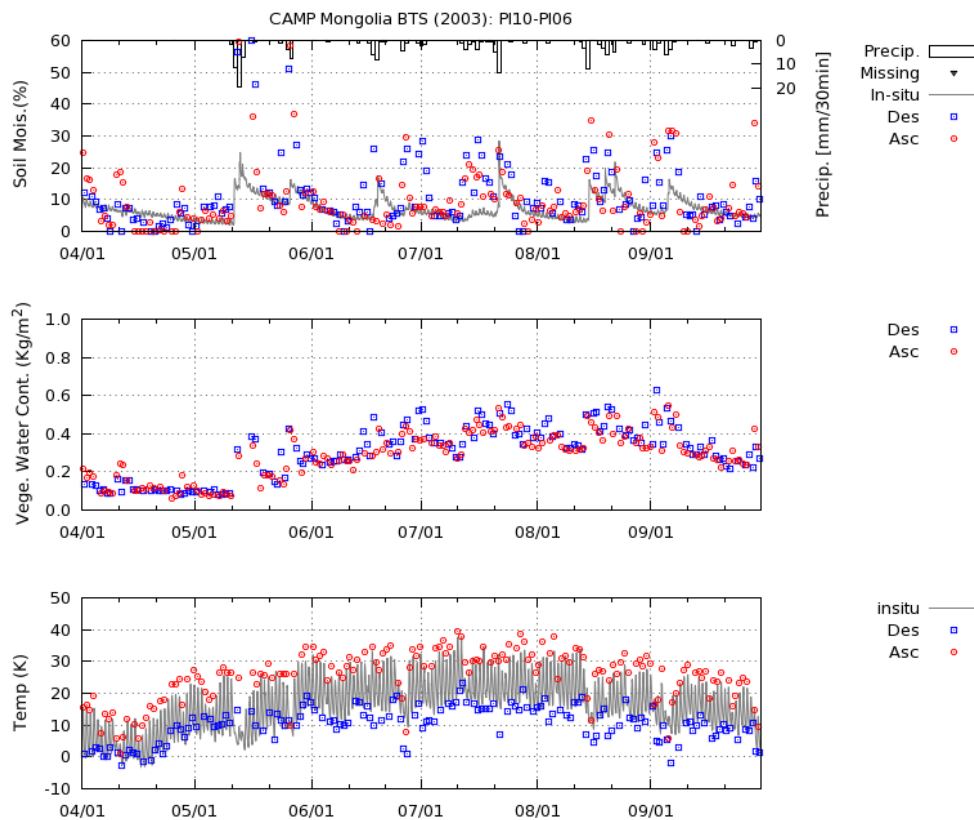


図 1. モンゴル検証サイト BTS 地点における改良アルゴリズム (PI06GHz-PI10GHz) による推定結果 (2003 年 4 月 ~10 月): 上から順番に、土壌水分および日降水量 (棒グラフ)、植生水分量、地温。赤と青のプロットは、それぞれ、上昇軌道と下降軌道の推定結果。

5. おわりに

発表では、アルゴリズム開発のほか、プロダクト検証と応用研究に関する本年度の活動についても紹介する。

5.5 薄い海水のマイクロ波輝度温度特性

直木和弘

1. はじめに

雪氷圏は、地球上で温暖化の影響を顕著に受け、世界各地で融解が始まっており、その実態把握が急務になっている。海水は、2007 年 9 月に、北半球の海水面積が 1978 年の観測以来最も減少した。その後、夏季の海水面積は増加傾向にあったが、2011 年 9 月には、2007 年の最小値に迫るまで減少した。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が、正確な雪氷圏の将来予測を行うためには、海水変動を正確に観測することが必要である。海水は、海流や風の影響を受け移動する。また、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。特に薄氷域は、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接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。これらのことから薄氷域の推定は重要である。

衛星データからの海水厚推定は、主に高度計を用いて行われているが、観測頻度が低いことや、観測期間が短いため、長期にわたる変動の把握には、マイクロ波輝度温度が有効である。マイクロ波輝度温度を用いた海水厚推定は、海水の塩分濃度が高いため困難である。しかし、海水表面の塩分濃度は、海水の成長に伴い析出され徐々に減少する。そのため海水表面の塩分濃度と厚さの間には関連があることをこれまでに観測してきた。しかし、薄い海水の輝度温度観測は、観測機器や観測条件の制約などから、これまでにほとんど観測されていない。そこで、本研究では、薄い海水のマイクロ波輝度温度特性を明らかにすることを目的とし海水観測を実施した。

2. 海水観測

海水観測は、北海道オホーツク海沿岸に位置するサロマ湖において実施した。サロマ湖は、2つの湖口でオホーツク海と接続している塩水湖である。サロマ湖には、河川水も流入しており塩分濃度が場所によって異なる。そのため、塩分濃度が 33ppt となる場所を選定した。薄氷は、既に成長している海水を切り出し、人工的に開放水面を作成し観測した。

海水のマイクロ波観測は、三菱電機特機システム株式会社製のマイクロ波・ミリ波放射計 (MMRS2) の 18GHz と 36GHz を用いた。観測は、海水面から 80cm の高さから実施した。この高さでの観測視野は、入射角 0 度で約 14cm の範囲を観測し、AMSR-E・GCOM-W の観測入射角である 55 度では、短径が約 14cm で長径が 43cm である。そこで、実験用プールは、高い入射角の場合にも薄い海水を観測するよう 1m × 2.5m の大きさとした。今回の観測で使用した MMRS2 は、単偏波のみ観測可能である。そのため観測は、まず実験プールの海水を取り除き、開放水面の状態で両周波数の垂直偏波を測定後、再度海水を取り除き水平偏波の輝度温度を測定した。その後、各周波数帯共に水平偏波の輝度温度を連続観測し、約 30 分毎に垂直偏波の輝度温度を測定することによって薄氷のマイクロ波輝度温度を観測した。

3. 結果及び考察

図 1(A) は、開放水面から観測終了時刻までの水平偏波の輝度温度の観測結果を示している。また図 1(B) は、同じく、開放水面から観測終了までの垂直偏波の輝度温度の観測結果を示している。図中の数値は、各観測時刻において、実験プールに穴を開け測定した海水の厚さを示している。観測は、4 時 13 分に開放水面の垂直偏波の輝度温度を観測し、4 時 18 分に開放水面の水平偏波の輝度温度を観測し、その後輝度温度観測を継続した。18GHz の開放水面の輝度温度は、水平偏波が 94.4K、垂直偏波が 178.4K であった。また、36GHz の開放水面の輝度温度は、水平偏波が 121.8K、垂直偏波が 207.4K であった。その後、輝度温度は両周波数、両偏波ともに時間経過と共に上昇し、観測終了時には 18GHz の水平偏波の輝度温度が 164.3K、垂直偏波の輝度温度が 239.9K、36GHz の水平偏波の輝度温度が 211.5K、垂直偏波の輝度温度が 260.5K であった。海水の厚さは、5 時 53 分には 5mm、6 時 29 分には 10mm となり観測終了時の 6 時 56 分には 12mm となった。また、観測終了時の 12mm の海水サンプルの塩分濃度は 25ppt であった。表面温度は、開放水面は -1.9℃、4 時 55 分には -2.3℃、6 時 53 分には、-3.2℃であった。

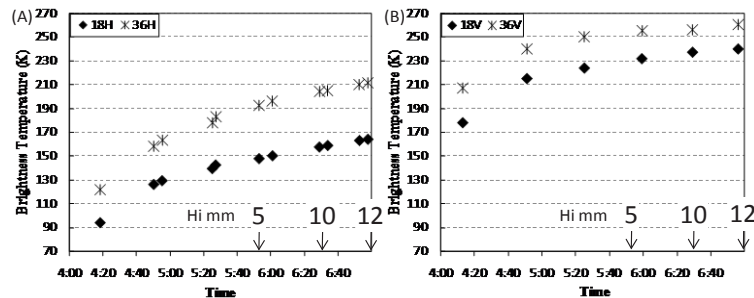


図 1. 海水の厚さに対する輝度温度観測結果

水平偏波は、両周波数とも成長に伴い輝度温度が上昇することが分かった。特に 18GHz では観測終了時に 164.3K であり、さらに成長するに従い上昇することが予想される。垂直偏波の輝度温度は 36GHz において顕著にみられるように成長に伴う輝度温度の変動は、生成後早い時刻で一定になることが分かった。本観測から、水平偏波の輝度温度が薄い海水の厚さ推定に適していることが示唆された。また、薄い海水域における海水の有無は垂直偏波の輝度温度が有効であることが分かった。

観測した観測輝度温度特性を考察するために、開放水面及び薄い海水の輝度温度を計算し比較を行った。観測した輝度温度は、海水面や海水表面から射出された輝度温度、および大気からの下向き放射が各表面で反射された輝度温度を観測している。輝度温度の解析は、生成直後の海水の表面塩分濃度は非常に高いため、表面からの放射が支配的であると考えられることから、海水表面からの射出を推定した。推定に用いた海水の誘電率は、海水をブラインと氷の混合体とした推定式を用いた。また、海水の厚さは、これまでの観測で得られた海水の表面塩分濃度と厚さの関係を用いた。表 1 は、海水面の観測結果と解析結果を示している。観測結果との差は、18V で 3K、18H で 9K、36V で 23K、36H で 6K となった。この結果から、両者は良い一致を示し観測輝度温度の信頼性を確認できた。図 2 は、海水厚 1mm から 20mm の解析結果を示している。海水からの輝度温度計算は、海水の温度は -2℃ から観測時の最低気温の -4℃ とし推定した。18GHz 水平偏波では、0.5cm の観測輝度温度が 148K であった。図中の 148K の分布では、-3℃ の時厚さ 0.5cm であり、取り得る海水温度

内に収まっていることが分かった。さらに、厚さ 1.2cm の海水の観測輝度温度は、164K であったが、同じく図中の 164K の分布では、解析結果は -3.5°C となった。観測時の気温は常に -10°C 以下であり、海水の成長に伴い海水温よりも海水表面温度の影響を受け、海水の温度も低下していることが考えられ、観測輝度温度と一致する温度が低下したと考えられる。

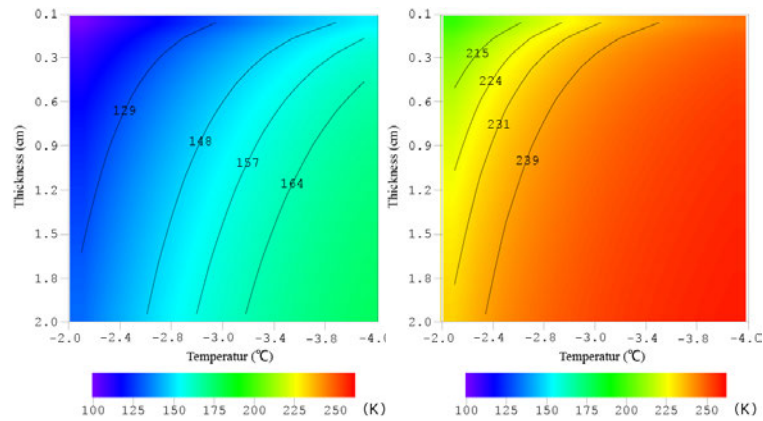


図 2. 薄い海水の輝度温度推定結果 左 18GHzH 右 18GHzV

4. まとめ

サロマ湖において実験プールを作成し、海水の成長に伴う輝度温度観測を実施した。観測の結果、36GHz 水平偏波の輝度温度は生成後早い段階で飽和することが分かった。このことから海水の有無を判別するために有効であることが分かった。また、18GHz の水平偏波の観測輝度温度と解析した輝度温度の比較から、観測時の条件の範囲内に観測輝度温度を推定することが分かった。このことから、薄い海水の 18GHz 水平偏波の輝度温度特性を再現できることが分かった。本解析によって、薄い海水域をマイクロ波放射計の輝度温度を用いて推定可能であることが示された。

5.6 AMSR-E/AMSR2 L1R プロダクト生成プログラムの検証と

輝度温度からの大気 / 地表面由来放射の分離

前田 崇

1. はじめに

周知のように、適切な周波数のマイクロ波を使って地球表面を観測すれば、大気粒子（雲や雨）による悪影響を受けずに地球表面からの放射を捉えることができる。このことは、地球の大気を構成する物質が持つ周波数応答の特性上、可視や赤外など、他の周波数帯の放射計が決して持ちえない特長であり、この点だけ見てもマイクロ波放射計による衛星観測には大きな意義がある。

ただ、現在の技術水準ではマイクロ波放射計の空間分解能は可視や赤外域のセンサに比べて圧倒的に悪い。これは現時点におけるマイクロ波放射計観測の致命的な欠点である。現在、地球圏診断委員会において、50 年後を見据えた将来衛星ミッションの議論が行われているが、将来、軌道上に数 100 m~ 数 km のアンテナを設置できる技術が確立され、現在の可視や赤外域のセンサに匹敵する数 10~ 数 100m の空間分解能で地球表面を観測することができれば、マイクロ波放射計による衛星観測は、少なくとも受動観測の中では最も強力な地球観測の手段になると確信している。その意味で、マイクロ波放射計による衛星観測には今なお大きな可能性が秘められていると言える。

現時点において、粗い空間分解能という致命的な欠点があるマイクロ波放射計観測であるが、空間分解能が粗いなりにも、観測データの中には雲や雨の下での地球表面からの放射は確かに含まれている（理論上、可視や赤外域のセンサの観測データにはこのような放射は含まれない）。そのような放射が含まれている以上、解析手法を工夫することでこれを抽出し、評価することができるはずである。この放射を定常的に評価することで、これまで利用が想定されてこなかった、全く異なる種類の観測対象に対して、マイクロ波放射計データの有用性を示すことが期待される。

これまで数年間、このような思想に至る過程の中で AMSR-E データの解析を行い、不十分ながらも新たな知見を世に示すことができた (IEEE TGRS 46, 9, pp. 2684-2691, 2008 および 48, 4, pp. 1768-1776, 2010)。これまでの研究で得た知見を踏まえ、今年度からはこの思想を具現化する——高い空間分解能を実現するアンテナは未だ存在しないが、その代わりとして、データ解析技術を駆使して粗い空間分解能を補償し、定常的に地球表面からのマイクロ波放射を評価できる解析手法を実現する——ための研究に着手することとした。

ところで、AMSR2 のレベル 1 標準プロダクトには、AMSR-E にあったレベル 1A(L1A)・1B(L1B)に加えて、レベル 1R(L1R) プロダクトが新たに追加された。AMSR-E・AMSR2 では各観測周波数の一次放射器の向きと配置の関係で、1 回の回転で観測された輝度温度であっても、それに対応する観測位置は周波数毎に異なる。同様に、ビーム幅の違いにより、フットプリントのサイズもまた周波数毎に異なる。L1B プロダクトでは、周波数間における観測位置とフットプリントの差異を残したまま、各周波数の輝度温度データが格納されている。一方、新たに追加された L1R プロダクトでは L1B プロダクトを入力とし、任意の 2 周波間の観測位置とフットプリントが共通化（リサンプリング処理）され、それに合わせて数学的に輝度温度データも補正される。現状では AMSR2 用に L1B-L1R プロダクト変換プログラム（コンバータ）が既に開発され、AMSR-E の L1B プロダクトに対する適用が試みられている段階にある。今年度は先に述べた研究活動に加えて、L1B-L1R プロダクトコンバータによる処理結果の妥当性の検証も並行して行うこととなった。

当初これら 2 つの作業は互いに独立しているように見えたが、作業を並行して進めていくにつれて、L1R プロダクトを生成する概念を更に発展させることで、マイクロ波放射計の粗い分解能を補償できる可能性が強く示唆された。このことから、来年度以降に向けて、これら 2 つの作業を統合し、両者とも発展させる方針で今年度の作業を進めた。

5. GCOM 利用研究

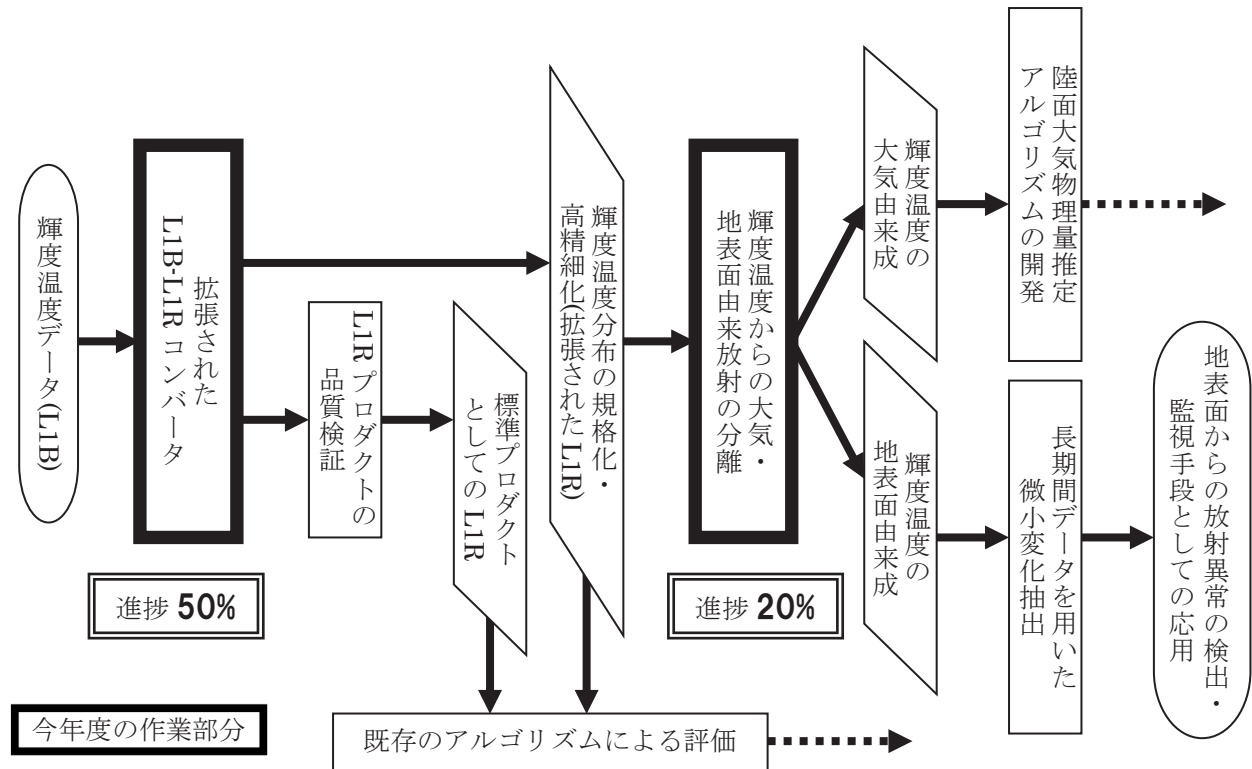


図 1. 全体の研究計画

2. AMSR-E/AMSR2 L1B-L1R プロダクトコンバータの検証と拡張

任意の 2 周波間で観測位置とフットプリントを共通化し、それに合わせて輝度温度を補正する L1B-L1R プロダクトコンバータの技術的な核心は、複数の観測位置のフットプリント (アンテナパターン) を適切な比率で合成して、所望の位置に所望の大きさのアンテナパターンを生成する部分にあり、これは Backus-Gilbert 法によって実装されている。Backus-Gilbert 法は制御分野で逆問題を解く手法として 1970 年代初頭から知られており、1978 年に Stogryn によって初めて、所望の位置に所望の大きさで設定したアンテナパターンを与えるような、元のアンテナパターンの合成比率を求める逆問題を解くために応用された。以来 Backus-Gilbert 法によるアンテナパターンの合成については、多くの研究実績が蓄積されており、理論的には既に成熟した段階にある。アンテナパターンの合成に関する Backus-Gilbert 法は、次のように要約される。

N 個のアンテナ G_i のアンテナパターン $G_i(\rho)$ ($i=1..N$, ρ : 位置) を合成比率 a_i で合成して、所望の位置に所望の大きさで別のアンテナ F のアンテナパターン $F(\rho)$ を得ることを考える。前提条件として、各アンテナパターンを合成して得られた総利得は 1 に規格化しておく。すなわち、

$$\iint_A \sum_{i=1}^N a_i G_i(\rho) dA = 1, \iint_A F(\rho) dA = 1$$

としておく。 a_i を求めるにあたり、任意の場所における元のアンテナパターンの合成利得 $\sum a_i G_i(\rho)$ と所望のアンテナパターンの利得 $F(\rho)$ の差 (の二乗和) を全体として最小にする、すなわち、

$$\iint_A \sum_{i=1}^N [a_i G_i(\rho) - F(\rho)]^2 dA$$

を最小にすることを考えると、 a_i は以下の式によって与えられることとなる。

$$\mathbf{a} = \mathbf{V}^{-1} \left[\mathbf{v} + \left(\frac{1 - \mathbf{u}^T \mathbf{V}^{-1} \mathbf{v}}{\mathbf{u}^T \mathbf{V}^{-1} \mathbf{u}} \right) \mathbf{u} \right] \quad (1)$$

$$\mathbf{V} = \mathbf{G} + \kappa \mathbf{I} \quad (2)$$

$$u_i = \iint_A G_i(\rho) dA \quad (3)$$

$$v_i = \iint_A G_i(\rho) F(\rho) dA \quad (4)$$

$$G_{ij} = \iint_A G_i(\rho) G_j(\rho) dA \quad (5)$$

u_i はアンテナ G_i の総利得、 v_i はアンテナ G_i から見たアンテナ F の総利得、 G_{ij} はアンテナ G_i から見たアンテナ G_j の総利得である。 κ は、合成されて得た F のアンテナパターンの滑らかさを規定するための係数であり、現在の L1B-L1R プロダクトコンバータでは 0.0004 に設定されている。最終的に、アンテナ F で観測される輝度温度は、「アンテナ G_i で観測された輝度温度を a_i に応じて比例配分したもの」となる。

理論的には既にここまで明らかであるから、AMSR-E・AMSR2 の周波数 f_1 を観測するアンテナを G_i 、周波数 f_2 を観測するアンテナを F として式 (1) を計算すれば、「周波数 f_1 をアンテナ F で観測した場合に得られるはずの輝度温度」を数学的に正しく求めることができ、異なる周波数間の輝度温度を同一の観測条件で比較できるようになる¹。このことが L1R プロダクト導入の意義である。

しかし、計算機には離散データしか扱えないという特性がある。この特性を十分に理解した上でアンテナパターンデータをメモリ上に適切に配備し、適切な数値計算アルゴリズムを選択してプログラムに実装しない限り、計算機上で得られた結果の精度と計算時間のバランスは著しく悪化する。事実、現在の L1B-L1R プロダクトコンバータでは、周波数 f_1 の複数の輝度温度データを、周波数 f_2 の 1 つの観測位置・フットプリントサイズに補正する合成比率の算出に 30 分～1 時間を要している。従って、AMSR-E 1 パス分の 6GHz 以外の 6 つの周波数 (10, 18, 23, 36, 89(A), 89(B)) の輝度温度データを 6GHz の観測位置・フットプリントサイズに補正する場合、

$$196(\text{観測点/スキャン}) \times 4000(\text{スキャン/パス}) \times 6 \text{ 周波数} \times \text{所要時間 30 分} \div 268.5 \text{ 年}$$

もの時間を要することになり、これではとても実用に耐えられない。このため現時点においては、地球表面に対する AMSR-E の姿勢が一定であるとみなし (実際は異なるが)、1 スキャン分 196 点について合成比率を求め、それを他のスキャンに対して流用している状況である (それでも計算に 1 ヶ月を要する!)。出力結果の妥当性を検証する、あるいは衛星の姿勢の変化が処理結果に与える影響を調査する際には、パラメータを様々に変化させて式 (1) を繰り返し適用する必要性が生じるが、作業に着手した時点では、とてもそのような検証は不可能であった。

このため、まず現在の L1B-L1R プロダクトコンバータのソースコードを解析し、多くの計算資源を消費している部分を特定する作業を進めた。その結果、計算資源を消費している部分は特定できたものの、アンテナパターンデータをメモリ上で保持するコンバータの根幹部分に致命的な問題があることが判明した。このことから、改めてコンバータの再設計・再実装を行い、現時点までに、計算精度を維持した状態で、1 つの観測点への合成比率の算出に要する時間を大幅に短縮することに成功した。発表ではコンバータの再設計・再実装の詳細を示す。

¹ 現時点では $f_1 > f_2$ 、すなわち小さなアンテナパターンを合成してより大きなアンテナパターンを生成しているが、超解像処理である $f_1 < f_2$ の場合も検討の余地があるかもしれない。

3. 輝度温度からの大気 / 地表面由来放射の分離

一般的に、衛星観測データによる物理量の推定では、以下の段階をたどる。

- (1) 地球表面の物理量を軌道上の衛星で輝度温度として観測する。
- (2) 物理量が軌道上の衛星で輝度温度として観測される過程をモデル化する。
- (3) 構築したモデルを計算機に実装し、このモデルから観測された輝度温度を物理量に逆変換して推定結果とする。
- (4) 推定結果と地上観測結果を比較・検証する。この検証結果を (2) にフィードバックする。

それぞれの段階に遷移する際には誤差が発生し、各々の誤差が全体に及ぼす影響の程度、低減の難易度は異なる。物理量が軌道上の衛星で輝度温度として観測される過程をより厳密に表し、(1) から (2) に遷移する際の誤差を、どこまで低減できるかが物理量推定アルゴリズム開発の本質とも言える。しかし、(2) から (3)——モデルを計算機に実装する過程においても、その方法をよく検討しなければ、予期しない誤差を生む原因となりえる。ただ、この誤差は実装の工夫によってかなり低減できる (= 厳密にモデル通りに実装できる) と考えられ、推定誤差の大部分が (1) から (2) に遷移する際に発生していることを結論付けるためにも、計算機へのモデルの実装は、一切の簡略化を排して完全に行うべきであると考えている。

このような思想に立ち、以下の放射伝達モデルを眺める。

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \quad (6)$$

$$T_1 = e T_0 \alpha \quad (7)$$

$$T_2 = (1-e) T_i \exp \left[- \int_0^\infty a(z) \sec \theta dz \right] \alpha \quad (8)$$

$$T_3 = (1-e) \int_0^\infty T(z) a(z) \exp \left[- \int_0^z a(z') \sec \theta dz' \right] \sec \theta dz \alpha \quad (9)$$

$$T_4 = \int_0^H T(z) a(z) \exp \left[- \int_z^H a(z') \sec \theta dz' \right] \sec \theta dz \quad (10)$$

$$\alpha \equiv \exp \left[- \int_0^H a(z) \sec \theta dz \right] \quad (11)$$

式 (6) 中の T が (AMSR-E・AMSR2 によって) 観測される輝度温度であり、これは T_1 : 地表面からの放射、 T_2 : 地表面で反射した宇宙背景放射 (T_i)、 T_3 : 地表面で反射した大気の下向き放射、 T_4 : 大気の上向き放射 によって構成される。また式中の θ : 衛星の入射角、 e : 地表面の放射率、 T_0 : 地表面温度 [K]、 $T(z)$: 気温の高度プロファイル [K/km]、 $a(z)$: 大気による吸収係数の高度プロファイル [1/km] である。

輝度温度と所望の物理量の相互変換を行うには、様々なパラメータに対して放射伝達式 (6) を計算し、ルックアップテーブルを構成することが重要になるが、 $T(z)$ や $a(z)$ は通常非線形関数であり、式 (8) や (9) にはそのような非線形の $a(z)$ を被積分関数とする二重積分も存在する。このため、従来は $T(z)$ や $a(z)$ を線形関数で近似して積分計算を行うといった簡略化が行われてきた。

一方本研究では、モデルを計算機に実装する際の厳密性を追求するという方針により、 $T(z)$ や $a(z)$ を非線形のまま扱うこととし、特に $a(z)$ には Rosenkranz モデルによる O_2 、 N_2 、 H_2O (水 + 水蒸気 + 氷) の吸収特性を厳密に実装した。この場合、通常の方法では二重積分は時間がかかりすぎて計算できないという問題が発生するが、実装の工夫により十分な精度で二重積分を計算することに成功した。本発表では計算過程の詳細と今後の展開について述べる。

5. GCOM 利用研究

5.7 GCOM-C1 アルゴリズム開発と利用研究

村上 浩

1. はじめに

本研究の最終目標は GCOM-C1 のアルゴリズムの開発（特に主担当となっている大気補正や PAR やクロロフィル a 濃度等）を行うと共に、利用研究を先行的に実施することにより、GCOM-C プロダクトの効果的な利用手法の確立と利用価値の向上を図ることである。このうち 2011 年度においては主に以下を実施した。

- (A) 公募研究者間で共通部分である雲識別手法開発の連携推進
- (B) 開発したプロダクトを活用し、水産共同研究と連携した環境変動解析
- (C) 陸域大気補正（や PAR 推定）に適した地表面反射率モデルの開発

(A) においては、雲識別ワークショップ (2011 8/25-26) を開催し、各分野で雲識別に関係する PI 間の情報交換と雲識別手法の知見集約の方針を決めると共に、個人としては、熱赤外と可視波長域に対する雲の影響の違いを、放射伝達シミュレーションを用いて検討・発表した。(B) については、日本海洋学会秋季大会の自由集会「衛星観測システムの基盤技術開発 - 海洋生態系研究への応用と水産業への利用を目指して -」(2011/09/29) を中央水産研究所と共催すると共に、水研-JAXA 研究報告会(2012/02/21)を開催し、東北沖変動・GCOM-C 準備等の情報交換や具体的な解析要望への対応を行った。また、昨年度開発した沿岸域の水中光学特性推定を MODIS 準リアル 500m 処理に反映し、外部ユーザによる試用や検証を可能とした。(C) に関しては、CNES-JAXA 連携の中で提供された地表面反射率関数 (BRF) モデルを利用し、MODIS の 10 年程度のデータから 5km 画素毎の BRF テーブルを作成した。大気補正ではエアロゾルによる大気の透過率の推定が鍵となるため、気象研究所とのエアロゾルデータ同化検討の議論とも関連付けて、黄砂の発生源であるゴビ砂漠周辺のエアロゾル推定への BRF テーブルの応用を試みた。以下では陸域大気補正に向けた研究として、この BRF テーブル作成とゴビ砂漠周辺エアロゾル推定について紹介する。

2. 方向性地表面反射率モデルを利用したエアロゾルの推定

エアロゾルは、大気上端からの衛星観測反射率 R_t (オゾンや水蒸気等の大気分子吸収は補正しておく) を用いて、以下のような式を用いて導出する。

$$R_t - R_r = R_a + \frac{t_0 t_1 \times A}{1 - S_a \times A} \quad (1)$$

ここで、 R_r は大気分子反射率、 R_a はエアロゾル反射率（大気分子との相互作用を含む）、 t_0 と t_1 は太陽 - 地表と地表 - 衛星間の全（直達 + 拡散）透過率、 S_a は大気の半球アルベド、 A は地表面反射率である。放射伝達モデル (Pstar2b と Rstar6b; OpenCLASTAR と GOSAT プロジェクト提供) を用いてエアロゾルタイプや厚さ毎の R_a や t_{01} や S_a を計算し、Look Up Table (LUT) として事前に準備しておく。原理的には、この LUT の中で、衛星で観測された R_t と式 (1) を介して一致するようなエアロゾルタイプ・厚さを探すことでエアロゾルを推定するが、ここで A が決まらなるとエアロゾルが推定できないし、逆にエアロゾルに対応した大気の透過率が決まらなると A が推定できないことになる。

5. GCOM 利用研究

地表面反射率 A の決め方には大まかに 3 種類ある。一つ目は「エアロゾルの影響の小さい長波長側の情報から可視の地表面反射率を推定する」方法である。ここでは、エアロゾルの影響の小さい長波長側（近赤外～短波長赤外、またはそれらの波長のデータから算出した植生指数）からエアロゾルの寄与の大きい短波長側の青や赤の A を推定し、その短波長側において (1) 式を用いてエアロゾルを推定する。この場合、長波長側と短波長側の A の経験的な関係の安定性が誤差要因となる。この方法は、NASA のエアロゾルプロダクトをはじめとして、GOSAT や GCOM-C のエアロゾルアルゴリズムや、2008 年頃までの JASMES の PAR 推定処理でも利用していた手法である。

二つ目は「色んなエアロゾルを当てはめ、複数バンドの $A(\lambda)$ について、1 ヶ月間のばらつきが最小となりうる $A(\lambda)$ を探す」というものがある。ここでは、1 つ目の手法のような経験的な関係を用いる必要がない代わりに、① A は 1 ヶ月間程度ではあまり変わらない（BRF まで考慮するには 1 ヶ月内に雲の無いデータがさらにたくさん必要となる）、② 大気（エアロゾル）は毎日変わり、かつ、大気散乱 R_a は放射伝達計算で想定した範囲内のスペクトルの形をとる、といった仮定をすることになる。また、処理の中で多くのエアロゾルを参照する必要があるため、一つ目の手法よりも処理時間が大幅に増えるという欠点がある。この手法は MODIS の非標準のアルゴリズム（MAIAC: Multi-angle implementation of atmospheric correction for MODIS; Lyapustin and Wang, 2007）や、現在の JASMES の PAR データ推定で用いている手法である。

三つ目の手法は、「事前に各グリッド・各月で BRF を含めたマップを作って置く」というものである。この手法には過去のデータの長期の蓄積が必要となり、被覆が年々変化した場合に対応できないという欠点があるが、本研究では、BRF の経年偏差を植生指数（エアロゾルの影響の比較的小さい EVI を使用）の経年偏差を用いて補正することでその欠点を補うことにした。また、BRF の簡略化のため、本研究では式 (2) の CNES-JAXA 連携の中で提供された BRF 関数を用い、直下項 k_0 、平面項 k_1 、植生項 k_2 で代表させることとした。

$$R(\theta_0, \theta_1, \varphi) = k_0 + k_1 \times F_1(\theta_0, \theta_1, \varphi) + k_2 \times F_2(\theta_0, \theta_1, \varphi) \quad (2)$$

k_0 = Nadir reflectance

$$F_1 = ((\pi - \varphi) \times \cos(\varphi) + \sin(\varphi)) \times \tan(\theta_0) \times \tan(\theta_1) / (2 \times \pi) - (\tan(\theta_0) + \tan(\theta_1) + \Delta) / \pi$$

$$F_2 = (4/3/\pi) / (\cos(\theta_0) + \cos(\theta_1)) \times ((\pi/2 - \alpha) \times \cos(\alpha) + \sin(\alpha)) \times (1 + 1/(1 + \alpha/(1.5/180 \times \pi))) - 1/3$$

$$\Delta = \sqrt{\tan(\theta_0)^2 + \tan(\theta_1)^2 - 2 \times \tan(\theta_0) \times \tan(\theta_1) \times \cos(\varphi)}$$

θ_0 : solar zenith, θ_1 : satellite zenith, φ : relative azimuth, α : scattering angle

F_1 と F_2 は図 2 の左端の図のような形をしている。この関数を用い以下の過程で BRF を推定する。

- ① 過去のデータ（Aqua と Terra MODIS）を用いて、各年の 16 日毎に F_{0-2} 関数にフィッティングして各画素の k_{0-2} を推定、
- ② k_{0-2} の月平均気候値 K_{0-2} と偏差 Δk_{0-2} 、EVI の月平均気候値 V と偏差 Δv を計算し、偏差間関係 a_{0-2} ($\Delta k_{0-2} = a_{0-2} \times \Delta v$) を K_0 と V のレンジ毎にテーブル化
- ③ Δk_{0-2} を以下の式で Δv_{obs} で補正しながら (2) 式で BRF を推定

$$k_{0-2} = K_{0-2} + \Delta k_{0-2}$$

$$\Delta k_{0-2} = a_{0-2}(K_0, V) \times \Delta v_{obs}$$

$$\Delta v_{obs} = v_{obs} - V$$

Terra と Aqua の MODIS 両方で処理を行ったが、図 1 と図 2 では Aqua の 2003 年から 2010 年のデータを用いた結果を示す。412nm では K_1 、 K_2 共に小さく、 K_2 は赤（646nm）と近赤外（857nm）では植生の反射率の特性を反映して逆の分布を示している。また、近赤外の直下反射率 K_0 の値の大きい砂漠域でも K_2 は小さく、アマゾンなど植生が多くても K_0 がそれほど大きくない場所で K_2 が大きな値をとっており、植生の情報を効果的に抽出できていることを示している。図 2 では Δk_2 が 412nm-646nm で負に、857nm で正になっている。2114nm では K_1 項や Δk_2 が 646nm や 412nm と異なっている場合が見られ、短波長赤外から可視波長を見積もる手法では偏差の相関に注意が必要なが示唆されている。

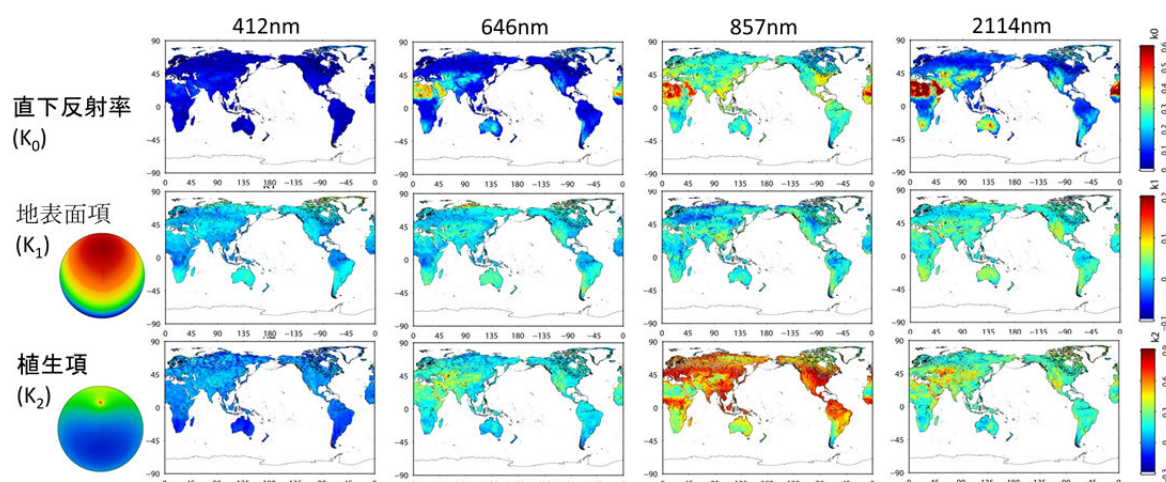


図 1. 4 波長における 2003~2010 年 7 月平均の K_0 、 K_1 、 K_2 の全球分布

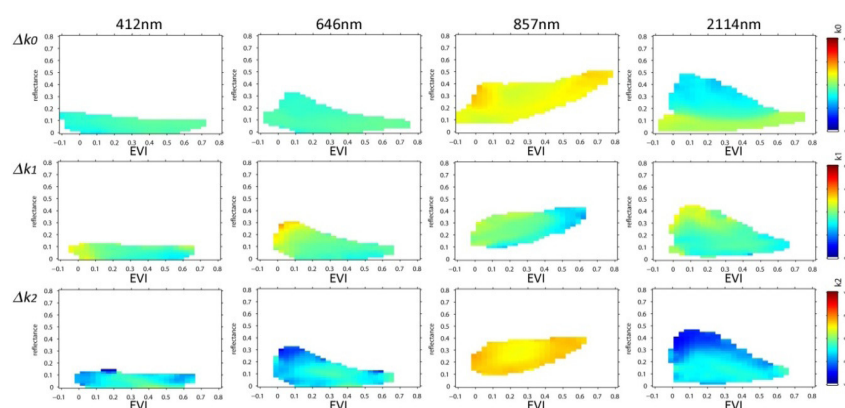


図 2. 2003~2010 年の Aqua MODIS データから計算した 4 波長における $a_{0-2}(K_0, V)$

3. エアロゾルモデルの設定

エアロゾルの放射伝達では複素屈折率の虚数部 m_i の設定によって、同じ光学的厚さにおいても衛星観測反射率が大きく変わる。本研究では、粒子のサイズ分布について、GCOM-C の CI である近畿大学中田・佐野が AERONET 観測データを用いて提案した小粒子と大粒子のサイズ分布（小粒子モード径 1.86 μm 、大粒子 3.42 μm 、それぞれ log 分布で半値幅 1.86 及び 2.34）を用いた。また感度試験として、Nakajima et al., 1989 の黄砂モデルの m_i と、その m_i を半分にしたもの、黄砂等に対応する大粒子のモード径を 2.5 μm や 4.5 μm にしたもの、および、粒形を球形に変更したものも試験した。

5. GCOM 利用研究

表 1. 各エアロゾルタイプによる推定結果の AERONET データによる検証結果

Model		Small m_i	Large r_m	Small r_m	Large m_i	Spherical
t_a	<i>rms</i>	0.434	0.473	0.395	0.756	0.462
	<i>corr</i>	0.168	0.160	0.177	0.136	0.146
a	<i>rms</i>	0.623	0.578	0.679	0.699	0.559
	<i>corr</i>	0.058	0.057	0.053	0.068	0.054

図 3 と表 1 は、各エアロゾルタイプを用いて推定した結果の例と、エアロネットによる検証結果である。複素屈折率を変えた場合に光学の厚さの推定結果が大きく変わる (m_i を Nakajima et al., 1989 から小さくすると τ_a の過大見積もりが改善し、誤差が小さくなっている) ことがわかる。また、 r_m や粒形を変えても、結果が変わることがわかる。この結果から、妥当なエアロゾルモデルを設定することが、エアロゾル推定、ひいては大気補正 (エアロゾルによる各波長の透過率推定) 精度にとって重要であることが示唆される。

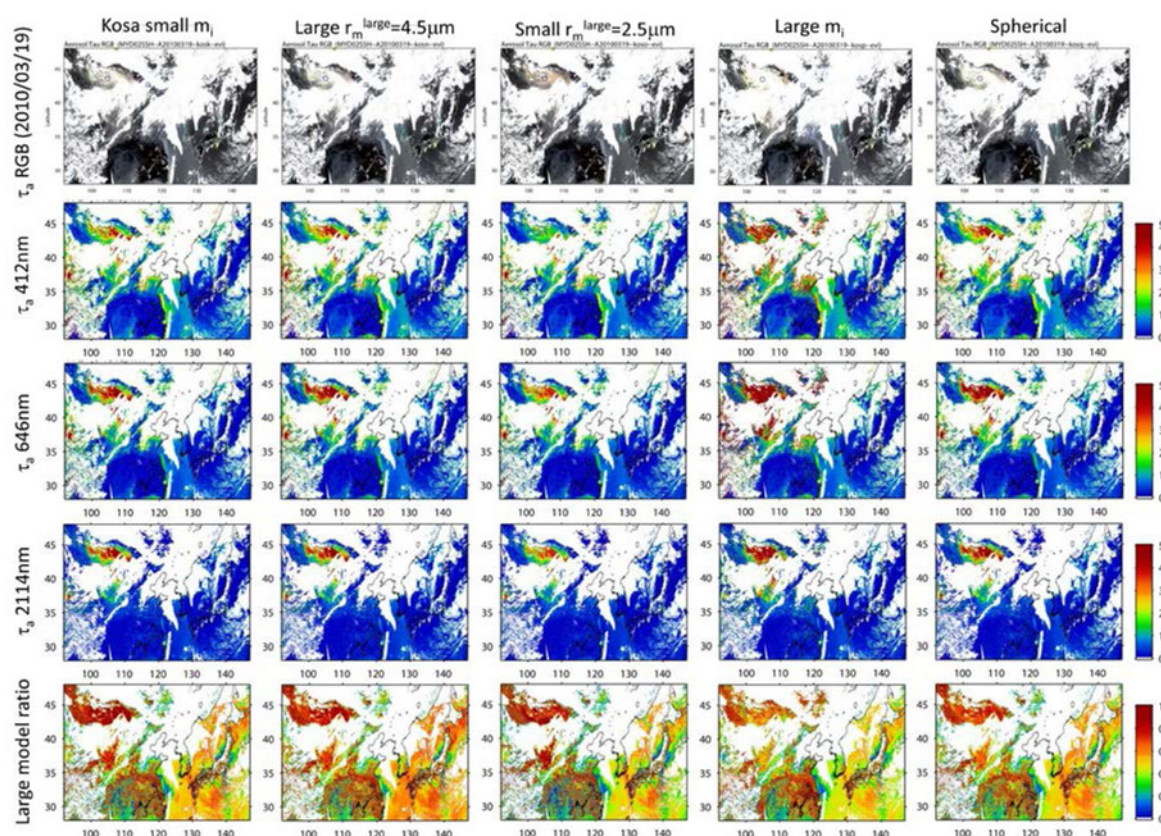


図 3. 各エアロゾルタイプを用いて推定したエアロゾルの光学的厚さ (上段から τ_a の RGB、412nm、646nm、2114nm) と、選択された大粒子モデルの比率 (最下段)

4. まとめ

本研究のような、事前に長期データから作成した地表面 BRF マップを用いた方法で (同時のデータから反射率推定しなくても)、NASA プロダクトが欠損の場所でもエアロゾルの推定ができることが示唆された。この手法では地表面 BRF を明示的に使用することになるので、直下と斜視を持つ

SGLI の活用につながると考えられる。一方で、エアロゾルモデルの設定によっても、エアロゾルの推定結果が大きく変化することから、最適な候補モデルの設定を検討する必要がある。本研究結果は JASMES 拡張版として試験運用を予定している。

本研究を通じて、陸域大気補正開発に向けて、①なるべく陸で利用しない波長（近紫外や青）の地表面反射率を BRF モデル化しておく（これを定期的に検証・修正していく仕組みが必要）、②上記を用いてエアロゾルと大気の透過率を推定し、他波長の地表面反射率を推定する、③ BRF の関数は陸の解析との整合性を取るため、将来は植生区分毎に植生放射伝達で計算するもの（小野さん）に置き換える、といった方向性が考えられるが、全球各域での精度など今後さらに詳細の検討が必要である。本研究の結果を踏まえ、来年度においては大気補正のミニワークショップを開催し、GGOM-C の PI チームの知見を集約する形で GCOM-C の陸大気補正アルゴリズムを構築する計画である。

5.8 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。2009 年度は、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。また、2011 年 4 月以降は、日本域の処理物理量について 1 週間単位での処理・公開も開始した³⁾。本 JASMES サイトにて公開されている積雪プロダクトの作成作業は、GCOM-C1/SGLI による雪氷関連プロダクト評価に向けた雲・雪判別用要素処理の試験、また、打ち上げ当初にプロダクト品質を評価する際の、精度検証手法確立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、積雪分布の処理アルゴリズムを改良（Ver.3 へ更新）し、その抽出精度を全球の地上気象観測ネットワーク（Synop 報）のデータを用いて検証した。

2. JASMES 積雪分布処理の改良

積雪分布プロダクトの解析領域は、日本列島を含む北緯 24-49 度、東経 123-148 度の範囲（空間分解能は 500m, 画素配列数 :5001 × 5001）及び全球（同 5km, 7200 × 3601）である。雲域の判定は、MODIS 各チャンネルの反射率・輝度温度を用いた閾値法にて行った。また、積雪域の判定は、従来の反射率・輝度温度による閾値処理に加えて、本年度の改修版（Ver.3）より、地表面反射率が植生・裸地（非植生）・積雪の 3 被覆個別の反射率の線形合成で説明できる⁴⁾と仮定して求めた、画素内積雪比率等を考慮して閾値法にて実施した。雲・積雪域の判定は 1 日毎に行ない、半月および 1 週間単位で晴天域を合成し、最終的な積雪分布（乾湿識別含む）の決定を行っている。

判定精度の検証は、気象庁提供の全球地上実況気象観測（SYNOP 報）データの全雲量、積雪深及び乾球温度（2m）のデータを用いて、雲域判定、積雪域判定及び乾雪・湿雪識別性能の検証を行った。地上データ側の判定条件は、全雲量が 75% 以上であれば曇天、積雪深が 1cm 以上であれば積雪域、加えて乾球温度 -3℃ 以上であれば湿雪域と判断し、地上サイト最近傍の衛星データ画素の正解・不正解を決定した。地上観測値を真とした場合の衛星側の雲域検知率は、概ね 65% 程度であった。一方、積雪域については、従来から 8 割以上の検知率を有していたが、Ver.3 相当の処理によって、11~3 月の厳冬期は 9 割以上に向上した（融雪期についても 2 割程度向上）。湿雪域の検知率は、湿雪割合が増加する融雪期には 7-8 割程度を有しているが、厳冬期は 3-5 割に低下した。厳冬期は融雪域自体が少なくなることと雪氷上の雲周縁部や薄雲等の雲検知精度が低下する領域（地上気温が 0℃ 前後）で

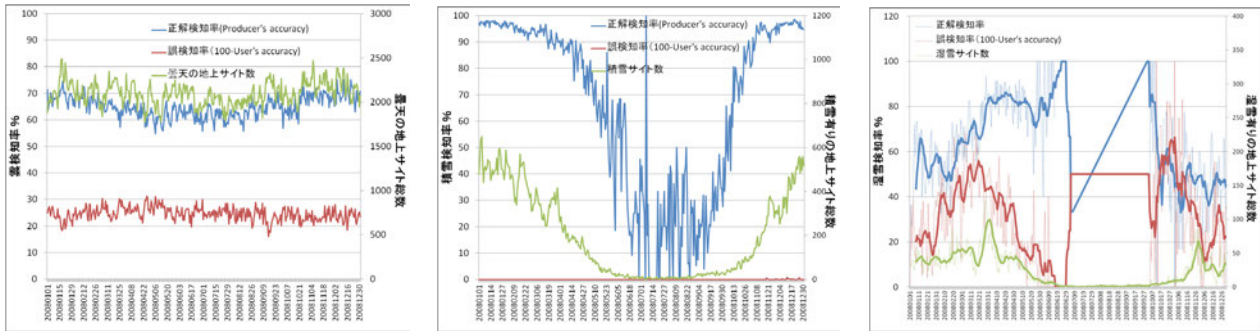


図5. Synop 報の雲量、積雪深、気温を用いた JASMES 積雪分布作成時の雲域判別(左図)、積雪識別(中図)および湿雪識別(右図)の検知率および誤検知率(100%-正答率)の評価結果。2008 年 1-12 月分のデータを使用。地上側の雲量が 75% 以上であれば曇天、積雪深が 1cm 以上であれば積雪域、乾球温度 -3°C 以上であれば湿雪域と判断し、衛星側の検知率等を評価している。

湿雪を乾雪と誤判定することが原因と考えられた。以上の湿雪/乾雪の誤識別傾向は、昨年日本域について検証した結果とも同じであり、GCOM-C1 打上げ後に、SGLI により全球の積雪分布・積雪物理量を抽出する際にも、同様の課題として起こり得ることである。薄雲や雲周縁部における積雪物理量の抽出時に注意を要する問題点である。

表 1. 雲域、積雪域及び湿雪域識別精度の評価結果(2008 年 1-12 月)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
雲域検知率 (Producer's accuracy)	68.5	67.7	64.5	63.0	61.1	62.1	61.2	62.3	65.2	65.0	68.9	69.5	65.0
雲域正答率 (User's accuracy)	76.7	75.0	74.1	73.9	73.7	74.8	75.1	75.8	77.2	76.2	76.6	76.3	75.5
雲域判定地上サイト数 (月平均値)	2167.7	2110.7	2110.0	2078.1	2035.1	2057.6	2002.7	2010.1	2130.5	2096.5	2214.9	2175.1	—
積雪検知率 (Producer's accuracy)	97.0	94.8	92.4	85.2	65.3	37.7	—	—	24.4	67.7	92.4	96.6	91.6
積雪判定地上サイト数 (月平均値)	520.5	452.4	334.3	188.9	63.1	14.0	5.6	8.2	24.5	57.6	227.7	418.6	—
湿雪検知率 (Producer's accuracy)	53.0	55.5	71.3	83.4	79.8	—	—	—	—	—	45.2	44.6	64.6
湿雪正答率 (User's accuracy)	78.7	61.1	51.2	63.9	84.8	—	—	—	—	—	62.7	77.4	63.3
湿雪判定地上サイト数 (月平均値)	39.5	45.7	60.7	46.5	20.7	3.6	0.3	1.0	1.7	5.8	31.1	27.1	—

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) 堀, 2011: 衛星光学センサデータを用いた湿雪・乾雪分布の抽出 - 乾雪・湿雪識別の検証及び応用可能性検討 -, 雪氷研究大会, 長岡
- 4) Painter et al. (2009): Retrieval of subpixel snow covered area, grain size, and albedo from MODIS, Remote Sens. Environ., 113, 868-879.
- 5) 石坂 (2008): 新メッシュ気候値に基づく雪質分布地図の作成と近年の日本の積雪地域の気候変化の解明, H18-19 年度科研費 (基盤研究 C:18500787) 研究成果報告書

5. GCOM 利用研究

5.9 GCOM-C 雪水分野高次アルゴリズムの研究開発

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に、空間的に密に監視することが重要である。特に、温暖化に伴う雪氷面の急激な変動は、海水の広がりや積雪面積の減少を引き起こし、同時にそれを構成する氷、積雪粒子の増加や、積雪汚染の拡大によって積雪アルベドが減少することから、その結果、急激な融解が起こる可能性が指摘されている。従って、これからは温暖化の兆候として積雪・海水面積の変動のみならず、それらを構成する積雪物理量に注目し、特に積雪アルベドをコントロールする積雪粒径や、積雪中に含まれる不純物に注目した解析が重要となる。

JAXA/EORC では地球環境変動観測ミッション計画のもと、特に将来の GCOM-C の打ち上げに向け、現在外部 PI と連携した雪水分野のアルゴリズム開発を行っている。GCOM-C 雪氷アルゴリズムは大きく分けて、雲・積雪分類アルゴリズムと積雪物理量推定アルゴリズムの2つのパートからなる。本年度は昨年に引き続き積雪物理量推定アルゴリズムの高精度化に加え、雲・積雪分類アルゴリズムの精度向上を目的とした解析を行った。

2. 雲・積雪分類アルゴリズム

現在提案されているアルゴリズムでは、森林域など植生で覆われている地域、またグリーンランド、南極など高高度域では森林や積雪領域を雲領域（またはその逆）と誤判読することが確認された。そこでこれら誤判読を回避するため、積雪、海水、雲、森林等のスペクトル特性を再度精査し、幾つか提案されている指標（比演算処理）を追加し、一方で、森林域と積雪域が混在する場所を新たなフラグとして追加した。その結果、森林域での誤判読は改善し、これまで判別できなかった雲領域や裸氷の判別も可能になった（図1）。

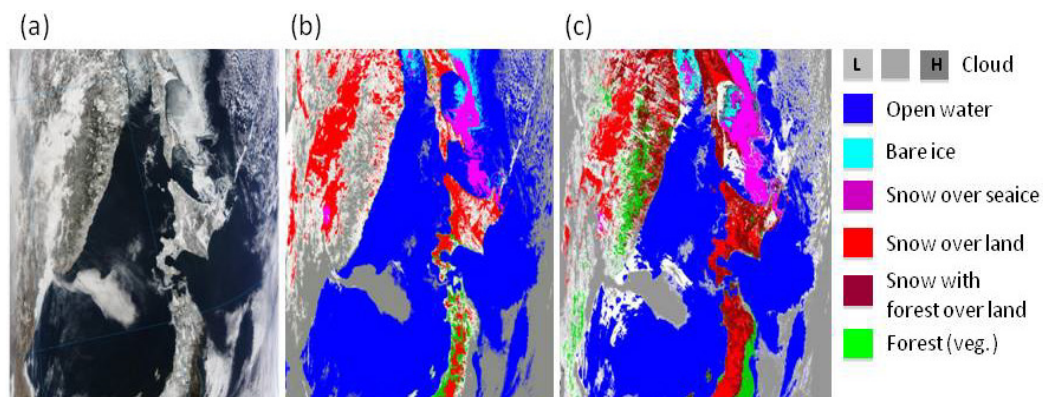


図1. MODIS 1km データによる雲・積雪分類結果
 (a)RGB 画像 (バンド 241)
 (b) 提案されていたアルゴリズムによる結果
 (c) 改良されたアルゴリズムによる結果 (2011 年 2 月 22 日)

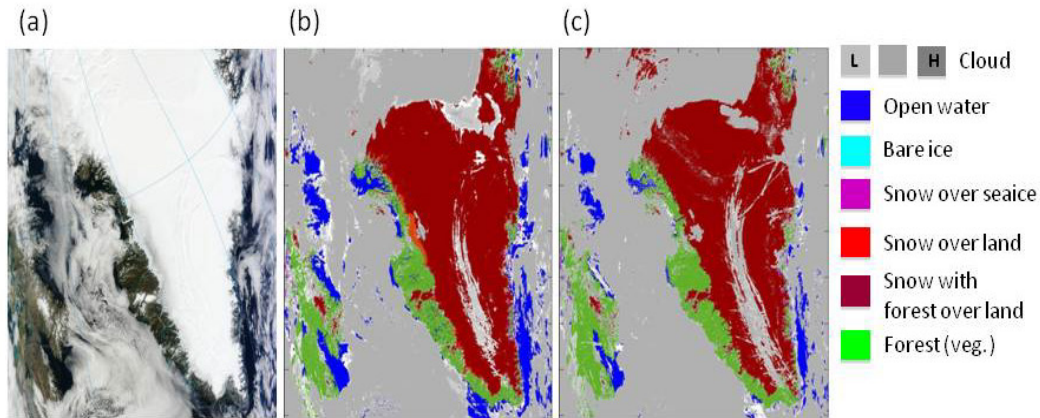


図2. MODIS 1km データによる雲・積雪分類結果。(a)RGB 画像 (バンド 241)、(b) 改良されたアルゴリズムによる結果、(c)MODIS プロダクトによる結果 (2011 年 8 月 13 日)

図2に高高度領域における結果を示す。図2bは改良されたアルゴリズムによる結果、図2cに比較のためにMODISのプロダクト(MOD35)の結果を示す。若干の違いが認められるものの、比較的良好に判別できることが確認された。各種スペクトル特性を再度精査し、指標を追加することで、精度良く雲・積雪を判別することができるようになった。なお、一連の処理にかかる時間は1354 × 2030 画素あたり5秒程度で行うことができる。

3. 積雪物理量推定アルゴリズムの精度向上

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、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。現在のアルゴリズムでは、積雪粒子の形に非常にシンプルな回転楕円体粒子が用いられている。アスペクト比を変更することで、新雪からざらめ雪までを表現できるように調整している。しかし、ADEOS/GLI や Terra/MODIS データを用いた解析結果によると、波長 $1.64 \mu\text{m}$ を用いた積雪粒径リモートセンシングでは実際の雪粒子よりも過小評価しており、精度の高い積雪物理量を推定するためには、雪粒子の凝集効果を取り入れたより現実的な非球形粒子の光学特性を考慮する必要がある。そこで本研究では3次元ボロノイ構造をもつ結晶粒子の光散乱コード (Ishimoto et al., 2010; JQSRT) を用いて、積雪粒子の凝集効果に対する光学特性を調べ、波長 $1.64 \mu\text{m}$ 光を用いた積雪粒径リモートセンシングについて再度検討した。図3に1つの粒子を事なる3方向からみたボロノイ粒子の1例を示す。ボロノイ粒子はしまり雪やざらめ雪の形状特性とよく類似しており、結晶成長による多面体構造を模擬するような問題での形状解析によく用いられている (Ishimoto et al., 2010; JQSRT)。図4はボロノイ粒子の単一散乱特性の波長 ($0.44, 0.86, 1.64 \mu\text{m}$) および粒径依存性 ($50, 300, 1000 \mu\text{m}$)、さらにボロノイ粒子の違いによる効果を示したものである。粒径はボロノイ粒子の体積と表面積の比 (比表面積) が等しい球形粒子の半径 (r_{VA}) として定義した。これは積雪の比表面積とその光学特性に良い相関があるという結果にもとづいている (Domine et al., 2006; CRST)。



図 3. ボロノイ粒子形状モデル

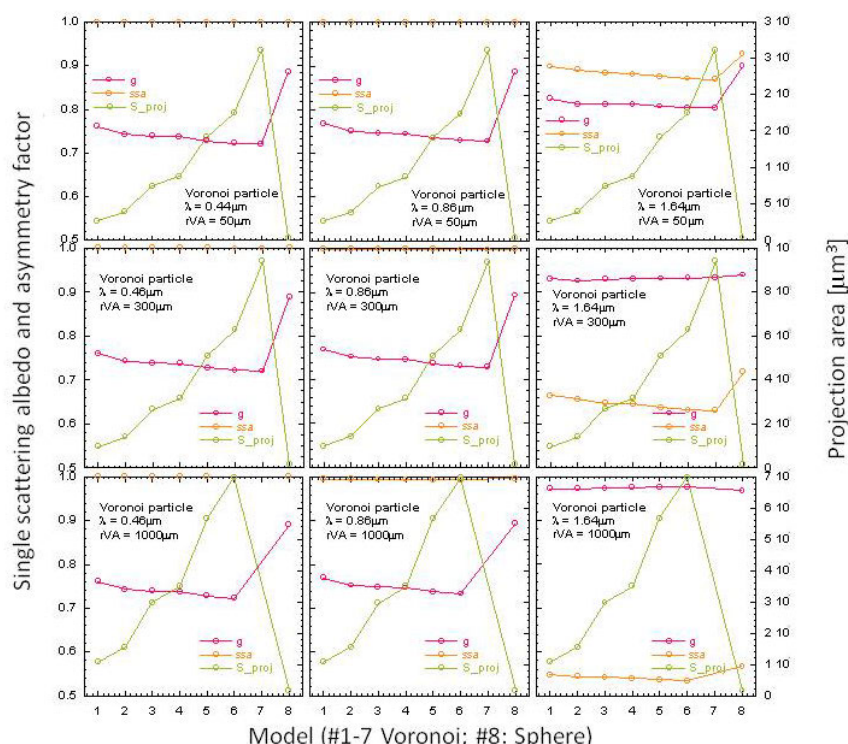


図 4. ボロノイ粒子の単一散乱特性 (左軸: 単一散乱アルベド、アシンメトリーファクター、右軸: 平均投影面積)。モデル番号が大きくなるにつれてボロノイ粒子を構成する小粒子の数が増える (8,31,67,133,175,247,315)。モデル 8 は比較のための球形粒子。

ボロノイ粒子の違いは、主にそれを構成する粒子の個数であり、広い意味での結晶表面の不均一性の違いを表現している。

全体的な傾向として、単一散乱アルベドは波長 0.44 μm では氷による吸収の効果が弱いとほぼ 1.0、そのため特に粒径依存性は見られなかった。一方、波長 0.86 μm 、1.64 μm は氷の吸収が相対的に可視光よりも強く、粒径が大きくなるとその分吸収パスが増えるため、粒径依存性が確認された。ボロノイ粒子の違いによる効果は、ボロノイ粒子を構成する粒子の数が増えるにつれて、波長 1.64 μm の単一散乱アルベドの減少が確認された。これはとくに粒径依存性と同じ理由であると考えられる。一方、アシンメトリーファクターは特に波長 0.44, 0.86 μm で減少することが確認された。これはボロノイ粒子を構成する粒子の数が増えるにつれて形がより複雑になり、その結果前方散乱が減少し、側方散乱が増加したためであると考えられる。以上の結果をまとめると、ボロノイ粒子の光学特性

は同じ rVA を持つ粒子でも、それを構成する粒子の個数によって異なることが確認された。すなわち、結晶表面のマイクロラフネスを含む広い意味での結晶表面の不均一性を表すパラメータも重要であることが確認された。

4. まとめと今後の課題

本年度は昨年に引き続き積雪物理量推定アルゴリズムの高精度化に加え、雲・積雪分類アルゴリズムの精度向上を目的とした解析を行った。雲・積雪分類アルゴリズムでは森林域、またグリーンランド・南極など高高度域での誤判読を改善するために、いくつかの指標を追加することでアルゴリズムの改善を試みた。特に森林域では積雪域との混合域という新たなフラグを追加することで、森林域の積雪分布を表現できるように改善した。

積雪物理量推定アルゴリズムでは、積雪粒径リモートセンシングの精度向上を目指し、雪粒子を模擬した3次元ボロノイ粒子による積雪の凝集効果について調べた。この結果、広い意味での結晶表面の不均一性も重要なパラメータであることが示された。波長 $1.64\ \mu\text{m}$ 光を用いた積雪粒径リモートセンシングの解釈においては、雪粒子全体の大きさとそれを構成する1つ1つの粒子の大きさや、結晶の面の大きさを見ている可能性があるかと推察される。GCOM-C1/SGLI は、氷の吸収が強い波長 2.2mm のバンドを持っており、このバンドと組み合わせることで、より高精度の積雪光学特性の推定が期待される。

今後は屋外観測および衛星データへの適用を行い、ボロノイ粒子の有効性を検証していく。また、GCOM-C/SGLI には偏光チャンネルを有しており、雪氷面上の大気積雪物理量の抽出の可能性について検討する。また様々な地域での積雪物理量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データを効果的に収集していく計画である。

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

山口寿史

1. はじめに

今年度は、GCOM-C/SGLI の打ち上げに向けてアルゴリズムを選定する作業が始まり、PI から提出された海洋アルゴリズムについて評価作業を行った。作業を行ったアルゴリズムは、水中光学特性 (IOP)、基礎生産、植物プランクトン機能別分類、海表面水温、大気補正である。結果は1月に行われた PI 合同 WS にて報告し、PI に問題点をフィードバックした。また、衛星データの水産資源管理への応用として、青森県産業技術センター水産総合研究所より依頼を受けた、陸奥湾における衛星クロロフィル a 濃度の変動解析を行った。結果は3月に行われた水研-JAXA 共同研究成果報告会にて報告した。以下は、陸奥湾における衛星クロロフィル a 濃度の変動の解析結果について記述する。

2. 陸奥湾における衛星クロロフィル a 濃度の変動解析について

陸奥湾は津軽海峡と連絡しており、ホタテの養殖が盛んである。クロロフィル a 濃度は、植物プランクトンの現存量の指標となり、ホタテの餌料の指標になると考えられる。衛星データは面的な利用が可能であり、衛星クロロフィル a 濃度はホタテの生育環境のモニタリングに利用できる。衛星クロロフィル a 濃度の問題点として、懸濁物や有色溶存有機物、エアロゾルによって誤差が生じる。本研究は、陸奥湾における 2002 年～2011 年までの MODIS/Aqua の衛星クロロフィル a 濃度の変動を調べることを目的とした。

懸濁物の指標となる 555nm の正規化海面射出輝度 (nLw555) の季節変動は、冬季に津軽海峡に比べて陸奥湾で高くなる傾向が見られた。海表面水温 (SST) の季節変動は、陸奥湾の西部・東部で3月には水温がもっとも低くなり、8月に最も高かった。衛星クロロフィル a 濃度の季節変動は、津軽海峡では、4月に SST の上昇と対応した春季ブルームとみられる極大値が観測されたのに対し、陸奥湾西部・東部で2月にクロロフィル a 濃度の極大値がみられた。このクロロフィル a 濃度の極大値は、SST の変化と対応していなかった。一方、秋季では10月に陸奥湾西部、東部でクロロフィル a 濃度の極大値が見られ、秋季ブルームが起きている可能性が示唆された。

陸奥湾西部・東部で採取された現場クロロフィル a 濃度とその周辺の衛星クロロフィル a 濃度の季節変動を比較すると、陸奥湾西部・東部ともに2月の極大値は対応していたが、秋季には陸奥湾西部で衛星クロロフィル a 濃度が10月に極大値を示したのに対し、現場クロロフィル a 濃度は11月に極大値を示した (図1)。また、陸奥湾西部・東部ともに秋季から冬季にかけて、衛星クロロフィル a 濃度が現場クロロフィル a 濃度よりも2倍以上高かった。

2007 年の1日毎の現場と衛星クロロフィル a 濃度データを比較すると、春季から夏季にかけては良く対応しており、衛星クロロフィル a 濃度は、現場データが観測できない極大値を観測した。秋季から冬季にかけては、9月24日や10月28日の衛星クロロフィル a 濃度が前後の日に比べて高く、また、11月29日は現場クロロフィル a 濃度よりも値が高かった。この時の波長毎の海水射出輝度と太陽照度の比であるリモートセンシング反射率 (Rrs) のスペクトルの形状を見ると、9月24日や10月28日は吸収性エアロゾルによるとみられる負の Rrs がみられ、11月29日には懸濁物の影響とみられる 550nm 付近のピークが見られた (図2)。

3. まとめ

以上の結果から、陸奥湾における秋季から冬季の衛星クロロフィル a 濃度は、吸収性エアロゾルや懸濁物によって過大評価される可能性が示唆されたが、この問題を解決することで、陸奥湾では 1 年を通してクロロフィル a 濃度のモニタリングができると考えられる。問題の解決には、現場の輝度や R_{rs} 、懸濁物やそれ以外のクロロフィル a 濃度や有色溶存有機物の量、また、エアロゾルの光学的厚さを測定する必要がある。この研究は、現場クロロフィル a 濃度と衛星クロロフィルの精度が低い海域の問題を解決する手法を構築するパイロット的な研究であり、その解決手法を GCOM-C のクロロフィル a 濃度推定の際に、日本沿岸域だけでなく、全球規模で適用していく重要な位置づけにある。

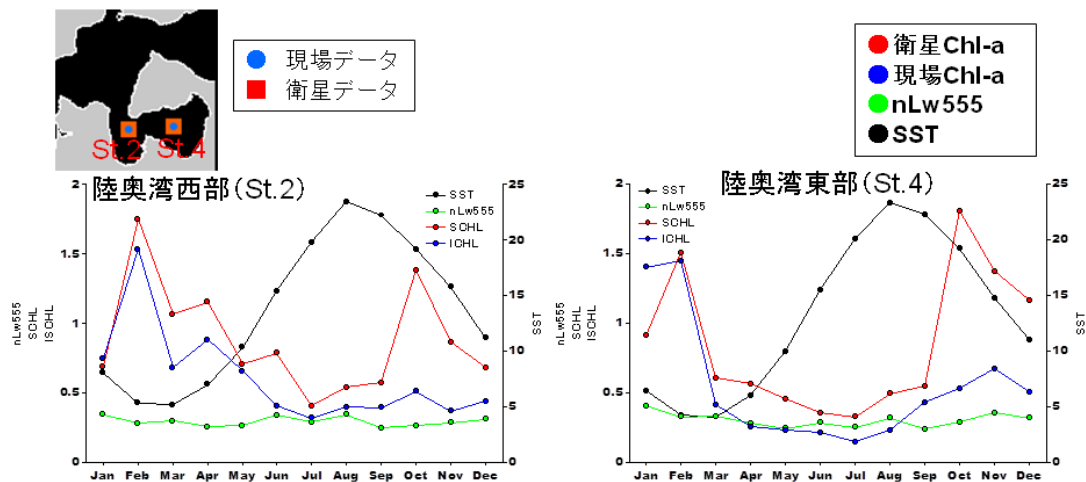


図 1. 陸奥湾の St.2,4 とその周辺における衛星、現場クロロフィル a 濃度、nLw555、SST の季節変動

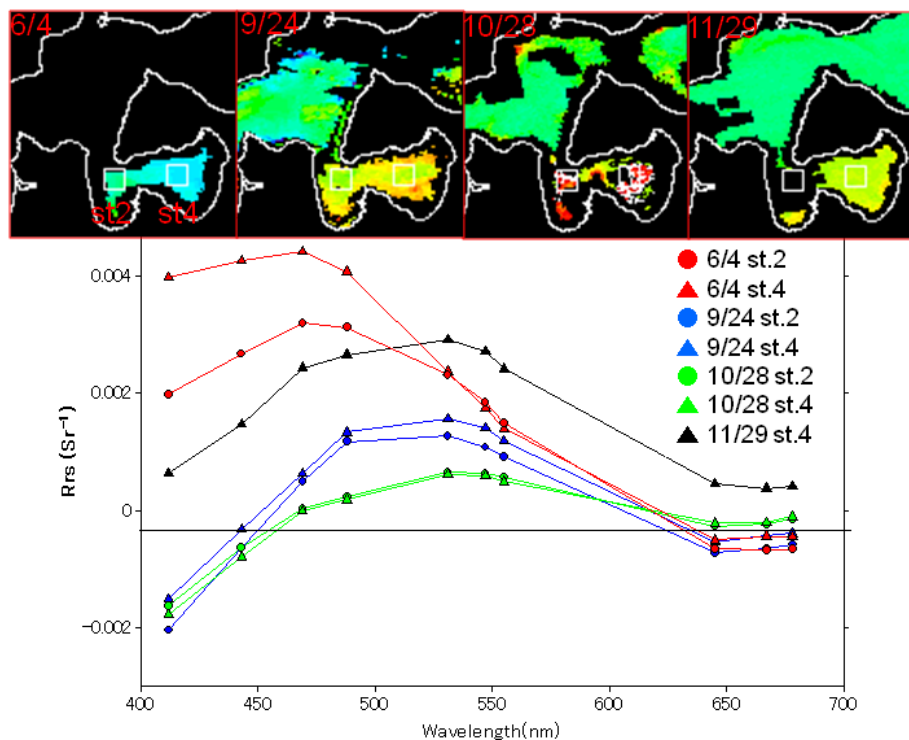


図 2. st.2,4 周辺における波長毎の R_{rs} のスペクトルの変化

5.11 GCOM-C/SGLI Atmosphere Algorithms Evaluation

Dim, Jules Rostand

Abstract

During the pre-launch phase of the Global Change Observation Mission-Climate/Second generation GLobal Imager (GCOM-C/SGLI) satellite, the algorithms needed for the retrieval of surface and atmospheric properties from this satellite's observations are developed. In this report, initial algorithms for atmosphere products to be derived from the GCOM-C/SGLI future observations are presented. For these algorithms, the following themes are discussed: the theoretical background, the results of the implementation, and the performance of the test products derived based on ADEOS-II/GLI radiance and sun-satellite geometry. Three of the algorithms tested are discussed in this report: the cloud/clear sky detection (CLAUDIA), the cloud properties (CAPCOM) and the aerosols properties. The implementation phase consists of the execution of the programs and examination of the memory usage and, running time and suitable environment for the processing of the individual satellite scenes or global images. To evaluate the performance of the algorithms used, the retrievals obtained are compared to those of contemporary satellites' sensors such as Terra-MODIS. Though generally promising, the results of this evaluation show a certain number of issues that remain to be resolved. With CLAUDIA, there are difficulties to differentiate certain types of clouds from clear sky in sunglint, bright deserts and polar areas. This is due to the lack of some traditional spectral channels in the GCOM-C/SGLI, dealing specifically with clouds/clear sky above these areas. As a remedy, alternative channels or detection methods are being investigated. In the case of CAPCOM, errors in the retrieval procedure of some pixels increase the execution time of the program and subsequently the inaccuracy of some cloud parameters. Also, there is a bias towards higher cloud optical depth and cloud particle effective radius, in comparison to the MODIS algorithm. This is probably due to the low sensitivity of the algorithm to thin clouds (such as cumulus) and small cloud particles. For the aerosol algorithm, the limited inhomogeneity in the distribution of the aerosols properties derived such as the aerosol optical thickness, specifically in ocean areas, needs to be corrected.

Introduction

Following the work executed last year on correction methods to draw reliable long-term cloud types trends from a series of satellites to be connected to the GCOM-C/SGLI, and leading to understand the recent state of the climate (Dim et al, 2011a), we focused this year the development, implementation and evaluation of atmosphere algorithms. The algorithm development is an important step in the practical use of satellite observation data. During the pre-launch phase any Earth observation satellite, algorithms are prepared and ready to be used for the retrieval of various atmospheric, ocean and surface properties, as soon the first satellite observations are available. The Global Change Observation Mission-Climate/Second generation GLobal Imager (GCOM-C/SGLI) satellite is at this crucial stage. In this report, initial versions of the algorithms needed for the retrieval of atmospheric properties from this satellite's observations are evaluated. Various tests are conducted to highlight the performance of the algorithms.

The first of these algorithms is the cloud detection algorithm (CLAUDIA). Through a series of cloud mask tests using various ratios of spectral channels, the cloud or clear sky confidence level is determined. When clouds are detected, these are later used, by the cloud properties algorithm (CAPCOM) to derive cloud optical, microphysical properties. Clear sky areas are used by the aerosols algorithm to derive aerosols properties. The cloud properties algorithm produces for daytime the cloud optical thickness (COT), the cloud particle effective radius (CLER), the cloud top temperature (CTT), the cloud top pressure (CTP), the cloud top height (CTH), the cloud liquid water path (CLWP) and the cloud type (CT); and for nighttime, the cloud top temperature (CTT). The aerosols properties algorithm produces for daytime only, the aerosol optical thickness (AOT) for ocean and land, the Angstrom exponent for ocean.

I) Cloud/clear sky detection algorithm

The theoretical basis of this algorithm has been presented in Ishida, H., and T. Y. Nakajima (2009). The cloud/clear sky detection algorithm (CLAUDIA) uses various combinations of satellites channels to differentiate between clouds and clear sky. The cloud confidence to clear confidence scale ranges from 0 to 1. In the current version of the algorithm some of the tests cannot be conducted due to the lack of certain channels in the GCOM-C/SGLI, specifically adapted to the detection of clouds in certain areas of the globe sunglint areas, some bright deserts, and some snow/ice areas. Nevertheless the performance of the algorithm is good as the results at the global scale in good agreement with for example the Terra/MODIS satellite cloud detection scheme. The use of alternative channels' within the GCOM-C/SGLI channels to compensate for the missing tests, or sea/land surface models is now being sought.

II) Cloud properties algorithm

Using the clouds detected by the cloud detection algorithm (above), cloud optical and physical properties can be retrieved using the cloud properties algorithm (CAPCOM). Three satellite' s channels are used for the retrievals. Below are some of the products obtained for the GCOM-C/SGLI based on ADEOS-II/GLI L1B radiances and sun-satellite geometry. In the implementation of the SGLI cloud properties algorithm, errors in the retrieval procedure of some pixels increase the execution time of the program and subsequently the inaccuracy of some cloud parameters.

The cloud properties obtained are evaluated against Terra/MODIS retrievals for ± 20 min matching cloud scenes. Figure 3 shows some of these results for the COT and CLER. The areal distributions of the ranges observed are apparently in good agreement between the two satellites' retrievals. The statistical examination this distribution as shown by histograms bins at the bottom of figure 3 shows that the SGLI tends to show higher values than MODIS in both COT and CLER. It was found that as the cumulus clouds or the inhomogeneity of clouds increase, there are large differences between SGLI retrievals and those of MODIS. The low sensitivity of the SGLI algorithm to low COT and CLER is the issue here.

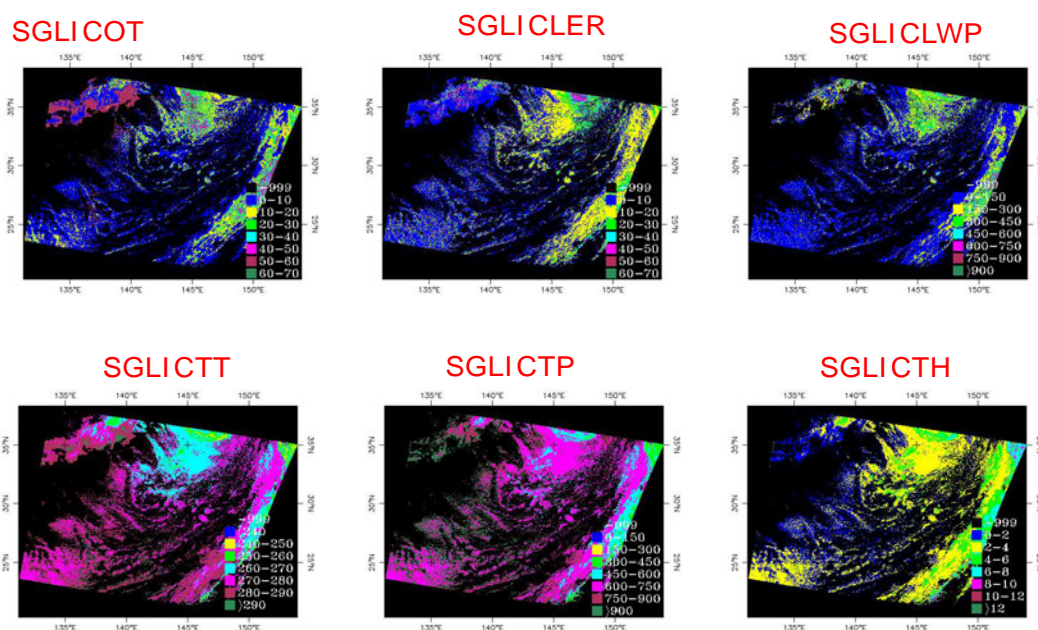


Figure 1. Cloud properties retrievals for the GCOM-C/SGLI on Apr. 6, 2003 at 01:20 UTC. COT, CLER, CLWP, CTT, CTP, CTH are respectively the cloud optical thickness, the cloud particle effective radius, the cloud liquid water path, the cloud top temperature, the cloud top pressure, and the cloud top height.

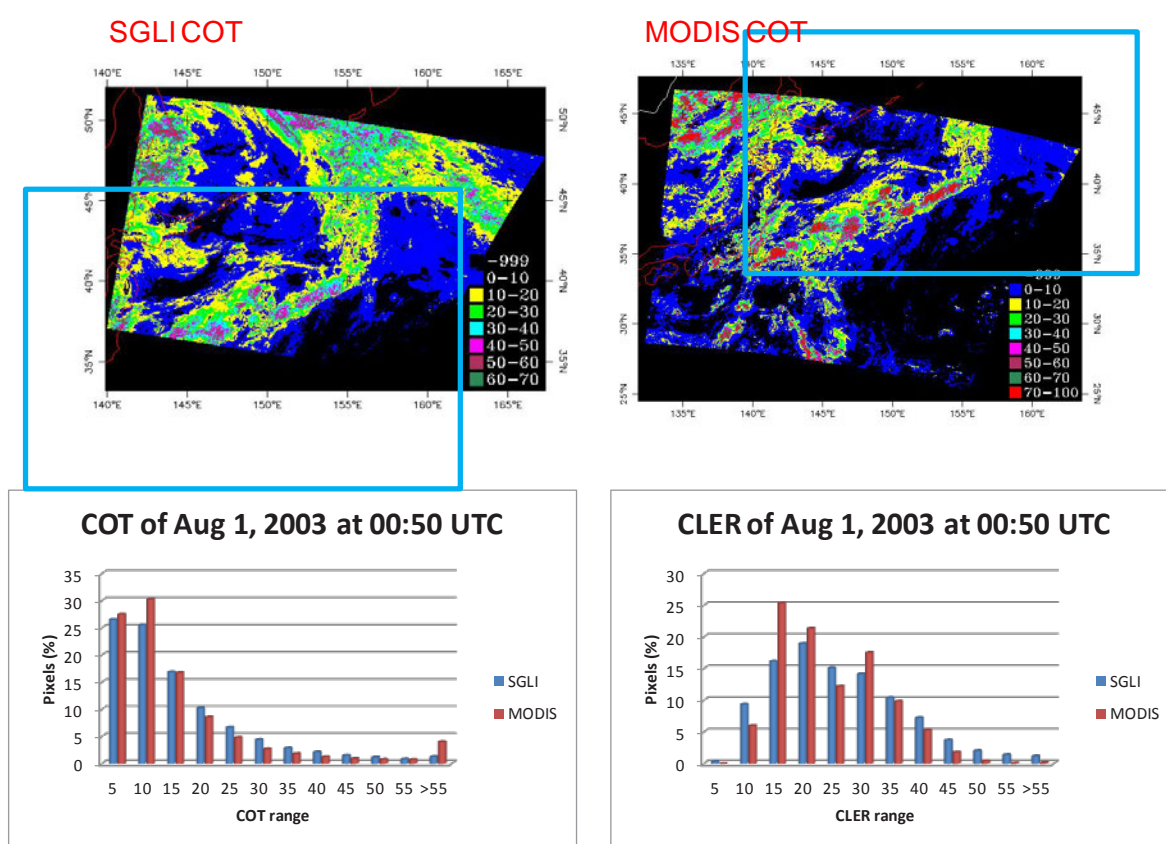


Figure 2. Evaluation of the GCOM-C/SGLI cloud properties against those of the Terra-MODIS for COT (first row) and histogram distribution for COT (left of 2nd row) and CLER (right of 2nd row)

III) Aerosol properties algorithm

This algorithm uses radiances from 4 channels (0.38, 0.68, 0.86 and 1.6 μm), the satellite-sun geometry and ancillary data (ground albedo, surface pressure, wind speed at 10 m altitude) for the retrievals of aerosols properties. These properties are: the ocean large and small particle aerosol optical thickness (AOT), the land AOT, the ocean Angstrom exponent (AE). The aerosols volume size distribution used is a bimodal lognormal distribution function. Sun glint or snow areas' aerosols are not treated in the algorithm. Results of the implementation tests on ADEOS-II/GLI satellite data show relatively low variability in the spatial distribution of ocean areas' aerosols properties, small AOT and high AE. A comparison with Terra-MODIS confirms this situation. Most of the AOT values seem confined in the range of less than 0.125. The land AOT distribution shows higher variability, closer to that of Terra-MODIS.

Conclusion

In this report the current stage of the development and evaluation of atmosphere algorithms for the GCOM-C/SGLI was presented. Some of the issues to be dealt with during the coming year are as follows. For the cloud/clear sky detection algorithm (CLAUDIA): alternative channels to missing cloud detection modes for desert i.e. channel 1.05 μm to replace the MODIS channel 1.24 μm , ocean sun glint areas i.e. the oxygen absorption channel or sea surface correction models, polar areas, should be introduced. For the cloud properties algorithm (CAPCOM): longer retrieval time due to unsuccessful iterations should be corrected. Also the low sensitivity of the algorithm to thin and small cloud particles is an issue. For the aerosol algorithm: the small AOT and large AE encountered above the ocean area should be corrected. Next year plans will also include the elaboration of an appropriate methodology for the validation of the GCOM-C/SGLI pre-launch simulation data and post-launch atmospheric products, based on in-situ data from the SKYNET and AERONET ground radiation sites.

References

Dim, J. R., H. Murakami, T. Y. Nakajima, B. Nordell, A. K. Heidinger, and T. Takamura (2011), The recent state of the climate: Driving components of cloud - type variability, *J. Geophys. Res.*, 116, D11117, doi:10.1029/2010JD014559.

Ishida, H., and T. Y. Nakajima (2009), Development of an unbiased cloud detection algorithm for a spaceborne multispectral imager, *J. Geophys. Res.*, 114, D07206, doi:10.1029/2008JD010710.

5.12 GCOM-C1/SGLI LAI 推定アルゴリズムの開発

小野祐作

1. はじめに

本研究の目的は、第一期 気候変動観測衛星 GCOM-C1 で標準プロダクトとして定義されている、葉面積指数 LAI（単位面積あたりの葉の総面積）の推定アルゴリズムを開発することである。LAI のプロダクトは、陸域における二酸化炭素の収支量を推定する為に必要とされている。

LAI は、大気補正済み陸域反射率と土地被覆のプロダクトを入力値として、植生の放射伝達モデルで一画素毎に計算される。しかしながら、植生の放射伝達モデルは多量の計算時間が必要である為、一画素毎に LAI を植生の放射伝達モデルで計算するのは効率が悪い。そこで、今年度は、植生の放射伝達モデルである FLiES（Kobayashi and Iwabuchi, 2008）を利用して、植生の双方向反射率に対する LAI の LUT（Look Up Table）を作成した。以下では、落葉針葉樹林の LUT について述べる。

2. 落葉針葉樹林の LUT

落葉針葉樹林の LUT は、山梨県富士吉田市のカラマツ林（落葉針葉樹林）の毎木データ、葉、枝、土壌、林床植生の分光データに基づいて以下の条件で作成した。

- 太陽天頂角 [deg.]:0 から 80 までの 5 間隔
- センサ天頂角 [deg.]:0 から 80 までの 5 間隔
- 相対方位角 [deg.]:0 から 180 までの 15 間隔
- LAI[m²/m²]:0.0 から 7.0 までの 0.1 間隔

尚、落葉針葉樹林の樹冠の形状は円錐、幹の形状は円柱、枝の面積密度は 0.5[m²/m³]、林床植生の LAI は 2.0[m²/m²]、葉面角度分布関数は一様分布を仮定した。図 1 に、自律航行型無人ヘリコプタより計測したカラマツ林の双方向反射率（太陽天頂角 35 度、相対方位角 10 度と 170 度）と比較した結果を示す。この結果より、FLiES は、現地の双方向反射率を良く計算できていることが分かる。

図 2 に、LUT の例として、太陽天頂角 30 度、センサ天頂角 30 度、相対方位角 60 度と 120 度のときの落葉針葉樹林の赤と近赤外の双方向反射率と LAI の散布図を示す。赤では、どの相対方位角であっても、LAI が増加するに従い双方向反射率が減少する。相対方位角 60 度のときの近赤外では、LAI が増加するに従い双方向反射率も増加する。しかし、相対方位角 120 度のときの近赤外では、LAI が増加するに従い相対方位角は増加するが、LAI がある一定の値になると双方向反射率は減少する。この原因は、相対方位角 120 度のときは、相対方位角 60 度のときと比べ林冠の陰影の割合が多いことにある。つまり、LAI が増加するに従い陰影が濃くなり、双方向反射率に - の影響を与えるのである。

3. まとめと来年度の予定

今年度は、FLiES を利用して、植生の LUT を作成した。無人ヘリより計測したカラマツ林の双方向反射率と比較した結果、FLiES は、現地の双方向反射率を良く計算できることが分かった。来年度は、作成した LUT を利用して Terra/MODIS のデータより、全球の植生の LAI を推定する予定である。

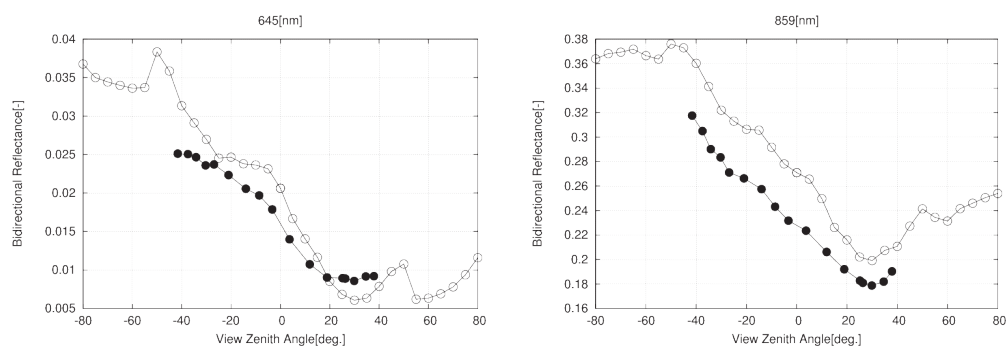


図 1. FLiES で計算した落葉針葉樹林の双方向反射率(○)と無人ヘリより計測した双方向反射率(●) (左が赤、右が近赤外、正のセンサ天頂角のときは双方向反射率が 190 度、負のセンサ天頂角のときは双方向反射率が 10 度)

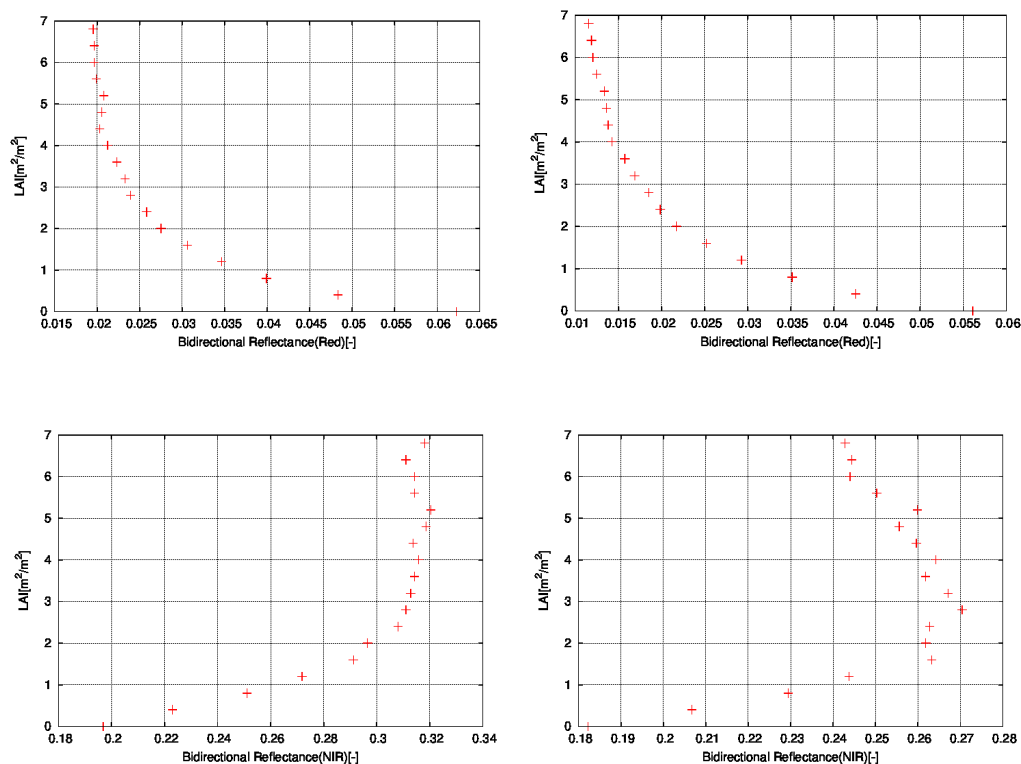


図 2. 太陽天頂角 30 度、センサ天頂角 30 度、相対方位角 60 度（左）と 120 度（右）のときの赤（上）と近赤外（下）の双方向反射率と LAI の散布図

5.13 森林火災検知アルゴリズムの開発とその応用

中右浩二

1. はじめに

森林火災は世界の途上国では社会問題となっています。森林火災により、化石燃料燃焼の 1/4~1/2 に当たる CO₂ が放出され (IPCC AR4)、気候変動への影響が心配されています。そこで森林火災を題材に、森林火災検出から消防隊への通報までを網羅する研究開発を行いました (図 1)。森林火災情報通報システムをパッケージ化し各国に導入すれば、国際協力に大きく貢献できます。

消防隊はやぶを歩くため、消火活動の効率化には高い位置精度の森林火災情報が不可欠です。また途上国では、通信網の制約に加えて消防隊員の地図判読能力が限られ、地図提供による実利用は困難です。そこで北海道大学の地球規模課題対応国際科学技術協力 (SATREPS) に参画、森林火災情報を消防隊員に理解できる形で携帯メール (SMS) 通報するシステムを開発しています。

以上を踏まえ、今年度は下記の目標を設定し、研究を進めました。

- 1a) 達成 SGLI 用森林火災検出類別アルゴリズムの第 1 版を開発する
- 1b) 実施中 MODIS 用森林火災検出アルゴリズムの改良・検証を行う
- 2) 達成 森林火災位置を市民に分かる形式へ変換する手法の構築実装を行う
- 3) 達成 CIRC の森林火災観測範囲の設定
- 4) 実施中 JAL 森林火災共同観測システムの本開発
- 5) 達成 森林火災等の衛星情報を IARC-JAXA 研究ディレクトリで提供

さらに、国総研における実物大校舎火災実験にも参加し、建物火災検出の可能性を探りました。

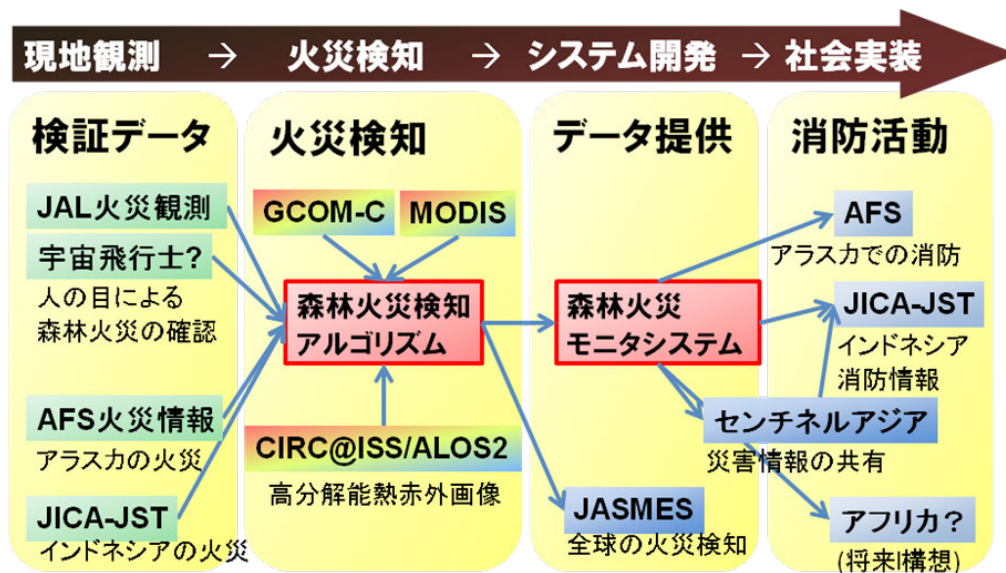


図 1. 森林火災検知アルゴリズム開発と関連する応用システム開発

2. 火災検知 :GCOM/SGLI, MODIS 森林火災検知アルゴリズム開発

既存の森林火災検知では、MODIS 標準プロダクトアルゴリズム MOD14 が有名です。しかし、本研究では、MOD14 等では考慮されていない地表面反射率を利用して、森林火災による放射輝度を推定して感度の向上を図り (図 2)、その放射輝度推定値を教師データとして、GCOM-C1/SGLI 向け森

林火災検出アルゴリズムを開発しました。SGLI が運用されれば 250m 精度で火災位置がわかり、消防隊にピンポイントで位置を伝達でき、消防活動の大幅な効率化が実現できます。

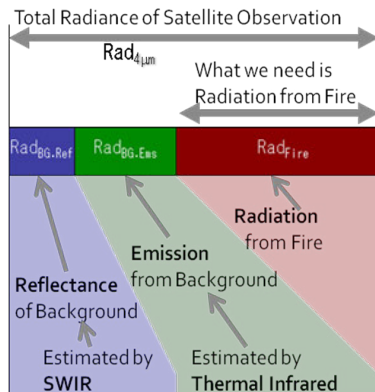


図 2. 森林火災赤外輝度の推定

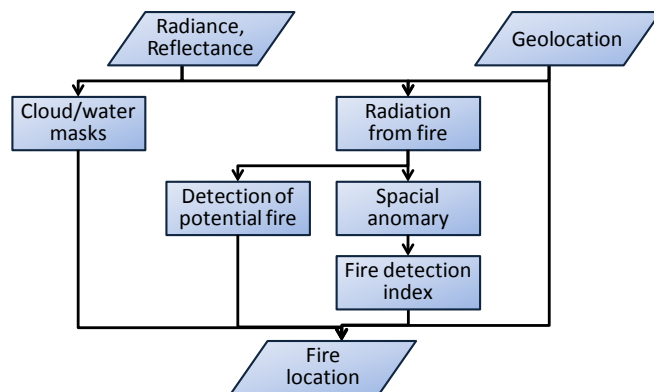


図 3. 火災検出アルゴリズムの概略

$$\text{Fire} = (\text{ABS} \vee (\text{CT1} \wedge \text{PF})) \wedge (\neg \text{Mask})$$

$$\text{ABS} = (\text{Findex}_{2.2} > 0.17)$$

$$\text{CT1} = (\text{Findex}_{2.2} > 0.14) \wedge \text{Nvalid} > 0.25 \text{Nall}$$

$$\text{Findex}_{2.2} = \frac{\text{FireRad}_{2.2} - \overline{\text{FireRad}_{2.2}}}{\max(0.04, 0.6 * (\text{FireRad}_{1.6} - \overline{\text{FireRad}_{1.6}}))}$$

図 4. SGLI 向け森林火災検出アルゴリズムの主要部分

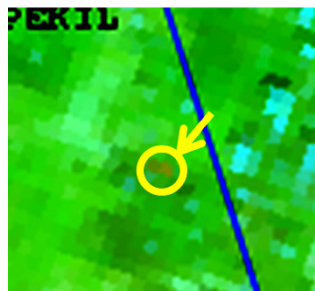
森林火災検出アルゴリズムの主要部分を図 4 に示す。短波長赤外線と可視を用いて火災からの放射強度を推定して、推定された放射強度の空間偏差を火災インデックスとして、火災を検出する。

3. 検証データ :JAL 森林火災共同観測・国総研実物大校舎火災実験

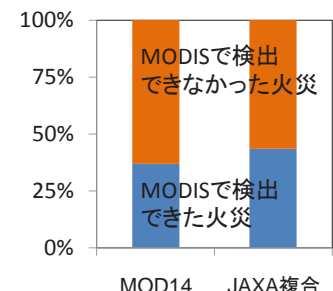
森林火災検出アルゴリズム検証に、JAL 森林火災共同観測を行っています。JAL パイロットが上空から森林火災を確認すると、JAL 火災報告がデータベースに登録されます。各火災報告より森林火災を含む領域を推定し、複数の火災推定領域が重なる重複領域には必ず火災があると推定します (図 5a)。一方衛星では、JAL 報告の重複領域内には検知できた火災はなく、火災検出に失敗したと推定されます。しかし、重複領域の衛星赤外画像を見ると、中間赤外線輝度が高く赤いピクセルがあり、これが検知できなかった火災と推定されます (図 5b)。この JAL 報告を用いた検証を積み重ねて推定した衛星火災検出成功率を図 5c に示します。MOD14 に比べ検出成功率が向上した事がわかります。



(a) JAL 森林火災報告で推定した火災位置推定領域



(b) 重複領域の MODIS 赤外画像



(c) 火災報告で推定した森林火災検出成功率

図 5. JAL 森林火災共同観測による MODIS 火災検出アルゴリズムの検証

5. GCOM 利用研究

国総研の木造3階建て学校実大火災実験に参加し、熱赤外線による校舎火災の輝度温度分布を測定しました(図6、図7)。同時刻の Terra/MODIS の観測では $2.2 \mu\text{m}$ で目視確認できたものの、火災検出には失敗しました。今後、原因を把握し建物火災の検出可能性を検討します。



図6. 校舎火災の可視画像

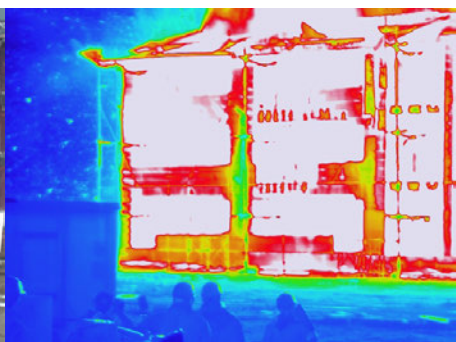


図7. 校舎火災の熱赤外画像

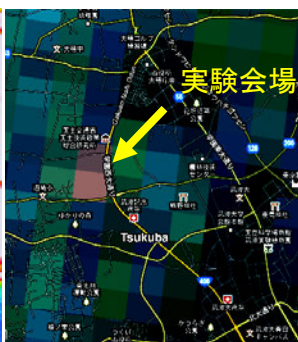


図8. MODIS 赤外画像

4. データ提供 :IARC-JAXA 研究ディレクトリ (IJ-Dir)

IARC-JAXA 研究における衛星データ利用の推進、および観測データや成果の相互活用を目指し、IJ-Dir を開発しました。衛星データと研究活動を地図に重畳表示する Web GIS データベースで、IARC での研究活動を投入し、研究対象の位置、研究概要、連絡先等が閲覧できます。現在 MODIS 可視・赤外画像と森林火災分布を提供しています。操作も簡便で自在に拡大縮小したり、日付を選びながら、衛星が専門でない研究者にも衛星からみた研究対象を自在に閲覧できます。

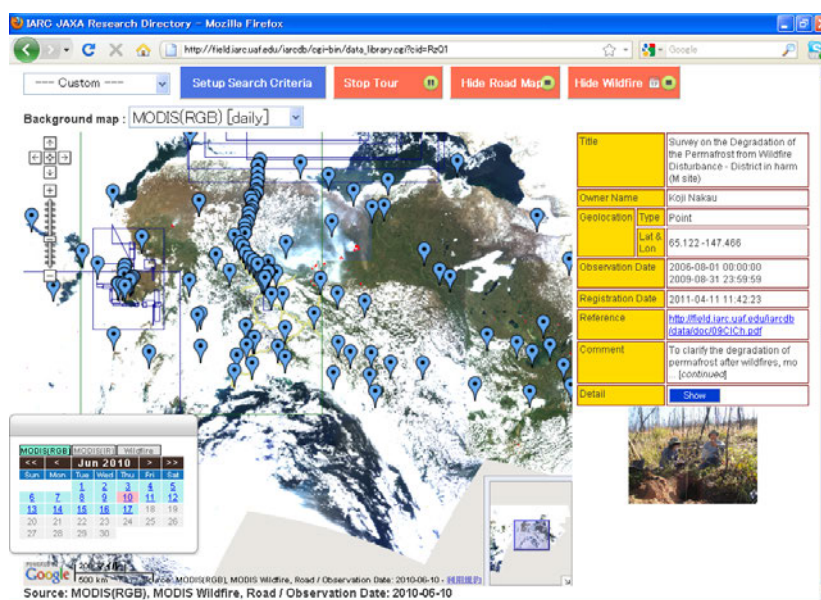


図9. IJ-Dir 画面例 (MODIS 可視画像に森林火災(赤)と研究対象(青)を表示しています)

5. 実利用 : 森林火災プロダクトの実利用に向けた研究開発

北海道大学の SATREPS 泥炭炭素管理プロジェクトの目玉となるシステムとして、森林火災情報の携帯メール通報システムを開発しています(図10)。衛星や気象のデータを用い、森林火災位置、地

下水状況、延焼予測情報等、必要な情報を消防隊員の携帯電話へ直接メール (SMS) 通報します。本システムの根幹である火災検知ならびに携帯メール通報システムの開発を担当しています。

この SMS システムは、日本における常識からかけ離れたものです。消防隊員の通信手段は SMS に限られ、隊員には地図読解力がなく、理解し易い文章を送信する必要があります。これに対応するため、森林火災の消防団からの道路距離と、道路から火災の距離を推定する手順を開発しました (図 11)。結果を火災情報データベースとして、プロジェクト web サイトにて公開しています。メール文案は、インドネシア宇宙局 (LAPAN) やパランカラヤ大学と協力して開発を進めています。

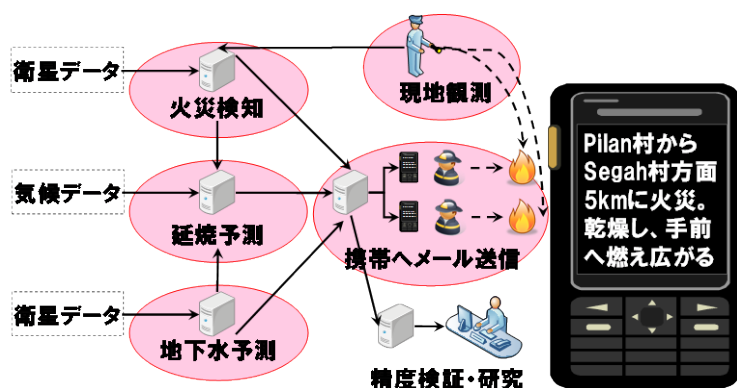


図 10. 森林火災通報システムの概念図

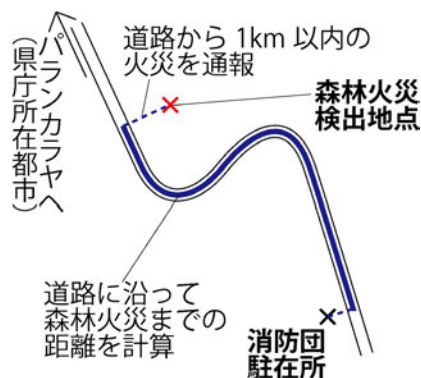
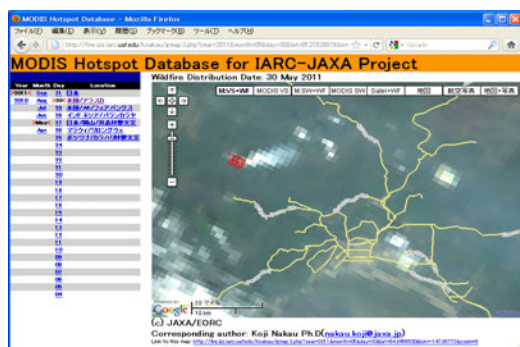


図 11. 提供する火災位置情報

図 12 に示すように、毎日の MODIS 火災検出データや可視画像を GoogleMap 地図に重畳表示するシステムを開発しました。これにより、簡単に森林火災と集落や道路までの距離を把握でき、消防計画や避難の判断に役立つと期待されます。しかし途上国は通信環境が厳しく、この様なリッチな地図は使用できないため、各村の消防団員の携帯電話へメールにて情報を通報するシステムを構築中です。



(a) 森林火災位置、可視画像、道路の重畳

図 12(b) は、MODIS Hotspot Database for JICA-JST SATREPS Project の画面を示しています。画面には、火災の位置と、道路のネットワークが重畳表示されています。右側には、火災の位置と、道路のネットワークが重畳表示されています。

Year	Month	Location	Date	Data	Latitude	Longitude	Distance from Road	Distance from village	Orientation from Village	Map
2009	09	01	2009-09-01	csv	No fire Found					
2009	09	02	2009-09-02	csv	No fire Found					
2009	09	03	2009-09-03	csv	No fire Found					
2009	09	04	2009-09-04	csv	No fire Found					
2009	09	05	2009-09-05	csv	No fire Found					
2009	09	06	2009-09-06	csv	-2.382	114.117	730m	15889m	Toward PKY	
2009	09	07	2009-09-07	csv	-2.383	114.108	9m	16323m	Toward PKY	
2009	09	08	2009-09-08	csv	-2.380	114.161	925m	10929m	Toward PKY	
2009	09	09	2009-09-09	csv	-2.385	114.128	890m	14939m	Toward PKY	
2009	09	10	2009-09-10	csv	-2.350	114.089	226m	18712m	Toward PKY	

(b) 消防団へ提供するメール文面用パラメータ

図 12. 実利用へ向けた森林火災情報システムの画面例

6. まとめ

今年度は、SGLI 森林火災検出アルゴリズム開発と、森林火災の道路距離推定手法開発を中心に、IARC-JAXA 研究ディレクトリでの衛星情報提供機能や、CIRC 観測計画立案用データを作成しました。また、国総研の実大校舎火災実験に参加しました。現在 SGLI 森林火災検出アルゴリズムは

5. GCOM 利用研究

SGLI に $4\ \mu\text{m}$ チャンネルがないために、感度が MODIS よりも劣っていますが、SGLI が稼働し、250m 解像度のデータが得られれば解像度の改善が期待されます。

同システムは、JAXA を中心に、各国の宇宙機関で防災情報を共有する国際枠組み (センチネルアジア) の次期システムにおいて、森林火災情報共有の目玉システムの一つとできないか、目下検討を進めています。

7. 今後

次年度より、北海道大学にて小型衛星の森林火災への利用を担当します。小型衛星は今後国際協力などに役立つ事が期待されていますが、小型衛星だけでは観測範囲が限られ、実利用において力を発揮できる場面が限られます。それゆえ、GCOM-C1/SGLI の様にしっかりとした衛星での観測を主とし、複数の小型衛星の高分解能なセンサによる情報を重畳して、総合的な森林火災の情報提供システムを構築すべきだと考えています。

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

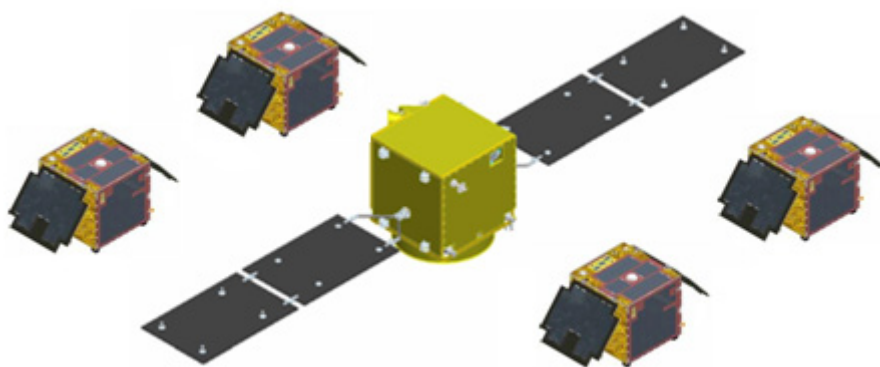
地球電磁環境モニター衛星群 :ELMOS Constellation

- 小型科学衛星バスを利用した小型地球観測衛星シリーズ化の提案 -

児玉哲哉

1. ELMOS 衛星群の目的

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



ELMOS 衛星群の構成案

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

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

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

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。

2. 東日本大震災における地震電磁気現象

世界でも稀な稠密な高感度・広帯域・強震観測網（Hi-net, F-net, K-NET）や測地観測網（GEONET）により、我が国の地震学は進展を遂げたが、東日本大震災は想定外の事態となった。一方、電磁気的地震予知研究は世界的に活性化しており、2011 年より欧州連合の第 7 次研究枠組みで開始された

6. 将来の利用推進ミッションの研究（共通）

地上 - 衛星連携地震前兆研究 :Pre-Earthquake プロジェクト等により、地震前の電子密度急増、衛星赤外放射、エネルギー粒子降下が報告されている³⁾。

同年の地球惑星科学連合大会でも、電波伝搬異常、電子密度及びラドン等、多くの先行現象の報告がなされた⁴⁾。特に北海道大学の日置教授が報告した本震 40 分前の電子密度急増は、地震学と電離圏分野の研究者から注目を集めている⁵⁾。

3. ELMOS 衛星群の実現と小型地球観測衛星のシリーズ化

我が国は世界的にも地震活動が活発であり、地震予知は国として世界に率先して取り組むべき重要な責務といえよう。その前にはまず、地震前電磁気現象が信頼できる先行現象として立証されなければならない。そのために必要な観測データは、地震研究のみならず電離圏から大気圏までの領域の実利用・科学研究及び工学利用の大きな価値がある。観測に必要な機器は、いずれも我が国の宇宙科学衛星で実績のある高精度・シンプルかつ安価な装置であり、その整備は十分可能である。

我が国の地球観測の基幹観測システムとして整備するに相応しい能力と発展性を有し、地震前電離圏擾乱の立証という地球科学の新たな知見を拓くため、オール JAXA・オール Japan 体制により、我が国の宇宙開発の未来を拓く小型衛星群 :ELMOS コンステレーションの早期実現と、小型衛星による衛星開発戦略の構築を提案する⁶⁾。

参考文献

- 1) 児玉, 小山, 小原, 鈴木: 小型衛星群 ELMOS - 小型科学衛星バスによる小型地球観測衛星のシリーズ化に向けて -, 日本航空宇宙学会第 43 期年会講演会講演集, 2012 年 4 月
- 2) 21 世紀の地球電磁気学, 日本学術会議地球電磁気学研究連絡委員会, 平成 17 年 5 月 19 日
- 3) Kodama and Oyama, Recent Status and Results of Seismo-Electromagnetics by Satellite Observation -A Proposal of the ELMOS Small Satellite Constellation-, AOGS, 2011 (invited)
- 4) 上田, 日本の地震予知, 原子力システム懇話会 第 21 回会員総会 特別講演, 2011 年 6 月 21 日
- 5) Heki, GPS Array as a Sensor of Lithosphere, Troposphere and Ionosphere, AGU Fall Meeting, 2011 (Bowie Lecture)
- 6) 上田他, 経済産業省「新たな国家プロジェクト」提案: 地上 - 衛星観測による 21 世紀の地震フロンティア研究, 日本機械学会イノベーションセンター技術ロードマップ委員会, 2012 年 2 月 1 日

7. 地球観測衛星データの農業分野への 利用技術開発

7. 地球観測衛星データの農業分野への利用技術開発

大吉 慶

1. はじめに

FAO によると 2050 年までには人口増加や穀物飼料の需要増により現在より 70% の食料増産が必要とされている。また、現在でも 10 億人が栄養不足状態である。さらに近年、気候変動による極端気象（干ばつや洪水）影響や原油価格の高騰、投機的マネーの流入などにより、食料価格の乱高下が世界的課題となっている。このような乱高下は、食料需給の不透明が一つの原因とされている。このような背景を受け、昨年 G20 の農業大臣および G20 サミットにおいて「食料価格乱高下および農業に関する行動計画」が採択された。この中で農業市場の透明化に向けて、リモートセンシングにより作物生産予測や農業気象観測を提供する Global Geo-Agricultural Monitoring (GLAM) イニシアチブが立ち上げられた。JAXA においても農業を主要な衛星利用分野と位置づけており、平成 21 年度より主催している「食料安全保障分野の地球観測衛星利用研究会」や関連するプロジェクトを通じて農業分野での衛星データ利用の研究開発・推進を進めている。

2. 地球観測データの農業分野における利用技術の概要

食料安全保障では食料需要を満たす供給量を確保することが求められる。したがって、収穫前に収量予測情報を提供し、需給ギャップを埋めるための収穫までのリードタイムを長くすることが重要となる。また、経済的側面においても、収量予測情報は、農産物輸出量や輸入量の見積もりに有用となる。

図 1 は地球観測衛星データを利用した作物収量予測の枠組みを示している。収量予測は主として、「耕作地図作成」と「単収推定」の 2 つから構成され、耕作地面積に単収を掛け合わせることで、収穫量を予測する。耕作地図作成は、対象とするスケール（局所レベル、国レベル）によって要求精度や計算機の制約があり、光学センサやマイクロセンサを用いて、一時期もしくは多時期のデータから植物フェノロジーを利用して、特定の作物の耕作地域を検出する。単収推定については、作物成長モデルを利用した生物物理学的手法と、作物統計データを利用した経験的手法に大別できる。

今年度は、耕作地図作成における水田分布図の作成手法の開発と、収量予測に有用な乾燥度指標に利用する地表面温度データの品質評価のための雲マスクの作成手法の開発を行った。以下、それぞれの研究についての概要を記す。

3. ALOS AVNIR-2/PALSAR を統合した水田分布図の作成

3.1 水田分布図の必要性および作成手法

米はその生産と消費の 90% 以上をアジアで占めており、アジア域で最も重要な穀物である。水田とその他の耕作地を判別するのは非常に困難であり、一般的には耕作地のフェノロジー情報を用い、水田は湛水時期があることを利用して水田の検出を行う。雲被覆の多い東南アジア域では光学センサによる植物フェノロジーを観測することは困難であるため、水田検出には SAR データが有効である。しかしながら、SAR データは光学センサと比較すると空間分解能が粗く、スペckルノイズも

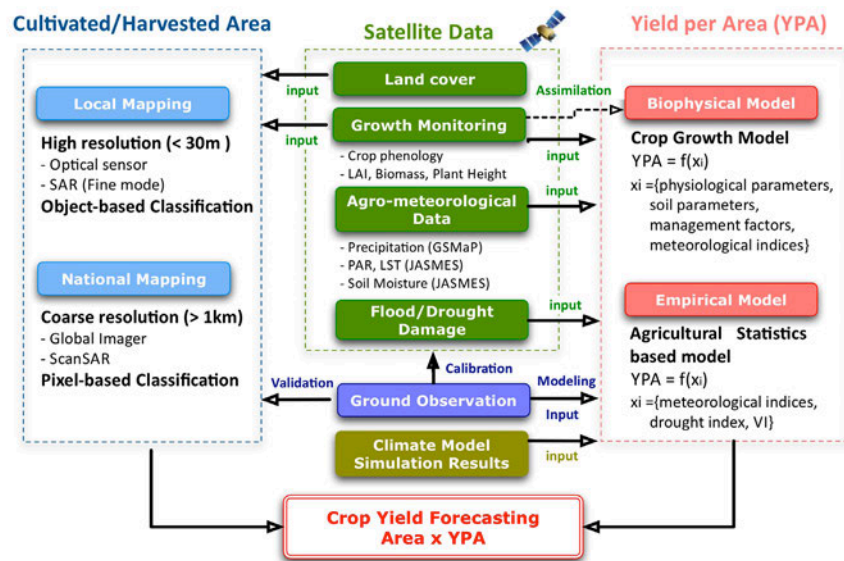


図1. 地球観測衛星データを利用した作物収量予測手法の枠組み

問題となる。そこで、本研究ではまず、AVNIR-2 データをテクスチャ解析することによって地表面をセグメント化し、各々のセグメントに PALSAR による時系列の後方散乱係数を対応づけ、HH データの時系列変化への閾値処理によりセグメントごとに水田検出を行った。図2に本研究で構築した水田検出アルゴリズムを示す。

3.2 作成された水田分布図

対象地域は、GISTDA-JAXA 共同研究において対象としているタイ国東北部のコンケン県の天水田とした。タイ国は世界第一位の米輸出国であり、稲作は生活、文化、経済と密接に関わっているため、水田地域の把握や収量予測への衛星データ利用への期待は大きい。AVNIR-2 (2008/4/26) データと PALSAR データ (FBD モード、2008/6/3、7/19、9/13、10/19) を利用して、水田地域の検出を行った。図3にタイ国土地開発局が作成した水田分布図と、AVNIR-2 と多時期 PALSAR データを利用して作成した水田分布図の比較を示す。右図の地上観測サイト周辺の検出結果を見ると、両者とも概ね一致しているが、西側地域で本研究のみ水田を検出している領域が確認できる。現地調査において、これらの地域では水田が見られたため、土地開発局によるデータのみから精度評価を行うのは難しい。今後は現地調査によって取得した土地被覆データから精度評価を行う予定である。また本研究では水田検出に PALSAR の HH データによる単純な閾値法を用いたため、今後は現地調査に基づいた水田地域のデータを学習データとして統計的な分類手法を適用する予定である。

4. 運輸多目的衛星 MTSAT による雲マスク作成

4.1 GSMaP と MTSAT 地表面温度による干ばつモニタリング

インドネシアで実施した SAFE プロジェクト (2010-2011) においては、東京大学・LAPAN により衛星データを利用した KBDI (Keetch-Byram Drought Index) による水田の干ばつ監視手法が開発された。KBDI の計算には降水量と日最高地表面温度が必要であり、降水量には GSMaP、地表面温度 (LST)

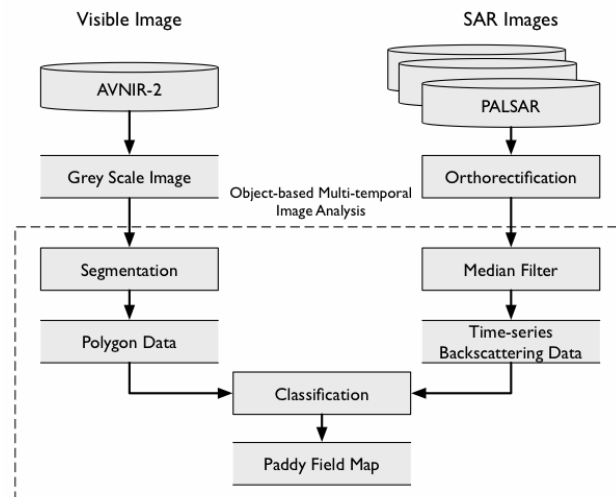


図2. AVNIR-2 と多時期 PALSAR による水田検出手法の概要

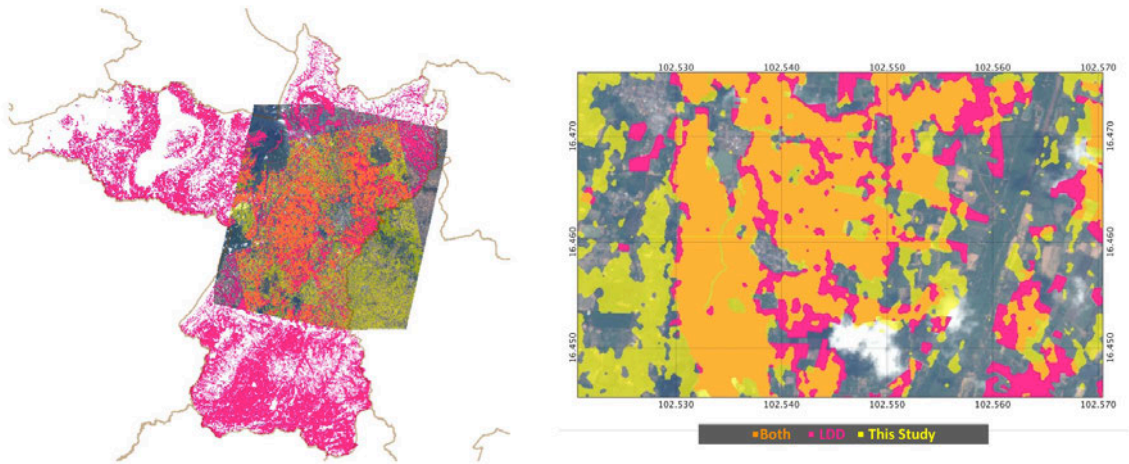


図3. タイ国土地開発局が作成した水田分布図と AVNIR-2 と多時期 PALSAR データを利用して作成した水田分布図の比較。左図がタイ国コンケン県全体、右図が地上観測サイト周辺地域。橙色が両者とも一致、赤がタイ国地図のみ、黄色が本研究のみ検出した地域を示す。

には MTSAT から計算された (LST) を使用している。MTSAT は 1 時間ごとの観測ができるため、日最高 LST をより正確に取得できることに加え、観測頻度が多いことから雲被覆の影響も相対的に受けにくい。

筆者はこれまで、KBDI の計算に必要な MTSAT LST 推定手法の開発およびアルゴリズム提供を行ってきた。しかし、雲被覆の影響により LST の推定精度が低下するため、プロダクトの品質評価には雲マスクが有用である。そこで、MTSAT データから毎時雲マスクプロダクトの作成手法の開発を行った。雲マスクにより地表面温度プロダクトの品質評価が可能となれば、KBDI の品質向上にも寄与する。またその他にも、MTSAT からは可降水量プロダクトや森林火災の検知等が試みられており、これらの品質評価にも雲マスクプロダクトは有用となる。

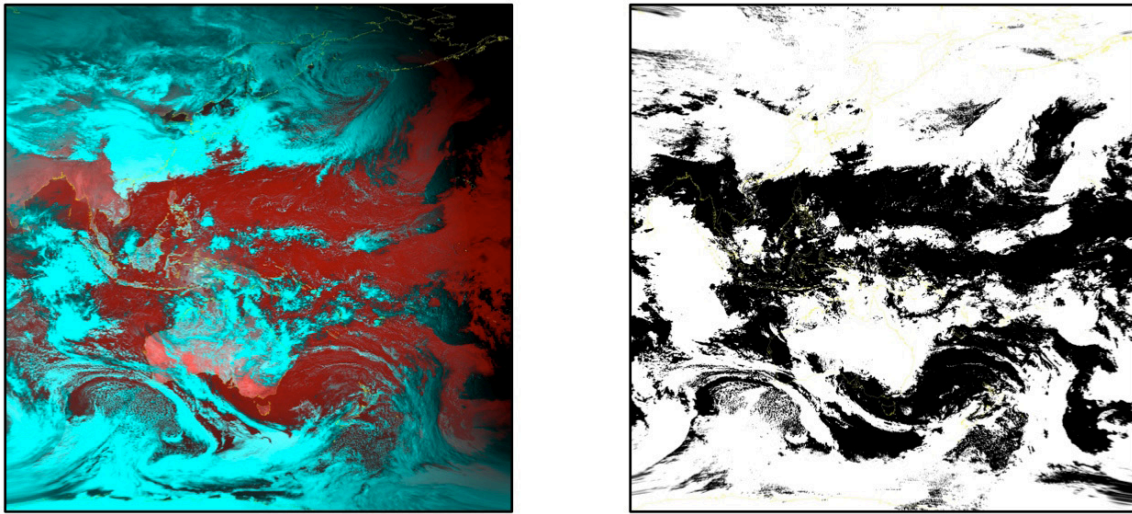


図4. MTSAT データから作成した擬似カラー画像（左、R:G:B=IR1:VIS:VIS）と雲マスク画像（右、白が雲を示している）。観測時刻は2012年2月25日04:32 (UTC)

4.2 MTSAT による毎時雲マスクプロダクトの開発

全球で昼夜の雲マスクが利用可能な MODIS 雲マスクプロダクト (MOD35) をアルゴリズムの構築・検証に利用することで、MTSAT の観測範囲であるアジアオセアニア域に対して、年間を通じて場所・季節・昼夜に関わらず頑健性のある手法を開発することを可能とした。MTSAT の可視・赤外バンドから計算した特徴量を用い、樹木モデルによる雲判別アルゴリズムを MODIS 雲マスクから作成した学習データにより構築した。学習データとは別の MODIS 雲マスクによる検証データによって精度評価を行った結果、約 80% の判別精度であった。

図4に MTSAT データの擬似カラー画像と作成した雲マスク画像を示す。全体としては、擬似カラー画像から判読できる雲の領域が雲マスク画像と一致していることが確かめられる。しかしながら、特徴量が晴画素と似通っている雲周縁部や常に雲量の多い地域での誤判別が確認できた。さらに、冬季の地表面の積雪と雲を見分けることは、スペクトル特性が似ていことから非常に困難であり、今後の研究課題である。また、本研究で開発した雲マスクアルゴリズムは、準リアルタイム処理システムとして実装しており、WWW 上で最新の雲マスク画像を3時間程度の遅れで閲覧することができる (http://webgms.iis.u-tokyo.ac.jp/LST/index_cld.php)。

5. まとめ

今年度は農業分野への衛星データ利用を目的として、水田地域の検出手法の開発、MTSAT 雲マスクプロダクトの作成の2つの個別要素技術の開発を行った。今後は個別要素技術の精度向上を図りつつ、作物収量予測を行うために不可欠な単収量の推定手法に取り組む必要がある。そして、「耕作地図作成」と「単収推定」の2つを統合した収量予測システムの構築を行うべきであると考えている。また、必要な時に必要な情報を提供するために、定常的な農業モニタリングシステムの構築が重要である。

8. センサ研究の概要

8. センサ研究の概要

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

1. はじめに

EORC センサ研究室では、将来の地球観測センサのための技術研究を行っている。超軽量大型鏡の研究では、プロジェクト支援の一環とし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（第2節）。イメージング FTS の研究では、改修した GOSAT の TANSO BBM（GOSAT TOKYO モデル）に 2 次元 InGaAs カメラを実装し、実験にて取得されたデータの解析・検証を実施した（第3節）。小型赤外カメラの開発では、ALOS-2(2013 年度打上げ予定)、JEM/CALET(2014 年度打上げ予定)の二台の PFM の開発を進めた（第4節）。戦略的技術研究として実施している宇宙用赤外線検出器の研究では、非冷却赤外検出器については 200 万画素検出器の試作を完了し、タイプ 2 超格子検出器については、単画素検出器の性能向上とその評価を行なった（第5節）。光学センサの校正・性能評価試験技術の研究では、1m ϕ 金積分球の製作を実施し、筐体完成後に初期性能評価試験を行った（第6節）。海面高度計ミッションの検討では、センサ・衛星システムの概念検討を実施し技術課題の抽出を行った（第7節）。サブミリ波放射計では、民生用の高周波デバイスについて地球観測センサへの適用性を探るべく開発方針、評価法等についての検討を進めた（第8節）。植生ライダーの研究では、きぼう曝露部への搭載実現性に係るシステム検討を行った（第9節）。

2. 超軽量大型鏡の研究

2.1 概要

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。センサ研究室では、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 Φ 800mm 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を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、FY23 では主に③について取り組んだ。

2.2 波面縫い合わせ測定

上記の Φ 800mmSiC 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 Φ 800mmSiC 望遠鏡全面の波面測定を行った（図 2-1）。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 2-2 に示す通り、 Φ 300mm 小型平面鏡で縫い合わせ測定した波面は（図 2-2 右）、 Φ 900mm 平面鏡で瞬時測定をしたフルアパーチャ波面（図 2-2 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。次世代赤外線天文衛星 SPICA では、この波面縫い合わせによる望遠鏡測定を検討しており、EORC センサ研究室では技術支援を行っている。

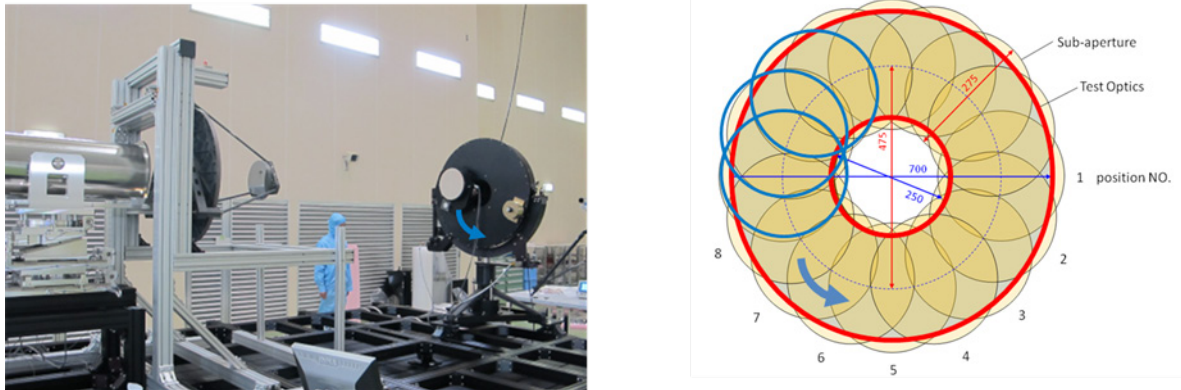


図 2-1. 左：波面縫い合わせ測定の様子
右：波面縫い合わせ測定概念図

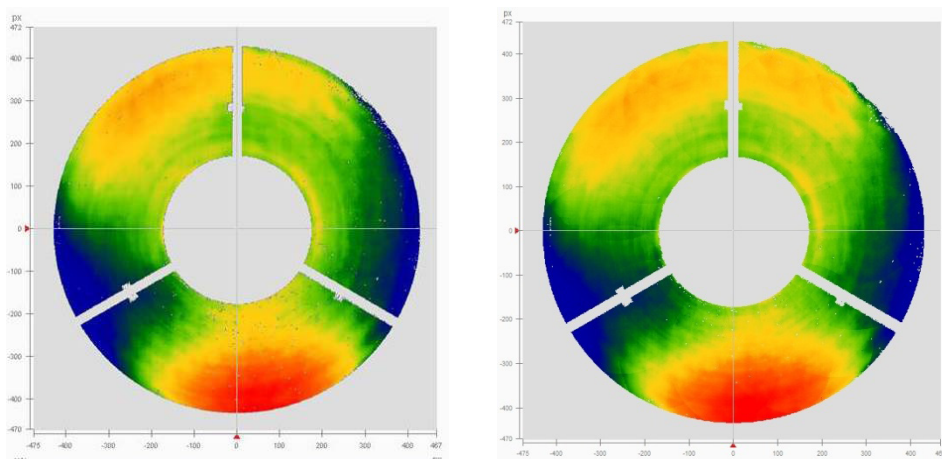


図 2-2. 左： Φ 900mm 鏡で瞬時測定した SiC 望遠鏡の波面。RMS=1.718 λ
右： Φ 300mm 鏡で縫い合わせ測定をした SiC 望遠鏡の波面。RMS=1.704 λ

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

[12] NEF-100016 大型ミラー研究成果報告書 JAXA/EORC

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、我が国を含む広域への直接・間接的影響が懸念されている。静止衛星からの観測により、アジアの広域大気汚染の動態を常時観測することは極めて重要と考えられている。また、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データを同化することにより、数値予報精度の向上が確認されており、静止気象サウンダからの常時観測により高い鉛直分解能・精度・頻度で観測することが望まれている。

JAXA では、大気汚染観測ミッションと気象観測ミッションを合わせ、FY18 から静止大気・気象観測ミッションの研究を実施してきた。静止大気観測ミッションを実現できるセンサの候補として、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げられるが、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 であると結論するに至った。そこで FY22 よりイメージング FTS 実現に向けての重要技術課題を抽出し、技術開発・研究を実施することとした。

3.2 FY23 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る、検出器に積分型アレイ検出器を用いる。FTS は、等間隔の光路差でサンプリングした干渉光：インターフェログラム (IGM) を逆フーリエ変換することで、元のスペクトルを得る。そのため基本原理として、等間隔でサンプリングされた IGM を得ることが必要である。GOSAT に搭載されているフーリエ干渉計 (TANSO-FTS) では、サンプリングに使用されるレーザ干渉光と太陽光が地表面で反射し大気吸収を受けた観測光をサンプリングの際に発生するタイミングの差を微調整する遅延回路、およびサンプリング信号のゼロ点調整を厳密に行うことにより、一定間隔にサンプリングできるようハード的に対応した。イメージング FTS は積分型検出器を用いるため、必然的に積分時間分の遅延が発生し、TANSO で確立したサンプリング信号と観測信号を同期させる補正技術の使用が難しい。そのため、従来型の (TANSO で使用されている手法) 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する方式 (ユニフォームタイムサンプリング:UTS 方式) に変更する必要がある。

UTS 方式のフローチャートを図 3-1 に示す。逆フーリエ変換する前に、時刻を基準にサンプリングされたデータを、等間隔の光路差の IGM に再生成する。その際に、走査速度不安定性や微小振動の影響を補正するためには、サンプリングレーザのフリ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 については宇宙機搭載の実績・経験がないことから、必要なサンプリング周期、必要なデータ処理方法について解析、実験で確認する。また、通常の FTS では単素子を使用

8. センサ研究の概要

することから、光軸上データのみである。一方、イメージング FTS では光軸外素子も使用し観測することから、解析、実験により光軸外の特性も確認・評価することとした。現在、InGaAs 積分型検出器の読み出し速度は 64×64 素子配列のものでも 1kHz 程度が最速である。実際、軌道上観測を実現するためには 128×128 素子配列のもので 10kHz 程度の読み出し速度が必要である。一般的に低速にした場合、干渉計を安定して走査することが難しい。そのため、低速走査の干渉計駆動機構の開発も必要となる。

FY23 では、GOSAT の TANSO BBM (GOSAT TOKYO モデル) に低速走査機能を開発・付加し、従来よりも 10 倍以上低速である、100-300Hz での走査が可能になるよう改修した。さらに改修した干渉計に市販の 2 次元 InGaAs カメラを実装し、データ処理アルゴリズム開発および開発したアルゴリズムを適応して実際に実験にて取得されたデータの解析・検証を実施した。

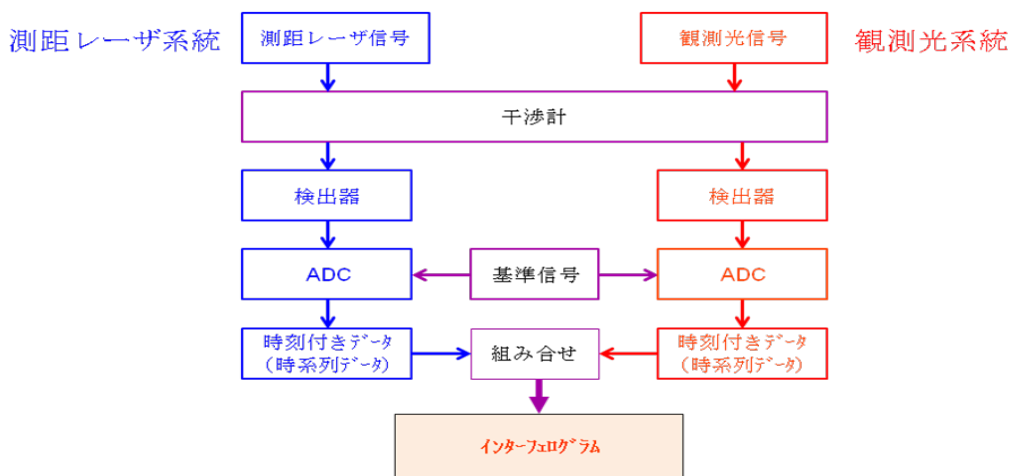


図 3-1. UTS 方式におけるデータ処理フロー

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

3.3 FY23 の結果

(1) 時刻基準サンプリングアルゴリズムの開発

GOSAT の BBM である TOKYO のフーリエ干渉計と、一般市販品である InGaAs 積分型 2 次元検出器 ($1.6 \mu\text{m}$ に感度を有する) を組み合わせ、さらに新規にデータ取得ソフトを開発し、実験・評価系を構築した。この試験系により、実際に取得された観測データを処理、スペクトルの再現性を確認した。年度当初の目標として、 5×5 素子の同時処理を掲げていたが、年度内に目標値を上回る、 16×16 素子への同時スペクトル導出を実現した。さらに擾乱環境下における 2 次元スペクトルの導出にも成功した。本試験により開発したアルゴリズムの妥当性を確認した。

図 3-2 に本研究で構築した試験評価系の写真を示す。実際のスペクトルの再生を確認するため、光源としてハロゲンランプを使用し、光路内にメタンガスセルを配置し、 $1.6 \mu\text{m}$ のメタン吸収線を確認できる系とした。また、通常 $1.6 \mu\text{m}$ 帯の検出器ユニットが装着されている場所に、検出器ユニットごと交換しとする 64×64 素子で構成される InGaA2 次元カメラを取り付けられるように改修した。

サンプリングレーザは、新たに製作されたデータ取得系にてデジタル変換される。2次元カメラデータは、カメラリンクフォーマットに準拠した画像で伝送され、サンプリング信号と共に解析端末に記録される系とした。記録されたデータはピクセル毎に再配列され、開発したデータ処理アルゴリズムを適応し、データ処理を実施する。

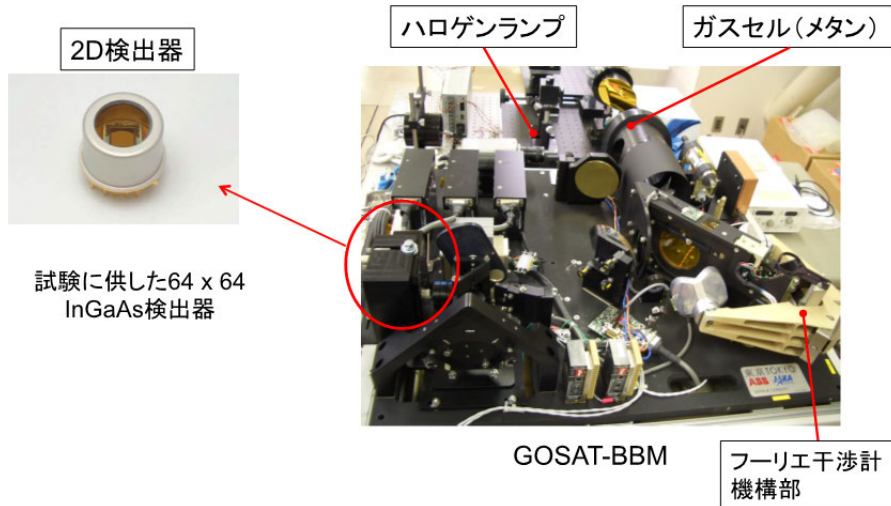


図 3-2. 構築した実験評価システム

図 3-3 に取得されたハロゲンランプの画像と取得条件を示す。図 3-2 のシステムを用い取得されたメタンガスセルを透過したハロゲン光の 2 次元画像を示している。画像は 1/1000sec 毎に取得され、ピクセル毎に当時間サンプリングされたインターフェログラムを元に、データの補間・補正を実施し、等距離サンプリングインターフェログラムを生成する。

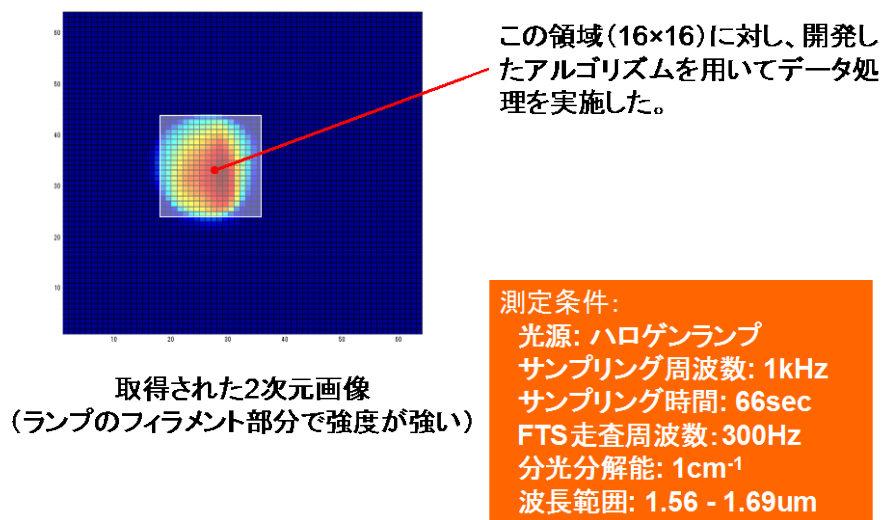


図 3-3. 取得されたハロゲンランプの画像

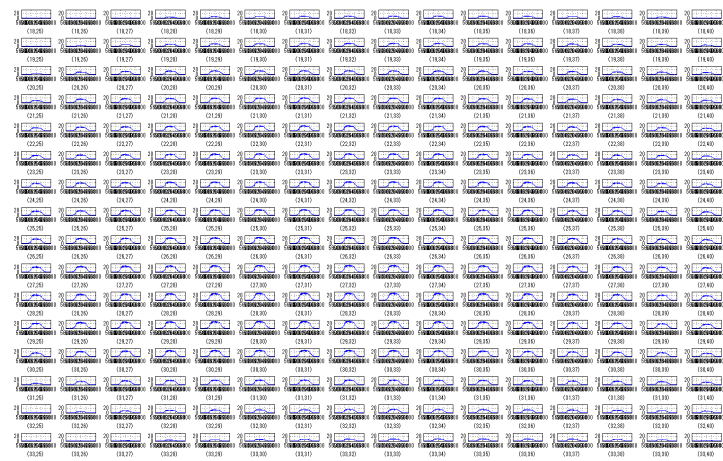
図 3-4. 同時取得された 16×16 スペクトル

図 3-4 に同時取得された 16×16 スペクトルを示す。ハロゲンランプの光量は検出場所に依存し強度が異なるため、再生したスペクトルにおいても強度差が発生していることが確認された。また、対象とする全ピクセルにおいて開発したアルゴリズムを適応することで、メタンの吸収線を含むスペクトルが導出できることを確認した。

アルゴリズムの擾乱耐性を確認するために、実際に擾乱環境下における試験データを取得し、安定環境下におけるデータとの比較を実施した。本試験は、TOKYO モデルに搭載される干渉計の固有振動数に対応する 100Hz の正弦波振動を、ビームスプリッタを支える機構部にて 3mG となるように加え、実施した。本擾乱が加えられた環境で取得されたスペクトルと、安定環境下で取得されたスペクトルを比較した結果を図 3-5 に示す。同一ピクセルに対するスペクトルを比較した結果、光軸中心および光軸端において、二者のスペクトルはほぼ一致していることを確認した。このことは、開発したアルゴリズムが適切に作用していることを示している。

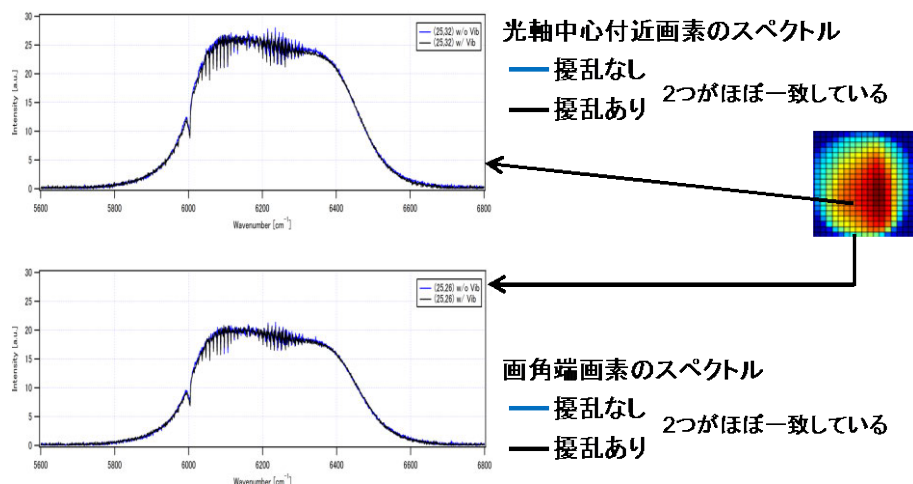


図 3-5. 擾乱環境下および安定環境下におけるスペクトル比較

(2) フーリエ干渉計機構部の評価

本研究では、積分型検出器を実装するために、これまで実現されていない低速且つ安定走査を実現する必要がある。そのため、FY23 年度に、干渉計機構部の走査制御方式を変更し評価試験を実施した。本試験により、従来の走査速度 (19.4kHz) に比べ、1 桁以上遅い 100-300Hz での走査に成功し、走査安定度も当初目標の 3% を超え 1% を実現した。(表 3-1 に低速走査時の安定度および分光分解能を示す。) しかしながら、本走査方式を適応した場合、高分解能走査時 (0.5cm⁻¹ 以上) において、新たに長期走査安定度に課題があることが判明した。本課題については、FY23 年度の研究の中で、干渉計機構部の走査アーム保持方法に起因していることが判明し、原因究明および解決策を見いだした。本対応については、FY24 年度の研究の中で実施予定である。

表 3-1. 低速走査安定度

分光分解能 [cm ⁻¹]	走査周波数 [Hz] (走査時間: sec)					
	3000	1000	500	300	200	100
5	Good (1.1)	Good (3.3)	Good (6.6)	Good (10.9)	Good (16.4)	Good (32.8)
1	Good (5.5)	Good (16.4)	Good (33)	Good (55)	Good (83)	Good (165)
0.5	NG (10.9)	NG (32.8)	NG (65.4)	NG (109)	NG (164)	NG (327)

3.4 今後の計画

想定している静止 I-FTS センサ仕様と同様の走査速度、データ取得速度を実試験系で実現できる目処が得られたことから、FY24 年度には部分モデルを用いた End-to-End 試験を実施する。本試験の中では、素子数を 64x64 にまで拡張し、10kHz 走査速度にて実験を実施する予定である。さらに、実環境で想定される擾乱を付加した試験を実施し、スペクトルの精度および処理アルゴリズムのロバスト性の評価を行う。平行して、重要技術課題である、高精度校正源および大型ポインティング機構の実現性検討を実施する。

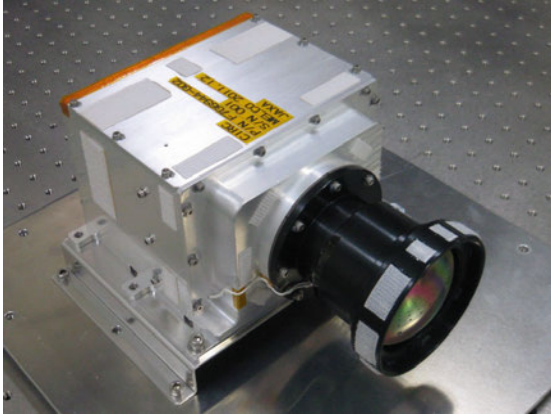
4. 地球観測用小型赤外カメラ (CIRC) の開発

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 の外観と主要諸元を図 4-1 に示す。検出器は宇宙用としてはこれまでで最大となる 640 × 480 画素の大フォーマットの素子を使用する。小型化、省電力化を達成するために、CIRC ではアサーマル光学系を採用している。また駆動部を減らして軽量化を図るために、校正用のためのシャッタを採用せずシャッタレスで温度校正を行う。

8. センサ研究の概要



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

図 4-1. ALOS-2 搭載 CIRC の外観と主要諸元

4.2 CIRC の開発状況

CIRC は、ALOS-2(2013 年度打上げ予定)、JEM/CALET(2014 年度打上げ予定)への搭載が決定しており、FY23 では二台の PFM の開発を進めた。

ALOS-2 搭載用 CIRC の PFM は、FY23/12 月までに製作と環境試験を完了した。FY23/12 月末より筑波宇宙センター内において真空中校正試験を実施し、仕様を満たしていることを確認した。PQR を実施後の FY23/3 月に ALOS-2 システムへの引渡しを完了した。

CALET 搭載用 CIRC の PFM は、ALOS-2 搭載用 PFM をベースとしているが、CALET とのインターフェース調整、ISS 搭載への安全審査対応を行い、FY23/3 月に CDR を実施した。FY24 は PFM の製作を進め、FY24/2 月末にはシステム噛合せ試験と環境試験を完了する予定である。その後、筑波宇宙センターでの真空中校正試験を実施する。

4.2.1 真空中校正試験

CIRC の真空中での性能確認のため、筑波宇宙センターにて真空中校正試験を実施した。CIRC の動作温度範囲 (-15~50℃) において、(i) 結像性能 (MTF) と、(ii) ラジオメトリック性能の評価を行った。

図 4-2 に結像性能 (MTF) の試験結果を示す。CIRC の動作温度範囲において MTF は仕様の 0.3 を上回っており、アサーマル光学系であることを確認した。ラジオメトリック性能に関しても、NEDT が 0.2K 以下、FPN は 0.3 以下と仕様を満たしていることを確認した。また、温度校正用データを取得し、温度決定精度が 2K 以下となる温度校正法を確立した。

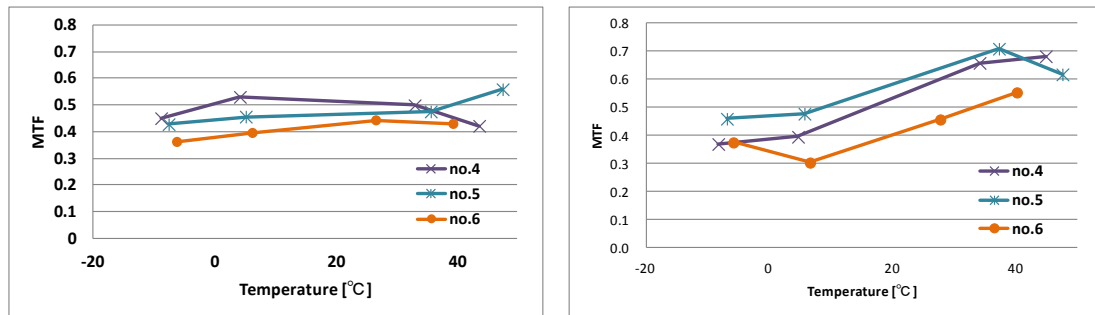


図 4-2. MTF の環境温度依存性
 左は CT 方向、右は AT 方向の MTF。また色の違いは画角の位置を示し、
 (CT,AT) の画角位置が、紫 :(-5°, 0°)、水色 : (0°, 0°)、橙 :(+5°, 0°)

4.3 地上検証用モデルによる航空機観測

FY23/3 月 22、28 日に、地上検証用モデル (図 4-3) を使って航空機観測を実施した。龍ヶ崎飛行場を発着とし、筑波宇宙センター上空、霞ヶ浦上空、成田空港上空からの観測を実施した。取得した未補正画像と補正済画像を図 4-4 に示す。CIRC はシャッターを搭載していないが、迷光補正、感度補正が行えていることを実証した。また、画像解析の結果、温度校正精度が 2K 以内であることを確認した。



図 4-3. CIRC(地上検証用モデル) の外観

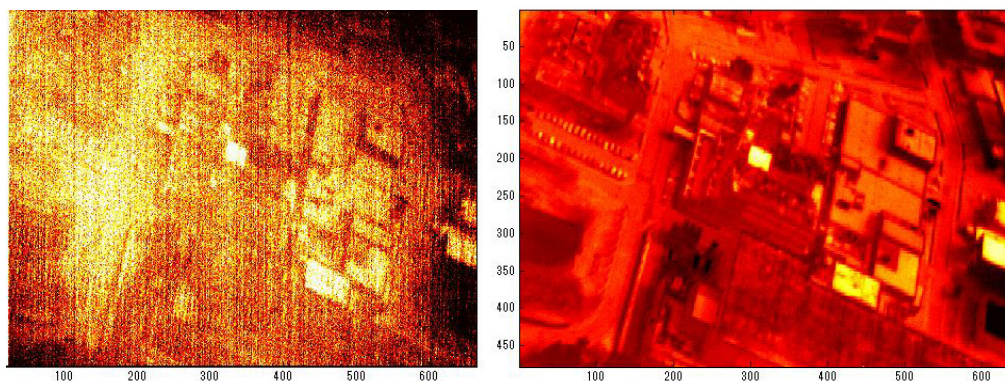


図 4-4. 航空機からの取得画像 (筑波宇宙センター研開棟上空)
 左が未補正画像、右は感度補正と迷光補正をした画像。

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となる検出器について研究開発を進めることとした。

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

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

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、400 万画素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、100 万画素以上の検出器の開発を目標とした。

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 μm であり、15 μm 画素、12 μm 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 × 480pixel であり、400 万画素クラスの大フォーマット化に関する技術開発は進んでおらず、画素ピッチも 25 μm レベルに留まっていた。ただし、量産体制を通じ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、より高い目標を設定することが可能となり、試作品の仕様を、世界最大の画素数 :200 万画素、世界最小画素ピッチ :15 μm と設定した。主な仕様を表 5-1 に示す。

FY23 はこれまでの要素試作の成果に基づき、上記の非冷却赤外検出器の試作を行った。試作した非冷却赤外検出器により取得した熱赤外画像を図 5-1 に示す。微小な温度むらも取得できており、十

8. センサ研究の概要

分な性能の非冷却赤外検出器が実現できている事がわかる。表 5-1 には試作検出器の熱時定数、雑音等価温度差（NETD）を示す。当初の目標を上回る性能の検出器が実現できている。

本研究により、世界最大の画素数 :200 万画素、世界最小画素ピッチ :15 μm の非冷却赤外検出器を実現し、400 万画素の非冷却赤外検出器実現の鍵となる、画素微細化、ステッチングの技術を獲得した。今後は、200 万画素検出器の衛星搭載化へ向けた研究を継続すると共に、400 万画素の非冷却赤外検出器の実現に向けた研究開発を継続する予定である。

表 5-1. 検出器の設計仕様と民生用非冷却赤外検出器の比較

項目	当初目標	設計仕様	試作結果	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)	200 万画素 (2000×1000)	約 80 万画素 (1024×768)
画素ピッチ	17 μm 以下	15 μm	15 μm	17 μm
熱時定数	20msec 以下	12msec	12msec	10msec
雑音等価温度差 (NETD)	100mK 以下	84mK	65mK (@f1.0, 15Hz)	40mK



図 5-1. 試作した 200 万画素非冷却赤外検出器を用いて取得した熱赤外画像

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事が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

よりもより小さなバンドギャップを持つことが可能となる。

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

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

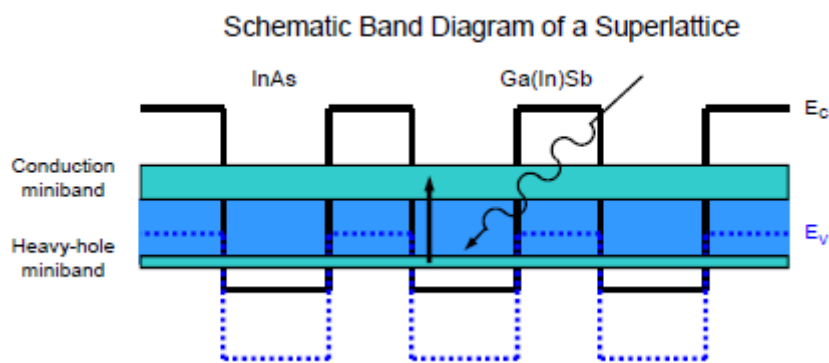


図 5-2. Type II 超格子のバンド構造と吸収プロセス (Hill et al 2009)

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 R_0A はほぼ年間 1 桁の割合で向上している。このため本研究においてもこのような世界動向を抑えた研究の進め方が必要である。本研究では、イメージング FTS の焦点面検出器への適用をターゲットとしたカットオフ波長 $15\ \mu\text{m}$ 、画素フォーマット 100×100 程度のアレイ型赤外検出器の開発を最終目標とし、その要素技術獲得に向けた研究を行なっている。

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。

FY23 は FY22 に引き続き、単画素検出器の性能向上とその評価を行なっている。検出器の性能をさらに向上させるために、検出効率の向上とカットオフ波長の長波長化に向けた取り組みを行なっている。検出効率の向上に関しては、超格子層の積層数を増加させ、空乏層領域を増加させることで、検出効率を向上させることができる。図 5-3 (左) には積層数を従来の 100 層から 300 層まで増加させた T2SL 検出器の量子効率の測定結果を示す。従来のものに比べ、約 3 倍の量子効率の向上を達成している。またカットオフ波長の長波長化に関しては超格子を InAs 層の厚みを増加させることで、現状の $6\ \mu\text{m}$ からさらなる長波長化が可能である。図 5-3(右) にはカットオフ波長 $8\ \mu\text{m}$ を設計値

として製作した検出器の量子効率を示す。

T2SL に関してはこれまで獲得した技術をベースとして、FY24 よりカットオフ $6\ \mu\text{m}$ のアレイ検出器の開発をスタートする予定である。また、最終目標の実現に向けて、さらなる長波長化、暗電流の低減に向けた研究を単画素の検出器を用いて行う予定である。

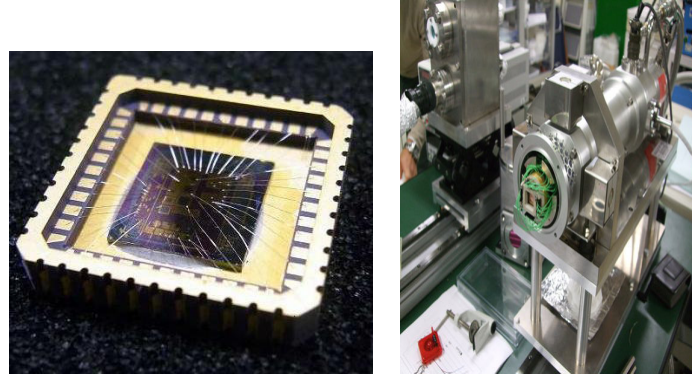


図 5-2. 試作した TEG チップ (左) と評価システムに設置した TEG チップの写真 (右)

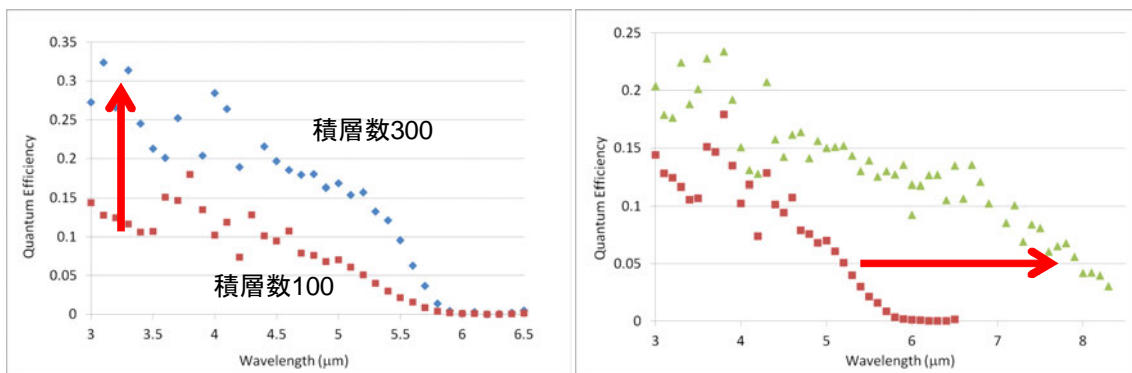


図 5-3. 積層数 100 層と 300 層の T2SL 検出器の量子効率測定結果 (左) とカットオフ波長 $6\ \mu\text{m}$ と $8\ \mu\text{m}$ の T2SL 検出器の量子効率測定結果 (左)

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って、プロジェクトでの光学試験に供することを目的とする。

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

8. センサ研究の概要

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

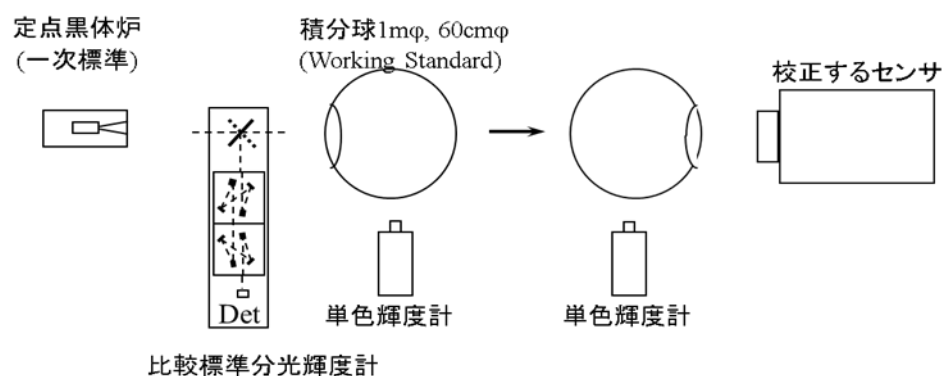


図 6.1. 光学センサ輝度校正標準の概要

(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、硫酸バリウムが親水性の材料のため、水蒸気吸収の影響を強く受け、光学輝度標準として精度を損なう問題点がある。SGLI/GCOM-C および HISUI/ALOS-3 のような大開口のセンサは、開口の大きな硫酸バリウム積分球を使用するしかなく、短波長赤外域での校正精度が大きく損なわれる。一方、近年 EORC センサ研究室での研究を進めている内壁材料としての金は、硫酸バリウムと比べて短波長赤外域での反射特性に優れ、また疎水性であるため水蒸気吸収バンドにかかる波長域での安定度も良い。

FY19~22 の研究により、1m Φ 金積分球の製造方法の確立 (ブラスト処理、メッキ処理、金蒸着) と全ての性能仕様を満たす目処を得た。本年度は、1m φ 金積分球の製作を実施し、筐体完成後に初期性能評価試験を行った。

金積分球本体はランプ、モニタ、ファンを取り付けるフランジを持つ前半球、奥壁を取り付ける

フランジを持つ後半球、奥壁の3つの主要部品で構成される（その他架台等含）。図 6.2 に金積分球概観図及製作・組上後写真を示す。

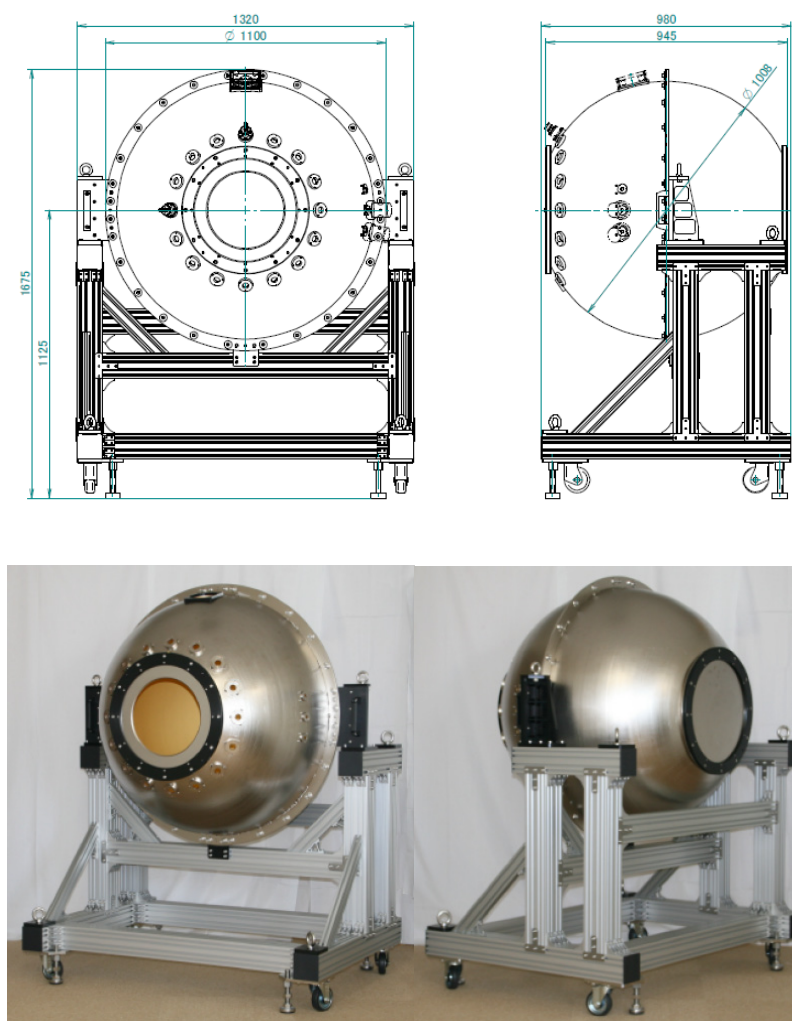


図 6.2. 金積分球概観図及製作・組上後写真

金積分球の初期性能評価試験として、積分球開口面（ ϕ 300mm 及び 400mm）の分光放射輝度一様性の評価試験を実施した。要求仕様値は、積分球開口面（ ϕ 300mm）において分光放射輝度一様性が $\pm 1\%$ 以内であることとした。

表 6.1 に評価項目を、表 6.2 に結果まとめを示す。

表 6.1. 評価項目

項目	内容
ランプセット	50W × 4 灯
単色輝度計	1050nm, 1640nm, 2210nm
積分球開口径	300mm, 400mm（参考）
測定間隔	2cm

表 6.2. 結果まとめ

開口径	単色輝度計	仕様値	評価結果	備考
ϕ 300	1050nm	$\pm 1\%$	0.73%	peak-to-peak
	1640nm		0.71%	
	2210nm		0.57%	
ϕ 400	1640nm	n/a	1.70%	

参考値

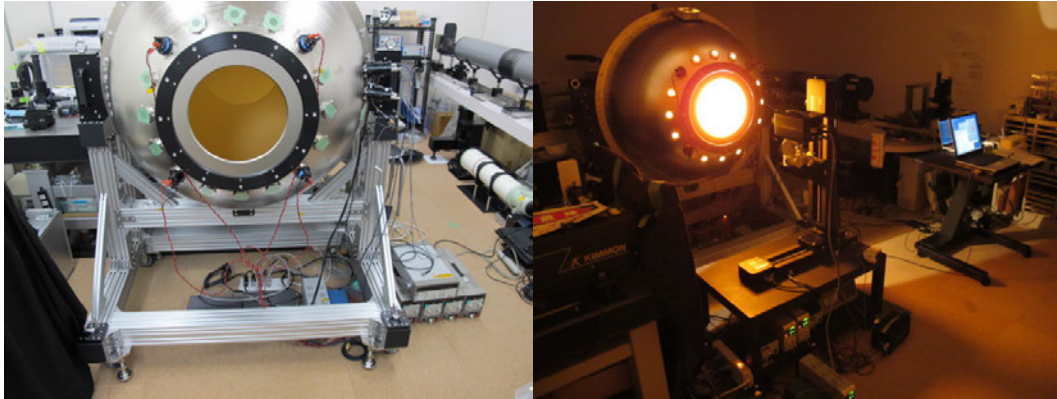
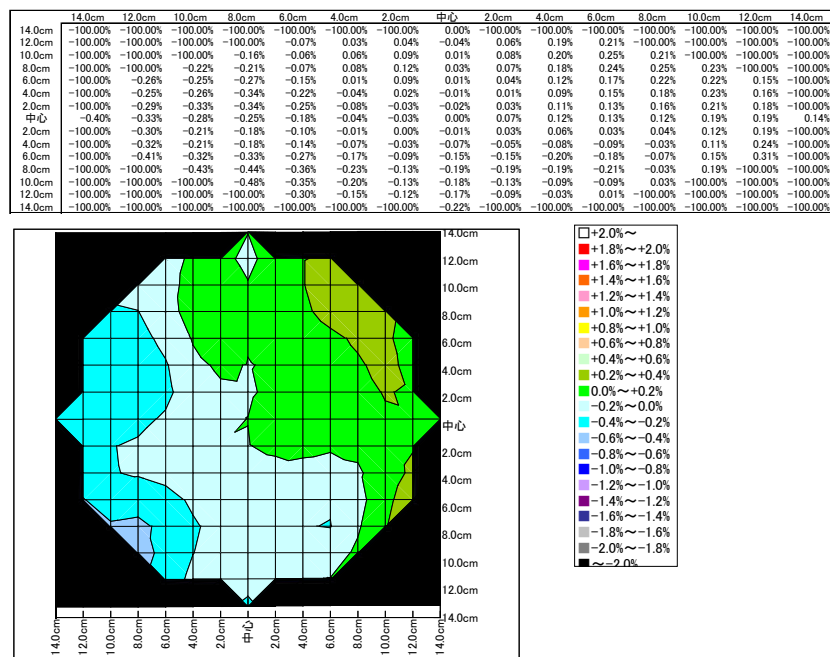
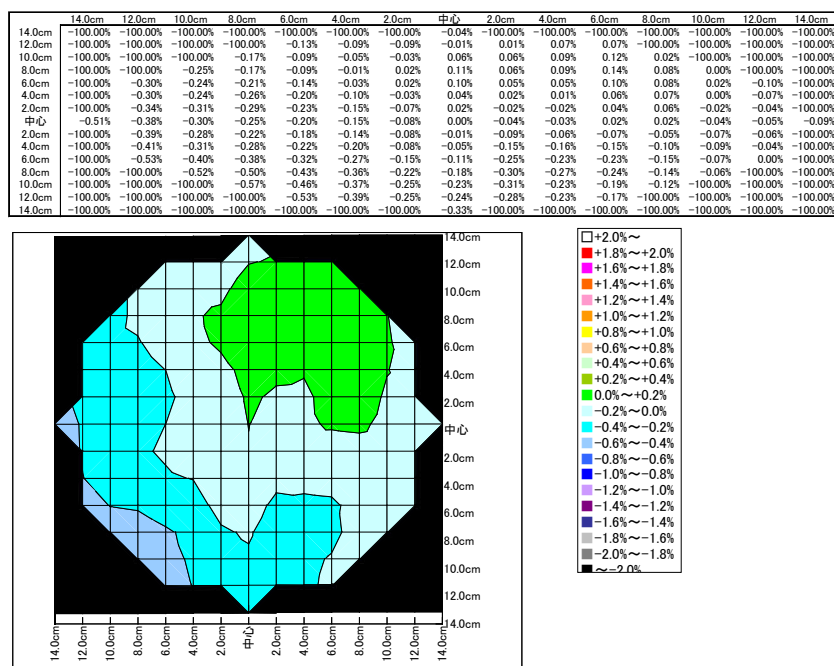
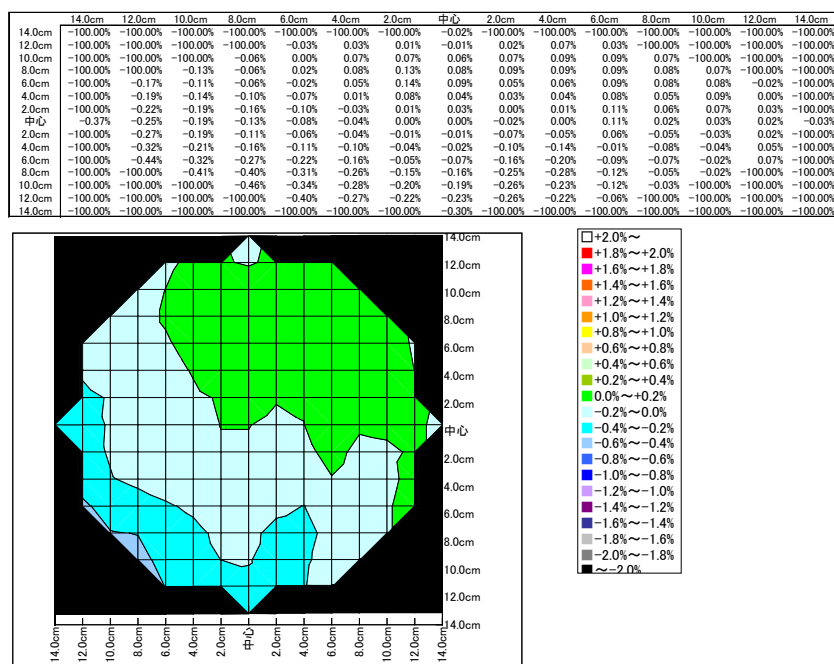


図 6.3. 初期性能評価試験時の様子

分光放射輝度一様性の測定試験は、図 6.3 に示す通り 50W ランプ(エイジング済)を 4 つ点灯させた時の開口 300mm、400mm(参考値)の輝度むら測定を実施した。その他、積分球にはモニタ(865nm, 1640nm)及びファンを取り付け動作させた。また、積分球に XZ ステージを正対させ、単色輝度計(1050nm, 1640nm, 2210nm)を設置し、データを取得した。

図 6.4~6.6 に分光放射輝度一様性の測定結果詳細を示す。

図 6.4. 分光放射輝度一様性測定結果(1050 nm、開口 300mm ϕ)

図 6.5. 分光放射輝度一様性測定結果（1640 nm、開口 300mm ϕ ）図 6.6. 分光放射輝度一様性測定結果（2210 nm、開口 300mm ϕ ）

本年度実施した 1m ϕ 金積分球初期性能評価試験の結果、本年度製作した金積分球は所望の性能を満たすことを確認した。次年度以降、金積分球システムとしての製作及性能評価試験を実施し、短波長赤外域での光学輝度標準設備整備を進める。

7. 海面高度計ミッションの研究

7.1 ミッションの目的

海面高度や海面高度から得られる海流情報は、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。本研究では海面高度計ミッション (COMPIRA; Coastal and Ocean measurement Mission with Precise and Innovative Radar Altimeter) に対するミッション要求・システム検討を行っている。

COMPIRA ミッションでは、未だ世界で実現されていない干渉型合成開口レーダ技術を用いた海面高度計測の技術開発・技術実証を行い、日本を中心とした海域の海面高度を面的かつ、従来と比べ高密度・高頻度に計測することで、下記項目を達成することを目的とする。

(1) 水産分野への貢献

漁場探査の基本図となる、海面の数十 km 規模の渦を可視化することを目的とする。漁場までの移動にかかる時間・燃料が節約されることから、漁業の効率化に貢献する。

(2) 海流予測への貢献

これまで必要な精度の観測ができなかった、縁辺海や沿岸域を含めた主要な海域における潮汐の解明と海流の把握を行うことを目的とする。その結果、海流予測の高精度化に寄与し、船舶航行や海難事故発生時の漂流予測等に貢献することで、国民の安全で安心な生活の確保に資する。

(3) サイエンスへの貢献

時間的・空間的に変化の速い中規模からサブメソスケール渦の捕捉に資する。高潮や遠地で発生した地震により起こる津波の観測にも挑戦する。

7.2 研究の実施内容

(1) ミッション要求の調整

海面高度計技術検討部会においてミッション要求の調整を行った。

(2) センサ・衛星システムの概念検討

センサ・衛星システムの概念検討を実施し、技術課題の抽出を行った。

7.3 ミッション要求の調整

海面高度計技術検討部会において、センサ仕様および軌道選択についてのトレードオフの議論を行い、ミッション要求の調整を行った。調整結果を表 7.1 に示す。

7.4 概念検討

搭載センサ・衛星システムの概念検討を実施した。

(1) 主要搭載機器

主要搭載機器として、下記機器を搭載する予定である。

・ SHIOSAI(SAR Height Imaging Oceanic Sensor with Advanced Interferometry):

X 帯干渉型合成開口レーダ (SAR) による海面高度計。メインセンサ

・ 直下型レーダ高度計 (2 周波) : 相対高度を絶対高度に直す補正センサ

・ マイクロ波放射計 (3 周波) : 水蒸気補正センサ

・ GPS 受信機、レーザ反射鏡 : 高精度軌道決定用

(2) 衛星コンフィグレーション

COMPIRA ではアンテナを衛星進行直交方向に 2 台並べることによりクロストラック干渉

8. センサ研究の概要

SAR 観測を行う。ベースライン長は 3~5m である。ベースライン長を確保するための方策として、図 7.1 に示す 2 つのコンセプトについてトレードオフ検討を行っている。コンセプト 1 は、アンテナを衛星構体に貼り付ける案であり、コンセプト 2 は、展開型のブームの先端に反射アンテナを取り付ける案である。

(3) メインセンサ

SHIOSAI は中心周波数 9.6 GHz の X 帯合成開口レーダであり、観測幅 160km (80 km × 左右両側観測) で、水平分解能 5km の海面高度計測を行う。アンテナ方式については、コンセプト 1 では、スロットアンテナまたはパッチアンテナを、コンセプト 2 では、リフレクトアレイアンテナを採用する方針である。送受信機については、誤差低減の観点から集中型を採用する方針である。

表 7.1. ミッション要求

仕様項目		ミッション要求		
1. 空間分解能		5km		
2. プロダクト提供時間		速報プロダクト 6~12 時間後に提供	一般プロダクト 3 日後に提供	高精度プロダクト 60 日後に提供
3. 高度計測精度	相対	5.4cm *	5.4cm *	5.3cm *
	絶対	12.2cm *	7.5cm *	6.9cm *
4. 観測頻度		10 日に 2 回 北緯 35 度における 80% 以上の海域で 10 日に 2 回の頻度で観測すること。		
5. 観測対象海域		インド洋南西部を除く緯度 51 度以内の日本近海及びペルシャ湾からアメリカ大陸西岸までの海域		
6. 沿岸への観測接近距離		10km。排他的経済水域が定義される基線から 10km までを除く海域を観測すること。		
7. 降雨によるデータ欠損率		1%		
8. 観測面積比率		98%。北緯 35 度において 10 日（1 回帰）あたり 98% の観測面積比率で観測すること。		
9. プロダクト		海面高度マップ、絶対海面高度、海面高度偏差、Geophysical Data Record		
10. 潮汐把握		主要八分潮の調和定数が算出可能であること。（対象分潮のエイリアシング周期が半年以内であること、及び、3 年以内に対象分潮の分離が可能であること。）		

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

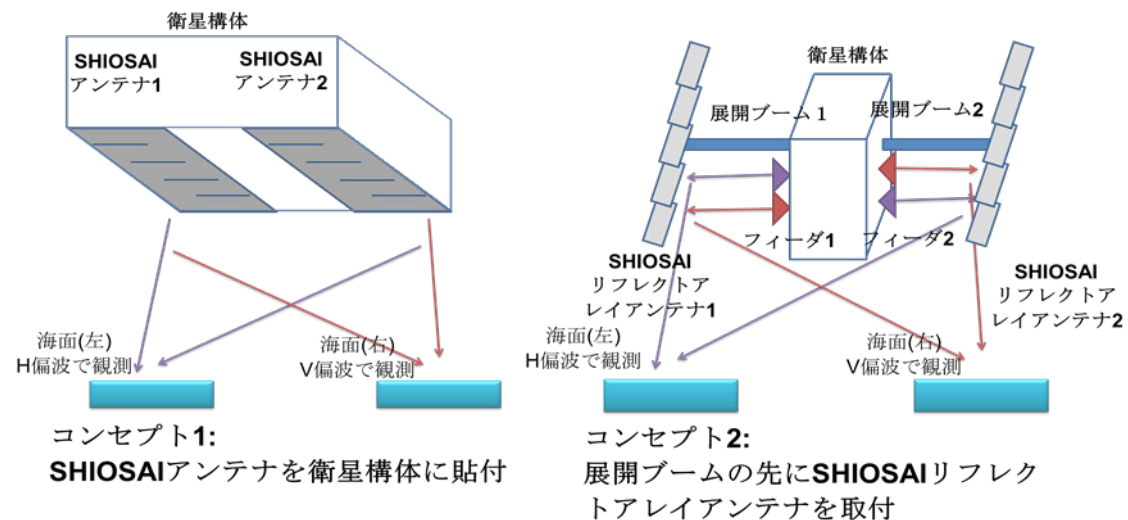


図 7.1. 衛星コンフィグレーション検討

8. 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^[1]、科学的/技術的にも新規要素を多く含む。国内におけるサブミリ波帯観測機器の実績としては、国際宇宙ステーション (ISS) 搭載の超伝導サブミリ波リム放射サウンダ (SMILES) が存在するが、受信機部に冷凍機が必要な超伝導ミキサ (SIS) を使用しており、本研究で受信機部に採用を検討している、常温で動作するデバイス(常温ミキサ、低雑音増幅器等)とは技術的に異なる。

本年度は日本国内で 100GHz 帯以上のデバイス開発を進めるにあたっての技術動向調査・ヒアリングを実施し、100GHz 帯以上デバイスについての開発方針を定めた。

(1) 日本国内における高周波デバイス開発状況について

サブミリ波放射計が観測対象としている周波数帯のうちで、比較的低い周波数帯(100~200GHz 程度)については、直接検波用の低雑音増幅器の開発が進められている。図 8.1 に当該周波数帯で開発されたデバイス例について示す。

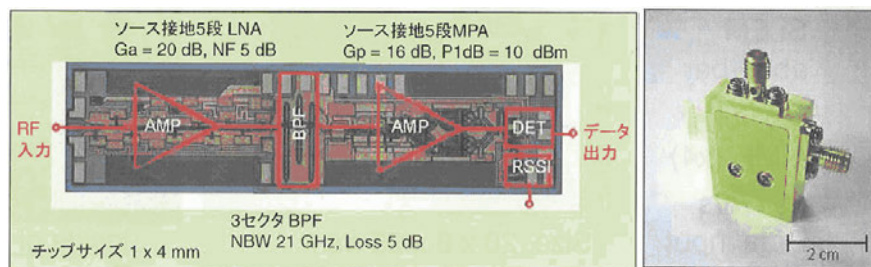


図 8.1. NTT フォトニクス研究所が開発した 120GHz 用デバイス
高周波帯における大容量通信を目的として開発

(2) 民生用デバイスのマイクロ波・サブミリ波放射計への応用について

本年度は前述国内で開発が進められている民生用の高周波デバイスについて、地球観測センサへの適用性を探るべく、特に電気的性能についての開発方針、評価法等についての検討を進めた。体制としては民生用高周波デバイス開発や高周波帯用測定系の構築、地球観測センサへの適用等について日本電信電話株式会社 (NTT)、情報通信研究機構 (NICT) との共同研究で、本年度から次年度以降にかけて進めることとした。

次年度以降、日本国内における高周波デバイスの衛星搭載可能性の目途を得るべく、地球観測センサの受信機部として必要なパラメータ等の調整を実施し、デバイスの開発・性能評価試験等を進める。

9. 植生ライダーの研究

9.1 研究の背景

過去 50 年で、地上の森林などが、化石燃料により排出された CO_2 のおよそ 1/3 を取り除いてきたという研究結果 (Canadell et al., 2007) があり、地上の森林は炭素循環の、特に吸収において、重要な役割を担っていると考えられる。しかし炭素量・炭素循環の把握に際し、地上の森林量 (バイオマス) は、全球規模の最も大きな不確定性源となっており (IPCC, 2007)、正確な炭素循環の把握には、精度の良いバイオマスの測定が不可欠である。このバイオマスを正確に求めるには、木を切り倒して重量 (樹木個体の乾燥重量) を測る必要があるが、森林伐採、費用等のため難しく、広域データを求める場合、樹冠高を計測し、ここからバイオマスを推定する手法を用いることが多い。

この樹冠高を計測する有効なセンサの 1 つとして、ライダーが挙げられる。本研究は、樹冠高測定に特化した『植生ライダー』を、きぼう曝露部に搭載することを前提とし、今年度からスタートされ、システム検討・技術課題の抽出などを実施した。

9.2 FY23 研究の概要

地球観測を行う宇宙用ライダーには、長期間安定して動作する高出力なパルスレーザーを用いるため、多くの電力が必要となる。また地上からの散乱光を受光する望遠鏡には、可能な限り大きな開口径が求められるなど、リソースの観点からも困難が予想される。

また植生ライダーの特徴として、使用する検出器をアレイ化し地上フットプリントを分割することが挙げられる。これにより、地表が平坦化斜面となっているかを把握し、より精度の良い樹冠高度の測定を測る (図 9-1)。しかし、検出器をアレイ化することは、元来少ない受信光量をさらに分割することと同義であり、ノイズに対する受信信号の比 (S/N) が不足し精度の良い測定ができない可能性がある。

そこで今年度は、搭載を想定しているきぼう曝露部ペイロードへの搭載実現性や、各コンポーネントに対する質量や電力などのリソースの配分、S/N などを含めたシステムの実現性を確認すべく、システム検討を行った。なお植生ライダーの現状の H/W 仕様は表 9.1 の通りである。

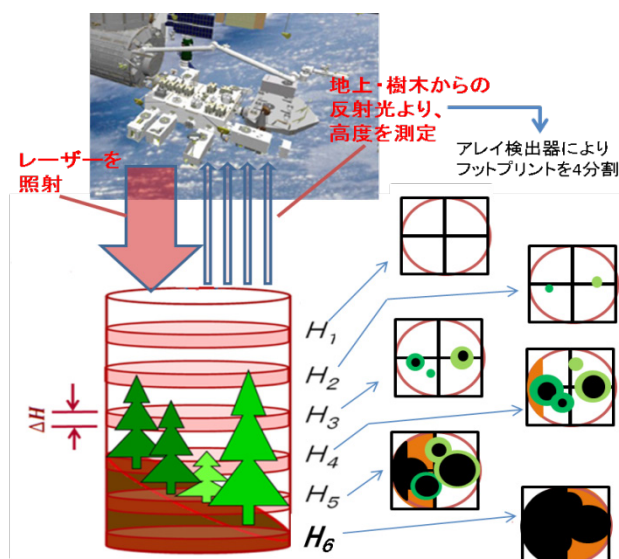


図 9-1. アレイ検出器による地表の斜面把握のイメージ
左右のピクセルの地表面検出時刻の差により、地表が斜面であることを把握する。

8. センサ研究の概要

表 9-1. 現状の H/W 仕様

項目	値	備考
レーザー波長	1064nm、532nm	1064: 樹高測定、532: 大気減衰測定
レーザー出力	100mJ@1064nm 50mJ@532nm	
パルス繰り返し	50Hz	
パルス幅	7nsec	
主鏡口径	0.7m	きぼう曝露部標準ペイロード 800 × 1850 × 1000mm に収まること
レーザー拡がり角	0.185mrad	地上フットプリント 75m Φに相当
検出器アレイ数	4pixels (2 × 2)	地表分解能 約 30-40m

9.3 FY23 の結果

(1) 搭載性検討

各コンポーネントの現状の搭載レイアウトは図 9-2 の通りである。きぼう曝露部の標準ペイロードの寸法は 800 × 1850 × 1000mm であり、すべてのコンポーネントを収められる目処をつけることができた。また質量、電力のリソースについても十分に確保できることが分かった。

ただし、補助センサとして搭載予定のイメージャ(レーザー照射位置のおよその把握のため)の分解能は 20m 程度として検討を行ったが、樹種や樹形の把握のため、2m 程度は必要であるという要求が出された。この程度の分解能を達成するには、比較的大きい口径の望遠鏡が必要となりスペース的に困難が生じる可能性があるため、今後は詳細な検討が必要である。

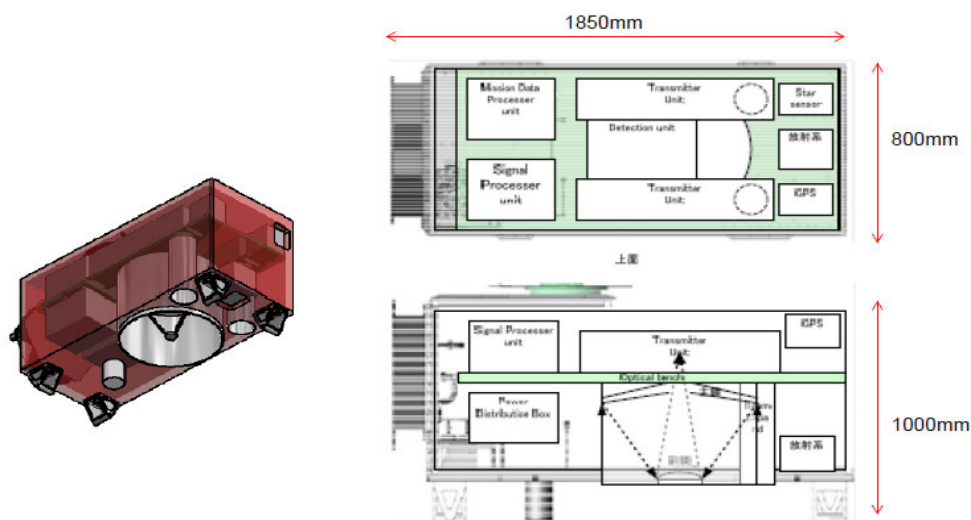


図 9-2. 現状の搭載レイアウトと H/W イメージ

(2) システム S/N 検討

S/N の検討結果は表 9-2 の通りである。この S/N の検討を通して、想定した一般的な Si-APD アレイでは、樹冠高の測定で用いる近赤外領域での感度が不足していること、及び、Si-APD アレイの後段のアンプにおいては、植生ライダーに求められる高帯域でノイズが非常に大きくなってしまいうこ

とが判明し、それに伴い S/N も低くなっているという結果が得られている。本検討により、今後は高感度かつ後段のアンプにおいても、低ノイズな検出器の開発という課題を抽出することができた。

表 9-2. 高度分解能と S/N

高度分解能	0.3m	0.5m	0.7m
S/N	5.39	6.98	8.28

9.4 今後の計画

アレイ検出器を用いたフットプリントの分割により、検出器 1 素子あたりの信号量は小さくなる。そのため S/N が低くなり樹冠高の測定精度が悪化することが予想される。従って今後は、高感度かつ低ノイズとなる検出器を試作し、十分な S/N を確保できるかを確認する。

付 録

2011 年 EORC 研究成果発表

1. 論文発表

Weiqiang Kong, Tomohiro Shiraishi, Noriyuki Katahira, Masahiko Watanabe, Tetsuro Katayama, and Akira Fukuda 2011/5/1 An SMT-based Approach to Bounded Model Checking of Design in State Transition Matrix IEICE Transactions on Information and Systems 電子情報通信学会 (IEICE)

Nicolas Longepe, Preesan Rakwatin, Osamu Isoguchi, Masanobu Shimada, Yumiko Uryu, and Kokok Yulianto 2011/5/20 Assessment of ALOS PALSAR 50m Orthorectified FBD Data for Regional Land Cover Classification by using Support Vector Machines IEEE Trans. GRS IEEE

Ide, R., Nakaji, T., Motohka, T., and Oguma, H 2011/5/31 Advantages of visible-band spectral remote sensing at both satellite and near-surface scales for monitoring the seasonal dynamics of GPP in a Japanese larch forest Journal of Agricultural Meteorology 日本農業気象学会

奈良間千之, 田殿武雄, 谷田貝亜紀代, 池田菜穂 2011 年 5 月 インド・ヒマラヤ, ラダーク山脈のドムカル谷における氷河湖と氷河湖決壊洪水の現状 ヒマラヤ学誌 京都大学ヒマラヤ研究会

Haginoya, S., H. Fujii, J. Sun, and J. Liu 2012 年 5 月予定 Features of air-lake interaction in heat and water exchanges over Erhai Lake J. Met. Soc 日本気象学会

Kojima, S., K. Nakamura, K. Naoki, and H. Enomoto 2011/6/1 Thermal properties of wet and flooded snow on sea ice Int J Offshore Polar Eng International Society of Offshore and Polar Engineers

T.Kodama/K.-I.Oyama 2011/6/9 The ELMOS Satellite Constellation ISTS 2011 第 28 回 ISTS 組織委員会・日本航空宇宙学会

Dim Jules Rostand/Murakami Hiroshi/Nakajima Takashi Y./Nordell Bo/Heidinger A/Takamura Tamio 2011/6/14 The recent state of the climate : Driving components of cloud the climate : Driving components of cloud type variability JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH AGU

五十嵐保 2011/6 月 「だいち」(ALOS) による初動解析報告 (Early Results of ALOS Disaster Observations) 月間『測量』特別企画・大地震 日本測量協会

Isoguchi, O., M. Shimada, and H. Kawamura 2011/6 月 Characteristics of ocean surface winds in the lee of an isolated island observed by Synthetic Aperture Radar Monthly Weather Review the American Meteorological Society

堀雅裕 2011/7/1 光学センサが捉えた雲および積雪域の変動 気象研究ノート 日本気象学会

Motohka, T., Nasahara, K. N., Murakami, K., and Nagai, S 2011/8/3 Evaluation of Sub-Pixel Cloud Noises on MODIS Daily Spectral Indices Based on in situ Measurements Remote Sensing MDPI

Siswanto, E., J. Tang, H. Yamaguchi, Y.-H. Ahn, J. Ishizaka, S. Yoo, S.-W. Kim, Y. Kiyomoto, K. Yamada, C. Chiang, and H. Kawamura 2011/8/23 Empirical ocean color algorithms to retrieve chlorophyll-a, total suspended matter, and colored dissolved organic matter absorption coefficient in the Yellow and East China Seas Journal of Oceanography Springer

M. Shimada 2011/8/24 Model-based Polarimetric SAR Calibration Method Using Forest and Surface Scattering Targets IEEE Trans. GRS IEEE

Manabu Hashimoto, Yo Fukushima, Youichiro Takada, Taku Ozawa, Satoshi Okuyama, Takahiro Abe, Masato Furuya, Mikio Tobita and Masanobu Shimada 2011/8 月 Images from ALOS of the March 2011 Tohoku Earthquake Space Research Today Cospar

福田徹 2011/9/1 人工衛星の最新動向 電気協会報 2011 年 9 月号 社団法人日本電気協会

可知美佐子・久保田拓志・牛尾知雄・重尚一・木田智史・青梨和正・岡本謙一・沖理子 2011/9/2
複数の衛星搭載マイクロ波/赤外放射計の複合による「世界の雨分布速報」システムの構築とその利用 電気学会論文誌 A (基礎・材料・共通部門誌) 日本電気学会

福田徹 2011/9/10 だいち前、だいち、だいち後 測量 2011 年 9 月号 社団法人日本測量協会

Gianfranco De Grandi, Alexandre Bouvet, Richard Lucas, M. Shimada, Stefano Monaco, Ake Rosenqvist
2011/9/28 The K&C PALSAR Mosaic of the African Continent: Processing Issues and First Thematic
Results IEEE Trans. GRS IEEE

A.KOKHANOVSKY/V.V.ROZANOV/ 青木輝夫 /D.ODERMATT/C.BROCKMANN/O.KRUGER/
M.BOUVET/M.DRUSCH/ 堀雅裕 2011/10/4 Sizing snow grains using backscattered solar light
International Journal of Remote Sensing Remote Sensing and Photogrammetry Society

H. Ohyama, S. Kawakami, K. Shiomi, and K. Miyagawa 2011/11/7 Retrievals of total and tropospheric
ozone from GOSAT thermal infrared spectral radiances IEEE Trans. Geosci. Remote Sens IEEE

白石知弘 / 能條由佳 / 本岡毅 / Rajesh B. Thapa / 渡邊学 / 島田政信 / 磯口治 2011/11/10~11 ALOS/
PALSAR データを使用した熱帯林の土地利用分類 (Land use classification of tropical forest using
ALOS/PALSAR data) 日本リモートセンシング学会第 51 回学術講演会 (社)日本リモートセンシ
ング学会

Rajesh Thapa / 島田政信 / 本岡毅 / 渡邊学 / 白石知弘 2011/11/10~11 Spatial simulation of forest cover
change in tropical area using PALSAR data 日本リモートセンシング学会 2011 社団法人日本リモ
ートセンシング学会

前田崇 / 高野忠 2011/11/11 Review of Current Situation and Problem towards Global Earthquake
Detection using Satellite-borne Microwave Radiometer 電気学会論文誌 A (基礎・材料・共通部門誌)
電気学会

Wunch Debra, Wennberg Paul, Toon Geoffrey, Connor Brian, Fisher Brendan, Osterman Gregory,
Frankenberg Christian, Mandrake Lukas, O'Dell Christopher, Ahonen Petteri, Biraud Sebastian, Castano
Rebecca, Cressie Noel, Crisp David, Deutscher Nicholas, Eldering Annmarie, M.L. Fisher, Griffith David,
Gunson Michael, Heikkinen Pauli, Keppel - Aleks Gretchen, Kyro Esko, Lindenmaier Rodica, Macatangay
Ronald, Mendonca Joseph, Messerschmidt Janina, Miller Charles, Morino Isamu, Notholt Justus, Oyafuso
Fabiano, Rettinger Markus, Robinson John, Roehl Coleen, Salawitch Ross, Sherlock Vanessa, Strong
Kimberly, Ralf Sussmann, Tanaka Tomoaki, Thompson David, Uchino Osamu, Warneke Thorsten, Steven
Wofsy 2011/12/9 A method for evaluating bias in global measurements of CO2 total columns from space
Atmospheric Chemistry and Physics An Interactive Open Access Journal of the European Geosciences
Union

Dim Jules Rostand/Murakami Hiroshi/Nakajima Takashi Y./Takamura Tamio/Nobuyuki Kikuchi
2011/12/12 Comparison between satellite water vapor observations and atmospheric models'predictions
of the upper tropospheric thermal radiation ADVANCES IN METEOROLOGY Hindawi Publishing
Corporation

Josaphat Tetuko Sri Sumantyo, M. Shimada, P.P. Mathieu, and H.Z. Abidin 2011/12/23 Long-term
Consecutive DInSAR for Volume Change Estimation of Land Deformation IEEE Trans. GRS IEEE

Rajesh Bahadur Thapa, Yuji Murayama 2012/1/15 Scenario based urban growth allocation in Kathmandu
Valley, Nepal. Landscape and Urban Planning Elsevier

五十嵐保 2012/1/30 次期地球観測衛星システムの動向 (Step Forward to Next Earth Observation
Satellite System) 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

柴田彰 2012/2/1 AMSR の 36GHz 垂直・水平及び 6GHz 水平偏波を使った海上風算出アルゴリズムについて (Ocean Wind Speed Retrieval Algorithm using the frequency 36GHz Vertical/Horizontal and 6GHz Horizontal Data of the Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR)) Italian Journal of Remote Sensing Italian Journal of Remote Sensing

Manabu Watanabe, Takeshi Motohka, Yousuke Miyagi, Chinatsu Yonezawa, and Masanobu Shimada 2012/2/3 Analysis of Urban Areas Affected by the 2011 off the-Pacific-Coast of Tohoku Earthquake and Tsunami with L-band SAR Full-Polarimetric Mode IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing Letter IEEE

片山晴善 2012/2 月 赤外線の現在・未来「地球観測」日本赤外線学会 20 周年記念特集号 日本赤外線学会

Luis Guanter, Christian Frankenberg, Anu Dudhia, Philip E. Lewis, José Gómez-Dans, Akihiko Kuze, Hiroshi Suto, Roy G. Grainger 2012/3/7 Retrieval and global assessment of terrestrial chlorophyll fluorescence from GOSAT space measurements Recent Remote Sensing of Environment Elsevier

Muraoka, H., Ishii, R., Nagai, S., Suzuki, R., Motohka, T., Noda, H., Hirota, M., Nasahara, K. N., Oguma, H. and Muramatsu, K 印刷中 Linking remote sensing and in situ ecosystem observations by "Satellite Ecology" The Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region Springer

Chinatsu YONEZAWA, Masahiro NEGISHI, Kenta AZUMA, Manabu WATANABE, Naoki ISHITSUKA, Shigeo OGAWA and Genya SAITO 未定 Growth Monitoring and Classification of Rice Fields Using Multitemporal RADARSAT-2 Full-Polarimetric Data International Journal of Remote Sensing Taylor & Francis

五十嵐保 未定 地震・津波の「だいち」による全体像 Daichi Perspective on Earthquake/Tsunami GIM International Geomares Publishing

Yamaguchi, H., H. C. Kim, Y. B. Son, S. W. Kim, K. Okamura, Y. Kiyomoto, and J. Ishizaka 印刷中 Seasonal and Summer Interannual Variation of the Satellite Chlorophyll-a in the Yellow Sea and East China Sea Progress in Oceanography Elsevier

ATSUHIRO TAKAHASHI, HIROYUKI OGUMA, MASANOBU SHIMADA, MANABU WATANABE, YASUMICHI YONE and NOBUKO SAIGUSA 未定 Influence of forest disturbances on backscatter of the airborne L-band synthetic-aperture radar in a larch forest in northern Japan Hydrological Research Letters 水文・水資源学会国際誌編集委員会

Nagai, S., Saitoh, T. M., Kobayashi, H., Ishihara, M., Suzuki, R., Motohka, T., Nasahara, K. N., Muraoka, H. 印刷中 In situ examination of the relationship between various vegetation indices and canopy phenology in an evergreen coniferous forest, Japan International Journal of Remote Sensing. Taylor & Francis

Fujita K, Nishimura K, Komori J, Iwata S, Ukita J, Tadono T, Koike T 印刷中 Outline of research project on glacial lake outburst floods in the Bhutan Himalayas Global Environmental Research 国際環境研究協会

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

Tadono T, Kawamoto S, Narama C, Yamanokuchi T, Ukita J, Tomiyama N, Yabuki H 印刷中 Development and Validation of New Glacial Lake Inventory in the Bhutan Himalayas Using ALOS 'DAICHI' Global Environmental Research 国際環境研究協会

2. 口頭発表

久保田拓志 / 吉田直文 / 沖理子 / 清水修司 / 可知美佐子 / 小嶋正弘 / 井口俊夫 / 瀬戸心太 / 中村健治
2011/4/5 Current Status of Japan's Activity for GPM/DPR algorithm development European Geoscience
Union General Assembly 2011 European Geoscience Union

宮城洋介 / 小澤拓 2011/4/5 Two Solomon Islands Earthquake in 2007(M8.1), 2010(M7.1), and Seismic
Gap along the Subduction ZONE, Revealed by ALOS/PALSAR EGU 2011 EGU

橋本秀太郎 / 田殿武雄 / 小野里雅彦 / 堀雅裕 / 森山隆 2011/4/10 An Approach for Automatic Change
Inference in High Resolution Satellite Images 34th International Symposium on Remote Sensing of
Environment International Committee on Remote Sensing of Environment

田殿武雄 / 河本左知 / 山之口勤 / 浮田甚郎 / 奈良間千之 2011/4/10 Development of Glacier
Lake Inventory in the Bhutan Himalayas Using PRISM and AVNIR-2 Onboard ALOS "DAICHI" 34th
International Symposium on Remote Sensing of Environment International Committee on Remote Sensing
of Environment

高橋昌也 2011/4/11~14 気象庁の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 JMA Data Assimilation System) 2011 EUMETSAT/ESA
Scatterometer Science Conference, EUMETSAT NWP SAF 2011 EUMETSAT/ESA Scatterometer Science
Conference, EUMETSAT NWP SAF

島田政信 / 白石知弘 / 本岡毅 / 向井田明 / 磯口治 / 奥村隼人 / 大滝崇裕 / 伊藤拓弥 / Ake Rosenqvist/
加藤 / 笹井 2011/4/12 Generation of 10m Resolution PALSAR and JERS-SAR Mosaics and Forest/Non-
Forest Maps For Forest Carbon Monitoring ISRSE ISPRS

Ichiro Kaihotsu, Toshio Koike, Keiji Imaoka, Hideyuki Fujii 2011/5/3~5 モンゴル・タイ・オース
トラリア Gcom-W 検証サイトでの SMAP 土壌水分プロダクツの検証実験案 (Validation Plan of the
SMAP Soil Moisture Products in the GCOM-W Validation Sites in Mongolia, Thailand, Australia) Second
SMAP Cal/Val and International Soil Moisture Working NASA/GEWEX

高橋陪夫 / 小畠和史 2011/5/5 Overview of ALOS "Daichi" and examples of its utilization including
Topographic Mapping in Africa CODIST- II UNECA

高橋昌也 2011/5/9~11 気象庁の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 International Ocean Vector Winds Science Team Meeting

久保田拓志 / 重尚一 / 木田智史 / 青梨和正 / 可知美佐子 / 沖理子 2011/5/18 海岸線のマイクロ波
放射計降水アルゴリズムの開発 日本気象学会 2011 年度春季大会 日本気象学会

今岡啓治 / 可知美佐子 2011/5/18 衛星搭載マイクロ波放射計の観測装置概念について 日本気
象学会 2011 年度春季大会 日本気象学会

中村健治 / 今岡啓治 2011/5/18 静止気象衛星の rapid scan データによる降水システムの研究への
期待 日本気象学会 2011 年春季大会 日本気象学会

徐健青 / 萩野谷成徳 / 桑形恒男 / 藤井秀幸 / 石郷岡康史 / 張寅生 2011/5/18~21 チベット高原
Sling 湖における熱・水収支 日本気象学会 2011 年春季大会 日本気象学会

島田政信 / 井上京 / 波多野隆介 / 栗屋善雄 / 清野嘉之 2011/5/20 PALSAR 干渉処理を用いた中央
カリマンタンに於ける泥炭層の地盤沈下と温暖化ガス発生量の推定 地球惑星連合会 地球惑星
連合

堀雅裕 / 村上浩 / 中右浩二 / 小野朗子 2011/5/22~27 衛星搭載光学センサを用いた JAXA 地球環境監視データセット 日本地球惑星科学連合 2011 年度連合大会 日本地球惑星科学連合

植木和弘 / 堀雅裕 / 今岡啓治 / 関三恵子 2011/5/22~27 マイクロ波放射計を用いた JAXA の海水データセット 日本地球惑星科学連合 2011 年度連合大会 日本地球惑星科学連合

高橋陪夫 2011/5/23 宇宙航空研究開発機構の取組み ~ALOS「だいち」による災害復旧・復興の支援~ 第 49 回（平成 23 年度）学術講演会 写真測量学会

木股雅章 2011/5/24 日本における赤外センサの開発 Infrared Sensor Development in Japan ISDPI International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging SPIE

宮城洋介 2011/5/24 ALOS/PALSAR を用いた活動的火山地域（カムチャッカ、中米、インドネシア）における地殻変動観測 地球惑星連合大会 地球惑星科学連合

渡邊学 / 島田政信 / 本岡毅 / 米澤千夏 2011/5/26 PALSAR フルポーラリメトリによる東日本大震災被害状況把握 日本リモートセンシング学会第 50 回（平成 23 年度春季）学術講演会開催 日本リモートセンシング学会

渡邊弘嗣 / 米澤千夏 / 今井貴浩 / 国井大輔 / 渡邊学 / 齋藤元也 2011/5/26~27 ALOS による 2010 年チリ地震津波による水産養殖施設の被害観測 第 50 回日本リモートセンシング学会学術講演会（社）リモートセンシング学会

今井貴浩 / 国井大輔 / 渡邊学 / 齋藤元也 / 米澤千夏 2011/5/26~27 ALOS/PALSAR 全偏波観測データの水稻の生育調査への利用 第 50 回日本リモートセンシング学会学術講演会（社）リモートセンシング学会

可知美佐子 / 今岡啓治 / 藤井秀幸 / 直木和弘 / 上沢大作 / 柴田彰 / 五十嵐保 2011/5/27 改良型高性能マイクロ波放射計 AMSR-E と水循環変動観測衛星 GCOM-W による長期の水・気候データセット 日本地球惑星科学連合 2011 年大会 日本地球惑星科学連合

宮城洋介 / 島田政信 / 高橋陪夫 2011/5/27 陸域観測技術衛星・ALOS（だいち）による、2011 年東日本大震災に対する観測結果 地球惑星連合大会 地球惑星科学連合

橋本秀太郎 / 小野里雅彦 / 田殿武雄 / 堀雅裕 / 森山隆 2011/5/27 オントロジーに基づく知識情報処理によるリモートセンシングデータからの変化判読の自動化 日本リモートセンシング学会 第 50 回学術講演会

大木真人 / 高橋陪夫 / 島田政信 / 宮城洋介 / 河野宜幸 / 本岡毅 / 白石知弘 / 渡邊学 2011/5/27 ALOS「だいち」による東日本大震災の観測結果 日本リモートセンシング学会第 50 回（平成 23 年度春季）学術講演会開催 日本リモートセンシング学会

久保田拓志 / 可知美佐子 / 沖理子 / 清水修司 / 吉田直文 / 小嶋正弘 / 中村健治 / 高薮緑 2011/5/29 地球観測衛星による降水観測データ - 熱帯降雨観測衛星と全球降水観測計画 - 日本地球惑星科学連合 2011 年度連合大会 日本地球惑星科学連合

片山晴善 2011/5/31~6/1 JAXA における宇宙用赤外検出器の研究 SEMI Forum Japan SEMI

中村良子 / 片山晴善 / 内藤聖貴 / 原田昌朋 / 菅沼正洋 / 佐藤亮太 2011/6/5~12 地上検証用小型赤外カメラ (CIRC) を用いた校正試験結果報告 (Calibration Results of the Compact Infrared Camera (CIRC) Ground Test Model) ISTS2011 ISTS2011

Dim Jules Rostand / 村上浩 2011/6/5~9 Validation Prospects of Aerosols Properties for the Future GCOM-C/SGLI Satellite CMOS (Canadian Meteorological and Oceanographic Society) Ocean, Atmosphere and the Changing Pacific

-
- 島田政信 / 大木真人 / 河野宣幸 / 滝口太 / 麻生紀子 / 海野順子 / 末廣明生 / 和田裕 2011/6/6
Disaster Monitoring Using the L-band Pi-SAR and ALOS/PALSAR-Flooding, Landslides, and Volcanic Eruption ISTS ISTS
-
- 宮城洋介 / 小澤拓 2011/6/7 Relationship between two Solomon Islands Earthquake in 2007(M8.1), and 2010(M7.1), revealed by ALOS/PALSAR ISTS 2011 ISTS (International Symposium on Space Technology and Science)
-
- 清水収司 / 沖理子 / 可知美佐子 / 中村健治 / 河本望 2011/6/8 アジア域における衛星と地上降水量データの比較 (The Comparisons between Satellite and Ground-based Precipitation Data in Asia Countries) International Symposium on Space Technology and Science The 28th International Symposium on Space Technology
-
- 久保田拓志 / 重尚一 / 青梨和正 / 可知美佐子 2011/6/9 Development of SSMIS rain retrieval algorithm in the GSMAp project 28th ISTS 日本航空宇宙学会
-
- 今岡啓治 / 可知美佐子 / 藤井秀幸 / 上澤大作 / 植木和弘 / 柴田彰 2011/6/9 gcom-w1 Status and Expected Applications The 28th International Symposium on Space Technology and Science 日本航空宇宙学会
-
- S.Ishii/K.Mizutani/P.Barton/H.Iwai/T.Aoki/T.Itabe/H.Fukuoka/T.Ishikawa/I.Mprino/O.Uchino/T.Tomoaki/A.Sato/K.Asai 2011/6/20~24 Development of Coherent 2- μ m Differential Absorption and Wind Lidar with laser frequency offset locking technique and column-integrated CO2 measurement Coherent Laser Radar Conference USRA
-
- 可知美佐子 / 村上浩 / 今岡啓治 2011/6/27~7/1 Progress at JAXA RDAC support to GHRSSST (GCOM, AMSR-E and other) GHRSSST XII Science Team Meeting Group for High Resolution Sea Surface Temperature (GHRSSST), 他
-
- Teruo Aoki, Katsuyuki Kuchiki, Masashi Niwano 2011/6/27~7/4 現在の地球上における積雪中黒色炭素と積雪粒径変動によって起こりうる積雪アルベド低下量 (Possible snow albedo reduction due to black carbon in snowpack and snow grain size variation on the present earth) 国際測地学・地球物理学 (IUGG) 第 25 回総会 国際測地学・地球物理学連合
-
- Katsuyuki Kuchiki, Teruo Aoki, Masashi Niwano, Hiroki Motoyoshi, Hironobu Iwabuchi 2011/6/27~7/4 MODIS による積雪表面ラフネスの推定: 南極点におけるサスツルギの事例研究 (Retrieval of snow surface roughness from MODIS: Case study for sastrugi over the South Pole) 国際測地学・地球物理学 (IUGG) 第 25 回総会 国際測地学・地球物理学連合
-
- 計盛正博 2011/6/28~29 AMSR-E 輝度温度の気象庁数値予報システムでの同化 (AMSR-E radiance assimilation in JMA Numerical Weather Prediction System) AMSR-E Science Team Meeting AMSR-E Science Team Meeting
-
- 河野宣幸 2011/6/28~7/7 ALOS/PALSAR observations for Tsunami flooding IUGG 2011 IUGG
-
- Rajesh Thapa 2011/6/30 Forecasting urban growth in the Kathmandu valley, Nepal DINAMICA EGO Advanced Workshop Centro de Sensorimento Remoto, Universidade Federal de Minas Gerais
-
- 宮城洋介 2011/7/2 The 2011 eruption of Kirishima volcano (Shinmoe-dake), Japan, observed by ALOS IUGG2011 IUGG
-
- 米澤千夏 / 今井貴浩 / 国井大輔 / 渡邊学 / 齋藤元也 2011/7/24~29 POLARIMETRIC OBSERVATION FOR RICE FIELD BY RADARSAT-2 AND ALOS/PALSAR IGARSS2011 IEEE
-
- 島田政信 2011/7/25 ALOS, Earth Monitoring, and Sayonara IGARSS 2011 IEEE GRSS
-

田殿武雄 / 高久淳一 2011/7/25 RPC GENERATION ON ALOS PRISM AND AVNIR-2 IGARSS 2011 IEEE GRSS

田殿武雄 / 高久淳一 2011/7/25 RPC GENERATIONS ON ALOS PRISM AND AVNIR-2 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium

島田政信 / 磯口治 2011/7/26 OROGRAPHICALLY-FORCED COASTAL WIND FIELDS AROUND HOKKAIDO, JAPAN IGARSS 2011 IEEE GRSS

久保田拓志 / 吉田直文 / 清水修司 / 沖理子 / 花土弘 / 井口俊夫 2011/7/27 DEVELOPMENT OF SYNTHETIC GPM/DPR DATA USING KAPR SAMPLING EXPERIMENT OF THE TRMM/PR IGARSS 2011 IEEE Geoscience and Remote Sensing Society

渡邊学 / 串田圭司 / 原田紘一郎 / 福田正巳 / 佐藤源之 2011/7/27 MOISTURE & ROUGHNESS ESTIMATION ALGORITHM OVER PERMAFROST AREA IGARSS 2011 IEEE GRSS

山之口勤 / 田殿武雄 / 島田政信 / 富山信弘 / 河本佐知 / 浮田甚郎 2011/7/27 DEVELOPMENT OF GLACIAL LAKE INVENTORY IN BHUTAN USING "DAICHI"(ALOS) IGARSS 2011 IEEE GRSS

河本望 / 清水収司 / 沖理子 2011/7/27 年降水量による TRMM/PR と地上雨量計ネットワークの比較 (COMPARISON BETWEEN TRMM/PR AND AMEDAS GROUND RAIN GAUGE NETWORK IN TERMS OF ANNUAL RAINFALL) The IEEE Geoscience and Remote Sensing Society (GRSS) IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium

田殿武雄 / 島田政信 / 山之口勤 / 富山信弘 / 河本佐知 / 浮田甚郎 2011/7/27 DEVELOPMENT OF GLACIAL LAKE INVENTORY IN BHUTAN USING "DAICHI"(ALOS) IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium

田殿武雄 / 山之口勤 / 小森次郎 2011/7/27 TEMPORAL MONITORING OF SUPRAGLACIAL LAKES ON TSHOJO GLACIER AT BHUTAN IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium

本岡毅 / 島田政信 / 磯口治 2011/7/28 Relationship between PALSAR backscattering data and forest above ground biomass in Japan IGARSS 2011 IEEE GRSS

島田政信 2011/7/28 MODEL-BASED POLARIMETRIC SAR CALIBRATION METHOD USING FOREST AND SURFACE SCATTERING TARGET IGARSS 2011 IEEE GRSS

島田政信 / 本岡毅 / 白石知弘 / 磯口治 / 向井田明 / 奥村隼人 / 大滝崇裕 / 伊藤卓哉 2011/7/28 GENERATION OF 10m RESOLUTION PALSAR and JERS-SAR MOSAIC AND FOREST/NON-FOREST MAPS FOR FOREST CARBON TRACKING IGARSS 2011 IEEE GRSS

田殿武雄 / 堀雅裕 / 森山隆 / 橋本秀太郎 / 小野里雅彦 2011/7/28 A FRAMEWORK OF ONTOLOGY-BASED KNOWLEDGE INFORMATION PROCESSING FOR CHANGE DETECTION IN REMOTE SENSING DATA IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium

田殿武雄 / 高久淳一 2011/7/29 HIGH RESOLUTION DSM GENERATION FROM ALOS PRISM -ARCHIVING AND MOSAICKING- IGARSS 2011 IEEE GRSS

前田崇 / 高野忠 2011/7/29 RELATION BETWEEN ROCK FAILURE MICROWAVE SIGNALS DETECTED BY AMSR-E AND A DISTRIBUTION OF RUPTURES GENERATED BY SEISMIC ACTIVITY IGARSS 2011 IEEE GRSS

大木真人 / 島田政信 2011/7/29 Evaluation of Supervised Land-cover Classification by PALSAR Polarimetric interferometry IGARSS 2011 IEEE GRSS

田殿武雄 / 高久淳一 2011/7/29 HIGH RESOLUTION DSM GENERATION FROM ALOS PRISM
-ARCHIVING AND MOSAICKING- IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium

小林隆久 / 増田一彦 / 足立アホロ / 山内洋 2011/8/7~11 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 Physically-based Simulator for Polarimetric and Space-borne Radars)
Asia Oceania Geoscience Society 2011 アジア大洋州地球科学学会

沖理子 / 川上修司 / 中村健治 / 井口俊夫 2011/8/9 日本における衛星降水観測の現状 (Status of
Satellite Precipitation Measurement in Japan) Asia Oceania Geoscience Society (AOGS) Asia Oceania
Geoscience Society (AOGS)

清水収司 / 沖理子 / 中川勝広 / 中村健治 2011/8/9 日本における GPM プロダクトの地上検証計
画 (Japanese Ground Validation Plan for GPM product) Asia Oceania Geoscience Society (AOGS) Asia
Oceania Geoscience Society (AOGS)

前田崇 / 高野忠 2011/8/19 Early warning for volcanic activity investigated from the 2008 Chaiten
eruption based on long-term observation by microwave radiometer URSI GASS 2011 URSI

須藤洋志 / 久世暁彦 / 塩見慶 / 中島正勝 2011/8/21~25 Updated Level-1 Processing After Two-years
Operation of TANSO-FTS SPIE Optics + Photonics SPIE

Kei SHIOMI, Taichiro HASHIGUCHI, Fumie KATAOKA, Reiko HIGUCHI 2011/8/29 GOSAT On-
orbit Calibration over 2 years Conference on Characterization and Radiometric Calibration for Remote
Sensing (CALCON) Technical Conference Space Dynamics Laboratory, Utah State University Research
Foundation

可知美佐子 / 今岡啓治 / 藤井秀幸 / 直木和弘 / 上沢大作 / 柴田彰 / 五十嵐保 2011/9/5~9
Overview of the first satellite of the Global Change Observation Mission Water (GCOM-W) EUMETSAT
Meteorological Satellite Conference 2011 EUMETSAT

計盛正博 2011/9/5~9 気象庁の現業メソ解析とモデルにおける衛星観測輝度温度データ同化の影
響 (Impacts of radiance assimilation in the JMA operational Meso-scale Analyses and Forecast) 2011 年欧
州気象衛星開発機構気象衛星会議 欧州気象衛星開発機構

渡邊学 / 島田政信 / 本岡毅 / 米澤千夏 2011/9/6 PALSAR/ フルポーラリメトリモードによる東日
本大震災津波被害地域の解析 統計関連学会連合大会 応用統計学会等

渡邊学 / 島田政信 / ラジェッシュバハドールタパ / 本岡毅 / 白石知弘 / 米澤千夏 2011/9/6 樹木広
報散乱係数の時系列変化 リモセン学会 リモセン学会

境澤大亮 / 川上修司 / 田中智章 / 中島正勝 / 井上誠 / 森野勇 / 内野修 2011/9/9 火力発電所上空に
おける CO2 測定用レーザセンサを用いた航空機観測 レーザセンシングシンポジウム ICLAS

小林隆久 / 増田一彦 / 足立アホロ / 山内洋 2011/9/18~24 偏波レーダ並びに衛星搭載用レーダシ
ミュレータ (Physically-based Simulator for measurements of precipitation with Polarimetric and Space-
borne Radars) SPIE Remote Sensing 2011 SPIE

河野宣幸 2011/9/19~21 Jpan-Touhoku Earthquake : ALOS/PALSAR observations for flooding area by
Tsunamis SPIE remote sensing SSPIE Europa

青木輝夫 / 朽木勝幸 / 庭野匡思 / 本吉弘岐 / 堀雅裕 / 谷川朋範 2011/9/19~22 積雪粒径及び不純物
の衛星リモートセンシング - 積雪 2 層モデルと非球形粒子モデルの効果 - 雪氷研究大会 2011
日本雪氷学会

朽木勝幸 / 青木輝夫 / 庭野匡思 / 堀雅裕 / 谷川朋範 / 八久保晶弘 / 杉浦幸之助 2011/9/19~22 双向反射率に対する積雪層構造の効果 雪氷研究大会 2011 日本雪氷学会

堀雅裕 2011/9/19~23 衛星光学センサデータを用いた湿雪・乾雪分布の抽出 雪氷研究大会 (2011・長岡) 日本雪氷学会

堀雅裕 / 谷川朋範 / 青木輝夫 / 八久保晶弘 / 杉浦幸之助 / 朽木勝幸 / 庭野匡思 2011/9/19~23 携帯型赤外線カメラを用いた積雪の熱赤外域射出特性の可視化 雪氷研究大会 (2011・長岡) 日本雪氷学会

谷川朋範 / 堀雅裕 / 直木和弘 / 今岡啓治 2011/9/19~23 地球環境変動観測ミッション (GCOM) による雪氷圏観測 (The observation using new sensor GCOM in cryosphere) 雪氷研究大会 2011 (社)日本雪氷学会

谷川朋範 / 堀雅裕 / Knut Stamnes / 青木輝夫 / 朽木勝幸 / 庭野匡思 2011/9/19~23 可視・近赤外光における積雪中の浸透深さ -GCOM-C/SGLI 雪氷プロダクトの高精度化にむけて - (Critical snow depth on visible and near-infrared radiation) 雪氷研究大会 2011 (社)日本雪氷学会

谷川朋範 2011/9/19~23 地球環境変動ミッション (GCOM) による雪氷圏計画 (The research plan in cryosphere by using new sensor GCOM) 雪氷研究大会 2011 (社)日本雪氷学会

谷川朋範 / 堀雅裕 / 青木輝夫 / 朽木勝幸 / 庭野匡思 / 八久保晶弘 / 本吉弘岐 / 杉浦幸之助 2011/9/19~23 赤外線サーモグラフィーを用いた水みちの野外観測 (Field observation on water channels in snow cover using an infrared camera) 雪氷研究大会 2011 (社)日本雪氷学会

谷川朋範 / 堀雅裕 / 青木輝夫 / 朽木勝幸 / 庭野匡思 / 八久保晶弘 / 杉浦幸之助 2011/9/19~23 BET 吸着法による積雪比表面積測定 (Measurement of snow specific surface area by the BET theory) 雪氷研究大会 2011 (社)日本雪氷学会

谷川朋範 / 堀雅裕 / 青木輝夫 / 朽木勝幸 / 庭野匡思 / 本吉弘岐 2011/9/19~23 積雪粒径及び不純物の衛星リモートセンシング (Satellite remote sensing of snow grain size and impurities) 雪氷研究大会 2011 (社)日本雪氷学会

谷川朋範 / 堀雅裕 / 青木輝夫 / 朽木勝幸 / 庭野匡思 / 八久保晶弘 / 杉浦幸之助 2011/9/19~23 双向反射率に対する積雪層構造の効果 (Effect of snow layer structure on bidirectional reflectance) 雪氷研究大会 2011 (社)日本雪氷学会

植木和弘 / 吉川真由子 / 大沼友貴彦 / 西尾文彦 / 中山雅茂 2011/9/19~23 薄い海水の生長に伴う輝度温度観測 雪氷研究大会 (2011・長岡) 日本雪氷学会

高橋陪夫 2011/9/20 Disaster monitoring for Japan Earthquake with satellites by JAXA SPIE

E.Browell, K.Davis, J.Abshire, U.Singh, G.Sniers, D.Sakaizawa, G.Ehret, P.Flamant 2011/9/20 Improvement of the 1.57-micron laser absorption sensor with chirp modulation to evaluate spatial averaging carbon dioxide density SPIE Remote Sensing SPIE

前田崇 / 今岡啓治 / 可知美佐子 / 藤井秀幸 / 柴田彰 / 植木和弘 / 笹原希仁 / 伊藤徳政 / 中川敬三 / 沖大幹 2011/9/20 Status of GCOM-W1/AMSR2 development, algorithms, and products SPIE European Remote Sensing SPIE

直木和弘 / 堀雅裕 / 谷川朋範 / 今岡啓治 2011/9/20 地球環境変動観測ミッション (GCOM) による雪氷圏観測 雪氷研究大会 (2011・長岡) 日本雪氷学会

清水収司 / 中川勝広 / 花土弘 / 中村健治 / 西川将典 2011/9/26 2 台の Ka 帯レーダを用いた GPM 地上検証観測 (Field Experiment for GPM Ground Validation using the Dual Ka-radar System) American Meteorological Society 35th Conference on Radar Meteorology

渡邊学 / 島田政信 / 佐藤源之 2011/9/28 TEMPORAL VARIATION OF RCS FROM A TREE TRUNK APSAR 2011 IEEE AESS & GRSS

渡邊学 / 串田圭司 / 福田正巳 / 佐藤源之 2011/9/28 MOISTURE & ROUGHNESS MAP IN ARCTIC NATIONAL WILDLIFE REFUGE/ALASKA APSAR 2011 IEEE AESS & GRSS

久保田拓志 / 可知美佐子 / 木田智史 / 沖理子 / 重尚一 / 牛尾知雄 / 青梨和正 / 岡本謙一 / 中村健治 2011/9/28 Near-real-time global rainfall map using multi-satellite data by JAXA and its validation 5th Workshop on Satellite Data Application for Global Environment Korea Meteorological Administration

山口寿史 2011/9/28 黄海と東シナ海における衛星クロロフィル a の季節及び春季の経年変動：懸濁物の影響を少なくした新しいデータセットを用いて 2011 日本海洋学会秋季大会 日本海洋学会

島田政信 / 本岡毅 / 白石知弘 / 向井田明 / 磯口治 / 奥村隼人 2011/9/28 GENERATION OF 10m-RESOLUTION PALSAR and JERS-SAR MOSAIC AND FOREST/NON-FOREST MAPS FOR FOREST CARBON TRACKING APSAR2011

島田政信 2011/9/29 The History of SAR at JAXA APSAR2011

宮城洋介 2011/9/30 ALOS による 2011 年新燃岳噴火の観測 (ALOS Observations of 2011 eruption of Shinmoe-dake) 2011 年日本火山学会秋季大会 日本火山学会

島田政信 / 田殿武雄 / 渡邊学 / 高橋陪夫 / 大木真人 / 宮城洋介 / 本岡毅 / 白石知弘 / 河野宣幸 / Rajesh Tapa 2011/10/2 ALOS ACHIEVEMENT SUMMARY AND ALOS-2/3 ACRS2011

Rajesh Thapa/Masanobu Shimada/Takeshi Motohka/Manabu Watanabe/Tomohiro Shiraishi 2011/10/3~7 SPATIAL MODELING OF TROPICAL DEFORESTATION USING PALSAR DATA 32th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2011) Asian Association of Remote Sensing

佐藤亮太 2011/10/7 Status of JAXA Earth Observation current and future activities/payloads from ISS ISS Climate Change Announcement of Opportunity Workshop European Space Agency European Space Agency, ESA-ESTEC

鴨川仁 2011/10/10~12 Validation of electron density and temperature measurement of the DEMETER satellite in comparison with those of various satellites 2nd International DEMETER Workshop CNES

中村良子 / 片山晴善 / 内藤聖貴 / 原田昌朋 / 加藤恵理 / 菅沼正洋 / 佐藤亮太 2011/10/16~19 地上検証用小型赤外カメラ (CIRC) を用いた校正試験結果報告 (Calibration Results of the Compact Infrared Camera (CIRC) Ground Test Model) ICSANE2011 宇宙・エレクトロニクス研究会

植松明久 / 中村良子 2011/10/19~21 日本の将来海面高度計ミッション計画 (COMPIRA) における広観測幅干渉 SAR 海面高度計 (SHIOSAI) の概念検討 (SHIOSAI, A CONCEPT OF WIDE-SWATH ALTIMETRY WITH INTERFEROMETRIC SAR FOR THE JAPANESE FUTURE ALTIMETRY MISSION, COMPIRA) 2011 Ocean Surface Topography Science Team (OST-ST) meeting NASA/JPL

EORC センサ研究室 2011/10/20~21 将来の地球観測、惑星探査に向けた Type II 超格子赤外検出器の開発 日本赤外線学会研究発表会 日本赤外線学会

木田智史 / 久保田拓志 / 可知美佐子 / 沖理子 / 牛尾和雄 / 重尚一 / 青梨和正 / 岡本謙一 2011/10/24
NERA-REAL-TIME GLOBAL RAINFALL MAP USING MULTI-SATELLITE DATA BY JAXA
AND DEVELOPMENT OF THE GSMAP SOUNDER ALGORITHM Fifth Korea-Japan-China Joint
Conference on Meteorology Korean Meteorological Society, Meteorological Society of Japan, Chinese
Meteorological Society

谷川朋範 / 堀雅裕 / 青木輝夫 / 朽木勝幸 / 庭野匡思 / 本吉弘岐 2011/10/24~26 SATELLITE
REMOTE SENSING OF SNOW PHYSICAL PARAMETERS USING TWO-SNOW LAYER MODEL 5th
Korea-Japan-China Joint Conference on Meteorology 韓国気象学会、日本気象学会、中国気象学会

石元裕史 / 増田一彦 / 真野裕三 / 折笠成宏 / 内山明博 2011/10/24~28 対流性氷雲の光学モデルの
ための不規則形状氷凝集体 (Irregularly shaped ice aggregates in the optical modeling of convective ice
clouds) WCRP Open Science Conference 世界気候研究計画 (WCRP)

上沢大作 2011/10/25 Varification of cloud overlap parameterization schemes for satellite radiance
assimilation by using CloudSat data 日中韓気象学会共催国際会議 日本気象学会、中国気象学会、
韓国気象学会

青木輝夫 / 朽木勝幸 / 庭野匡思 / 本吉弘岐 / 堀雅裕 / 谷川朋範 2011/10/25 SATELLITE REMOTE
SENSING OF SNOW PHYSICAL PARAMETERS USING TWO-SNOW LAYER MODEL Fifth Korea-
Japan-China Joint Conference on Meteorology Korean Meteorological Society(KMS), Meteorological
Society of Japan(MSJ), Chinese Meteorological Society(CMS)

佐藤亮太 2011/10/28 「きぼう」から地球の大気を診る極低温技術 東京国際航空宇宙産業展
2011 日本航空宇宙学会

五十嵐保 2011/10/31 次期地球観測衛星システム (Future Earth Observation Satellite Systems)
第 37 回リモートセンシングシンポジウム 計測自動制御学会

島田政信 2011/11/2 ALOS, ALOS-2 and Solid Earth Observations Joint International Symposium

島田政信 2011/11/9 Current Status of ALOS-2/PALSAR-2 and the CALVAL Program CEOS SAR
CALVAL WS CEOS

田殿武雄 / 堀雅裕 / 森山隆 / 橋本秀太郎 / 小野里雅彦 40857 衛星データ判読の為のペイジアンネッ
トワークによる知識表現・学習・推論モデル日本リモートセンシング学会第 51 回学術講演会

本岡毅 / 島田政信 / 磯口治 / 奥村隼人 2011/11/10 ALOS PALSAR 時系列データを用いた熱帯林伐
採の検出手法の検討 日本リモートセンシング学会第 51 回学術講演会 (社)日本リモートセンシ
ング学会

島田政信 / 渡邊学 / 本岡毅 / 山之口勤 / 奥村隼人 / 伊藤拓弥 2011/11/10 全球森林解析の為の
PALSAR 全球 10m モザイクデータセットの作成 日本リモセン学会 日本リモセン学会

木田智史 / 久保田拓志 / 可知美佐子 / 重尚一 / 沖理子 2011/11/10~11 衛星搭載マイクロ波サウ
ンダによる陸上降水推定手法の開発 (Development of precipitation retrieval algorithm over land for a
satellite-borne microwave sounder) 第 51 回(平成 23 年度秋季)学術講演会開催 社団法人日本リモ
ートセンシング学会

青梨和正 2011/11/16 あたらしい陸上のマイクロ波放射計降水リトリバーバルアルゴリズムの開発
(その 3) 日本気象学会 2011 年度秋季大会 日本気象学会

川崎昌博 / 伊吹紀男 / 川上修司 / 大山博史 2011/11/16~18 大気中 CO₂ および CH₄ 気柱量測定装
置としての光スペクトラムアナライザーの実用性 日本気象学会 2011 年度秋季大会 社団法人日
本気象学会

川上修司 / 大山博史 / 塩見慶 / 田中智章 / 田浦朝陽 / 深町拓也 / 奥村浩 / 新井康平 / 森野勇 / 内野修
2011/11/16~18 GOSAT データ検証のための地上高分解能 FTS による二酸化炭素およびメタンの
気柱量の長期観測 日本気象学会 2011 年度秋季大会 社団法人日本気象学会

境澤大亮 / 田中智章 / 川上修司 / 中島正勝 / 宮本祐樹 / 井上誠 / 森野勇 / 内野修 2011/11/16~18
1.57- μmCO_2 測定用 LAS の航空機搭載試験の観測制度について 気象学会 気象学会

可知美佐子 / 吉田直文 / 久保田拓志 / 沖理子 / 本井裕志 / 高藪緑 / 井口俊夫 2011/11/16~18 TRMM
バージョン 7 プロダクト : 概要とデータリソース 日本気象学会 2011 年度秋季大会 日本気象学
会

石橋俊之 2011/11/17 非線形性の強い観測データの地球大気解析での利用 日本気象学会 2011
年秋季大会 日本気象学会

上沢大作 2011/11/17 CloudSat データを利用した簡易雲オーバーラップスキームの評価 日本気
象学会 2011 年度秋季大会 日本気象学会

岡本幸三 2011/11/17 雲・降水域の衛星輝度温度データの同化に向けて (その 2) 2011 年度秋
季大会 日本気象学会

庭野匡思 / 青木輝夫 / 朽木勝幸 / 保坂征宏 / 児玉裕二 2011/11/18 グリーンランド氷床上積雪の状
態変化予測 2011 年度秋季大会講演予稿集 日本気象学会

青木輝夫 / 朽木勝幸 / 庭野匡思 / 児玉裕二 2011/11/18 積雪アルベド物理モデルの札幌における 5
冬期間の計算精度評価 2011 年度秋季大会講演予稿集 日本気象学会

石元裕史 / 青梨和正 2011/11/18 複雑雪片モデルのマイクロ波散乱特性 (Microwave scattering
properties of modeled snowflakes) 日本気象学会 2011 年秋季大会 日本気象学会

久保田拓志 / 吉田直文 / 清水修司 / 沖理子 / 瀬戸心太 / 花土弘 / 井口俊夫 2011/11/24
DEVELOPMENT OF SYNTHETIC GPM/DPR DATA USING THE TRMM/PR OBSERVATIONS Fifth
Korea-Japan-China Joint Conference on Meteorology 日本気象学会、Korean Meteorological Society,
Chinese Meteorological Society

福田徹 2011/11/28 宇宙からの東日本大震災 第 4 回横幹連合コンファレンス 横幹連合

島田政信 2011/11/29 ALOS Emergency Observation - the Great EAST JAPAN Earthquake and related
Disaster 日本リモセン学会 日本リモセン学会

大木真人 / 田殿武雄 / 高橋陪夫 / 松岡均 / 伊藤和哉 / 立元恵 / 安田みお / 小定弘和 / 臼井敏夫 / 高橋
徹 / 藤島豊久 2011/11/30 陸域観測技術衛星「だいち (ALOS)」による教育活動と今後の展望
第 55 回宇宙科学技術連合講演 日本航空宇宙学会

加藤恵理 2011/11/30~12/2 地球観測用小型赤外カメラ (CIRC) の開発 (Development of the
Compact Infrared Camera) 宇宙科学技術連合講演会 日本航空宇宙学会

高橋陪夫 2011/12/1 ALOS「だいち」による東日本大震災の観測結果 第 55 回宇宙科学技術連
合会 講演会 宇宙科学技術連合

榎本直人 2011/12/1 The Result of ALOS Collaborative Investigation APRSAR-18 シンガポール宇
宙技術協会、シンガポール国立大学、文部科学省、JAXA

庭野匡思 / 青木輝夫 / 朽木勝幸 / 保坂征宏 / 児玉裕二 2011/12/5~9 A numerical model to simulate
physical states of snowpack for climate studies AGU Fall Meeting 2011 American Geophysical Union

-
- 青木輝夫 / 朽木勝幸 / 庭野匡思 / 兒玉裕二 2011/12/5~9 Accuracy of physically based snow albedo model evaluated with measured data at Sapporo, Japan during five winters from 2006 to 2011 AGU Fall Meeting 2011 American Geophysical Union
-
- 谷川朋範 / 堀雅裕 / 青木輝夫 / Wei Li / Nan Chen / Knut Stamnes 2011/12/5~9 Use of critical snow water content to retrieve vertical variation of snow properties from visible and near-infrared channels of the GCOM-C1/SGLI sensor AGU Fall Meeting 2010 American Geophysical Union
-
- D.Sakaizawa, T.Tanaka, S.Kawakami, M.Nakajima, Y.Miyamoto, T.Tanaka, I.Morino, O.Uchino, Y.Sawa, H.Matsueda, T.Nagai 2011/12/5~9 Active optical CO2 sensing for Ground-based, Airborne, and from Space platform (Invited) AGU AGU
-
- Kei SHIOMI, Taichiro HASHIGUCHI, Fumie KATAOKA, Reiko HIGUCHI 2011/12/7 GOSAT lunar calibration in two year operation AGU Fall Meeting 2011 American Geophysical Union
-
- 可知美佐子 / 久保田拓志 / 木田智史 / 沖理子 / 牛尾知雄 / 重尚一 / 青ナシ和正 / 岡本謙一 2011/12/8 Overview of Global Satellite Map for Precipitation (GSMaP) 2nd Asia/Oceania Meteorological Satellite User's Conference 気象庁 / WMO
-
- Jules R. Dim, Tamio Takamura, Pradeep Kathri, Akiko Higurashi, Nobuyuki Kikuchi, Takahashi Y. Nakajima 2011/12/9 Perspective of Aerosols Products' Validation for Future Satellites and Uncertainties on the Climate AGU Fall Meeting 2010 Climate
-
- 宮城洋介 2011/12/22 ALOS/PALSAR データを用いた、2007、2010 年ソロモン諸島自身に関する研究 (2007 and 2010 Solomon Islands Earthquakes observed by ALOS/PALSAR) PIXEL 成果報告会 PIXEL
-
- 島田政信 / 渡邊学 / 白石知弘 / 本岡毅 / Rajesh Thapa 2012/1/12 Development of Forest MRV system using the PALSAR ICCS ワークショップ
-
- 児玉哲哉 2012/1/12 世界の地震電磁気観測衛星の動向と小型衛星群 : ELMOS Constellation の提案 宇宙サロン「宇宙技術と自然災害 ~ 宇宙からの地震予知は可能か ~」 日本機械学会
-
- 島田政信 2012/1/16 Utilization of the spaceborne remote sensing and future vision ALOS, ALOS-2, and the remote sensing インドネシア講演
-
- 島田政信 2012/1/18 Utilization of the spaceborne remote sensing and future vision ALOS, ALOS-2, and the remote sensing バンドン工科大学講演
-
- Dim Jules Rostand / 村上浩 2012/1/22~26 Application of spatial contrast techniques on satellite imagery for cloud shape differentiation IS&T/SPIE Electronic Imaging SPIE, Image Processing : Algorithm and System
-
- 今岡啓治 / 中川敬三 2012/1/23 Overview of the Global Change Observation Mission (GCOM) American Meteorological Society, Annual Meeting American Meteorological Society
-
- 尾定誠 2012/1/28 東日本大震災からの水産増養殖における復旧・復興 平成 23 年度 日本水産学会 水産増殖懇話会 第 2 回講演会 日本水産学会
-
- 島田政信 / 祖父江真一 / 河野宜幸 / 大吉慶 / 向田明 2012/2/2 Pi-SAR-L を用いたタイ洪水状況の監視 レーダによる水域の抽出 東北大学航空機 SAR ワークショップ
-
- 石元裕史、青梨和正 2012/2/19~22 複雑形状雪片のマイクロ波散乱特性 (Microwave scattering properties of complex shaped snowflakes) AGU Chapman Conference アメリカ地球理学連合 (AGU)
-

児玉哲哉 / 小山幸一郎 / 小原隆博 / 鈴木睦 2012/3/1 小型衛星群 :ELMOS Constellation - 小型科学衛星バスによる小型地球観測衛星シリーズ化を目指して - 第 26 回大気圏シンポジウム 宇宙科学研究所

児玉哲哉 / 鈴木睦 / 小原隆博 / 小山孝一郎 2012/3/6~7 ELMOS Constellation の現状と小型地球観測衛星シリーズの提案 第 2 回小型科学衛星シンポジウム 宇宙科学研究所

山梨正人 2012/3/7 The effect of the main reflector on the cold calibration data of AMSR-E Microwave Radiometry and Remote Sensing of Environment

柴田彰 2012 3 月 放射計及び散乱計で観測されたハリケーン・台風内の風速の違い (A difference of ocean wind speeds inside hurricanes and typhoons observed by radiometer and scatterometer) Microrad 2012 Tor Vergata 大学

3. その他

川上修司 / 境澤大亮 2011/4/18 「いぶき」プロダクト検証から次世代の衛星搭載センサーへ向けて 国立環境研究所 GOSAT PROJECT NEWSLETTER ISSUE#15 国立環境研究所

萩野谷成徳 / 藤井秀幸 / 徐健青 / 桑形恒男 / 石郷岡康史 / 康世昌 2011/5/18~21 チベット高原上の湖の衛星データ解析 日本気象学会 2011 年春季大会 日本気象学会

萩野谷成徳 / 張擁軍 / 張国帥 / 桑形恒男 / 徐健青 / 藤井秀幸 / 石郷岡康史 / 康世昌 2011/5/18~21 チベット高原ナム湖における放射観測 日本気象学会 2011 年春季大会 日本気象学会

米澤千夏 2011/7/29 人工衛星による水産養殖施設の被害観測 食・村・農の復興支援プロジェクト報告会 東北大学

川上修司 / 大山博史 2011/8/26 「いぶき」検証のための船舶搭載高分解能 FTS による海洋上データ取得記 国立環境研究所 GOSAT PROJECT NEWSLETTER ISSUE#20 国立環境研究所

平形麻紀 / 岡本創 / 萩原雄一郎 / 吉田良 / 早坂忠裕 2011/11/16 CloudSat/CALIPSO の複合利用による雲粒子タイプ識別の初期所見 日本気象学会 2011 年度秋季大会 日本気象学会

藤井秀幸 / 萩野谷成徳 / 張擁軍 / 張国帥 / 桑形恒男 / 徐健青 / 石郷岡康史 / 康世昌 2011/11/15~18 チベット高原ナム湖域の雲量日変化 日本気象学会 2011 年度秋季大会 日本気象学会

藤井秀幸 2011/11/15~18 チベット高原におけるマイクロ波放射計 AMSR-E による土壌水分観測 日本気象学会 2011 年度秋季大会 日本気象学会

中島幸徳 2011/11/12~13 PALSAR 10m Forest / Non-Forest Map 2009・PALSAR 10m Global Mosaic 2009・Emergency observation of Great East Japan Earthquake by PRISM and AVNIR-2 onboard "DAICHI" [ALOS] つくば科学フェスティバル 2011 つくば市教育委員会

植松明久 2011/12/2 日本の海面高度計ミッションの概念検討 (Conceptual Study of a Japanese Altimetry Mission) French-Japanese Workshop on the Scientific Utilization of Spacebased Earth Observation Data CNES/JAXA

関連略語集

(1) Institutes & Organizations	(1) 機関 & 団体
AIST National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (Japan)	独立行政法人産業技術総合研究所
ASF Alaska Satellite Facility	アラスカ衛星施設
CEOS Committee of Earth Observation Satellites (International)	地球観測衛星委員会
CNES Centre National d'Etudes Spatiales (France)	フランス国立宇宙研究センター
ECMWF European Center for Medium-Range Weather Forecast	ヨーロッパ中期予報センター
EOC Earth Observation Center (JAXA/EORC, Japan)	地球観測センター
EORC Earth Observation Research Center (JAXA, Japan)	地球観測研究センター
ERSDAC Earth Remote Sensing Data Analysis Center (Japan)	財団法人資源・環境観測解析センター
ESA European Space Agency	欧州宇宙機関
ESRIN European Space Research Institute	欧州宇宙研究所
GA Geoscience Australia	オーストラリア地球科学局
GEO Group on Earth Observation	政府間地球観測作業部会
GISTDA Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Thailand)	タイ地理情報宇宙開発機構
GPCC WMO' s Global Precipitation Climatology Center (International, in Germany)	全球降水気候センター
GSFC Goddard Space Flight Center (NASA, USA)	ゴダード宇宙飛行センター
GSI Geographical Survey Institute (Japan)	国土地理院
GSJ Geological Survey of Japan (AIST, Japan)	地質調査総合センター
HEEIC Hiroshima Earth Environmental Information Center (Hiroshima, Japan)	広島地球環境情報センター
IARC International Arctic Research Center (at University of Alaska Fairbanks , USA)	国際北極圏研究センター
INPA Brazilian National Institute of the Amazon	国立アマゾン研究所
IGOS Integrated Global Observing Strategy	統合地球観測戦略
INPE Brazilian National Institute for Space Research	ブラジル国立宇宙研究所
IOCCG International Ocean Color Coordinating Group (International)	国際海色研究グループ
JAFIC Japan Fisheries Information Service Center	社団法人漁業情報センター
JAMSTEC Japan Marine Science and Technology Center	独立行政法人海洋研究開発機構

JAROS Japan Resources Observation System Organization	財団法人資源探査用観測システム 研究開発機構
JAXA Japan Aerospace Exploration Agency	独立行政法人宇宙航空研究開発機 構
JCG Japan Coast Guard	日本沿岸警備隊
JHD Hydrographic Department of Japan	海上保安庁海洋情報部
JICA Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
JMA Japan Meteorological Agency	気象庁
JPL Jet Propulsion Laboratory (NASA, USA)	米国ジェット推進研究所
JRC Joint Research Center of European Commission	欧州委員会共同研究センター
JWA Japan Weather Association	財団法人日本気象協会
LAPAN National Institute of Aeronautics and Space of Indonesia	インドネシア国立航空宇宙研究所
LIPAP Lanzhou Institute of Plateau Atmospheric Physics (China)	中国科学院大气物理研究所中科院
MAFF Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (Japan)	農林水産省
METI Ministry of Economy, Trade and Industry (Japan)	経済産業省
MEXT Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (Japan)	文部科学省
MOE Ministry of Environment (Japan)	環境省
MRI Meteorological Research Institute (JMA, Japan)	気象庁気象研究所
MSFC Marshall Space Flight Center (NASA, USA)	マーシャル宇宙飛行センター
MWR Ministry of Water Resources (India)	インド水資源省
NASA National Aeronautics and Space Administration (NASA, USA)	アメリカ航空宇宙局
NASDA National Space Development Agency of Japan	宇宙開発事業団（現 JAXA）
NCEP National Center for Environmental Prediction (NOAA/ NWS, USA)	国立環境予測センター
NIAES National Institute of Agro-Environmental Sciences (Japan)	農業環境科学研究所
NICT National Institute of Information and Communications Technology (Japan)	独立行政法人情報通信研究機構
NIED National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (Japan)	防災科学技術研究所
NIES National Institute for Environmental Studies (Japan)	独立行政法人国立環境研究所
NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration (DOC, USA)	アメリカ海洋大気庁

NWS National Weather Service (NOAA, USA)	国立測候所
PWRI Public Works Research Institute (Japan)	土木研究所
RAL Rutherford Appleton Laboratory (UK)	ラザフォードアップルトン研究所
RESTEC Remote Sensing Technology Center (Japan)	財団法人リモート・センシング技術センター
SAC Space Activity Commission (Japan)	宇宙開発委員会
SAPC Satellite Applications and Promotion Center (JAXA, Japan)	衛星アプリケーション推進センター
SSC Swedish Space Corporation	スウェーデン宇宙公社
TKSC Tsukuba Space Center (JAXA, Japan)	筑波宇宙センター
TMD Meteorological Department of Thailand	タイ気象局
UCSB University of California, Santa Barbara (USA)	カリフォルニア大学サンタバーバラ校
UKMO UK Met Office	イギリス気象局
WMO UN' s World Meteorological Organization (International, in Switzerland)	世界気象機関

(2) Projects	(2) プロジェクト
CEOP Coordinated Enhanced Observing Period	統合地球水循環強化観測計画
GAME GEWEX Asian Monsoon Experiment	GEWEX アジアモンスーン実験計画
GBFM Global Boreal Forest Mapping Project	寒帯林マッピングプロジェクト
GCMAPS Global Carbon Cycle and Related Mapping based on Satellite Imagery Program	炭素循環に関するグローバルマッピングとその高度化に関する国際共同研究
GEWEX Global Energy and Water Cycle Experiment	全球エネルギー・水循環観測計画
GOIN Global Observing Information Network	地球観測情報ネットワーク
GFM Global Rain Forest Mapping Project	全球熱帯雨林マッピングプロジェクト
PEACE Pacific Exploration of Asian Continental Emission	アジア大陸からの大気物質放出に関する太平洋域探査プロジェクト
SPF Stratospheric Platform	成層圏プラットフォーム
WCRP World Climate Research Program	世界気候研究計画
WOCE World Ocean Circulation Experiment	世界海洋循環実験

(3) Satellites and spacecraft	(3) 人工衛星と宇宙船
ADEOS Advanced Earth-Observing Satellite (“Midori” , Japan)	地球観測プラットフォーム技術衛星「みどり」

ADEOS-II Advanced Earth-Observing Satellite-II (“Midori-2” , Japan)	地球観測技術衛星「みどりⅡ」
ALOS Advanced Land-Observing Satellite (“Daichi” , Japan)	陸域観測技術衛星
Aqua Earth-Observing System PM-1 (USA)	アクア衛星
DMSP Defense Meteorological Satellite Program (USA)	軍事気象衛星プログラム
DRTS Data Relay Test Satellite (“Kodama” , Japan)	データ中継技術衛星「こだま」
ENVISAT Environment Satellite (Europe)	ESA 環境観測衛星「エンビサット」
ERS-1,2 ESA Remote Sensing Satellite-1, 2	ヨーロッパリモートセンシング衛星 -1,2
GCOM Global Change Observation Mission	地球環境変動観測ミッション
GOSAT Greenhouse Gasses Observing Satellite (“Ibuki” , Japan)	温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」
GPM Global Precipitation Measurement	全球降水観測計画
GOES Geostationary Operational Environmental Satellite (USA)	静止実用環境衛星
ISS International Space Station	国際宇宙ステーション
JEM Japanese Experiment Module (in ISS, “Kibo”)	日本実験棟「きぼう」
JERS-1 Japanese Earth Resources Satellite-1 (Fuyo-1)	地球資源衛星 1 号「ふよう 1 号」
LANDSAT Land Remote Sensing Satellite (USA)	ランドサット衛星
MOS Marine Observation Satellite	海洋観測衛星
NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration (USA)	アメリカ海洋大気庁
SPOT Satellite Pour d’ Observation de la Terre (France)	スポット衛星（仏国）
Terra Earth Observing System AM-1 (USA)	地球観測システム AM1
TRMM Tropical Rainfall Measuring Mission (USA)	熱帯降雨観測衛星

(4) Instruments	センサ
AMSR Advanced Microwave Scanning Radiometer (in ADEOS-II)	高性能マイクロ波放射計
AMSR-E Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS (in Aqua)	改良型高性能マイクロ波放射計
AVHRR Advanced Very-High-Resolution Radiometer (NOAA)	改良型超高分解能可視赤外放射計
AVNIR Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer (in ADEOS)	高性能可視赤外放射計
AVINIR-2 Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer-2 (in ALOS)	高性能可視赤外放射計 2 型

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

(5) Computers and information	(5) コンピュータと情報
DCW Digital Chart of the World	世界のデジタルチャート
DEM Digital Elevation Model	デジタル標高モデル
DSM Digital Surface Model	数値地表モデル
DTM Digital Terrain Model	デジタル地形モデル
EOIS Earth-Observation Information System	地球観測情報システム
EOSDIS Earth-Observation Satellite Data Information System	地球観測システムデータ・情報システム
GIS Geographic Information System	地理情報システム
GMT Generic Mapping Tool	汎用地図作成ツール
HDF Hierarchical Data Format	階層データ・フォーマット
ISS Information-Service System	情報サービスシステム
(6) Conferences and Meetings	(6) 会議とミーティング
APRSAF Asia-Pacific Regional Space Agency Forum	アジア太平洋地域宇宙機関会議
IAGA International Association of Geomagnetism and Aeronomy	国際地球電磁気・超高層物理学協会
IGARSS International Geosciences And Remote Sensing Symposium	国際地球科学およびリモートセンシングシンポジウム
JPTM Joint Project Team Meeting (of Sentinel Asia)	センチネルアジア (SA) 共同プロジェクトチーム会合
PIERS Progress In Electromagnetics Research Symposium	電磁波工学研究の進歩に関する国際会議
SPIE International Society for Photo-optical Instrumentation Engineers	国際光工学会
(7) Others	(7) その他
DAS Data-Analysis System	データ解析研究系システム
DCS Data-Collection System	データ収集システム
DT Direct Transmission (system)	直接伝送系
GCM General Circulation Model	大気大循環モデル
GCP Ground Control Point	地上基準点
MDR Mission Data Recorder	ミッション記録装置
MOU Memorandum of Understanding	覚書

RA Research Announcement	研究公募
SST Sea-Surface Temperature	海面水温

空へ挑み、宇宙を拓く



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

This document is provided by JAXA.