

「第1回若手による地球観測衛星研究連絡会」報告

山内 晃^{*1}・金丸 佳矢^{*2}・山本 晃輔^{*3}・田中 俊行^{*4}
王 敏 睿^{*5}・井村 裕紀^{*6}・神 慶 孝^{*7}・中村 雄飛^{*8}
染谷 有^{*9}・棚田 和玖^{*10}・山本 雄平^{*11}・日置 壮一郎^{*12}

1. 概要

第1回若手による地球観測衛星研究連絡会を2023年9月5日に東京大学柏の葉キャンパスにて実施した。気象学会の研究連絡会の1つとして地球観測衛星研究連絡会(早坂ほか 2005)が設置され、本研究集会はその活動の一環として開催した。参加者は地球観測衛星に関連する20~30代の若手研究者を対象とし(第1図)、国内だけでなく国外(米国/フランス)から参加できるように現地とオンラインのハイブリッド開催とした。研究集会の日程は半日開催としつつも参加者の発表機会と議論の時間を確保するため、自身の研究を簡単に紹介するフラッシュトーク形式(発表5分+質疑3分)の発表とした。そして、発表を数人行った後に関連する話題の議論を約30分行う3部制とした。開催にあたっては後述する開催の趣旨などを参加者に伝えつつ事前アンケート(議論したいことなど)を集

計し、議論する話題に反映させた。そして、事後アンケート(感想や今後のついてなど)も集計した。また、参加者の考えを可視化する方法としてワードクラウド(<https://wordcloudjp.com/>, 2024.7.24閲覧)を用いた。

本稿では、開催に至る経緯、研究集会で行われた発表・議論、今後の方向性について紹介する。

2. 本研究集会の経緯

なぜ今回、若手による地球観測衛星研究連絡会を開催するか?その経緯を簡潔に述べる。参加者たちが密接に関わる地球観測衛星分野は1つのミッションを完遂するため長い期間を要する。また、先人たちの多大な努力によって、日本国内でもすでに複数の地球観測衛星ミッションが動き、各ミッション内の縦の繋がりは自然と強くなっている。一方で、複雑に絡み合う研究課題を解決するためにはミッションを跨ぐ横断的な取り組み、その実現のためには横の繋がりが必要とされる。また、地球観測衛星分野の重要性が今後増す中、近い将来に各ミッションを主導する立場が期待される若手研究者が気軽に情報共有し考える場の設定は、2020年から続いた新型コロナウイルス感染症の扱いが2023年5月で変わったことも相まって、誰かのふとした一言によって企画する流れとなった。横の繋がりがや意見交換の重要性はすでにいくつか報告されており(川瀬ほか 2011, 荒木ほか 2017)、そのような場を地球観測衛星研究連絡会の幹事にも賛同を頂きつつ、今回の研究集会を企画することとした。

本研究集会の世話人は東大山内、NICT 金丸、JAXA 山本の3名が務め、同年代で地球観測衛星分野かつ気象分野の研究者へ参加を呼び掛けた。企画その

^{*1} (連絡責任著者) Akira YAMAUCHI, 東京大学/宇宙航空研究開発機構.

yamauchi.akira@jaxa.jp

^{*2} Kaya KANEMARU, 情報通信研究機構.

^{*3} Kousuke YAMAMOTO, 宇宙航空研究開発機構.

^{*4} Toshiyuki TANAKA, 宇宙航空研究開発機構.

^{*5} Minrui WANG, 東海大学.

^{*6} Yuki IMURA, 東京大学.

^{*7} Yoshitaka JIN, 国立環境研究所.

^{*8} Yuhi NAKAMURA, 東京大学.

^{*9} Yu SOMEYA, 国立環境研究所.

^{*10} Kazuhisa TANADA, 宇宙航空研究開発機構.

^{*11} Yuhei YAMAMOTO, 千葉大学.

^{*12} Souichiro HIOKI, リール大学.

© 2024 日本気象学会



第1図 研究集会参加者の集合写真。

ものは突然沸き上がったこともあり当初は呼び掛けした中で都合が合う数名の参加を想定していたが、結果的には呼び掛けた全員が参加する日程が見つかり、発表者18名公聴者4名の計22名が参加する運びとなった。

3. 研究集会の概要

3.1 研究集会第1部

第1部では現行の人工衛星を用いた雲・降水観測の現状とプロセスベースでの現在の課題について話題提供があった。以降、第1部各講演の要旨と研究集会に参加しての感想である。

CloudSat/CALIPSO を用いた GCOM-C 雲プロダクト評価と機械学習を用いた雲アルゴリズム構想

田中俊行

衛星搭載雲レーダー CloudSat/CPR と大気ライダー CALIPSO/CALIOP の雲プロダクトを用い、多波長イメージャ GCOM-C/SGLI 雲フラグを評価した。また GCOM-C 雲フラグの最新版である ver.3 と ver.2 を比較することで、ver.3 に新たに実装された深層学習手法の有効性を評価した。その結果、ver.2 の精度は 70.8%、ver.3 が 72.8% と改善が見られた。昼夜および海陸に分類した評価の結果から、昼間かつ陸域では 8.2% の改善がみられ深層学習手法による改善が大き

いことがわかった。なお、マッチアップデータは北緯 70 度付近に分布する。冬季やグリーンランドにて精度が低下することから、積雪等の地表面の影響が大きいと考えられる。本発表では CloudSat/CALIPSO と GCOM-C のマッチアップデータを教師データとして活用した機械学習アルゴリズムのアイデアについても議論した。本研究連絡会では若手研究者間で率直で有意義な議論ができたと感じた。

EarthCARE MSI アルゴリズムの開発および応用

王 敏睿

この連絡会に参加し、私自身が従事する研究内容を紹介し、沢山の歳近い若手研究者の方々と交流ができて、お互いの研究内容を知ることによって、協力研究の可能性を見出した。

私の発表では、打ち上げが予定される日欧共同プロジェクト・EarthCARE 衛星に搭載される観測用センサーの 1 つである MSI (多波長イメージャ) の雲プロダクトアルゴリズムの開発状況を紹介した。さらに、MSI 雲プロダクトをベースとした雲の内部構造および雲粒子の成長過程を解析する手法 CFODD について説明し、将来の EarthCARE 衛星の正式運用の期待を議論した。

衛星観測データと数値モデルの複合利用による混合相雲の研究

井村裕紀

全球気候モデル MIROC6, 衛星観測データ, 衛星シミュレータを利用し, 特に不確実性の大きい混合相雲・氷雲内の微物理プロセスに関する研究結果を報告した。現状の MIROC6では雲・降水の割合の表現に問題があり, 将来の気候予測にも影響する可能性を指摘した (Imura and Michibata 2022)。また, 氷晶核数濃度に摂動を与えるモデル感度実験を行った結果, 氷晶核が持つ気候影響の方向や大きさは, 使用する雲微物理スキームに大きく依存することを報告した。衛星側とモデル側のそれぞれのニーズを共有できる, 非常に良い議論の場であったと感じた。今回は唯一の学生として参加したが, 第2回の連絡会が開催されるのであれば, より多くの学生が参加し, 若手研究者どうしの繋がりがより強化されることを期待する。

衛星ライダーによる雲・エアロゾルの全球観測

神 慶孝

国立環境研究所が東アジアで展開しているライダー観測ネットワークを紹介し, エアロゾルの定量測定やコンポーネント解析に向けた次世代高スペクトル分解ライダー (HSRL) の開発について説明した。また, 衛星搭載ライダーによる雲・エアロゾル鉛直分布の全球観測の歴史について概説し, 各国で計画されている将来的な衛星ライダーミッションを紹介した。さらに, 今後の衛星搭載ライダーの中心的な存在となる HSRL を低コストで実現するアイデアを紹介し, 地上設置ライダーでの開発中のシステムと観測結果を示した。また, 常にライダーの弱点とされている swath 幅の狭さを改善するため, マルチフットプリントライダーのアイデアについて紹介した。ライダーの強みは雲・エアロゾルの鉛直分布を測定できることであるが, 衛星では光学的に厚い雲の下での観測は難しいため, 衛星だけでなく地上観測の重要性についても再認識した。

3.2 第1部の議論

第1部では数値モデルと人工衛星観測を利用して如何にお互いが精度向上を目指していくかについて議論が行われた。

衛星側としては AI 等を用いて衛星リトリバルの向上を目指し, 数値モデルとしては衛星観測を利用して数値モデルの改良を試みているが, 衛星リトリバ

ル手法によって誤差が生まれることや, 数値モデルと衛星リトリバル間で仮定が異なることで不整合が生まれてしまう場合があるため, 数値モデル開発者, 衛星リトリバル開発者で密にコミュニケーションを取っていく必要があることが話し合われた。

3.3 研究集会第2部

第2部では人工衛星データを如何に利用・促進していくかの話題提供が行われた。以降, 第2部各講演の要旨と研究集会に参加しての感想である。

衛星降水レーダーの目的外使用

金丸佳矢

衛星降水レーダーは宇宙から降水強度を測るための測器であるが, 必ずしも目的ではない利用方法について自身の経験も踏まえつつ紹介した。例として, 衛星降水レーダーの受信部による地球放射量の測定や非降水を対象としたターゲットの検出, 合成開口レーダーの技術を用いることで実現する衛星降水レーダーのドップラー観測の可能性を説明した。そして, 既存のミッションでは「目的外使用」だったことが, 新たな衛星ミッションでは「仕様」となりうるので, 既存の使用目的にとらわれない自由な発想に基づくシーズ研究も大事にすべきことを問題提起した。また, 小型衛星を用いた地球観測の可能性について触れた。

Web 会議で名前をよく拝見する方々と同じ問題を同じ空間で共有することができ, 有意義な時間を過ごした。それと同時に (分かっていたが) 自分はもう若くはないのだと思った。

レーダー・ライダーの利用

中村雄飛

TRMM 降水レーダーによる降水特性と, Cloud-Sat/CALIPSO による雲分布の特徴が, 対流結合性熱帯波動擾乱上での統計解析で整合的であることを示し, 対流加熱推定プロダクトと放射加熱推定プロダクトの複合利用による非断熱加熱推定の手法と, これを波動擾乱のエネルギー収支解析に活用した結果を紹介した。今回の連絡会では, プロジェクトや研究分野にとらわれずに様々なデータプロダクト活用法や今後の研究の展望について活発に有意義な議論が行えた。また, プロダクト作成と利用の両面からデータハンドリングについて議論できたのは大きな収穫となった。

EarthCARE と将来の衛星の在り方について

山内 晃

次世代雲エアロゾル放射観測衛星 EarthCARE に向けて開発中である大気放射プロダクトの現状について説明と情報共有を行った。また、今後の衛星観測データユーザーを増やすために「プロダクト提供側はどのような施策が必要なのか」、「衛星コミュニティを盛り上げていくためにも日本全体として学生教育を行っていくべきではないか」などの問題提起を行った。

連絡会全体としては同世代と率直に様々な情報交換ができ、主催した当人も非常に有益で、多くの学びを得た。

3.4 第2部の議論

第2部では、雲降水観測の将来と技術的課題について議論が行われた。

まず、データ同化において、雲の分布は整合的になってきたが、雨の分布に関しては不整合があることが指摘された。EarthCARE によって得られるデータによって数値モデルにおける雲分布の再現性向上が期待されるが、降水の再現性には課題が残る。そのため、GPM 主衛星に加えて小型衛星の降水レーダーを活用し、高頻度観測によって時間変化に関する情報の取得が期待された。そして、小型衛星との相性が良いテラヘルツ波を用いた大気計測についても議論が広がった。テラヘルツ波を利用することで、氷雲に関する情報が取得され、その理解をもとに数値モデルの改良へ期待が寄せられた。

また、衛星観測の利用範囲に関する議論が行われた。これまではエアロゾル・雲・降水の観測を対象としていたが、他の分野への応用の可能性が検討された。例えば、鳥や虫の捉え方に関するアイデアが提案され、異分野との連携の可能性が模索された。

3.5 研究集会第3部

第3部ではエアロゾル・雲・雨以外の大気観測、陸面観測を含めた衛星観測について話題提供が行われた。以降、第3部各講演の要旨と研究集会に参加しての感想である。

温室効果ガスの衛星観測について

染谷 有

2009年に温室効果ガス観測技術衛星 GOSAT が打ち上げられて以降、二酸化炭素とメタンの挙動の把握において衛星観測は強力なツールとなっている。今回の発表では、GOSAT シリーズについて紹介するとともに

に、現在の衛星による温室効果ガス観測の状況を踏まえた第4世代 GOSAT の検討方針についても述べた。

今回の集まりに関しては、もう少しコンセプトを明確にさせる必要はあるものの、衛星データの複合利用やそれを想定した計画を考える上で、試みとしてはいいのではないかと思った。

衛星観測に基づく林野火災と気候の関連性解析

棚田和玖

温暖化に伴う干ばつや熱波の影響により今後増加が予測される林野火災について、気象変数との関連性解析および機械学習を用いた焼失面積推定に関する研究内容を共有した。このような同世代の外部研究者の方々と接する機会は貴重であり、大変ありがたいと思った。JAXA/EORC としても衛星データユーザーの生の意見に触れることができるとともに、自身の研究にとって有用な情報も頂き、有意義であった。

陸域リモートセンシング研究について

山本雄平

静止軌道衛星データを用いた陸面物理量のリトリバル研究やその応用研究について、自身の成果を紹介した。また、静止軌道衛星から得られる陸面物理量は観測角度による特有のバイアスがあり、検証には様々な課題があることについて議論した。特に、衛星との相互比較においては、斜方視のセンサーをもつ極軌道衛星が有用であるが、現状、利用できるのは Terra の MISR 程度であり、利用できるセンサーが非常に少ない問題に焦点を当てた。こういった問題について、陸面の研究者コミュニティだけでなく、他分野の研究者とも気軽に情報共有できたことは非常に有益であった。

複数の衛星情報を利用した陸域水循環の推定

山本晃輔

衛星全球降水マップ (GSMaP) を大気強制力の一部に利用した全球陸域水循環シミュレーションシステム Today's Earth のプロダクトを用いて、Budyko Framework に基づく陸域の水循環トレンド変化の検出について紹介した。また、複数の衛星搭載マイクロ波放射計観測に基づく地表水データセットの構築に向けて、2022年パキスタン洪水における初期的な結果についても紹介した。

普段は衛星ミッション単位での繋がりがばかりが深まってしまいがちだが、日頃関係の薄い分野の話も気

軽に聞くことができ、JAXAの立場からも一個人としても新たな視点を得ることができた。

可視・近赤外での偏光イメージング観測の現状と展望 日置壮一郎

海外滞在が長く、自分の研究分野以外の日本の若手の様子が全くわからない状況で参加したが、幅広い分野の若手研究者から直接話を聞くことができ、刺激になるとともに励みになった。リモートでの参加ではあったが「可視・近赤外での偏光イメージング観測の現状と展望」と題して、国内外の衛星プログラムの状況や、期待される科学的な成果、実利用等について講演を行った。自由討論の議論も興味深く、十分な時間が配分されていたため一体感のある研究集会であったと思う。今回は画面越しの参加だったが、今回は現地で参加できることを願っている。

3.6 第3部の議論

第3部では、将来の衛星ミッションにおける有益な観測について、科学的な視点と手法的な視点で議論が行われた。科学的意義の視点としては、大気中のエアロゾルや雲の3次元構造を理解する重要性が強調され、能動型センサーではなく受動型センサーによる多方向観測の可能性について議論が盛り上がった。一方で、GCOM-Cとひまわり衛星の斜方視の不一致が検証を複雑にしていると指摘され、斜方視を一致させた複数の衛星観測が必要となるなど、様々な衛星センサーが協調する方向性が提案された。また、手法的な視点から、センサーを搭載するプラットフォームの単一化または複数化についても議論が行われた。Earth-CARE衛星は複数のセンサーを1つのプラットフォームに搭載することで、センサー間の観測時間のずれを解消しているが、プラットフォーム自体に障害が発生すると全てのセンサーが機能しなくなるリスクがあ

る。このリスクを低減するために、複数の衛星によるフォーメーションフライトの重要性が話題となった。一方で、時間差を積極的に活用することについても話が盛り上がった。時間差観測と同時観測それぞれに最適なフォーメーションを考慮する必要がある、将来の観測計画や衛星の運用方法について、積極的な議論が行われた。

3.7 次回開催に向けて

最後に、第2回の研究集会の開催についての意見交換をした。開催時期と開催場所については、日本気象学会大会、JpGU、JAXA PI ワークショップ、これらとは異なる開催時期、について意見が出された。これらの意見をもとに次回開催に向けて日程と場所を検討することとした。

そして、大気分野以外の地球観測分野の参加者拡大について議論が行われた。今回の研究集会は主に大気分野に焦点を当てて行われたが、大気分野に集中していたからこそ有意義な議論を展開できた等の意見があり、第2回も大気分野に重きをおいての開催を予定している。一方で、大気以外の分科会開催の提案もあった。分科会の開催については、大気分野の研究者との連携が望まれる。

4. おわりに

本研究集会に関して開催前後のアンケート、または実際に行われた議論によるワードクラウドを作成した(第2図)。開催前アンケートによるワードクラウドでは、「衛星」や「観測」といったワードが主に出てくるのは想定内であったが、次に「複合」「将来」「雲」などのワードが上っており、衛星複合利用や将来気候に関する問題意識がわかる。実際に行われた議論によるワードクラウドは開催前アンケートと比較的に同様のワードが上げられてはいるものの、「衛星ミッ

開催前のアンケート



実際に行われた議論



開催後のアンケート



第2図 アンケートに基づくワードクラウドの変化。

ション」や「モデル」などの具体的なキーワードを出しつつ議論が進んでいったことがわかる。このワードクラウドの変化は各人が想定していた範囲を超えて活発な議論が行われたことが伺われる。また、開催後のアンケートでは「フラッシュトーク」のワードが最頻となっており、本研究集会の目的1つであった、顔合わせを行う上ではフラッシュトークが有効であったことがわかった。一方で知識の共有という意味ではフラッシュトークでは短すぎる等の意見もあり、今後は開催時間を伸ばすことが必要であろう。そして、本稿の内容については日本気象学会2023年度秋季大会の衛星地球観測研究連絡会、タスクフォース会合リモセン分科会で行い、多くの方々に有益なコメントを頂いた。

新たな試みとして開催した本研究集会は、参加者の顔合わせや知識共有という意味合いでは非常に有用な場であった。しかしながら、知識の共有という目的だけでは数回の開催で目的を果たしてしまうため、世代交代も含めて本研究集会の意義については今後考えていく必要がある。2024年度も同様の研究集会を開催予定であり、本稿を読んで興味を持った衛星観測に関わる「若手」研究者の方はぜひ参加して欲しい。

略語一覧

AI : Artificial Intelligence
 CALIPSO : Cloud Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations
 CFODD : Contoured Frequency by Optical Depth Diagram
 CPR : Cloud Profiling Radar
 DPR : Dual-frequency Precipitation Radar
 EarthCARE : Earth Clouds, Aerosols and Radiation

Explorer

EORC : JAXA Earth Observation Research Center
 GCOM : Global Change Observation Mission
 GOSAT : Greenhouse gases Observing SATellite
 GSMaP : JAXA Global Rainfall Watch
 HSRL : High Spectral Resolution Lidar
 JAXA : Japan Aerospace eXploration Agency
 JpGU : Japan Geoscience Union Meeting
 MISR : Multi-angle Imaging SpectroRadiometer
 MIROC : Model for Interdisciplinary Research on Climate
 MSI : Multi Spectral Instrument
 NICT : National Institute of Information and Communications Technology
 TRMM : Tropical Rainfall Measuring Mission

参考文献

荒木健太郎, 當房 豊, 山下克也, 佐藤陽佑, 鈴木健太郎, 瀬戸里枝, 川合秀明, 山内 晃, 小池 真, 三隅良平, 三浦和彦, 島 伸一郎, 橋本明弘, 田尻拓也, Tzu-Hsien Kuo, 岩田 歩, 折笠成宏, 木ノ内健人, 2017:「エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会」報告, 天気, 64, 483-491.
 早坂忠裕, 中島映至, 林田佐智子, 木村俊義, 2005: 第1回地球観測衛星連絡会の方向, 天気, 52, 635-642.
 Imura, Y. and T. Michibata, 2022: Too frequent and too light Arctic snowfall with incorrect precipitation phase partitioning in the MIROC6 GCM. J. Adv. Model. Earth Syst., 14, e2022MS003046, doi:10.1029/2022MS003046.
 川瀬宏明, 杉本志織, 下瀬健一, 小玉知央, 稲飯洋一, 沢田雅洋, 坂井大作, 中野満寿男, 井上知栄, 永野良紀, 2011: 若手連携の土台作り〜気象気候若手研究者交流会の立ち上げ〜, 天気, 58, 269-273.