

GCOM 衛星利用シンポジウム 開催結果

プログラム

GCOM 衛星利用シンポジウム「しきさい」と「しずく」が捉えた地球 ～複数ミッションによるグローバル観測の時代～

日時:令和元年 12 月 20 日(金)13:30～18:00 場所:御茶ノ水ソラシティ 2F ソラシティホール

プログラム	講演者
開会挨拶	今井 良一 / JAXA 理事
来賓挨拶	中里 学 / 内閣府 宇宙開発戦略推進事務局参事官 藤吉 尚之 / 文部科学省 宇宙開発利用課長 岩間 浩 / 農林水産省 大臣官房参事官 富山 新一 / 海上保安庁 海洋情報部環境調査課長
特別講演 気象予報士が見る気象衛星と GCOM 衛星	井田 寛子 / 気象予報士・キャスター
基調講演 GCOM の現状と複数衛星観測の時代	田中 一広 / JAXA GCOM プロジェクトチーム プロジェクトマネージャ
第 I 部 実利用の成果と展望	
気象庁における GCOM データの利用	計盛 正博 / 気象庁予報部数値予報課 数値予報班長
青森県における GCOM データの活用事例	高坂 祐樹 / 青森県産業技術センター 水産総合研究所 漁業環境部長
パネルディスカッション ◆ 実利用の成果と今後の展望	コーディネータ: 松浦 直人 / さくらインターネット株式会社フェロー パネリスト: 池田 龍起 / 農林水産省大臣官房政策課食料安全保障室 計盛 正博 / 気象庁予報部数値予報課 佐川 玄輝 / 株式会社ウェザーニューズ 藤原 謙 / ウミロン株式会社 田中一広 / JAXA GCOM プロジェクトチーム
第 II 部 科学の成果と今後の展望	
衛星観測がもたらす極域の環境変化情報と 社会への影響	榎本 浩之 / 情報・システム研究機構 国立極地研究所 副所長
温暖化予測研究からみた「しきさい」「しずく」への期待	立入 郁 / 海洋研究開発機構 地球環境部門 環境変動予測研究センター グループリーダー
パネルディスカッション ◆ 科学の成果と今後の展望	コーディネータ: 中島 映至 / JAXA 地球観測研究センター 参与 パネリスト: 石坂 丞二 / 名古屋大学宇宙地球環境研究所 副所長 榎本 浩之 / 情報・システム研究機構国立極地研究所 副所長 江淵 直人 / 北海道大学低温科学研究所 教授 立入 郁 / 海洋研究開発機構 地球環境部門 環境変動予測研究センター グループリーダー 本多 嘉明 / 千葉大学環境リモートセンシング研究センター 准教授
閉会挨拶	舘 和夫 / JAXA 理事補佐

議事要旨

(1) 開会の挨拶(今井良一 JAXA 理事)



地球環境問題は、科学、社会、実生活にかかわる関心事として地球全体で取り組む課題となっている。JAXA は2つの衛星「しずく」、「しきさい」から構成される地球環境変動観測ミッション GCOM プログラムを推進することにより、全球規模での地球環境変動観測に貢献している。「しずく」は、すでに7年運用し、マイクロ波を使って世界最高の性能をもって水循環の観測を行ってきている。「しきさい」は、一昨年に打上げられ、光の領域を使って地球の状態を観測している。地球観測ミッションを推進する上で JAXA は、政府機関、研究機関並びに民間とのコミュニケーションと連携を大切に、データ解析技術、モデル化技術を使って複数の衛星の観測データを組み合わせることにより、環境変化がもたらす複雑な現象について科学的に理解を深め、問題解決に応用できるよう推進している。

(2) 来賓挨拶(中里学 内閣府 宇宙開発戦略推進事務局参事官)



気候変動に関する問題については、先月 COP25において議論され、国際社会において強い興味を示され、また、その解決の難しさについても明確となった。宇宙から地球全体の環境を観測する GCOM プログラムは、環境問題に関してその果たす役割が国際社会により一層認識されることを期待しており、長期的、継続的に観測データを収集することが極めて重要と考えている。GCOM シリーズは技術実証で終わるのではなく、ユーザーである企業・自治体・行政機関などの具体的な推進役を想定して出口を見据えた開発を行い、国際社会へ積極的に貢献することを目指したものとすることを期待している。今月、令和元年度の宇宙基本計画工程表が改訂され、来年からは5年ぶりに宇宙基本計画の改訂が行われる。この計画の中でリモセンの位置づけについて、開発面からではなく利用の側面からも意見を聴取し、議論することになりたいと考えている。

(3) 来賓挨拶(藤吉尚之 文部科学省 宇宙開発利用課長)



文部科学省は、防災や環境問題等の地球規模課題解決のために重要なデータを提供する先進的な衛星開発・運用等の推進を行っており、GCOM 等地球環境変動を把握する衛星が、政府内の各種政策にしっかり位置付けられるように調整を図っている。気候変動のメカニズム解明に貢献するため「しずく」、「しきさい」が打ち上げられた。これらの観測データは、研究者等の解析によって現在の地球の状況の把握や、気候変動メカニズムに対する科学的理解の深化に役立てられている。そこで得られる知見が、将来の気候変動予測精度を高めることにつながり、適切な政策決定の判断材料として活用されていくことを期待する。また、実利用として、気象分野では国内のみならず欧米各国にも観測データは利用されており、高い信頼を受けている。令和元年度、マイクロ波放射計の後継センサである AMSR3 の開発を本格化させた。環境省と協力して、この AMSR3 を搭載した温室効果ガス・水循環観測技術衛星 GOSAT-GW の開発を着実に推進する。

(4) 来賓挨拶(岩間浩 農林水産省 大臣官房参事官)



我が国の食料安全保障確保のためには、国内の食料生産の振興とともに適切な輸入の確保が重要です。一方、食料貿易の現状を見ると、例えば小麦については、近年、東南アジア諸国では消費の拡大により輸入が増加しており、ロシア、ウクライナなどでは著しく生産量・輸出量が増加するなど、世界の需給構造に大きな変化が生じています。このような中、我が国が適切に食料を輸入するためには、世界の主要生産地域の状況を適切に把握しておく必要があり、そのツールとして衛星データを活用しています。このため、JAXA の国産 GCOM 衛星による継続的なデータ提供を期待しています。

また、農林水産省では本年10月に JAXA と連携協定を締結し、世界の作柄把握だけでなく、国内の農地の利用状況、大規模災害時の山地被害の把握などにも衛星データを活用するため、研究を進めています。政府の「持続可能な開発目標(SDGs: Sustainable Development Goals)」のアクションプランにおいても衛星データ活用の取組みを推進することとしており、引き続き JAXA からの支援をお願いします。

(5) **来賓挨拶(富山新一 海上保安庁海洋情報部環境調査課長)**



海洋情報部では、船舶の航行安全を図るために、海流などの情報を「海洋速報」として提供しており、その情報作成にあたってはAMSR2、SGLIデータを活用している。また、オホーツクの流氷情報についても衛星データを利用して作成し、船舶向けに毎日提供しており、衛星データは不可欠なものとなっている。更に、ALOS-2データを使って海域火山の観測を行って船舶の安全を図っており、遠方諸島の火山観測については、ALOS-3の観測データが有効となることを期待している。昨年4月には、政府全体の取組みであるMDA(海洋状況把握)の能力強化として、関係機関が所有する各種の海洋情報を広域かつリアルタイムに共有するための基盤となる海洋状況表示システム「海しる」を開始した。ここでも衛星データが不可欠であるとともに、他のデータと容易に重ねて見ることができるようになったことで、衛星データ自体の価値や利便性を高める効果も生んでいる。

関係機関が所有する各種の海洋情報を広域かつリアルタイムに共有するための基盤となる海洋状況表示システム「海しる」を開始した。ここでも衛星データが不可欠であるとともに、他のデータと容易に重ねて見ることができるようになったことで、衛星データ自体の価値や利便性を高める効果も生んでいる。

(6) **特別講演 気象予報士が見る気象衛星と GCOM 衛星(井田寛子 気象予報士・キャスター)**



「ひまわり」の静止軌道と「しずく」「しきさい」の地球観測衛星の軌道の違いにより、観測地域や観測回数などが異なり、それぞれに長所と短所がある。予報にはそれぞれの観測データを補い特徴を生かしながら利用されている。

気象の予報技術は、大きな気象災害によって進化してきた。1959年の伊勢湾台風による被害から富士山レーダーが設置され、その後静止気象衛星ひまわり運用の開始、現在はひまわり8号により、飛躍的に予報技術が発展した。また、台風のみならず、日々の天気予報においても精度の良い観測が必須となっており、「しずく」の観測情報は数値予報に使われ天気予報に利用されている。2019年の台風19号の豪雨による太平洋への土砂流出が「しきさい」の観測によって明らかになったほか、オホーツク海の海水観測などに「しきさい」のデータが利用されている。

気候変動と温暖化についていえば、2019年の夏は異常気象が世界各国で多発、シベリアの森林火災を「しきさい」で見れば火災現場と火災跡の区別が明確に観測でき、焼失面積による二酸化炭素の発生量が正確に算出できるようになる。グリーンランド初夏の大融解も連続的に観測することで融解速度が明確になる。また、エルニーニョ・ラニーニャの発生に関しても「しきさい」「しずく」による観測が利用される。

NHK および国立環境研究所による2050年の天気予報では、今以上の高温や豪雨、スーパー台風の発生が科学的に予想されている。今後の気温変化の予測は、2050年までは、二酸化炭素を減らすなどの温暖化対策を今以上に取らない場合も対策を取る場合でも変化はあまり差が見られないが、それ以降では顕著に温度差が出てくることになるということに注意しておく必要がある。

(7) **基調講演 GCOMの現状と複数衛星観測の時代(田中一広 JAXA GCOM プロジェクトチーム プロジェクトマネージャ)**



GCOMミッションは、「しずく」の電波センサと「しきさい」の光学センサによる長期連続観測を行い、その観測データを使って地球環境変動の監視と解明、モデル連携によって変動予測を行うことによって政策立案への利用を目指している。

「しずく」は電波による9種の物理量、「しきさい」は光による29種の物理量を測定し、これらの物理量の変化を見る。例えば、海面水温、地表面温度、海水、植生、黄砂などの変化である。日本の季節変化を示す降水、紅葉、海水など、台風前後の観測や海洋の季節変化などを複数の衛星データを使って解析されるようになってきた。また、衛星観測と海洋モデルを連携することにより海中天気予報が作成され、陸域モデルとのデータ同化によって全球規模の陸域の土壌水分の測定により農地の監視や水分予測などの実利用へとつながるようになってきた。

JAXA は1980年代から現在に至るまで地球観測技術の継承を行い、発展させてきた。これによって衛星観測の継承が可能となり、現在の状況に至っている。今後、「しずく」の観測の後継として、AMSR3開発と温室効果ガス観測センサ(TANSO3)搭載のGOSAT-GWの開発に着手することになる。

観測、データ解析、モデルの3つの技術を合わせ「しずく」と「しきさい」は複合的に地球を把握しようとするもので、これらの活動は皆様の意見を聞きながら実施していく。

第1部 実利用の成果と今後の展望

(8) 気象庁における GCOM データ利用 (計盛正博 気象庁予報部数値予報課 数値予報班長)



気象庁における各種情報作成の流れは、観測データを利用しての実況監視と、観測データを入力として初期値を作成し数値計算を行う数値予報を行い、これら実況監視と数値予報資料を使って解析・予報作業を行って、天気予報、台風進路予報等の防災情報を発信するというものである。

ひまわり8号、NOAA、MetOp、GCOM などからの観測データは、海面水温・海水解析、黄砂・エアロゾル解析、火山監視、数値天気予報に利用されている。海面水温解析では、「しずく」による雲の下の海面水温測定値を利用中で、「しきさい」の高解能の海面水温測定の利用に向けた開発を行っている。海水解析では、「しずく」の観測データを実況解析などに利用している。

数値天気予報においては、気象庁の数値予報モデル、すなわち全球モデル(全球域)、メソモデル(日本域)、局地モデルを使って数値予報を行っている。このモデルそれぞれに対して、多くの種類の観測データを使って気象要素(気温、気圧、湿度、風など)の初期値を作成し、数値計算を行い将来の気象予測を行っている。観測データ利用の効果を示す事例としては、平成24年7月の九州北部豪雨の降水予測に関して AMSR2 データをメソモデルに同化することにより降水予測の数値予報精度が上がったこと、全球モデルに様々な衛星観測による雲・降水域のマイクロ波輝度温度データを同化することにより台風進路予測の改善が見られたこと、がある。

気象庁において、衛星データは既に海面水温解析や海水解析など様々な業務に利用されており、特に数値天気予報では、AMSR2 データの利用により大雨予測や台風進路予測の精度向上に大きく寄与している。また、GOSAT-GW/AMSR3では、大気中の水蒸気の鉛直分布の情報が得られることから、雲・降水域を含めて利用することで、更なる気象予測精度の改善がみられることを期待している。

(9) 青森県における GCOM-C データの活用事例 (高坂祐樹 青森県産業技術センター水産総合研究所 漁場環境部長)



青森県の水産業の主要産物であるホタテガイの大量死があり、その原因が異常高水温であることが判明、その対策として、水温観測ブイの増設と水温観測モデルの開発により迅速な情報提供を行うこととし、そのシステムを自主開発した。それが青森県海況気象情報総合提供システム「海ナビ@あおもり」である。ここでは、水温変動や波浪予測が示されている。

水温予測モデルの開発にあたっては、過去の水温の動きから未来を推定する「自己回帰モデル」と日射などの影響を加えた「気象利用モデル」を組み合わせたもので、1か月先までの水温の予測を行っている。水温予測の精度向上については、上流の日本海域の水温分布を知る必要があり、この分布の情報を得るために衛星データの活用を考えた。衛星データの活用として、回遊魚の漁場探索、ホタテガイの養殖管理、漁期や水揚量の推定などが考えられ、現場が必要とする衛星データのニーズに対して「しきさい」データは、海面水温の分布を示す画像の提供を可能としている。活用例として、ホタテガイ養殖に対する暖流の流入監視、異常冷水接岸による暖水系魚種への影響把握、暖流の流入によるプランクトンの流入監視などがあり、「しきさい」のデータは多岐にわたって利用されている。

ブイデータは、欠測のない時系列値、長期安定、リアルタイム取得という観点から重要であり、もし、衛星で同様のデータが取得できれば現場で利用されるようになるとの考えから、まず、過去の衛星データを使ってブイデータとの比較を行った。その結果、近隣の実測値で補正すればデータとして使用できること、平均値を取れば季節的特徴の把握が可能となった。次に「しきさい」のデータ7日分を時系列的に補完・推定し特定の日の値を計算した結果の値とブイの観測値との比較を行ったところ、データ取得率、精度ともに十分実用できるとの結果を得たことから、地方研究において衛星データの利用を促進するとともに「海ナビ」に「しきさい」のデータを使用することとなった。

現在、GCOM からの高解像度図を利用することによって、様々な恩恵を受けている。今後時系列のデータの入手により研究の進展が図られると思っている。運用期間が長くなると経年での比較も行え、産業への貢献も多くなるであろう。GCOM は有益なデータであるので長期安定的にデータ提供をお願いしたい。

パネルディスカッション「実利用の成果と今後の展望」

コーディネーター 松浦直人(さくらインターネット株式会社 フェロー): JAXA の「地球環境観測総合プログラム」は、地球の環境、変動予測の情報をグローバルに入手可能な衛星シリーズである。この中で、「しきさい」「しずく」は、作物生育状況や海洋情報など実生活に役立つ情報が多く手に入る衛星ミッションである。この GCOM 衛星計画の当初の目標は、地球規模での長期間の観測と観測データを利用したモデルの構築であり、それによって気候変動・水循環の解明に必要な情報を生成や変動予測精度の向上、気象予報、海洋・漁業などへの利用を行うというものであった。現状でも実社会への応用についていえば、衛星の利用マップにおける GCOM 衛星データの活用分野として、大気汚染や疫病の管理などが期待できる。

松浦: さくらインターネット社での Tellus の取り組みについて

経済産業省の委託契約で構築中の宇宙データプラットフォーム Tellus は、各種データやツール、データ分析環境からマーケットまでを一気通貫に提供するプラットフォームである。これは、6要素から構成されており、衛星観測データを搭載するコンピューティング、ユーザとのインターフェース、解析事例を紹介するオウンドメディア、Tellus を利用したラーニングイベント、SAR データを用いた海水検知などのデータコンテスト、そして本年度末にオープン予定のマーケットである。

池田龍起(農林水産省大臣官房政策課食料安全保障室 食料安全保障専門官): 世界の主要農産物生産地域の作柄把握について

農林水産省では、世界の穀物等の短期的需給見通しや変動要因などの情報を「海外食料需給レポート」として毎月発行している。海外の作柄情報は主に主要生産国の農業機関からの情報を利用しているが定期的な公表であるため、我が国が必要とする情報が必ずしもタイムリーに得られるとは限らない。このため、JAXA によって開発された農業気象情報システム(JASMAI)による世界の主要作物生産地域の気象情報を作柄把握の補完情報として活用している。今後、JASMAI は農林水産省に移管し、機能の充実を図ることとしている。また、JASMAI では「しずく」等のデータを利用しているが、将来的に「しきさい」データの活用やこれら GCOM 衛星等の気象データと今後打ち上げが予定されている先進光学衛星(ALOS-3)及び先進レーダ衛星(ALOS-4)から得られる土地利用状況データを組合わせたより精緻な作柄予測手法の開発等について、JAXA と共同研究ができればありがたい。なお、農林水産省は、本年10月に JAXA と連携協定を締結し、共同研究や利用調査の研究会を開催しているところである。

佐川玄輝(株式会社ウェザーニューズ氷海気象チームリーダー): ウェザーニューズにおける GCOM データ実利用について

北極海の世界向け気象サービスは、基礎となる海路のデータを集め、そのデータを使って分析し、リスクをもとに船舶もしくは陸上のオペレータと連絡を取りながら、航行に関する意思決定が行えるよう支援し、船舶の安全運航を図るというサービスである。活発化する北極海航路に関して、海水情報が必要とされている。「しずく」による海水解析の課題として、解像度が低いことや、解析アルゴリズムの誤差により、船舶が必要とする情報を十分に得られない場合があるが、「しきさい」の SGLI データを併用することでそれを補うことができる。海水観測にあたっては、現在利用しているマイクロ波(しずく)、光(しきさい)及び合成開口レーダ(Sentinel 1A, 1B)からの3種類のデータには、それぞれ利点と欠点があり、複合的に使用することになっている。

藤原 謙(ウミトロン株式会社 代表取締役): 養殖業における衛星データ利用とウミトロンについて

インターネットの利用の拡大に伴うビジネス環境の変化により、今後、データを活用したビジネスが進んでいくと想定される。その中で衛星データの活用は、それ単独での利用ではなく、複合的なデータの組合せとして産業分野で利用されることによって浸透するものと考えられる。海洋環境に敏感な魚の生育の取組として、海水温に関する現場と海洋データを組合わせにより、魚のえさやりのタイミングや量を決め、インターネットで遠隔操作できる「自動えさやり機(UMITRON CELL)」の開発を行い、養殖業の効率化を図っている。また、これまで沿岸域のデータがなかったため、「しきさい」のデータの活用性は高いと思っている。

ディスカッション テーマ1:GCOM 衛星のデータ利用の発展や新たな展開

池田: 農業ビジネス分野として、大豆、トウモロコシは先物商品取引であり、取引の判断材料として米国のベンチャーでは気象の衛星データを利用したツールを開発している。日本では、東南アジアに対して衛星データを利用した天候インデックス保険を販売し成功を収めている。農水省は統一的なプラットフォーム「農業データ基盤 WAGLI」を運用しており、バラバラな情報を一元的



提供できるシステムとなっている。これを使って新しい事業が展開されることを期待しており、GCOM データも今後ニーズが出てくればこれに実装することを考えている。

計盛正博(気象庁予報部数値予報課 数値予報班長)： 気象分野での衛星データ利用について

国内向けの解析・予測プロダクトにおいて、技術開発中である「しきさい」のデータ利用ができればよいと思っている。一方、海外向けとしては、気象庁は WMO の地区特別気象センター(RSMC)を担っており、東アジアの国々への支援として、「ひまわり」「AMSR2」などのデータ提供や衛星データを使った数値予報結果の提供を行っている。GCOM のデータを使えば、予測精度が向上し東アジアの国々においても有効に利用されると期待する。

佐川： GCOM は高性能なデータが得られており、冬に凍る海、また氷のある湾にある船舶に、このデータを提供できるようにすれば、船舶での利用が拡大する。米国の例であるが、MODIS のデータなどがグーグルマップのようなウェブアプリケーションで見られるようになっていたり、欧州の Sentinel のデータが API で容易に検索・取得できるようになっている。このような仕組みは、利用者の裾野を広げるという意味では非常に有利であり、重要である。

藤原： 長期的に生物多様性の保全などに利用できるようになれば良い。また、境界を越えた物質の移動など境界のところを GCOM が観測できればよいと考える。短期的には、新しい利用のアイデアよりも、現在必要なのはビジネスを実行する人が必要と思っている。

田中一広(JAXA GCOM プロジェクトチーム プロジェクトマネージャ)： GCOM はエンドユーザーが利用できるデータを提供するコンセプトであり、ユーザーとの議論を行って実施する方法を取ってきた。ただ、複数ミッションを加えたデータサービスという点では少し足りなかったと感じている。衛星には、短所、長所があるので、複数衛星を利用することが必要と考える。また、ユーザーには様々な要求があり、JAXA としてどのレベルまで対応するかは課題であると思っている。

ディスカッション テーマ2:後継機の必要性和利用テーマ

池田： 現在の GCOM のデータと後継機とのデータの接続性をお願いしたい。

計盛： AMSR3は新しい観測チャンネルが追加される予定であり、それらの情報を利用することにより気象予測精度が向上することを期待している。日本の衛星だけでなく、他国の衛星データも合わせて提供され活用できるシステムがあれば良いと考える。



佐川： 継続されるデータとなることが一番重要。欲を言えば「しずく」解像度が倍になればと希望する。

藤原： 養殖産業では、データの継続性、特に5年から10年というのではなく、50年程度、長期的な継続によるデータ蓄積を期待している。

田中： 継続の重要性は、これまでも認識してきた。これまでの技術開発の継続性があつたから実現することになった。技術開発とデータ利用の継続性は異なる側面があると思っている。ユーザーと一緒に議論をしながら進めていくわけであるが、技術開発と利用とのギャップをどのように埋めていくのが課題と思っている。

第2部 科学の成果と今後の展望

(10)衛星観測がもたらす極域の環境変化情報と社会への影響 (榎本浩之 情報・システム研究機構国立極地研究所 副所長)



北極圏は顕著に温暖化の現象がみられ、地球平均より2倍以上の速さで昇温し、海氷減少が起こっている。これは、大気と雪氷間の現象で、白い雪がいったん解け始めると黒い土が熱を吸収する。この熱によって更に雪が解け始めるという負の連鎖である。この現象を衛星データから見ると、春から夏にかけて積雪が減ってきているのがわかる。氷が減った夏の海洋は、日射を吸収し、熱を蓄える。氷が減少した後、大きなサイクロン(低気圧)が発生した年もある。海洋に蓄積

した熱のため秋の結氷が遅れ、また海洋から熱と水蒸気が大気に放出され雲が発生して気温が下がらなくなる。ここに北極温暖化増幅は初冬に顕著に起きる理由がある。冬になっても降水は雪でなく雨となる例が起きている。北極の気圧配置を変えるこの現象はユーラシア大陸上空の大気の流れを変え、極東域での低温など北極海から中緯度まで影響を与えており、「しずく」はこのような現象を観測している。

北極海航路利用に関して、安全な船の航行を支援するためには、リアルタイム海氷・気象情報、ルート検索の情報が必要であり、春のうちにその年の夏の融解予測ができることと有効である。そのために冬季の海氷成長がわかることが重要なポイントになっている。冬の海氷間に成長する海氷の厚さを推定するために、「しずく」の観測データによる冬季海氷移動観測から成長計算を行うユニークな方法で春の海氷の厚さ分布状況の状況、それを初期値として夏の縮小予測を行うことが行われて、成果を上げている。北極域では地上の観測点が少ないことから、気象情報の取得は非常に難しくなっている。近年、気象と海氷の分布を、集中観測により調べ、問題点について把握しようという作業が行われている。海氷が減った海洋では、プランクトンなど海洋生態系の把握を行うために「しきさい」のデータが利用されている。

極域で起きている変化がローカルからグローバルに影響するようになってきていること、船舶航行や産業への関心から信頼性の高い気象・海象情報・予測が必要となっていることなど、これらを支えるのが広域で持続的な衛星観測である。

(11) 温暖化予測研究からみた「しきさい」「しずく」への期待（立入郁 海洋研究開発機構 地球環境部門 環境変動予測研究センター グループリーダー）



海洋研究開発機構の地球環境変動(温暖化予測を含む)研究は、国の海洋基本計画、国連の持続可能な開発目標(SDGs)等の政策に貢献するものであり、このうち環境変動予測センターではさまざまな気候モデルを用いた変動予測研究を行っている。このうち地球システムモデルは、全球物理気候モデルに大気、陸、海洋の生態系などの物質循環コンポーネントが結合されたものであり、最も長い100年スケールの予測を担っている。

温暖化の影響確認と気候モデル改良という衛星データの温暖化問題への二つの寄与のうち、ここでは後者に重点をおいて紹介する。衛星データのモデル改良への利用については、まずモデル評価用データとしての利用があり、これに加えて、短期的は変動と長期的は感度の明確な関係を見つけ、短期変動を衛星データで制約することで長期的感度の不確実性を低減する(これにより単位炭素排出量当たりの昇温の不確実性低減にもつながる)ことも試みられている。この他、衛星データを利用してプロセスの改良をすることによるモデルの高度化があり、例えば、LAIと雪の季節性の関係、植物プランクトンによる放射遮蔽効果、火災による影響などがある。将来的には、森林の3次元構造などに応用することも可能かもしれない。「しきさい」の観測データは、エアロゾル、二酸化炭素濃度の変化、気温変化に対する生態系の応答への評価への利用、「しずく」は、積雪量と植生の関係、土壌水分への利用が考えられる。また、長く安定的に観測データが提供されれば、変化傾向を見る上で有用である。

パネルディスカッション「科学の成果と今後の展望」

コーディネーター 中島映至(JAXA 地球観測研究センター参与) :

GCOM ミッションは、全球変動観測となるわけであるが、「しきさい」が同じ場所を観測するのにどれほどかかるのか。



本多嘉明(千葉大学環境リモートセンシング研究センター准教授) :

「しきさい」が全球をカバーするのに2日半、ALOS では全球をカバーするには46日が必要である。

中島: 衛星により複合的に観測することによる実利用の話が前半にあったが、ここで議論したいのはサイエンスの側面である。そして全球観測というのがキーワードであると思っている。

江淵直人(北海道大学低温科学研究所 教授) : 海洋観測は、広範囲におよぶ海洋を観測するため、船などでは限られたところでしか観測はできないこと、繰り返し長期間の観測は非常に難しいことから、人工衛星に頼る部分が非常に多くなっている。また、海洋と大気の相互作用についても、「しずく」と「しきさい」の観測データを合わせれば、かなりの物理量のデータが得られ、非常に有効な手段である。しかし、衛星データは海面表面のみの観測だけで、海の中の状態がわからないので、現場観測も相変わらず必要である。さらに、それで補うことができないものはモデルを使うということになる。また衛星の1つのパラメーターでの観測でなく複数の観測が必要になってくる。従って、衛星観測と現場観測、数値モデルを組み合わせ

た海洋観測システムの構築が必要となる。更に長期継続性は極めて重要であり、季節変動、数年の変動、10年～20年の変動を知ることも重要である。それを実現するには、国際協力や役割分担によって観測体制の維持が必要となり、国際的な役割分担を考える上で、「しずく」「しきさい」は日本の強みになっている。なお、2021年から10年間「持続可能な開発のための国連海洋科学の10年(2021-2030)」が始まり、各国ではどのような計画にするのかについて検討が始められており、人工衛星を使った観測はシステムの一部と位置付けられており、日本の貢献も求められている。

中島： 海洋観測は時間的、空間的にスケールが大きいですが、複数の衛星を使うことによって持続的に観測ができるようになったことと、プランクトンから海面温度までの物理量が250m 解像度で測定できるようになったのは大きな進歩である。

石坂丞二(名古屋大学宇宙地球環境研究所 副所長)： 250m分解能を持つ「しきさい」データは、2日に1回観測データの取得が可能となっており、沿岸をグローバルに観測するのに有効である。これによって、台風19号前後の懸濁物重量分布が時系列でわかるようになった。また、トカラ海峡での地形に黒潮があたって起きた植物プランクトンの増殖や、琵琶湖の懸濁物質と植物プランクトン量の変化、更には異なる植物プランクトンや浮遊海藻の分類などの観測も可能となっている。これらのデータの蓄積により、ようやく海洋の生態系の変化とそれによる物質循環の変化がわかるようになってきた。さらに、高解像度で頻繁にデータの取得が可能となったことから、沿岸域での養殖業などの実利用にも使えると考えている。

中島： ここで生態系とCO₂に繋がってきた。また、沿岸域の懸濁物重量分布については、250mの解像度であったから、可能になったわけで本当に素晴らしい成果だと思う。

本多： 「しきさい」の2つの目標は、雲の影響は、大気を冷却するのか、暖めるのかを明確にすることと、炭素循環として森林のバイオマス測定することである。最初に全球のバイオマス分布図を作成した時の誤差が大きいことから、地上でのデータを組み入れることによって、現在では誤差が半分減少し24%程度になっている。次に、アマゾンの森林火災により大気へ放出される二酸化炭素の量は、地上から放出されるその2割程に及ぶといわれている。たとえば、アマゾンでの火災の発見に際しては、消失しても雨が降ったら数日で緑が覆って、被雲率を考えると発見は困難である。バイオマスがわかるとバイオマスの減少したところを見つければ、そこが森林火災が起こったところであり、火災の範囲がわかれば二酸化炭素の排出量が定量的にわかるようになる。また、JAXA は植生 LIDAR「MORI」による森林観測について検討中であり、植生 LIDAR が運用されれば、地上バイオマス情報が飛躍的に増えて、バイオマスデータの精度向上が飛躍的に見込まれる。

中島： MORIによってどれほどバイオマスの測定が改善できるか。

本多： 誤差10%を目標としており、現在は24%でかなりの改善となる。

榎本浩之(情報・システム研究機構国立極地研究所 副所長)： 極域では、環境の変化がすでに起きており、これらの変化が全球へと広がりがつつある。また、温暖化の影響のスピードは上がってきており、北極の海氷やグリーンランド氷床の減少はすでに、そして南極氷床でも変化が起きるのは遠い先の話ではなく、比較的近い話と考えられている。

立入 郁(海洋研究開発機構地球環境部門環境変動予測研究センターグループリーダー)： 地球システムモデルは複雑なモデルなので変数間の因果関係が現時点で全て分かっているわけではない。「しきさい」「しずく」は多様なデータを提供するので、長期的にデータが得られるようになれば、変化を含めて解析することができ役に立つと思っている。

中島： 陸、海、大気の中で、モデルで一番わからないところは、また、どのあたりから攻めればよいのか。

立入： 多くあるが、陸では雪、土壌水分、植生の関係に注目している。海は、生態系が物理場と絡み合っており、再現性向上には物理・生態系両方の改良が必要である。海域で言えば南極海は重要かつモデル改良の余地が大きい海域である。

中島：サイエンスの観点から重要と思われる衛星観測は、次のようなものであると考える。まず、人間活動により二酸化炭素や長寿命の温室効果ガスなどが大気に排出される。短寿命の大気汚染物質も太陽熱を吸収して温暖化を引き起こす。CO₂が排出されることを観測するのがGOSAT衛星、大気汚染物質を観測するのが「しきさい」のSGLIである。ただ、これらの物質の排出によってどれくらいの気温上昇が起こるかという気候感度の評価については、まだモデルの不確実性が大きいので、大気の上下方向の観測が大切になっている。そのために、GPMやGCOM-Wによる水循環や雲・降水変化、「ひまわり」による気象観測などが必要になる。これらの衛星を組み合わせると、エアロゾル・雲・対流・降雨相互作用が測定できる。これらの全球地球観測システムによって必須気候変数の多くのところをカバーできるが、世界的な地球観測の連携のなかで、日本の強いところ、実績のある所を伸ばすことを考えて次の計画を立てることが大事だと思っている。

江淵：地球温暖化に対して、グローバルでは、現在のAMSR2で観測し続けることが重要である。ローカルでは、分解能をあげることが必要。個人的には、マイクロ波の高分解能化、例えば10キロを希望する。

中島：海洋生態系では、なにをやればブレークスルーになるのか。

石坂：沿岸のところは、産業革命以降についての海洋生物の変化の数字がなく、これまで変化がわかっていた。今後「しきさい」のデータ蓄積が図られれば、これからの変化がわかるようになる。解像度は「しきさい」から将来さらに上がればよいが、現状でもあまり問題はない。頻度を上げるためには、新しいセンサや地上システムでデータを同化させるなどデータシステムについて議論すべきである。

中島：科学的に課題の解決を図るには、まだモデルではわからないところが多い。ただ、予測をしなければ災害の低減にならないので、やはり最初に観測し、それをモデル化することが必要になる。その観点では、観測とモデルを使ったデータ同化による初期値の改善と、それを利用して予測するという流れになるのか。

立入：モデルの改良は観測データと比較して進めていくわけであるが、陸、海洋、大気の変数のみならずそれらの間の相関関係の再現が重要だと考える。できるだけ多くのキーとなる変数のデータが、各圏（大気、陸・雪氷、海）について出てくるのが良いと思っている。同化はすぐには難しいと思うが、将来的にはそれが目指されるべきなのだろう。

中島：これまで複数衛星の組合せを議論してきたが、抜けているのは地上もしくは航空観測との組合せであるが、その観点での進歩に対する考え方は？

本多：地上観測は、人が行けるところにかなり偏っており、バイアスがかかっている。「しきさい」は多目的に利用できるが、地上観測の人からの詳細な要求とはギャップがある。「しきさい」を基幹衛星として、詳細な部分は小型衛星で機能特化して補うようなシステムを作れば、ビジネス界にも役立つようなものができると思っている。

中島：心配なのは、極域の問題で、衛星からは氷床は見えるが、どれほど薄くなっているのかわからない。下からあつたまってくると突然壊れるということになり、やはり氷の問題が重要だと思う。これは観測できないと思うが。

榎本：IPCCレポートの中でも、観測ができていない deep uncertainty という例として記述されている。それには、後戻りができなくなる「ティッピング・ポイント(臨界点、閾値)」がどこにあるか連鎖する変化の先を読むこと、また複数の変化が同時に起こったために原因の所在が解らないという「複合リスク」を紐解くことの必要性が挙げられている。例えば、雲が発生して雨が降り、雨が止んだ後で洪水が発生、混濁物が海に流れ込むという連鎖の「カスケード・インパクト」の認識が必要である。連鎖については、最初に物理的な要素から始まり、化学的な変化と物質循環につながり、そして生物に影響を及ぼして、最後に社会にインパクトを与えるというストーリーラインの認識の仕方が重要となる。最初の物理的な要素、温度や水蒸気量は継続的観測がベースとなる。これを衛星観測で抑えておくことができる。極域の氷床による海面上昇の影響は、平均的な海面上昇だけでなく、気象や海洋の地域的な突然の変化にも関わり増幅されるため、衛星による監視は重要である。

中島：フューチャー・アースの会合で、将来にわたって脆弱性のある所を科学者がコミットしてステークホルダーと一緒に問題解決の手伝いをするかという議論があった。衛星観測を使って広域観測を行い、例えばこの地域ではマラリアが発生しやすくなるという予測をして現地の医療機関にコンタクトするというような新しい研究が生まれつつある。地球温暖化に対してチャレンジするためには、このフューチャー・アースのような新しい方法が必要であろう。

(12) **閉会の挨拶(館和夫 JAXA 理事補佐)**



当初の予定よりも多くの参加者となり、この分野での皆様の関心が非常に高いことが示されたと思っている。本日の発表を聞くと、GCOM-W に始まり GCOM-C に続く地球環境変動観測ミッションは、科学の分野のみならず、実利用の分野でも、着実に成果が出てきたと感じている。その中でも、利用者の多くは、データの継続性が重要であるとの意見が多くあった。GCOM-W の運用はすでに7年、後継機については名称が変わるが2023年打上げ目標としてGOSAT-GWとして着実に継続されることになる。このようにデータの継続がなされることによって利用が進み、更に発展するのではないかと考えている。

GCOM プログラムは今後継続されるが、地上システムも含め、これからも改善を続けるつもりであるし、皆様からのご支援をお願いしたい。