

特集 I

再生可能エネルギーと衛星データについて

衛星地球観測コンソーシアム (CONSEO) における取組みについて

Activities on Consortium for Satellite Earth Observation

松尾尚子^{*1}, 早坂忠裕^{*1*2}, 青出木 悠人^{*1*}

1. はじめに

2024年11月24日, UNFCCCのCOP29が閉幕した。開発途上国に向けた資金拠出の目標を3倍にするとされ、パリ協定第6条では炭素市場（第4項—メカニズム）の基準が合意されるなどした。また、Earth Information Day (EID) 2024では、組織的な観測 (Systematic Observation) をどうしていくのか、高まる気候変動に対する社会の危機感に対し、気候変動の科学者と政策立案者が議論し、地球観測の重要性が伝えられた。

2021年、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の自然科学的根拠をまとめた第1部作業部会は、第6次評価報告書 (AR6)において「人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない」と報告し、不確実性の表現が初めて外れた。日本においても、今年も猛暑日を更新するなど温暖化を目の当たりにしており、その他にも線状降水帯や激甚災害の増加の中で、気候変動に対する対策としてどのように取り組んでいくのか、強靭な社会構造を築くことが求められている。

将来の持続可能な社会を構築する上で、地球観測衛星は、安全保障、防災・国土強靭化、気候変動監視、地球科学、ビジネスなど多様な課題解決に貢献することが可能であり、その役割をこれまで以上に發揮することが求められている。そのような状況において設立された衛星地球観測コンソーシアム (CONSEO) は、産学官による衛星地球観測の成果の社会への還元に取り組んでいる。

2. 衛星地球観測コンソーシアム (CONSEO) の概要

2022年9月、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が事務局となり、衛星地球観測コ

ンソーシアム (CONSEO) が設立された。近年、宇宙産業市場は、ベンチャー企業を含む民間企業の宇宙活動が活発となっている中で多くの企業が参画しており、CONSEOは、2024年12月現在、法人団体会員284、有識者会員44、オブザーバ団体15が参加する衛星地球観測に関わる日本で最大のコミュニティとなっている。

CONSEOは、その目的を「より良い未来を志す産学官が集い、衛星地球観測の力で共に未来を描き、創り出す。」として、ビジョンを「地球まるごと、より良い未来へ。」としている。これを実現するためのミッションを以下の3つとし各種活動を進めている。

- ✓ 衛星地球観測の戦略について幅広く議論し、国へ提言する。
- ✓ 衛星地球観測の成果を社会に還元し、産学官のエコシステムを形成し、連携を推進する。
- ✓ 衛星地球観測を推進する機運を醸成するため、その価値を広く社会に発信する。

活動は、ミッション毎に識別されており、国への提言を目指しては、「分科会」「ワーキンググループ」で、特に未来社会を念頭においたユースケースを想定し、バックキャストでの衛星観測のあるべき姿や課題について議論を行っている。産学官の連携推進のミッションにおいては、産学官連携タスクフォースとして、勉強会やワークショップ等を開催し、再生可能エネルギー（太陽光、洋上風力発電）について有識者からのレクチャーを行ったり、社会経済学への衛星データ利用について経済学者等との意見交換の機会などを提供している。また、多様な地球観測衛星（例えば、JAXAが運用しているALOS-2、GCOM-C、GCOM-W、降水レーダなど）による意義

*1 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

*2 東北大学

価値をより広く一般社会に伝えるためのアウトリーチ活動も実施しており、CONSEO アンバサダーとして榎太一氏（同志社大学助教）、油井亀美也氏（JAXA 宇宙飛行士）による様々な活動も行っている。（図1）

2.1 衛星地球観測の全体戦略に関する考え方 (2022年度 CONSEO の提言)

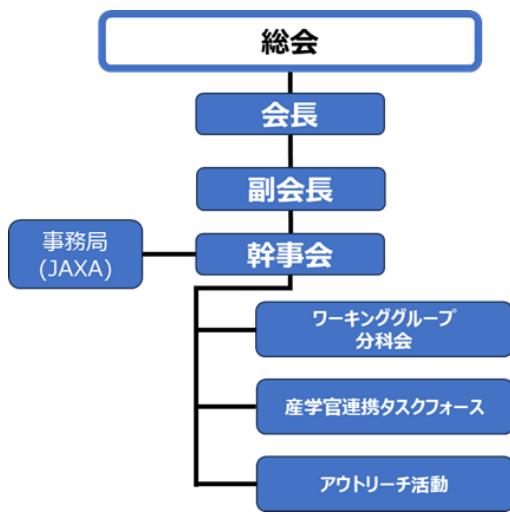
2022年度の設立年に4つの会合（科学と環境共生分科会、社会実装分科会、産業競争戦略ワーキンググループ、光学・SAR 観測ワーキンググループ）において様々な観点での議論を行い提言がまとめられた。

衛星地球観測は、幅広い分野・領域において様々な価値を創出してきたところ、社会・経済環境等の急速な変化に伴い、国家・地球規模の重要課題の解決のみならず、産業的にも発展が期待される成長分野として、その重要性は今後ますます高まっていくと考えられる。

衛星地球観測が、以下の2つの領域（公共利用&民需）の取組により、シナジーを生みながら成長する将来像の実現を目指す。

- ① 我が国の課題や地球規模の危機への対応などの公共利用を中心とした領域に不可欠なツールとなる。
- ② 成長が期待されているデジタル・AI、グリーン分野等と融合し、民需を中心として衛星観測産業が持続的に拡大する。

これにより、地球規模の課題解決やDX・GXに不可欠な情報を提供し、「見通せる」社会の実現を目指すとともに、衛星地球観測産業2兆円規模の達成と利用の成果がさらなる官民の投資につながるよ



うな持続的なエコシステムの構築を目指すことを、2040年頃に達成を目指す目標として設定した。（図2）

2.2 衛星地球観測のデジタル分野及びグリーン分野における推進戦略に関する考え方 (2023年度 CONSEO の提言)

2023年度は、衛星地球観測分野の全体戦略に関するCONSEO提言(2022年度)を踏まえ、衛星地球観測分野の全体戦略の目標達成のために強化すべき重要な取り組みとして識別された「デジタル分野及びグリーン分野との融合」に関して、より具体的な取り組みを推進していくために、CONSEOにおいて2023年度に実施した将来利用像・課題と対策等の深堀検討の結果を、「デジタル分野及びグリーン分野における衛星地球観測の推進戦略」として政府に対する提言がまとめられた。

「デジタル分野」及び「グリーン分野」は、今後官民投資の拡大が期待されている成長分野であるが、非常に広い概念であり、例えばグリーンにおいては、経済産業省の「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」で選定された14の重点分野における、衛星地球観測利用の可能性を識別するなどとした。

デジタル分野及びグリーン分野におけるこれらの衛星地球観測の利用可能性のある分野のうち、「見通せる社会」実現への貢献、市場の拡大想定、政策的重要性の高まり、衛星地球観測の優位性、我が国の強み、我が国のプレイヤーのWillなどを踏まえ、5つの分野（カーボンクレジット、スマートシティ、海洋DX、防災DX、地球デジタルツイン）を識別し、それぞれの分野における衛星地球観測に関する①背景・動向、②将来利用像、③課題と対策案、④推進戦略について深堀検討を実施した（図3）。

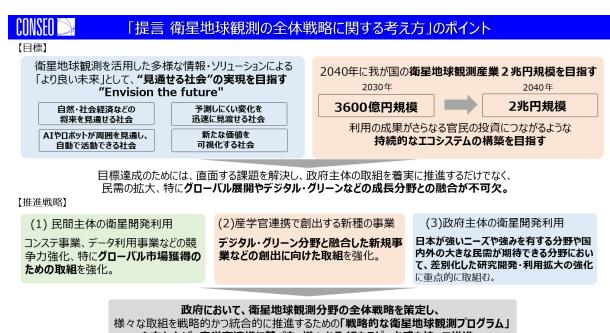


図2 「提言 衛星地球観測の全体戦略に関する考え方」のポイント



図3 衛星地球観測のデジタル分野及びグリーン分野における推進戦略

2.3 2023年度グリーン勉強会の開催実績

2023年には産学官連携タスクフォース活動の一つとしてグリーン勉強会を実施した。衛星地球観測分野の全体戦略に関するCONSEO提言(2022年度)を踏まえグリーン分野における衛星地球観測についての衛星地球観測の可能性を見出すために、有識者や会員との対話を促進し、データ有用性を検証するための実証策の立案など、グリーン分野との融合にむけた目指す方向や実行計画について議論することを目的とし、全4回開催した。

第1回、第2回はカーボンクレジットをテーマとしており、再生可能エネルギーとしては、第3回に太陽光、第4回に洋上風力発電をテーマとして開催した。

第3回 (2023年、7月27日開催)

- ✓ 再エネ出力予測に関する課題～再生可能エネルギー拡大に向けて～（送配電網協議会 電力技術部長 伊佐治 圭介）
- ✓ 気象分野における太陽光発電に関わる技術の現状と課題（一般財団法人 日本気象協会 技師 岡田 牧）

第4回 (2023年、12月13日開催)

- ✓ 最近の風力発電の動向（一社）日本風力発電協会 国際部長 上田 悅紀）
- ✓ 風力にかかる衛星観測について
 - ① 合成開口レーダ（L）による観測（JAXA 田殿 武雄）
 - ② 合成開口レーダ（X）による観測（Synspective ビジネス部 ビジネス開発担当 小串聰彦）
 - ③ 超広帯域マイクロ波計測技術（JAXA 村木祐介）

2.4 2024年度気候変動シリーズの開催実績

CONSEOは、複雑化した地球環境問題に立ち向

かうために、地球環境、気候変動について多様な観点で学ぶCONSEO気候変動シリーズ（6回開催）を2024年度に企画した。本イベントへの参加を通じ、気候変動にかかる科学的知識を深めるとともに、さらに社会課題の解決に向けてアイデアを創出し、産学官の連携推進を通じて行動につなげることを目指した。発表内容CONSEO気候変動レポートして今後まとめる予定である。

特に、第4回気候変動の最新科学研究『世界がおかしい。地球は大丈夫なのか?』において、気候変動を人間が引き起こしていることは、疑いの余地がない事実であり、近年は海水温の上昇に伴って猛暑や豪雨災害が増加していることが報告された。人工衛星は20~30年というスケールで地球のさまざまな変動を観測しており、気候変動の科学的理解に役立っており、さらに衛星データは、気象数値予報モデルや気候モデルに多用され、将来予測に欠かせないものとされた。

一方で、気候変動の適応・緩和策の実行は急務であり、それらを社会の仕組みに組み込んでいく、世界全体で持続可能な社会の実現を目指していく必要がある。同時にそれは文明の急激な変化でもあるため、社会の調整スピードを加速させる必要があるとされた。今後、人々の改革意識をあげるには、衛星データや予測モデルといった科学の知見に基づいて情報発信し理解を得ることが重要とまとめられた。

3. 衛星観測を活用した再生可能エネルギーについて

3.1 太陽光発電について

(1) 太陽光発電に必要な情報

第3回の勉強会では太陽光発電と気象技術に関する話題が取り上げられた。特に日射量の予測が正確かつ高い時空間解像度で得られることが重要であることが示された。後述するように、実は数値モデルを用いた天気予報や日射量の予測にも多くの衛星観測データが用いられている。ここでは、太陽光発電における衛星観測の役割について日本を例に述べる。世界的にも太陽光発電が推進されているが、日本は世界の中でも気象変化に富んでおり、日本における事例から世界中の多くの地域でも太陽光発電における衛星観測の貢献が期待できる。

太陽光発電において必要な情報は、第一に地上に到達する太陽放射エネルギーの強度であり、一般的には日射量が重要になる。これは、太陽放射スペクトルの波長全体について、地上の水平面で受け取る

直達光、散乱光を合わせた太陽放射エネルギーである。かつては全国の気象台や測候所で数多く観測されていたが、現在、気象庁の観測地点は日本国内で48地点に限られている。日射量に準ずるものとして日照時間があり、これについては気象庁の約800地点のアメダスでも観測している。日照時間から日射量を推定する手法もあり、精度は劣るが日射量に関する一定の情報を得ることができる。

太陽光発電に用いる発電素子は有効な波長域が限られており、太陽放射スペクトル全体を利用するわけではない。最近の太陽光発電は高効率化を目指し、異なる波長域に感度を持つ素子を組み合わせて用いるタンデム型が開発されるなど、利用可能な波長域を拡張することにより発電効率の改善が行われている。このように利用する太陽放射スペクトルも年々変化しており、必要な太陽放射エネルギーの情報も理想的には日射量ではなく、雲やエアロゾル、水蒸気などの大気特性によって変化する太陽放射スペクトルの情報もあることが望ましい。

次に、太陽光発電においては、日射量あるいは地上に到達する太陽放射エネルギーのスペクトルに関する情報を、できるだけ細かい時空間解像度で把握する必要がある。しかも、リアルタイムでの情報入手が重要で、さらに予測ができれば効率的な太陽光発電の運用が可能になる。一方で、太陽光発電施設の立地条件の調査においては過去の比較的長期にわたる情報も重要である。

(2) 衛星観測データの利活用

①衛星観測データによる日射量の推定

衛星地球観測は全球をカバーし、定期的に均質な大気、海洋、陸面のデータを得ることができる。低高度極軌道の衛星は比較的空間解像度が良く、たとえばJAXAのGCOM-C衛星搭載のセンサーSGLIでは衛星直下で250mであるが、時間的には同じ地点の観測は昼1回、夜1回程度に限られている。一方、気象衛星「ひまわり」のような静止衛星を用いれば10分間隔、日本付近に限れば2分半間隔で観測が可能である。その代わり空間解像度は衛星直下で1km程度である。衛星観測からは雲やエアロゾルなど様々な物理量を得ることができる。しかしながら、大気上端で反射される太陽放射や熱放射として宇宙空間に射出される地球放射のエネルギーを衛星から直接観測することはできるものの、地上に到達する日射量を直接観測することはできない。

そのかわり、衛星観測データを用いて地上における日射量を計算することが可能である。太陽同期の

低高度極軌道衛星に搭載された大気上端における太陽放射、地球放射の放射収支を観測するセンサーCERESのデータおよび静止気象衛星のデータ等も用いて地上における日射量のデータが作成されている¹⁾。これらのデータセットは基本的に緯度経度1度グリッドの空間解像度、1時間の時間解像度となっている。これら以外にも、SGLIなどの可視赤外イメージヤーのデータを用いて得られる大気中の雲、エアロゾルなどの情報を基に計算された日射量や光合成有効放射量（一般に波長0.4～0.7μm）、さらには太陽放射スペクトルに関する情報も得ることができる²⁾。

②数値モデルとの連携

このように、衛星観測データを用いた計算から太陽光発電に必要な情報をある程度の時空間解像度で得ができるが、衛星観測は、あくまでも現在および過去の情報に限られる。一方、天気予報に用いるような気象数値モデルによる日射量の予測が可能である。その際、正確な予測を行うためには、数値モデルに入力する初期値が極めて重要になる。現在の気象庁の現業の予報モデルにおいて必要な初期値は様々な観測データを同化して作成されるが、利用する観測データの約9割は衛星観測データである。もちろん、これには日本の衛星のみならず世界中の衛星観測データが用いられている。

データ同化によって作成される再解析データは過去の多様な気象要素について均質な情報を提供することになる。衛星観測も一定程度均質ではあるが、クロストラック走査型放射計の場合、衛星直下と走査幅の端では空間解像度が異なる。「ひまわり」のような静止衛星においても、衛星直下と観測領域の端では空間解像度が異なる。一方、数値モデルと組み合わせてデータ同化を行うことにより、データを均等な時空間間隔に適切に内挿することが可能になる。このような過去の長期間の均質な再解析気象データは、太陽光発電施設の立地調査などにも役立つものと思われる。

3.2 海上風速にかかる衛星観測とそのデータ利用

2023年度グリーン勉強会第4回の上田氏（日本風力発電協会国際部長、日本風力エネルギー学会理事）の発表によれば、世界では2012年以降、再生エネ電源（特に風力）が火力発電を上回るペースで導入されている。世界において、2022年末で約30万台・9億600万kW(906GW)、世界の電力の約10%は風車であり、世界風力会議GWEC曰く、「2030

年までに2TWを越えるとされている。日本は、2020年に菅首相（当時）がゼロカーボンを宣言し、海上風力産業ビジョンを発表した。そこで、2030年までに1000万kW（建設費は約5兆円）、2040年までに3000万～4500万kWを導入するとされている。

風のエネルギーは風速の3乗とロータ面積と空気密度に比例することから、風力発電の経済性は「風況」で決まる。そのため、風車は大型化が経済性として良く、経済性調査では風力資源（年平均風速）の把握が重要とされた。

このような風力発電における風速の把握や台風の気象予測における海上の風速把握のニーズがあることから、近年、衛星地球観測による海上風速の研究が進んでいる。

衛星による風観測について、いくつかの手法があるが、課題があり、北西太平洋において、台風状況下の高精度で面的な風観測がなく、表1に示す通り、高空間分解能による風速20m/s超の風観測手段がない。

(1) 合成開口レーダによる観測

合成開口レーダは、電波を衛星から地表面に向けて発し、衛星方向へ戻ってくる電波の強度や位相からさまざまな情報を取得するものである。これまでには、災害時の浸水域や土砂崩れ、地盤面の変動把握に利用されている。

この合成開口レーダが観測する後方散乱の強度（後方散乱係数 σ^0 ）から経験的に作成したモデル関数 F を用いて海上風速（高度10m）推定することができる。（図4）

JAXAでは、ALOS-2により合計22回の観測を

表1 衛星による風観測の課題

観測センサー	課題
マイクロ波散乱計 (ASCAT等)	風速20m/s以上はほぼ飽和して観測不可
マイクロ波放射計 (AMSR2の全天候海上風速等)	解像度が粗い
Lバンドマイクロ波放射計 (SMAP, SMOS)	解像度が粗い
赤外衛星 Atmospheric Motion Vector(AMV)	強風(15m/s)半径が把握できる程度

実施（2023/9/15時点）し、L-band SARによる風速変換モデル関数の更新・精緻化を行った。また、平時の沿岸域海上風推定についても共同研究を開始しており、海上風力発電への貢献を目指している。

Xバンド合成開口レーダの小型衛星コンステレーションで構築を進める日本のベンチャー企業、Synspective社も、Xバンドによる高さ10mの海面付近の風速の計測を行っている。

(2) 超広帯域電波デジタル干渉計(SAMRAI)

JAXAは、科学技術振興機構から受託した未来社会創造事業大規模プロジェクト型において、超広帯域アンテナおよび超高速デジタル変換を基盤技術として位置づけ、当該基盤技術及びこれを適用した超広帯域電波デジタル干渉計(Scanning Array for hyper-Multi RAdiowave Imaging; SAMRAI)の研究開発を2021年度から開始し、2027年度に実証衛星の打上げを目指している。

表1の通り、風観測においては、従来のマイクロ波放射計は解像度が粗く、反射鏡式の受信アンテナという、ロケットでの輸送時に相対的に大きな容量を要する方式を採用しており、高分解能化のためのアンテナ大型化には制約がある（課題1）。また、マイクロ波は、放送・通信・レーダにも用いられるため、それらの放射計への混信により、観測データが欠測する（課題2）。

これらの課題を解決すべく、SAMRAI衛星実証機は超広帯域アンテナおよび超高速デジタル変換を

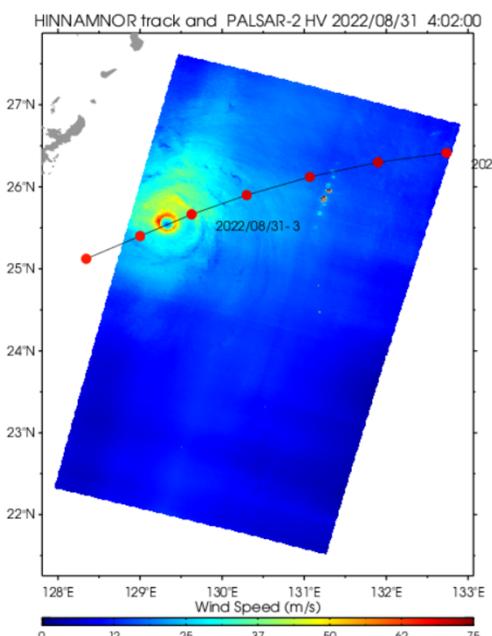


図4 ALOS-2による海上風プロダクト：2022年の実績、台風11号 (HINNAMNOR)

適用したフェーズドアレイアンテナ（PAA）を搭載している。PAAは、平板上にアンテナ素子を配置する構成のため、展開機構を用いることでロケットの搭載制約を受けることなく高分解能化を実現し、課題1の解決に寄与する。また、PAAの採用により小型衛星への搭載が可能となり、将来的には衛星コンステレーションの構築を通じて高頻度な観測を実現可能である。

課題2に対しては、超広帯域アンテナ素子による1-40GHzの広帯域幅、超高速デジタル変換による27MHzの周波数分解能の特性を活かし、混信部分のみを最小限で切り離すことで、データ欠測を防ぐことができる。図5にSAMRAI衛星実証機の構成を示す。

SAMRAI衛星は、上記2つの技術を活かし、面的・継続的な海上風速の高頻度・高空間分解能観測情報の取得を目指している。

また、実証衛星を用いて、風速プロダクトの精度検証を実施するとともに、観測データを基に洋上風力発電を含む各分野での利用実証を行う予定である。

4. まとめ

CONSEOは、来年度も気候変動等にかかる地球規模課題の解決に向けてコミュニティ活動を続ける。太陽光エネルギーの活用において衛星をどのように活用するべきか議論に貢献していきたい。

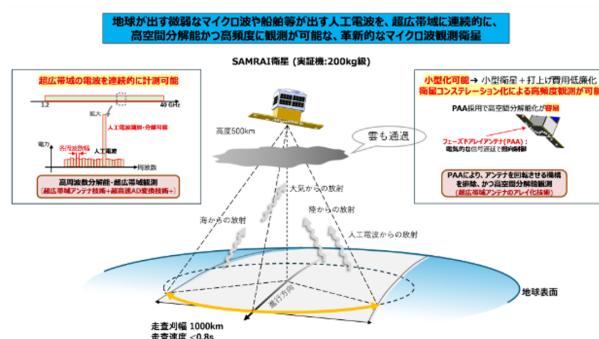


図5 SAMRAI衛星実証機の構成

参考文献

- 1) Gristey, J. J., et al., 2021: Shortwave Radiance to Irradiance Conversion for Earth Radiation Budget Satellite Observations: A Review. *Remote Sens.* 13, 2640. <https://doi.org/10.3390/rs13132640>.
- 2) Frouin, R., and H. Murakami, 2007: Estimating photosynthetically available radiation at the ocean surface from ADEOS-II global imager data, *J. Oceanography*, 63, 493-503. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10872-007-0044-3>

著者略歴



松尾尚子（マツオ ナオコ）

2002年東京大学大学院修了。旧宇宙開発事業団に入社以来、宇宙実験や衛星データ利用など宇宙アセットの利用拡大を担当。第一宇宙技術部門において、地球観測衛星にかかる将来ミッション立上げに向けた検討を行うとともに、現在は、産学官による衛星戦略を検討する衛星地球観測コンソーシアム（CONSEO）の事務局をとりまとめる。



早坂忠裕（ハヤサカ タダヒロ）

1988年東北大学大学院修了、理学博士。総合地球環境学研究所教授を経て2008年より東北大学大学院理学研究科教授。2020年よりJAXA EORC参与を兼務。2024年9月よりCONSEO副会長。衛星地球観測と気候変動に関する研究に従事。

青出木悠人（オオテキ ユウト）

所属：国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構