

2019 年度
将来の静止衛星観測に関する検討会
(Mission Investigation Team : MInT)
活動報告書

2020 年 6 月

将来の静止衛星観測に関する検討会
(Mission Investigation Team : MInT)
「今後の宇宙開発体制のあり方に関するタスクフォース会合 (TF)」
リモートセンシング分科会 地球科学研究高度化ワーキンググループ

1 はじめに

宇宙基本法成立を受けた日本の宇宙政策の転換に伴い気候変動をはじめとする地球観測において有意義となる宇宙からの長期継続観測や地球観測衛星に係る技術開発の維持が困難な状況を迎えている。これを受けて「今後の宇宙開発体制のあり方に関するタスクフォースリモートセンシング部会（以後、TFと記述する）」が2012年に設立された。その後においても日本の宇宙からの地球観測を取り巻く状況は改善されず、2017年7月14日に日本学術会議から提言「我が国の地球衛星観測のあり方について」が取りまとめられた。この中でボトムアップからの衛星地球観測計画立案の重要性が取り上げられた。

この提言を受けて2018年からTFによって地球観測グランドデザイン試行公募が開始され、静止軌道を利用した多くの提案がなされた。その議論の過程で広域を常時観測できる静止軌道観測に対する期待が高く、今後の我が国の衛星地球観測の一つの大きな柱に静止軌道観測があることが明らかになった。

一方、現在気象庁が運用している静止気象衛星ひまわり8、9号は、世界最高性能のイメージャを搭載し、その観測データを利用したことによる気象情報の高精度化を通して、ほぼ全ての国民がその恩恵を受けている。また、それ以前の気象衛星と異なり、NICTやDIASのアーカイブ、千葉大、JAXAのひまわりモニタなどを通じて気象分野以外の研究者がそのデータを広く利用するようになり、我が国の衛星地球観測の一つの大きな柱に静止軌道観測があることを裏付ける状況となっている。加えて、温室効果ガスや大気汚染物質の常時監視のため、低軌道衛星の高精度観測を補完する静止軌道からの観測が必要との検討も出てきている。

上記のような状況に鑑み、ひまわり8、9号の後継機の議論が始まる時期に差し掛かった今、前述の様なTFグランドデザイン策定プロセスの中で静止軌道を利用した観測の議論をした人たちを中心に、ボランティアベースで次期ひまわりを含めた将来の静止軌道衛星に望まれることに関する議論を2019年度から始めることにした。

具体的には、静止軌道からの地球観測の将来像について学術的な観点から考察するにあたり、次期ひまわりを一つの題材として、以下の三期による段階的な検討を行っている。

- | | |
|---------------|--|
| 第1期（2019年度） | 次期ひまわりの搭載センサーの技術的な可能性についての議論 |
| 第2期（2020年度） | 次期ひまわりとその他の衛星地球観測の複合的な利用を踏まえたトータルシステムとしての地球観測についての議論 |
| 第3期（2021年度以降） | さらなる将来の静止軌道からの地球観測のあり方に関する長期的な視野に立った議論 |

このように、次期ひまわりを一つの題材としつつ、静止軌道からの我が国の衛星地球観測の将来展望についての学術的な議論が中心になるため、この会合の名称を Mission Investigation Team (MInT) とし、次期ひまわりへの搭載の可能性が検討されるセンサー別の分科会と、それらの利用を含んだ全体の議論をする全体会合の構成で進めることにし、第1期2019年度は Appendix に示す表 A-1 のように開催した。議論に参加した主なメンバーは表 A-2 に記載した。

なお、この MInT の構成員は個人の資格で参加し、所属団体の代表ではない。

また、検討にあたっての技術的助言を JAXA 有識者 (A-2 参照) にももらった。

2 議論の出発点

MInT による議論の基礎資料として出発点になるのは、気象庁の静止衛星データ利用技術懇談会で平成31年3月に故下田陽久先生を中心に取りまとめられた「今後の気象衛星の搭載センサーに関する考察」であり、気象庁によって公開されている。

(https://www.jma-net.go.jp/sat/himawari/kondan/sankou1_1.pdf)

この考察の中で、世界気象機関 (WMO) が 2040 年頃の世界の静止気象衛星に搭載されることが望ましいとしている可視赤外イメージャ、赤外サウンダに期待される観測要素、雷センサー搭載の可能性、さらには WMO の推奨には無いものの将来に向けてマイクロ波サウンダの可能性などが技術的に議論されている。そして、今後とも最新の科学技術の動向に照らして考察をアップデートするとともに、静止衛星と周回衛星を組み合わせたデータ利活用の観点から次期ひまわりのみならずさらに将来の衛星地球観測を見越した長期的な展望を考えていく必要性が言及されている。

本 MInT の活動は、故下田陽久先生が残された最後のお仕事を引き継ぐ形で、さらに最新の科学的知見のもと、学術的に検討を深めていくものである。

3 各分科会の検討状況の取りまとめ

3-1 イメージャ

現行のひまわりになり、世界最先端のイメージャが運用中で、その利用も従来の気象衛星から大きく変化し、次期ひまわりに搭載されるイメージャに多くの期待が寄せられている。本分科会では次期イメージャについて以下の3つについて技術的に議論した。しかし、気象庁によって最終的に仕様が決まるまでは、引き続き学術的観点から議論することが重要であり、本分科会が中心となって日本気象学会「地球観測衛星研究連絡会」(当初2020年5月19日を予定していたが新型コロナウイルス対策につき延期) や日本気象学会2020年度秋季大会(10月28日~30日, 京都) 専門分科会「静止軌道からの地球環境観

測」を提案した。また、MIInTにおいても、引き続き議論を進めていく予定である。

1) 観測波長

現行のひまわり 8・9号のイメージャは 16 バンドあるが、次期ひまわりを含めた将来の静止軌道からの地球観測において、仮に新たにバンドを追加する場合について議論した結果、その候補として中心波長 380nm、1.38 μ m バンドがあった。以下に簡単なまとめを記載する。

380nm はエアロゾル・黄砂・火山灰の観測精度の向上に役立つことが考えられる。

1.38 μ m は巻雲などの薄い雲の検知、雲マスクの検出精度の向上が期待され、これにより天気判別精度向上に役立つことが考えられる。

一方、これらのバンドを追加するための開発面の問題について技術的に考察を加えた結果は、以下のとおり。

380nm については GOSAT2 搭載 CAI-2 (高度 600km, 地上解像度 0.46km, 有効開口径 0.6cm, SNR=200) の技術をベースとすると、高度 36000km, 地上解像度 1km では有効開口径は 20cm あれば SNR \approx 250 程度となり CAI-2 相当が実現できる。また、目標精度が得られない場合、長波長側 (410nm) へのシフトも想定できる。これは、380nm や 410nm も SGLI や VIIRS に搭載され、単体での要素技術的には開発可能である。しかし、ひまわりの可視・赤外の検出器にこうした近紫外域の検出器を追加することは、今回の検討では 380nm のイメージャへの搭載は機構の追加等が必要となり技術的には難しいと考えられる。

1.38 μ m の追加については機構的にみて技術的問題点は比較的少ないと考えられるが、バンド数増加を最小限に抑える観点も加味した上で解像度も含め、このバンドを追加する意義を慎重に考える必要がある。

できれば両方のバンドの追加が望ましいものの、技術的な妥当性やその導入の効果について今後のより深い検討が必要である。

2) 静止軌道衛星と周回軌道衛星の連携(GEO/LEO 連携) (相互利用・校正)

今日、地球観測衛星は静止気象衛星や周回軌道衛星が単独で利用されることはなく、複数の衛星を複合的に利用することが当たり前になっている。

例えば、気候研究に利用される ISCCP や降水データ GSMaP など、静止軌道衛星と周回軌道衛星が複合利用されている。また、GCOM-C/SGLI のアルゴリズムをひまわりデータに適用した試みが JAXA のひまわりモニタなどで実現されている。

ひまわりの地上解像度に対応した地上検証サイトがほとんどない状況で、次期ひまわりにおいては例えば砂漠地帯のような広域の地上検証サイトの導入について今後検討していく価値があると思われる。また、上述の GCOM-C/SGLI はもとより、WMO の GSICS (全球衛星搭載センサー相互校正システム) や

SCOPE-CM といった枠組みにおいて、気象庁が過去のひまわりデータを含めた再校正・相互校正を実施しているように、周回衛星が持つ全球の均一な高解像度データをひまわりの校正に今後とも積極的に役立てることは重要である。

静止軌道衛星に搭載するセンサーは、周回軌道衛星との親和性・相補性を考慮することが求められる。例えば、親和性の観点から、ひまわりの緑バンドの中心波長を GCOM-C/SGLI と同じく 550nm あたりに合わせることは考慮すべきである。なお、このことは減衰ピークを避ける意味でも効果的と思われ、また、RGB 波長バランス的には 470nm と 550nm の組み合わせが妥当との見方もある。

GEO/LEO 連携は、今後ますます必須の検討項目であり、さらなる有用かつ有効性のために引き続き議論が必要である。

3) 観測頻度/範囲について

現行のひまわり 8、9 号のデータ利用を通して、観測頻度/範囲については現行でも学術的なユーザーは概ね満足していると考えられるが、より学際的な他分野の利用も踏まえて引き続き検討の余地があると思われる。

3-2 赤外サウンダ

最近の台風や線状降水帯による豪雨災害の発生状況を見ると、水蒸気をはじめとした大気の大気構造の把握とそれに基づいた予測の向上が喫緊の課題であり、静止軌道からの赤外サウンダによる観測はその効果が大きいと期待される。加えて、温室効果ガスの地球規模での観測網の観点からも現行の周回衛星のみならず将来的には静止軌道からの監視が有効と考えられる。本分科会では将来的な一つの展望として静止軌道における赤外サウンダと温室効果ガスセンサーを共通化できないか検討した。

具体的には、技術的な実現可能性を探る観点からは、できるだけ実績ある方式をベースとした議論が有効であり、GOSAT 搭載 TANSO-FTS をベースとしてスケール検討し、波長域・波数分解能・SNR・地表面分解能・観測時間などのパラメータが共通化できるかを調査した。

調査の結果、システムノイズを低減（GOSAT 初号機比で半分以下）する技術開発が必要であることがわかった。システムノイズ半減により、1 領域を 160x160 画素のイメージング観測、1 画素 (IFOV) 12km (1 領域 = 1920km x 1920km) とすると、1 領域あたりに要する時間は約 10 分、1 時間あたり 6 領域（日本周辺～中国東半分の領域に相当）を観測できる見込みである。観測時間、分解能、頻度の面で気象観測との同時観測は難しいと考えられるため、観測精度や運用方法については更なる議論が必要である。

今後は、より長期的な視野も含め、わが国の静止軌道からの地球観測センサーの開発の道筋を抜本的に探っていく一つとして、赤外サウンダの気象観測と温室効果ガスなどの他の目的を共通化できるセンサーの開発可能性の有無を継続して議論・検討を行うことが肝要である。

3-3 雷センサー

地上設置型の観測網が、電波を複数の検知局で受信することで雷を観測するのに対し、静止衛星搭載雷センサーは地上の雷放電観測網では捉えることが困難な雲内および対地放電を連続的に捉えることができるセンサーであり、対地雷に感度が高い地上の雷放電観測と組み合わせることで下層から上層までで起こる雷放電現象を網羅的に観測することが可能になることを本分科会において確認した。また、雷センサーデータが将来の気象業務に対して具体的にどのような役立つ可能性があるかについて検討した。

（特に雲上部で発生する雷放電に関して）雷放電の頻度と台風の強度変化・ダウンバーストの発生・竜巻発生との関連についての知見が得られており、台風などの極端現象を予報するための指標として利用できると期待される（欧州や米国を中心に研究実績があり）。

また、地上の雷観測網では推定精度が必ずしも高くない洋上の対流活動の指標として用いることができ、特にレーダ観測がない洋上などの領域で数値予報モデルの改良に貢献することが期待される（欧州や米国でデータ同化の研究実績あり）。

既に静止衛星搭載の雷センサーを運用している米国では、同センサーのデータ利用は調査・実験段階であり、その効果を現時点で結論することは困難であるものの、引き続き米国を含め諸外国の動向に留意しつつ、我が国の検討を進める必要がある。

雷センサーのハードウェアは将来は革新的に小型軽量化が可能ではないかとの情報もあるが、今後、その利用方法とともに性能や効果の有無について引き続き調査が必要である。

3-4 マイクロ波センサー

マイクロ波センサーは周回衛星の技術をもとに小型化が進み、複数機の小型衛星によるコンステレーションでの運用で観測頻度を上げる試みが海外で進みつつある。しかし、小型衛星は寿命が短いことに加えて多くの機数のデータを扱うので、データ利用のためには品質の問題とりわけ相互校正などが問題であり、さらに、長期継続的に運用されていくかは今後の状況次第である。また、複数の小型衛星によるレーダ観測等についても同様の課題があると思われる、継続的な観測が実現できるかは不透明である。

一方、静止軌道からのマイクロ波観測を実現するには極めて大型のアンテナが必要になり少なくとも20～30年の開発期間が必要と考えられる。遠い将来のチャレンジングな開発としては引き続き検討が必要であるが、この分野の技術の進展状況を鑑みて、1年に1回程度の調査・議論のアップデートが妥当であると考えられる。

4 まとめ

以上の各分科会からの検討状況の報告をまとめれば、将来の静止軌道からの観測センサーとして搭載の可能性が高く利活用が期待できるのは、イメージャ、赤外サウンダ、雷センサーの3種類であり、一方、マイクロ波センサについては目下のところ小型衛星への搭載が注目されているものの、静止衛星への搭載は技術的に困難を伴い少なくとも20～30年は開発期間が必要になると考える。前述の3種センサーを仮に1つの静止衛星に同時搭載するためには、放熱、データ転送（ダウンリンク）などの詳細の技術検討が必要と考えられる。

いずれにしても、各センサーに求められる観測要件については、その技術的な開発可能性の検討のみならず、多様な分野での利活用を探るという意味においてそれぞれのセンサーの効用・期待される効果を整理しておく必要がある。さらに、静止衛星以外の衛星との複合利用による相乗効果によるトータルシステムとしての効用も考慮されるべきである。また、将来的にはマイクロ波センサーなどのチャレンジングな開発についても引き続き検討課題とするべきであるとする。

本会合のような検討結果が将来の衛星計画の参考になることを期待し、来年度以降の検討も引き続き行う予定である。

表 A-1 第 1 期 2019 年度 MInT 会合日程

全体会合

- 第 1 回 2019 年 9 月 12 日
- 第 2 回 2019 年 12 月 2 日
- 第 3 回 2020 年 2 月 6 日
- 第 4 回 2020 年 3 月 30 日

イメージャ分科会

- 第 1 回 2019 年 10 月 17 日
- 第 2 回 2019 年 12 月 17 日
- 第 3 回 2020 年 2 月 14 日

赤外サウンド分科会

- 第 1 回 2019 年 10 月 17 日
- 第 2 回 2019 年 12 月 23 日
- 第 3 回 2020 年 1 月 14 日
- 第 4 回 2020 年 3 月 9 日 (メール会議)

雷センサー分科会

- 第 1 回 2019 年 10 月 16 日
- 第 2 回 2019 年 12 月 23 日
- 第 3 回 2020 年 2 月 28 日

マイクロ波分科会

- 第 1 回 2019 年 10 月 16 日
- 第 2 回 2019 年 12 月 26 日

表 A-2 主な MinT 参加メンバー

氏名	所属	全体会	分科会			
			イメージ ャ	赤外サウ ンダ	雷センサ ー	マイクロ 波
江淵 直人	北海道大					○
佐藤 陽祐	北海道大				○	
今須 良一	東大	○		★		
佐藤 正樹	東大	○				
高薮 縁	東大	○				
本多 嘉明	千葉大	★	○	○	○	○
樋口 篤志	千葉大	○	★			
牛尾 知雄	阪大	○			★	
石坂 丞二	名古屋大		○			
高橋 暢宏	名古屋大	○				★
中島 孝	東海大	○	○			
弓本 桂也	九州大		○	○		
本田 匠	理研				○	
沖 理子	JAXA	○				

★：分科会長

表 A-3 JAXA 有識者

中島 正勝	JAXA
木村 俊義	JAXA
佐藤 世智	JAXA
橋本 真喜子	JAXA
三橋 怜	JAXA
山本 晃輔	JAXA
金子 有紀	JAXA
太田 和敬	JAXA
棚田 和玖	JAXA