

見解

我が国の地球衛星観測に関する統合的戦略立案
について



令和5年（2023年）9月26日

日本学術会議

地球惑星科学委員会

地球・惑星圏分科会

この見解は、日本学術会議地球惑星科学委員会地球・惑星圏分科会地球観測衛星将来構
想小委員会での審議結果を踏まえ、地球惑星科学委員会地球・惑星圏分科会において取り
まとめ公表するものである。

日本学術会議地球惑星科学委員会地球・惑星圏分科会

委員長	中村 卓司	(第三部会員)	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立 極地研究所長・教授
副委員長	堀 利栄	(第三部会員)	愛媛大学副学長・大学院理工学研究科教授
幹 事	福田 洋一	(連携会員)	京都大学名誉教授
幹 事	原田 尚美	(連携会員)	東京大学大気海洋研究所教授
	川村 光	(第三部会員)	神戸大学客員教授
	小池 俊雄	(第三部会員)	東京大学名誉教授、国立研究開発法人土木研究所水 災害・リスクマネジメント国際センター (ICHARM) センター長、政策研究大学院大学連携教授
	田近 英一	(第三部会員)	東京大学大学院理学系研究科教授
	西 弘嗣	(第三部会員)	福井県立大学恐竜学研究所所長
	東 久美子	(連携会員)	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立 極地研究所教授
	阿部 彩子	(連携会員)	東京大学大気海洋研究所教授
	石渡 明	(連携会員)	原子力規制委員会委員
	植松 光夫	(連携会員)	東京大学名誉教授、埼玉県環境科学国際センター総 長
	大久保修平	(連携会員)	東京大学名誉教授、西南交通大学地球科学環境工程 学院教授
	大谷 栄治	(連携会員)	東北大学名誉教授・学術研究員
	奥村 晃史	(連携会員)	広島大学名誉教授
	掛川 武	(連携会員)	東北大学大学院理学研究科教授
	川幡 穂高	(連携会員)	東京大学名誉教授、早稲田大学理工学術院大学院創 造理工学研究科客員教授
	木村 学	(連携会員)	東京大学名誉教授、国立研究開発法人海洋研究開発 機構海域地震火山部門アドバイザー
	久家 慶子	(連携会員)	京都大学大学院理学研究科教授
	佐々木 晶	(連携会員)	大阪大学大学院理学研究科教授
	佐藤 薫	(連携会員)	東京大学大学院理学系研究科教授
	新永 浩子	(連携会員)	鹿児島大学学術研究院理工学域理学系物理・宇宙専 攻宇宙情報講座准教授
	関 華奈子	(連携会員)	東京大学大学院理学系研究科教授
	高薮 縁	(連携会員)	東京大学大気海洋研究所教授

谷口 真人	(連携会員)	大学共同利用機関法人人間文化研究機構総合地球環境学研究所副所長・教授
津田 敏隆	(連携会員)	京都大学名誉教授
中島 映至	(連携会員)	東京大学名誉教授
中村 尚	(連携会員)	東京大学先端科学技術研究センター教授
中村 正人	(連携会員)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所名誉教授
新野 宏	(連携会員)	東京大学名誉教授
長谷部徳子	(連携会員)	金沢大学環日本海域環境研究センター教授
花輪 公雄	(連携会員)	東北大学名誉教授、山形大学理事・副学長
林 正彦	(連携会員)	独立行政法人日本学術振興会ボン研究連絡センター長
日比谷紀之	(連携会員)	東京大学名誉教授、東京海洋大学客員教授、国立研究開発法人海洋研究開発機構招聘上席研究員
藤井 良一	(連携会員)	名古屋大学名誉教授、大学共同利用機関法人情報・システム研究機構名誉教授、国立極地研究所特任教授
古屋 正人	(連携会員)	北海道大学大学院理学研究院教授
益田 晴恵	(連携会員)	大阪市立大学名誉教授、大阪公立大学都市科学・防災科学センター特任教授
八木谷 聡	(連携会員)	金沢大学理工研究域電子情報通信学系教授
藪田ひかる	(連携会員)	広島大学大学院先進理工系科学研究科教授
山岡 耕春	(連携会員)	名古屋大学環境学研究科教授
山形 俊男	(連携会員)	東京大学名誉教授、国立研究開発法人海洋研究開発機構アプリケーションラボ特任上席研究員
山岸 明彦	(連携会員)	東京薬科大学生命科学部名誉教授
渡邊誠一郎	(連携会員)	名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻教授

日本学術会議地球惑星科学委員会地球・惑星圏分科会地球観測衛星将来構想小委員会

委員長	高薨 縁	(連携会員)	東京大学大気海洋研究所教授
副委員長	江淵 直人		北海道大学低温科学研究所教授
副委員長	早坂 忠裕		東北大学大学院理学研究科教授
幹事	岩崎 晃		東京大学大学院工学系研究科教授
幹事	金谷 有剛		国立研究開発法人海洋研究開発機構上席研究員
幹事	高橋 暢宏		名古屋大学宇宙地球環境研究所教授
	沖 大幹	(第三部会員)	東京大学大学院工学系研究科教授

佐藤 薫	(連携会員)	東京大学大学院理学系研究科教授
中島 映至	(連携会員)	東京大学名誉教授
中村 尚	(連携会員)	東京大学先端科学技術研究センター教授
福田 洋一	(連携会員)	京都大学名誉教授
藤井 良一	(連携会員)	名古屋大学名誉教授、大学共同利用機関法人情報・システム研究機構名誉教授、国立極地研究所特任教授
古屋 正人	(連携会員)	北海道大学大学院理学研究院教授
村山 泰啓	(連携会員)	国立研究開発法人情報通信研究機構 NICT ナレッジハブ研究統括・ナレッジハブ長(兼)
今村 剛		東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
榎本 浩之		大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立極地研究所北極観測センター特任教授
岡本 幸三		気象庁気象研究所気象観測研究部室長
岡本 創		九州大学応用力学研究所所長・主幹教授
沖 理子		国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構第一宇宙技術部門 地球観測研究センター(EORC)センター長
笠井 康子		東京工業大学環境社会理工学院教授、国立研究開発法人情報通信研究機構研究統括
小池 真		東京大学大学院理学系研究科准教授
佐藤 正樹		東京大学大気海洋研究所教授
重 尚一		京都大学大学院理学研究科准教授
祖父江真一		国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構地球観測統括付技術領域上席
中島 孝		東海大学情報理工学部教授
中島 英彰		国立研究開発法人国立環境研究所地球システム領域主席研究員
林田佐智子		奈良女子大学名誉教授、総合地球環境学研究所客員教授、国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)上席客員研究員
樋口 篤志		千葉大学環境リモートセンシング研究センター准教授
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
松本 淳		東京都立大学名誉教授
横田 達也		国立研究開発法人国立環境研究所フェロー・客員研究員

本見解の作成にあたり、以下の職員が事務を担当した。

事務	松室 寛治	参事官（審議第二担当）（令和4年7月まで）
	佐々木 亨	参事官（審議第二担当）（令和4年8月から）
	高橋 直也	参事官（審議第二担当）付参事官補佐（令和5年3月まで）
	柳原 情子	参事官（審議第二担当）付参事官補佐（令和5年4月から）
	大澤 祐騎	参事官（審議第二担当）付審議専門職付（令和4年3月まで）
	稲元 祥吾	参事官（審議第二担当）付審議専門職付（令和5年1月まで）
	近藤 慈恩	参事官（審議第二担当）付審議専門職付（令和5年2月から）

要 旨

1 作成の背景

日本学術会議は、2020年7月14日に提言「持続的な人間社会の基盤としての我が国の地球衛星観測のあり方」[1]を発出した。この提言は、気候変動に伴う自然災害によって人間社会が受ける人的・経済的損失の甚大さに立ち向かうことを「広義の国家安全保障」と捉え、持続的な人間社会の基盤としての地球衛星観測計画の強化、地球衛星観測に関する戦略的計画推進の仕組みの明示、観測データアーカイブ体制の構築と利活用の促進、人材育成の体制強化と地球観測リテラシー向上への対策を求めた。

提言発出後も、世界では記録的な大洪水や干ばつ等の極端現象の被害が後を絶たず、2021年8月に発行された「気候変動に関する政府間パネル第6次評価報告書」(IPCC AR6) [2]は、人間活動に起因する気候危機に警鐘を鳴らした。さらに、近年の新型コロナウイルスの拡大やロシアによるウクライナ侵攻の長期化は、地球環境問題を複雑化した。

一方、地球衛星観測によって収集される大量データは、現代デジタル社会においては、科学的価値に加え経済的にも価値の高い資産である。近年、地球システムの科学的理解が深まり、衛星観測データは社会的・経済的な意思決定にも利用されるようになった。政府も、社会課題解決と経済成長実現のための取組としてデジタルトランスフォーメーション(DX)や脱炭素化社会を目指すグリーントランスフォーメーション(GX)に注目し、それらを加速し研究データ利活用の最大化を目指すオープンサイエンス^(*)の推進を重要視している。この背景の下、日本学術会議は、2022年12月に回答「研究DXの推進—特にオープンサイエンス、データ利活用推進の観点から—に関する審議について」[3]をまとめた。

複雑化した地球環境問題に対する国際協力に我が国も貢献すると同時に、急速に進展するDX、GXを背景に衛星観測の多角的活用を推進するため、第25期地球惑星科学委員会地球・惑星圏分科会では「地球観測衛星将来構想小委員会」を設置し、産学官が連携した地球衛星観測の統合的戦略立案と人材育成の必要性について議論し、本見解を取りまとめた。

2 現状及び問題点

現在の日本の地球観測政策において、学術的にも社会インフラとしても地球衛星観測の重要性は認識されているが、長期的展望に基づき、複雑化した地球環境問題に立ち向かう国の戦略に衛星観測を位置付ける「衛星観測のプログラム化^(*)」と人材育成の実施は不十分である。国際貢献、学問の進展、社会活用、産業活用の様々な視点から、オープンサイエンス推進、アーカイブ・利活用システム構築、人材育成を含む統合的戦略が必要である。

3 見解

(1) 気候変動対策の科学的基盤と国際協力の要としての地球衛星観測の必要性

気候危機、新型コロナウイルスの拡大、紛争の長期化等が複雑に絡み合う地球環境問題に適切に対応するため、人類は常に最先端の科学的知見を探索し、エビデンスに基づいた行動をとる必要がある。気候システムの理解とモニタリングの基礎となる必須気候変数(ECV)^(*)の80%は衛星によって観測される(参考資料2)。気候変動対策の緩和策と適応策の双方に、地球衛星観測は必須の技術である。一方、災害対策や道路・橋梁等インフラの老朽化対策においても、衛星観測が必須の技術である。適応策と防災・減災対

策を包括的に講じることで、災害の被害を最小限に抑えつつ回復力のある社会を構築できる。

地球観測には国際協力が不可欠である。国と学术界は、自国が優位性を持つ観測に加え、政策や科学技術上の観点から自国が観測すべき項目も議論し国際貢献すべきである。

(2) 我が国の地球衛星観測の統合的戦略立案の必要性

政策決定者は、気候変動対策が重要な「社会経済安全保障^(*)」であり、継続的で高精度な地球衛星観測は地球環境保全システムにおいて不可欠なインフラであることについて、社会の理解と支持を得るための施策をとり、観測技術・利用技術の継続的な進歩を推進すべきである。一方、社会の IT 化とともに、地球衛星観測ビッグデータの民間企業による利用も進んでいる。国と学术界は、日本学術会議、地球衛星観測タスクフォース (TF)、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の将来ミッション検討委員会、衛星地球観測コンソーシアム (CONSEO) 等の活動を有効に連携し、内閣府宇宙政策委員会等の政府機関と学术界を中心とする研究開発活動に加え、産業界の活動も踏まえた総合的な推進戦略を立てる必要がある。すなわち、社会でのデータ活用も考慮し、DX、GX の視点を含めた長期的戦略に地球衛星観測を位置付けるプログラム化の議論が必要である (参考資料 3)。宇宙基本計画工程表において示される地球衛星観測と関連課題の全体を関係者全員が見渡せるよう、観測から利用までをラウンドテーブルに載せた戦略の議論を推進すべきである。

(3) オープンサイエンスの推進

科学は現代社会を支える基盤である。公的資金により得られる科学データは、「オープンサイエンス」を通して社会の共有資産として活用されるべきである。地球観測データは、学術データであるとともに、長期の将来にわたる人間社会の重要な資産であり、失ったら二度と再現できない。特に、グローバル観測の特性を持つ地球衛星観測は、オープンサイエンス化によって国際連携による価値の高いデータセットを作成できる。国は、デジタルプラットフォーム^(*)、オープンサイエンスに伴う社会と科学の関係の変容を考慮し、地球衛星観測データは社会の財産であるという認識の下、長期継続性と信頼性が担保された安定したデータアーカイブ体制構築のために投資することが必要である。

(4) 統合的戦略の実現のための様々な視点での人材育成の推進

国は、将来に見込まれる地球衛星観測を活用した社会構築のため、計画的な人材育成に注力すべきである。まず、衛星センサ調達の海外依存は国内技術者育成の停滞に繋がることに留意し、対策すべきである。また、ハードウェア開発、物理量推定手法開発に加え、学際連携、データサイエンス、社会活用コンテンツ開発、小型衛星技術、産業界や一般社会との協創を支える人材、国際的リーダーシップを発揮できる人材を戦略的に育成する必要がある。さらに、ダイバーシティを意識した育成計画が必要である。

将来を担う若い世代を育てるにあたり、例えば、若年層の地学離れ等の深刻な問題に留意し、地球環境や自然災害、人為災害の問題にチャレンジできる人材を育てる観点からの地学・地理教育に対する大規模な組織的取組が必要である。また、大学院博士課程

進学者の増加に向けて、博士号取得者のキャリアパスが見通せるような大学や研究所等でのテニユア枠や行政キャリアでのポストの増設、民間を含めたオールジャパンでの博士人材の活用等、様々な手段による具体的な対策を喫緊に講じるべきである。

目 次

1	はじめに.....	1
2	2020 年提言のフォローアップ	2
	(1) 2020 年提言内容の抜粋	2
	(2) 2020 年提言のインパクト	2
	(3) 今後早急に対応すべき課題.....	3
3	地球衛星観測の優位性と課題.....	4
	(1) 科学的発見の可能性の拡大と波及効果.....	4
	(2) 持続可能な社会構築のために果たす役割.....	6
4	地球衛星観測システムの構築における世界の取組.....	7
	(1) 米国の状況.....	7
	(2) 欧州の状況.....	8
	(3) アジアの地球衛星観測.....	8
	(4) 国際連携協力の現状について.....	9
5	世界の地球衛星観測プログラム構築における日本の役割と取組.....	9
	(1) 我が国として観測すべきデータ.....	9
	(2) 日本の高い技術力の維持・向上の必要性和新技術開発.....	10
	(3) 小型衛星と民間技術の活用.....	12
	(4) データ活用の広がり.....	13
6	効果的な地球衛星観測体制（プログラム化）についての継続的な議論の場の確立.....	13
	(1) 多様な分野の連携による付加価値の創造.....	13
	(2) 産学官による連携推進と日本としての長期戦略の議論の場の確立.....	14
7	社会基盤としてのデータ保存と利用促進.....	16
	(1) データアーカイブ、利用技術.....	16
	(2) データポリシー、データリポジトリ.....	17
8	統合的戦略の実現のための様々な視点での人材育成の推進.....	18
9	見解.....	20
	(1) 気候変動対策の科学的基盤と国際協力の要としての地球衛星観測の必要性.....	20
	(2) 我が国の地球衛星観測の統合的戦略立案の必要性.....	20
	(3) オープンサイエンスの推進.....	20
	(4) 統合的戦略の実現のための様々な視点での人材育成の推進.....	21
	<用語の説明>.....	22
	<参考文献>.....	26
	<略語>.....	30
	<参考資料 1> 審議経過.....	33
	<参考資料 2> 必須気候変数のリストと地球衛星観測可能な変数.....	34
	<参考資料 3> 我が国の地球衛星観測に関する組織図と統合的長期戦略構築の在り方.....	35
	<参考資料 4> 宇宙基本計画工程表（部分）2023 年 6 月改訂	35

＜参考資料 5＞TF2021 年試行公募に対する応募研究テーマの分布	39
--	----

1 はじめに

日本学術会議は、2017年に発出された提言「我が国の地球衛星観測のあり方について」[4]のフォローアップとして、2020年7月14日に提言「持続的な人間社会の基盤としての我が国の地球衛星観測のあり方」を発出した。ここでは、気候変動に伴う自然災害によって人間社会が受ける人的・経済的損失の甚大さに立ち向かうことを、重要な「広義の国家安全保障」と捉え、迅速かつ適切な適応策を打つべきであり、持続的な人間社会の基盤としての地球衛星観測計画を強化すべきであるとした。また、地球衛星観測に関する情報交換体制をさらに強化・拡充し、地球衛星観測の戦略的計画推進の仕組みを明示すべきであるとした。同時に、観測データアーカイブ体制の構築と利活用を促進する「地球観測データリポジトリ」の確立及び人材育成の体制強化と地球観測リテラシー（知識・知恵及びその活用能力）向上の対策の必要性を強調した。

提言発出後も、ドイツ、長江、オーストラリアの大洪水や、欧州、中国、北米、オーストラリア等の干ばつ等の極端現象による甚大な被害が世界中で後を絶たない。2021年8月に発行された気候変動に関する政府間パネルの第6次評価報告書（IPCC AR6）は、「人間の影響が大气、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く、人為起源の気候変動は、世界中のすべての地域で、多くの気象及び気候の極端現象に既に影響を及ぼしている」と断定し、「向こう数十年の間に二酸化炭素、そのほかの温室効果ガスの排出が大幅に減少しない限り、21世紀中に地球温暖化は1.5℃及び2℃を超え、気候システムの多くの変化は、地球温暖化の進行に直接関係して拡大する」と気候危機に警鐘を鳴らしている。

世界経済フォーラムのグローバルリスク報告書2022年度版[5]は、今後10年間で最も深刻な世界規模のリスクについて、「気候変動への適応（あるいは対策）の失敗」、「異常気象」、「生物多様性の喪失」を筆頭3要素として挙げている。近年、COVID-19の感染拡大、ロシアによるウクライナ侵攻の長期化は、地球環境問題をさらに複雑化した。

地球規模問題への正しい対策は、SDGs2030[6]の目標達成など、人間社会の持続可能性のための喫緊の課題であり、時間はほとんど残されていない。地球環境の劣化をモニタリングし環境保全対策を講じる「地球環境保全システム」を機能させるため、地球環境をグローバルに全体把握する地球衛星観測は重要な役割を果たす。すなわち、地球衛星観測は、気候や生物多様性の危機、地球規模感染症拡大、国際紛争の影響などへの対策の基礎となる地球規模モニタリングのために必須のインフラである。そして、人間社会全体が緊密な国際協力の下で効率的に取り組むためには、衛星観測における国際協力と国際分担を議論し、日本が十分な貢献を果たしていくことが重要である。

一方、地球衛星観測によって収集される大量のデータは、現代のデジタル社会における産業の新たな発展のために幅広く活用できる資産である。また、近年、地球システムへの理解が深まり、衛星観測データは社会的・経済的な意思決定に利用されるようになった。小型衛星観測技術の進歩やデータ利活用に関する民間企業の積極的な参入の加速も目覚ましい。今後は、産学官が連携した効果的な地球衛星観測の利活用体制の構築が急がれる。

2020年の提言において「地球衛星観測の戦略的計画推進の仕組みを明示すべき」と謳わ

れ、現在、様々な場において産学官連携の地球衛星観測プログラム化の議論が始まっている。一方、社会が直面する課題に挑戦するため、科学研究におけるRRI（Responsible Research and Innovation：責任ある研究・イノベーション）の重要性への認識が高まっている。これらの機運を推進加速し、より広い分野を含む地球衛星観測データ利活用の国家戦略を構築する体制作りの議論を発展させる必要がある。

また、地球衛星観測の効果的な活用のため、データサイエンス等を含む幅広い人材育成を急がなければならないという認識が高まっている。国際貢献、学問の進展、社会活用、産業活用の様々な視点から、オープンデータのアーカイブ・利活用システムの構築まで含めた人材育成戦略が必要である。

2 2020年提言のフォローアップ

(1) 2020年提言内容の抜粋

2020年に発表した提言では、以下の4点について具体的な提言を行っている。

- ① 持続的な人間社会の基盤としての地球衛星観測計画の強化の必要性：気候変動に伴う自然災害により人間社会が受ける人的・経済的損失の甚大さに立ち向かうことを重要な「広義の国家安全保障」と捉え、迅速かつ適切な適応策を打つべきである。そのために、持続的な人間社会の基盤としての地球衛星観測計画を強化し、温暖化物質の全球的監視のみならず、気候変動と自然災害との関連と仕組みを定量的に理解し対策を講ずるべきである。
- ② 地球衛星観測の戦略的計画推進の仕組み：地球衛星観測に関する情報交換体制をさらに強化・拡充してボトムアップとトップダウンの仕組みの連携を図り、地球衛星観測の戦略的計画推進の仕組みを明示すべきである。
- ③ 観測データアーカイブ体制の構築と利活用の促進：政策決定者は、FAIR¹のコンセプトを導入し、観測データアーカイブ体制の構築と利活用を促進する「地球観測データリポジトリ」を確立すべきである。
- ④ 人材育成の体制強化と地球観測リテラシー（知識・知恵及びその活用能力）の向上を図るべきである。

(2) 2020年提言のインパクト

2020年7月14日に提言を発出した後、内閣府宇宙政策委員会及び文部科学省との会合において、現在の地球衛星観測計画における問題点及び提言の内容を議論した。その結果、提言1に関して、「災害対策・国土強靱化や地球規模課題の解決への貢献」をするための地球観測衛星の役割が宇宙基本計画工程表に位置付けられた。また、提言2に関して、内閣府宇宙政策委員会基本政策部会の下に衛星開発・実証小委員会が設置され、地球衛星観測を議論する場がより明確になった。これらは大きな成果であった。さらに、提言1に関して、プログラム化された持続的衛星計画を持つことが重要であるという認

¹ FAIR：F(Findable、発見可能)、A(Accessible、アクセス可能)、I(Interoperable、相互利用可能)、R(Reusable、再利用可能)について国際的に議論されているデータ原則

識の拡大に大きく貢献し、JAXA及び気象庁、環境省、国土交通省を包括した地球衛星観測プログラム化の議論が本格化した。2022年には、JAXAを事務局とした地球衛星観測コンソーシアム（CONSEO）が発足し、産学官での本格的な議論が開始した。

一方、コロナ禍の影響で行政及び一般市民向けの対面のシンポジウムを開催できず、提言についての議論と広い理解を求める活動が困難であった。今後、シンポジウムの開催が望まれる。地球衛星観測の幅広いユーザーによる会議（TF分科会）では「地球観測グランドデザイン」に関するワークショップを開催した。今後このような機会を活用し、ユーザーコミュニティにおいても提言に関する議論を深めていくことが急務である。

提言3については、現在様々な機関において、地球観測衛星データのアーカイブと高速ネットワークを通じた利用を促進するプロジェクトが立ち上げられつつあり、今後具体化されていくことが期待できる。提言4の人材育成については、国としての効果のある対策に繋がっていない。実際に効果を得るためには、国策等により、さらなる対策強化が必要であると考えられる。

(3) 今後早急に対応すべき課題

世界が気候危機に直面している現在、21世紀中の地球温暖化を1.5℃に抑え、災害の激甚化を抑制することが急務である。また、生物多様性のモニタリング、頻発する災害の防災対策、道路や橋梁等のインフラの老朽化対策として既に利用されている工学的手法による状態把握を補強するためのモニタリングも必要である。さらに近年、新型コロナウイルスのパンデミック、ロシアによるウクライナ侵攻の長期化などが加わり、地球規模問題は非常に複雑化している。複雑な地球規模環境問題に人類が適切に対応するため、より一層、最新の科学的知見に基づいた具体的な対策に社会一体となって取り組まなければならない。

そのための基礎データとして重要な位置を占めるのが地球衛星観測データであり、学術データであるとともに、失うと二度と再現・測定ができない、人間社会の長期の将来にわたる重要な資産である。国際的な協力の下、より精度の高い地球環境情報を継続的に得るとともに、オープンデータとして共有していくことが重要である。さらに、現在の社会のIT化、DX、GXの推進状況に鑑み、グローバルかつ大量の衛星観測データは、有用なビッグデータとして政策のみならず、産業界においても活用できるものとなっている。

しかしながら、現在の日本の政策においては、地球衛星観測の重要性は認識されつつあるものの、我が国の特性に沿った国家長期戦略に位置付けた衛星観測のプログラムの構築及びそれを支える幅広い人材育成はまだ十分には計画されていない。国際貢献、学問の進展、社会活用、産業活用の様々な視点から、オープンデータのアーカイブ及び利活用システムの構築と人材育成まで含めた統合的な戦略が必要である。

3 地球衛星観測の優位性と課題

(1) 科学的発見の可能性の拡大と波及効果

2021 年 8 月に公表された IPCC AR6[7]では、人間の活動が温暖化の主因であることは「疑う余地がない」と明記され、IPCC AR5 の「可能性が極めて高い (95%以上)」に比べて踏み込んだ表現となった。IPCC AR6 における「satellite」の出現回数は IPCC AR5 に対して 14%増となっており、衛星観測の貢献がより認識されたと言える。今後さらに、衛星観測からの新たな科学的知見が、カーボンニュートラルなどの緩和策や適応策の必要性を喚起すると考えられる。世界気象機関 (WMO) の GCOS 専門家パネルにおいて、重要な気候データとして設定された 55 個の必須気候変数 (ECV) ^(*)10) の 80%は衛星観測によって直接導出することが実証された (参考資料 2)。継続性を重視する気象機関が提供する長期 ECV データと、様々なセンサを開発する宇宙機関が提供する新しい ECV 観測が両輪となって、地上観測ネットワークのデータとともに、地球環境変動のモニタリング、気候変動や地球環境の将来予測のためのモデル開発、地球システムの複雑なプロセス解明に大きく貢献している。実利用と研究にこれらのデータが安定的に収集・利用できるシステムを構築することが必要である。

気候変動予測における最大の不確定性要素は依然として雲である。IPCC AR6 のために集められた世界の気候モデル群 CMIP6 ^(*)22)において、CO₂ 倍增時の全球平均気温上昇 (有効気候感度) は前回の CMIP5 ^(*)21)に比べて増加し、モデル間の差も拡大した。これは、温暖化時の下層雲の雲水量と雲量が多くモデルで「より減った」ためであった[8]。CALIPSO 衛星ライダー ^(*)19)と CERES 雲放射観測装置 ^(*)20)を組み合わせた観測によりモデルの雲効果を検証した結果、下層雲のフィードバック効果が従来の推定値の半分程度で、半数の CMIP6 モデルで過大評価していたことが指摘された[9]。一方、衛星雲量プロダクトの解像度依存性の問題を克服するため、解像度の粗い放射観測装置 (MISR ^(*)32)) の標準プロダクトを 15m の高解像度 ASTER ^(*)18)の同期データと機械学習とを用いて補正した結果、南北 50 度以内の雲量年平均値はこれまでの推定値 0.65~0.59 ^(*)40)から 0.47 へと大きく減少し[10]、議論を呼んでいる。雲量は地球の放射収支に影響し、その正確な評価は極めて重要である。2023 年度打ち上げ予定の EarthCARE 衛星に搭載されるドップラー雲レーダや高スペクトル分解ライダーによる観測開始への期待が高まっている。

気候変動に伴う降水量変化のモニタリングは地球温暖化の適応策に直結するが、高精度で均質な長期観測データによって初めて可能となる。降水レーダ観測で得られる散乱電波強度から降水量を推定するアルゴリズムを工夫すること[11]により、異なる測器による観測 (熱帯降雨観測計画降雨レーダ (TRMM PR) と後継の全球降水観測計画二周波降水レーダ (GPM DPR)) から高精度で均質な長期観測データが提供されるようになった。また、現在世界中で様々な用途で活用されている全球降水マッププロダクト (GSMaP) の長期観測データは、GPM 主衛星データの利用によって精度が向上した[12]。これらのデータにより、日本付近の豪雨の特徴[13][14]や梅雨前線に伴う降水量の長期変動[15][16]が統計的に捉えられるようになった。また、衛星観測と地上観測やモデル予報データを組み合わせた様々な複合プロダクトも作成・提供されている。

地球温暖化の緩和策の精度向上には、温室効果気体（CO₂やメタン等）濃度の観測値から排出フラックスを推定する複雑な関係の理解が必要である。移流拡散などの気象場の変化や、森林や海洋の炭素吸収能力の温暖化に伴う変化、メタンを分解し大気中寿命を規定する OH ラジカル^(*)35)量の化学的な変化などは、問題解決を複雑にする要因だが、衛星からの密な ECV 計測の複合利用により、関係の複雑さを定量化し具体的なプロセスを解明することが可能となる。データ同化^(*)9)は有効な解析手法で、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）拡大下での世界規模のロックダウンによる窒素酸化物（NO_x）減少量と気候システムへの影響も即時的に評価され[17]、将来の排出削減の指針となった。

気候変動の全容解明には、大気、海洋、陸を含む地球システムへのフィードバックを総合的に理解する必要がある。海洋表層循環の最近の研究動向は、メソスケール^(*)13)からサブメソスケール^(*)6)の現象へ進みつつある。水平混合・輸送・拡散に主として寄与する中規模（メソ）渦については、レーダ高度計^(*)15)を中心とする衛星観測、アルゴフロート^(*)1)を中心とする現場観測、渦解像数値モデル^(*)3)の組み合わせで、この 20～30 年で飛躍的に理解が進んだ。一方、サブメソスケールの変動現象は鉛直混合・輸送・拡散に寄与し、物理過程だけでなく物質輸送や生物生産など化学・生物過程にも直接繋がり、観測・モデル両面で国際的にも近年注目を集めている[18]。サブメソスケール現象の衛星観測の重要性は今後さらに増すが、高時空間分解能化など、求められる技術的レベルも向上する。

こうした評価を迅速化するためには、静止衛星からの観測頻度向上が重要である。近年、静止気象衛星「ひまわり 8 号」の利用に進展があった。観測波長の増加によって降水量の推定精度が向上するとともに低軌道衛星では不可能な 10 分間隔での降水量推定が可能となり[19]、高頻度観測によって植物季節の精緻な評価が新たに可能となった[20]。また、韓国の静止軌道衛星に搭載された GEMS^(*)26)からは大気 NO₂の日変化も追跡可能となり、光化学反応やラッシュアワーによる排出量変化も可視化されつつある。

温暖化に敏感な雪氷圏でも、従来からの氷河氷床変動の検出に加え、衛星の高頻度観測を利用した凍土融解過程の検出が新たに進んでいる。ALOS-2^(*)17)と Sentinel-1^(*)38)による高頻度観測から、シベリアにおける森林火災の影響で永久凍土の融解によって 5 年以上にわたり地盤変動が継続していることが発見された[21]。1992 年の JERS-1^(*)30)以来、ALOS、ALOS-2 と日本が先導してきた L バンド SAR^(*)31)衛星は、固体地球科学分野にも大きく貢献している。ALOS 及び ALOS-2 によって、福島県浜通り地域で 2011 年に発生した地震断層が 2016 年にも発生したことが発見された[22]。後継の ALOS-4 の打ち上げが決まっているが、同様の L バンド衛星 NiSAR^(*)33)が 2023 年にアメリカ航空宇宙局（NASA）/ISRO^(*)29)によって打ち上げ予定であり、欧州宇宙機関（ESA）も 2028 年打ち上げを目指して ROSE-L^(*)37)ミッションに着手している。

一方、日々の気象予測においても多様かつ大量の衛星データが同化され、予報モデル計算の初期値作成に必要不可欠なものとなっている。コロナ禍で航空機観測データが大きく減少した際にも、衛星観測の利用は気象予測精度の低下を防ぎ、その頑健性を示した。さらに、予報時間が長くなる予測ではより様々な衛星データの利用が必要であり、

WMO と宇宙機関との連携をより充実させ、多様な ECV がより効率良く・持続的に得られる仕組みを国際的に整備する必要がある。その中で、我が国においても気象庁の静止気象衛星「ひまわり」と JAXA が運用する地球観測衛星及び関連する地上観測ネットワークによる貢献を強力に推進することが求められる[23]。

(2) 持続可能な社会構築のために果たす役割

水・食料・資源・エネルギーの枯渇、生態系の破壊と生物多様性の喪失という地球規模課題が、自然環境や人口環境の劣化を引き起こし、経済活動や社会の安定に重荷となっている。また、気候変化に伴う世界各地での激甚な水災害の頻発や、国際紛争に伴う食糧需給問題は、経済、社会活動の国際化を通じて世界全体に影響し、「社会経済安全保障」は現代社会のキーワードである。我が国では、線状降水帯や台風などによる広範囲な豪雨による土砂崩れや洪水による被害の連続が、社会に大きな負担を強いている。

一方、高度成長期以降に整備したインフラは急速に老朽化しており、国は「インフラ長寿命化計画」を進めてはいるが、従来手法により十分な点検・補修を行うことは財政的にも人間的にも不可能に近い。防災・減災には道路・橋梁等の人工構造物に基づくインフラ（グレーインフラ）と海岸林や都市緑地などのグリーンインフラを活かす対策があり、それらの最適配置の策定から老朽化対策に至るまで衛星観測は必須の技術である。

我が国は、独自の衛星観測手段を有し、国際的な自立性を保持するとともに、ドローン等のほかの観測手段や他国の衛星観測と併せ、より高頻度・高分解能・多種類のデータの共有による国際的なアセット（公共財）化により、世界の知を結集するオープンサイエンスを推進することが重要である。SDGs を定めた国連の「2030 年アジェンダ」前文は、「我々は、世界を持続的かつ強靱（レジリエント）な道筋に移行させるために緊急に必要な、大胆かつ変革的な手段をとることに決意している。」と述べている。SDGs やフューチャー・アース^(※11)の目標達成に向け、我が国に強みのある地球衛星観測技術を通し国際的に期待される役割を継続的に担うことが、日本としての喫緊の課題と言える。

このためには、新型コロナなどの影響により現地観測などが制限される状況でも、温暖化物質などの全球的監視のみならず、気候変動と自然災害との関連と仕組み、大気汚染などの人為災害状況、世界規模の食糧生産状況、並びに大規模インフラなどの地表面の状況を定量的に理解し対策を講ずる必要がある。最新（2023 年 6 月）の宇宙基本計画工程表においては、「(2) 国土強靱化・地球規模課題への対応とイノベーションの実現」と銘打った施策の中で「次世代衛星サービス」、「リモートセンシング①-④」、「準天頂衛星システム①-②」、「衛星開発・利用の拡充」の項目に地球衛星観測が纏められて、民間によるデータ利用の強化も議論されてきた。さらに、「(4) 宇宙活動を支える総合的基盤の強化」においては、「技術・産業・人材基盤の強化」など、新しい取り組みも充実し、多くの省庁が連携して宇宙技術戦略の策定・ローリングを行っていく方針が示された。このように宇宙基本計画工程表では、地球衛星観測とその周辺の諸課題を共に検討することの重要性が認識され線表として積み上げられるようになった。これらの課題をラウンドテーブルに載せ、関係者が広く全体を理解して観測から利用までを統

合的に扱うトータルシステムの戦略が見えるような仕組みの構築が重要である。

衛星観測は世界的な食糧生産の状況把握を可能にし、例えば NASA Harvest プログラムではウクライナの穀物生産の詳細なモニタリングも行われている[24]。米以外の主要な穀物などの多くの食糧を輸入に頼っている我が国においては、食糧安全保障として農林水産省が運用している農業気象情報衛星モニタリングシステム (JASMAI) [25] のような現状の情報収集及び将来予測をどのように充実していくかの議論は重要である。

気候変動及び健康問題に関しては、大気汚染物質であるとともに短寿命気候強制因子であるエアロゾルやオゾン・硫黄酸化物・窒素酸化物の高頻度かつ高空間分解能のモニタリングが重要である。特に、気候安定化と健康社会の両立を目指し経済発展しつつある東南・南アジア地域等における各種汚染物質の排出量推定、越境輸送過程や化学的変容過程の数値モデルの改良・同化を進めていく必要がある。また、豪雨や台風などの極端気象の監視・把握のためには、水蒸気、風、気温、雲、雨などの鉛直分布、海上風などの水平分布を含む空間分布情報を、高頻度・高精度で観測する必要がある[26]。地球温暖化に伴う気候変化のモニタリングとして、全球的なエネルギー収支、水収支を継続的に把握する必要がある、特に、全球的な大気上端での放射フラックスを継続的に観測することが必要である。さらに、これらの観測データを数値モデルに同化して高解像度数値データを作成し継続的な実況監視を行うことや、それらを初期値として高精度な予測を行うことが重要である。以上の環境監視や気象予測に用いる数値モデルやデータ同化システムの検証や改良においても、観測データ、特に均一のセンサでグローバルに長期間繰り返し観測できる衛星の利用は不可欠である。

4 地球衛星観測システムの構築における世界の取組

(1) 米国の状況 : Decadal Survey^(*)24)、ES0^(*)25)、民間衛星利用

米国の地球観測ミッションは、米国下院議会からの要請に基づく全米アカデミーズによる 10 年計画 (Decadal Survey) がベースとなっている。最新の 10 年計画は 2018 年 1 月に制定された。ここでは、前期の計画の総括を行い、地球システム科学及びその応用利用について関連コミュニティーに広く情報を求め、それに基づいて NASA、アメリカ海洋大気庁 (NOAA)、アメリカ地質調査所 (USGS) を念頭に続く 10 年間の計画を予算や優先順位も含め策定する。NASA の地球観測はこの 10 年計画に沿って進められ、地球観測システム (EOS)、降水ミッション (PMM)、地球システム科学パスファインダ (ESSP)、地球システムミッション (ESM) の合計 38 ミッションが国際的なデータベースである CEOS DB²⁾に登録されている。同様に、NOAA の地球観測には、静止気象衛星 GOES、極軌道 METOP 及びアメリカ国防総省 (DOD) との統合ミッションである Joint Polar Satellite System (JPSS) があり、27 ミッションが登録されている。また、USGS では、陸域の米国全土データアーカイブとともに LANDSAT ミッションについて NASA と共同で実施している。今後には、L バンド SAR の Surface Deformation and Change (SDC) や雲レーダ・ライダー等

²⁾ <http://database.eohandbook.com/>

を含む Atmosphere Observing System (AOS)等の4つの指定ミッションが計画されている。なお、AOS は日本を含む国際プロジェクトである。さらに、NASA は科学主導の分野でも公募による低コストの小型衛星の宇宙実証を行っている。また、NASA の商用小型衛星データ取得 (CSDA) プログラムでは、民間衛星データの研究利用のための評価を行っている。

(2) 欧州の状況：コペルニクス計画など

欧州連合(EU)と欧州宇宙機関(ESA)は、宇宙活動を成長と雇用確保のための原動力であると位置付けるとともに、欧州の公的な政策目標と欧州企業・市民のニーズに資する宇宙応用システムの開発・利用、欧州の安全保障・防衛ニーズへの対応、競争力の高い宇宙産業の確保などを追及している。この欧州宇宙政策の旗艦プログラムとして、「ガリレオ(測位)」とともに、環境と安全のための全球監視である「コペルニクス計画」が、EC(欧州委員会)によって実施されている[27]。コペルニクス計画の中核は、ESA、EUMETSAT が運用するセンチネル (Sentinel) という7種類の衛星群である。7つのセンチネルシリーズに加えて、さらに7つのセンチネル拡大ミッションやセンチネル後継ミッションの実現に向けた研究開発が進められている。センチネル以外では、ESA が公募して実施する最先端の地球観測技術による科学的成果の獲得を目的とした Earth Explorer (EE) ミッションがある。EarthCARE や Aeolus ミッションもこれに属し、現在 EE12 が公募中である。また、ICEYE^(*)28)などの民間や ALOS、GOSAT などの欧州外の衛星などが貢献ミッションとして登録され、コペルニクスの一部として利用可能となっている。これ以外にも、実証ミッションも含め、合計 49 ミッションが CEOS DB に掲載されている。

EUMETSAT においては、METEOSAT Third Generation (MTG) という静止衛星と、METOP などの低高度衛星の 34 ミッションが掲載されている。

(3) アジアの地球衛星観測

① 中国

中国の宇宙計画は、「国民経済と社会発展五カ年計画」(2021 年からは第 14 次)の中の「科学技術発展計画」の一部として実施されている。2021 年に公表された中国版宇宙白書によれば、宇宙インフラストラクチャの構築は着実に進んでおり、地球観測は高空間分解能、高時間分解能、高スペクトル分解能の時代と分析されている。中国科学院 (CAS) の 16 ミッション (高度計、散乱計、SAR、広域光学など搭載の HY、FY、SJ)、中国資源衛星応用センター (CRESDA) の 11 ミッション (高分解能光学・SAR の ZY、GF、HJ1、CEBRIS (ブラジルと共同))、中国リモートセンシングセンター (NRSCC) の 13 ミッション (光学コンステ B1、大気観測 FY) 及び中国気象庁 (CMA) の 15 ミッション (GF: 静止、FY 大気観測) が CEOS DB に登録されている。

② インド

インドは、2020 年に宇宙リモートセンシング政策を公表し、宇宙利用の実用化及び

インドの安全保障の確保がその役割として言及された。この政策に基づき、2021 年 1 月、インド宇宙研究機関 (ISRO) は、ISRO の短期及び各センターの今後 10 年間の長期目標を発表した。地球観測衛星では、立体地図作成 (Cartosat)、レーダ観測 (RISAT)、資源観測 (Resourcesat)、海洋観測 (Oceansat、SARAL)、気象観測 (INSAT、Kalpana)、小型衛星 (IMS-1)、大気/水循環 (Megha-Tropiques)、静止地球観測 (GISAT) など 20 のミッションが CEOS DB に登録されている。また、NASA と共同開発の NiSAR では S-SAR をインドが担当している。なお、ISRO の地球観測衛星データは、商業化されている高分解能を除き、VEDAS と呼ばれるシステムで公開されている。

③ 韓国

韓国は、2021 年 3 月に承認された「2020 年度宇宙開発振興施行計画」に基づき宇宙開発を実施している。多目的衛星 KOMPSAT 1-7 (光学、X-SAR など)、静止通信・海洋・気象衛星 COMS-1 とその後継の静止気象・宇宙天気観測衛星千里眼 GEO-KOMPSAT 2A/2B (GOCI-II、GEMS 搭載)、中型光学地球観測衛星 CAS-500 シリーズが存在する。韓国航空宇宙研究院 (KARI) の 10 ミッション、韓国気象庁 (KMA) 静止の GOCI など 2 ミッションが CEOS DB には登録されている。

(4) 国際連携協力の現状について

地球環境問題の解決に資するために、各国の宇宙機関が組織する地球観測衛星委員会 (CEOS) は、仮想衛星観測システム (Virtual constellation : VC) を構築している。さらに CEOS では、A-TRAIN と呼ばれる CloudSat や GCOM-W などの複数衛星のフォーメーションフライトの調整、GPM や AOS のように異なる物理量を複数衛星で観測し統合利用する計画の調整、LANDSAT-8+Sentinel-2 の複数衛星観測データから高時間分解能の統合プロダクト作成の調整など、様々な調整活動を行っている。

地球観測に関する政府間会合 (GEO) は「GEO 戦略計画 2016-2025」の実施を推進する政府間の組織であり、地球規模課題への対応に向けた政策決定等に貢献する全球地球観測システム (GEOSS) を国際協力により構築する。現在、次期の「GEO 戦略計画 2026-2035」が検討されている。

世界気象機関 (WMO) のグローバル気候観測システム (GCOS) 専門家パネルは、3 章に記載した必須気候変数 (ECV) の定義を継続的に行っている。

また、観測データの相互利用のためのカタログ、データフォーマットの標準化及びシステム間を繋ぐための相互運用性を確保するための活動が、CEOS 及び GEO においても進められている。

5 世界の地球衛星観測プログラム構築における日本の役割と取組

(1) 我が国として観測すべきデータ

世界的に重要かつ喫緊の課題は、人間活動による地球環境変動の実態解明と対応、特に気候の理解・予測、緩和策と適応策による将来リスクへの対応である。地球観測衛星は地球表層の様々なデータを広域にわたり均質に取得することが可能で、これらの課題

の解決に大きく貢献することができる。我が国の衛星観測によって得られたデータを有効活用して地球規模課題の解決に貢献するためには、国際的な地球衛星観測プログラムと連携することが重要である。

世界各国の気象、測位、水文などの現業機関においては衛星観測の継続性が重視され、可視赤外イメージャーを中心に改良を続けながら静止衛星と極軌道衛星が 40 年以上運用されており、気象、気候に関する多くの ECV を観測してきた。それに対して、各国の宇宙機関による ECV の長期連続観測への道筋は十分確立されておらず、その充実を図る必要がある。宇宙機関においては、気象機関の目指す標準化よりも新規性を求めて様々なセンサが開発されており、気象機関では得られない ECV を観測することができる。4 章で述べた CEOS の VC のように、宇宙機関が運用する衛星観測から得られるデータを結び付けて ECV の拡張とその継続的な観測に貢献することが期待される。

グローバルな観測への貢献とともに我が国が重視すべき衛星地球観測の対象としては、自然災害への対応、特に台風、豪雨、豪雪、洪水、旱魃などが挙げられる。災害時の広域状況の把握とともに、これらの現象の予測に資する観測、すなわち雲や水蒸気も含めた観測が重要である。また、我が国は海に囲まれており、海水や生物化学情報も含めた海洋も重視すべき観測対象である。これらの観測対象は ECV と重なっており、ECV データの提供による国際貢献とともに、日々の気象予報においても重要である。

このような観測対象の追求は、必然的に地球観測衛星の実績を積み重ねることに繋がっている。現在、我が国の地球観測衛星の実績としては、降水レーダ（PR、DPR）、雲レーダ（CPR）、高分解能光学・合成開口レーダ（ALOS 系）、マイクロ波イメージャー（AMSR 系）、可視赤外イメージャー（SGLI、AHI）、可視赤外分光放射計（GOSAT 系）などがある。今後もこれらの実績を活かしつつ、新たな技術を取り入れることにより、我が国の地球観測衛星の将来像を描くことが重要である。

(2) 日本の高い技術力の維持・向上の必要性和新技術開発

ECV の精度を向上させるためには、地球観測センサ技術の向上が必要であり、世界各国が競うように技術開発を進めている。日本においては、これまでに様々な地球観測センサが開発・運用されているが、その多くが世界をリードしており、技術力の優位性を示している。得られた観測データを求める海外ユーザーも多く、このような立場は一朝一夕に得られるものではない。この地位を保持するためには、高い技術力を有する人材や高度な設備を維持するとともに、より性能の高い観測を可能とする研究開発を続ける仕組みが求められる。宇宙開発プロジェクトは、一般的に時間を要するものが多く、ロードマップを立てた上でのプロジェクト立案が必要となる。以下に具体例を述べる。

- ✓ 世界最初の降水レーダである TRMM/PR は、雨雲の中の降水を立体的に観測する Ku バンドレーダであり、1997～2015 年の長期観測が行われた。継承する GPM/DPR は 2014 年に打ち上げられ、Ku バンドに Ka バンドを加えた二周波で降雨を観測することで、熱帯の強い雨から高緯度の弱い降雪まで観測対象を広げ、降水現象の解明に貢献している。後継計画として、米国の AOS(The Atmosphere Observing System)計画に参画す

る降水レーダ計画が進められており、ドップラー計測機能の追加が検討されている。

- ✓ 降水レーダに加えて、ドップラー雲レーダが開発されており、2024 年打ち上げ予定の ESA との共同ミッション EarthCARE に搭載され、高スペクトル分解ライダー等とともに雲、エアロゾルの観測が予定されている。
- ✓ 温室効果ガス観測においては、フーリエ干渉型分光方式である GOSAT/TANSO、GOSAT-2/TANSO-2 がそれぞれ 2009 年、2018 年に打ち上げられており、長期のデータ蓄積を有している。一方、継承する GOSAT-GW/TANSO-3 では、回折格子型分光方式を採用することで面的な観測を可能とするとともに、温室効果ガス観測に加えて二酸化窒素の観測が行われる。
- ✓ L バンド SAR は、JERS-1、ALOS、ALOS-2 とその観測技術を向上させ、地殻変動や森林観測、極域観測、災害監視、インフラ監視に活用されている。また、観測幅を拡大した改良型 L バンド SAR を搭載する ALOS-4 の計画も進められている。
- ✓ マイクロ波放射計では、1987 年に打ち上げられた MOS-1/MSR では 2 波長観測が行われたが、継承するセンサは 6 波長に高度化され、2002 年には AMSR-E が NASA の衛星 Aqua に、AMSR が ADEOS-II に搭載され、降雨、水蒸気、海面水温、海水等の観測で威力を発揮してきた。2012 年打ち上げの GCOM-W/AMSR2 では、7.3GHz (陸域における人工電波干渉軽減) が追加され、外部校正や深宇宙校正機能により精度が向上した。GOSAT-GW/AMSR3 では、新たに 166GHz 帯、183GHz 帯を追加搭載することで、解析精度の向上に加え、降雪や陸上での水蒸気観測を実現する予定である。
- ✓ 高分解能光学センサは、MOS-1/MESSR が画像を 50m の高サンプリング間隔で取得した。JERS-1/OPS、Terra/ASTER、ALOS/AVNIR-II、PRISM とステレオ視を搭載し、それぞれ 18m、15m、10m/2.5m のサンプリング間隔での全球観測を行っている。ALOS-3 においては、0.8m のサンプリング間隔と 70 km の観測幅を両立させている。また、JERS-1/OPS では SWIR、Terra/ASTER では短波長赤外と熱赤外、ISS/HISUI においては高分解能短波長赤外の観測も可能である。
- ✓ 中分解能光学センサは、GCOM-C/SGLI が 250m の解像度で可視赤外の多波長観測を全球で可能とし、さらに酸素の A バンド吸収帯や偏光観測の機能も有する。これにより、雲、エアロゾルや植生、海水温度、海色等に関するユニークなデータを提供している。
- ✓ 静止気象衛星ひまわりは、2014 年に打ち上げられた 8 号から第 3 世代になり、可視赤外 16 波長で全球を 10 分間隔で観測することが可能である。次期ひまわりの検討も進められている。

従来、各国の得意な地球観測分野を持ち寄る国際協力の仕組みで分担が行われてきたが、日本が得意とする観測分野（極域、温室効果ガス、海洋、地殻変動観測）においても海外機関の参入が始まっている。これらは、各国の政府や科学コミュニティが、観測技術を自国において戦略的に獲得する必要があると考えた場合にも進められる。例えば欧州では、脱炭素化の国際的取組における政策的な観点から、欧州独自の温室効果ガス観測技術を保有する必要のため、コペルニクス人為起源 CO₂ モニタリング (CO₂M) の開発が進められている。同時に、ECV の観点から長期のデータ収集を国際分担によって持

続的に確保することにも繋がる。我が国も、優位性を持つ観測技術に加え、政策上や科学技術上の必要性の観点から、観測すべき ECV についての議論を進めるべき時期に来ている。

(3) 小型衛星と民間技術の活用

技術開発のための新しい手段として、重量 100kg 程度の小型衛星を用いた宇宙実証が挙げられる。新しい技術や新開発の部品の技術成熟度を向上し、新しいミッションの開発を狙う際に、低リスク低コストで開発を加速し、効率の良い技術獲得を可能とする。数 kg の CubeSAT^(*)23) 級から 100kg 級までの小型衛星は、大きさ・重量の制約を付けて規格化された衛星バスにセンサを搭載して観測技術の宇宙実証を短期間で行うプラットフォームである。NASA では、科学主導分野でも、Earth System Science Pathfinder Program (ESSP) の Earth Venture Class という仕組みの中で、低コストの小型衛星ミッションが公募により選定されている。例えば、Investigation of Convective Updrafts (INCUS) [28] では、マイクロ波放射計 TEMPEST-D や降水レーダ RainCube で宇宙実証を受け、これらのセンサを 3 機の衛星に搭載し、熱帯の対流性暴風雨の研究を目指している。このように、2 世代にわたる技術開発を短期間に行うことで、降雨レーダやマイクロ波放射計の技術を飛躍的に高めることができる。欧州においては、ESA のプロジェクトの中でハイパースペクトルセンサ HyperScout が開発され、宇宙実証に成功している。同時に、AI チップを搭載することで軌道上で雲検出を行い、ダウンロードデータの選択に用いている。日本においても、新しい観測技術を開発し、宇宙実証を行う仕組みが求められる。

近年、民間企業が観測頻度の向上を目指して多くの衛星を打ち上げるコンステレーション^(*)5) 計画がいくつかの国で発表され、その期待の高さから多額の投資が行われている。日本においても、光学高分解能観測の GRUS^(*)27) や合成開口レーダ QPS^(*)36) などの衛星が登場している。また、GPS 掩蔽による水蒸気観測を行う Spire 社 LEMUR など、大気分野においても小型衛星が活躍を始めている。ただし、これらの衛星は、位置精度や輝度性能を向上させるために、大型・中型衛星の観測データを用いた校正を行い、品質確認や広域のデータセットを作るための観測データ間の輝度調整、幾何学的な精度向上などを行う必要がある。あるいは、選択的な高頻度観測域の選定のために、コペルニクス、ALOS-2 などの衛星データをベースにタスキングを行うなど、既存の仕組みを利用している点からも、大型・中型衛星の必要性は依然として高い。また、小型衛星は必ずしも観測信号強度が十分でない点も指摘されている。小型衛星の寿命が 1～2 年であるのに対し、大型・中型衛星は数年から 10 年以上の観測継続が可能であり、前者は迅速な技術開発、後者は品質が安定した長期モニタリングに適している。それぞれの長所を活かした衛星利用のベストミックスが重要である。

民間企業のデータはオープンデータにならないという問題もある。米国では、NASA の商用小型衛星データ取得 (CSDA) プログラムで Planet、Maxar 及び Spire 社から取得した CSDA データを、政府ユーザーや公募により選定された研究者に無償提供している [29]。

日本においても、政府が民間衛星データを利用する予算措置がなされており、アンカーテナント^(※2)の仕組みが動き出している。政府や科学コミュニティにおいて、より多くの衛星観測データが利用可能となる取組を継続的に実施していくことが求められる。

(4) データ活用の広がり

将来にわたり、地球を観測する衛星の数は、超小型衛星も登場して増加傾向にあり、衛星データ利用の方向性も変わりつつある。我が国の衛星観測データについても、国内外のより広い分野での利活用を推進することが重要である。そのためには、リアルタイム性、継続性、信頼性が重要になる。リアルタイムで観測データを提供するためには、観測の時空間頻度を上げる必要がある。方法の1つは、複数衛星によるコンステレーションである。例えば、サンプル頻度は超小型衛星群によりカバーし、品質を中大型衛星観測で担保する。別の方法としては、静止軌道からの観測の増加によりカバーすることも考えられる。両者の複合的な活用も考えられる。また、これらの観測を数値モデルへ同化することにより、ニーズに合わせた時空間分解能、レイテンシー^(※14)でデータ提供することも視野に入れるべきである。このようなデータ活用は、気象情報、農業、漁業、防災、公衆衛生、保険など、既にビジネス化・実利用化が始まっている分野のさらなる発展に加え、それ以外の分野へ広がる可能性を有する。現在、気象機関においてデータ同化による気象予測への利用が進んでいるが、予測技術は日々進歩しており、将来、より多くの衛星観測データの利用が進むことが考えられる。それに対応するためには、長期・継続的な情報の取得が必要であり、すべてのデータを国が取得するのか、民間衛星事業者に委託するのかについても今後の検討を要する。また、観測データの信頼性も重要である。気候変動問題では数十年スパンでの議論がなされており、その予測・評価・検証に用いる信頼性の高い長期観測データが必要である。衛星観測データの信頼性には、観測機器そのものの性能、校正手法、プロダクトの検証等が含まれる。現在の気象庁やJAXAの衛星のデータは、この点において信頼性の高いデータであるが、将来的には信頼性を担保できる民間の衛星の利用も考えられる。

6 効果的な地球衛星観測体制（プログラム化）についての継続的な議論の場の確立

(1) 多様な分野の連携による付加価値の創造

地球観測衛星は、大気、海洋、陸域など地球表層の様々な現象を観測し、広域かつ均質なデータを提供する。そのデータは、地球科学をはじめとする広い分野にわたる学術研究はもとより、気象、防災、土地利用、農業、漁業など社会に関わる多様な現業分野でも利用される。また、分野間の連携協力による学際研究や実利用も盛んに実施されている。特に、地球環境問題や地球温暖化問題など喫緊のグローバルスケールの課題や、紛争地域などの気象観測空白域において、衛星観測の役割が大きくなってきており、我が国だけでなく国際的に必要不可欠な存在である。

これらの衛星観測データの提供と利用は、地球科学のみならず天文学や惑星科学における大気放射学や分光学の応用としてのリモートセンシング技術の発展により進化し

てきた。そこには、基礎研究から応用研究まで多くの研究者が知的好奇心によりセンサや物理量推定手法を開発し、多様な分野で利用可能なデータを提供してきた背景がある。そのデータを用いた学術研究や社会での実利用も衛星観測の可能性を広げてきた。すなわち、衛星観測を可能にする基礎研究と、観測データを応用する側のニーズに基づくアイデアとが、車の両輪として発展してきたと言える。しかしながら、将来の地球衛星観測計画においては、このような科学者の知的好奇心に基づく技術開発とその応用という形態からの脱却も求められるだろう。現在、衛星観測技術の高度化やデータ利用の多様化、国際化が進んでおり、今後は、基礎研究、応用研究から社会実装までを含む広い視点で新たな付加価値を創造する地球観測衛星を推進する必要がある。地球観測衛星の効果的な運用と利用拡大のためには、強固な分野間連携体制の構築が必要である。

地球観測衛星は、観測対象やデータの種類、その利用方法が多様であり、それに関わる人々も、省庁や国の機関、自治体、民間企業、大学、国立研究開発法人等の様々なセクターに所属している。衛星を運用する主な組織は、気象庁、環境省、国の宇宙機関である JAXA となるが、我が国の衛星観測計画の策定は内閣府が所管する宇宙政策委員会である。一方で、衛星の仕様策定やアルゴリズム開発、提供されるデータ利用に関しては、気象庁、環境省、JAXA、学术界、民間の連携が進んでいる。また、気象庁や JAXA の衛星も、実際の衛星のハードウェアや打ち上げロケットについては民間企業が関わっている。合成開口レーダや小型衛星に関しては、民間による開発、打ち上げ、運用も進みつつある。提供されるデータも学術研究に加えて国土地理院、農林水産省のような官庁、あるいは自治体、さらには民間による利用も進んでいる。このように、多様なセクターの人間が地球観測衛星に関わっている。

地球観測衛星によって得られるデータは、利用目的や利用分野によって高精度でなくとも、地表面の画像が手軽に得られることが重要な場合もある。一方で、気象や気候変動などの分野で用いられるためには、高精度なデータが必要になる。地球温暖化問題の研究や解決に向けた取組には、地球表層の大気、海洋、陸域の間に関連する多様なデータが必要になるが、そのためにも、高精度データの安定した提供は重要である。これらのデータの品質保証を行うためには、高性能なセンサの開発はもちろんのこと、打ち上げ後の校正や、アルゴリズムを介して導出されるデータの検証が不可欠であり、その役割は国の機関が責任を持って担うべきである。一方で、広域で均一な精度の情報を蓄積していく地球衛星観測データには、民間企業によるビッグデータとしての新しい利用も進んでおり、利用者の拡大とともにさらなる投資が必要である。

(2) 産学官による連携推進と日本としての長期戦略の議論の場の確立（参考資料3）

地球観測衛星は、計画から開発、打ち上げ、データの提供、利用に数年から十数年の期間を要する。従って、変化を続ける自然や人間社会の中でより良い我が国の地球観測衛星計画を策定、実施するためには、社会変化や国際的な動向を見極め、長期的な展望を持った戦略を立てることが求められる。すなわちプログラム化の議論である。

衛星の開発、運用、データ提供、データ利用には様々な立場のセクターが関係し、デ

一タも様々な目的で利用される。我が国の地球観測衛星のあり方を議論する場として、内閣府宇宙政策委員会、文部科学省科学技術・学術審議会、日本学術会議地球惑星科学委員会地球・惑星圏分科会地球観測衛星将来構想小委員会、タスクフォース会合リモートセンシング分科会（TF）、JAXA 科学アドバイザー委員会などが設置されているが、それぞれの役割は異なっている。宇宙政策委員会は、天文学や惑星科学のような学術研究のための衛星から地球観測衛星、あるいは通信衛星のような社会インフラとしての衛星まで、我が国の衛星すべてを網羅し、計画を策定する。科学技術・学術審議会においては、学術研究の議論が中心になる。学術会議においては、より広い視野から我が国全体の地球観測衛星のあり方を議論するが、具体的な計画策定には関与しない。一方で、TFは地球観測衛星に関係する学会の集まりであり、ボトムアップで提案される具合的な衛星計画(参考資料5)を当事者である専門家が評価する。さらに、JAXA においては担当理事の下に外部の有識者から構成される地球観測に関する科学アドバイザー委員会があり、ここでも国内外の動向を見ながら JAXA の地球観測衛星に関する中長期的な将来ミッションの検討を行っている。

以上のように、いくつか議論の場はあるものの、中長期的な展望を持って我が国全体の地球観測衛星のプログラム化を議論する場はこれまでになく、我が国の衛星計画についてセクター間の有機的な連携や効果的な役割分担などが十分議論されてきたとは言えない。今後、基礎研究と応用、社会実装が連携して我が国の地球観測衛星を継続的に発展させるためには、宇宙政策委員会等の政府機関と学術界を中心とする研究開発活動の間の連携を進める必要がある。また、観測対象を中心とした各分野間に加えて、衛星の開発、運用、データの提供と利用に関わる産学官の連携が不可欠である。

このような状況の下、産学官が一堂に会して地球観測衛星のあり方を議論し、政府への提言を行う衛星地球観測コンソーシアム（CONSEO）が 2022 年 9 月に設立された。コンソーシアムをはじめとする新たな場を活かし、必要であればさらに産・学・官が主体的に議論する会議を開催して、次の点を踏まえて我が国の地球衛星観測の長期的見通しを備えた統合的戦略のあり方の構築を目指して継続的に議論をまとめていくことが求められる。まず、産学官が連携できること、また、観測対象やデータ利用における各分野の動向を踏まえた具体的な計画であること、さらに、国際連携に対応するための体制のあり方も議論されていることが望ましい。今まで、我が国では地球観測衛星の運用終了後の評価や費用対効果に関する評価は必ずしも十分に行われてこなかったが、そこに国際的な貢献や継続性への貢献などを含めた評価の方策は難しく、よく検討する必要がある。新たな議論の場の具体化に関しては、米国の科学アカデミーによる 10 年計画や欧州の EC によるコペルニクス計画などを参考にしながら、日本社会の特性を踏まえた体制を構築すべきである。

4 章(4)で述べたように、地球衛星観測の国際連携は、CEOS、GEO、GCOS パネルなどの様々な場で実施されている。我が国が、それぞれの枠組において国際協力に参画する際には、上記で述べた産学官の広い分野を包括する我が国の地球観測の統合的戦略の議論に基づいた長期的見通しを軸として参画すべきである。それにより、米国の 10 年計画

や欧州のコペルニクス計画、ほかの統合的計画と並ぶ規模での国際協力の議論及びブレない持続的国際貢献の見通しが可能となり、国際的信頼の獲得に繋がると考えられる。

7 社会基盤としてのデータ保存と利用促進

二度と再現・測定ができない現在の地球観測データの価値として、現在及び近い将来の災害対策や環境変動に関する研究成果を通じた社会的利益のみならず、世代を越えて人類社会に利用される意義を再認識することも極めて重要である。

従来から行ってきた（前々世紀から受け継がれてきた学術方法論としての）サイエンスから社会的利益を創出する活動とともに、国際潮流として国際連合、OECD^(*)34)等におけるオープンサイエンスに伴う、社会と科学の関係の変容も考慮する必要がある。先進諸国を中心とした科学政策では、論文と同様にデジタルデータを人類の知的資産として共有・保存することも重要な課題とされている。

我が国では、第6期科学技術イノベーション計画などにも記載されるように、デジタルプラットフォームによる社会の変容、また、そこでの持続的なサイエンスのあり方、サイエンスと社会との関係が問われている。地球観測衛星データは、学術成果であり、かつ、長期の将来にわたる人間社会の重要な資産であるという認識が必要である。社会が持続可能であるためには、社会の意思決定に深く関わるサイエンスやデータもまた、持続可能である必要がある。

(1) データアーカイブ、利用技術

2020年度提言で指摘されているデータアーカイブに関する記述を受け、インフラとしての衛星データの利活用が加速した。例えば、気象庁が衛星データを同化した数値天気予報を用いて線状降水帯発生情報を提供し、自治体が防災情報として活用する仕組みが挙げられる。加えて、2021年度に日本の大気水圏科学コミュニティーから大型計画AHSAP^(*)16)提案が出るなど、データ利活用に一定の進展があった。データアーカイブ計画は一見順調に進んでいるように見えるが、安定的なデータアーカイブの作成にはなお課題がある。予算確保によりデータアーカイブを開始できる分野が出てきた一方、予算不足等でデータの引き受け先や支援を探している分野も見られる。国は、データアーカイブの支援のための安定的な予算確保を行い、流行り廃りに影響されない強固な仕組みを構築することが必要である。

気候変動に関する社会への貢献に関しては、Climate Data Record (CDR)に代表される地球観測データの再処理が重要であるという指摘がある一方、電子データのアクセス可能性はわずか1年で17%減、そして18年で半減するという調査報告もあり、そこでは古い論文における著者やデータ提供者への連絡不能や、更新・保守されないデータセットの逸失・アクセス不能が大きな課題であること、データ保存義務付け等の有効性が議論されている[30]。データをいつでも参照できるようにすることで、例えばIPCC AR6で予測された地球の姿の検証を50年後に実施することが可能になり、さらに続く50年の世界の方針を決めることが可能となる。現状、JAXAの歴代の地球観測衛星データは全

量保管されているが、今後は膨大なデータ量への対応、処理ソフトの可動性、定期的な媒体変換等で問題が出てくるかもしれない。

地球観測データ利用・開発プラットフォームに関しては、Google や Amazon に代表される米国大手 IT 企業によるクラウドシステムの利活用が進んでいる。我が国でも、Tellus (テルース) ^(*)39) が産学連携データプラットフォームとして認知・利用されつつある。地球観測データがより膨大になる現状では、データアーカイブ先と利用先がネットワーク上で近い環境下にある方がレイテンシーとデータ処理効率性の両面から好ましい。一方、民間プラットフォームは利用側で制御可能な部分は少なく、アルゴリズムがブラックボックス化しやすい欠点を持つ。そのような状況での利用は、長期的な視点で見ると開発力を失うことに繋がりがかねないことにも注意が必要である。時勢に合わせ利用できるシステムを賢く利用しつつも、技術的に透明性の高い自前のプラットフォームを構築できるような予算の投入が必要である。

学術界では、文部科学省からの支援を受け、国立情報研究所(NII)がオープンサイエンスを推進するための汎用的な研究データ基盤 NII Research Data Cloud (NII RDC)を開発し、2021 年から運用を開始している。

(2) データポリシー、データリポジトリ

国は、データ保護のための法体系や政府指針の整備を急ぎ、地球観測データ保管の持続性、堅牢性を確保する体制構築のための投資を行う必要がある。広い意味での学術全体を指す科学は、現代社会を支える基盤であり、特に近年は、公的資金により得られた科学データは社会の共有資産として広く活用すべきとされる。この議論は「オープンサイエンス」等の文脈で、国際学術会議 (ISC)、OECD や欧州委員会などの学術・経済面でも話題となっている[31][32]。社会・経済が持続可能であるためには、その基礎となる科学やデータがオープンで持続可能であることも重要であるとの認識が高まっている。

地球観測データは、ほかの基礎科学実験データと大きく異なり、観測し損ねれば二度と取得できない、貴重な地球の歴史資料である[33]。また、数値モデルなどを通じて、地球の気候変動予測、ひいては将来のグローバル社会の経済、産業、暮らしのあり方にまで大きな影響を与える貴重な情報でもある。地球観測衛星から得られるデータは、科学者が研究成果を出すだけでなく、現在の地球の情報(観測データ)取得を通じて、貴重な人類共通資産を生み出す、現在及び将来社会の維持・発展にとって極めて重要な活動であることを認識する必要がある。

将来、人類が経験したことのない気候変化や社会情勢に直面した際には、エビデンスに基づく科学的推論を頼りに対応を決める以外に手段はない。そのため、現在の地球の姿を多様な側面からデータとして蓄え、将来の来るべきリスクに備えなければならない。

科学的研究の結論は、論文として原則永久保存されてきた。読者数や引用数にかかわらず、次の世代の科学的知見を支える不可欠な社会基盤と言える。今後は、保存・廃棄の基準はしっかりと議論すべきであるが、保存されるべき科学データは、論文・文献と同様に、社会の公的責任の下で永久に破棄されない保管、管理、利用が求められる。

一方で、科学研究や地球観測に費やせる予算には限りがあり、データ保存に割ける予算や人的資源の規模は大きな課題である。データアーカイブは、データリポジトリとも呼ばれ、情報の長期保存とともに、一見矛盾する性質である可読性、頑強性・堅牢性をすべて高める必要がある。貴重な地球の記録である地球観測データは、国際的、あるいは国家安全保障に様々な形で関与することがあり、記録媒体からの抽出が不可能になり記録を失うリスク、不用意な、あるいは故意の書き換えに対するリスクにも備える必要がある。我が国では、オリジナルデータの保管はこれまで運用機関に暗黙的に一任しており、データ保護に関する法体系または政府方針はいまだ途上にある。管理を一元化するという意味ではなく、地球観測データ保管の永続性、堅牢性を確保するための方策についての議論を深め、政府は体制構築のための投資を行う必要がある。

8 統合的戦略の実現のための様々な視点での人材育成の推進

地球衛星観測のデータは、学術分野のみならず数値気象予報モデルへの同化を通じ日々の天気予報などに広く活用されており、今後さらに社会活動全般に広く利用されることが見込まれる。また、科学研究を高度化し気候変動問題の解決等に資するためには、衛星観測による高品質かつ長期間のデータの蓄積が求められている。これには、衛星観測技術及び地球観測特有の大容量データの処理技術の高度化を担う人材の継続的な育成と同時に、様々な地球観測データを社会活動に適切に活用できる人材の育成や、大学生・大学院生を対象とした次世代を担う若手人材の育成が必要となってきた。

まず、衛星観測技術については、今日ではセンサ調達の海外依存度が高く、国内技術者の育成が停滞している状況にあり、最先端の観測技術を維持・継続するための新たな方策が必要である。さらに、地球観測衛星では衛星・センサ開発、アルゴリズム開発のみならず、技術的な柱の1つである衛星・センサ・データの品質保証の継続的な技術発展、さらにビッグデータを活用するデータサイエンスや様々な社会状況で活用するためのコンテンツ開発などのDX技術への転換も課題である。同時に、7章で述べられているような長期データの保存・利用に関する研究や実務を担当する人材も必要になっている。CubeSatに代表される（超）小型衛星の急激な増加傾向を考えると、今後これらの研究・技術を支える人材の確保も課題になる。実際には異業種からの人材の活用も視野に入れつつ、これらの技術者を育成するスキームも必要になる[34]。一方で、地球観測衛星のデータをアプリ等で利用しやすくするグリッド化技術や地理情報とリンクさせたデータセット作成技術の進歩により、地球観測衛星の専門的な知識をさほど必要としないビッグデータ解析やアプリ開発への応用もあり、それらを適切に使いこなす幅広い視野を持つ人材が求められている。前章までの議論にもあるように、衛星地球観測は世界的にも大きな変革期を迎えており、世界と対等に衛星地球観測を推進するには、より多様な人材の積極的な活用が不可欠である。さらに、衛星観測の持つ国際性や利用者の多様性を考えると、国としてのダイバーシティを意識した戦略をこの分野に重点的に推し進めることも一案である。

次に、地球観測分野の若手人材の育成に関しては、若年層（中高生）の地学（理科）離れに改善が見られないことも問題である[35]。特に、より専門性の高い「地学」を学べる

高校が全体の7%程度しかないという現実がある[36]（「地学」履修者は1.3%程度）。よって、大学の教養課程における地球科学教育の充実も必要となる。一方で、教育の現場ではSDGsの教育・実践が活発になりつつあり、そこでは地球観測衛星のデータを活用する機会は増えている（SDGs 目標2、3、11、13、14、15、17）。また、公益社団法人日本気象学会、一般社団法人日本リモートセンシング学会、公益社団法人日本地球惑星科学連合では、ジュニアセッションなどの教育活動を継続的に実施しているほか、大学でも学部生・大学院生・社会人を対象として2週間程度で宇宙利用を学ぶコースも開設されている。しかし、これらの活動においても、分野として若年層の心をつかむという観点では、天文分野や宇宙分野ほど強くない傾向が見られるため、地球観測衛星の魅力を伝える取組が必要である。

地球観測衛星の企画立案から実現には数年から十数年程度の時間を要するため、長期的なスパンでの大学院生の育成が必要であるが、経済的な理由により大学院博士課程に進学する学生が近年減少している。また、博士取得者の75%の就職先が大学・研究機関に限られており、企業などへの就職が進まないという現実も博士課程進学者の伸び悩みの原因の1つとなっている。国も若手研究者支援の政策を打ち出しているものの、今のところその効果は明確でない。衛星ミッションの開発・推進・研究を担う人材については、衛星観測の性格から国際的な協力体制の中でリーダーシップを発揮できる人材が必要であるほか、国際的にはオープンサイエンスや科学技術の社会実装を進めるフレームワークとして責任ある研究・イノベーション（Responsible Research and Innovation）の動きもあり、またそれらの考え方に基づいた行動ができる人材も求められており、このような観点からの戦略的な人材育成も必要である。

これらのことから、地球観測衛星の将来の活用の広がりを見据え、技術開発を担う若手の人材育成及び関連分野を広く見渡した人材育成のあり方を早急に議論すべきである。また、この課題は我が国の宇宙開発政策に端を発した産業構造の問題として捉えることができ、このような観点でのあり方の検討が望まれる。その議論においては、ダイバーシティを認識した上での立案が肝要である。初等・中等・高等教育においては、地球衛星観測のデータが日々の天気予報等に活用されている事実を踏まえた上で、その魅力と重要性を伝える教育も有効であり、地学・地理教育の普及にも力を入れることが望ましい。例えば、SDGs教育において、目標達成に向けて地球観測衛星のデータが様々な形で活用されていることを積極的に伝えていく必要がある。そのためには、JAXA等において教育用コンテンツのさらなる充実が必要であるとともに、様々な年代を対象としてNASAのSpace Apps Hackathon[37]等のような取組も積極に進める必要がある。

大学教育においては、大学院生の博士課程への進学率を上げるため経済的なサポートに加え、大学教員やJAXA及びほかの国立研究開発機関の研究者等へのキャリアパスの可視化などを積極的に行うとともに、大学や研究所でのテニユア枠や行政キャリアでのポストの増設により人材を確保し、科学・技術レベルの維持・向上を図るべきである。例えば、若手テニユア職の人数を博士課程進学者数と連動させるなどの施策が考えられる。さらに、民間企業において欧米並みに博士人材を採用する取組を国として推進すべきである。衛星

開発においては、衛星観測の国際的な協力体制においてリーダーシップをとれる人材を育成すべきであり、国際協力下での科学的な国際分担または競争について限られた人的リソースを戦略的に配分すべきである。小型衛星開発やセンサ開発においては、宇宙科学衛星や惑星探査ミッションと共通する技術課題もあるため、これらの分野との連携を一層強化すべきである。また、今後成長が期待される民間の宇宙産業においては、地球観測衛星データのリテラシー向上が課題の1つであり、社会人の人材育成のスキームを産学官が連携して開発する必要がある。

9 見解

(1) 気候変動対策の科学的基盤と国際協力の要としての地球衛星観測の必要性

気候危機、新型感染症の拡大、紛争の長期化等が複雑に絡み合う地球環境問題に適切に対応するため、人類は常に最先端の科学的知見を探求し、エビデンスに基づいた行動をとる必要がある。気候システムの理解とモニタリングの基礎となる必須気候変数^{(*)10}の80%は衛星によって観測される(参考資料2)。気候変動対策の緩和策と適応策双方に、地球衛星観測は必須の技術である。一方、災害対策や道路・橋梁等インフラの老朽化対策においても、衛星観測が必須の技術である。適応策と防災・減災対策を包括的に講じることで、災害の被害を最小限に抑えつつ回復力のある社会を構築できる。

地球観測には国際協力が不可欠である。国と学术界は、自国が優位性を持つ観測に加え、政策や科学技術上の観点から自国が観測すべき項目も議論し国際貢献すべきである。

(2) 我が国の地球衛星観測の統合的戦略立案の必要性

政策決定者は、気候変動対策が重要な「社会経済安全保障^{(*)7}」であり、継続的で高精度な地球衛星観測は地球環境保全システムにおいて不可欠なインフラであることについて、社会の理解と支持を得るための施策をとり、観測技術・利用技術の継続的な進歩を推進すべきである。一方、社会のIT化とともに、地球衛星観測ビッグデータの民間企業による利用も進んでいる。国と学术界は、日本学術会議、地球衛星観測タスクフォース(TF)、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の将来ミッション検討委員会、衛星地球観測コンソーシアム(CONSEO)等の活動を有効に連携し、内閣府宇宙政策委員会等の政府機関と学术界を中心とする研究開発活動に加え、産業界の活動も踏まえた総合的な推進戦略を立てる必要がある。すなわち、社会でのデータ活用も考慮し、DX、GXの視点を含めた長期的戦略に地球衛星観測を位置付けるプログラム化の議論が必要である(参考資料3)。宇宙基本計画工程表において示される地球衛星観測と関連課題の全体を関係者全員が見渡せるよう、観測から利用までをラウンドテーブルに載せた戦略の議論を推進すべきである。

(3) オープンサイエンスの推進

科学は現代社会を支える基盤である。公的資金により得られる科学データは、「オープンサイエンス」を通して社会の共有資産として活用されるべきである。地球観測デー

タは、学術データであるとともに、長期の将来にわたる人間社会の重要な資産であり、失ったら二度と再現できない。特に、グローバル観測の特性を持つ地球衛星観測は、オープンサイエンス化によって国際連携による価値の高いデータセットを作成できる。国は、デジタルプラットフォーム^(※)、オープンサイエンスに伴う社会と科学の関係の変容を考慮し、地球衛星観測データは社会の財産であるという認識の下、長期継続性と信頼性が担保された安定したデータアーカイブ体制構築のため投資することが必要である。

(4) 統合的戦略の実現のための様々な視点での人材育成の推進

国は、将来に見込まれる地球衛星観測を活用した社会構築のため、計画的な人材育成に注力すべきである。まず、衛星センサ調達の海外依存は国内技術者育成の停滞に繋がることに留意し対策すべきである。また、ハードウェア開発、物理量推定手法開発に加え、学際連携、データサイエンス、社会活用コンテンツ開発、小型衛星技術、産業界や一般社会との協創を支える人材、国際的リーダーシップを発揮できる人材を戦略的に育成する必要がある。さらに、ダイバーシティを意識した育成計画が必要である。

将来を担う若い世代を育てるにあたり、例えば若年層の地学離れ等の深刻な問題に留意し、地球環境や自然災害、人為災害の問題にチャレンジできる人材を育てる観点からの地学・地理教育に対する大規模な組織的取組が必要である。また、大学院博士課程進学者の増加に向けて、博士号取得者のキャリアパスが見通せるような大学や研究所等でのテニユア枠や行政キャリアでのポストの増設、民間を含めたオールジャパンでの博士人材の活用等、様々な手段による具体的な対策を喫緊に講じるべきである。

＜用語の説明＞

- (※1) アルゴフロート：水深 2000mから海面までの間を自動的に浮き沈みして水温・塩分等を測定することができる観測機器。
- (※2) アンカーテナント：新たな宇宙関連製品またはプロセスを開発する民間企業に対し、政府が初の契約者となること（JAXA Library「宇宙法」より）。
- (※3) 渦解像数値モデル：中規模渦（2-300 km スケール）を陽に分解できる水平解像度 10 km 程度の海洋大循環数値モデル。
- (※4) オープンサイエンス：オープンサイエンスは、デジタルテクノロジーを用いた相互協力及び知識の伝搬に基づく、科学研究への新しいアプローチ。
- (※5) コンステレーション：語源は「星座」。複数の人工衛星を協調して運用することを指す。
- (※6) サブメソスケール：水平 0.1-10 km、鉛直 10-1000m、数時間～数日の時空間スケールを持つ海洋現象。溶存ガスや栄養塩等の表層と下層の間の鉛直輸送を担い、表層における生物生産や海洋物質循環に大きな影響を与えることが知られている。
- (※7) 社会経済安全保障：「経済安全保障」は、「我が国の経済を国際的要因に起因する重大な脅威から、主として経済的手段を活用することにより、守ること」と定義されている。
- (※8) デジタルプラットフォーム：IT 技術やデータ等を用いてシステムやサービスを提供し、そのサービスを享受する場。
- (※9) データ同化：シミュレーションを実際の観測データと突き合わせ、シミュレーションの軌道を修正して「確からしさ」を高める手法。気象だけでなく化学物質などにも応用範囲が広がっている。
- (※10) 必須気候変数（Essential Climate Variables）：世界気象機関（WMO）が発行する全球気候システム（GCOS）実施計画書によって定義された、全球観測が必要である気候変数のリスト。
- (※11) フューチャー・アース：持続可能な地球社会の実現を目指す国際共同研究プラットフォーム。
- (※12) プログラム化：社会変化や国際的な動向を見極め、長期的な展望を持った戦略を立てること。
- (※13) メソスケール：水平スケール数十～数百 km、時間スケール数週～数か月で特徴付けられる海洋現象。
- (※14) レイテンシー：データの観測から入手までの時間差
- (※15) レーダ高度計：人工衛星から直下点の海面に向かってマイクロ波のパルスを発射し、海面で反射されて返ってくるまで時間を計測することにより、海面高度を測る衛星センサ。
- (※16) AHSAP：Atmospheric and Hydrospheric Science Archive Platform（邦訳 大気水圏科学データの蓄積・解析基盤）「学術の中長期戦略」の「ビジョン」として地球型惑星のデジタルツインの構築とそれを用いた地球惑星科学と工学・人文社会科学との学際研究及び社会利用を提案する。そのために「学術研究構想」として気象庁の現業数値予報データ

を長期保管する「大気水圏科学データの蓄積・解析基盤」(AHSAP)を整備することを目的として、「学術の中長期研究戦略」として日本学術会議に提出した。

(*17) ALOS-2: JAXA の打ち上げた Advanced Land Observing Satellite (「だいち」) シリーズの 2 号機。1 号機の ALOS にはパナクロマチック立体視センサ(PRISM)、可視近赤外放射計 2 型(AVNIR-2)、フェーズドアレイ方式 L バンド合成開口レーダ(PALSAR)の 3 種のセンサが搭載されていたが、ALOS-2 は 1 号機の ALOS/PALSAR 後継の PALSAR-2 が搭載された SAR 専用の衛星である。

(*18) ASTER: 経済産業省が開発した高空間分解能センサで NASA の地球観測衛星 Terra に搭載された。可視近赤外、短波長赤外、熱赤外で合計 14 バンドを有し、空間分解能は 15m、30m、90m で、陸上表面の温度や陸面の射出率や地形の高精細なデータが取得可能である。

(*19) CALIPSO 衛星ライダー: 米国の NASA の ESSP(地球システム科学開拓プログラム)として、NASA ラングレー研究所とフランスの CNES との協力で 2006 年に打ち上げられた衛星 CALIPSO に搭載されたライダーで、極軌道で雲とエアロゾルの鉛直分布を測定する。

(*20) CERES 雲放射観測装置: 米国 NASA ラングレー研究所で開発された雲及び地球放射収支放射計。短波と赤外の放射エネルギーと全放射フラックスを観測することで、地球の大気各層や地表面における放射収支や雲やエアロゾルの放射効果に関する長期変動のデータを提供している。

(*21) CMIP5: IPCC AR5 のために構築された第 5 期結合モデル相互比較計画。CMIP5 以前までに行ってきた設定に加えて、1850 年の二酸化炭素の濃度を 4 倍にする実験設定が加わった。

(*22) CMIP6: IPCC AR6 のために構築された第 6 期結合モデル相互比較計画のことで、結合モデル相互比較計画は、WCRP(世界気候研究計画)の結合モデル作業部会によって提案された。過去、現在、そして将来の気候変動の理解と、参加する世界各国の研究機関のモデル間の相違の要因を特定する目的で、共通の実験設定で世界各国の気候モデルの比較と衛星観測等に基づいた評価を行っている。第 6 期では、特に放射強制力の評価に注意が払われている。

(*23) CubeSAT: 重量数 kg 程度の小型の人工衛星。一辺 10 cm の立方体を基本ユニットとし、単体または複数のユニットの組み合わせで構成される。

(*24) Decadal Survey: 米国下院議会からの要請に基づく全米アカデミーズ(科学、工学、医学)が 10 年ごとに作成する衛星地球観測計画。前の 10 年計画の実施状況、成果のレビューを行うとともに関連コミュニティから科学と実利用に関する情報、提案を集め、予算の上限を考慮した上で観測対象及びミッションの優先順位を決めている。基本的には米国の地球観測衛星はこの計画に沿って進められる。

(*25) ES0(Earth System Observatory): Decadal Survey の報告に添って NASA が策定する衛星地球観測計画。現在は 2017 年の Decadal Survey に基づき、気候変動、自然災害、森林火災、農業への貢献を念頭に、具体的な観測対象としては、エアロゾル、雲・対流・降水、また、大気・海洋・陸域における炭素循環、水循環、エネルギーなどが挙げられてい

る。

(*26) GEMS : 韓国が 2020 年に打ち上げた、世界初となる静止軌道からの大気環境監視分光計(Geostationary Environment Monitoring Spectrometer)のこと。

(*27) GRUS: 分解能 2.5m、撮影幅 57 km、5機コンステレーション、5バンドの国産高分解能衛星。

(*28) ICEYE : フィンランドで商用小型 SAR 衛星の開発・製造・運用・衛星画像の活用サービス提供を行っている企業。

(*29) ISRO : インドの宇宙開発を担当する機関。Indian Space Research Organization

(*30) JERS-1 : 1992 年から 1998 年まで NASDA (現在の JAXA) が運用した地球資源探査衛星(「ふよう 1 号」)。Lバンド SAR と光学センサが搭載されていた。なお、ERS-1 とは 1991 年から ESA によって運用された Cバンド SAR 搭載の衛星である。

(*31) Lバンド SAR : SAR とは Synthetic Aperture Radar のことで、マイクロ波のパルスを地表面に向けて照射し、その反射(散乱)波のデータ処理から地表面の高空間分解能画像を取得する技術。概ね 5 m 未満の空間分解能を持ち、マイクロ波による能動的センサであるため、可視画像のように昼夜・天候の影響を受けない。また、位相データを利用した干渉処理(インターフェロメトリー)によって、地表変位データを取得することも可能である。Lバンドとは概ね 1.2GHz 程度の周波数のことで、Cバンド等に比べ植生の影響を受けにくく、地表変位データを取得しやすいと考えられている。

(*32) MISR : 米国ジェット推進研究所が NASA の求めに応じて開発したマルチディレクション・ポラリゼーション放射計。9つのカメラで異なる角度で散乱光の観測を行う。可視近赤外波長にまたがる 4つの波長で、雲やエアロゾルや地表面からの散乱を 275mの空間分解能で観測する。観測幅は 360km で、9日で全球をカバーできる。

(*33) NiSAR : 米国 NASA とインド ISRO 共同による SAR による地球観測衛星。NASA は Lバンド SAR、ISRO は Sバンド SAR(2.4GHz)を担当する。

(*34) OECD : 経済協力開発機構 Organization for Economic Co-operation and Development OECD はヨーロッパ諸国を中心に日・米を含め 38ヶ国の先進国が加盟する国際機関であり、国際マクロ経済動向、貿易、開発援助といった分野に加え、最近では持続可能な開発、ガバナンスといった新たな分野についても加盟国間の分析・検討を行っている。(経済産業省 HP より引用)

(*35) OH ラジカル : メタンや多くの大気汚染物質を分解させる大気中の超微量物質。オゾンや二次的なエアロゾル粒子の生成にも深く関与する。

(*36) QPS : 日本の QPS 研究所が開発、運用する Xバンド SAR の小型衛星

(*37) ROSE-L : 2028 年打ち上げを目指した ESA による Lバンド SAR ミッション。Radar Observing System for Europe in L-band の略である。

(*38) Sentinel-1 : 2014 年に打ち上がった EC と ESA によるコペルニクス計画最初の地球観測衛星。Cバンド SAR を搭載し、12 日回帰周期で陸域の地殻・地盤変動、南極を含む雪氷圏や海面の画像を観測。1990 年代の ESA による Cバンド衛星 ERS-1/2 や Envisat と異なり、画像データが完全にオープンフリーとなった点が特筆される。2016 年には同一センサ

による Sentinel-1B が打ち上がり、場所によっては二機体制によって最短 6 日回帰周期の観測が可能になった。しかし、2022 年に電源系の異常により Sentinel-1B の運用は停止された。

(*39) Tellus : (テルース) 日本発の衛星データや衛星データを扱う様々なツールを提供するオープンかつフリーなクラウド環境プラットフォーム。衛星データを利用した新たなビジネスマーケットの創出を目的とし、経済産業省の「政府衛星データのオープン&フリー化及びデータ利活用促進事業」の取組として提供されている。(テルースの HP より引用)

(*40) Terra MODIS : NASA の Terra 衛星に搭載された中分解能スペクトル放射計。可視から熱赤外にかけて 36 バンドで雲、エアロゾル、水蒸気、海色、プランクトン等を観測する。2330km の観測幅で、1 日から 2 日で全球をカバーできる。

<参考文献>

- [1] 日本学術会議地球惑星科学委員会地球・惑星圏分科会、提言「持続可能な人間社会の基盤としての我が国の地球衛星観測のあり方」、2020年7月14日。
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-t292-4.pdf>
- [2] 気候変動に関する政府間パネル第6次評価報告書 第一作業部会報告書、2021年。
<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPCC_AR6_WGI_SPM_JP.pdf
Summary for Policymakers（政策決定者向け要約）のA.3節及びFull Report の2.3, 3.3, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, Box 8.1, Box 8.2, Box 9.2, 10.6, 11.2, 11.3, 11.4, 11.6, 11.7, 11.8, 11.9, 12.3各節。
- [3] 日本学術会議、回答「研究DXの推進—特にオープンサイエンス、データ利活用推進の視点から—に関する審議について」、2022年12月23日。
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-25-k335.pdf>
- [4] 日本学術会議地球惑星科学委員会地球・惑星圏分科会、提言「我が国の地球衛星観測のあり方について」、2017年7月14日。
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-t247-3.pdf>
- [5] 世界経済フォーラム、「第17回グローバルリスク報告2022年版」、2022年。
https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2022_JP.pdf
- [6] 外務省、「Japan SDGs Action Platform」。
<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/about/index.html>
- [7] 気候変動に関する政府間パネル第6次評価報告書 第一作業部会報告書、2021年。
<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPCC_AR6_WGI_SPM_JP.pdf
Summary for Policymakers（政策決定者向け要約）のA.1節及びFull Report の2.2, 2.3, Cross-Chapter Box 2.3, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.8, 5.2, 5.3, 6.4, 7.3, 8.3, 9.2, 9.3, 9.5, 9.6, Cross-Chapter Box 9.1の各節。
- [8] Zelinka, M. D., T. A. Myers, D. T. McCoy, S. Po-Chedley, P. M. Caldwell, P. Ceppi, S. A. Klein, and K. E. Taylor, 2020: Causes of higher climate sensitivity in CMIP6 models. *Geophys. Res. Lett.*, 47, e2019GL085782
<https://doi.org/10.1029/2019GL085782>
- [9] Cesana, G., and A.D. Del Genio, 2021: Observational constraint on cloud feedbacks suggests moderate climate sensitivity. *Nat. Clim. Change*, 11, No. 3, 213–218,
<https://www.nature.com/articles/s41558-020-00970-y>
- [10] Dutta, S., L. Di Girolamo, S. Dey, Y. Zhan, C. M. Moroney, and G. Zhao, 2020: The reduction in near - global cloud cover after correcting for biases caused by finite resolution measurements. *Geophysical Research Letters*, 47,

e2020GL090313.

<https://doi.org/10.1029/2020GL090313>

- [11] Seto, S., T. Iguchi, R. Meneghini, J. Awaka, T. Kubota, T. Masaki, and N. Takahashi, 2021: The Precipitation rate retrieval algorithms for the GPM Dual-frequency Precipitation Radar. *J. Meteor. Soc. Japan*, 99, 205–237.
<https://doi.org/10.2151/jmsj.2021-011>
- [12] Kubota, T., K. Aonashi, T. Ushio, S. Shige, Y. N. Takayabu, M. Kachi, Y. Arai, T. Tashima, T. Masaki, N. Kawamoto, T. Mega, M. K. Yamamoto, A. Hamada, M. Yamaji, G. Liu, and R. Oki, 2020: Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) products in the GPM era. *Satellite Precipitation Measurement*. Levizzani, V., C. Kidd, D. B. Kirschbaum, C. D. Kummerow, K. Nakamura, and F. J. Turk, (eds.), Springer, Cham, 355–373.
- [13] Hamada, A, and Y. N. Takayabu, 2018: Large-scale environmental conditions related to midsummer extreme rainfall events around Japan in the TRMM region, *J. Climate*, 31, 6933–6945.
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0632.1>
- [14] Yokoyama, C., H. Tsuji, and Y. N. Takayabu, 2020: The effects of an upper-tropospheric trough on the Heavy Rainfall Event in July 2018 over Japan, 98, *Special Edition on Extreme Rainfall Events in 2017 and 2018*, 235–255.
<https://doi.org/10.2151/jmsj.2020-013>
- [15] Takahashi, H. G. and H. Fujinami, 2021: Recent decadal enhancement of Meiyu-Baiu heavy rainfall over East Asia, *Scientific Reports*, 11, 13665.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-93006-0>
- [16] Fujiwara, K., and R. Kawamura, 2022: Appearance of a quasi-quadrennial variation in Baiu precipitation in southern Kyushu, Japan, after the beginning of this century. *SOLA*, 18, 181–186.
<https://doi.org/10.2151/sola.2022-029>
- [17] Miyazaki, K., K. Bowman, T. Sekiya, M. Takigawa, J. L. Neu, K. Sudo, G. Osterman, and H. Eskes, 2021: Global tropospheric ozone responses to reduced NO_x emissions linked to the COVID-19 worldwide lockdowns. *Science Advances*, 7, eabf7460.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.abf7460>
- [18] J-STAGE 伊藤大樹・瀬瀬慎也・須賀利雄、海の研究 28 巻 (4, 5, 6 号) pp. 75 –95 総説「サブメソスケール現象 —これまでの成果と観測研究の展望—」、2019 年.
https://doi.org/10.5928/kaiyou.28.4-5-6_75
- [19] Hirose, H., S. Shige, M. K. Yamamoto, and A. Higuchi, 2019: High temporal rainfall estimations from Himawari-8 multiband observations using the

- random-forest machine-learning method. J. Meteor. Soc. Japan, 97, 689–710.
<https://doi.org/10.2151/jmsj.2019-040>
- [20] Miura, T., S. Nagai, M. Takeuchi, K. Ichii, and H. Yoshioka, 2019: Improved Characterisation of Vegetation and Land Surface Seasonal Dynamics in Central Japan with Himawari-8 Hypertemporal Data. Sci. Rep., 9, 15692.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-52076-x>
- [21] Yanagiya, K., and M. Furuya, 2020: Post - wildfire surface deformation near Batagay, Eastern Siberia, detected by L - band and C - band InSAR. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 125, e2019JF005473.
<https://doi.org/10.1029/2019JF005473>
- [22] Fukushima, Y., S. Toda, S. Miura et al., 2018: Extremely early recurrence of intraplate fault rupture following the Tohoku–Oki earthquake. Nature Geosci 11, 777–781.
<https://doi.org/10.1038/s41561-018-0201-x>
- [23] J-STAGE 中島映至、日本リモートセンシング学会誌 41 巻 2 号 pp. 109–118 「展望—日本リモートセンシング学会の 40 周年を礎に—地球観測衛星の発展と大気科学」、2021 年.
<https://doi.org/10.11440/rssj.41.109>
- [24] NASA Earth Data For Informed Agricultural Decisions, Larger Wheat Harvest In Ukraine Than Expected, 2022 年 12 月.
<https://nasaharvest.org/news/larger-wheat-harvest-ukraine-expected>
- [25] 農林水産省、「農業気象情報衛星モニタリングシステム (JASMAI)」、最終更新日 2023 年 9 月 19 日.
<https://jasmai.maff.go.jp/>
- [26] 佐藤正樹・佐藤芳昭・ほか 13 名、「今後の台風予測研究に関する展望 天気、69、285–294」、2022 年.
https://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2022/2022_05_0041.pdf
- [27] The European Space Agency, Copernicus Sentinel Expansion Missions.
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Copernicus_Sentinel_Expansion_missions
- [28] NASA’s Earth Observing System, Investigation of Convective Updrafts (INCUS)、最終更新日 2023 年 1 月 19 日.
<https://eospsa.nasa.gov/missions/investigation-convective-updrafts-evm-3>
- [29] NASA Earth Data, Earth Science Data System Program, Commercial Smallest Data Acquisition Program, 最終更新日 2023 年 6 月 28 日.
<https://earthdata.nasa.gov/esds/csdp/commercial-datasets>
- [30] Timothy Vines, et al., The Availability of Research Data Declines Rapidly with Article Age, Current Biology, Vol.24, 2014, pp.94–97

<https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.11.014>

- [31] European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Open innovation, open science, open to the world: a vision for Europe, Publications Office, 2016,
<https://data.europa.eu/doi/10.2777/061652>
- [32] OECD, "Making Open Science a Reality", 2015, OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 25, OECD Publishing, Paris.
<https://doi.org/10.1787/5jrs2f963zsl-en>
- [33] American Geophysical Union, "Position Statement on Data", 2019.
https://www.agu.org/Share-and-Advocate/Share/Polymakers/Position-Statements/Position_Data
- [34] 宙畑、『宇宙ビジネスに必要な「宇宙人材」とは？学術界と産業界の融合が生み出す新たな可能性』、2020 年 12 月 28 日.
<https://sorabatake.jp/17165/>
- [35] 長沼祥太郎、科学教育研究 Vol. 39 No. 2, 114-123 「理科離れの動向に関する一考察-実態及び原因に焦点を当てて-」、2015 年.
- [36] 高木秀雄、「全国の地学を学べる高等学校」、2023 年 7 月 20 日（最終更新日）.
https://www.waseda.jp/sem-mylonite55/geo_edu.html
(2023 年 8 月 14 日参照)
- [37] The NASA International Space Apps Challenge
<https://www.spaceappschallenge.org/>
(2023 年 9 月 20 日参照)

<略語>

ADEOS-II: Advanced Earth Observing Satellite - II
AHI: Advanced Himawari Imager
AMSR: Advanced Microwave Scanning Radiometer
AOS: Atmosphere Observing System
ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer
AVNIR-II: Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer-II
AWS: Amazon Web Service
CAS: Chinese Academy of Sciences
CDR: Climate Data Record
CEOS: Committee on Earth Observation Satellites
CMA: China Meteorological Administration
CO2M: Copernicus Anthropogenic Carbon Dioxide Monitoring
COMS: Communication, Oceanography and Meteorology Satellite
CONSEO: Consortium for Satellite Earth Observation
CPR: Cloud Profiling Radar
CRESDA: China Center for Resource Satellite Data and Applications
CSDA: Commercial Smallsat Data Acquisition
DOD: U.S. Department of Defense
DPR: Dual-frequency Precipitation Radar
DX: Digital Transformation
EarthCARE: Earth Clouds, Aerosol and Radiation Explorer
ECV: Essential Climate Variables
EOS: NASA's Earth Observing System
ESA: European Space Agency
ESM: Earth System Mission
ESSP: Earth System Science Pathfinder
EUMETSAT: European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
FAIR: Findable, Accessible, Interoperable, Reusable
GCOM-C/W: Global Change Observation Mission for Climate/Water
GEE: Google Earth Engine
GEMS: Geostationary Environmental Monitoring Spectrometer
GEO: Group on Earth Observations
GEO-KOMPSAT: Geostationary Korea Multi-Purpose Satellite
GMES: Global Monitoring for Environment and Security
GOCI: Geostationary Ocean Color Imager
GOCI-II: Geostationary Ocean Color Imager: Follow-on

GOES: Geostationary Operational Environmental Satellite
 GOSAT: Green-house gas Observing Satellite
 GPM: Global Precipitation Measurement
 GX: Green Transformation
 HISUI: Hyperspectral Imager Suite
 INCUS : Investigation of Convective Updrafts
 INSAT : Indian National Satellite System
 IPCC/AR6 : The Intergovernmental Panel on Climate Change/Sixth Assessment Report
 (邦訳 : 気候変動に関する政府間パネル/第6次評価報告書)
 IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change
 ISRO: Indian Space Research Organisation
 ISS: International Space Station
 JERS-1: Japan Earth Resources Satellite-1
 JPSS: Joint Polar Satellite System
 KARI: Korea Aerospace Research Institute
 KMA: Korea Meteorological Administration
 KOMPSAT: Korea Multi-Purpose Satellite
 LANDSAT: Land Satellite
 MESSR: Multi-spectral Electronic Self-Scanning Radiometer
 METOP: Meteorological operational satellite
 MOS-1: Marine Observatory Satellite -1
 MTG: Meteosat Third Generation
 NASA: National Aeronautics and Space Administration
 NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration
 NRSCC: National Remote Sensing Center of China
 OPS: Optical Sensor
 PMM: NASA Precipitation Measurement Missions
 PR: Precipitation Radar
 PRISM: Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping
 RainCube: Radar in a CubeSat
 RRI: Responsible Research and Innovation
 SAR: Synthetic Aperture Radar
 SDGs: Sustainable Development Goals
 SGLI: Second-generation Global Imager
 TANSO: Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observations
 TEMPEST-D: Temporal Experiment for Storms and Tropical Systems Technology -
 Demonstration on the ISS
 Terra: Earth Observation System - Terra

TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission

USGS: U.S. Geological Survey

VC: Virtual Constellation

VEDAS: Visualisation of Earth Observation Data and Archival System

＜参考資料１＞審議経過

令和３年

- 6月15日 地球観測衛星将来構想小委員会（第１回）
役員の選出、今年度の活動内容・役割分担について
- 7月30日 地球観測衛星将来構想小委員会（第２回）
提言等のあり方について、小委員会今期の予定（提言）について（意思表示資料）、提言の目次の作成と分担
- 10月11日 地球観測衛星将来構想小委員会（第３回）
目次案の確認、３章～６章執筆内容、提言タイトルについて
- 12月15日 地球観測衛星将来構想小委員会（第４回）
提出物の形について（学術会議の決定を受けて）、６章～８章執筆内容について、発出物内容について

令和４年

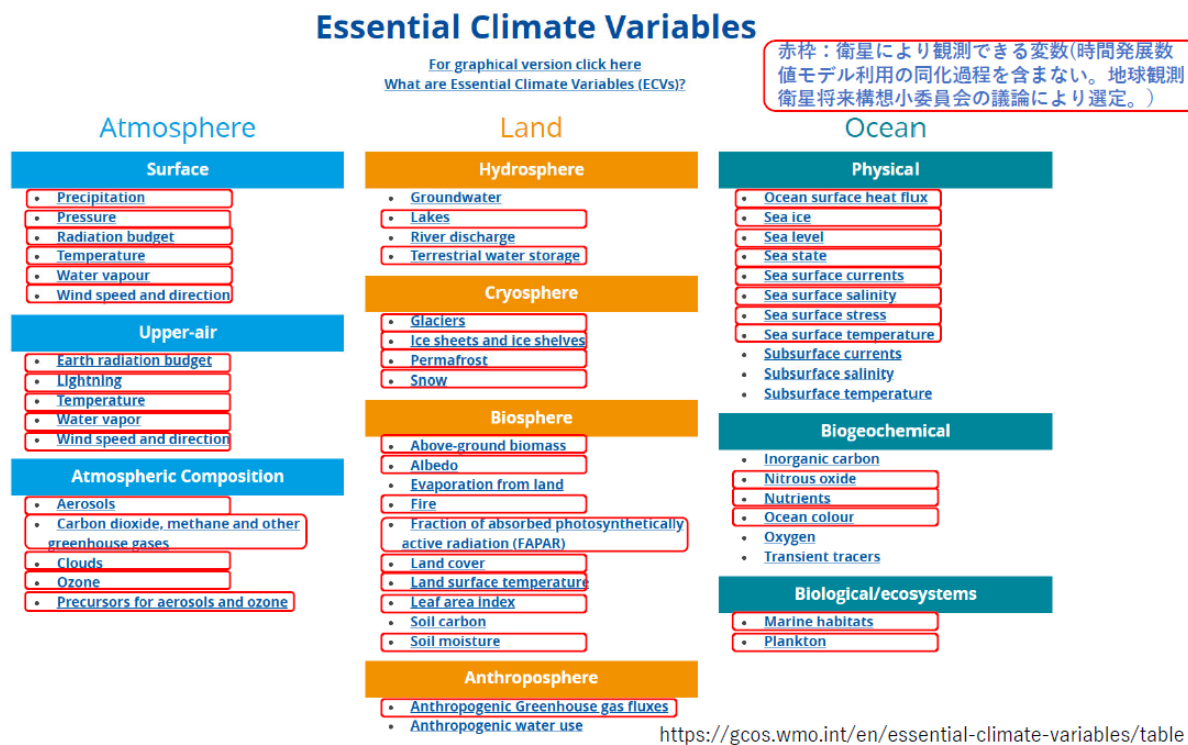
- 3月30日 地球観測衛星将来構想小委員会（第５回）
小委員会からの発出物について、６章～８章執筆内容について
- 6月6日 地球観測衛星将来構想小委員会（第６回）
見解の目次の確認、見解の原稿案の検討
- 9月13日 地球観測衛星将来構想小委員会（第７回）
見解目次の確認、見解３章～５章の原稿の検討
- 11月25日 地球観測衛星将来構想小委員会（第８回）
役員の追加選出について、見解７章～８章及び１章～６章改訂稿の原稿の検討
- 12月26日 地球惑星科学委員会 地球・惑星圏分科会（第６回）
見解の概要及び見解提出の申出書の承認について
- 12月28日 地球惑星科学委員会（第７回）
見解の概要及び見解提出の申出書の承認について

令和５年

- 2月14日 地球観測衛星将来構想小委員会（第９回）
地球・惑星圏分科会、地球惑星科学委員会での意思表示の承認について、「見解」のタイトル及び要旨、各章の原稿についての追加議論
- 9月21日 科学的助言等対応委員会承認
見解「我が国の地球衛星観測に関する統合的戦略立案について」

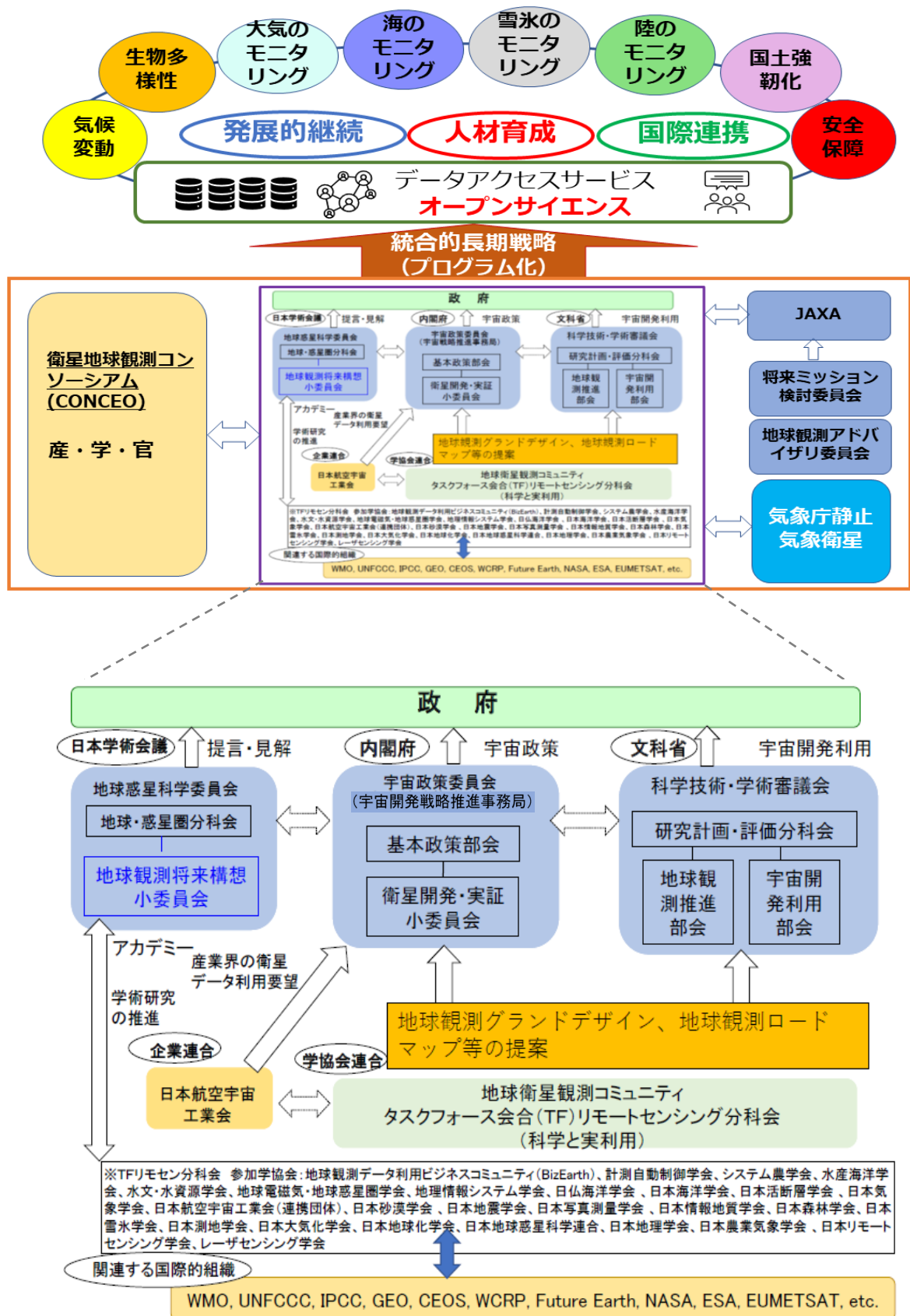
＜参考資料２＞必須気候変数のリストと地球衛星観測可能な変数

世界気候機関（WMO）が発行する全球気候システム（GCOS）実施計画書によって定義された 55 個の必須気候変数のリストと地球衛星観測可能な変数。変数リストは WMO のサイト (<https://gcos.wmo.int/en/essential-climate-variables/table>) より引用。赤枠の衛星観測可能な変数は、地球衛星観測から直接導出することが実証された変数を地球観測衛星将来構想小委員会の専門家による議論により選定。



(出典) WMO のサイト (<https://gcos.wmo.int/en/essential-climate-variables/table>) より引用

<参考資料3>我が国の地球衛星観測に関する組織図と統合的長期戦略構築の在り方
下図は上図のうち下方中央部の拡大



(出典) 地球・惑星圏分科会で作成

<参考資料4>宇宙基本計画工程表（部分）2023年6月改訂

（2）国土強靱化・地球規模課題への対応とイノベーションの実現

年度	令和 5年度 (2023年度)	令和 6年度 (2024年度)	令和 7年度 (2025年度)	令和 8年度 (2026年度)	令和 9年度 (2027年度)	令和 10年度 (2028年度)	令和 11年度 (2029年度)	令和 12年度 (2030年度)	令和 13年度 (2031年度)	令和 14年度 (2032年度)	令和 15年度以 降
5 リモートセンシング①	ひまわり9号の運用・利用【国土交通省】							ひまわり10号の運用・利用 【国土交通省、総務省】			
	ひまわり10号の整備【国土交通省、総務省】							打上げ▲			
	宇宙環境センサの 技術開発【総務省】		ひまわり10号へ搭載する宇宙環境センサ の製造・試験【総務省】								
	地球観測衛星の検討・開発・運用 【内閣府、文部科学省、農林水産省、国土交通省等】										
	先進光学 衛星の再 開発の要 否も含め た検討 【内閣府、文 部科学省、 経済産業省、 農林水産省、 国土交通省 等】	検討を受けた取組の実施(打上げ時期:P) 【内閣府、文部科学省、経済産業省、農林水産省、国土交通省等】									
		開 ▲ 先進レーダ衛星(ALOS-4)の運用・利用 発 打上げ									
		新たなレーダ観測衛星 の開発の検討【内閣府、文 部科学省、農林水産省、国土 交通省等】									
	検討を受けた取組の実施(打上げ時期:P) 【内閣府、文部科学省、農林水産省、国土交通省等】										
	大規模災害時等における情報収集衛星による画像データの利活用【内閣官房等】										
	SIP第3期等における社会実装に向けた検討 【内閣府、文部科学省、国土交通省等】						社会実装・実運用の推進 【内閣府、文部科学省、国土交通省等】				
人工衛星の活用による土砂災害・浸水域の早期把握【国土交通省】											
衛星コンステレーションの活用検討											
土砂移動等の自動判読技術の活用に向けた利用実証											

（2）国土強靱化・地球規模課題への対応とイノベーションの実現

年度	令和5年度 (2023年度)	令和6年度 (2024年度)	令和7年度 (2025年度)	令和8年度 (2026年度)	令和9年度 (2027年度)	令和10年度 (2028年度)	令和11年度 (2029年度)	令和12年度 (2030年度)	令和13年度 (2031年度)	令和14年度 (2032年度)	令和15年度以降
5 リモートセンシング②	GOSAT-GWの開発[文部科学省、環境省] ▲運用・利用 打上げ										
	温室効果ガス観測センサ3型の開発 [環境省]										
	温室効果ガス排出量推計技術の活用、国際標準化 [外務省、環境省]										
	温室効果ガス観測衛星後継機の検討 [環境省]										
	マイクロ波放射計の継続的高度化 [文部科学省]										
	高性能マイクロ波放射計3の開発 後継ミッションの検討										
	雲・降水レーダの継続的高度化 [総務省、文部科学省等]										
	雲エアロゾル放射ミッション (EarthCARE) (ESAが打上げ担当のプロジェクト) ▲ 打上げ 運用・利用										
	降水レーダ衛星の開発 (NASAが打上げ担当のプロジェクト) ▲ 運用・利用 打上げ										
	全球降水観測計画/二周波降水レーダ(GPM/DPR)の降水判定手法における改良検討 [総務省]										

(2) 国土強靱化・地球規模課題への対応とイノベーションの実現

年度	令和 5年度 (2023年度)	令和 6年度 (2024年度)	令和 7年度 (2025年度)	令和 8年度 (2026年度)	令和 9年度 (2027年度)	令和 10年度 (2028年度)	令和 11年度 (2029年度)	令和 12年度 (2030年度)	令和 13年度 (2031年度)	令和 14年度 (2032年度)	令和 15年度以 降
5 リモートセンシング③	各種リモートセンシング衛星の運用及びデータ利活用の促進 ※後期運用は衛星等が運用可能な限り継続 地球観測衛星の着実な運用によるSDGs達成への貢献 [外務省、文部科学省、環境省等] 官民のデータ利活用等による国際協力等の推進 [外務省、文部科学省、環境省等] データ統合・解析システム(DIAS)の解析環境の強化、高度化 [文部科学省] 地球観測ミッションの実装・商業化に向けたプログラムの検討・推進 [文部科学省] 政府衛星データのオープン＆フリー化の確立 [内閣府、文部科学省、経済産業省、国土交通省、環境省等] 「農林水産省地理情報共通管理システム(eMAFF地図)」による農地情報管理の効率化 [農林水産省] 衛星データの活用による農地の現地確認の効率化の実現 衛星画像・ドローン画像の現地確認への活用の検討 宇宙活動法及び衛星リモセン法等の現行制度の適切な運用と必要な見直し [内閣府等] ▲ 施行状況の確認 と所要の措置 ▲ 施行状況の確認 と所要の措置										

(2) 国土強靱化・地球規模課題への対応とイノベーションの実現

年度	令和 5年度 (2023年度)	令和 6年度 (2024年度)	令和 7年度 (2025年度)	令和 8年度 (2026年度)	令和 9年度 (2027年度)	令和 10年度 (2028年度)	令和 11年度 (2029年度)	令和 12年度 (2030年度)	令和 13年度 (2031年度)	令和 14年度 (2032年度)	令和 15年度以 降
5 リモートセンシング④	衛星関連先端技術の開発・実証支援 新規開発・センサ技術の高度化等の検討及びフロントローディングの推進 [内閣府、文部科学省、経済産業省等] 光学観測衛星技術における革新的な技術開発の取組 [文部科学省、経済産業省] デジタルツインの構築に向けた取組 [文部科学省] 小型多波長センサの開発・衛星データ利用実証等の取組 [文部科学省、経済産業省等] 資源探査センサのデータ提供、利活用促進 [経済産業省] ハイパースペクトルセンサの軌道上技術実証 ハイパースペクトルデータを用いた利用実証 高感度小型多波長赤外線センサの開発・実証 国内複数地域における衛星データ利用実証事業 [内閣府、経済産業省等] 民間SAR衛星コンステレーションの利用実証 (再掲) [内閣府等] LバンドSAR技術及び衛星システムの高度化にかかる技術開発の取組 [文部科学省] 衛星の設計・開発・製造プロセスにおけるDXの取組 [文部科学省、経済産業省等]										

(4) 宇宙活動を支える総合的基盤の強化

年度	令和 5年度 (2023年度)	令和 6年度 (2024年度)	令和 7年度 (2025年度)	令和 8年度 (2026年度)	令和 9年度 (2027年度)	令和 10年度 (2028年度)	令和 11年度 (2029年度)	令和 12年度 (2030年度)	令和 13年度 (2031年度)	令和 14年度 (2032年度)	令和 15年度以 降
13 技術・産業・人材基盤の強化①	宇宙技術戦略の策定・ローリング [内閣官房、内閣府、総務省、文部科学省、経済産業省、防衛省等]										
	経済安全保障重要技術育成プログラムの活用[内閣府、経済産業省等]										
	宇宙開発利用加速化戦略プログラム(スターダストプログラム)による基盤技術開発(再掲)[内閣府等]										
	在外公館等との連携(再掲)[内閣府、外務省、文部科学省]										
	先端・基盤技術開発の強化 [内閣府、総務省、文部科学省、経済産業省、防衛省等]										
	JAXAにおける先端・基盤技術開発能力の一層の強化 JAXAにおける企業・大学等に研究資金を戦略的かつ弾力的に供給する機能の強化 [内閣府、総務省、文部科学省、経済産業省]										
	商業化に向けた支援の強化 [内閣府、総務省、文部科学省、経済産業省等]										
	国・JAXA等から企業等の技術開発に対する支援[文部科学省、経済産業省]										
	宇宙用部品の環境試験データが安価・短納期で取得・共有される仕組みの構築[文部科学省、経済産業省]										
	先進的な製造・開発手法の適用、政府衛星及び商業衛星の開発効率化[文部科学省、経済産業省]										

(出典) 内閣府 HP 宇宙基本計画工程表 (2023年6月13日 宇宙開発戦略本部決定)

<参考資料5> TF2021 年試行公募に対する応募研究テーマの分布

(出典) 日本学術会議地球惑星科学委員会地球・惑星圏分科会、提言「持続可能な人間社会の基盤としての我が国の地球衛星観測のあり方」(2020 年) からその後の公募と議論を経て改訂

