

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



令和2年（2020年）7月14日

日本学術会議

地球惑星科学委員会

地球・惑星圏分科会

この提言は、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	田近 英一	(第三部会員)	東京大学大学院理学系研究科教授
副委員長	大谷 栄治	(連携会員)	東北大学名誉教授
幹事	関 華奈子	(連携会員)	東京大学大学院理学系研究科教授
幹事	山岡 耕春	(連携会員)	名古屋大学大学院環境学研究科教授
	川村 光	(第三部会員)	大阪大学大学院理学研究科教授
	木村 学	(第三部会員)	東京海洋大学海洋資源環境学部特任教授
	中村 尚	(第三部会員)	東京大学先端科学技術研究センター教授・副所長
	藤井 良一	(第三部会員)	情報・システム研究機構機構長
	相川 祐理	(連携会員)	東京大学大学院理学系研究科教授
	東 久美子	(連携会員)	情報・システム研究機構国立極地研究所教授
	石渡 明	(連携会員)	原子力規制委員会委員
	大久保修平	(連携会員)	東京大学名誉教授
	奥村 晃史	(連携会員)	広島大学大学院文学研究科教授
	川幡 穂高	(連携会員)	東京大学大気海洋研究所教授
	北里 洋	(連携会員)	東京海洋大学海洋資源環境学部特任教授
	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准教授
	高藪 縁	(連携会員)	東京大学大気海洋研究所教授・副所長
	津田 敏隆	(連携会員)	情報・システム研究機構理事
	中島 映至	(連携会員)	国立環境研究所衛星観測センター シニアアドバイザー
	永原 裕子	(連携会員)	日本学術振興会学術システム研究センター副所長
	中村 卓司	(連携会員)	情報・システム研究機構国立極地研究所所長
	中村 正人	(連携会員)	宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所教授
	新野 宏	(連携会員)	東京大学名誉教授
	西 弘嗣	(連携会員)	東北大学学術資源研究公開センター教授
	花輪 公雄	(連携会員)	東北大学理事
	原田 尚美	(連携会員)	海洋研究開発機構地球表層システム研究センターセンター長
	福田 洋一	(連携会員)	情報・システム研究機構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
	堀 利栄	(連携会員)	愛媛大学大学院理工学研究科教授
	益田 晴恵	(連携会員)	大阪市立大学大学院理学研究科教授
	藪田ひかる	(連携会員)	広島大学大学院理学研究科教授
	山形 俊男	(連携会員)	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)	東京薬科大学名誉教授
	渡邊 潤一	(連携会員)	自然科学研究機構国立天文台教授

渡部誠一郎 (連携会員)

名古屋大学大学院環境学研究科教授

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将来構想小委員会

委員長	高藪 縁 (連携会員)	東京大学大気海洋研究所教授・副所長
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	高橋 暢宏	名古屋大学宇宙地球環境研究所教授・副所長
	中村 尚 (第三部会員)	東京大学先端科学技術研究センター教授・副所長
	藤井 良一 (第三部会員)	情報・システム研究機構 機構長
	沖 大幹 (連携会員)	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)	国立環境研究所衛星観測センター シニアアドバイザー
	福田 洋一 (連携会員)	情報・システム研究機構国立極地研究所特任教授
	村山 泰啓 (連携会員)	情報通信研究機構戦略的プログラムオフィス研究統括
	今村 剛	東京大学新領域創成科学研究科教授
	岡本 幸三	気象庁気象研究所気象観測研究部第三研究室室長
	岡本 創	九州大学応用力学研究所主幹教授・所長
	沖 理子	宇宙航空研究開発機構第一宇宙技術部門上席研究員
	金谷 有剛	海洋研究開発機構上席研究員
	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
	中島 孝	東海大学情報理工学部教授
	中島 英彰	国立環境研究所地球環境研究センター主席研究員
	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	東京都立大学大学院都市環境科学研究科教授
	横田 達也	東洋大学情報連携学部教授

本提言の作成にあたり、以下の方々に協力をいただいた。

石坂 丞二
祖父江真一

名古屋大学宇宙地球環境研究所教授
宇宙航空研究開発機構第一宇宙技術部門宇宙利用統
括付技術領域主幹

本提言の作成に当たっては、以下の職員が事務を担当した。

事務 犬塚 隆志
五十嵐 久留美
横田 真理江

参事官(審議第二担当)
参事官(審議第二担当)付参事官補佐
参事官(審議第二担当)付審議専門職付

要 旨

1 作成の背景

日本学術会議は2017年7月14日に提言「我が国の地球衛星観測のあり方について」を発出した。この提言は、現代社会において国民の安全な社会生活を科学技術的に支えるために必須の社会基盤となっている地球を観測する人工衛星の将来計画について現状と問題点を洗い出し、我が国の地球衛星観測が将来にわたって国民生活のための健全な環境の維持に貢献し国際的に評価される役割を果たすために何がなされるべきかを示した。

その後の2年余、提言に沿った活動により様々な進展がみられた。一方でこの短期間にも世界各地で極端現象による自然災害の頻発が報告され、気候変動との関連が指摘された。我が国でも2018年-2019年には度重なる自然災害が甚大な人的被害と経済的損失をもたらした。国連国際防災戦略（UNISDR）は、1998年から2017年の20年間の自然災害による世界の経済損失額を325兆円と見積り、そのうち気候変動によるものは77%の250兆円を占めると報告した^[1]。国別では、日本は国土の狭さにも拘わらず米国、中国に次ぐ3位であり、20年間に約43兆円の経済損失を気候変動関連の自然災害から被ったとした。

こうした状況の下、第24期地球・惑星圏分科会では、「地球観測将来構想検討小委員会」を設置して2017年の提言についてフォローアップを行い、「広義の安全保障体制の強化」の喫緊性を強調した我が国の地球衛星観測体制のあり方を議論し、本提言をとりまとめた。

2 現状及び問題点

頻発する自然災害等による国民社会の損害を最小限に抑える「広義の安全保障体制」の強化が喫緊に必要であり、そのためには地球衛星観測の有効性を最大限に引き出した長期計画により社会基盤を維持する必要がある。しかるに2020年度の宇宙基本計画の改訂方針^[2]は、宇宙防衛を主眼においた狭義の安全保障及び宇宙の産業利用、国際宇宙探査の拡大に集約しており、持続的な人間社会の基盤としての地球衛星観測計画の将来を十分に見通すことができない。

3 提言

(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

政府は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を認識し、これに立ち向かうことは重要な「広義の国家安全保障」と捉え、迅速且つ適切な適応策を打つべきである。そのためには、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必要がある。しかしながら現在の宇宙基本計画工程表においては、気候変動問題に関わる地球の水・エネルギー循環・植生等の科学に関する衛星観測が「その他」のカテゴリに分類され、将来にわたる計画の維持すら不明である。宇宙基本計画工程表において気候変動問題に関連する計画は「地球環境観測（仮）」としてカテゴリを設け、持続可能な開発目標（SDGs）・フューチャー・アース^(*)への貢献と国民の広義の安全保障とを共に目指すため、現象解明のための多様な項目のデータ取得と長期モニタリングとの双方を必要とする地球環境観測の要請を満たすよう工夫された持続的衛星計画を策定すべきである。

(2) 地球衛星観測の戦略的計画推進の仕組み

現在、産学連携コミュニティから、「地球観測グランドデザイン」などボトムアップの地球衛星観測計画が提案されている。持続可能な人間社会の基盤としての地球衛星観測の戦略的計画推進のためには、産学コミュニティと緊密に連携したトップダウン的判断も重要であり、文部科学省と内閣府の宇宙政策委員会との地球衛星観測に関する情報交換体制の強化・拡充が必要である。そのため、文部科学省の地球観測推進部会と宇宙開発利用部会の下に「地球衛星観測委員会（仮称）」を、宇宙政策委員会の宇宙産業・科学技術基盤部会と宇宙民生利用部会の下に「地球観測小委員会（仮称）」を設置し、この2つの委員会が連携して、地球衛星観測の、予算計画を含む長期的戦略を明示し、我が国の適切な貢献を推進すべきである。同時に、国土交通省、農林水産省、環境省、気象庁などの関連省庁による府省庁連携を一層進めるべきである。

(3) 観測データアーカイブ体制の構築と利活用の促進

上記を実現させるための社会基盤として、国は地球衛星観測データの継続的な利活用を促進する「地球観測データリポジトリ（仮称）」の確立を推進すべきである。そこでは、地球観測データの処理から専門的な整備までを扱い、衛星観測及び関連データも含む、新旧データのアーカイブとリアルタイム利用を可能とする計算機環境とネットワークサービス体制を充実すると共に、観測情報を利用しやすく編集して伝える技術を備えた専門研究職の確保などを通じてデータ利活用の促進を図る。人工衛星ネットワークによる防災情報をリアルタイムに自治体が活用できる仕組みも確立すべきである。

その際、2017年の提言に示された「利用者の視点や要望を柔軟に取り込む仕組み、高い永続性、堅牢性、国際性、可用性、データのオープン化に関する検討」の具体化を急ぐべきであり、国際的に議論されている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)のデータ原則の考え方も取入れ、社会に開かれたデータ共有を推進する体制を作るべきである。

(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

地球衛星観測における技術力の向上、地球観測特有の大容量データ取扱いの高度化のためには、それを担う人材育成の強化が喫緊に必要である。そのため、国は多様な研究者・技術者からなる産官学の英知を結集した人材育成体制の構築を強力に推進すべきである。地球観測衛星の企画立案から実現には数年から10年程度の時間を要し、ミッションの継続性も重要であるため、大学院生など若手も参加する産官学チームの構築が望ましい。地方自治体の地球観測情報活用能力の育成も推進すべきである。衛星、航空機、気球観測を連携した教育も有効であろう。日本の中核宇宙機関である宇宙航空研究開発機構（JAXA）、大学、気象庁など関連官庁、産業界での人材育成プログラムの連携や、日本地球惑星科学連合での産官学の議論を通じた教育が期待される。このような人材育成のためには、初等・中等・高等教育から地球観測の魅力と重要性を伝える教育も重要であり、地学・地理教育の普及にも力を入れることが望ましい。

目 次

1	はじめに.....	1
2	2017年提言のフォローアップ	2
	(1) 2017年提言内容の抜粋	2
	(2) 2017年提言後の進展	2
	①地球衛星観測の戦略的計画推進について.....	2
	②地球衛星観測コミュニティの強化と将来計画立案への貢献について.....	2
	③観測データアーカイブ体制の構築と利活用の促進について.....	3
	④人材育成の体制強化と地球環境リテラシーの向上について.....	3
	(3) 実現に向けた課題.....	4
	①地球衛星観測の戦略的計画推進について.....	4
	②地球衛星観測コミュニティの強化と将来計画立案への貢献について.....	4
	③観測データアーカイブ体制の構築と利活用の促進について.....	5
	④人材育成の体制強化と地球環境リテラシーの向上について.....	5
3	地球衛星観測状況の変化と対策の必要性.....	5
	(1) 科学的状況.....	5
	(2) 社会的要請.....	8
	(3) 技術的状況と方向性.....	10
	(4) 国際動向.....	12
	(5) データアーカイブ体制.....	15
	(6) 地球衛星観測をめぐる体制と課題.....	16
	① TF分科会の歴史と経緯	16
	② TF分科会活動の紹介	17
	③ トップダウン計画との相乗効果を目指すための体制の強化の必要性.....	18
4	提言	19
	(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.....	19

(2) 地球衛星観測の戦略的計画推進の仕組み	19
(3) 観測データアーカイブ体制の構築と利活用の促進	20
(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	20
<参考文献>	21
<用語解説>	22
<略語>	23
<参考資料1>地球惑星科学委員会地球・惑星圏分科会 地球観測将来構想小委員会審議経過	26
<参考資料2>我が国の地球衛星観測に関する組織図（2017年提言「我が国の地球衛星観測のあり方について」<参考資料4>）	27
<参考資料3>宇宙基本計画工程表（部分）（2019年12月改訂）	28
<参考資料4>地球観測グランドデザインのための応募提案（T1-T24）と将来ミッションの検討（TF分科会活動）	29

1 はじめに

日本学術会議は2017年7月14日に提言「我が国の地球衛星観測のあり方について」を發出した。この提言は、現代社会において国民の安全な社会生活を科学技術的に支えるために必須の社会基盤となっている地球を観測する人工衛星の将来計画について現状と問題点を洗い出し、我が国の地球衛星観測が将来にわたって国民生活のための健全な環境の維持に貢献し国際的に評価される役割を果たすために何がなされるべきかを示した。

その後の2年余、提言に沿って様々な活動が行われてきた。一方でこの短期間に、自然災害が我が国に度重なる甚大な被害をもたらした。2018年に7月豪雨と引き続き猛暑、強風をもたらした関西空港の閉鎖に及んだ台風21号、北海道胆振東部地震、2019年には9月の台風15号、10月の令和元年東日本台風(19号)による豪雨など、追い打ちをかけるようにこれまでにない規模の災害が多発した。世界各地で極端現象による自然災害の頻発が報告され、気候変動との関連が指摘されている。国連国際防災戦略(UNISDR)によると、1998年から2017年の20年間の自然災害による世界の経済損失額は325兆円と見積もられており、そのうち気候変動によるものは77%を占めると報告されている^[1]。国別では、日本は国土の狭さにも拘わらず米国、中国に次ぐ3位であり、20年に約43兆円の経済損失を気候変動と関連した自然災害から被ったと見積もられた。また2019年の気候変動枠組み条約第25回締結国会議(COP25)においてドイツの環境NGOは「2018年の1年間に異常気象によって世界で最も深刻な被害を受けたのは日本である」との解析結果を発表した。近年の日本近海の海面水温の上昇率(100年あたり+1.12℃)は世界平均(100年あたり+0.54℃)を大きく上回っており^[3]、様々なデータが、我が国が気候変動の影響を受けやすい地域にあることを示している。

気候変動による災害の多発は、社会を疲弊させ国力を損なわせる。政府は自然災害等による国民社会の損害を最小限に抑えることを「広義の安全保障体制」と認識し、対策の強化に力を入れるべきである。適切な適応策のためには、当然ながら気候変動が異常気象をもたらす仕組みを知る必要があるが、例えば豪雨や猛暑をもたらす大気のしくみについても科学的な理解はまだ不十分で、まして気候変動による変化については十分に議論できない。したがって、地球規模の観測は、温暖化物質の観測・監視のみならず、地球の大気循環・水循環の仕組みの理解を深める必要があり、それを通して将来予測のための数値モデルの改良にも貢献しなければならない。そのための衛星の地球観測利用は非常に重要な社会基盤であり維持しなければならない。

持続可能な世界のためのSDGsの達成とフューチャー・アースの目標に向かう活動に我が国も貢献する責任がある。そのために、国際的な協力の下、日本が現在優位な技術をもつ分野を生かした地球観測の基盤整備は世界への大きな貢献となる。2019年度に進められている宇宙計画基本法の改訂方針^[2]は、宇宙防衛、宇宙の産業利用、国際宇宙探査の拡大に集中しているが、宇宙は世界の人類の生活を守るために役立てることのできる重要な基盤である。我が国においても地球環境観測独特の必要性に特化して工夫された持続的衛星計画を策定し、地球観測の維持・強化を図ることによって、我が国の持続的な貢献を

示してこそ、これまでの努力で獲得してきた世界からの信頼を維持・強化することができる。今回、2017年の提言についてフォローアップを行い、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を議論することとした。

2 2017年提言のフォローアップ

(1) 2017年提言内容の抜粋

- ① 地球衛星観測の戦略的計画推進が必要である。特に、文部科学省において地球観測推進部会と宇宙開発利用部会とをリエゾンする委員会を設け、衛星計画のグランドデザインと各ミッション案の審議を行うべきである。また、宇宙政策委員会の宇宙産業・科学技術基盤部会と宇宙民生部会の下に小委員会を設けて上記文部科学省の審議結果を受け、衛星観測に関する政策を議論し宇宙基本計画に反映させて実現する場を確保するべきである<参考資料2>。
- ② 地球衛星観測コミュニティの強化と将来計画立案への貢献が必要である。そのため大学・研究機関、関係省庁、民間企業が有機的に協力できる包括的地球観測衛星コミュニティを強化し衛星観測に関する長期戦略の議論の場とすべきである。
- ③ 観測データアーカイブ体制の構築と利活用を促進するため、「地球観測データ電子図書館（仮称）」を設立すべきである。
- ④ 人材育成の体制強化と地球環境リテラシーの向上を図るべきである。

(2) 2017年提言後の進展

① 地球衛星観測の戦略的計画推進について

宇宙航空研究開発機構（JAXA）は、2017年12月にGCOM-C（しきさい）を、2018年10月に環境省と共にGOSAT-2（いぶき2号）を打上げ、双方共に順調に観測を開始・継続している。2019年12月にはHISUIが国際宇宙ステーション（ISS）に搭載された。

気象・水循環関連で継続が重要なAMSR3は、「いぶき2号」後継機（GOSAT-GW）への相乗りの形で宇宙基本計画の工程表に掲載された。また、文部科学省-宇宙政策委員会間の地球衛星観測に関する情報交換強化のため、文部科学省の「宇宙開発利用部会」及び内閣府宇宙政策委員会の「宇宙民生利用部会」に各々1名の地球衛星観測関連の委員が加わり、情報共有について一定の改善が実現したが、両委員会共に他の審議事項も多く、地球観測の進め方に関する実効性のある議論を行うには不十分であった。

② 地球衛星観測コミュニティの強化と将来計画立案への貢献について

Task Force リモートセンシング分科会（TF分科会：3-（6）節参照）の活動を強化し、25の学協会の参加の下で地球科学が解決すべき問題及び地球衛星観測の将来計画についての議論の場を活性化した。これにより、地球衛星観測に関する長期的戦略の議論の場として、大学・研究機関、民間企業等が有機的に協力する包括的地球衛星観測コミュニティの強化が実現した。

TF 分科会では地球科学研究高度化ワーキンググループを設置し、コミュニティの協力のもと地球衛星観測の現状と将来構想に関わる世界動向を分析し、気象研究ノート第 234 号「地球観測の将来構想に関わる世界動向の分析」を編纂し発行した（2017 年 10 月 16 日 日本気象学会）。また、地球衛星観測のロードマップの作成を含む TF コミュニティの議論の中で「地球観測グランドデザイン」を制定し公開した（2018 年 4 月 19 日）。この地球観測グランドデザインは、2018 年 4 月に行われた宇宙機関の連合委員会である地球観測衛星委員会（CEOS）の第 33 回戦略的実装チーム（SIT）においても報告され、ボトムアップ型の提案が日本のコミュニティで生まれたことについて大きな関心が寄せられた。またこのグランドデザインを基礎に、日本学術会議の大型研究計画の公募に対し、TF 分科会からの提案が実現した。

その後 2018 年 9 月に、「地球観測グランドデザイン」の改訂のため、地球観測ミッションを試行公募したところ、24 件に上る提案が集まった。これらの提案内容を審議し、グランドデザインの改訂作業が行われている。

以上のように、TF 分科会活動の強化に伴い、大学・研究機関、民間企業等のユーザーコミュニティからのボトムアップの議論とグランドデザイン構築活動が機能してきた。また、シンポジウムや TF 分科会会合などへの関係省庁からの参加も回を重ね、関係省庁との情報交換も行われ、府省庁連携も進んでいる。地球衛星観測の重要性については、学術コミュニティにおいても確固とした認識があり、日本学術会議の夢ロードマップには、地球衛星観測の将来にわたっての重要性が示された。

③ 観測データアーカイブ体制の構築と利活用の促進について

近年、地球、宇宙、環境といった分野の二度と再現できない観測データを歴史資料と同じく人類の資産として取り扱うべく、国際的な学協会において提言やステートメントが取りまとめられて発表されている。日本では、行政府や日本学術会議その他においてオープンサイエンスデータの共有の推進が強く求められている。オープンサイエンスの枠組みの中では研究データの整備、共有、公開の活動を学術にとって不可欠な業績として評価することも重要とされ、その文脈でデータに DOI (Digital Object Identifier) を付与し公開するという活動も国際的に始まっている。

また、我が国では現在さまざまな機関において、地球観測衛星データのアーカイブ（e. g. ひまわり）と ICT を通して広範囲のユーザーを想定した利用のプロジェクト（e. g. Tellus : プロジェクト終了後に商用利用化）が立ち上げられている。

④ 人材育成の体制強化と地球観測リテラシーの向上について

日本地球惑星科学連合（JpGU）における衛星観測セッション等を通じて大学院生や若手研究者を含む多数の関係者に衛星観測の重要性を周知している。さらに、日本気象学会、日本リモートセンシング学会、JpGU では、ジュニアセッションなどの教育活動も活発に行われている。

(3) 実現に向けた課題

① 持続可能な人間社会の基盤としての地球衛星観測の戦略的計画推進

2006年に英国財務省から発表された「気候変動の経済学」についての報告、いわゆるスターン報告は、地球温暖化・気候変動に対する対策を即座に行動に移さない場合、世界経済は深刻な打撃を受けることを予測している。国連気候アクションサミットでの議論等、気候変動対策の必要性は中高生まで含めた社会の大きな関心事となっているところである。我が国では2018年12月に気候変動適応法が施行され国家レベルでの総合的な対策が始まった。有効な適応策のためには、精確な地球環境の監視のための地球観測システムの維持・拡充は必要であり、日本もその責任の一端を担っていくことが世界から期待されている。それにも拘わらず、地球環境・気候変動対策関連について将来計画が見えるのはALOS(だいち)及び担当機関が経費を担うGOSAT(いぶき)と静止気象衛星のシリーズに限られ、それ以外は将来計画の見通しが未だ不透明である。ただし、AMSR3はGOSAT-GWへの相乗りで開発開始が決定した。

真に国力を保つためには、災害や気候変動などによる社会の損害を最小限に留めることが重要である。その有効な対策を立案・実施するためには、地球環境の成り立ちや変化の要因を理解し監視しなければならない。これは我が国独自の観測手段を有することと共に「広義国家安全保障」と認識すべきであり、地球衛星観測は国民の安全のために必須な社会基盤である。ここには国際協力が必須であり、世界と協働してSDGs達成やフューチャー・アースの目標に向かって、地球環境観測独特の必要性に特化して工夫された持続的衛星計画を策定し、我が国に強みのある地球衛星観測技術を通して国際的に期待される役割を継続的に担うことが重要である。地球環境観測こそ、国策で担うべき喫緊の課題といえる。

すなわち、持続可能な人間社会の基盤としての地球衛星観測の戦略的計画推進のためには、産学コミュニティとの緊密な連携に基づく国策によるトップダウン的判断も重要であり、文部科学省と宇宙政策委員会との間の地球衛星観測に関する情報交換体制は、現在まだ産官学連携の議論の場が不足しており、更なる強化・拡充が必要である。そのため、文部科学省の地球観測推進部会と宇宙開発利用部会の下に「地球衛星観測委員会(仮称)」を、宇宙政策委員会の宇宙産業・科学技術基盤部会と宇宙民生利用部会の下に「地球観測小委員会(仮称)」を設置し、この2つの委員会を連携することにより、地球衛星観測における我が国の適切な貢献を推進すべきである<参考資料2>。同時に、国土交通省、農水省、環境省、気象庁などの関連省庁による府省庁連携を進めるべきである。

② 地球衛星観測コミュニティの強化と将来計画立案への貢献について

前述のTF分科会活動は、今後、関係省庁も含めたコミュニティとして更に強化することが必要である。また、TF分科会がボトムアップ的に作成している「地球観測グラ

ンドデザイン」についての専門家の審査による計画評価、及び、トップダウン計画との相乗効果も含む審議を継続的に行う仕組みができていない。この仕組みを早急に構築すべきであり、そのためには、2017年の提言にも示された「地球衛星観測委員会(仮称)」の設置が必要である

③ 観測データアーカイブ体制の構築と利活用の促進について

衛星観測コミュニティ、及び、民間や地方自治体等様々な立場の利用者に対しても、地球衛星観測情報の迅速且つ継続的な利活用を促進する「地球観測データリポジトリ(仮称)」の確立が必要である。そこでは、観測とデータアーカイブのリアルタイム連携が可能な計算機とネットワーク環境の構築と共に、観測情報を利用しやすく編集し伝える技術を備えた専門研究職の確保など、利活用促進を図る。また、2017年の提言に示されている「利用者の視点や要望を柔軟に取り込む仕組み、高い永続性、堅牢性、国際性、可用性、データのオープン化に関する検討」の具体化を図るべきである。

④ 人材育成の体制強化と地球観測リテラシーの向上について

地球衛星観測における技術力の向上、地球観測特有の大容量データ取扱いの高度化のためには、それを担う人材育成の強化が喫緊に必要である。そのため、国は多様な研究者・技術者からなる産官学の英知を結集した人材育成体制の構築を強力に推進すべきである。地球観測衛星の企画立案から実現には数年から10年程度の時間を要し、ミッションの継続性も重要であるため、大学院生など若手も参加する産官学チームの構築が望ましい。地方自治体の地球観測情報活用能力の育成も推進すべきである。衛星、航空機、気球観測を連携した教育も有効であろう。日本の中核宇宙機関である JAXA、大学、気象庁など関連官庁、産業界での人材育成プログラムの連携や、日本地球惑星科学連合での産官学の議論を通じた教育が期待される。このような人材育成のためには、初等・中等・高等教育からの地球観測リテラシー教育も重要であり、地学・地理教育の普及にも力を入れることが望ましい。

3 地球衛星観測をとりまく状況の変化と対策の必要性

2017年の提言においては、地球衛星観測の歴史、及び、科学と実用における地球衛星観測の利用の現状と課題について説き起こした。ここでは、地球衛星観測をとりまく状況について、2017年以降の進展と課題に焦点を当て、様々な観点から考察する。

(1) 科学的状況

現在我々は人類がかつて経験したことのないスピードの気候変動に直面している。また、世界の各地で激甚な気象災害の増加が報告されている。気候システムは、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)などの長寿命温室効果ガスと対流圏オゾン、黒色炭素などの短寿命気候汚染物質による加熱、エアロゾルによる加熱と冷却、それら

が変化することによって引き起こされる雲と降水の変化による加熱と冷却、それらとバランスする大気や海洋の循環の変化によって決定される。気候変動予測モデルによる今後 100 年間の全球平均の気温の上昇幅について、比較実験からは、モデル間で 2℃程度という大きい不確定性が存在している。このように大きな不確定性の要因は、複数の要素の相互作用が複雑であり、理解が不十分であることである。また、温度上昇の程度により極端気象の増減がどの地域でどの度合いで現れるかの予測も未解明である。地球観測からこれらの諸要素を把握すると同時に、地球全体での大気海洋大循環、水・エネルギー循環と放射収支の観点から不確定性の要因を明らかにすること、さらに観測による検証を通して放射、雲微物理、降水、対流等のモデルプロセスを改良することが、気候変動とその影響の予測精度を向上させ、持続可能な社会を構築するために必要である。

近年、短寿命気候汚染物質の衛星観測に進展があった。2017 年に欧州宇宙機関 (ESA) が打ち上げた Sentinel-5P 衛星搭載 TROPOMI、2018 年に日本が打ち上げた「いぶき 2 号」搭載 TANSO-FTS-2 による一酸化炭素のコラム平均濃度の観測が開始された。2020 年には GEMS が搭載された韓国の静止軌道衛星の打ち上げが計画され、従来からある雲・水蒸気・エアロゾルに加え、短寿命気候汚染物質についても日変化を追跡できることになる。ただし、短寿命気候汚染物質源の局所性や対流圏化学過程の非線形性を考慮すると、将来は、より高水平分解能 (1-2km 程度) の観測の実現が望まれる。

気候変動予測の大きな不確定性の要因のうち、7割程度は雲によるものとされる^[4]。連続観測する雲レーダ搭載衛星 CloudSat とライダー搭載衛星 CALIPSO による雲の鉛直分布の長期データ取得は、従来に比べ地表面下向き長波放射は約 10W/m²程度、降水量と潜熱は 10%程度増加する新たな知見をもたらした。一方で頻繁に使われている全球降水プロダクト GPCP との降水量推定の差など、新たな議論も生じている^[5]。ライダーによる雲に関する 3つの全球プロダクト間の大きな差^[6]、2つの衛星観測で見積もられる雲微物理量と雲底高度の推定誤差に由来する下向き長波放射量推定の不確定性、マイクロ波放射計による海岸付近の降雨の過小評価等が議論されているが、未だ決着していない^[7]。

集中豪雨等の極端現象発生のメカニズムや、極端現象と地球温暖化との関係も十分理解されていない。日本を襲った 2018 年の 7月豪雨及び 7月中旬以降の記録的な高温の背景として、気象庁は、地球温暖化に伴う気温の上昇と水蒸気量の増加を指摘し、大気の流れの特徴についても注意を促している^[2]。熱帯降雨観測計画 (TRMM) 衛星及び全球降雨観測計画 (GPM) 主衛星搭載の降水レーダの蓄積によって、日本域に豪雨をもたらす降水システムについての知見が書き換えられ、比較的安定な大気環境で広域な豪雨が発生することが新たに示された^[8]。GPM 主衛星搭載二周波降水レーダ (DPR) によって、地球上で最大の地表気温上昇を経験している北半球の高緯度大陸地域において、激しい対流性ストームが発生していること^[9]、また従来知られていなかったグリーンランド沖で、大粒の雹などの激しい固体降水が生じていること^[10]がわかってきた。極端降雨の変化の監視は人間社会にとって極めて重要であり、降水レーダの観測継続による長期観測が期

待される。

エアロゾル-下層雲-降水の遷移過程の理解も不十分である。CloudSat や CALIPSO に比べて高感度のドップラー雲レーダや高スペクトル分解ライダーを搭載する EarthCARE 衛星の打ち上げや、米国で 2017 年にまとめられた 10 年計画 (decadal survey) では、エアロゾル、雲、対流、降水 (ACCP) で計画される雲レーダ・降水レーダ・ライダー複合同時観測への期待が高まっている。

北極域は気候変動が最も顕著に現れる地域であり、急速な環境変化のモニタリングの必要性が認識されている。AMSR2 は、2019 年には 2012 年に次ぐ 2 番目に大きな海氷減少を観測した。今後も途切れることのない連続した衛星観測が重要である。北極圏で雪氷が融解し、それに伴って発生したダスト粒子によって氷粒子の濃度が 1 桁以上高くなるのが地上観測から示唆されるなど新たなプロセスも見つかっており^[11]、エアロゾルの物理化学特性、雲と地表面アルベド等、大気・地表面過程の極域全域での衛星複合観測が望まれる。

全球炭素循環の理解には、森林バイオマスの量と変化の把握も必要であるが、データが決定的に不足している。広域観測が可能な光学画像や SAR は森林密度の高い領域では飽和してしまい、精度が悪化する。ICESat 搭載のライダーがこの見積もりに役立つことが近年わかってきたが、その低いサンプリング周波数 (40Hz) と大きなフットプリント (70m) のため、適用可能範囲は限定的である^[12]。より高い周波数 (150Hz) 且つより小さいフットプリント (25m) のスペックを持つ植生ライダー MOLI の観測が、森林バイオマス推定精度を向上させると期待されている^[13]。

海洋観測では、2017 年 12 月の国連総会で、持続可能な開発のための国連海洋科学の 10 年 (2021-2030) が宣言され、その実現に向けてユネスコ政府間海洋学委員会が実施計画策定機関として、取り組みを始めている。2019 年 9 月には 10 年に一度の全球海洋観測の方向性を議論する会議 OceanObs19 が開催され、衛星による全球海洋観測の重要性が確認された。

風観測とそのデータ同化では大きな進展があり、2018 年に ESA が打ち上げた紫外波長のドップラーライダーを搭載する Aeolus 衛星によって、水平風の高度 25km 以下の鉛直分布観測が宇宙から初めて実現した。欧州中期気象予報センター (ECMWF) によるドップラー風速の初期同化実験の結果は良好であり、今後急速に衛星ドップラーライダー利用が進展すると思われる。数値予報モデルの予報精度向上やプロセス研究のためには、現在東西風のみである観測を、今後、南北風ないし鉛直流へ展開していくことが望まれる。

気候変動予測モデルにおける衛星利用手法にも近年進展があった。気候変動に関する政府間パネルに資するための第 6 期結合モデル比較実験 (CMIP6) では、衛星シミュレータ (COSP) を介した衛星観測による検証が標準となってきた^[14]。日本では、Joint-Simulator の^[15]、ヨーロッパでは ECSIM^[16]の開発がそれぞれ行われ、コミュニティの間で利用が広まってきた。高解像度モデリングも急速に進展している。全球雲解像モデル比較実験 DYAMOND がスタートし^[17]、NICAM をはじめ 9 機関のモデルが参加している。全

球気候モデル実験を衛星と比較する場合、雲のサブグリッドスケールのオーバーラップの取り扱いに仮定が存在したが、高解像度モデルでは最新の観測と同じ水平スケールでより直接的な比較が可能になる。今後は全球5 km メッシュ以下のモデルがより一般的になってくると予想される。衛星・モデル連携の発展によって、気候変動予測研究の進展が見込まれる状況になってきたと言える。

(2) 社会的要請

地球観測衛星は、気象や地象、気候、環境などの監視、及びそれに基づく予測情報の作成を通して、自然災害や健康被害の低減、農林水産業などの産業活動や交通・運輸など社会活動の円滑な運用や改善に不可欠であり、近年その重要性はさらに増している。

近年の降雨の局地化・集中化・激甚化を踏まえ^[18]、集中豪雨や台風等の観測の一層の充実や予測技術のさらなる向上の必要性がこれまで以上に認識されている。平成27年に観測頻度等の機能が大幅に強化された気象衛星「ひまわり」は、その有効性を発揮してきたが、さらに詳細・高度な観測情報、例えば大気状態の鉛直分布の観測が求められている。さらに気象予測やそれに基づく防災情報は、数値予報データ同化^{(*)2}によって作成されるが、ここでは、「ひまわり」に限らず世界の様々な地球観測衛星が用いられている。例えば、大気的气温・水蒸気鉛直分布を観測するサウンダと呼ばれる観測センサは、数値予報精度の向上に大きく寄与している^[19]。「ひまわり」や、欧米の気象機関が運用する静止気象衛星が観測する高頻度の可視・赤外イメージャのデータも、風や放射データとして利用されており、近年では中国・韓国からも高精度な観測データが提供されつつある。GPSなどの全球測位(GNSS)衛星から受信した電波の伝搬情報から気温・水蒸気情報を得るGPS掩蔽観測も重要性を増しており、センサ自体が小型であることから国家宇宙機関だけでなく民間企業による開発・運用も行われつつある。またAMS2などのマイクロ波イメージャや降水レーダDPRによる水蒸気や降水の観測も、豪雨の予測精度向上に大きく寄与している。これらの観測データやこれらを組み合わせた全球降水マッププロダクト^{(*)3}は、地上の雨量計やレーダ等の観測網を持たない国々において、実況監視データの代替として大きく貢献している。

火山については、気象庁に火山噴火予知連絡会が設置され、噴火地点の特定や影響範囲の詳細把握、活動推移の把握のために、衛星観測データやドローンを活用した面的な調査を実施している^[20]。地震については、国土地理院に地震予知連絡会が設定され、2017年の熊本地震などで干渉処理された合成開口レーダデータが地殻変動や断層の解析に用いられている。

一方、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期『国家レジリエンス(防災・減災)の強化』の被災状況解析・共有システム開発では、衛星の広域観測能力を活かし、気候・気象観測衛星及び陸域観測衛星などからの多様な観測情報を集約して防災の各フェーズに利用することで、災害の予測から解析・情報提供までの短時間実現を目指す。例えば、現存の世界の約20機の人工衛星群による観測を利用し、災害発生から2時間

で地方自治体にも状況を知らせる仕組みが実現しつつある。これらの結果は、SIP の社会実装先として、広域経済早期復旧支援システムなどに提供が予定されている。

気候監視については、地球温暖化抑制の緩和策や、環境影響に対する有効な適応策の立案のため、今後とも CO₂やメタンなどの温室効果ガスの大気中濃度に加え、黒色炭素やエアロゾルなど放射収支に影響を与える物質の継続的な衛星観測が重要である。日本はこの分野で「いぶき」、「いぶき2号」、「しきさい」による衛星観測を世界に先駆けて実施してきたが、今後さらに後継衛星による監視の継続が望まれている。

1985年の南極オゾンホール発見以降、衛星による全球的なオゾン層の監視を世界各国が実施してきたが、特にその生成消滅過程の解明に重要なオゾンの高度分布を精密に観測する衛星計画が未だ具体化されてない。最近中国からの違法なトリクロロフルオロメタン (CFC-11) 放出が確認され^[21]、オゾン層回復の遅れが懸念されることから、今後も世界各国が協調してオゾン層の衛星観測を継続することが必要である。

大気汚染物質や気候汚染物質^{(*)4}による健康被害の低減に向けても、衛星による監視が重要である。特に、アジアの経済発展に伴い、窒素酸化物、対流圏オゾン、硫酸酸化物、PM2.5、黒色炭素などによる越境大気汚染が深刻化している。また、地球温暖化の抑制に向けても短寿命気候汚染物質 (SLCP^{(*)4}) の削減が効果的との認識が近年広がり、衛星からの監視が望まれている。既に韓国や米国ではこれら大気汚染物質の静止衛星によるモニタリング計画が具体化され、衛星の打ち上げが近日中に予定されている。日本もこれらの計画に何らかの形で参画し、アジアにおける大気汚染物質・気候汚染物質の着実なモニタリングを行っていくことが必要である。

気候変動を理解する上で重要な炭素循環の監視には、森林の量的把握が避けて通れない。加えて、森林量の減少の把握は大気へのCO₂放出量を把握する上で重要である。これまでGOF-C-GOLD fire^{(*)5}などの衛星観測で取り込まれてきたが、観測性能や消防活動の取りこぼし防止の観点で森林火災の面積の過大評価傾向にあり、正確な情報は把握し切れていない。林野火災の検出には光学センサ及び可視赤外センサが適するが、「ひまわり」の登場で準実時間での検出も可能となっている。一方、森林の量的把握に加えて、生物多様性や森林劣化などの質的な問題への対応も必要であり、欧米による合成開口レーダやライダーを用いた衛星観測 (BIOMASS、GEDI、ICESATA-2)^{(*)6}が実施されている。

農業分野では、GCOM-W (しずく) 搭載の AMSR2 や「しきさい」による土壌水分や植生指数等の情報が世界の主要穀倉地域での穀物生育予測や干ばつの早期警戒情報発信に用いられている。

水産・漁業分野では、水温や海色等を用いた漁海況情報が漁業者に提供されてきた。最近では「ひまわり」による高頻度、「しきさい」による高空間解像度データの水温・植物プランクトン情報の配布によって、ICT を活用した沿岸漁業やスマート養殖業に利用する環境データとしての期待が高まっている。また、国連環境計画北西太平洋地域海行動計画 (UNEP/NOWPAP) では、海色の長期データを利用して北東アジア縁辺海での富(貧)栄養化の予備的評価が開始されている他、藻場分布の把握にも衛星データが利用されつ

つある。

なお、地球観測衛星データを含む大規模なデータ提供・利用をとりまく社会情勢も近年変化している。これらのデータを扱うため、従来のサーバクライアント方式 (DAACs) から米国大手 IT 企業により構築されたクラウドシステムの利活用が進みつつある。Google Earth Engine (GEE)、Amazon Web Service (AWS) がその 2 大巨頭であり、パブリックオープンデータを提供するという DAACs 的な機能から、独自のインターフェースを持ちブラウザ上でコードを作成し、クラウドプラットフォーム上で処理を実行するという利用形態も可能となった。我が国においても Tellus が産学連携による衛星データプラットフォームとして立ち上げられ、膨大な衛星データを有効な商用利用に活用する観点で展開されている。ただし、有償・無償のクラウドプラットフォームはクラウド内に使用したいデータが既にある場合には有効なリソースとなるが、クラウド内に存在しない場合には有効性が下がる点に留意が必要である。加えて、このような利便性の向上は前回提言書で提案されているような、リアルタイム利用対応のみならず過去から将来にわたるデータアーカイブの継続性と堅牢性を備えた「地球観測データ電子図書館」の代替となるものではないことに注意が必要である。

(3) 技術的状況と方向性

日本が他の国に優位性をもつ地球観測としては、温室効果ガス観測、合成開口レーダによる全天候型の地表面観測、高分解能光学イメージャによる詳細な地表面観測、中分解能イメージャによる地表面・植生・大気観測、マイクロ波放射計による大気・海洋・陸面観測、降水レーダ・雲レーダによる立体的な雲や降水の観測が挙げられる。これらの観測は災害監視において重要な役割を果たしてきたほか現業の気象予報においても大きく活用されてきた。これらはまた地球温暖化問題においても、温室効果ガスの観測・監視だけでなく、雲・降水・植生といった温暖化の影響を評価し、対策を進めてゆく上で不可欠なパラメタの観測を行っているため、長期・継続的な観測が望まれている。一方で宇宙基本計画の工程表においても、新たな技術としてライダー観測技術の研究開発の推進が記載されているが、具体的なミッションについてはまだ記載がない。

地球観測衛星における技術方向性を考えると以下の 3 つのポイントに集約される。

- 1) 静止気象衛星の観測性能の向上と低軌道衛星とのシナジー
- 2) 新しい技術による観測機器の高度化・小型化・低コスト化
- 3) 小型・超小型衛星の活用

静止気象衛星に関しては、将来に向けて搭載性が向上することとセンサ技術の進展が期待できることから、世界気象機関 (WMO) においては 2040 年までに静止気象衛星に推奨される観測センサが提言されている。そのうちのひとつである高頻度高解像度イメージャについては、気象庁の「ひまわり 8 号」において世界に先駆けて実現している。特に、観測波長の増加や観測頻度の向上により、従来、低軌道衛星に依存していた一部の

観測項目（例えば、雲の光学的厚さや海面水温など）を静止衛星が代替する方向性も見えてきた。観測パラメタが増えたことにより、むしろ、「ひまわり」のもつ観測頻度の優位性が大きなインパクトを与えている。一方で、静止気象衛星では高緯度観測には限界があるため、極域を頻繁に観測できる低軌道周回衛星との観測波長の共通化などを通じたシナジー観測を積極的に進める必要がある。また、WMO による推奨では、雷光観測センサや気温・水蒸気の鉛直分布を計測するサウンダも含まれており、これらのセンサ開発を進めると共に既存の周回衛星搭載機器の静止衛星への集約や温室効果ガス・気候汚染物質等の計測も検討すべきである。

地球観測衛星における新技術は、既に地上の機器で実現しているものを活用する場合がほとんどである。最近では特に半導体技術や電子機器技術の進展（例えば、窒化ガリウムの半導体素子やデジタル信号処理技術など）が小型化・省電力化とそれらによる低コスト化へ大きく貢献している。後述する超小型衛星が最もその恩恵をうけたものであるとも言える。これまでの地球観測衛星においてはこれらの技術発展を高機能化や高精度化へと向けていたが、それは、高精度観測へのニーズが高かったことが主な要因であったと考えられる。ある程度成熟した機器においては、こういった技術を小型化・低コスト化へ向ける必要もある。一方、大きな変革をもたらすようなセンサ技術は今のところ現れていないが、今後、ライダー技術については、植生立体観測や風観測、さらには二酸化炭素や水蒸気の計測といった、既存センサでは不可能であった観測に対するニーズ・期待が高まっており、技術開発を進めてゆく必要がある。

小型衛星・超小型衛星はここ十数年で大きな発展を遂げている。米国では、民間が主体となって多数の光学観測衛星を打ち上げているほか、NASA でも積極的に地球観測センサを搭載した超小型衛星や CubeSat 等 (CYGNSS、RainCube、TROPICS) を打ち上げ、または計画している。NASA の衛星では、技術実証的な目的なもの、既存センサの代替を目指したものの2つの方向性がある。これらのミッションを通じて見えてくるものは、(超)小型化とそのコンステレーションが適する観測項目とそうでないものが存在することである。合成開口レーダやミリ波・サブミリ波を用いたセンサは小型化によるデメリットを感度低下のみに抑え、観測幅などは維持できることから、小型化に向いていると言える。これらの超小型衛星による観測システムの構築においては、民間の技術の活用を視野に入れると共に観測の継続性やデータ提供の即時性を考慮した検討が必要である。一方で、マイクロ波帯の放射計・レーダでは感度や観測幅、分解能の点において性能を失うこととなり、(超)小型化への移行は現段階では難しい、または限定的であると考えられる。同様に、中分解能の光学イメージャにおいても光学系や校正系の(超)小型化にはまだ技術的なハードルがある。これらは、現段階の技術をベースにした高効率化・軽量化を通じて小型化を図るか、静止軌道への移行を検討すべきである。

以上のような技術動向を踏まえて、持続性のある(低コスト且つ高性能な)地球観測衛星システムを既存の衛星システムからスムーズに移行させながら構築して行くことが必要であるが、現業利用に対する品質の保証や気候温暖化の評価のための長期的

データの同質性の担保などの課題も解決する必要がある。現状では、様々な形態の地球衛星観測を適切に組み合わせた形での持続的開発が望ましい。なお、静止軌道衛星、大型の低軌道衛星、中型の低軌道衛星、低軌道（高度 400 km 程度）の小型衛星、超小型衛星の標準的な運用年数は、それぞれ、これまでの実績から、7 年、10 年、5 年、1 年、1 年程度である。

(4) 国際動向

上述のように綱渡りとも見える我が国の地球衛星観測計画に対して、世界各国、特に欧州と中国などからは、より先を見通した地球衛星観測計画やコンセプトが示されている。ここでは、世界の衛星観測に対する期待と体制について近年の動向をまとめる。

「全地球観測システム（GEOS）10 年実施計画」（2005～2015 年）に続き、現在は、「地球観測に関する政府間会合（GEO¹）戦略計画 2016-2025」が進行中である。また同時に、地球観測に関する政府間会合（GEO¹）の優先連携 3 分野として SDGs、パリ協定、仙台防災フレームワークが特定された。そのアジア太平洋地域（GEOS Asia-Pacific region: GEOS-AP）では、日本（海洋研究開発機構）、中国、豪州が共同議長を務めており、GEO¹の優先連携 3 分野への貢献を表明している。

WMO は、全球観測システム（GOS）を発展させ、より広範なシステムとサービスを含む WMO 統合全球観測システム（WIGOS）の整備と、その 2020 年からの運用を予定している。さらに次世代の全球観測システムのビジョンを（Vision for WIGOS in 2040）を策定中である。

GCOS は、2016 年に発行した新たな実施計画書で全球観測が必須である気候変数のリスト ECV（Essential Climate Variables）を改定しており、ECV プロダクトに対する分解能、精度などを定義している。

また、2019 年 5 月の気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第 49 回総会において、「2019 年方法論報告書」が採択された。中でも、地上観測の統計に基づく推計値を衛星観測等の値を用いて比較検証し、更新・精緻化する方針が新たに記述された。例えば衛星観測による森林量の計測は、温室効果ガスの吸排出量推定を精緻化すると期待される。SDGs については、17 のゴールのうち特に「6. 水・衛生」、「11. 持続可能な都市」、「13. 気候変動」、「14. 海の豊かさ」、「15. 陸の豊かさ」における日本の地球観測衛星の貢献が検討されている^[22]。

世界気候研究計画（WCRP）では、気候学研究における最重要課題（Grand Challenge）として、① 氷の融解と全球的な影響；② 雲、循環及び気候感度；③ 炭素フィードバックと気候システム；④ 気象と気候の極端現象；⑤ 世界の食糧供給源のための水；⑥ 地域的な海面変動と沿岸への影響；⑦ 短期の気候予測の 7 つを掲げている^[23]。WCRP のコアプロジェクトのひとつである全球エネルギー・水循環観測研究計画（GEWEX）は、地球の水循環と大気・地表面における放射フラックスの理解を目的としており、WCRP Grand Challenge への貢献の中では、日本が開発する衛星ミッションによる貢献が期待

されている (GEWEX, 2013)。

地球観測衛星委員会 (CEOS) は、1984 年 G7 サミットの下、地球観測衛星計画及びデータ利用に関する国際的な調整を行うために設立された。地球観測衛星コミュニティの国際調整役として上述の各国際ユーザーコミュニティへの支援を行うと共に、衛星データプロダクトの相互検証、フォーマット共通化、サービス・利用の相互運用、及びポリシー調整による地球観測衛星の便益の最大化を図っている。

気象衛星調整会議 (CGMS) は、気象衛星に関する情報交換と技術調整を目的として、衛星運用機関により 1972 年に設立された国際調整委員会であり、気象庁、NOAA、中国気象局、インド気象局、ロシア水文気象局、EUMETSAT、WMO、IOC 等が主要メンバーである。現在の気象衛星の調整を行っている。

最近では、CEOS と CGMS の共同による気候作業部会が構成され、研究開発から運用につながる組織的な ECV 等の気候変動監視を行うための調整が行われている。

以上のように、世界的に、地球観測には地球温暖化とそれに伴う気候変動とその影響についての貢献がより求められてきていることがわかる。我が国では、大気中の温室効果ガスの衛星観測に関しては「いぶき」シリーズとして計画が進められている。世界でも「いぶき」に次いで米国 (OCO-2) と中国 (TanSat) で衛星が打ち上げられ、今後も欧米中で衛星開発の計画が進められている^[24]。なお、気候変動の大気パラメータや短寿命の大気汚染物質の観測衛星についても、今後は各国の衛星群 (Constellation) による総合地球観測や、静止衛星軌道からの特定地域の高頻度観測が計画されている。また、我が国をはじめとする国際動向として、温室効果ガスの全球観測に加えて都市における大規模排出源 (メガシティ等) を定量的に監視する方向性が模索されている。その際、大気汚染物質の計測を合わせて行い、両者に共通となるエネルギー燃焼排出源を効率的に把握することも提案されている。IPCC でもインベントリタスクフォースが温室効果ガスに加えて短寿命成分の排出量を扱う方向で動くなど、共通化の流れが進んでいる。

主要国における動向の中でも、欧州委員会 (EC) のコペルニクス計画は、注目すべき成功を収めている。この計画は地球観測を項目別にプログラム化し、低軌道と静止軌道を組み合わせた衛星観測を中心とした各プログラムを順繰り且つ継続的に実現するものであり、NatureNEWS の記事 (和文)^[25]がその本質をよくとらえているので、少し長くなるが以下に 2 ヶ所引用したい。『コペルニクス計画は、欧州委員会が進める 84 億ユーロ (約 1 兆 1800 億円) 規模の長期的な地球観測計画であり、センチネル衛星はその中核となる観測装置だ。同計画は、今後 2010 年代末までにセンチネル 1B~6 衛星を次々と打ち上げて、地表と海面と大気について、前例のない長期観測を行うことを計画している。』『センチネル衛星は、これまでの地球観測ミッションの大部分とは異なり、古くなるにしたがって新しいものと交換されて維持される予定である。』この計画の立て方は、多様な観測の組み合わせと同時に長期観測を必要とする地球観測の要請をよく捉えた計画であるといえる。

なお、コペルニクス計画のセンチネル衛星は次の 6 組である。①C バンド高解像度合

成開口レーダ搭載。昼夜・全天候で地表と海洋を監視、②マルチ波長光学センサ搭載。陸域・海洋・森林監視・土地被覆変化の検出など、自然災害対策等の地表観測、③複数の高度計と放射計により海面・陸氷高度、海色や海面水温を測定、④静止気象衛星に搭載される大気化学組成観測センサ、⑤紫外／可視／近赤外／短波赤外の分光計により大気汚染、成層圏オゾンなど、大気の化学組成や放射量を監視、⑥高精度レーダ高度計により、全世界の海面高度を計測。

次期コンポーネントである Copernicus Space Component (CSC) Expansion では、①温室効果ガス監視（特に欧州衛星で観測できていない人為起源 CO₂ の放出）、②極域監視（極域・北極の海氷密度、地表面高度）及び農業監視（熱赤外やハイパースペクトル観測で可能となる）、③採鉱・生物多様性・土壌水分等（現在利用できない周波数帯の観測を必要とする）の3つの分野に優先度を置いている。これらの優先分野に対応した6つの候補ミッションが提案され、現在、ESA において候補の絞り込みが進められている。

欧州における極軌道気象衛星については、現在運用中の MetOp シリーズの後継として MetOp-SG の計画が進んでいる。MetOp-SG は2種類の衛星セットで構成され、MetOp-SG-A（2021年頃打ち上げ予定）には、マイクロ波サウンダをはじめとした8センサが搭載され、MetOp-SG-B（2022年頃打ち上げ予定）にはマイクロ波イメージャ、氷・雲イメージャ（ミリ波・サブミリ波）、マイクロ波散乱計などの7センサが搭載される予定である。

米国では2018年1月に全米科学アカデミーが地球観測に関する10年計画（Decadal Survey : DS）を公開し、NASA、NOAA 及び USGS の今後10年の活動計画（2017-2027）への指針を示した。DS ではまず解決すべき35の Key Science Questions を集約し、それらに答えるために観測すべき対象を、優先度を設けて示している。最も優先度が高く、特定の観測計画が必須と判断された観測対象は、「雲・対流・降水」、「エアロゾル」、「質量変化」、「地表の生物学・地質学」、「地表の変質と変化」の5つである^[26]。中でも水循環に関係の深い Aerosol と Clouds, Convection, and Precipitation (CCP) についてはいずれも予算規模800億円の大型ミッションとして推薦されており、CCP の測器候補には TRMM、GPM での国際協力を経て日本の強みとなったレーダ観測が明記されている。DS では特に国際協力によるミッションの実現が強く推奨されていることも特筆事項であり、このような場面で日本が先端的な技術を持つ分野での協力は進めるべきである。

NOAA は、2019年3月に公示した BAA (Broad Agency Announcement) において、将来の静止衛星 (GEO²)、低軌道衛星 (LEO) による観測計画案を示し、その実現に向けて産業界や研究機関に公募をかけた。GEO² は、イメージャと宇宙天気センサ（紫外イメージャや X 線放射計、磁場、粒子計など）を必須とし、そのほか昼夜観測機能、雷光観測、赤外サウンダ、マイクロ波イメージャあるいはサウンダをオプションとして挙げている。NASA では温室効果ガス観測用 GEO² である GeoCarb（2023年～）計画が進行中である。さらに高緯度域を常時観測する HEO (Highly Elliptical Orbit) 軌道の衛星も提案されている。また衛星バスの共通化、実現期間の短縮、リスク対応、商業衛星との協力などを新たに掲げている。センサや衛星の小型化も検討されており、実際にカナダと米国では GHGSat,

COOL, MethaneSAT などのメタン観測用民間小型衛星の開発が進められている。

中国は CAS が温室効果ガスの二酸化炭素を測定する TanSat を開発し、TanSat は 2016 年に打ち上げられたが、その後中国気象局 (CMA) に移管された。中国の動向としては CMA が極軌道衛星の FY (Feng Yun) 1/3 シリーズと静止軌道衛星の FY2/4 シリーズの地球観測衛星を中心に開発してきた。現在は第 2 世代の FY3 (A、B、C、D)、FY4 (A) に移行しつつあり、極軌道衛星は 2025 年までにさらに 3 機 (E、F、G)、静止衛星は 2030 年までに 4 機 (B、C、D、E) の開発を計画している。なお、2017 年 11 月に打ち上げられた FY3D はマイクロ波のサウンダや放射計、広域光学センサ、FTS 型の温室効果ガスセンサなど合計 10 のミッション機器を搭載している。また、2021 年に FY 3R として中国では初の降水レーダを搭載した衛星を打ち上げる計画がある。その他にも、高空間分解能・高波長分解能の光学センサや大気サウンダを搭載した GF (GaoFeng) シリーズ (2018 年 5 月に打ち上げられた GF-5 はヘテロダイン型の温室効果ガスセンサを含む 6 つのミッション機器を搭載) の衛星がある。また、中国宇宙局 (CNSA) は海洋観測・監視を目的とした HY (Haiyang)-2 のシリーズを運用しており、マイクロ波放射計 (海面水温が観測可能な 6GHz 帯を持つ) や散乱計、海面高度計を搭載している。HY-2A は 2011 年に打ち上げられ、後継計画として、HY-2B、HY-2C が予定されている。

以上、欧州ではコペルニクス計画のように、多様な観測項目に対して様々な測器を投入した多角的な観測と、長期継続観測を両立させるプログラムを実現するなど、地球環境問題の本質をとらえる地球衛星観測の長期の見通しが立てられている。米国での地球環境課題は現在逆風下であるとはいえ、基本的に我が国に比べて桁違いの宇宙予算を持つ (例えば NASA の 2020 年度予算は 2 兆 7,800 億円、JAXA の令和 2 年度予算は 1,865 億円) ため、着実に地球観測を計画する力を維持している。中国も豊富な予算を投入して将来にわたる地球観測が大規模にプログラム化されてきている。例えば地球観測衛星の打ち上げは 2019 年 7-9 月の四半期のみで 10 機を数え、我が国に比べ桁違いに多い。日本における地球衛星観測の長期計画が、静止気象衛星観測及び温室効果ガス観測等の一部の観測に限られていることは、改善すべき重要な課題である。我が国においても気候変動対策に取り組むべく、地球環境観測の適切なプログラム化を図るべきである。

(5) データアーカイブ体制

オープンサイエンス及び学術の基盤をなす研究データの保存・整備・共有等の推進が、国際的な学術・政策検討の場、及び、我が国では内閣府や日本学術会議他で強く求められるようになってきている。2016 年以降の G7 科学技術大臣会合ではオープンサイエンスを重要課題と位置づけ、研究者による研究データ共有や整備・保存の貢献評価問題及び国際的な研究データ基盤整備が重要課題であるとしている。特に二度と再現できない地球惑星科学分野の観測データは、歴史資料と同じく貴重な人類の資産といえる。AGU (米国地球物理連合)、EGU (欧州地球科学連合) 等海外の学協会では、データの保存・管理、概念整理から実践技術の調査研究や専門的な議論のために、「地球宇宙情報学」が地震、

大気、海洋などと同じレベルの分科会(セクション)として認められ、またデータ保存や共有の重要性を学会からの公式声明として発表している。

そのため、国は、多くのユーザーが利用する DIAS などのシステムを核とし、情報学研究所 (NII)、JAXA、気象庁、大学等が高速ネットワークを活用して連携し、利用者にとって使いやすい「バーチャルに一元的な」保管庫の構築を推進すべきである。バーチャルな一元化の実現には例えば NII や大学等を中心としたデータプラットフォームが活用できる。データは、地球衛星観測に加え、地上観測、航空機・ラジオゾンデ観測等の準リアルタイムデータも含めて扱う。観測情報を利用しやすく編集して伝える技術を備えた専門研究職の確保を含め、ユーザーフレンドリな体制を構築すべきである。

一方、近年はオープンデータという言葉から概念整理がすすみ、FAIR データ原則、すなわち 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) という理念がまとめられた。現在はその具体化の手法に議論が移りつつある。その中でデータに永続的識別子、たとえば DOI を付与し公開するという活動も含まれる。すでに内閣府のガイドラインにも記載される要請事項だが、これにより利用者は将来にわたって目的とする文献や情報に辿り着くことが可能となる。例えば研究論文や科学的知見を用いた政策文書から、根拠となる他の研究論文、使われたデータ等を辿り、再確認、新たな解析からさらなる研究の発展が望まれ、社会・科学の両面から重要と期待される。情報や知恵を閉じ込めない本来の学術情報資源の使い方に立ち戻ること、あるいは持続的な社会の実現のために社会が必要とする科学的知を持続的に支えることのできる科学となることが求められている。

近年、著名な学術出版社において論文投稿時にデータの永続的識別子 (DOI など) の付与、並びに「信頼できる」データリポジトリへのデータ保存が要請される傾向にある。論文中で用いたデータを FAIR 原則に則りデータ共有に供しないと論文出版が拒否される。G7 など国際科学政策の場では、整備され共有される科学データが論文に劣らない学術活動成果との国際趨勢でできつつあるが、学術現場では出版社が先んじて、より長期的に適切で持続的可能な科学のための取り組みを開始しているともいえる。

過去に日本学術会議において地球観測電子データ図書館 (仮称) といった議論があった。紙印刷資料の保存を主とする図書館のアナロジーとして地球観測のデジタルデータ保存を考えられたものと思われる。これが現在、本節で論じられた (オープン) データサイエンスの議論における「国際的に信頼できるデータリポジトリ」となっていると考えられる。図書館学が対象としてきた書籍・文書とは管理手法、技術が大きく異なる研究データでは、新たなデータ管理学が必要となる。近代学術ジャーナルが発明された三百数十年前と比べると大きく異なる技術基盤や社会体制をもつ現代において、科学にとって重要な資源であるデータの管理・保存・再利用をすすめるために、原点に立ち戻ってあらためて科学者自身が再考すべき時代となってきたと考えるべきであろう。

(6) 地球衛星観測をめぐる体制と課題

① TF 分科会の歴史と経緯

1980年代にはNASDA（宇宙開発事業団、のちのJAXA）が組織運営したいわゆる600人委員会において、我が国の地球観測衛星計画について官学が中心になって議論を進め、民間がその議論に付加価値をつける形で参加し、今日までの我が国の地球観測衛星計画が立案され順次実施に移されてきた。衛星計画決定過程の不透明さなどいくつかの課題はあったものの、多くの科学者に向けて意見収集の窓口は開かれていた。この間、現在とは異なる時代背景の影響も考えられるが、宇宙開発の地球観測分野では欧米に比肩あるいは凌駕する性能や成果を上げてきた。しかし、平成20年（2008年）に宇宙基本法が施行され内閣府に宇宙開発戦略本部が設置されると、日本の宇宙計画は宇宙開発戦略本部で策定される宇宙基本計画の工程表に沿って進められるようになり、前述の600人委員会の様なボトムアップの立案組織が機能しなくなった。この状況を受けて、2012年に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・リモートセンシング分科会（以下：TF分科会）が設立された。その後2015年1月の宇宙基本計画の工程表での地球観測衛星の計画は、ALOS、GOSAT、静止気象衛星以外の新規開発計画が2018年以降空白になり、これまで世界最高水準の性能・成果を誇った我が国の衛星地球観測の維持に対して危機感が強まった。

② TF 分科会活動の紹介

TF分科会の目的は「産官学の連携によるALL JAPANとして社会課題解決、科学技術の高度化に対応する衛星システムを利用したソリューションに責任を持ち、議論し、国の施策や民間活動に提言を行うためのコミュニティを欧米と同様に我が国でも設立すること」にある。2013年10月に日本学術会議 第22期地球惑星科学委員会 地球・惑星圏分科会下に「地球観測の将来構想に関する検討小委員会」が発足すると同時に活動の幅を広げ、地球観測そのものを研究対象にする学会と観測データを研究に利用する学会と連携した。現在は24学会と産業界からは地球観測データ利用ビジネスコミュニティ（BizEarth）の合計25団体連携組織となっている。国際的な観点から我が国の衛星地球観測分野がもつ優位性や独自性を分析し、日本がこの分野で果たすべき国際的役割を明らかにし、気象研究ノート第238号「地球観測の将来構想に関わる世界動向の分析」として取りまとめた。この分析結果などを基にしてコミュニティ内の衛星地球観測計画の優先順位調整を行いはじめた。これらの活動を通して内閣府などに対してコミュニティとしての提言を取りまとめてきたが、その受け取り窓口が明確ではないなどの問題が残っている。

前項で述べた我が国の衛星地球観測の危機的状況が改善されないことを受けて、日本学術会議の小委員会での議論が深まり、2017年、日本学術会議の提言として「我が国の地球衛星観測のあり方について」が発出された。この中では政府機関の内に地球観測の議論をする公式な場として各種委員会の設置とその場での（衛星地球観測）ブランドデザイン議論が必要とされ、さらに、地球衛星観測コミュニティの強化と将来

計画立案への貢献が必要であるとされた。そのため大学・研究機関、関係省庁、民間企業が有機的に協力できる包括的地球観測衛星コミュニティを強化し衛星観測に関する長期戦略の議論の場とすべきであるとされた。この提言を受けて、TF 分科会では、まず産（民間企業）官（関係省庁）学（大学・研究機関）のうち産学が有機的に協力しグランドデザインを立案する仕組みを模索するために衛星地球観測グランドデザイン試行公募を実施した。初回であるにもかかわらず 24 件の提案があり、さらに当初予想していなかった衛星データの複合利用や有効活用の様な総合的な提案も提出され、JpGU のセッション（3 コマ+ポスター）を利用し延人数 300 人以上で広く議論を交わすことができた。この試行公募の方法が産学+一般という新しい形に有効であることを示された。

試行公募の試行的審査体制は以下の通りとした。1 提案について複数の学会から推薦された査読者 3 名によるピアレビューの後、産業界から推薦された査読者が産業界から見た有用性についてコメントする。この一次審査の結果は提案者に伝えられ、それを元に各提案者は提案内容を改良し、公開の場（JpGU）で議論する。この場は産学+一般の議論の場とし、最終審査員も参加する。JpGU には関係省庁からの参加者もあったため、結果として産官学+一般の議論の場として各提案に対し質問や意見が多数出され、取りまとめられ各提案者に伝えられた。各提案者はこれを受けて半年ほど時間をかけて提案内容の見直しを図り、最終審査会に臨む。最終審査会は観測技術開発とサイエンスの両面をカバーできるような 10 名程度の有識者で構成される。最終審査会の審査結果は学術的な価値を主にし、技術的実現性を加味した上で順位づけされる。これは提案を成長させる審査過程である。TF 分科会が最終的に公開する審査結果は産業界の意見も加味したものである。しかしながら、これを国の施策に反映する公の方法は、現状では国の宇宙政策に対するパブリックコメントを介するしかない。

第一回の試行公募への 24 件の応募テーマを内容別にグループ化して衛星プログラムとして示したのが参考資料 2 である。このように、この試行公募は、我が国の地球衛星観測研究のポテンシャルの解析にも有効である。

③ トップダウン計画との相乗効果を目指すための体制の強化の必要性

上述の TF 分科会の取り組みで、地球観測衛星データを利用する関係省庁から公開の議論の場（JpGU）に参加者があり、産官学+一般の情報交換が一部成立した。JpGU での議論では、行政への効果的な発信のためには、グランドデザイン策定過程に社会科学の立場からの意見を反映させる工夫が有用であろうとの意見もあった。今後産官学の情報交換の強化が一層図られるべきであり、国の宇宙政策の正式な窓口が存在しない問題を解決する必要がある。

2-(2)①節でも述べたように、持続可能な人間社会の基盤としての地球衛星観測の戦略的計画推進のためには、産学コミュニティとの緊密な連携に基づくトップダウン的判断も重要であり、文部科学省-宇宙政策委員会間の地球衛星観測に関する情報交

換体制の強化・拡充がさらに必要である。

4 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）

日本学術会議は2017年7月14日に提言「我が国の地球衛星観測のあり方について」を発出した。この提言は、現代社会において国民の安全な社会生活を科学技術的に支えるために必須の社会基盤となっている地球を観測する人工衛星の将来計画について現状と問題点を洗い出し、我が国の地球衛星観測が将来にわたって国民生活のための健全な環境の維持に貢献し国際的に評価される役割を果たすために何が必要かを示した。

その後の2年余、提言に沿った活動により様々な進展がみられた。一方でこの短期間にも世界各地で極端現象による自然災害の頻発が報告され、気候変動との関連が指摘された。我が国でも2018年-2019年には度重なる自然災害が甚大な人的被害と経済的損失をもたらした。国連国際防災戦略（UNISDR）は、1998年から2017年の20年間の自然災害による世界の経済損失額を325兆円と見積り、そのうち気候変動によるものは77%の250兆円を占めると報告した^[1]。国別では、日本は国土の狭さにも拘わらず米国、中国に次ぐ3位であり、20年間に約43兆円の経済損失を気候変動関連の自然災害から被ったとした。

頻発する自然災害等による国民社会の損害を最小限に抑える「広義の安全保障体制」の強化が喫緊に必要であり、そのためには地球衛星観測の有効性を最大限に引き出した社会基盤を維持する必要がある。しかるに2019年度に進められている宇宙計画基本法の改訂方針は、宇宙防衛を主眼においた狭義の安全保障及び宇宙の産業利用、国際宇宙探査の拡大に集約しており^[2]、持続的な人間社会の基盤としての地球衛星観測計画の将来を十分に見通すことができない。

こうした状況の下、第24期地球・惑星圏分科会では、「地球観測将来構想検討小委員会」を設置して2017年の提言についてフォローアップを行い、「広義の安全保障体制の強化」の喫緊性を強調した我が国の地球衛星観測体制のあり方を議論し、本提言をとりまとめた。

(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維持の必要性

政府は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を認識し、これに立ち向かうことは重要な「広義の国家安全保障」と捉え、迅速且つ適切な適応策を打つべきである。そのためには、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必要がある。しかしながら現在の宇宙基本計画工程表においては、気候変動問題に関わる地球の水・エネルギー循環・植生等の科学に関する衛星観測が「その他」のカテゴリに分類され、将来にわたる計画の維持が不明である。宇宙基本計画工程表において気候変動問題に関連する計画は「地球環境観測（仮）」としてカテゴリを設け、SDGs・フューチャー・アースへの貢献と国民の広義の安全保障とを共に目指すため、現象解明のための多様な項目のデータ取得と長期モニタリングとの双方を必要とする地球環境観測の要請を満たすよう工夫された持続的衛星計画を策定すべきである。

(2) 地球衛星観測の戦略的計画推進の仕組み

現在、産学連携コミュニティから、「地球観測グランドデザイン」などボトムアップの地球衛星観測計画が提案されている。持続可能な人間社会の基盤としての地球衛星観測の戦略的計画推進のためには、産学コミュニティと緊密に連携したトップダウン的判断も重要であり、文部科学省と内閣府の宇宙政策委員会との地球衛星観測に関する情報交換体制の強化・拡充が必要である。そのため、文部科学省の地球観測推進部会と宇宙開発利用部会の下に「地球衛星観測委員会（仮称）」を、宇宙政策委員会の宇宙産業・科学技術基盤部会と宇宙民生利用部会の下に「地球観測小委員会（仮称）」を設置し、この2つの委員会が連携して、地球衛星観測の、予算計画を含む長期的戦略を明示し、我が国の適切な貢献を推進すべきである。同時に、国土交通省、農林水産省、環境省、気象庁などの関連省庁による府省庁連携を一層進めるべきである。

(3) 観測データアーカイブ体制の構築と利活用の促進

上記を実現させるための社会基盤として、国は地球衛星観測データの継続的な利活用を促進する「地球観測データリポジトリ（仮称）」の確立を推進すべきである。そこでは、地球観測データの処理から専門的な整備までを扱い、衛星観測及び関連データも含む、新旧データのアーカイブとリアルタイム利用を可能とする計算機環境とネットワークサービス体制を充実すると共に、観測情報を利用しやすく編集して伝える技術を備えた専門研究職の確保などを通じてデータ利活用の促進を図る。人工衛星ネットワークによる防災情報をリアルタイムに自治体が活用できる仕組みも確立すべきである。

その際、2017年の提言に示された「利用者の視点や要望を柔軟に取り込む仕組み、高い永続性、堅牢性、国際性、可用性、データのオープン化に関する検討」の具体化を急ぐべきであり、国際的に議論されている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)のデータ原則の考え方も取入れ、社会に開かれたデータ共有を推進する体制を作るべきである。

(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

地球衛星観測における技術力の向上、地球観測特有の大容量データ取扱いの高度化のためには、それを担う人材育成の強化が喫緊に必要である。そのため、国は多様な研究者・技術者からなる産官学の英知を結集した人材育成体制の構築を強力に推進すべきである。地球観測衛星の企画立案から実現には数年から10年程度の時間を要し、ミッションの継続性も重要であるため、大学院生など若手も参加する産官学チームの構築が望ましい。地方自治体の地球観測情報活用能力の育成も推進すべきである。衛星、航空機、気球観測を連携した教育も有効であろう。日本の中核宇宙機関である宇宙航空研究開発機構(JAXA)、大学、気象庁など関連官庁、産業界での人材育成プログラムの連携や、日本地球惑星科学連合での産官学の議論を通じた教育が期待される。このような人材育成

のためには、初等・中等・高等教育から地球観測の魅力と重要性を伝える教育も重要であり、地学・地理教育の普及にも力を入れることが望ましい。

<参考文献>

- [1] UNISDR, 2018: Economic Losses, Poverty and Disasters 1998-2017, UNDRR
<https://www.unisdr.org/archive/61121>
- [2] 宇宙開発戦略本部 宇宙基本計画の工程表改訂に向けた重点事項
<https://www8.cao.go.jp/space/plan/plan3/jyten.pdf>
- [3] 気象庁, 2019: 気候変動監視レポート 2018
- [4] J. -L. Defresne and S. Bony, 2008: An assessment of the primary source of spread of global warming estimates from coupled atmosphere-ocean models, *J. Clim.* 21(19), 5135-5144.
- [5] Stephens GL, Li JL, Wild M, Clayson CA, Loeb N, Kato S, L' Ecuyer T, Stackhouse PW, Lebsock M, Andrews T "An update on Earth' s energy balance in light of the latest global observations" . *Nat Geosci* 5:691-696 (2012)
- [6] Cesana, G. , H. Chepfer, D. Winker, B. Getzewich, X. Cai, O. Jourdan, G. Mioche, H. Okamoto, Y. Hagihara, V. Noel, and M. Reverdy Using in situ airborne measurements to evaluate three cloud phase products derived from CALIPSO, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 5788-5808, doi:10.1002/ 2015JD024334. (2016)
- [7] Adler, R.F., G. Gu, M. Sapiano, J-J, Wang, G. J. Huffman, *Global Precipitation: Means, Variations and Trends During the Satellite Era (1979-2014)*, *Surv Geophys*, 38:679-699 DOI 10.1007/s10712-017-9416-4, (2017)
- [8] Hamada, A., Y. N. Takayabu, C. Liu, and E. J. Zipser, "Weak linkage between the heaviest rainfall and tallest storms." *Nat. Commun.*, Vol. 6(6213), (2015)
- [9] Houze, R. A., Jr., J. Wang, J. Fan, S. R. Brodzik, and Z. Feng, "Extreme convective storms over high latitude continental areas where maximum warming is occurring. *Geophys. Res. Lett.*, 46, 4059-4065 (2019).
- [10] Iguchi, T., N. Kawamoto, R. Oki, 2018, Detection of intense ice precipitation with GPM/DPR, *JOURNAL OF ATMOSPHERIC AND OCEANIC TECHNOLOGY.* 35, 491-502, DOI: 10.1175/JTECH-D-17-0120.1,
- [11] Tobo, Y., K. Adachi K., (8名), and M. Koike, Glacially sourced dust as a potentially significant source of ice nucleating particles, 2019, *Nature Geoscience*, 12, 253-258,
- [12] Hayashi, M., N. Saigusa, Y. Yamagata, and T. Hirano, "Regional forest biomass estimation using ICESat/GLAS spaceborne LiDAR over Borneo," *Carbon Manag.*, vol. 6, no. 1-2, pp. 19-33, 2015.
- [13] Skaizawa, D. , R. Mitsuhashi, J. Murooka, T. Imai, T. Kimura and K. Asai, "Current status of the ISS-vegetation lidar Mission-MOLI," *IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Valencia, 2018*, pp. 1861-1864.
- [14] Kay, Jennifer & National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). Last modified 25 Apr 2019. "The Climate Data Guide: COSP: Cloud Feedback Model Intercomparison Project (CFMIP) Observation Simulator Package." Retrieved from

<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/cosp-cloud-feedback-model-intercomparison-project-cfmp-observation-simulator-package>.

[15] Hashino, T., M. Satoh, Y. Hagihara, T. Kubota, T. Matsui, T. Nasuno, and H. Okamoto (2013), Evaluating cloud microphysics from NICAM against CloudSat and CALIPSO, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 7273-7292, doi:10.1002/jgrd.50564.

[16] Voors, R., Donovan, D., Acarreta, J. Eisinger, M., Franco, R., Lajas, D., Moyano, R., Pirondini, F., Ramos, J. Wehr, T. (2007). ECSIM: the simulator framework for EarthCARE. 10.1117/12.737738.

[17] Stevens, B., Satoh, M., Auger, L. et al. DYAMOND: the DYnamics of the Atmospheric general circulation Modeled On Non-hydrostatic Domains. *Prog Earth Planet Sci* 6, 61 (2019) doi:10.1186/s40645-019-0304-z

[18] 国土交通省, 2015: 新たなステージに対応した防災・減災の在り方

<https://www.mlit.go.jp/saigai/newstage.html>

[19] 気象庁予報部, 2007: 数値予報と衛星データ 同化の現状と課題. 数値予報課報告・別冊第53号, 気象庁予報部, 220pp

[20] 火山噴火予知連絡会 火山活動評価検討会, 2018: 草津白根山(本白根山)の噴火を踏まえた今後の調査研究及び監視のあり方について

https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/CCPVE/hyoka/hokoku201807_gaiyo.pdf

[21] Rigby, M, S. Park, (29名) and D. Young, 2019: Increase in CFC-11 emissions from eastern China based on atmospheric observations. *Nature* 569, 546-550 (2019).

[22] 衛星による水循環観測グランドプラン策定委員会, 2019: 衛星による水循環観測グランドプラン, https://www.eorc.jaxa.jp/news/2019/nw190909_01.pdf

[23] WCRP Grand Challenges, <https://www.wcrp-climate.org/grand-challenges/grand-challenges-overview>

[24] 大山博史・松永恒雄: 他国の温室効果ガスカラム量観測衛星の概要, *日本リモートセンシング学会誌*, 39(1), pp.61-67, 2019.

[25] Butler, D., ”コペルニクス計画、幸先の良いスタートを切る (Earth observation enters next phase) ”, *NatureNEWS*, (2014)

[26] National Academies of Sciences, *Thriving on Our Changing Planet – A Decadal Strategy for Earth Observation from Space* (2018)-, 716p., The National Academies Press, doi.org/10.17226/24938, 2018.

<用語解説>

(*1) 「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

(*2) 「数値予報データ同化」: データ同化とは、観測値と数値モデルを用いて、これらと整合のとれた状態を統計的に推定することで、天気予報、様々な地球科学や工学などの分野

で研究・実用されている。

(*3) 「これらの観測データや組み合わせた全球降水マッププロダクト」: GPM 全球合成降水マッププロダクト GSMaP (Global Satellite Mapping of Precipitation)

(*4) 「気候汚染物質 (Short-Lived Climate Pollutants: SLCP)」:

<https://www.nies.go.jp/kanko/news/31/31-5/31-5-04.html>

(*5) GOFc/GOLD-FIRE: <http://gofc-fire.umd.edu/>,

(*6) BIOMASS (ESA):

http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers/Biomass, GEDI (NASA): <https://eosps.nasa.gov/missions/global-ecosystem-dynamics-investigation-lidar-evi-2>

<略語>

ACCP: Aerosol, Clouds, Convection and Precipitation

AGU: American Geophysical Union

ALOS: Advanced Land Observing Satellite

AMSR: Advanced Microwave Scanning Radiometer

CALIPSO: Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations

CEOS: Committee on Earth Observation Satellites

CGMS: Coordination Group for Meteorological Satellites

CMA: China Meteorological Administration

CMIP6: Coupled Model Intercomparison Project Phase 6

CNSA: China National Space Administration

COOL : CH₄ Observation Of Lower-troposphere

COSP: Cloud Feedback Model Intercomparison Project (CFMIP) Observation Simulator Package

CYGNSS: Cyclone Global Navigation Satellite System

DAACs: Distributed Active Archive Centers

DOI: Digital Object Identifier

DPR: Dual-frequency Precipitation Radar

DYAMOND: the DYnamics of the Atmospheric general circulation Modeled On Non-hydrostatic Domains

EarthCARE: Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer

EC: European Community

ECMWF: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

ECSIM: The Simulator framework for EarthCARE

ECV: Essential Climate Variables

EGU: European Geosciences Union

ESA: European Space Agency
FY: FengYun Satellite Series
GCOM-C: Global Change Observation Mission-Climate
GCOM-W: Global Change Observation Mission-Water
GCOS: Global Climate Observing System
GEMS: Geostationary Environment Monitoring Spectrometer
GEO¹: Group on Earth Observations
GEO²: Geostationary Earth Orbit
GeoCarb : Geostationary Carbon Cycle Observatory
GEOSS: Global Earth Observation System of Systems
GEWEX: Global Energy and Water Exchanges
GHGSat : GreenHouse Gas Satellite
GNSS: Global Navigation Satellite System
GOS: Global Observing System
GOSAT: Greenhouse Gases Observing Satellite
GOSAT-2 : Greenhouse Gases Observing Satellite-2
GOSAT-GW: Global Observing SATellite for Greenhous gases and Water cycle
GPCP: Global Precipitation Climatology Project
GPM: Global Precipitation Measurement
GPS: Global Positioning System
HEO: Highly Elliptical Orbit
HISUI: Hiperspectral Imager SUItE
ICT : Information and Communication Technology
IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change
ISS: International Space Station
IT: Information Technology
JAXA: Japan Aerospace Exploration Agency
JpGU: Japan Geoscience Union
LEO: Low Earth Orbit
MethaneSAT: Methane-monitoring satellite
MetOp: Meteorological Operational Satellite Program of Europe
MetOp-SG: MetOp Second Generation
MOLI: Multi-footprint Observation Lidar and Imager
NASA: National Aeronautics and Space Administration
NGO: Non Governmental Organization
NICAM: Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model
NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

OCO-2: Orbiting Carbon Observatory 2
RainCube: Radar in a CubeSat
SDGs: Sustainable Development Goals
SIP: Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program
SIT: Strategic Implementation Team
SLCP: Short-Lived Climate Pollutants
TanSat: Chinese Carbon Dioxide Observation Satellite Mission
TANSO-FTS: Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation-Fourier Transform Spectrometer
Terra: Earth Observing System AM-1
TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission
TROPICS: Time-Resolved Observations of Precipitation structure and storm Intensity with a Constellation of Smallsats
TROPOMI: The TROPOspheric Monitoring Instrument
UNIDSR: United Nations International Strategy for Disaster Reduction
UNDRR: United Nations Office for Disaster Risk Reduction
WCRP: World Climate Research Programme
WIGOS: WMO Integrated Global Observing System
WMO: World Meteorological Organization

＜参考資料 1＞地球惑星科学委員会地球・惑星圏分科会 地球観測将来構想小委員会審議経過

平成 31 年

4 月 24 日 地球惑星科学委員会地球・惑星圏分科会

- 審議事項 地球観測将来構想小委員会の設置、及び、同小委員会委員決定

令和元年

8 月 19 日 地球観測将来構想小委員会 (第 24 期・第 1 回)

- 審議事項 2017 年提言「我が国の地球衛星観測のあり方について」のフォローアップ、本委員会の目指す提言の目次案と分担の議論

10 月 7 日 地球観測将来構想小委員会 (第 24 期・第 2 回)

- 審議事項 提言章別の内容議論

11 月 22 日 地球観測将来構想小委員会 (第 24 期・第 3 回)

- 審議事項 提言章別草稿の検討、提言の主旨についての議論

12 月 20 日 地球観測将来構想小委員会 (第 24 期・第 4 回)

- 審議事項 提言要旨の確認、提言最終稿提出に向けての議論
提言案の承認

12 月 24 日 地球惑星科学委員会地球・惑星圏分科会

- 審議事項 提言案の承認

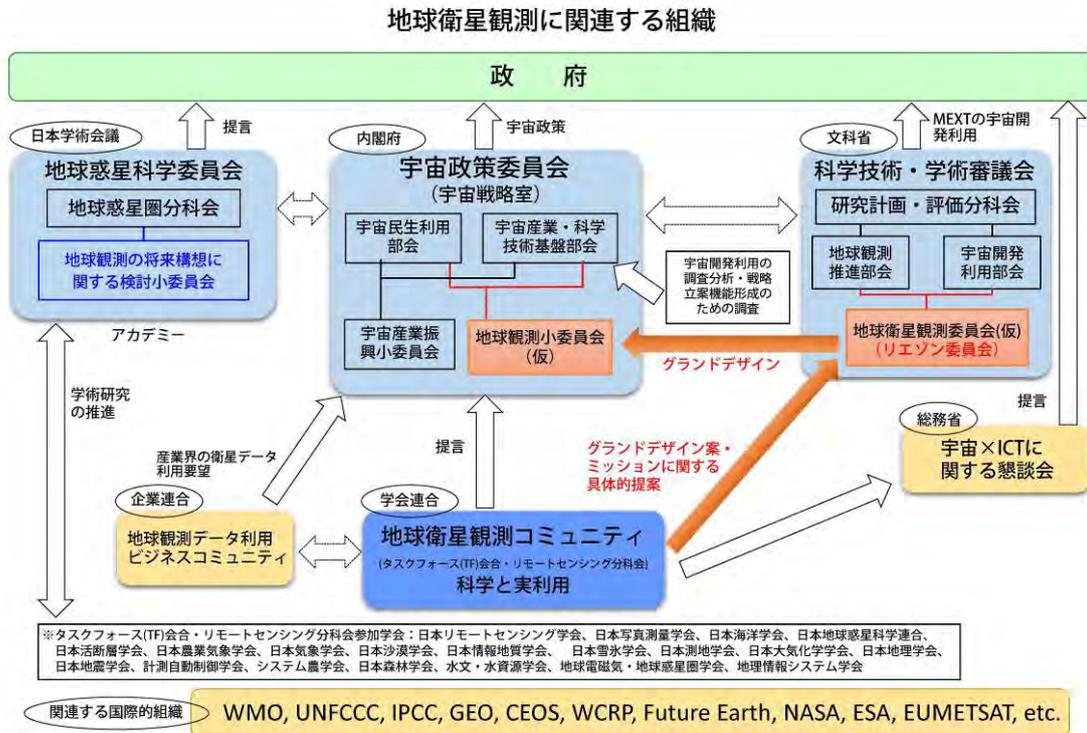
令和 2 年

6 月 11 日 日本学術会議幹事会 (第 292 回)

- 審議事項 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」について承認

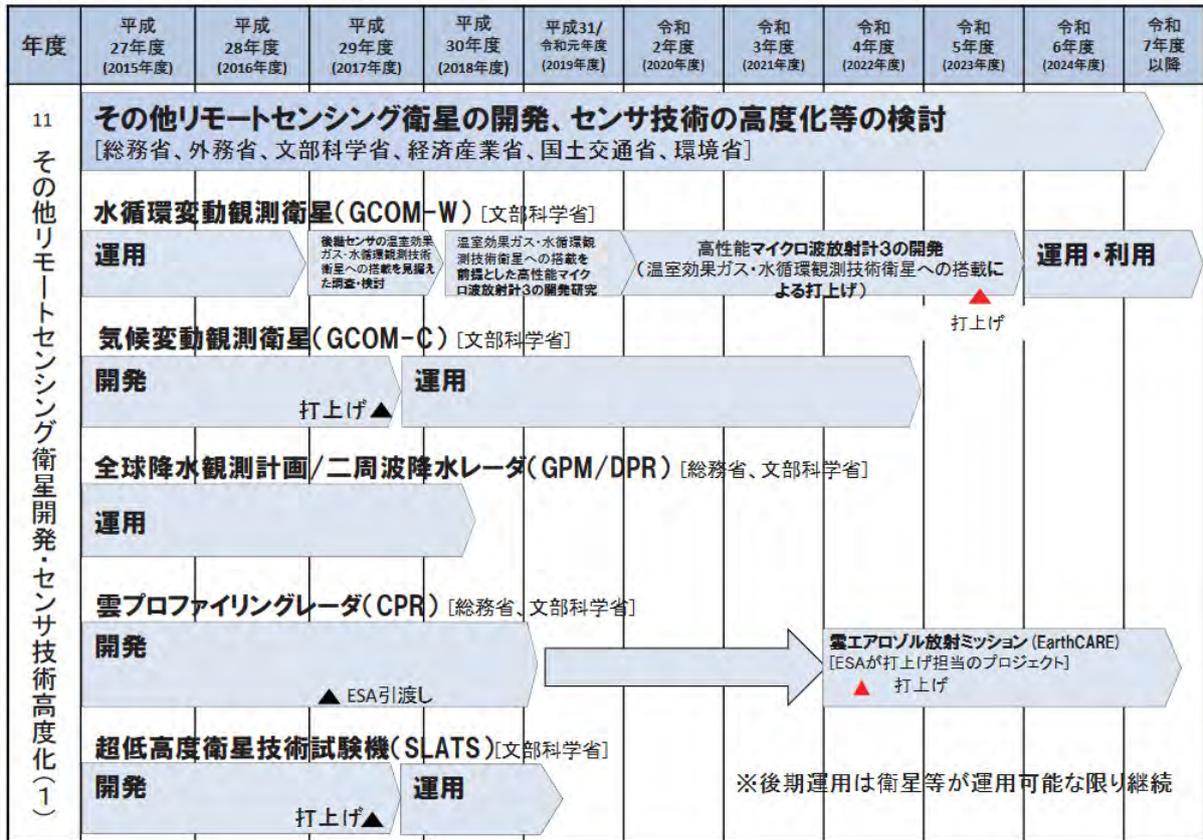
<参考資料 2> 我が国の地球衛星観測に関する組織図

(2017年提言「我が国の地球衛星観測のあり方について」<参考資料 4>)



<参考資料3>宇宙基本計画工程表（部分）（2019年12月改訂）

4. (2)① ii) 衛星リモートセンシング



＜参考資料4＞地球観測グランドデザインのための応募提案（T1-T24）と将来ミッションの検討（TF 分科会活動）

