

地球観測グランドデザイン

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 地球科学研究高度化ワーキンググループ
2018/04/06

我が国の地球観測が将来的に目指すべき姿と地球衛星観測の戦略的計画推進およびコミュニティの強化についての方策を提案するとともに、中長期的および短期的な視点に基づく地球観測衛星計画を提案する。

※本グランドデザイン（平成 29 年度版）は、宇宙基本計画工程表で打上げが明記されていないミッションについての議論を反映したものである。工程表に記載のミッションについては、今後の議論において取り上げていくものとする。

改訂記録

符号	承認年月日	改訂箇所	改訂内容、理由等
初版	2018/4/6	N/A	
A			
B			
C			

内容

1	はじめに.....	4
2	100年先を見据えた長期ビジョン.....	5
3	中長期計画.....	5
3.1	気候変動問題への取り組み.....	6
3.2	日本の衛星地球観測が取り組むべき課題.....	9
3.3	中長期計画の考え方.....	10
4	短期計画.....	13
4.1	ミッションの選定方法について.....	13
4.2	第一期短期計画に含めるミッション.....	14
4.2.1	新規の提案ミッション.....	14
4.2.1.1	マイクロ波放射計 (AMSR3) : 継続.....	16
4.2.1.2	植生ライダー (MOLI) : 新規.....	20
4.2.1.3	SLCP イメージング分光計 (APOLLO, uvSCOPE) : 新規.....	23
4.2.1.4	アクティブセンサによる降水観測 (GPM 後継ミッション) : 継続.....	26
4.2.1.5	広域光学イメージャ (GCOM-C 後継ミッション) : 継続.....	29
4.2.2	宇宙基本計画にすでに記載されている計画中のミッション.....	32
4.2.2.1	静止気象衛星 (ひまわり後継機).....	32
4.2.2.2	温室効果ガス観測ミッション後継機.....	32
4.2.2.3	先進光学・先進 SAR (ALOS-3, ALOS-4).....	33
4.2.2.4	HISUI.....	34
4.3	そのほかの検討中のミッション.....	34
4.3.1	SMILES 後継機.....	34
4.3.2	散乱計・測地.....	35
4.3.3	海面高度計.....	35
	参考文献.....	36
	付録 A.....	37

1 はじめに

2017年の日本学術会議からの提言「我が国の地球衛星観測のあり方について」[1]において、①地球衛星観測の戦略的計画推進の必要性、②地球衛星観測コミュニティの強化とピアレビューの導入、③観測データアーカイブ体制の構築と利活用の促進、④人材育成の体制強化と地球観測リテラシーの向上、の4つの項目が今後の日本の地球観測のあり方を考えるうえで重要な点として示された。

この提言を受け、「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(TF)」¹の下部委員会の一つである「地球科学研究高度化ワーキンググループ(WG)」が、地球観測に関わる学術コミュニティ・諸機関が一体となって日本学術会議の提言を実現する方策を示す「地球観測グランドデザイン」を作成し、TF全体会議での議論を経て、日本学術会議地球惑星科学委員会などに提案することとなった。

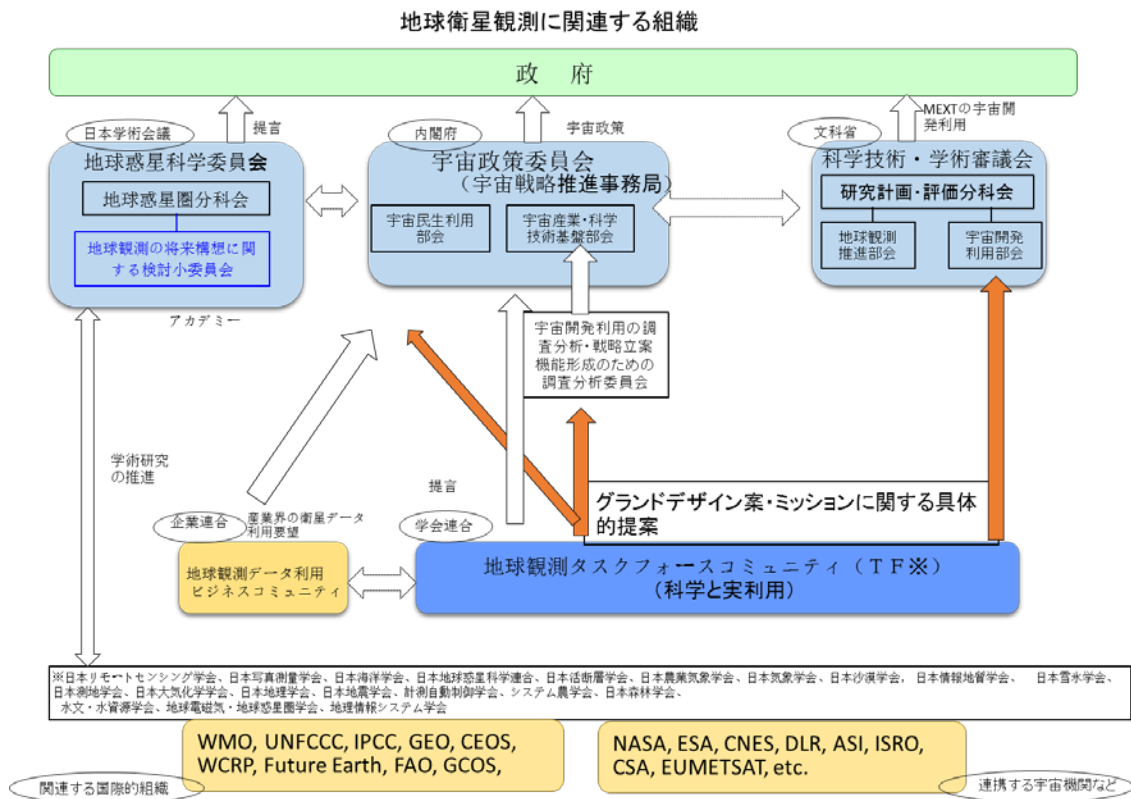


図 1 衛星による地球観測に関連する国内の組織

本文書は、学術会議提言内の主として前述の①項、②項の実現への道筋を示すための素案である。地球科学分野での衛星リモートセンシングの活用を、政策提案者および関係省庁へ研究者コミュニティからボトムアップでインプットすることを目指し、学術会議の提言にも関わった各分野の研究者が検討に加わった。今後2年をかけて改訂を重ね、TF実利用連絡会などとの調整を踏まえて、TFとしてのグランドデザインおよび、グランドデザインを実現する枠組みの確立

¹ 地球科学・リモートセンシングに関係する諸学協会（付録A参照）により学術・利用を中心としたユーザコミュニティの意見を宇宙政策へ反映する狙いで組織された。

を目指す。その後も科学的目的や技術の進展などを受けて適宜見直しを行い、常に時宜を得た説得力ある将来像を示すことを想定している。

この「地球観測グランドデザイン」は人類の存続を永続たらしめることを念頭に置きつつ、100年後を通過点と考え、3つのレベル（100年先まで揺るがぬ長期ビジョン、30年程度の期間で実現を目指す中長期計画、数年程度の短期計画）での日本主導の衛星地球観測計画を模索するものである。

2 100年先を見据えた長期ビジョン

我が国の衛星による「地球観測グランドデザイン」を考える上で、衛星地球観測は最先端科学・技術を駆使して実現し、国を代表する活動であることから我が国の国家ビジョンは不可欠であると考えられる。国家ビジョンをここで論ずるには不適當であるが、我が国が環境分野で世界をリードすべきことは、過去の政府が「環境立国」を打ち出したこと [2]、地球温暖化等の気候変動対策にとりくむ世界的枠組みへ貢献が求められていること [3]からも妥当である。

個人の幸福の実現には安定した社会的・経済的基盤が必要であることは言うまでもないが、前提として地球環境がその全てを支えていることは、これまで当然のこととしてほとんど意識されていなかった。しかし気候変動によりその前提が揺らいでいる現在、複雑極まりない地球環境システムを把握し理解する有効な手段である地球科学の発展が、人類社会の幸福増進に貢献すると我々は信ずる。

これらの観点から本文書では、「我が国が環境分野で世界をリードする」ことによる経済発展と社会課題解決の両立という Society 5.0 の実現とともに、国連が進める「持続可能な開発目標 (SDGs)」に結びつけることをゴールとする立場に立って議論を展開する。

今後起きる地球環境変動は全球規模で人類に影響を及ぼすと考えられる [4]。様々な環境変数の中でも、気候に関わる衛星観測項目は多く、「気候変動の影響への適応計画」 [5]、「水循環基本計画」「海洋基本計画」等でも衛星データを監視・予測・評価へ活用する旨が記述されている。

約10万年周期で繰り返される氷期・間氷期の移行期に訪れるとされる激しい気候変動に人類が常に晒されているのは事実である。しかし、二酸化炭素量で測ったとき、過去100年における人間活動による温暖化の外力の変動量は、過去65万年の自然変動幅をはるかに凌駕している。人類は今までに経験したことのないスピードの気候変動に直面し、実際にその影響は極端気象の増加などを通じて人間生活に影響を及ぼし始めている。

以上を踏まえ、次の100年における長期ビジョンは、人類が地球環境システムの理解を通して来るべき気候変動に適応しつつ、永続的に幸福な社会生活を享受するため、100年先を見据えて日本が担うべき地球観測の役割を示すこととする。

3 中長期計画

2050年代までの20～30年スパンの中長期計画においては、地球観測衛星による観測と数値

モデルの相互発展による気候変動の理解に主眼を置く。長期継続モニタリングによる気候変動の影響の検知と、気候変化を支配する個別過程（プロセス）の理解という2つの異なるアプローチで解析・研究を行う。そしてその成果を活用した行政利用などを通じて社会課題の解決への定常的な貢献を目指すことにより、過去ミッションの長期データセットの活用を含めた衛星観測の成果を最大化する。

表 1 に地球観測センサの種類を示した。地球観測センサは高分解能あるいは中・低分解能の周回軌道グローバルセンサおよび静止軌道センサに分けられる。このうち高分解能センサは更に光学センサと合成開口レーダ（SAR）に、中・低分解能センサは気候・気象分野でのシステム観測（監視）、すなわち主に必須気候変数（Essential Climate Variables : ECV）²を観測対象とするセンサと、プロセス研究を対象とするセンサに分かれる。

表 1 地球観測センサの種類

周回グローバルセンサ (高空間分解能)		周回グローバルセンサ (中・低空間分解能)		静止軌道センサ
光学 例 : ALOS PRISM	SAR 例 : ALOS PALSAR	気候システムモニタリング重視 例 : GOSAT TANSO-FTS	気候プロセス研究 例 : EarthCARE CPR GPM DPR	例 : ひまわり 可視・赤外センサ

地球観測センサは、社会的課題の解決等にむけた定常的な利用のための観測と、地球システムの未解明課題に挑戦する研究に資する科学的観測および技術開発実証を並行して実施してきた。よって商業化や採算性といった論点では評価されにくい性質を持っているが、計算機の発展、科学的知見の実学への応用、社会課題に対応するための定常的な利用を経て、インフラとして社会へ定着する道筋が見えつつある状況である。センサや物理量推定アルゴリズムの性能向上だけでなく、データ処理や配信技術の発展でデータ提供までの時間が短縮されたことも利用拡大につながっている。その動きをさらに推進しつつ、将来への布石として先進的な科学的観測も実行されなければならない。

3.1 気候変動問題への取り組み

気候変動を把握・予測するための研究を推進することは、効率的かつ効果的に地球規模の社会課題の解決を進めるにあたって重要である。例えば、現在の水資源管理システムにおいて、水災害、渇水対応などの現行施策は気候が変化しないことを前提に整備されており、気候変動下の集中豪雨、渇水への対応に対しては課題を有している。あわせて、国土の高度利用に比して、概して治水整備水準が低く、かつ気候変動下の災害リスクの増大という二重苦が発生する可能性がある。

² ECV : GCOS (Global Climate Observation System) / WMO(World Meteorological Organization)で最初に定義された気候変動における基礎地球物理量

気候変動及び社会情勢の変化等をモニタリングし、洪水等の予測精度を向上させながら水関連災害リスクを分析し、適応策を見直す。
(EUでは6年毎に見直し)

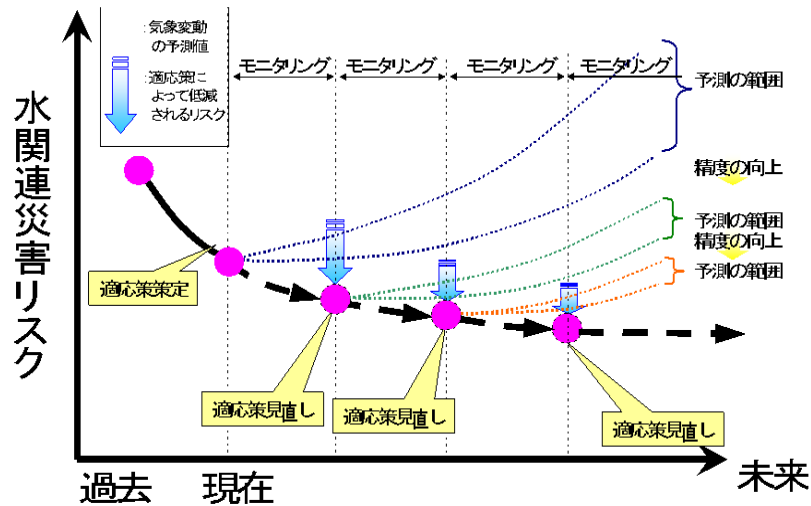


図 2 順応的なアプローチの採用 概念図

(出典 文献 [6] 56 ページ)

平成 20 年 6 月の「水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について」国土交通省 社会資本整備審議会の答申 [6]において、イギリスなどの諸外国の事例を参考に、気候変動及び社会情報の変化等をモニタリングし、洪水等の予測精度を向上させながら水関連災害リスクを分析し、適応策を見直すことが言及されている。加えて、今後の水資源管理システムにおいては、水資源管理の施策オプションの拡充(治水計画の高度化)、災害リスク評価による被害低減(気候変動対応コストの削減)、ならびにハードだけに頼らないソフトによる柔軟な気候変動適応の必要性が「気候変動の影響への適応計画」「水循環基本計画」などにおいても示されている。このためには、高精度の長期データセットおよび高精度な水循環モデルによる豪雨・渇水などの予測精度の向上が必須とされている。

このように、気候変動の把握・予測の研究を推進し行政利用につなげていくためには、図 3 における原因物質の観測(赤)と同時に、気候感度、つまり気候が外力に対してどのように応答するか(青)、そして人間社会へ及ぼす影響を正しく理解することが不可欠である。

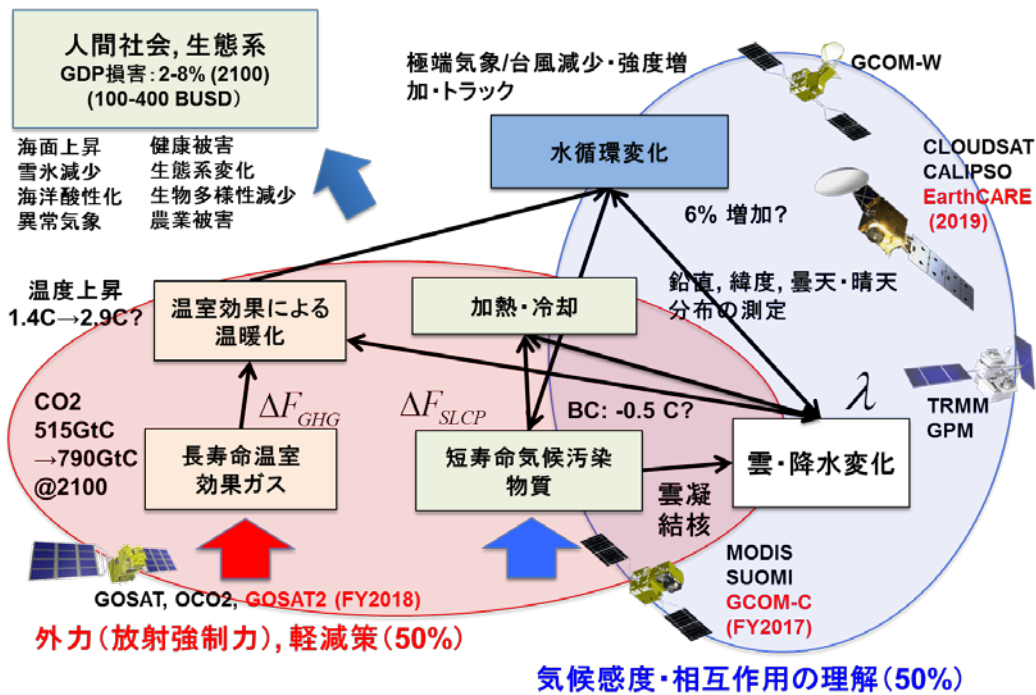


図 3 人為起源の気候変化要因と影響の関係性

(中島映至, 2017, 学術会議公開シンポジウム「我が国の衛星地球観測計画」資料)

気候システムが、外部から与えられた変化に対してどのように応答するかを表す概念を気候感度と呼び、気候変動の影響や程度を研究するうえで最も重要なキーワードの一つである。図 3 に温暖化の要因である温室効果ガス (GHG) と短寿命気候汚染物質 (SLCP) とこれらがもたらす気候への作用を示した。現在さまざまなモデルにより将来の気温上昇を予測する試みがなされているが、たとえば気温の上昇幅の試算については現時点ではモデル間でも 100 年で約 2°C という大きな不確実性がある。2015 年の COP21 で採択されたパリ協定は産業革命以降の気温上昇を 2°C 以内に収めるという目標を掲げているが、そのために削減すべき温室効果ガス量の見積もりはモデルの種類により数百ギガトンのばらつきを示している。

このようにモデルによる予測に不確実性が大きい理由は、前述した気候感度が、放射強制力に代表される単純な応答のみでは決まらず、図中に示したように複雑な相互作用を経た結果として現れるためである。GHG や SLCP の排出と、相互作用がそれぞれ気候変動に与える影響はほぼ等分と言われている。さらに、温暖化・水循環の変化によって起こる植生・土壌水分の変化や雪氷域の減少なども、長期的に気候に影響を与える。

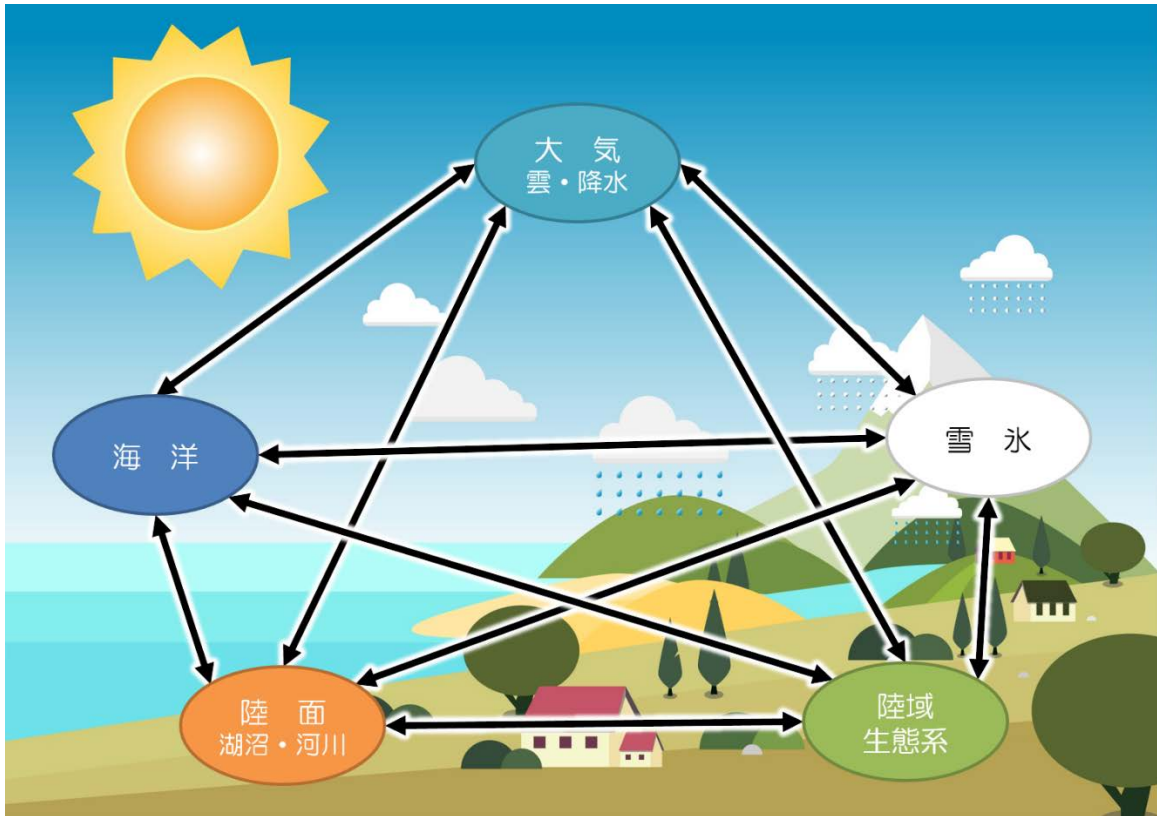


図 4 複雑な地球表層環境を構成する要素間の相互作用

温暖化の影響は、海面上昇・雪氷減少・海洋酸性化・異常気象の頻発といった形でもあらわれ、健康被害・生態系の変化・生物多様性の減少・農業被害など人間社会や生態系への深刻な影響が予測されている。特にこれらは水循環の変化を通じて顕在化することが多い。これらによる経済的損失は2100年にはGDPの2～8%になるとの試算もある。人間活動そのものがグローバル化している昨今、日本の企業も海外の異常気象や災害による被害を受けているケースが増加しており、国益維持の観点からも気候変動に備えることは極めて重要だといえる。

3.2 日本の衛星地球観測が取り組むべき課題

現代の地球システム科学に期待されることは、第一に、気候変動の状況把握と予測をすること、そしてその精度を高めるための最新の知見を示すことである。これらを判断材料や根拠として、政策立案・実施がなされる。そして政策的な出口として、ECVとなる気候変動における基礎地球物理量において、世界的な枠組みにおける根拠、あるいは基準値として使われる信頼性の高いデータを示し、日本の国際的なプレゼンスを高めることが戦略として考えられる。

この中で衛星地球観測の果たすべき役割は、一つにはモデルの初期値あるいは境界条件として有効なデータを供給し続けることである。また、もう一つ重要なのは、たとえば雲の分布や豪雨など現在の数値モデルでは十分表現できていない自然現象を精確に捉え、その仕組みの理解を通じてモデルをより現実に即したものに進化させるための新しい観測データを取得することである。

前述したような気候変動の予測と、気候変動が引き起こす災害の減災・防災のためには全球的

な監視が必要であり、そのために様々な国際協定が作られている。国際的な枠組みの中で、我が国の地球観測衛星のこれまでの貢献は米欧とともに大きく、また、将来もリーダーシップを取ってゆく必要がある。基本的な観測量は国際協力の下で各国と分担して観測を継続してきており、日本が技術的優位性を有する、または、自国主導のもとデータを蓄積することが戦略的に有利と考えられるような観測テーマについては基幹ミッションとして位置付け、継続観測体制を維持することで効果的な研究がなされたいと考える。

3.3 中長期計画の考え方

本 WG では、世界の地球観測衛星の将来動向を分析し、わが国で将来にわたり実現すべき観測テーマ(陸域：植生・土地利用等、大気：温室効果ガス・雲・降水・風・大気微量成分等、海洋：海面水温・海色、極域)およびライダー等の新規開発センシング技術を決定し、日本気象学会の気象研究ノート「地球観測の将来構想に関わる世界動向の分析」 [7]にまとめた。これらは日本が強みを持つ、あるいは新たな強みとなるべき観測分野として位置付けられている。

これらの観測テーマはおおまかに 9 種類のセンシング技術（高分解能光学、高分解能 SAR、全球光学イメージング、全球マイクロ波センサ、雲降水レーダ、ライダー、大気化学センサ、温室効果ガスセンサ、静止衛星）のシナジーにより実現可能である。

しかし 9 種類のセンサをそれぞれ個別の衛星に搭載することは費用や観測サイクルの面から非現実的である。限られた予算の中で上記のミッションを成立させるために、相乗り、500kg 以下の小型衛星、多センサ共用の中規模プラットフォームの定期的打上げなど、2t 以上の専用衛星ミッション以外での観測実現機会も積極的に提案・活用していく。中長期計画の策定においては、低軌道衛星でのみ可能であった技術もその進展と効果を考慮したうえで静止衛星への移行も検討すべきである。センサの小型化は重要な技術課題であり、GPS のように多数の衛星に搭載することにより地球科学に貢献することは可能であるが、センサによっては原理的に小型化が不可能なものもある。センサの小型化をさらに進め 100kg 程度以下のマイクロサットに搭載するアイデアもある。軌道・姿勢制御、校正の面で適するミッションは限られるが、観測テーマや目指すサイエンスによっては有望である。小型化やフォーメーションフライト技術を活用したミッションは将来的に、中長期計画へ加わるものと想定している。

また前述のとおり、中長期計画では気候変動の理解を主たる目標に掲げるが、今後のわが国の地球観測をとりまく周辺状況を踏まえた適切な計画への見直しが必要である。このため、記載の個々のミッションについて、当該のミッション間や他国のミッションなどとの有機的つながりについても計画に反映・進化させていく予定である。

これらの考えのもと、基幹ミッションとして中長期的に取り組む観測テーマを元に、それらを観測するセンサを線表に表したのが図 5 である。ECV をもとに陸域・大気・海洋・極域に分け、13 の観測対象を挙げた。これらの観測対象を観測するセンサは高分解能光学センサ、高分解能 SAR、全球光学イメージングセンサ、全球マイクロ波放射計、雲降水レーダ、ライダー、大気分光計に集約される。また、気候変数を観測する現業の衛星として気象庁の静止気象衛星が存在する。これらのセンサの継続的運用により気候変動の理解・モニタリングを実現する。

中長期計画では前述の観測テーマを実現すべきおおまかな時期を想定しておき，具体的なミッション内容については短期計画において策定する．

尚，本ランドデザインについては適宜議論の上，改訂を重ねるものとする．

基幹ミッションで観測すべきテーマ		-2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040							
		JFY	-25	26	27	28	29	30/1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23						
陸域	植生・バイオマス	ADEOS-2 GLI																																		
	土地利用	ALOS-2011 レーダー:ALOS-2/PALSAR2																																		
土壌水分	Aqua (AMSR-E)																																			
大気	温室効果ガス	GOSAT 2009-																																		
	気象	ひまわり6, 7																																		
	雲・エアロゾル(2D)																																			
	雲・エアロゾル(3D)																																			
	降水(3D)	TRMM(PR) 1997-																																		
	降水(2D)	Aqua (AMSR-E)																																		
風	Aqua (AMSR-E)																																			
大気汚染																																				
海洋	海面水温	Aqua (AMSR-E)																																		
	海色	ADEOS-2 GLI																																		
海流																																				
極域	海水・雪氷	Aqua (AMSR-E)																																		

図 5 中長期計画線表

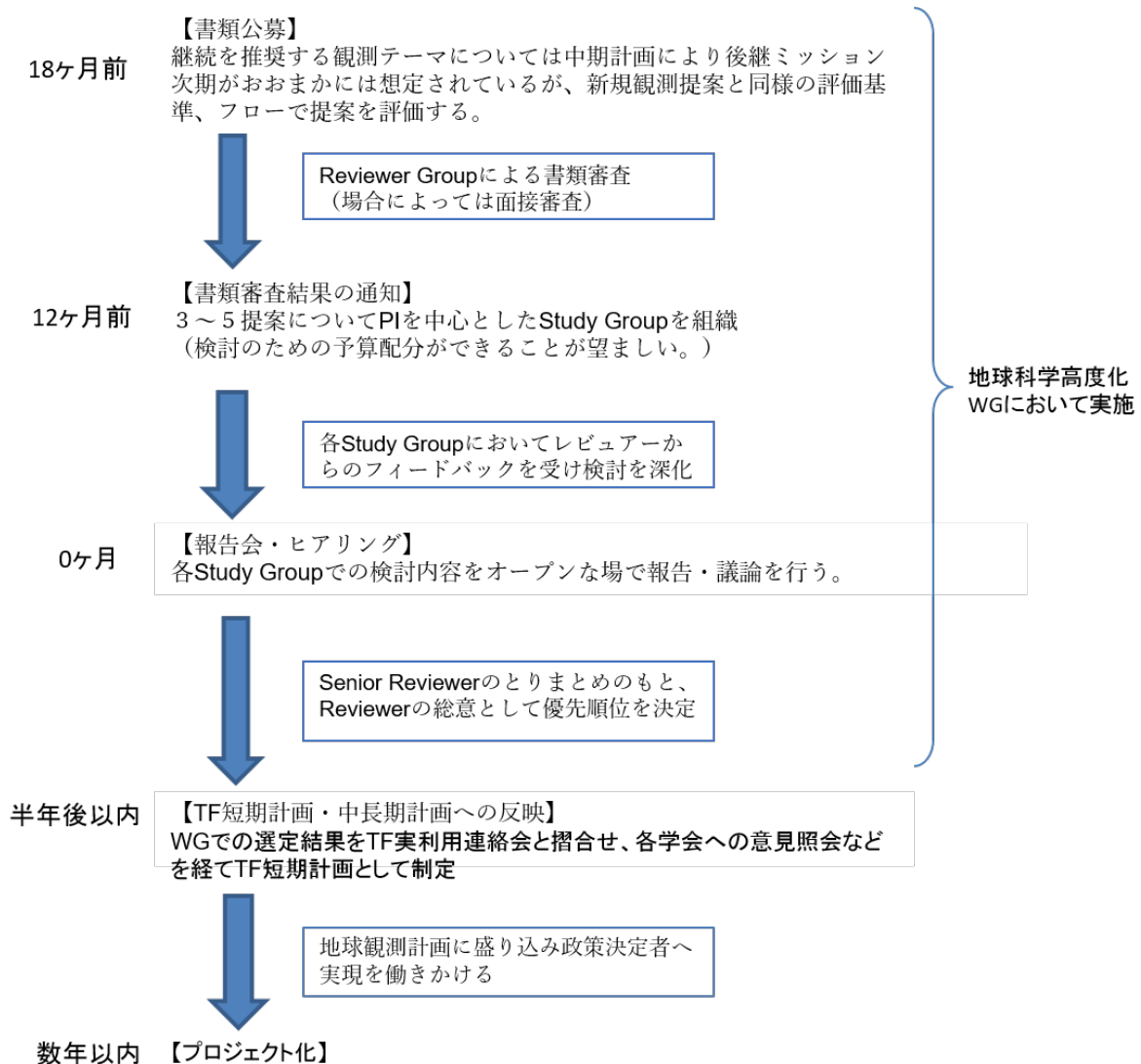
4 短期計画

4.1 ミッションの選定方法について

地球観測ミッションを、科学的な見地からの意見をまとめ、コミュニティの総意のもと政策提案者や関係省庁へ提案するため、本 WG においてピアレビューを導入し、時間的な優先度などを考慮した短期計画案を作成する。

中長期計画で想定されている観測テーマを実現するスケジュールに従い、短期計画策定時に具体的なミッション提案を募集し、各分野の有識者・WG メンバーと提案者間での議論および評価を経て、その後数年で実現を目指すミッションを選定する。これにより分野横断的な研究を促進し地球観測コミュニティを涵養するとともに、ミッション提案の科学的要求と実現性のフロントローディングな検討を行う。

提案されるミッションは効率化と新技術による高度化の検討が十分なされたものであることを要求する。評価は 技術評価、研究体制、開発体制、関連学会・団体、継続性/新規性、緊急性・タイムリーさ、国際的分担、予算状況、コスト削減策、期待される科学の成果、アウトカム、将来展望 の各項目について行う。科学的な見地からの選定について地球科学のコミュニティ内で最大限の合意に至るよう、選定は日本地球惑星科学連合大会等の機会を活用し、全工程での透明性・公平性に留意する。あわせて、短期計画ミッション選定の際には、宇宙基本計画の工程表に継続されると記載されている観測ミッションに対しても、科学のおよび実利用の観点からの TF としての要求の提案も行うとともに、観測ミッションや他の地球観測などの統合利用によるリモートセンシングの利用拡大につとめる。この過程を経て決定された本WGによる短期計画案に、行政利用などの実利用の観点での議論を踏まえた実利用連絡会の提言を統合し、TF 幹事会においてTFとしての短期計画案を取りまとめる。なお、TF短期計画案は、TF参加学会への意見召集、日本学術会議などへの意見照会およびTF全体会議における議論を踏まえて、TF短期計画として制定される。そして、このTF短期計画（宇宙基本計画の工程表に対応）を文部科学省宇宙開発利用部会、内閣府宇宙政策委員会および宇宙関係各省やJAXAなどの宇宙関係機関へ提案するというプロセスを想定している。



※Reviewerグループ:Senior Reviewer5～10人含む20～30人の地球観測分野の有識者で構成。他薦・自薦により観測テーマ・分野にばらつきのない人員構成とする。

図 6 地球観測短期計画へのミッション反映までのフロー (案)

4.2 第一期短期計画に含めるミッション

4.2.1 新規の提案ミッション

本節では、第一期(2018年度から5か年程度)短期計画において、実現あるいは開発に着手すべきと考えられるミッションについてまとめる。ミッション選定に当たり、今回はWIGOS³/EGOS-IP⁴及びGCOS 2016 IP⁵の二つの実施計画における要求と、気象研究ノート [7]

³ WIGOS : WMO 統合全球観測システム

⁴ EGOS-IP : Implementation Plan for the Evolution of Global Observing Systems

⁵ GCOS 2016 IP : 全球気候観測システム実施計画 (Implementation Plan for Global Climate Observing System 2016)

での議論に基づき、早急に必要かつ実現可能性の高いものをピックアップし、有識者による簡易的なピアレビューを経て決定した。なお、2017年12月の時点ですでに宇宙基本計画工程表に記載済みであったミッションについては除外している。

各ミッションの評価は、4.1で述べた各項目について ◎：他項目や競合ミッションに比べて優位性がある ○：実現可能と見込まれる △：実現にリスク要因がある の3段階で行った。以下では選定された各ミッションについてその概要を述べた後、表2の書式に従った評価、並びにミッションの総評と詳細な検討を記載する。

表2 ミッションの評価項目と詳細を示した表の書式

評価項目	詳細	評価
期待される科学の成果	地球科学での顕著な進展	
アウトカム	ミッションで得られる成果が、社会課題あるいはビジネスにどのような効果を与えるか	
技術	①コア技術、②優位性、③成熟度、④人材確保と育成	
開発体制		
研究体制		
関連団体		
継続性/新規性		
緊急性 タイムリーさ	次期短期計画で取り組むべき根拠	
国際的分担		
予算	直近の予算状況と想定されるスポンサーシップ	
コスト削減策	ミッション提案に反映済のコスト削減策	
将来展望	提案ミッションのさらに後継に関する研究テーマ、時期、およびそのセンシング技術の進むべき方向性等	

4.2.1.1 マイクロ波放射計（AMSR3）：継続

（地球規模の気候変動・水循環メカニズム解明に関するミッション）

提案者：江淵直人（北海道大学）

①長期・継続的かつ高頻度・高解像・全天候な定量的モニタリングによる地球表層の水循環の監視・解明、および②海水・氷床・積雪・海面水温・降水量・水蒸気量・土壌水分などの気候や水循環の変動監視を目的として、衛星搭載マイクロ波放射計の観測を提案する。

マイクロ波放射計は海洋・大気から放出されるマイクロ波を測定し、アルゴリズムにより様々な物理量に換算する。日本のマイクロ波放射計は AMSR シリーズと呼ばれ、これまで世界をリードしてきたセンサであり、海外の将来計画にも匹敵するものがなく、技術的な優位性も高い。全天候で観測可能であり、気候変動のメカニズムを解明するために必要となる変数を、世界トップの高頻度・高解像度で観測・提供する。具体的には、AMSR2 での世界最高性能での観測分解能及び 6-89GHz によって推定される全球水循環物理観測を継続・発展させる。同時に、新規に追加する高周波チャンネル帯（166/190GHz(TBD)）によって、全球降水量の変動把握に必要であるが AMSR2 では推定ができなかった高緯度の固体降水（降雪量）プロダクトを提供する。さらに超解像処理技術により AMSR2 にて約 50km 分解能で提供している海面水温プロダクトを、AMSR3 では約 20km 程度にし、沿岸約 20km まで利用できるプロダクトの提供を目標としている。

AMSR-2 から気象・漁業・船舶航行等の現業利用に組み込まれ、再解析データや全球海洋マップ、全球降水マップ等の複合データに主要入力として利用されているため、現業利用ユーザからのミッション要求の声も大きい。

評価項目	詳細	評価
期待される科学の成果	<p>温暖化の指標である雪氷圏・海水の変化をふまえた気候変動の影響予測の研究に資する観測データは世界トップレベルの精度の AMSR シリーズが担うべき。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・海洋深層循環の解明につながる海水の研究 ・中長期データレコード（海水、水蒸気、SST、土壌水分等）、Climate Data Record 化⁶※ ・短期予測でのデータ同化（輝度温度、水蒸気、降水、土壌水分、海面水温、海水） ・気候予測モデルの初期値、境界条件（海面水温、土壌水分、海水） ・気候予測モデルの検証評価（海水、水蒸気、降水量、海面水温、土壌水分量） 	○
アウトカム	<ul style="list-style-type: none"> ・気象予報、防災での現業利用の継続および精度の向上 ・水循環・気候変動予測 ・水資源管理、洪水・旱魃予測、農業 ・沿岸域への漁場予測の拡張、水産資源管理：AMSR2 を含めた衛星データの利用により、約 16%の燃費節約が報告されている他、AMSR2 観測データが停止すると、漁 	○

⁶ Climate Data Record：気候の変動性と変化を決定するのに十分な長さ、一貫性、連続性をもつ時系列に沿った測定（NCR:全米研究評議会による定義） [8]

	<p>海況分布の精度が落ちることが利用者から報告されている。</p> <p>・海上交通支援：極域全域を 10km 解像度で毎日モニタ可能なセンサとしては世界唯一であり，近年急速に増加している北極海資源開発目的の輸送運航（6000 万トン以上の輸送量を見込む）の最大の課題である海水予測の精度向上に貢献できる。</p> <p>AMSR2 による短期の海水予測情報の精度の向上や，現在は精度が低く実用に至っていない中長期の海水予測精度向上に向けた海水モデルの改良に貢献することで，スエズルートに対する北極海航路の優位性を増進し，北極海航路のもたらす権益に対する我が国の存在感を後押しする。</p>	
技術	<p>① コア技術：低周波チャンネルを維持するために 2m の大型アンテナが必要，かつコニカルスキャンのための回転駆動機構により，広い観測幅（AMSR2 で 1600km）を確保している。</p> <p>② 優位性：衛星搭載マイクロ波放射計としては世界最大である 2m のアンテナにより可能となる低周波の 7GHz 帯チャンネルは海面水温と土壌水分量の推定に用いられる。AMSR3 では 166,190GHz(TBD)帯のチャンネルを加えることで，水蒸気や降雪の観測を実施することを検討。また，超解像技術により，20km 解像度で沿岸 20km まで海面水温の推定域を拡大する。</p> <p>③ 成熟度：AMSR-E,AMSR,AMSR-2 の開発により，十分成熟している。</p> <p>④ 人材確保と育成：AMSR-E, AMSR2 で設計製造を担ったメーカー技術者の世代交代の時期であり，継続できない場合はノウハウが失われる。</p>	◎
開発体制	JAXA による開発・GOSAT-3 との相乗りでの打上げ予定。	○
研究体制	JAXARA を基本とした科学者コミュニティ，米国 NOAA を中心とした米国 AMSR2 サイエンスチームとの連携，EUMETSAT をハブとした欧州気象機関との連携などの連携体制が整っている。	○
関連団体	水産海洋学会，水文・水資源学会，日仏海洋学会，日本海洋学会，日本気象学会，日本雪氷学会，日本地球惑星科学連合，日本リモートセンシング学会，日本写真測量学会，漁業情報センター，水産庁，気象庁	○
継続性	AMSR-E, AMSR-2 で約 15 年間のデータを蓄積済み。AMSR-3 によって 7/10GHz の全球観測データは世界最長のデータレコードとなる。特に極域の海水監視については信頼性の高いデータとして世界的に評価されており，海水生成と深層循環のメカニズムの解明に用いられるなどの成果につながっている（Nature 掲載）。想定外の速さで変化している地球環境の監視および長期気候変動の理解のため，モニタリングの継続が必要。	◎
緊急性 タイムリー さ	AMSR2 は 2012 年の打上げ後，設計寿命の 5 年を経過し，後期運用に入っている。マイクロ波放射計は回転駆動部の潤滑剤が寿命を決めると想定されるため，AMSR2 運用停止前に AMSR3 を打上げるためには即座に開発に着手しなければならない。AMSR2 との同時観測により観測精度の連続性を担保し，万が一 AMSR2 が AMSR3 運用開始前に停止した場合でも観測の空白期間を可能な限り短縮する必要がある。	◎
国際的分担	NOAA は JPSS 計画にマイクロ波放射計を持たず，AMSR2 およびその後継センサ	◎

	を利用する計画であり、GCOM-Wでのサポートを後継センサでも継続する予定。NOAAや、WMO、CGMS、OOPC、SOOS等の国際機関・枠組みからのAMSR2後継ミッションへの要望あり。低周波数帯観測に必須の2m級アンテナの実現が技術的に難しいため各国で開発できておらず、全体的にコニカルスキャン型のマイクロ波放射計が減少傾向。AMSR2は唯一の午後軌道のマイクロ波放射計としてGPM計画に加わっており、全球降水マップの精度維持にも不可欠。	
予算状況	平成30年度予算要求に次期マイクロ波放射計の開発研究（要素試作試験等）に係る費用を計上。	◎
コスト削減策	AMSR-E/AMSR2で培った技術や知見を活用することで、開発費用を抑える。加えて、GOSAT-3と相乗りすることで衛星バスや打上げ費用などが合理化され、総経費を圧縮可能。	○ (相乗りの場合◎)
将来展望	大口径マイクロ波放射計を継続できれば、2020年代においても世界トップの優位性を確保できるほか、高周波チャンネルを追加することで、デファクトスタンダードを維持できる。AMSR3の開発と同時に、さらに次の世代のマイクロ波放射計に向けては、開発に時間のかかる高解像度化や静止衛星搭載についての技術研究開始も必要。	○

(総評) 観測の継続、日本の優位性を保つ観点からも最優先で実現すべき。相乗り実現により大幅なコストダウンが見込めるため、相乗りのための調整をWGとして後押しする。

(実利用の観点から)

一般社団法人漁業情報サービスセンターでは、NOAA衛星の赤外センサとAMSRのマイクロ波放射計で観測したデータを用いて表面水温の情報を提供している。この利用事例については、平成25年度宇宙開発利用大賞を受賞しており、高騰する燃油が16.1%節約できた、漁業の近代化により若い船頭が増加した等の効果が評価された。我が国が漁業技術先進国として、存在感を示す為には、必要なセンサといえる。気象予報分野では、気象庁の数値予報システムで、AMSRのデータが継続して利用されており、気象予報の精度維持・向上のためには、AMSR3の利用が必須である。

一方、地球温暖化の指標データ作成に焦点を当てると、雪氷圏での変化モニタリングや気候予測データの一部として海氷や水蒸気が利用されていることから、研究から一歩進んだ実利用側でのビジネスにもつながっていくと予測される。北極航路の海氷モニタリングや予測では、応用手法としてビジネス側でも利用され始めている事にも着目すべきと考える。

なお、土壌水分量のデータは既に農業モニタリングの一指標として、欧米の企業は利活用を始め、情報提供まで行っている企業も存在している。さらに我が国のリモセン事業者でも途上国の流域水循環モデルの構築にあたりデータを利活用している事例がみられることから、途上国支援という位置づけからもデータの有用性は重要と考えられる。

(議論：ミッションの方向性)

DMSP-F20のキャンセルを含めて、国際的にみてもマイクロ波イメージャの将来計画は少な

く、AMSR シリーズ並みの大口径アンテナのものは存在しない。午後軌道にあるマイクロ波放射計は AMSR シリーズと中国の FY-3 シリーズのみ（7GHz 帯がなく、アンテナも小さい）であり、数値予報や全球降水マップ等で AMSR シリーズが果たしている役割が大きい。高周波チャンネルは SSMIS や GMI、欧州の EPS-SG（2022 年打上げ予定）など最近のマイクロ波放射計はすべて備えており、温暖化の影響による全球降水量の変動において重要な要素である高緯度の固体降水推定に必須であることが明らかになった。ただし、予算的な制約が存在する場合、AMSR シリーズのコア技術たる低周波チャンネルを重視し、シナジーをあきらめることにはなるが高周波チャンネルを非採用とするのはやむをえないと考える。

もっとも、一機当たりのコストダウンをはかるには量産が効果的である（例：欧州 EUMETSAT の MetOp シリーズ）。マイクロ波放射計の継続観測の重要性を考えると、同時に複数台製作し、相乗り機会を活用し順次打上げることが望ましい。

一方、小型化（300～700kg 級衛星）の方向性も考えられる。その場合、アンテナ口径を小さくするか、チャンネル数を減らすことが考えられるが、空間分解能および観測できる物理量の数とのトレードオフになる。現在のユーザはより高い空間分解能を求めており、アンテナ口径の縮小はこの方向とは明らかに逆行する。またチャンネル数を削減する場合、現在 AMSR2 が観測しているパラメータのうち、どれを削るかという議論になる。小型化を図る意味では、最も周波数の低い 7 GHz チャンネルを削ってアンテナ口径を小さくする案が考えられるが、その場合、海面水温や土壌水分、全天候海上風速などの観測に支障が出る。また、米・欧・中などのマイクロ波放射計計画と比較した場合の日本の優位性が全く損なわれる。そのほか、米国 JPL が開発している COWVR（Compact Ocean Wind Vector Radiometer）の将来計画（COWVR-ESPA follow-on）のように 2m クラスのハイブリッド展開型アンテナ（中心 1m 口径が高周波用の固体アンテナであり、その周囲を展開型の低周波用メッシュアンテナで縁取る）のように、全く異なるコンセプトのアンテナを開発する方向もある。AMSR2 観測とのギャップ軽減を最優先としている次期マイクロ波放射計では、開発期間的に実現が不可能だが、さらに将来に向けた技術開発として期待できる。

さらに極端に小型化を進めた超小型衛星（100kg 以下）については、米国で TROPICS などの高周波チャンネルのミッションが計画されているが、小型化と同様、AMSR2 が築いてきた優位性である大口径のアンテナ及び 7GHz チャンネルの観測が損なわれることになる。

技術の海外輸出・展開の観点で言うと、過去 AMSR-E を Aqua に搭載した実績があり、AMSR3 についても複数海外機関に打診を行っている。

4.2.1.2 植生ライダー (MOLI) : 新規

(森林バイオマス推定のためのミッション)

提案者：浅井和弘（東北工業大学）

本ミッションの目的はライダーと L-band SAR 等との統合利用による森林バイオマス推定の高精度化の実証と、宇宙用ライダーの軌道上実証である。MOLI の LIDAR データを L-band SAR 等の面的観測をするセンサと組み合わせ、特に L-band SAR で精度が不足する高密度の森林の評価を補完することで、全球の高精度森林バイオマスマップを作成することが可能となる。また、将来の応用ライダー開発において、核心となるレーザー送信機の技術を確立することで①局所的精密 DEM の整備、②大気・気象観測による全球大気輸送モデルへの応用等の貢献へとつながる。具体的には MOLI(高度計)において①レーザー送信機の長寿命技術の確立、②走査機能を付加することで面的観測を可能とする高度計（精密 DEM）の実現、③相対的波長精度を厳密化することでドップラーライダー（風ベクトルの計測）の実現という技術ステップを踏んでいく基礎的技術開発である。

ライダーは信号源にレーザーを用いたレーダであり、散乱光を測定し対象の距離、物性、運動などを計測する。軌道上ライダー技術はバイオマス測定・風向風速測定・安全保障などの分野で今後世界的にも重要性を増すと考えられており、日本が手に入れるべき技術として、非常に優先度が高い。

評価項目	詳細	評価
期待される科学の成果	これまで正確に測れなかった熱帯域・未踏地域の樹高を地上測定と同程度の精度で測定する。他の測定法で得たバイオマス量に対する基準としての期待。	○
アウトカム	MOLI によりライダーのセンサ技術森林評価技術を実証し、実用センサに発展することにより、森林炭素モニタリングへの衛星利用として、ALOS や GCOM-C などとの併用評価手法を国際標準とできる期待が高い。それにより、国内外の森林炭素貯蓄量管理のため、違法伐採防止を目的とした早期警戒システムの構築につながる。これらは国内外の実用的な森林管理、および森林が二酸化炭素の吸収源であり、今現在評定誤差が大きいことを考えれば GOSAT では仮定の入っていた地表面二酸化炭素フラックスの推定を正確にし、国の政策に反映できる。	○
技術	① コア技術：世界的な技術課題であった大出力パルスレーザー送信機の長寿命化に成功（65億ショット実績） ② 優位性：他の植生ライダーに比べ、自ら観測地点の地盤面傾斜を補正し、樹高、バイオマス誤差の大幅低減が可能 ③ 成熟度：別用途の衛星ライダーでの森林観測の実績あり（ICESat） ④ 人材確保と育成：将来的にライダー技術のニーズが世界的に増加すると予想されるため、開発経験を有する人材を育成することは重要	◎
開発体制	JAXA による開発、ISS-JEM-EF にドッキングし運用	○
研究体制	森林総研や国立環境研究所との協力体制があるので、日本の関係コミュニティを牽引できる。利用については JICA との協力の方向で調整中	○

関連団体	システム農学会，日本森林学会，JICA，エアロゾル学会，日本気象学会，写真測量学会，計測自動制御学会，日本リモートセンシング学会，日本地球惑星科学連合	○
新規性	地球観測用大出力パルスレーザーセンサとして日本初.	○
緊急性 タイムリーさ	協力して観測する NASA GEDI ミッション※（2019-20 運用）および「しきさい」との同時観測期間を得るとシナジー効果が高いため，2020 年度打上げ予定とする.	◎
国際的分担	NASA GEDI ミッション ⁷ との国際協力を調整中	○
予算状況	フェーズ A（概念検討）は JAXA 審査会にて承認済. フェーズ B（設計/開発）の予算獲得を働きかけてる.	△
コスト削減 策	ISS の汎用実験アダプタである i-SEEP の“交換可能である”という特性を生かしたコスト低減策を採用. 技術実証ミッションとして限界の予算設定となっている.	◎
将来展望	MOLI 実用機では JICA や農水省との連携を期待. 風ベクトルの全球 3 次元観測をめざすドップラーライダーや精密 DEM を実現するレーザーสキャナ技術への発展.	◎

（総評）軌道上ライダー技術は日本が有するべき技術として優先度が高く，地球観測コミュニティとして積極的にサポートしていくべきである。ISS 搭載にむけた JAXA のミッション定義審査において、ミッションならびに技術・研究開発の意義等が確認された。

（実利用の観点から）

MOLI の特徴として，これまで取得が困難であった高精度な 3 次元構造情報の取得が可能であり，REDD+⁸において日本が優位な技術を有するリモートセンシングを活かした国際的な政策支援が可能となる。

現在 JICA-JAXA の連携で森林の違法伐採防止向けの早期警戒システム（JJ-FAST）が運用を開始しており，多くの国で実績を上げているが，ライダーセンサーの導入により，より正確に検知できるとともに，バイオマスの変化量を詳細に推定することができることから，温暖化政策の観点や外交政策上として意義の高い技術である。

今後は，民間の企業活動を加えた監視モニタリングの手段として期待されているセンサでもある。

（議論：ミッションの方向性）

地球観測におけるレーザーレーダの応用範囲は森林観測のみならず，ドップラーシフトを利用した風分布の 3 次元計測，大気組成（例えば CO₂）による吸収線の ON/OFF 差分を比較することによる微量気体の 3 次元計測，スキャニングする高度計測による精密 DEM 作成など，多岐にわたるが，世界的にまだ未成熟のセンサ技術である。地球観測向けレーザーレーダ技術は高出力パルスレーザーを信号源として用いるが，最も重要なキー技術はレーザー寿命の確保である。上記に示す多種のライダーのどの種類でもその技術は確保できるが，そのうち，最も基本的で実現

⁷ GEDI(The Global Ecosystem Dynamics Investigation): ISS-JEM-EF に搭載される NASA-GSFC/Maryland-U による植生ライダー。MOLI と相補的な観測を実施予定

⁸REDD+：熱帯林の減少と劣化対策により気候変動を抑制するための国際的メカニズム

しやすいライダーは高度計に分類される森林ライダーである。

今回、搭載用として日本ではじめてのレーザーレーダ開発となることを勘案すれば、ISSの共通の実験環境を利用した今回の提案が、すでに最小化されている。あえてレーザー送信機だけを搭載し、技術実証だけに絞るオプションがあり得るが、結果的にコストなどが大きく変わらず、システムとして搭載した場合、バイオマス評価アルゴリズムの検証も同時に実施可能であることと比較して、コストパフォーマンスは低い。

4.2.1.3 SLCP イメージング分光計(APOLLO, uvSCOPE)：新規

(短寿命気候汚染物質の削減にむけたミッション)

提案者：笠井康子 (NICT)

本提案は短寿命気候汚染物質 SLCP⁹削減に向けたインベントリ把握を目的とする。SLCP は大気汚染と気候変動の双方に複雑に関係している。CO₂ と比較し削減効果が短期的に得られるため、地球温暖化対策の新たな手法として、国際的な取り組みが始まっている。また、WHO レポートによると、大気汚染に起因する死亡者数は世界で 370 万人程度と報告されている。これは交通事故死者数の約 3 倍に相当し [9]、ますます深刻さは増している。SLCP は排出源が局所的であり、実態把握のためには高水平分解能の観測が必要となる。本提案の特徴は、低軌道からの観測による水平分解能の向上 (目標：水平分解能 1-2km) と、UV/VIS/SWIR+MIR+MW 分光観測シナジーによる地上付近 SLCP 物質 (特に健康被害に影響のあるオキシダント) の検出である。

評価項目	詳細	評価
期待される科学の成果	<ul style="list-style-type: none"> SLCP 排出源の特定と排出量の実態把握とプロセス解明。 大気汚染の主要物質である対流圏オゾンについて、役割の異なる地表付近、自由対流圏、上部対流圏を分離して、グローバルな動態の解明と影響度の評価を行う。 アジアにおけるエアロゾルについて、ブラックカーボンや PM_{2.5} など、気候や健康に影響を及ぼすエアロゾルの広域的な分布や時間変動を明らかにする。 	○
アウトカム	SLCP 実態把握によるホットスポット排出源検知。大気汚染状況把握による健康被害推定および予測。農地および草地からの SLCP 発生の実態把握と発生軽減手法開発への貢献、工業地域からの農地への SLCP 流入の実態把握と農作物被害を軽減手法開発への貢献。地球温暖化施策への短期的な効果による貢献。	○
技術	<ol style="list-style-type: none"> コア技術：ODUS/OPUS 研究や EOS-CHEM, 静止軌道からの大気汚染ミッション観測の検討等により JAXA 等国内で検討された実績がある。 優位性：日変化観測 (太陽非同期) かつ低高度周回衛星搭載による高水平分解能観測は世界初。SLCP 排出源の特定には高分解能が求められている。 成熟度：UV/VIS/SWIR は欧米で長い歴史があり、日本でも ODUS/OPUS 開発の実績。MIR も欧米では TES, IASI の実績、日本でも IMG, GOSAT での FTS 搭載の実績。MW は SMILES の実績。 人材確保と育成：気候変動ビジネス、サービス人材育成。大学や国研による先進的衛星開発人材の確保。 	◎
開発体制	各省+情報通信研究機構, 国立環境研, 海洋研究開発機構を想定	○
研究体制	日本・海外の研究機関や大学 (NICT, JPL, ブレーメン大学 etc.) による国際的な協力体制を整備。大気化学会のバックアップ。	○

⁹ SLCP : short-lived climate pollutants : 対流圏 O₃, NO₂, CH₄, CO, Aerosol (PM_{2.5}) などを指す。

	サイエンスリーダー 金谷有剛 (JAMSTEC) 検証リーダー 谷本浩(NIES) 測器リーダー 研究レベルでは JAXA とブレーメン大学	
関連団体	日本大気化学会, 大気環境学会, エアロゾル学会, 日本気象学会, 日本リモートセンシング学会, 日本地球惑星科学連合など. NIES, JAMSTEC, NICT.	○
新規性	日変化観測 (太陽非同期) かつ低高度周回衛星搭載による高水平分解能観測は世界初.	○
緊急性 タイムリー さ	速やかな地球温暖化対策効果の検証, 深刻になる大気汚染による死亡数の軽減, の観点から可及的速やかな観測が望まれる.	○
国際的分担	空間分解能 7-8km 程度の Sentinel-4(ESA), TEMPO(NASA), GEMS(KARI)の時間的に連続な静止衛星に対し, 日本が太陽非同期軌道グローバルな高分解能 (1-2km) 実態把握を行うことで, 「標準データ提供者」として, 国際政策に対しイニシアチブをとる.	◎
予算状況	1 測器 3-20 億程度(観測物質数に依存) 現在は運営費交付金による基礎技術開発. 今後は各省による大型標準センサ開発のほか, 民間小型衛星による多数展開を期待	○
コスト削減策	それぞれは完成されている技術であるため「早く・安く・軽く」が可能である.	○
将来展望	静止衛星・小型衛星への搭載. 政府が作る標準衛星を軸に, 民間の小型衛星群が多数展開することが望ましい. 静止衛星は韓国との国際分担によるシリーズ継続を想定している	○

(総評) この提案の背景にあるミッション (APOLLO) は ISS 搭載にむけ, 技術・科学の成立性の検討は実施済み.

(実利用の観点から)

衛星データを利用した健康被害を及ぼす物質のモニタリングは, 需要があり, 近年の新しい学際分野である生気象学においても, 衛星データへの期待は大きい. 日本海側の自治体では, 大陸起源の PM_{2.5} 等の大気汚染物質のモニタリングやその情報配信を行っている. 健康大国を目指す我が国としては, 生気象学等の予防医療分野と連携し SLCP を利用した大気汚染情報の配信を促進すべきである.

(議論: ミッションの方向性)

UV-VIS 分光観測は ISS のような低軌道からの観測のみならず, 静止衛星や小型衛星搭載についても大気環境観測衛星検討会において詳細な検討が行われ, その結果が報告書や論文として出版されており, いずれも実現可能性がある [10].

観測対象である O₃, NO₂, SO₂, HCHO などの化学種は大気中での寿命が短いため, 高い時空間分解能が要求されるが, 静止衛星を用いることで高い時間分解能担保しつつ広いバンドで

の観測が実現する。また小型衛星搭載では、NO₂ に特化した形の観測が可能である。我が国の環境監視を優先するのであれば、静止衛星観測を中心とし、小型衛星を補助的に活用する戦略も考えられる。このようなさまざまな観測オプションをもつプラットフォームとそれに適したセンサを搭載するミッションを同時に実現することで SLCP の常時高分解能観測が可能となり、ISS 搭載の APOLLO はその一端を担うミッションである。

4.2.1.4 アクティブセンサによる降水観測（GPM 後継ミッション）：継続

（全球降水の定量観測及び雲・降水過程の解明に関するミッション）

提案者：高橋暢宏（名古屋大学）

本提案の目的は全球的な雲降水システムの理解とそのモニタリングである。これにより降水システムおよび、気候変動による降水システム自体の変化とその量を全球規模で継続的に把握する。レーダによる降水観測は感度・精度が高く、わずかな降水システムの変化に対しても検出が可能であり、数値気候モデルの発展と連携して気候変動を解明する。気候変動における降水のモニタとしての役割は精度の観点からレーダ観測にしかできない。また、気候変動研究に重要なエアロゾル・雲・降水過程のメカニズムを全球規模把握するためには、レーダの性能も高感度化、高分解能化や動的な情報の取得が重要である。雲レーダとの同時観測が実現すると、雲放射加熱と降水潜熱加熱の双方を同時に推定可能とするため、気候学研究に有用である。

さらに、気象・防災等多岐にわたる活用がなされている全球降水マップの提供を継続することでインフラとしての定着を見込んでいる。

評価項目	詳細	評価
期待される科学の成果	<ul style="list-style-type: none"> ・降水のプロセス研究の深化。地球規模の高精度 3 次元降水物理情報を提供することにより、気象学や気候学の課題である地球規模での雲・降水物理過程の理解が進む。 ・気候変動による降水システムやプロセス体の変化とその量を全球規模で継続的に把握する。レーダによる降水観測は感度・精度が高くわずかな降水システムの変化に対しても検出が可能であり、数値気候モデルの発展と連携して気候変動を解明する。 	◎
アウトカム	<ul style="list-style-type: none"> ●衛星降水レーダの存在による効果： <ul style="list-style-type: none"> ・全球降水マップの精度が担保でき、実利用ユーザの拡大につながる。 ●地球全体の精度の良い降水マップを提供することによる効果： <ul style="list-style-type: none"> ・防災（各国現業機関）：数値気象予報（データ同化）、台風予測、洪水予測の精度が向上する。 ・温暖化対応（各国関係機関、国連、NGO）：公衆衛生（疫病の発生予測・医療物資の効率的配分）、農業生産・予測等における精度の高い情報提供に繋がる。 ・水ビジネス：保険、コンサルタント業での活用が可能になる。 ・広義の安全保障：自国のリソースでグローバルな気象情報を取得可能である体制の継続。 ●全球水文モデル利用による効果： <ul style="list-style-type: none"> ・全球降水マップを陸面水文シミュレーションモデルの入力値として用いることで、単なる降水情報に留まらず、水災害・食糧・エネルギー問題等に資するローカルな水情報の提供も可能となる。 <p>以上により、日々の生活の利便性が図れるほかや淡水資源の効率的管理による生活・産業の安定にもつながる。また、気象・気候予測の向上により数日から数十年のタイムスケールでの備えと対処が可能となる（人命と財産の保護、レジリエンスな都市や</p>	○

	経済活動の設計等).	
技術	① コア技術:アクティブフェーズドアレイレーダ技術と観測精度を保証する校正技術. ② 優位性:衛星降水レーダ (Ka 帯・Ku 帯) は現在世界で唯一. ③ 成熟度: PR, DPR で経験が蓄積されている. 長期間の安定稼働の実績あり. ④ 人材確保と育成: PR, DPR で設計製造を担ったメーカー技術者の世代交代の時期であり, 継続できない場合はノウハウが失われる.	◎
開発体制	現状世界で唯一の衛星降水レーダである TRMM/GPM の実績をもとにした JAXA 主導でのレーダ開発. ミッションは NASA との国際協力で実現することを想定.	◎
研究体制	TRMM/GPM で培った科学者コミュニティが幅広い世代で醸成されている. 日米合同の科学者会議で協議することにより高いレベルでの研究を実現.	◎
関連団体	日本気象学会, 水文・水資源学会, 土木学会, 気象庁, 国土交通省, 海外の気象・水文機関, 日本地球惑星科学連合, 日本リモートセンシング学会, 日本写真測量学会	○
継続性	気候変動による降水の変化を把握するためには, レーダによる全球の観測を継続していくことが必要. 地球全体の軌道上の降水レーダによる降雨観測は現状世界で唯一であり, センサの交代にもかかわらず校正等の努力により 20 年間の均質なデータを提供している. 次期ミッションで Ku 帯による同質の降水観測を継続する場合, データ期間がさらに拡大する.	◎
緊急性 タイムリー さ	GPM は 2014 年 2 月打上げ, 3 年 2 か月の設計寿命. 2017 年 9 月現在, 機器異常は起こっていないが, 設計寿命を鑑みると後継ミッションに着手するのに適当な時期である. 米国 Decadal Survey の結果を受けて, NASA との共同ミッションを想定した議論を加速している. その中において, 高度化したレーダは最も重要な基盤となり, NASA 側が検討しているドップラーレーダとの組み合わせによりシナジー効果が得られる.	◎
国際的分担	日本は米国とともにリーダーシップをとり国際協力のもと GPM 計画を実現した. そのプロダクトの GSMaP において DPR は多数のマイクロ波放射計間の基準として機能し, 精度を向上させる面で寄与が大きい. そのため GSMaP は途上国での利用など実利用方面での貢献も高く評価されている.	◎
予算状況	平成 29 年度 後継ミッションでの要素技術検討の JAXA 内予算獲得. 予算規模はセンサで~200 億. 文部科学省予算を想定.	△
コスト削減 策	KuPR のデグレード廉価版などによるコスト削減は可能. ミッションコンセプトにより高度化と 2 つの方向性がありうるため検討を継続.	△
将来展望	レーダの高度化を通じて技術の成熟を図る. スピンアウト技術として, 安価なレーダのコンステレーション衛星 (5~10 年以内). 社会的に最もインパクトを与えることが可能なのは静止軌道からの観測であり, 現状での最終ゴールとなる (10~20 年後).	○

(総評) 現状世界で唯一の衛星搭載降水レーダであり, 二世世代続いた技術的な成熟度とデータの

実利用への展開は特筆すべきである。実現には予算確保の面で課題が残る。

(実利用の観点から)

全球降水マップの情報は既に全世界の多くの国に配信され、利用されているところである。特に降雨状況の把握のみならず、斜面災害、浸水被害の予測に有用である。特に、斜面災害では、日本が得意とするシミュレーション技術と連動し、早期に被害の危険個所を評価することが可能となる。日本の先進的な防災技術は世界的にも注目されており、防災技術立国の我が国として世界をリードすると共に、世界に貢献すべき技術と言える。また、日本の企業がグローバル展開している昨今では、世界の被害情報や予測情報を企業に配信することは、BCPの観点からも有用な情報である。

なお、昨今では途上国の農業インデックス保険の指標に採用され始め、民間の保険会社が採用するなど、ODAだけではなく商業実利用でも効果を発揮している。

(議論：ミッションの方向性)

軌道上の降水レーダに求められていた第一のニーズである「全球の降水分布と降水システムを把握すること」が TRMM, GPM により実現されたとみると、今後の方向性は大まかに 2 つ考えられる。1 つは前述のミッション提案に示した降水現象の物理素過程を重視する「プロセス志向」に応える観測機能の向上と、もう 1 つは PR・KuPR の技術を用いて小型化・コストダウン (同時にスペックダウン) した機器の複数軌道投入による観測頻度の向上である。現在の衛星降水マップの精度の限界はマイクロ波放射計の観測頻度でほぼ決まっており、これをマイクロ波放射計よりも精度のよいレーダに置き換えた上で、投入軌道の適切な選択により重点観測地域の観測頻度を増加させることで対象地域での精度の底上げが可能となり、ユーザ数と利用用途の拡大が期待できる。また数値予報モデルの入力として用いる場合は、観測頻度とカバレッジがダイレクトに精度向上に寄与すると考えられる。こちらの案は国際協力によるコンステレーション実現にむけて、実利用ユーザを含めたステークホルダーへ働きかけていく考えである。さらに小型化を進めたマイクロサット (6U クラス) への降水レーダ搭載が米国等で進んでいるが、それらの観測の精度を担保するには、DPR 相当のレーダの存在が前提となっている。静止軌道からのレーダ観測は技術的には最終的な到達点のひとつであり、台風の発生・発達段階から常時観測を行うことで、予報精度の大幅な向上が期待できる。温暖化に伴ってスーパー台風の発生件数が増加されると予想されており、台風の勢力、経路の正確な情報が社会に与えるインパクトは大きい。しかし静止軌道から実用に足るデータを取得するための観測システムは非常にチャレンジングで多くの技術上の課題があり、段階を追った研究開発が必要である。

4.2.1.5 広域光学イメージャ (GCOM-C 後継ミッション) : 継続

(地球環境変動(地球温暖化を左右する全球の放射強制力や生態系変動)の監視・解明に関するミッション)

提案者: 本多嘉明 (千葉大)

本提案の目的は長期・継続的な定量的モニタリングによる地球環境変動(地球温暖化を左右する全球の放射強制力や生態系変動)の監視・解明である。光学(近紫外～熱赤外)イメージャの技術は将来の新たな光学センサに発展しうる基盤的な技術であり、世界的優位を保つために継続する必要がある。

SGLIの系譜となる光学イメージャは幅広い波長によって監視することにより、地球温暖化に伴って変わる気候システムの変動について現時点では予期していない変化も含め監視できる。また、予測されている気候変動の進行状況を正確に把握できることにより、温暖化抑制政策の効果の評価や、将来に向けた適応策の策定とその診断的な軌道修正を行っていくことができる。自国のセンサとして独自の情報源泉を持つことで、気候変動の状況把握に対して日本独自の判断材料を持てると共に、世界標準の情報として世界に発信することができ、気候変動における国際的な戦略を持つことができる。

評価項目	詳細	評価
期待される科学の成果	放射収支に関わる雲・エアロゾルや雪氷のアルベド、炭素循環に関わる陸と海の植生について、その量と気候変動による変化を全球規模で継続的に把握する。広い観測幅による高頻度な地球規模の物理情報を提供することにより、気候予測の誤差要因となっている地球規模の雲・降水物理過程や植生変動についての理解が進み、将来予測精度を改善させる。	◎
アウトカム	社会課題「地球温暖化とその対策」: 温暖化やそれに伴う地球環境変動の予測精度を向上させ、地球温暖化対策(例えば、日本(地方公共団体は含まない)の地球温暖化対策関連予算は総額8000億円以上(平成29年度、環境省発表))のより早期の策定や診断的な軌道修正ができることにより(例えば0.5度の予測精度の向上は数十年のアドバンテージに相当する)、将来の地球環境に対するリスクや国民の不安を軽減できる。日本のセンサとして独自の情報源泉を持つことで、気候変動の状況把握に対して日本独自の判断材料を持てると共に、世界標準の情報として世界に発信することができる。 ビジネス「地球環境情報の活用」: 衛星で得られる光・温度・植生分布情報等を利用し、漁場予測・資源量評価、農作物の収量予測や最適耕作地の選定、それらの環境リスク評価等へ繋がる。	○
技術	① コア技術: 光学イメージャの技術は将来の新たな光学センサに発展しうる基盤的な技術であり、世界的優位を保つために継続する必要がある ② 優位性: GLI や SGLI において近紫外波長や海外センサより細かい 250m 解像度の実績がある ③ 成熟度: OCTS, GLI, SGLI の開発により技術的に十分成熟している	◎

	④ 人材確保と育成: GCOM-C から継続できれば, GCOM-C で培った技術を持つ人材を維持し, その次世代の育成に繋げることができる	
開発体制	JAXA による開発	○
研究体制	GCOM-C で培った JAMSTEC や大学・研究機関等との共同研究体制.	○
関連団体	日本地球惑星科学連合, 日本リモートセンシング学会, 日本写真測量学会, 海洋学会, 雪氷学会, 気象学会	○
継続性	GCOM-C の放射強制力や生態系変動の観測を継続する. 気候変動の監視のためには更なる長期の継続が必要	○
緊急性 タイムリー さ	GCOM-C の設計寿命が 5 年であるため, 確実に継続するためには 2021 年度~2022 年度に打ち上げる必要がある	○
国際的分担	ESA/EUMETSAT の Sentinel-3A/B/C/D や NOAA の VIIRS, NASA の PACE ミッション等の後継において連携・分担できる可能性がある	○
予算状況	現在予算処置なし. GCOM-C/SGLI の発展型ハイパー波長センサ (可視+熱赤外) を想定して, 波長数, 波長分解能や解像度の向上で GCOM-C の観測を更に発展可能.	△
コスト削減 策	先行センサの開発フェーズモデルの利活用や GLI,SGLI を通じた開発手法の確立により, 大幅なコスト圧縮が可能になっている.	○
将来展望	低輝度から高輝度まで高精度でカバーできるセンサ技術等の開発が望まれる. 午前極軌道で継続できれば, 基幹ミッションとして国際的な午前極軌道のコンステレーションを構築・リードできる. 将来的に, 光学イメージャの観測を長期継続するため, リソースとスペックのトレードオフを評価し最適化を図る.	○

(総評) 海外を見ても中分解能光学センサは観測頻度・分解能のバランスから効果的でニーズが高く, 自国で持つべき基本的なセンサとしての期待は大きい. 開発コストの圧縮が可能であることも評価できる.

(実利用の観点から)

SGLI の観測データからは, 32 の標準プロダクトと 26 種類の研究プロダクトを予定しており, 多くの分野への波及効果が期待される. Terra/MODIS データの実績から, SGLI のデータがオープン&フリー化されれば, ビッグデータの 1 つとして認識され, AI 技術と連携することで, 多くの産業で発展的に利用されることが期待される.

(議論: ミッションの方向性)

広域光学イメージャは, 宇宙から地球を広域に観測するという利点を最大限生かす観測手段であると共に, 基盤的な観測・データ解析・利用技術を用いたものであり, 全球規模の植生被覆や変動の監視や海洋の水温・クロロフィル a を通じた漁業利用, 年々変動する雪氷域や雲特性の変動監視など多くの利用用途がある. これらの利用のためにはそれぞれ必要な観測波長・時空

間解像度（観測幅と空間分解能）・センサ校正精度の仕様が、この仕様を他センサ相乗りや観測ターゲットの設定に従って効果的に設計することによって、ある程度のコスト削減が可能である。

コスト削減としてスペックダウンした2案を示す。

①AMSR-2 後継，TANSO，ライダー，光学高解像度センサ等との相乗りを想定した最小限継続センサ（可視＋熱赤外）。GCOM-C/SGLI の機能を絞ったもので新規性は無いが、最小限のGCOM-C 観測の継続と、相乗りセンサとの相乗効果（現象の識別精度の向上や広域化等）が得られる。

②相乗りを想定した簡易型センサ（可視波長のみ，視野を動かす機能などもなし）。独自で観測精度を確保することが難しくなるため、海外を含めた他のセンサによって精度を確保する必要があるが、相乗りセンサとの相乗効果（現象の識別精度の向上や広域化等）が得られる。

4.2.2 宇宙基本計画にすでに記載されている計画中のミッション

宇宙基本計画にすでに記載されている計画中のミッションとしては、先進光学衛星、先進レーダ衛星、温室効果ガス観測ミッション後継機がすでに宇宙基本計画の工程表に記載されている。また実用衛星として次期静止気象衛星が気象庁にて検討中であり、他機関のミッション機器との相乗りの可能性についても検討されている。

以下、個別のミッションの概要と、地球科学的な観点での可能性について記述する。WGとしては、これらの衛星へのセンサ相乗り、デュアルローンチ等の手段で地球観測ミッション実現を検討する。また、実利用の観点からは、高分解能光学や SAR、ひまわり、地球温暖化観測などのこれらのミッションとの統合利用も含めたりモートセンシングの裾野などの重要性を認識し、これらのミッションの実施機関および TF の関係学協会との議論をさらに行っていく。あわせて、新規ミッションに対するミッションの評価項目と詳細を示した表の書式を参考にし、TFとしての当該ミッションへの科学的、実利用の観点からのニーズを検討し、ユーザコミュニティとしてのミッションへの提案などもあわせて行っていく。

4.2.1.1 静止気象衛星（ひまわり後継機）

静止衛星は、連続観測という周回衛星にはない特性を有している。気象観測に関しては、ひまわり 8 号には WMO の推奨するセンサ 3 種のうち高性能イメージャが世界で初めて搭載されたが、残る 2 種のセンサであるサウンダと雷センサは搭載されておらず、今後の開発が必要である。現在、次期静止気象衛星へ赤外ハイパースペクトラル・サウンダと雷センサの搭載可能性について研究者レベルで議論が進められている。気象以外の分野では、高分解能光センサ、マイクロ波イメージャ、ミリ波、サブミリ波観測、降水レーダ、大気化学センサ等で、静止衛星への搭載の要望が挙がっている。

また、連続観測の重要性から、将来的には共通のプラットフォーム化として多用途のセンサの相乗りが可能である体制を構築することが望ましく、その場合は人工衛星データの防災用途での活用に飛躍的な進展が見込まれる。

4.2.1.2 温室効果ガス観測ミッション後継機

[1]より抜粋・一部改変。

温室効果ガスセンサに関しては、我が国が GOSAT 搭載 TANSO-FTS で最初の専用センサを開発し、二酸化炭素 (CO₂) 及びメタン (CH₄) の観測で、高精度を達成している。その後米国で OCO-2 が上がり、OCO-3 も ISS 搭載や静止軌道の GeoCarb が計画されている。ESA では CarbonSat が採択されなかったが FLEX の開発が計画、CNES では micro-Carb と MERLIN (DLR との共同事業) の開発を計画している。更に Copernicus 計画の中で、Sentinel-7 の議論が始まっている。また、世界の温室効果ガス観測衛星の中で、近年は中国が 2016 年の TanSat を皮切りに 2017 年の FY-3D、2018 年の Gaofen 5 および 2018 年以降に打ち上げ予定の FY-3G など次々と CO₂ を観測する衛星の打ち上げ実績と計画などがある。

これに対し我が国では、GOSAT-2 の開発が始まっており、更に後継機が続く予定である。このような世界的な流れおよびパリ協定に基づく各国の国別インベントリの検証手法として衛星

データを利用できるようにしていくべく、2017年12月、それまでのNASAなどとの協定に加えて、JAXAはNIES（国立環境研究所）と共にESA・CNES・DLRとそれぞれ相互検証のための協定を締結した。海外のセンサをみてもGOSATの性能は最高水準であり、今後も海外衛星の標準となり続けられると思われる。GOSATにより、二酸化炭素とメタンの気柱量やクロロフィル蛍光の観測が可能であることが世界で初めて実証され、世界で唯一、8年以上の衛星データが取得されている。今後、全球光学センサとの組み合わせで炭素循環の理解がより進展すると期待される。将来の開発要素としては、観測ポイント数の増加、更なるS/Nの向上などがある。

4.2.1.3 先進光学・先進SAR（ALOS-3, ALOS-4）

高分解能光学センサでは、分解能と観測幅がトレードオフの関係にある。観測頻度を上げようとする、観測幅を広げることになるが、データ伝送レートの制約などから分解能はそれほど上げられない。また、この分野では国（地域）が開発するセンサと商業衛星が存在する。商業衛星が主として高分解能に特化して価値を高めようとしているのに対して、国が担当する分野は、商業化が難しい広観測幅や高頻度機能を提供する必要がある。我が国の先進光学衛星（ALOS-3）は地上分解能0.8m（パンクロ）/3.2m（マルチ）、観測幅70km、回帰日数35日を設定している。これにより、効率的なベースマップ画像の更新を実現する。また、災害発生時には航空機観測などと比べて広範囲にわたる被災域の全体像を効率的に観測するとともに、ALOSと比較してより詳細な状況把握に貢献する。ALOS-3は発災前後の状況を広域で把握し、発災から救援活動開始までの時間の短縮を想定している。また、ポインティング機能を用いた立体視観測によって、都市計画区域外の基盤地図情報の更新での活用が見込まれている。

SARに関しては、他国のSARがCあるいはXバンドであるのに対し、現在LバンドSARは我が国のALOS-2搭載のPALSAR-2のみである。したがって日本のみならずアジア・アフリカ等の植生に覆われた地域の地表変動を早期に検出できるのはALOS-2のみで、この点で広く世界に貢献し得る。ALOS-2の干渉SAR観測による箱根山大涌谷・桜島の火山活動活発化に伴う地殻変動の観測では警戒レベル判断や自治体の立ち入り規制判断に活用されたが、日本全土の活火山すべてを高頻度で観測することができず、活動が活発化した後の観測にならざるを得ない。このため、先進レーダ衛星（ALOS-4）では観測頻度をALOS-2より向上させ（年4回→2週に1回）、地殻・地盤変動による異変（火山、地盤沈下、地すべり等）を防災関係機関が早期に発見、危険度の判断を行い、国民・社会に注意喚起を行う体制を構築する。また前駆的な時系列変化を捉えることを狙って、ALOS-2とALOS-4の干渉を可能にするなど、より速度の遅い変動の検出も可能とするべきである。海外の地震・火山活動に伴う地殻・地盤変動や極域の氷河・氷床、海氷の高頻度監視は固体地球科学や気候システムモニタリングとしても重要で、国際的な地球観測体制への日本からの貢献として位置づけられるべきである。ALOS-2に比べてALOS-4は、Spotlightモードの分解能1×3m（観測幅：25kmから35km）、Stripmapモードの分解能3/6/10m（観測幅：70kmから200km）、ScanSARモードの分解能100mから25m（観測幅：490kmから700km）への向上を目標としている。

先進光学衛星、先進レーダ衛星に続く10～15年後の後継衛星では、地上データやモデルと組み合わせて利用することで災害状況の把握のみならず、避難活動などによる被害の軽減対策

にも衛星が組み込まれることを目指す必要がある。このため、サブメートル級の高分解像度データによる3Dデジタル地図によるハザードマップの作成を可能とするとともに、静止からの超高解像度化などによる高分解能光学センサによる常時観測とともに、レーダにおいては1日1回程度に観測頻度の向上を目指すための大型アンテナ等による好感度なLバンドSAR技術の開発、Sバンド等の追加によるSARの分解能向上(3m→1.5m)などを検討していく必要がある。

4.2.1.4 HISUI

陸域を全球規模かつ高分解能で観測することを目的とした光学センサにおいては、十数バンドの波長帯を観測するマルチスペクトルセンサが多く運用されている。植生や鉱物等の情報をより詳細に抽出・分類するためには、連続した細かい波長帯で観測することができる光学センサ、いわゆるハイパースペクトルセンサが非常に有効であることが明らかになっている。

一方、これまで軌道上で運用されたハイパースペクトルセンサは、限定された地域しか観測されておらず、そのデータの品質も必ずしも十分ではない状況にあり、全球規模の高品質なハイパースペクトルデータが要望されている。

このため、海外においては、EnMap(ドイツ:2020年)、Gaofen-5(中国:2018年)、HyspIRI(米国:2023年)などにハイパースペクトルセンサが搭載される予定である。

このような状況の中、日本においてもHISUI(Hyperspectral Imager SUite)の開発を進めてきた。HISUIは、2019年度より国際宇宙ステーション(ISS)の「きぼう」に搭載して運用することを計画しており、全球規模で観測可能なハイパースペクトルセンサが、世界で初めて実現することになる。

HISUIが取得する可視域から短波長赤外域の連続的な185バンドのデータにより、エネルギー資源分野に必要な多くの鉱物の分布状況が把握できるほか、環境分野に必要な森林や草本の詳細な分類、農業分野に必要な農作物や土壌の状態の把握など、現状では得ることが難しい新たな情報が得られることとなり、HISUIは陸域衛星リモートセンシング技術をスペクトル観測の観点から新たなステージに引き上げる潜在力を有している。

4.3 そのほかの検討中のミッション

4.3.1 SMILES 後継機

地球科学の境界分野にも注目すると、現在は宇宙科学の主導する分野であっても地球科学への波及効果を持つようなミッションが存在する。国際宇宙ステーションの日本実験棟船外実験プラットフォームに取り付けられた「超伝導サブミリ波リム放射サウンダ」(SMILES: Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder)は、2009年から2010年にかけて中層大気領域の超高感度観測をおこなった。得られたデータ解析から成層圏オゾンの日変化をはじめて見いだすなど、これまでの衛星からの大気観測では精度の限界のために検出不可であった事象を明らかにした。この成果を受けて、中層大気(成層圏・中間圏)から超高層大気(熱圏・電離圏)の温度場・風速場と大気微量成分を超高感度で観測するSMILES後継機の検討が現在行われている。このような境界分野の衛星観測も地球科学の一層の深化に重要である

と考え、実現に向けて協力していく。

4.3.2 散乱計・測地

マイクロ波散乱計は海上風ベクトルを測定するセンサとして長年運用されてきたが、近年、植生や土壌水分、海氷などの観測にも使われ始めている。日本は海外機関からの提供を受けて ADEOS, ADEOS-2 に搭載した経験はあるが、独自開発・運用の実績はない。しかしながら海面粗度の影響を除く補正はマイクロ波放射計、あるいは海面塩分濃度計等との同時観測の意義がきわめて高い。海外機関で蓄積された技術と長期データについて、今から日本独自のセンサを得るというよりも、海外機関との協力で実現を目指すべきである。

地球の形・回転・重力を測定する測地学ミッションは、測地基準座標系や高精度ジオイドといった地球観測の基盤を与えるものであり、また、表層下を含めたリモートセンシングという面でも今後も重要性を増していくと考えられる。現状、重力計などの測地を目的とした将来計画は日本には存在していないが、要素技術であるレーザー干渉技術・光衛星間通信・原子干渉計・光格子時計等については研究が進められているため、将来において、国際協力を含めて日本の地球観測の可能性を探るべきと考える。

4.3.3 海面高度計

海面高度計は、観測点が衛星直下に限定されるものの、海流変動・波浪分布・平均海水位上昇などの観測に加え、低気圧の発達に重要な海面貯熱量や海上ジオイド取得など、様々な分野で重要な役割を果たしている。日本での独自開発・運用の実績はないが、日本の得意とする干渉 SAR 技術を用いることで、これまで得られたことのない面的な海面高度分布を取得する新型高度計を開発できる可能性がある。この情報は、水産業や海運、海底探査などにも有益なため、将来において、国際協力を含めて日本の地球観測の可能性を探るべきと考える。

参考文献

- [1] 地球惑星科学委員会 地球・惑星圏分科, “我が国の地球衛星観測のあり方について,” 日本学術会議, 平成29年(2017年)7月14日.
- [2] 環境省, “21世紀環境立国戦略,” 平成19年6月1日.
- [3] “日本の気候変動対策支援イニシアティブ2017”.
- [4] 気候変動に関する政府間パネル, “第5次評価報告書,” IPCC, 2013-2014.
- [5] 閣議決定, “気候変動の影響への適応計画,” [オンライン]. Available: <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/tekiou/siryo1.pdf>.
- [6] “「水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について」 国土交通省 社会資本整備審議会の答申 参考資料 P56 から引用,” [オンライン]. Available: http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/kikouhendou/pdf/toshinref.pdf.
- [7] TF 地球科学研究高度化ワーキンググループ, “地球観測の将来構想に関わる世界動向の分析,” 日本気象学会 気象研究ノート, 第234, 2017年.
- [8] National Research Council, “Climate Data Records from Environmental Satellites:,” 2004.
- [9] 世界保健機関 (WHO), “報告書,” 2014.
- [10] 大気化学研究会, 静止大気環境衛星の実現を目指して, 海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター.

付録 A

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 参加学協会一覧

※五十音順（下線は、すでに本資料の提案学会としてクレジットすることにすでに了解を得ている団体。他は審議中）。

<u>地球観測データ利用ビジネスコミュニティ</u>	日本砂漠学会
<u>(BizEarth)</u>	日本地震学会
<u>計測自動制御学会</u>	<u>日本写真測量学会</u>
<u>システム農学会</u>	<u>日本情報地質学会</u>
<u>水産海洋学会</u>	日本森林学会
水文・水資源学会	<u>日本雪氷学会</u>
地球電磁気・地球惑星圏学会	<u>日本測地学会</u>
地理情報システム学会	<u>日本大気化学会</u>
<u>日仏海洋学会</u>	<u>日本地球化学会</u>
<u>日本海洋学会</u>	日本地球惑星科学連合
日本活断層学会	日本地理学会
<u>日本気象学会</u>	日本農業気象学会
日本航空宇宙工業会（連携団体）	<u>日本リモートセンシング学会</u>