

地球観測グランドデザイン

B 改訂

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 リモセン分科会)

2022/09/09

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。

改訂記録

符号	承認年月日	改訂箇所	改訂内容、理由等
初版	2018/4/19	N/A	
A	2020/10/23	1 項 図 1	2020 年 10 月現在の情報へのアップデート
		3.2 項	TBD 部分への加筆
		3.4 項 図 7	2020 年 10 月現在の情報へのアップデート
		4.2 項	第 1 回試行公募結果の反映及びアップデート
		4.3 項	新規
		4.4.1 項	第 1 回試行公募結果の反映
B	2022/9/9	2 項	2022 年 9 月現在の情報へのアップデート
		4.1 項 図 8	公募・選定フローの 2 年サイクルへのアップデート
		4.2 項	宇宙基本計画工程表改訂及び第二回試行公募結果を反映し全面アップデート
		4.3 項	第二回試行公募結果を反映しアップデート
C			

内容

1	はじめに	3
2	100年先を見据えた長期ビジョン	4
3	中長期計画	5
3.1	気候変動問題への取り組み	6
3.2	地表面観測への取り組み	8
3.3	日本の衛星地球観測が取り組むべき課題	10
3.4	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	短期計画に含めるミッション	14
4.2.1	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	14
4.2.1.1	静止気象衛星（ひまわり後継機）	15
4.2.1.2	ALOS-3 後継機およびALOS-4 後継機	16
4.2.1.3	アクティブセンサによる雲降水観測ミッション	17
4.2.1.4	ISS 搭載ライダー実証（MOLI）	18
4.2.1.5	高性能マイクロ波放射計3（AMSR3）及び後継ミッション	19
4.2.2	ミッション公募による新規の提案ミッション	20
4.2.2.1	宇宙基本計画にすでに記載されている計画中の提案ミッション（3件）	25
4.2.2.3	地球観測衛星ロードマップ（短期ロードマップ）	49
4.2.2.4	第二期短期計画（2030～）での実現に向けて道筋をつけるミッション（6件）	50
4.2.2.5	中期計画で考慮すべきミッション（技術の研究開発・実証、データのニーズを育てる等の活動を継続し、ミッションの成立性を考える提案ミッション）（5件）	77
4.2.2.6	技術実証を目的とした提案ミッション（1件）	93
4.2.2.7	衛星データの利活用や地球観測の新たな枠組みの提案として今後検討を進める提案（4件）	96
4.3	全体俯瞰図	114
4.4	その他の検討中のミッション	116
4.4.1	散乱計・測地	116
4.4.2	海面高度計	116
	参考文献	117
	付録A	118

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。

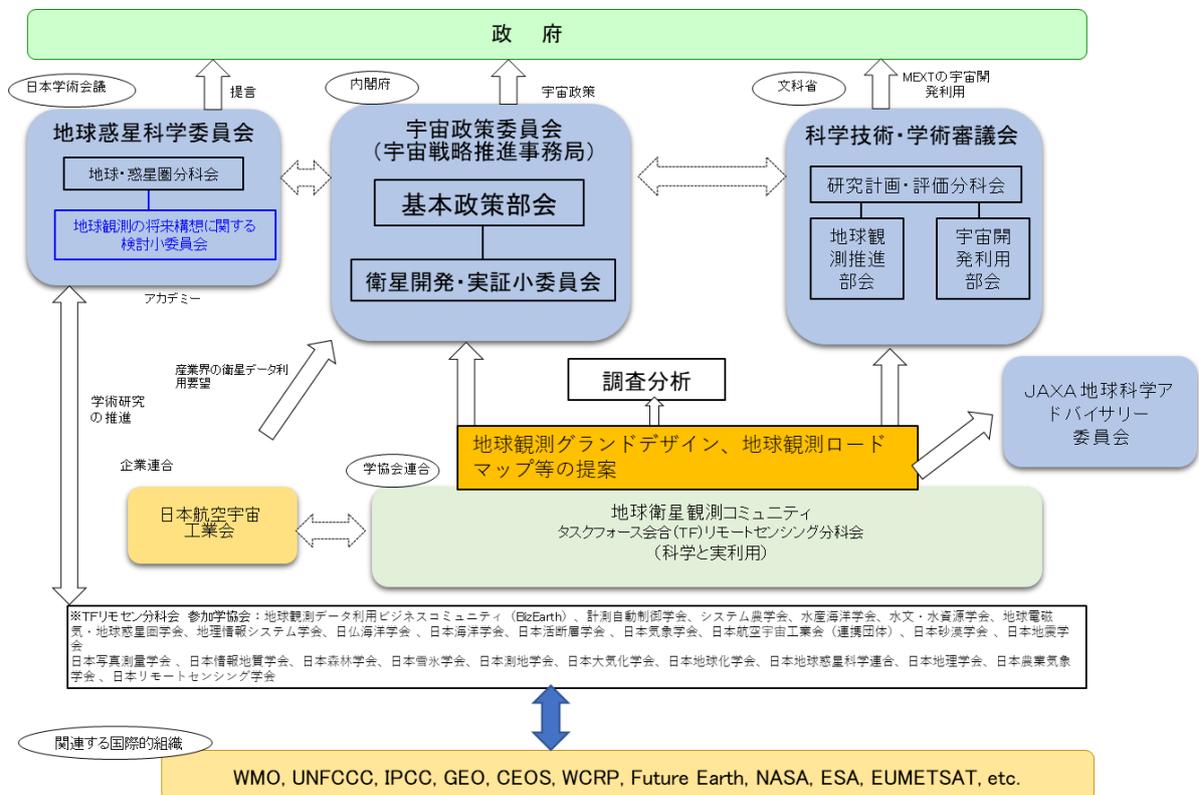


図 1 衛星による地球観測に関連する国内の組織

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

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、国連の進める「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。特に、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第6次評価報告書においても、「人間の活動の影響によって大気、海洋、陸地が温暖化していることは疑う余地がない」と述べられており、その根拠として、2011年から2020年の10年間で、世界の地表温度は1850年から1900年の間に比べて1.09°C上昇していること、人間活動に起因する温度上昇で見ると、2010年から2019年と比べた場合に1.07°Cと評価されていることが示されている。上昇した1.09°Cのうち1.07°Cが人為的要因であることから、「疑う余地がない」と表現している [4]。このように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。そのため、急激な環境の変化を捉える上で地球観測の重要性が増しており、これまでの継続的な観測データの蓄積を途切れされてはならない。

B

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。

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

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。

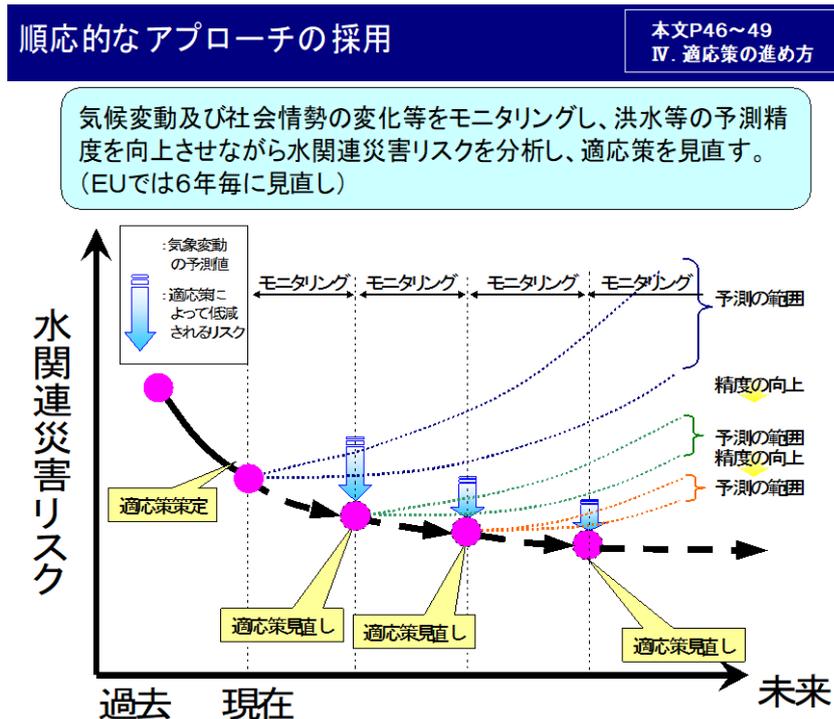


図 2 順応的アプローチの採用 概念図
(出典 文献 [6] 56 ページ)

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。

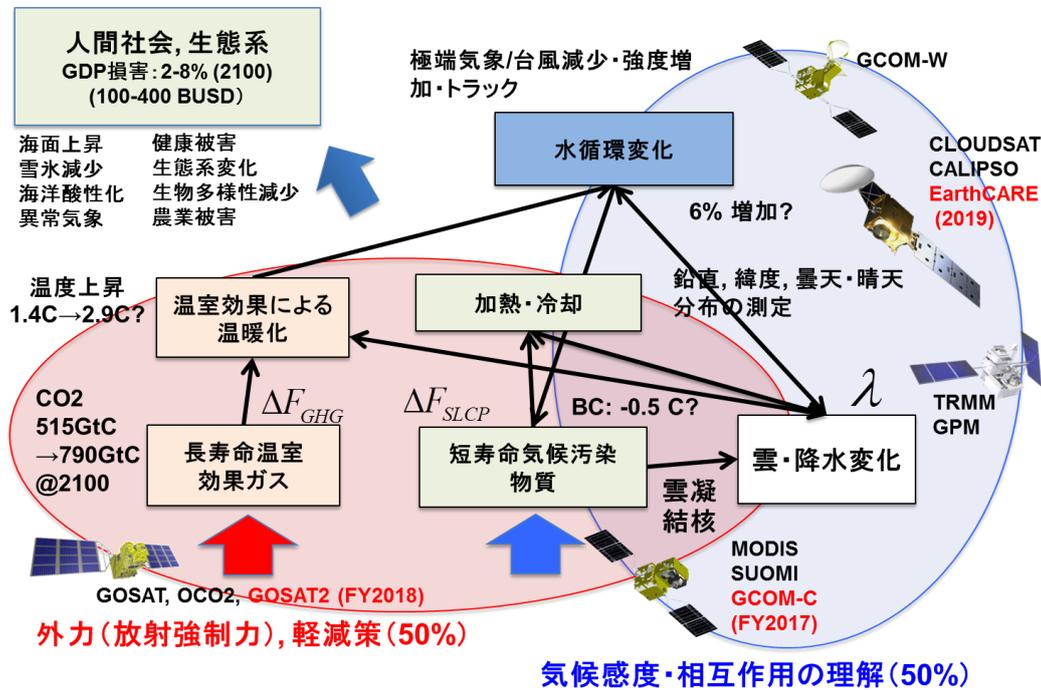


図 3 人為起源の気候変化要因と影響の関係性

(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 という大きな不確定性がある。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定性が大きい理由は、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。

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。

そのため、複雑な気候変動とその影響を的確に捉える必要があり、複雑な地球表層環境を構成する各要素に対して、グローバルで長期継続的な衛星地球観測が重要となってくる（図4）。

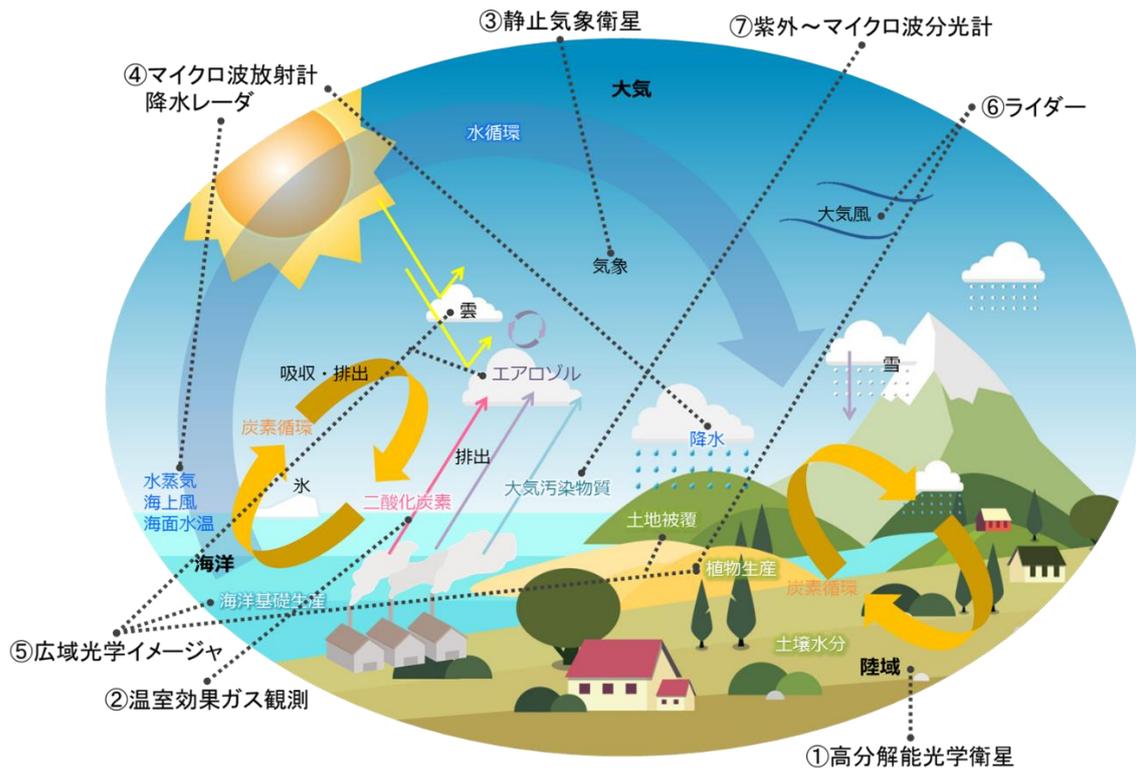


図4 複雑な地球表層環境を構成する要素と衛星地球観測の対応

3.2 地表面観測への取り組み

図3の人為起源の気候変化要因と影響の関係性に示されるように気候変動は人間社会や生態系に大きな影響を与えて始めている。また、人間社会による活動は気候変動の要因の一部であることはIPCCでも認めているところである。炭素循環も土地利用や土地被覆の変化によるものについて不確実性が高いとされる。図5のような森林から農地への土地利用変化は人間活動によってもたらされ、炭素循環や生物多様性に大きな影響をあたえている。気候変動の軽減策を講じる上で、土地利用や土地被覆の監視が重要視されるべきである。土地利用の変化の他にも化石燃料の使用や様々な経済活動も大なり小なり気候変動へ影響を与えている。

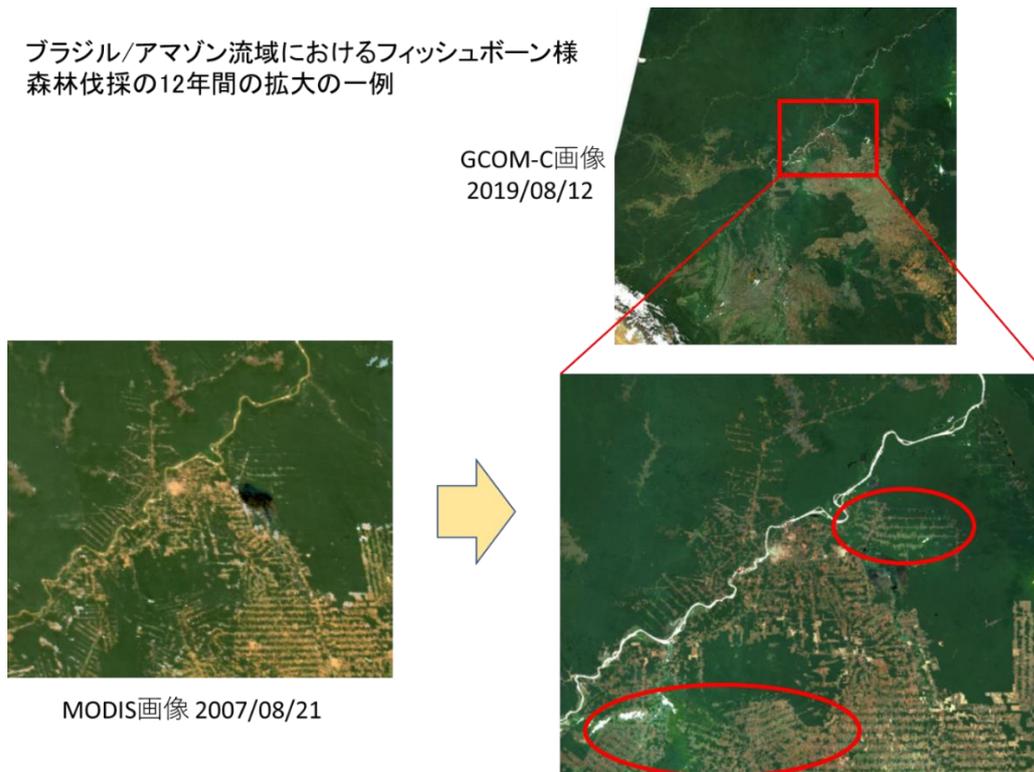


図5 ブラジルのフィッシュボーン・デベロップメント

また、現在、気候変動の影響は極端気象など顕在化しつつあり、毎年、我が国においても人々の生活に豪雨、台風などの被害が発生しており、この被害も直接、間接的に図6のように地表面の変化として捉えることができる。この観測は、新しい宇宙基本計画における宇宙技術の災害対策・国土強靱化や地球規模課題の解決への貢献に資するものといえる。

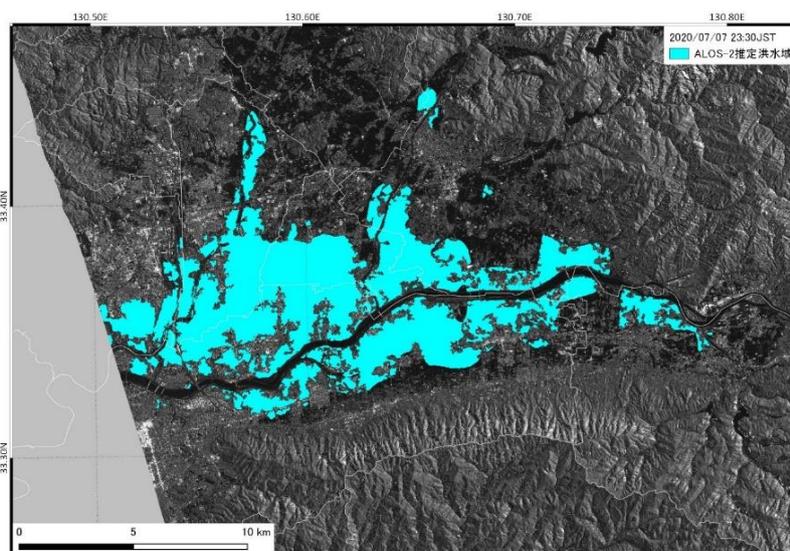


図6 2020年7月九州豪雨時の「だいち2号」PALSAR-2データから推定した浸水域（水色）
©JAXA/EORC

人為起源の気候変化要因と影響の両方を地表面観測の時系列変化で捉えることができる。そのため、気候変動の仕組みの理解のため、そして災害対応のために地表面観測を高頻度中程度解像度観測衛星、高解像度光学衛星、マイクロ波衛星、小型衛星などを用いて、衛星地球観測の複合的な利用を踏まえたトータルシステムとして実施することが重要であり、このような地表面観測は安定した国民生活の基盤情報を提供し、我が国の防災等の技術をアジア諸国に拡大することを支援し、国際社会への貢献にも資するものとする。

3.3 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ると考える。

3.4 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 7 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る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、本グ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。

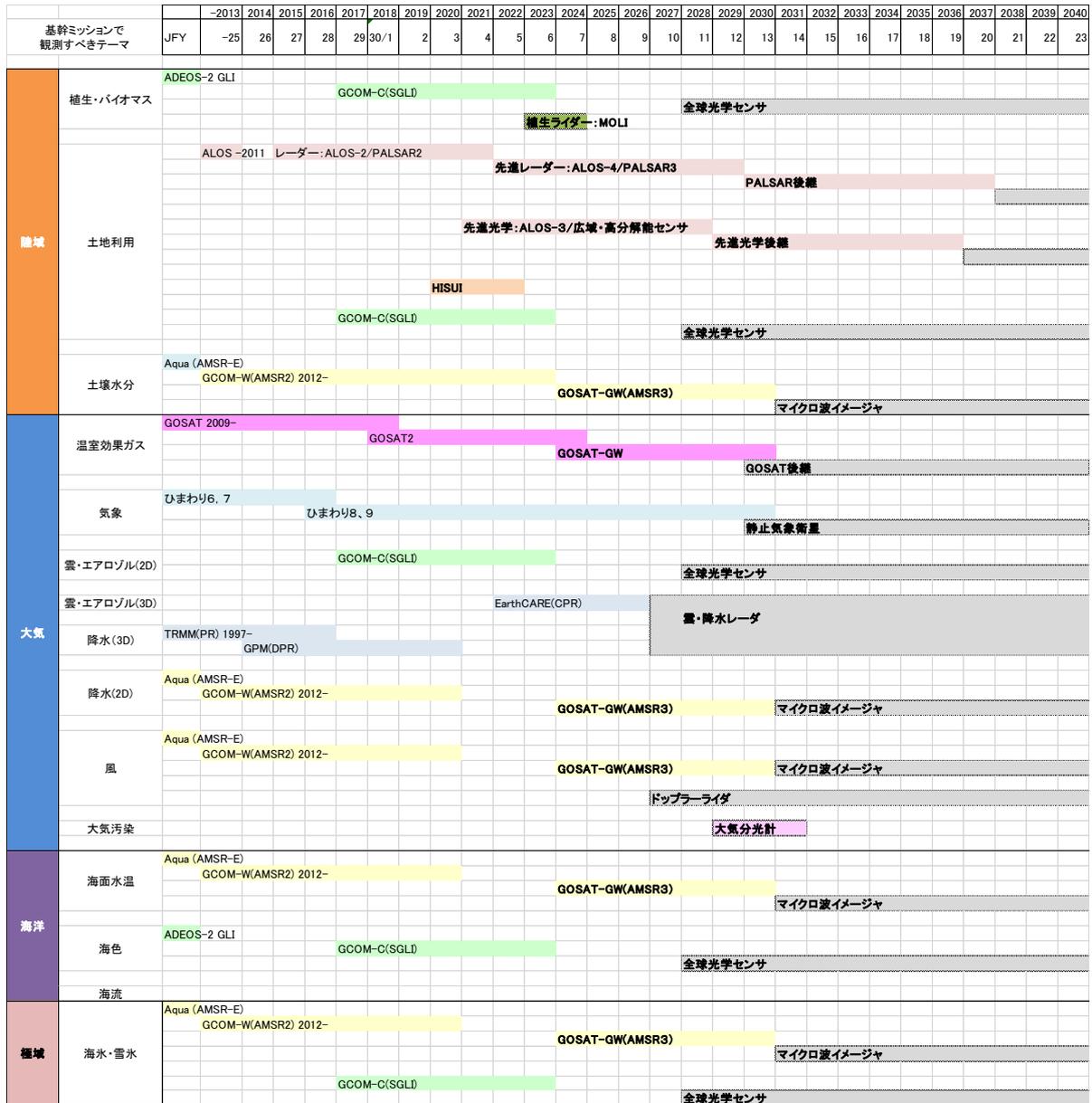


図 7 中長期計画線表

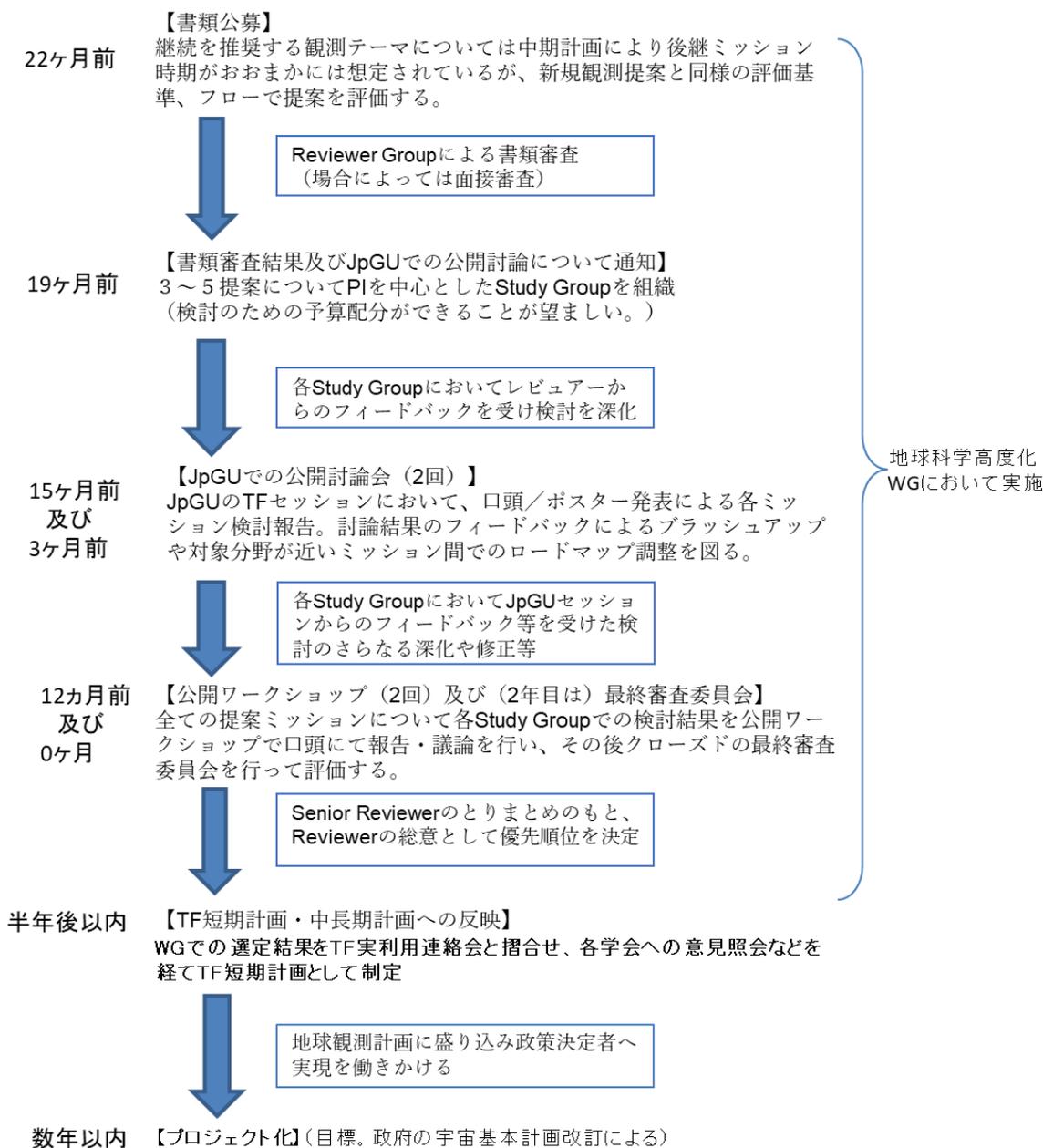
4 短期計画

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。当該の案を TF 実利用連絡会側からのインプットを踏まえ、TF 幹事会に付議、調整の上、短期計画の見直しを行う。

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。



B

※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 8 地球観測短期計画へのミッション反映までのフロー

4.2 短期計画に含めるミッション

4.2.1 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、ALOS-3 後継機、ALOS-4 後継機、降水レーダ衛星などが挙げられる。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。また、新たなセンサ技術であるライダー観測技術については、基盤技術実証に向けた研究開発(MOLI)が進められている。さらに、以前のグランドデザインの短期計画において推奨した AMSR3 に

B

については、開発を着実に進めるとともに、その後継ミッションの検討も進めることとされている。

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リ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。なお、今後の検討を進めるにあたっては実利用 WG での検討の反映とあわせて、2019 年度に日本リモートセンシング学会が JAXA から受託した「海外における衛星地球観測ミッション計画の調査分析」の報告書の有効利用についても JAXA との調整の上で適切に利用し、最新の海外動向、特に米国のディケーダルサーベイおよび欧州のコペルニクスも踏まえた上での検討を進めていく必要がある。

4.2.1.1 静止気象衛星（ひまわり後継機）

静止衛星は、広範囲を常時観測できる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、2040 年頃の静止気象衛星に求められる機能について世界気象機関 (WMO) が WMO 統合全球観測システムビジョン 2040 の一つとしてまとめており、その中では、ひまわり 8・9 号にすでに搭載されているイメージャに加え、ハイパースペクトル赤外サウンダ、雷光センサ、紫外・可視・近赤外サウンダが挙げられている。このうち、ハイパースペクトル赤外サウンダ及び雷光センサについては、ひまわり 8・9 号の後継機への搭載が気象庁で検討されている。後継機については、学会等の機会を利用して、気象庁と研究者との間で議論が行われ、学術界としての後継機への要望が取りまとめられた。わが国の宇宙基本計画では、2029 年度めどの後継機の運用開始に向け、2023 年度をめどに後継機の製造に着手する、とされており、気象庁で調達に向けた準備が進められている。

近年の気象災害は、台風のみならず、線状降水帯に伴う集中豪雨など極端な気象現象が顕著に現れるようになってきている。これらの監視・予測のためには大気の大気や水蒸気の状態を常時、広範囲かつ立体的に観測することが重要である。上述のように静止衛星であるひまわりには、日本を含む広く西太平洋を常時監視できるという極軌道衛星などの周回衛星にはない長所がある。この強みを活かしつつ、ひまわりの後継機にハイパースペクトル赤外サウンダなどの最新の技術を導入することで、その気象観測・予測能力を飛躍的に向上させて、自然災害の防止に寄与していくことが喫緊の課題となっている。

また、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・サブミリ波センサ、降水レーダ、大気化学センサ、海色センサ、宇宙環境センサ等で、静止衛星への搭載の要望が研究者から挙がっている。広範囲・常時観測の特性をさらに活用する観点から、将来的には静止衛星を共通のプラットフォーム化し、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い。これにより防災や気候変動の監視など、衛星データの多方面での活用に飛躍的な進展が見込まれる。

B

4.2.1.2 ALOS-3 後継機および ALOS-4 後継機

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)/3.2 m(マルチ)、観測幅 70 km、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 およびアルゼンチンの SAOCOM 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 1×3 m（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。なお、欧米は ALOS-4 とほぼ同時期に NASA-ISRO ミッションである NISAR と 2020 年代中盤に Sentinel-1 を補完する ROSE-L が検討されている。

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解像度光学データによる 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や、さらに、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高感度な 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。また、これらの後継機の観測及びオープン&フリーでの提供が、アプリケーションも含めた民間事業者によるビジネスでの利用拡大や我が国の地球観測におけるプレゼンスを上げることにつながると期待される。加えて、森林の気候変動に対する緩和能力が再注目されている中で、レーザーセンサは、唯一、森林の樹冠下の地盤高計測できるセンサであり、バイオマス量推定の際の重要な変数である樹冠高を DSM と DEM から計測できる。このレーザーセンサに面的に計測可能なイメージャーの併用および ALOS/SAR シリーズとの融合により、我が国から高精度な森林バイオマス量等を報告でき、対策のための基礎情報や施策の効果を評価する点においてもプレゼンスを上げることが期待される。

なお、この検討においては、2020年6月30日に改訂された新しい宇宙基本計画で記載されている「切れ目なく衛星を整備するため、光学・レーダ衛星それぞれの設計寿命及び開発期間を踏まえ、ALOS-3の後継機については、2022年度をめどに開発に着手し、2026年度をめどに運用を開始する。また、ALOS-4の後継機については、2023年度をめどに開発に着手し、2027年度をめどに運用を開始する」。さらに、2021年度の工程表においては、「ALOS-3、ALOS-4の後継機については、衛星開発・実証プラットフォームの下、安全保障の強化、産業創出、科学技術の基盤維持・高度化等の政策的視座を戦略的に見極め、利用ニーズと技術動向（優位性、独自性のある技術、国として維持・高度化を図る技術等）を十分に摺り合わせ、国際協力の在り方や開発コスト、利用者負担等の視点も組み入れつつ、開発着手までの時勢の変化や ALOS-3、ALOS-4の運用の初期の成果を反映できる柔軟性確保という観点も踏まえ、考え得る衛星システムのオプションを複数洗い出すことを基本方針として検討を進める。」と記載されている。これらを踏まえ、文部科学省等へ対応した提案を行っていく必要がある。

4.2.1.3 アクティブセンサによる雲降水観測ミッション

本ミッションは第1回試行公募において「衛星搭載アクティブセンサによる降水観測」として短期計画に選定されたものを状況の変化や検討の進展に伴い、内容およびタイトルを更新したものである。

このミッションの最終的な目標は、気象・気候システムの正確な理解に基づく将来予測の精度向上に貢献することである。特に、雲・降水過程の理解は気象・気候システムにおいて熱輸送や地球の放射収支の見積りにおいて重要な役割を果たすだけでなく、人間生活に重要な淡水資源の把握にも必須である。これまでの人工衛星観測では、雲や降水の観測を独自に実施してきたが、本ミッションでは両者を同時に観測する。その中心的な役割を果たすものは雲・降水内の鉛直方向の動的な情報を与えるドップラー速度観測である。これにより、衛星観測の瞬時的な雲・降水物理量に動的な情報を付加することができ、雲・降水形成過程の理解につなげることが可能になる。なお、本ミッションは、米国 NASA の ACCP (Aerosol and Cloud, Convection and Precipitation) ミッションに参画し、雲と降水の観測を国際分担することにより過大なコスト増を回避する。

本ミッションでは、さらに TRMM/PR および GPM/DPR の観測を継続することにより、同じタイプの降水レーダによる 30 年超の降水データの蓄積を実現し、気候システムの長期変動のモニタリングにも寄与する。

実利用の側面では、全球降水マップ (GSMaP) は、すでに洪水予測や一部の気象機関にお

いて気象情報として利用されるなどの実利用が進んでいる。本ミッションでは、GSMaPの降水推定の基盤となるレーダ観測を継続させることにより、GSMaPの高精度化にも寄与する。

開発センサは、これまで世界のトップランナーとして技術を牽引してきたGPM/DPRをベースとして、新たにドップラー速度観測のためのDPCA (Displaced Phase Center Antenna) 方式を導入する。そのため、2 x 2 mのアンテナを2つ有することとなる。搭載性とコストの観点からKa帯のレーダは搭載しないこととした。このレーダでは、直下方向にドップラー速度観測を1km間隔で行うとともにDPRと同様な走査幅250kmの反射強度の観測を行う。レーダの感度はドップラー観測時でおおよそ3dBZ、通常走査時で11dBZとなっており、直下観測でこれまでよりも12dBの大幅な感度向上が可能である。通常走査でも4dBの感度向上が期待できる。

本ミッションに関連して、宇宙基本計画工程表令和3年改定案においては、「降水レーダ後継ミッションについて、NASAで計画中のACCPミッションへの参画を前提にJAXA降水レーダ衛星の開発研究を進める。」とされている。上述のとおり、本ミッションはNASAのACCPミッションに参画して国際連携により実施するものであり、ACCPではW帯とKa帯ドップラーレーダおよびライダー等の機器を搭載した極軌道衛星(2機想定)とKu帯ドップラーレーダ(本ミッション提案機器)、放射計等を搭載した傾斜軌道衛星(2機想定)により観測を行うものである。

4.2.1.4 ISS 搭載ライダー実証 (MOLI)

提案当初の植生ライダーミッション(MOLI)は、高精度グローバル森林観測及び将来の地球観測用宇宙ライダー技術確立の二課題であった。本提案ミッションの実現性、実用性、更なる学術的寄与・社会貢献などについては毎年開催の国際ワークショップを通して継続的に確認が行われてきたが、科学研究および商業・森林管理・防災などに対して重要なデジタル地形モデル(DTM/DEM)は陸域の3割・日本国土の6割を占める森林(特に高密度な林冠)によりデータ欠損(空白)域が出現したり、地盤面高さで10m以上の誤差または精度保証なしなど実利用の観点から喫緊の改善課題が明らかになった。

そこで、新たにMOLIフットプリントを積極的に地上基準点(GCP)に利活用した高精度三次元地図作成手法を確立し、高機能地図の利用による社会の利便性の向上、防災マップの精度向上による防災・減災に貢献する「三次元地図高精度化の実証」ミッションが追加された。追加ミッションの目的/目標は、現在官民で進められている地理空間情報の活用推進に関する行動計画「G空間行動プラン2020」、政府推進の統合型G空間防災・減災システムに対する三次元デジタル地図整備等の要望とも方向性が合致するものである。

目的：空白域のないより高精度なDTMの構築技術を実証する。

目標：フットプリント単位の地盤面高さ精度<3m(RMSE)(地表被覆率<95%，地盤面傾斜角<30°)，精度<5m(RMSE)(地表被覆率>95%，地盤面傾斜角>30°)。また、森林の地表被覆率が95%以下となるエリアにおいてはDTMを製作実証し、5m以下の精度を確認する。

なお本提案ミッションに関連して、宇宙基本計画工程表(令和2年12月15日、戦略本部決

B

定)にライダー観測技術が位置付けられ、令和3年度工程表改訂では「MOLI」が初めて記載された。また2021年10月1日よりJAXA研究開発部門内に「ISS搭載ライダー実証(MOLI)プロジェクトチーム」が発足し、2022年度中でのプロジェクト移行を目指した準備が進められている。打ち上げ時期は24年度を目標とされている。

B

4.2.1.5 高性能マイクロ波放射計3(AMSR3)及び後継ミッション

第1回試行公募において短期計画として採択された高性能マイクロ波放射計(AMSR3)については、GOSAT-GWとして開発に進んでいる。「2023年度に打上げを目指す温室効果ガス・水循環観測技術衛星(GOSAT-GW)及び降水レーダを始め、我が国が強みを有するレーダやマイクロ波放射計等の技術については、地球規模課題解決に向けたルール作り・政策決定及びSDGs達成に貢献するESG投資判断等の重大な経営判断等に不可欠な地球観測データ等の継続的な確保の観点から、基幹的な衛星技術として継続的に高度化を推進する。(文部科学省(宇宙基本計画 令和2年6月30日))」。

また、宇宙基本計画工程表令和3年改定案においては、

「■温室効果ガス観測センサ3型(TANSO-3)、高性能マイクロ波放射計3(AMSR3)及び両センサを搭載する温室効果ガス・水循環観測技術衛星(GOSAT-GW)について、引き続き詳細設計、維持設計を行うとともに、プロトフライトモデルの製作・試験等推進し、2023年度の打上げを目指す。

B

■AMSR3の後継にあたるマイクロ波放射計の高度化に向け、最新のユーザーニーズや技術動向(新たなセンサ技術等)も踏まえつつ、将来ミッションの検討を行う。また、従来のマイクロ波放射計の課題やユーザーニーズを踏まえた新たな方式によるセンサ技術について、研究開発を継続する。」と記載されている。

GOSAT-GWはGCOM-W(しずく)と比べると衛星高度がやや低くなった(700km→666km)ほか、回帰日数がGCOM-Wの16日から3日になったほかは、たとえば、昇交点通過地方太陽時は13:30±15分とGCOM-Wと同様である(JAXA HPより)。AMSR-3では、166GHzと183GHzチャンネルを追加し解析精度の向上に加え、降雪や陸上での水蒸気観測の実現を目指しているほか、AMSR-2よりも高分解能化を図っている。

4.2.2 ミッション公募による新規の提案ミッション

TF リモセン分科会において、2018年に衛星地球観測ミッション第一回試行公募を実施し、2019年秋にミッション選定を行った。その後、第二回試行公募については2019年10月～12月に公募を実施し、22件の提案が提出された。当初2020年度に選定を行う予定であったが、新型コロナウイルス流行の影響により選定を2021年度に延期することとし、一方、地球観測ミッションの選考プロセスをさらに進化させるため、新たな提案に対する門戸を広げておく必要があると考え、第二回試行の追加公募をJpGUの投稿期間に合わせて2020年1月～2月に実施した。提案ミッションについてはJpGUでの口頭もしくはポスター発表を行うことを条件として募集したところ、1件の新規提案が提出され、既提案の1件が辞退され、計22件の提案となった。また、この追加公募実施のタイミングで、試行公募の提案の募集・選定プロセスを従来の1年サイクルから2年サイクルに移行することとした。ただし、公募機会提供については、追加公募も含め毎年実施することとした。

第二回試行公募は追加公募を含め、2020年度改訂版地球観測グランドデザインの「短期計画（第1期及び第2期）」にあたる衛星地球観測ミッション（2020年度から10年程度でプロジェクト化あるいは打ち上げに至るべきミッション）と、それらのミッションの価値を最大化するであろう基盤技術整備を目的とした計画について、科学研究・実利用の両面から提案を募集した。応募カテゴリとその内容については以下とした。

A. 衛星観測ミッション

衛星という軌道上プラットフォームを最大限有効活用し、グランドデザインの目的とする気候変動への適応とその理解に資する観測計画。継続または新規に開発すべき単一の衛星・センサによる観測ミッションや、種類の異なる衛星・センサの複合利用により実現可能となる大規模な観測ミッション計画、さらには将来の衛星地球観測に進展をもたらすと考えられる、実証段階の観測手法や技術など、アイデアベースの提案も可とする。

B. 地球観測利用計画

衛星観測ミッションそのものではないが、衛星による観測の意義と価値を最大化する提案・計画。数値モデルや地上観測、その他関連分野との融合提案など、地球観測衛星に関するものであればジャンルは問わない。アイデアベースの提案も可とする。

提案書には以下の項目を可能な範囲で記載することとした。

No.	項目	備考
1	応募カテゴリ	A.衛星観測ミッション B.地球観測利用計画
2	衛星・センサ仕様 ※「地球観測利用計画」に該当する提案の場合は記入不	【例】 衛星軌道：太陽非同期軌道 軌道高度：400 km

B

	要	<p>衛星質量：3000 kg</p> <p>搭載センサ：二周波降水レーダ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・周波数：Ku/Ka 帯 ・センサ質量：200 kg ・消費電力：500W ・設計寿命：3年 ・水平（鉛直）分解能：5 km（水平）、250 km（鉛直） ・走査幅：250 km <p>（複数衛星・センサを想定する場合は必要に応じて項目を増やすこと）</p>
3	期待される科学の成果	（地球科学・気候変動問題に対する貢献）
4	アウトカム	（提案ミッション・計画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）
5	技術の特色	<p>（技術的な特徴を以下の3項目でまとめてください）</p> <p>① 優位性、②成熟度、③人材確保と育成</p>
6	開発体制	
7	研究体制	
8	関連団体	
9	継続性/新規性	
10	緊急性・タイムリーさ	（次期短期計画で取り組むべき根拠）
11	国際的分担	（ミッション・計画の国際的分担）
12	予算	（直近の予算状況と想定されるスポンサーシップ）
13	低コスト化の取り組み	
14	将来展望	（提案ミッション・計画の後継に関する研究テーマ時期およびその計画・センシング技術の進むべき方向性等）
15	実利用の可能性	

B

追加公募を含め応募された各提案に対する査読および JpGU セッションでの提案発表および質疑応答の結果をもとに、これらの提案を TF リモセン分科会が提案する「地球観測グランドデザイン」でどのように扱うべきかを最終審査委員会（2021年10月5日開催、委員長：中村健治）において議論し、あわせて第三回試行公募にむけた改善点についても意見を求めた。

最終審査委員会の結果、以下の判定が得られた。

[判定]

「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 リモセン分科会）」の実施する衛星地球観測ミッション第二回試行公募の最終審査委員会を開催した。公募に応じた各提案について、提示された資料、JpGU 2021 での報告、また令和 3 年 9 月 28 日、30 日に開かれた衛星地球観測ワークショップでの報告に基づき今後の新しく立ち上げるべきミッションを、革新的な技術とそれによる衛星地球観測の利用拡大の見地から評価し、下表の判定となった。今後、この結果を、地球観測グランドデザインに反映させ、特に科学的な見地から見たミッション実現の時間的な優先度付けに利用するとともに、TF リモセン分科会の行う地球観測ミッション実現への働きかけに利用することを求めたい。複数のライダー提案については、MOLI の成果を引き継ぎ、迅速に次のライダーミッションに繋げられるよう、ライダーコミュニティ内部でさらに検討を深めることを期待する。静止軌道衛星をプラットフォームとする提案が複数あり、「ひまわり」シリーズの将来計画と合わせて検討することを期待する。衛星データの利活用や総合的解析の提案は有意義かつ重要であるが、衛星プロジェクトの提案とは性格を異にしており、応募様式などを今後本委員会で検討していく。

なお第三回公募についても、本委員会と関係者のフィードバックをもとに、応募様式、カテゴリ分けや評価基準の改訂・見直しを行い、再応募することを妨げるものではない。

表 判定結果一覧（提案件名は応募当初のもの）

宇宙基本計画にすでに記載されている計画中の提案ミッション
<ul style="list-style-type: none"> ・ ひまわり後継機 ・ 植生ライダー(MOLI) ・ 災害対応・ベスマップおよび環境モニタリングに関するミッション(その2) (ALOS-3 後継・ALOS-4 後継)
ア) 第一期短期計画（～2030年ごろまで）に含めるべき提案ミッション
<ul style="list-style-type: none"> ・ 静止衛星搭載雷センサ ・ 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（GCOM-C 後継） ・ アクティブセンサによる雲降水観測ミッション
イ) 第二期短期計画(2030～)での実現に向けて道筋をつける提案ミッション
<ul style="list-style-type: none"> ・ 全大気圏衛星観測 - 超伝導サブミリ波リム放射サウンダ（SMILES-2） ・ 高層大気の化学・力学場の動態把握のための FTS 衛星観測ミッション ・ 雲レーダ・ライダーによるデュアルドップラー観測ミッション ・ キロメートル級 SLCP イメージング分光観測：地球温暖化・大気汚染の同時軽減対策効果に関する静止衛星診断 ・ ドップラー風ライダー(気象予測精度向上のための全球風観測ミッション)

B

・ 小型降水レーダコンステレーション

ウ) 中期計画で考慮すべき提案ミッション (技術の研究開発・実証、データのニーズを育てる等の活動を継続し、ミッションの成立性を考える提案ミッション))

- ・ 衛星搭載水蒸気観測用差分吸収ライダー (DIAL) の技術実証
- ・ 静止常時観測衛星
- ・ 静止衛星海色ミッション
- ・ 全球風観測プログラム
- ・ Role of Japan on polarization observations from space

エ) 現時点では実現性が薄く再検討を要する提案ミッション

該当なし

技術実証を目的とした提案ミッション

- ・ 次世代降水観測レーダの技術実証

衛星データの利活用や地球観測の新たな枠組みの提案として今後検討を進める提案ミッション

- ・ 気象・海洋・陸面予測を革新する高頻度衛星観測網の設計事前評価プラットフォーム
- ・ 静止衛星と周回衛星複合観測による擬似高頻度高解像度観測の実現
- ・ マイクロ波リモートセンシングによる準リアルタイム水循環変動の監視と評価
- ・ 多波長光学イメージャを用いた大気エアロゾルの監視, 同化予測および再解析プログラムの作成

B

以上

令和3年10月5日

委員長 中村健治

なお、各提案の査読評価においては、日本学術会議の2017年の提言「我が国の地球衛星観測のあり方について」で示されている「科学的観点からの審査」・「技術的観点からの実現性確認」について、そのプロセスの一部（地球衛星観測コミュニティからの提案時の評価プロセス）を試行するのが今回の試行公募の目的となっていること、また、「コミュニティの担う一連の流れの最初のプロセスは、国際的な視野に立った科学的意義や社会ニーズと継続性を考慮しながら、長期戦略に基づく課題の設定を行うこと」との記述もあることから、これらの観点での評価が得られるように、以下の評価項目と評価基準（以下では概要のみを示す）を設定して行った。

科学的意義： ミッションが達成すべき本質的な科学的要求の明確性、得られる科学成果の先鋭性、国際的に見て観測データの継続性確保が極めて重要か、長期継続モニタリングによる気候変動の影響検知あるいは気候変化を支配する個別過程（プロセス）の理解にマッチするか等

コア技術やその優位性、ならびに成熟度： 技術的な成熟度、成立性、宇宙からの観測の有効性等

実利用の可能性： 実利用・商用ニーズの顕在性等

国際的分担： 国際的枠組みでのミッションの協働体制構築状況

予算： 想定する予算規模

準備状況： ミッション要求から具体的な観測要求・システム要求へブレイクダウンできているか、国際分担でのミッションの場合相補性が担保できているか、予算獲得状況等

以下、判定結果に基づく新規提案ミッションの概要及び評価を掲載する。

4.2.2.1 宇宙基本計画にすでに記載されている計画中の提案ミッション（3件）

宇宙基本計画工程表において、既に記載されているミッション。

4.2.2.1.1 ひまわり後継機

（宇宙基本計画の工程表に既掲載。「2022年度までに後継機の仕様や整備・運用計画を検討し、2023年度をめどに後継機の製造に着手する。後継機には高密度観測等の最新技術を取り入れ、台風や線状降水帯の予測精度向上等の防災気象情報の高度化を通じて自然災害からの被害軽減を図る」）

提案者：中島 孝（東海大学）

ミッション概要：

ひまわり8号・9号の後継機について、令和5年（2023年）に製作に着手する必要がある。このため、令和3年（2021年）までに、ひまわり後継機の全体像を定めておく必要がある。

世界気象機関（WMO）の2040年頃のあるべき姿（WIGOS-2040）では、静止気象衛星にはイメージャに加え、ハイパースペクトル赤外サウンダ、雷光センサー、紫外・可視・近赤外サウンダも推奨されている。また、中国が静止衛星搭載のマイクロ波サウンダを計画している。静止気象衛星、低軌道衛星、さらには将来的には超小型衛星といった衛星群をトータルで組み合わせことも肝要である。

以上を踏まえ、ひまわり後継機の検討にあたり、どのようなセンサーを搭載することが技術的に可能と見込まれ、かつ、それによる社会的便益の効果が期待されるかについて、広く知見を求めるものである。

<全体概要>

現行のひまわり8号・9号は令和11年（2029年）に設計上の寿命を迎えることから、後継機を令和10年（2028年）に打上げる必要がある。気象衛星の製作には5ヵ年を要することから、令和5年（2023年）には製作に着手する必要がある。このため、令和3年（2021年）までに、ひまわり後継機の全体像を定めておく必要がある。

世界気象機関（WMO）が定める2040年頃の世界気象衛星観測網のあるべき姿（WIGOS-2040）において、静止気象衛星についてはひまわり8号・9号に搭載されているようなイメージャに加えて、ハイパースペクトル赤外サウンダ、雷光センサー、紫外・可視・近赤外サウンダについても推奨されている。また、中国が静止衛星搭載のマイクロ波サウンダを計画している。

また、静止気象衛星、低軌道衛星、さらには将来的には超小型衛星といった様々な衛星群をトータルで組み合わせた観測網を構築して得られたデータを総合的に利用することが肝要と思われる。

こうした情勢を踏まえ、ひまわり後継機を検討するにあたり、どのようなセンサーを搭載することが技術的に可能と見込まれ、かつ、それによる社会的便益の効果が期待されるかについて、広く知見を求めるものである。

なお、気象庁主催の「静止衛星データ利用技術懇談会」（座長：中島映至先生）において、平成31年3月に「今後の気象衛星の搭載センサーに関する考察～ひまわり8号・9号の後継衛星に向けて～」がとりまとめられ、気象庁ホームページに掲載された。

(http://www.jma-net.go.jp/sat/satellite/riyoujigyokondan/201903_sensor_s.pdf)

(http://www.jma-net.go.jp/sat/satellite/riyoujigyokondan/201903_sensor.pdf)

今後は気象庁主催の「静止気象衛星に関する懇談会」（座長：中須賀真一先生）において、ひまわり後継機に関する検討が進められる予定となっている。

(https://www.jma-net.go.jp/sat/himawari/kondan_index2.html)

<技術的新規性／優位性>

世界最高性能のひまわり8号・9号のイメージャ能力をさらに向上させることを検討する。具体的にはバンドの追加の可能性、水平解像度の向上、領域観測の拡充などである。加えて、ハイパースペクトル赤外サウンダ、雷光センサー等を搭載することとなれば我が国として初のこととなる。

<開発進捗>

既に欧米等の静止気象衛星に搭載または計画されている。具体的には以下の通り。

- ・ハイパースペクトル赤外サウンダ：中国 FY-4 に搭載。欧州 MTG-S で搭載予定。
- ・雷光センサー：米国 GOES-R、中国 FY-4 に搭載。欧州 MTG-I で搭載予定。
- ・紫外・可視・近赤外サウンダ：欧州 MTG-S、韓国 GK-2B で搭載予定。
- ・マイクロ波サウンダ：中国 FY-4 で搭載予定。

<想定するコスト>

未定

<技術的・実用的展開>

台風・集中豪雨から火山灰や黄砂さらには海面水温に至まで、防災・地球環境のみならず多様な産業分野での利活用が期待される。また、国民生活はもとより、アジア太平洋諸国をはじめとする国際貢献につながる。

【第2回試行公募最終審査委員会による評価】

(グランドデザインB改訂での扱い)

実施段階：確実な実現を求める。10号・11号の予算要求がばらばらのため、11号が不確実な状況と言われている。

(最終審査コメント)

気象予報の国内、国際貢献で必須。継続性を担保するとともに、イメージャの高度化だけではなく、赤外サウンダ等の追加による予測の高度化に期待する。更に気象庁業務だけではなく静止軌道プラットフォームとしての在り方も検討するべき。

B

【第1回試行公募最終審査委員会による評価】（参考）

（グラウンドデザインA改訂での扱い）

実施段階：確実な実現を求める

（最終審査コメント）

気象予報の国内・国際貢献で必須。継続性を担保するとともに、気象予測の高度化を期待する。将来的に静止軌道プラットフォームを幅広く有効に使えるような方策を検討すべき。

他衛星などの複合利用による付加価値が高いデータ群の実現にむけて、具体的な活動を望む。

4.2.2.1.2 植生ライダー (MOLI)

(森林バイオマスによる吸排出量推定精度向上等に資するライダー観測技術ミッション。工程表ではライダー観測技術の基盤技術実証に向けた研究開発を進めることとされている。)

B

提案者：浅井 和弘 (東北工業大学)

ミッション概要：

衛星搭載植生ライダーMOLI (Multi-footprint Observation Lidar and Imager) ミッションの目的は日本初の宇宙用ライダーの技術実証と炭素循環や気候変動メカニズムにとって重要な役割を演じる地上部森林バイオマス (AGB: Above Ground Biomass) の評価に必要な林冠高/三次元森林構造情報の高精度取得, 及び L-band SAR (ALOS-2/PALSAR-2 等) データや GCOM-C/SGLI などのパッシブ分光データとの融合解析による現状では信頼性が劣る高密度な熱帯林域での AGB 算出精度の飛躍的向上である。また, 究極的には全球の AGB 推定の高精度化のためのアルゴリズム開発を通して将来の実用衛星への指針を得ることにある。

ここで提案する MOLI ライダーの特徴は, 以下のとおりである。

- ① 衛星ライダーから発射された送信パルスレーザー光は、地上を 25mφ 照射する (フットプリント) が、各フットプリントからの反射光は高精度な地表面情報 (DSM、DEM、植生分布、アルベド@レーザー波長などの取得可能なレーザー高度計 (Laser altimeter))。
- ② 約 50mφ @along track, 約 40m@cross track の近接したフットプリント間隔は、地表面傾斜角度および方位角を自己決定可能となり、これにより地表面傾斜に起因する林冠高計測誤差の低減が可能。
- ③ 同時搭載の高解像度イメージャ (先進光学衛星のバンド幅に合わせた Green, Red, NIR の 3 バンド, swath 幅 1000m, 地上解像度 5m) による、林冠のサイズ, 高さ, および圃場データに関する情報等の取得。

B

上記の特徴により, MOLI ミッションの林冠高の計測精度は, 地表面傾斜角<30 度において, 林冠高計測誤差±3m 以内 (<15m の森林) または<±20%以内 (>15m の森林), AGB 観測精度については, AGB 観測誤差±25t/ha 以内 (<100t/ha の森林) または±25%以内 (>100t/ha の森林) と, 高精度に設定することが出来る。

MOLI ライダーの短所としては光センシングのために観測が天候に大きく影響される。一方, L band SAR (ALOS 2/PALSAR 2 等) は全天候観測が可能でありリアルタイムでの変化の抽出にも優れ, とくに近年, 斜め観測によるデータの歪みの補正方法が改善されて以来, 山岳地での森林解析精度も上がり, 大いに期待されている。半面, L band SAR は高密度な熱帯雨林すなわち, 南米アマゾン流域, アフリカのコンゴ地域, 東南アジア地域での熱帯林からの受信後方散乱信号は 150t/h 以上の AGB で飽和してしまう。その他, 国内の閉鎖した成熟林では使えず, また湿地林やマングローブ林では水面による 2 回反射のためにバイオマス推定値が過大に評価されるなどの問題点がある。

以上を踏まえ, 光波領域の MOLI ライダーと電波領域の L band SAR が有する各々の長所を有効

に利用してそれぞれのセンサーの短所を補完することにより、高密度な熱帯雨林域での AGB 観測精度を高めることが可能になる。

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	<p>① MOLI ミッションはレーザー高度計としてのライダー技術の実証、先端的森林評価技術の実証を通して、ALOS や GCOM-C などとの併用評価手法を確立し、衛星利用による森林炭素モニタリングに対する国際標準とできる期待が高い</p> <p>② 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: JICA-JAXA Forest Early Warning System in the Tropics）が運用されているが、ライダー技術の確立により、より正確に検知でき且つバイオマスの変化量を詳細に推定可能であるため、温暖化政策の観点や外交政策上からも有意義な情報を提供できる。</p> <p>③ 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慮すると、GOSAT 観測データ解析時に仮定値用いている地表面二酸化炭素フラックスの推定を正確に把握し、国の政策に反映できる様になる。</p> <p>④ 核心となるレーザー送信機とライダーの宇宙環境での技術が確立された後は、次のような超最先端ライダー実現への開発展望が開かれ、実現後の最先端の地球観測技術と観測データは大いに世界の環境問題への理解と解決のために果たす役割と貢献度は大きい。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 更なるレーザー送信機の長寿命技術の確立 ● 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）が可能となり、深宇宙探査や安全保障分野にも貢献 ● 大気ライダー（雲/エアロゾル、水蒸気、風ベクトル）
技術	<p>① 優位性：GEDI(The Global Ecosystem Dynamics Investigation)は高分解能イメージャを搭載していなく、また地上フットプリント間隔が広いいため傾斜に起因する樹冠高決定精度が劣化する場合もある。MOLI は常にライダーフットプリント(25mφ)を高分解能イメージャで同時に観測し、地表面情報を把握してライダー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を目指した将来的にも重要な先端センサーである。</p> <p>② 成熟度：レーザー高度計（Laser Altimeter）機能を活用した森林樹冠高の観測は ICESat 搭載ライダーによって始められた。その実績をもとに NASA は 2018 年末に森林生態系観測ミッション GEDI ライダーを ISS 軌道に打ち上げ、2019 年 4 月から森林の 3 次元マッピング</p>

	<p>グを実施中である。</p> <p>このように、スペースライダーは世界的にグローバル森林観測ミッションにとってキーセンサーの地位を確立しつつある。提案の MOLI ライダーは我が国初の地球観測用光アクティブセンサーであるが、世界の森林生態系観測の流れから必ずや 3 次元植生観測ミッションに対し大きな貢献をする。</p> <p>③ 人材確保と育成: レーザー高度計機能を有するライダー技術の最も優れた点は、DSM-DEM 間を 3 次元観測できることであり、今後この地球規模での 3 次元観測ニーズが世界的に増加すると予想される。そのため、MOLI ミッションでの開発経験ならびにデータ解析能力を有する人材の育成は、今後の日本の地球観測ミッションの発展にとって非常に重要であり強く渴望されるであろう。</p>
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 との協力の方向を検討中
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, レーザセンシング学会
継続性/新規性	<p>① 地球観測用大出力パルスレーザーセンサとして日本初。</p> <p>② マルチフットプリント・ライダーとイメージャの地表面同時観測による、地盤面を含む植生の 3 次元マッピング</p>
緊急性 タイムリーさ	<p>NASA/GEDI ミッション³※は 2019 年-2020 年の 2 年ミッションでグローバル森林樹冠高を含む生態系ダイナミクスの観測を行うが、もし MOLI ミッションが GEDI の 4 年後の 2023 年-2024 年に運用が可能となれば、4 年間の森林の生育状況変化をグローバル規模の三次元マッピング可能となり、そのシナジー効果は絶大である。</p> <p>この観点から、MOLI は 2023 年度打上げを希望する。</p>
国際的分担	NASA/GEDI ミッションとの国際協力を調整中
予算	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いる。
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スキャナ技術への発展

³ 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

<p>実利用の可能性</p>	<p>MOLI の実現により, AGB 現地調査回数・調査費用を 1/2~1/10(地上調査から MOLI 推定値への回帰の決定係数が 0.5~0.9 の場合)と劇的に削減できる可能性がある。これにより下記の様な取組みが可能となる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● REDD+⁴ (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) において MOLI は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国際的な政策支援が可能となる。 ● JJ-FAST (JICA-JAXA による森林の違法伐採防止向けの早期警戒システム) とライダーセンサーの導入により, より正確な違法伐採の検知が可能となる。 ● 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も使用可能となる。
----------------	---

【第 2 回試行公募最終審査委員会による評価】

(グラウンドデザイン B 改訂での扱い)

実施段階

(最終審査コメント)

具体的なハードウェアの検討とそれに伴うプロダクト・アルゴリズムの検討も十分進んでいる。また、諸外国の類似センサとの差別化も十分考慮されている。JAXA のミッションとしてプロジェクト化する段階に来ている。後継のライダーミッションのための技術情報の取得も期待する。

B

【第 1 回試行公募最終審査委員会による評価】 (参考)

(グラウンドデザイン A 改訂での扱い)

短期計画

(最終審査コメント)

工程表に一部記載はあるが、具体化に至っていない。発展的なライダーミッションの基礎となる技術の実証であり、早期に着実に実現させることを望む。

【グラウンドデザイン初版での評価】 (参考)

(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

⁴REDD+ : 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

り、REDD+ 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。

4.2.2.1.3 災害対応・ベースマップおよび環境モニタリングに関するミッション(その2)

(ALOS-3、ALOS-4 の後継機に関するミッション)

提案者：山本 彩（日本リモートセンシング学会）

ミッション概要：

本提案の目的は、継続的な大規模災害時の観測およびベースマップ作製、ならびに長期にわたる定量的モニタリングによる地球資源の監視・解明である。ALOS シリーズの光学および SAR センサは広い範囲を高い空間分解能で観測することにより、基盤情報（土地被覆、地形、標高）、防災・減災（変化抽出、地盤変動、浸水、不法投棄）、農林水産業（精密農業、食料安全保障、森林、漁業）、エネルギー（地質、埋蔵量、資源管理、汚染監視）、気候変動（氷河、流水、洪水）、環境（沿岸環境、炭素ストック）など実利用的なものから、地球科学にいたるまで多岐にわたる分野で利用されてきている。米国 Landsat シリーズが高く評価され、欧州が Sentinel シリーズを長期的に計画・運用していることから、継続的なモニタリングという観点から、ALOS シリーズの高分解能センサの継続が我が国の地球観測におけるプレゼンスを上げることにつながる。

<p>衛星・センサ仕様</p>	<p>衛星軌道：太陽同期準回帰軌道 軌道高度：約 600 km 衛星質量：2000-3000 kg 搭載センサ 1：広域高分解能光学センサ ・設計寿命：7 年 ・分解能：パンクロ 0.5m、マルチ 2-3m ・波長帯：先進光学と同等（6 バンド） ・ステレオ観測機能：パンクロ 直下・前方視・後方視 ・走査幅：70 km 搭載センサ 2：広域高分解能 SAR センサ ・設計寿命：7 年 ・観測モード（分解能）& 観測幅： スポットライトモード（1x3m&30km） 高分解能モード（3-10m&100km） 広域モード（10-100m&350km） ・周波数：L バンド</p>
<p>期待される科学の成果</p>	<p>広い観測幅（数十～100km）での高解像度（数m以下）の地球規模の物理情報を提供することにより、Landsat や Sentinel シリーズのような中分解能衛星では限界がある、詳細な災害時の被災域把握、平時の土地利用・土地被覆マップの作製や森林・農地における植生変動の把握が可能となる。これにより、気候変動による影響シミュレーションなど、各種シナリオにもとづいたモデル計算の際の境界条件を精緻なものにすることが可能であり、将来予測精度の改善が期待される。また、干渉解析による地表面変位計測が可</p>

B

	<p>能な SAR データの中で、C バンド・X バンドと比較して植生下の変位検出に優位性がある L バンド SAR を用いることで、面的かつ広域に地表面変位のメカニズムが把握できることを活用し、各種データと組み合わせることで様々な成果を挙げることが期待できる。</p>
アウトカム	<p>本提案における広域高分解能の光学・SAR データが全球スケールで整備されることにより、いつ発生するか予測の難しい災害対策における、網羅的なベースマップからの差分としての被害域抽出といった活用がまず着目される。国内では内閣府による戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第2期において、「国家レジリエンス (防災・減災) の強化」が開始されており、広域高分解能衛星がその中で果たす役割は大きく、活用が期待されている。また、国際的にも災害時の対策における基盤地理空間情報の整備は急務・不可欠であり、定期的な広域高分解能衛星データの有用性が求められている。防災・減災以外にも、例えば国際社会における SDGs への取り組みを考えた際に、安定的な食料生産や水資源の確保、公衆衛生分野などにおいて、基幹となるベースマップの維持更新や、詳細な変化の監視に定期的な観測が、役立てられることが期待されている。また、国内における Society5.0 に示される将来の社会や、世界的なスマートシティを実現させる流れの中でも、広域高分解能衛星データによる基盤データが着目され、活用が期待されている。</p>
技術の特色	<p>① 優位性：光学に関しては、数m～サブメートル級の高分解能画像を数十km という広範囲で観測する技術について優位性がある。L バンド SAR の開発・運用に対しては他国に対する優位性が高い。さらに、光学データと SAR データが同時に運用され、融合的に利用されることにより、それぞれ単独での利用に比べて、相互補完のメリットや得られる情報の精度向上など多様な効果が期待される。</p> <p>② 成熟度：ALOS シリーズおよび情報収集衛星の開発により、現行技術については技術的に十分成熟している。ALOS/PRISM で実現した衛星進行方向のステレオ観測技術に加え、ALOS-3 で開発された方向変更観測技術は、緊急性の高い観測にも迅速に対応可能である。SAR における DBF についても国内メーカーの技術を用いて広域高分解能観測が実現可能である。</p> <p>③ 人材確保と育成：ALOS-4 に至るまでの ALOS シリーズで培った技術を持つ人材を確保し、新しい ALOS 後継シリーズに対応させることで、今後も人材を維持し、その次世代の育成に繋げることができる。</p>
開発体制	JAXA による開発
研究体制	ALOS で培った JSS,METI 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, 日本森林学会, 日本農学会など。関係省庁

B

	(国交省、経産省、農林水産省、海上保安庁、環境省など)との利活用検討体制
継続性/新規性	ALOS-1,2 の成功があり、ALOS-3,4 が次年度打ち上げられようとして準備されている状況。宇宙開発戦略本部による工程表には、先進光学衛星後継機①②、先進レーダ衛星後継機①②の記載があるとともに、「●継続的に開発・運用等」との記載もされている。ALOS シリーズのプレゼンス向上のためには、途切れずに継続することが必要。
緊急性 タイムリーさ	ALOS の運用停止以降、光学系の高分解能センサに関しては ALOS-3 の運用が切望されている状況。シリーズとしての継続性を担保するためには、ALOS-3 の設計寿命である 7 年後の 2026 年までに打ち上げる必要がある。SAR についても、ALOS-4 の設計寿命が 7 年であるため、確実に継続するためには 2026 年度までに打ち上げる必要がある。
国際的分担	災害については、これまで同様に国際災害チャータや、センチネルアジアの枠組みにおける分担体制が構築されている。国際協力の観点からも、各国の衛星と組み合わせて利用するためには、相互にデータ・解析結果を提供しあう関係を築いておく必要があり、日本側から観測データを提供できる状態を維持することが重要である。また、Lバンド SAR データは他国にない有用な情報を提供できることから、他国の X、C バンド SAR との協力体制を構築しやすい。
予算	現在予算処置なし
低コスト化への取り組み	今までの ALOS シリーズのノウハウの利活用や情報収集衛星で培った技術の流用などにより、コスト圧縮の可能性はある。
将来展望	これまで実利用化における課題となっていた観測頻度の向上・確保に対して、近年増えてきている民間企業などによる小型衛星によるコンステレーション観測のアプローチが、一つの解決策を示している。一方で、これら小型衛星による観測のみでは継続的な観測における値の信頼性の担保が現状不十分となる可能性があり、Planet 衛星が Landsat などの観測結果を元に校正検証しているように、ALOS シリーズのような広域高分解能観測が可能な大型衛星をデータの基盤として、小型衛星のデータも価値を増すような相乗効果を狙うことが期待できる。 また、広域高分解能センサはデータ量が増大する傾向方向にあるため、要素技術としてのデータ伝送の高速化、データオンボード処理、データ中継衛星などデータダウンリンク環境も含めた宇宙システムのさらなる効率化の検討も必要である。
実利用の可能性	必要な時の観測データが必要なタイミングで入手できることが小型衛星とのコラボレーションやプラットフォームの整備で進むこと、また、その上で機械学習・深層学習などの AI 解析技術と組み合わせて人手を解さずとも必要な情報に変換できるようになることによって初めて、実利用化が進むこ

B

	<p>とが期待される。上記のような環境要因は現状の ICT の発展に伴って徐々に整備されつつある。</p> <p>事例としては、ALOS から得られた地形データ (AW3D) の様々なプロジェクトでの利用、スマート農業における高品質な作物をより多く収穫するための実証、道路・鉄道や様々な設備などの社会インフラのモニタリングにおいて SAR データによる干渉解析結果の利用が注目されはじめていること、高分解能衛星の多波長観測結果による深淺測量・詳細な土地被覆／土地利用の把握などが、実利用またはその兆しとして捉えられる。本提案の広域高分解能衛星の今後の実現と前述の環境の整備がタッグを組むことで、これらの実利用がさらに広がる可能性がある。</p>
--	--

B

【第 2 回試行公募最終審査委員会による評価】

(グラウンドデザイン B 改訂での扱い)

実施段階

(最終審査コメント)

提案の衛星データが政府方針で販売ということを見ると、民間の高解像度の光学衛星や SAR からのデータが増加している現在において、それらの衛星との差別化はかなり難しいと思われる。ユーザーからの意見をさらに集約すると共に、ベースマップを基本とするミッションの価値を高める努力を期待する。

【第 1 回試行公募最終審査委員会による評価】 (参考)

(グラウンドデザイン A 改訂での扱い)

短期計画

(最終審査コメント)

ALOS-5 および 6 にむけて、デュアルユースや潜在ニーズの掘り起こしによってさらにミッション価値を高めることができる。実利用の観点からのコメントが加えられるべき。

4.2.2.2 第一期短期計画（～2030年ごろまで）に含めるべきミッション（3件）

グランドデザインにおいて、今後5年で着手あるいは実現すべきミッションである。後述する時間的な優先度などを考慮したロードマップに基づく実現を目指す。

4.2.2.2.1 静止衛星搭載雷センサ

（第2回試行公募での新規提案ミッション。）

提案者：牛尾 知雄（大阪大学）

ミッション概要：

静止衛星搭載の雷センサは、世界気象機関（WMO）が定める、観測システムの2040年ビジョン（Vision for WIGOS in 2040）に、全球的な観測体制を構築すべきセンサとして掲げられており、米国や中国の新世代の静止気象衛星で運用が開始されるとともに、欧州の次世代静止気象衛星でも搭載が予定されている。

本提案書では、ひまわり8号・9号の後継機への搭載を念頭とし、我が国独自の静止衛星搭載の雷センサの開発を提案する。

B

衛星・センサ仕様	<p>衛星軌道：静止軌道(東経140度付近を想定)</p> <p>搭載センサ：雷センサ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・波長：777.4 nm を基本とする。 ・センサ質量：100 kg ・消費電力：300 W ・設計寿命：10 年 ・水平（鉛直）分解能：5 km（水平） ・観測範囲：衛星から見た地球全域の80%
期待される科学の成果	<p>陸上及び洋上における雷（落雷及び雲放電）の常時観測が可能となることにより、積乱雲の盛衰の監視や、竜巻や雹といったシビア現象のナウキャストの改善が期待される。特に地上観測が疎である洋上の観測結果は、台風の強度予測や航空機や船舶の運航管理に大きな改善効果をもたらす。また、雷は窒素酸化物（NOx）の主要な自然発生元であり、静止衛星による広範囲の雷の観測は、地球規模でのNOx循環の解明に寄与する。</p>
アウトカム	<ul style="list-style-type: none"> ・台風強度予測等の気象情報の改善による防災・減災 ・航空機や船舶の経済的で安全な運航 ・電力会社の安定的な電力供給
技術の特色	<p>優位性：衛星搭載の雷センサでは、従来の地上観測では検出が困難であった、雲放電の検出が可能。</p> <p>成熟度：米国及び中国で運用中、欧州でも2021年に打上げ予定。</p>

	人材確保と育成：過去の低軌道衛星ミッションや現在の欧米のミッションに精通した人材の確保が必要。雷センサの開発には CCD/CMOS といったセンサ技術や大容量データのオンボード処理という衛星観測の重要な要素が含まれ、人材育成の観点で有益である。
開発体制	国内衛星メーカーおよび JAXA, 気象庁, 大阪大学, 北海道大学, NASA 等の国内外の研究開発機関との共同開発体制
研究体制	北海道大学, 理化学研究所, 気象庁, JAXA, 大阪大学, 電気通信大学等の国内外の研究機関
関連団体	国内電力会社, 電力中央研究所, 自治体, 気象関連会社等
継続性/新規性	過去の低軌道衛星ミッション (TRMM 衛星搭載の LIS) で培われた技術に基づきつつ、紫外域の利用によって従来の衛星観測では不可能であった落雷と雲放電の識別も検討する。
緊急性 タイムリーさ	欧米や中国が計画を進める中、我が国でも可及的速やかに開発に着手する必要がある。
国際的分担	米国、欧州、中国及び日本の静止衛星によって、全球的な観測体制を構築する。
予算	未定
低コスト化への取り組み	過去の低軌道衛星によって培われた技術を応用することでコスト低減を図る。
将来展望	日本を含めた全球的な観測網が構築・維持されることで、雷の常時観測がグローバルに実現される。
実利用の可能性	気象分野や電力業界等における実利用の可能性が十分にある。

B

【第2回試行公募最終審査委員会による評価】

(グランドデザイン B 改訂での扱い)

短期計画

(最終審査コメント)

新規開発を行わない場合は第一期短期計画となるが、行う場合は第二期短期計画にもなり得る。現業利用の気象庁と密接に協調して観測センサ導入を推進するべきと考える。

4.2.2.2.2 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（GCOM-C 後継）

（広域光学イメージャ・ミッション）

提案者：本多 嘉明（千葉大学）

ミッション概要：

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。さらに、Jトレイン型の複数の衛星群による観測（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」P16～18にある基幹衛星にすることにより、日本の地球観測や宇宙産業の底上げに役立つ。JAXAにおける次期GCOM-C検討においてJトレイン構想も含まれており、さらに、JAXA内の活動に協力する形でMetOP, JPSSなどの諸外国の活動との連携・分担検討をすすめるかたちでGCOM-Cで挙げられてきた目標の充実や重点化の議論を進めている。

期待される科学の成果	<p>現行の GCOM-C に衛星間通信機能を付加する。詳細は検討が必要であるが、通信機能は、Jトレイン構想に従い、複数の随伴衛星と静止衛星間でおこう。宇宙空間での通信なので高周波数電波や光通信を検討する。さらに、放射収支に関わる雲・エアロゾルや雪氷のアルベード、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。</p>
アウトカム	<p>・社会課題「地球温暖化とその対策」</p> <p>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</p>

B

	<p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・Jトレインの構築 基幹衛星からもたらされる観測条件等の情報を受け取ることで随伴衛星はその衛星本体のみでは成し得ない高付加情報を取得することができ、他国の追随を許さない衛星ビジネスを展開できる可能性がある。特に機能が限られる小型衛星には有効な観測システムといえる。先述の気象研究ノートに記載には静止衛星との連携利用も検討課題の一つにあがっており、別の申請課題「静止衛星と周回衛星複合観測による擬似高頻度高解像度観測の実現」の中で最初の事例としてひまわりと GCOM-C の複合利用による新しい高付加価値データの創出の研究が進められている。」さらに、衛星から地上への通信が飽和状態を迎えることがよそうされるので、随伴衛星群のデータを基幹衛星—静止衛星とリレーし、静止英瀬からは光通信で地上にデータをダウンリンクすることで、小型衛星市場を拡大していく上でのダウンリンク飽和问题を解決できる。
技術の特色	<ul style="list-style-type: none"> ① 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 ② 成熟度：OCTS, GLI, SGLI の開発により技術的に十分成熟している ③ 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/新規性	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	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。
低コスト化へ	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

B

の取り組み	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。
実利用の可能性	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。

B

【第 2 回試行公募最終審査委員会による評価】

(グラウンドデザイン B 改訂での扱い)

短期計画

(最終審査コメント)

日本のグローバルイメージャの利用も含めた技術の維持発展を考慮すると実施するべきであるが、GCOM-C の状況を至急確認し可否を検討すること、及びひまわりなど気象衛星の環境観測への貢献もある中、それとの関係性を整理するのがよい。

【第 1 回試行公募最終審査委員会による評価】 (参考)

(グラウンドデザイン A 改訂での扱い)

短期計画

(最終審査コメント)

日本のグローバルイメージャの蓄積を踏まえて、ぜひ実施するべき。先行ミッション (GCOM-C/SGLI) の状況を確認しつつ実現する。ひまわりなどの気象衛星との融合を考えた上で仕様を決めていくとよい。

【グラウンドデザイン初版での評価】 (参考)

(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有り、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。

① AMSR-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。

4.2.2.2.3 アクティブセンサによる雲降水観測ミッション

(DPR 後継ミッション。「降水レーダ後継ミッションについて、NASA で計画中の ACCP ミッションへの参画を前提に JAXA 降水レーダ衛星の開発研究を進める。」(宇宙基本計画工程表 令和3年改定案))

B

提案者：高橋 暢宏 (名古屋大学)

ミッション概要：

地球温暖化に代表される気候変動研究における重要課題としては、将来予測の精度向上や正確な影響評価(長期トレンド・現状把握)が挙げられる。ここでは、気候変動の、人間生活への影響が大きい降水や雲をターゲットに、内部構造を捉えることに優位性を持つアクティブセンサによる観測を提案する。

本ミッションの特徴(新規性)は、力学的な観測を新たに(ほぼ初めて)行うとともに、これまでの雲物理的な観測も高度化することにより、これまで理解が進んでいなかった全球的な雲・降水過程を把握することである。また、本提案は TRMM や GPM による長期的な高精度降水観測の継続(長期トレンド観測)も同時に実現するものであり、地球全体の水循環を正確に把握することも目指す。本提案では数値モデルを用いた研究との連携を基本としている。

B

実利用として、気象・防災等多岐にわたり活用されている全球降水マップ提供の継続、高度化も行う。

開発センサは、科学的・実利用的なニーズに基づき、技術進展やこれまでの高い技術力の維持・継続を考慮して GPM 搭載二周波降水レーダを高度化したレーダ(DPR-2)または、そのうちの Ku 帯のドップラーレーダの開発を提案する。

本提案は、NASA 等との国際連携により、複数周波数のレーダやライダーによる雲・降水の観測を行うものであり、力学的な情報の取得はドップラー速度計測機能をレーダに付加すること等により実現する。

衛星・センサ仕様	衛星仕様(現在のところ確定していない) 衛星軌道：太陽非同期軌道、または、太陽同期軌道 軌道高度：400 km (TBD) 衛星質量：1500 kg (TBD) 搭載センサ：Ku 帯降水レーダ <ul style="list-style-type: none"> ・ 周波数：Ku 帯 ・ センサ質量：400 kg ・ 消費電力：500 W ・ 設計寿命：5 年(TBD) ・ 水平(鉛直)分解能：5 x 2.5 km (水平：ドップラー計測有りの場合) または 5 x 5 km (水平：ドップラー計測無しの場合)、250 m (鉛直)、 ・ 空間オーバーサンプリングにより、さらに高分解能化を行う。 ・ 走査幅：50~380km (可変)
----------	--

	<ul style="list-style-type: none"> ドップラー速度計測機能（直下のみ）（ドップラー速度計測機能の有無によりアンテナサイズおよび水平分解能が変わる）ドップラー計測機能の有無については NASA との調整による。 <p>※Ku 帯レーダの仕様は、GPM 搭載の KuPR をベースとして、GaN の導入やフレキシブルな観測方式により、感度を最大で 10dB 程度改善する。</p>
期待される科学の成果	<ul style="list-style-type: none"> これまで、TRMM/PR や GPM/DPR による降水の 3 次元観測に雲レーダ等との同時観測や鉛直ドップラー速度観測を付加することにより、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自体の変化と全球降水量を継続的に把握する。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、数値気候モデルと連携させることにより気候変動のメカニズムの理解の飛躍的進展や予測精度の向上が期待できる。
アウトカム	<p>将来的には、地球温暖化予測精度の向上による効果：効果的な適応策や緩和策の立案に資することができる。</p> <p>実利用のためには、精度の向上に加え継続的にプロダクトを提供することが重要であり、このミッションは GSMaP に代表される全球降水マップを最大限に活用するための基盤となる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ●衛星降水レーダの高度化による効果： <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。 GPM は、数値気象予報において DPR のデータ同化が実用化しており、さらなる活用が期待される。 ●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）：気象情報、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・予測等において精度の高い情報が必要とされている。 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。
技術の特色	<p>センサ概要：GPM/DPR をベースに、感度や走査幅などにおいて大幅な性能向上を目指すとともに、ドップラー速度観測を行う。なお、レーダの仕様・構成については、NASA 等との連携の枠組みにおいて変わる可能性があり、現状では KuPR のみの搭載となる可能性が高いが、科学研究・実利</p>

B

	<p>用等の本提案の目的を達成できるミッションとなる様に調整する。</p> <p>① 優位性：衛星降水レーダ（Ka 帯・Ku 帯）は現在世界で唯一である。</p> <p>② 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がある。<u>ドップラー速度計測機能については、EarthCARE での経験があるが、新しい技術として技術開発を進める必要がある。</u></p> <p>③ 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。</p>
開発体制	<p>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 主導でレーダを開発する。ミッションは NASA との国際協力（A-CCP：国際的分担の項など参照）で実現することを想定している。</p>
研究体制	<p>TRMM および 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してきた。A-CCP に関しては、国内の雲・エアロゾル・降水の研究者コミュニティが議論を開始している。</p>
関連団体	<p>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</p>
継続性/新規性	<p>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。</p> <p>また新規にドップラー速度の観測を提案する。これにより降水システム発達のダイナミクスに関する新しい情報が得られ、EarthCARE/CPR の雲物理情報または、NASAA-CCP とのシナジーにより雲降水相互作用の解明に資する。</p>
緊急性 タイムリーさ	<p>GPM は 2014 年 2 月打上げ、3 年 2 か月の設計寿命。2018 年 10 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。</p> <p>米国 Decadal Survey の結果を受けて、A-CCP の枠内での NASA との共同ミッションを想定した議論を実施している。DPR-2 は A-CCP の降水観測において最も重要なセンサであり、NASA 側が検討している高周波（Ka, W 帯）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。</p> <p>なお、A-CCP の衛星打ち上げは 2028 年を想定している。</p> <p>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。</p> <p>米国では、Decadal Survey で designated mission として Cloud-</p>

	<p>Convection-Precipitation (CCP)および Aerosol (A) に高いプライオリティがあり、国際協力も重視されていることから、日本との協力が最も高い可能性を持つ。実際に、A-CCP のアーキテクチャの検討には日本からも提案者ほか参加している。2019 年 9 月時点において、A-CCP では7のアーキテクチャが提案されており、今後具体的な検討が実施される予定である。</p>
国際的分担	<p>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。</p> <p>米国では、Decadal Survey で designated mission として Cloud-Convection-Precipitation (CCP)および Aerosol (A) に高いプライオリティがあり、国際協力も重視されていることから、日本との協力が最も高い可能性を持つ。実際に、A-CCP のアーキテクチャの検討には日本からも提案者ほか参加している。2019 年 9 月時点において、A-CCP では7のアーキテクチャが提案されており、今後具体的な検討が実施される予定である。</p>
予算	<p>予算規模はセンサで～100 億。文部科学省予算を想定。</p>
低コスト化への取り組み	<p>KuPR 単体としては、最新の技術導入により性能を維持しながら、システムの簡素化によるコスト削減は可能である。ドップラー計測を導入する場合は、コスト増となるが、DPR のコストよりは十分に下がる。</p>
将来展望	<p>レーダの高度化を通じて技術の成熟を図る。スピナウト技術として、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）。また、CubeSat タイプの超小型衛星搭載レーダについては、JPL が RainCube（Ka 帯、直下観測のみ）で実現している。このようなレーダの将来的な活用についての検討を開始している。</p>
実利用の可能性	<p>全球降水マップおよび降水レーダデータは現段階で数値気象予報、台風予測、洪水予測に使われ始めており、本ミッションによる安定したデータの継続提供を通してこれらの情報を活用する気象ビジネスを支援する。</p> <p>公衆衛生、農業生産・予測等、水ビジネスにおいて長期の均質な降水データベース・各地のリアルタイムの降水データが活用される。</p>

B

【第2回試行公募最終審査委員会による評価】

(グラウンドデザイン B 改訂での扱い)

短期計画

(最終審査コメント)

新規技術要素を取り入れたことは大きな前進となっている。NASA との協力のやり方をよく検討しコストパフォーマンスを含めた妥当な計画になるように調整した上で早期に準備を進めるのが望ましい。

B

【第1回試行公募最終審査委員会による評価】（参考）

（グラントデザインA改訂での扱い）

短期計画

（最終審査コメント）

TRMM、GPMから続く降水観測ミッションの継続・発展のため、NASA/ACCP（2028 予定）と協力するなど、国際共同で早期に実現することが望ましい。

【グラントデザイン初版での評価】（参考）

（総評）

現状世界で唯一の衛星搭載降水レーダであり、二世帯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）

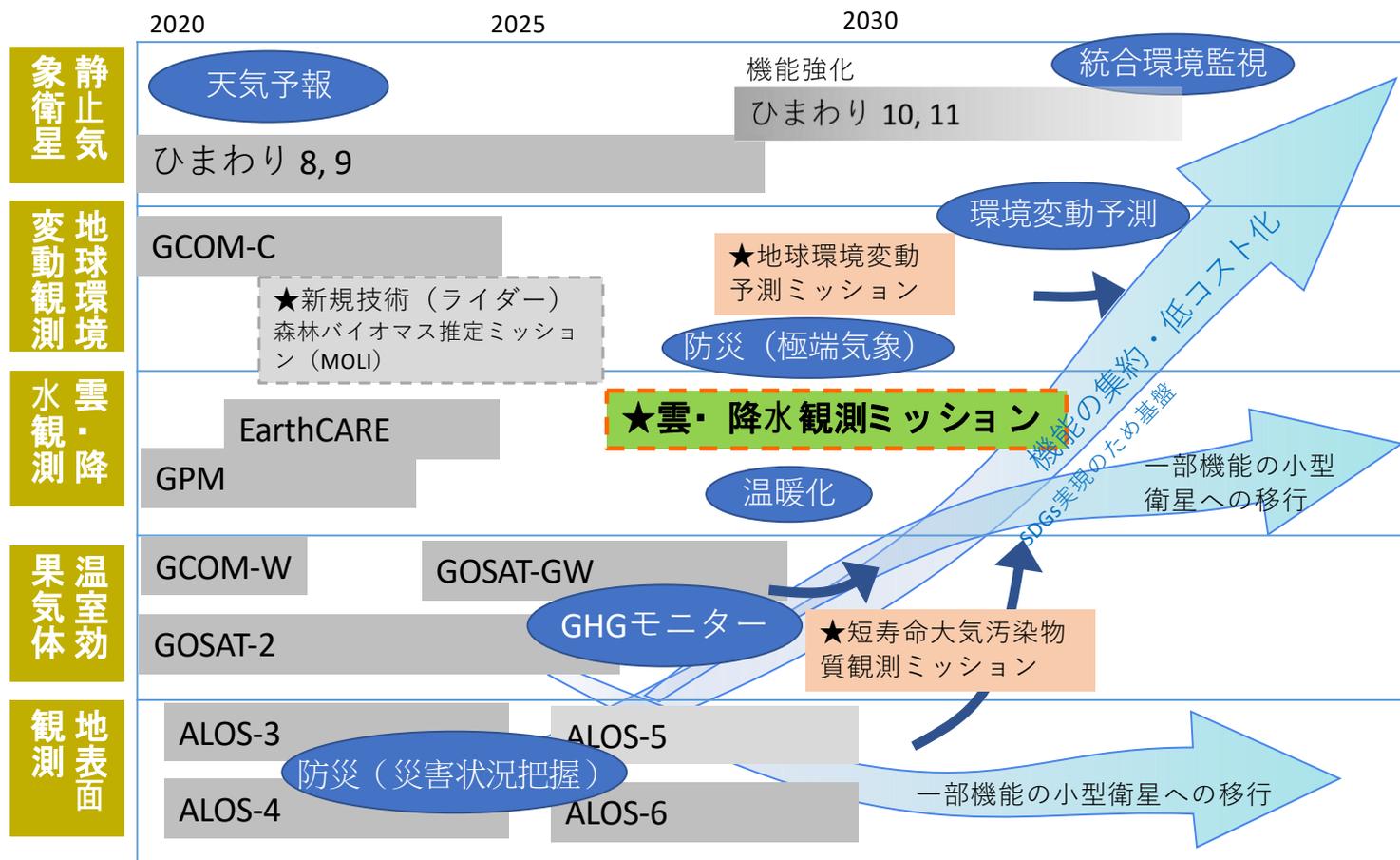
軌道上の降水レーダに求められていた第一のニーズである「全球の降水分布と降水システムを把握すること」がTRMM、GPMにより実現されたとみると、今後の方向性は大まかに2つ考えられる。1つは前述のミッション提案に示した降水現象の物理素過程を重視する「プロセス志向」に応える観測機能の向上と、もう1つはPR・KuPRの技術を用いて小型化・コストダウン（同時にスペックダウン）した機器の複数軌道投入による観測頻度の向上である。現在の衛星降水マップの精度の限界はマイクロ波放射計の観測頻度でほぼ決まっており、これをマイクロ波放射計よりも精度のよいレーダに置き換えた上で、投入軌道の適切な選択により重点観測地域の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。

4.2.2.3 地球観測衛星ロードマップ（短期ロードマップ）

4.2.1, 4.2.2.1 - 4.2.2.2 を考慮し，地球観測衛星ロードマップ（短期ロードマップ）を次のとおり提案する．この際には，日本学術会議ならびに現在の国内外の動向も踏まえ，日本の地球観測衛星は SDGs 実現のための社会基盤となるべきという視点に立ち，防災（地震・火山・台風・水災害（洪水、土砂崩れ）等），地球規模課題解決（地球温暖化・温室効果ガス・越境大気汚染）への活用を推進する．



B

4.2.2.4 第二期短期計画(2030～)での実現に向けて道筋をつけるミッション (6件)

グランドデザインにおいて、5年後以降に着手、10年後までに打上げできるよう、必要な道筋をつけていきたいミッションとして以下の6件を推奨する。

4.2.2.4.1 全大気圏衛星観測 - 超伝導サブミリ波リム放射サウンダ (SMILES-2)

(第一回試行公募では、提案者側の意向として宇宙科学ミッションとしての実現を目指すとのことであったため、最終審査において評価対象外とされたが、第二回試行公募では地球観測ミッションに変更して提案された。)

提案者：塩谷 雅人 (京都大学)

ミッション概要：

国際宇宙ステーションに搭載されたJEM/SMILES (JEM: Japanese Experiment Module; SMILES: Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder)により世界で初めて4K冷却による超高感度サブミリ波大気観測が宇宙実証された。その成果を発展させ、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の高感度観測をおこなうことを目標としたSMILESの発展型衛星観測計画SMILES-2を提案する。

SMILES-2の観測によって、データの空白域ともいえる上部中間圏から下部熱圏を含めたグローバルな地球大気情報がかつてない高い精度で得ることができる。中層大気から超高層大気までの領域を一気に通して観測することにより、地球大気変動の最も重要な要素の一つである日周変動成分(潮汐)の鉛直構造を含めた動態把握がはじめて可能となる。また高精度な大気微量成分分布の観測から、気候変動の理解にとって重要なオゾン層変動に影響を与える化学過程を定量的に特定できる。さらに、大気圏と宇宙空間の遷移領域である超高層大気における温度場・風速場の観測から、地球全大気における電磁氣的エネルギーの役割を明らかにすることができる。これらによって、気候研究のための化学モデルによる将来予測の信頼性向上や、宇宙天気のためのモデルのさらなる精度向上に寄与できる。

B

衛星・センサ仕様	衛星軌道：太陽非同期軌道 軌道高度：550 km 衛星質量：約 500 kg 搭載センサ: 超伝導サブミリ波リム放射サウンダ <ul style="list-style-type: none"> ・観測対象：温度, 風, 大気成分(オゾン, 水蒸気, 微量成分) ・観測高度範囲：20 km ~ 150 km ・周波数：640 GHz 帯, 760 GHz 帯, 2 THz 帯 ・センサ質量：200 kg 以下 ・センサ消費電力：約 320 W ・設計寿命：3年 ・高度分解能：2.5 km (観測対象による) ・水平サンプリング間隔：約 700 km
期待される	SMILES-2 は中層大気(対流圏界面より上)から下部熱圏(高度 150km 付近)

科学の成果	まで)の領域を一気に通して観測し、データの空白域ともいえる上部中間圏から下部熱圏を含めたグローバルな地球大気情報がかつてない高い精度で得ることができる。これによって地球大気変動の最も重要な要素の一つである日周変動成分(潮汐)の鉛直構造を含めた動態把握がはじめて可能となる。また高精度な大気微量成分分布の観測から、気候変動の理解にとって重要なオゾン層変動に影響を与える化学過程を定量的に特定できる。さらに、大気圏と宇宙空間の遷移領域である超高層大気における温度場・風速場の観測から、地球全大気における電磁気的エネルギーの役割を明らかにすることができる。
アウトカム	本ミッションが実現されることによって、気候研究のための化学モデルによる将来予測の信頼性向上や、宇宙天気のためのモデルのさらなる精度向上に寄与できる。また、現業予報サイクルあるいは再解析データ生成にあたっての入力データとして、将来の現業的な運用への発展も視野に入れた観測データを提供できる。さらに、宇宙天気情報の提供において、他の測定では得られない超高層領域大気の貴重な高精度測定データとして活用が期待される。
技術の特色	<p>① 優位性:サブミリ波は光学観測などに比べ時間的(昼夜)にも高度的にも一様な観測が可能で、衛星観測により全球大気の3次元分布が得られる。超伝導による高感度観測は日本にSMILESの実績があり他国に対し圧倒的な優位性を持っている。</p> <p>② 成熟度:SMILESに加え、ALMA(チリにある電波望遠鏡)の受信機開発実績が日本にある。宇宙用機械式冷凍機はSMILESの他、ひとみでも成功している。</p> <p>③ 人材確保と育成:JAXA, NICT等にSMILES経験者がいる。国立天文台や大学等の電波天文関係者の協力を得つつ、人材の拡充を図る。</p>
開発体制	情報通信研究機構と宇宙航空研究開発機構が中心となって測器開発をおこなう。スウェーデン等の海外の機関との共同開発の可能性を模索している。現在、JAXA 宇宙科学研究所の公募型小型計画を想定した衛星開発を目指している。
研究体制	京都大学、名古屋大学、北海道大学、成蹊大学、京都産業大学、大阪府立大学、JAXA、NICTなどに所属する研究者を中心に活動しており、宇宙科学研究所(ISAS)理学委員会のワーキンググループとして認知されている。
関連団体	関連学協会では、国内組織として、気象学会、地球電磁気・地球惑星圏学会、天文学会、国際組織として、SPARC、COSPARなどがある。
継続性/新規性	成層圏オゾンなど中層大気の継続的な観測の重要性は国際的にも認識されている。SMILES-2では観測高度領域を下部熱圏領域にまで広げ、SMILESによって世界で初めて宇宙実証された4K冷却による超高感度サブミリ波大気観測を発展的に実施し、中層大気から超高層大気までの温度と風を一

B

	挙に観測する点には新規性がある。
緊急性 タイムリーさ	米国の NASA, NOAA や欧州の ESA などにおいても、現在運用中の中層大気観測ミッションの後継となる将来計画は確定していない。唯一、スウェーデンの Stratospheric Inferred Winds (SIW) があるが限定的なミッションであり、現在軌道上にある衛星が運用停止となったあとに長期間の「観測ギャップ」がやってくるのが危惧されている。そのような背景から、 JEM/SMILES の後継ミッションへの大きな期待が存在する。
国際的分担	測器開発においては、マイクロ波分光計やローカル発振器等においてスウェーデン等と開発の国際分担をおこなう可能性がある。観測の実施体制は本提案主体である国内の研究者を中心に構築されるので、現時点では特に国際的な分担は想定されていないが、プロダクトとしてのデータは全世界に向けて発信され利用される。
予算	JAXA 宇宙科学研究所の公募型小型計画に提案し、プロジェクト経費を獲得することを計画している。公募型小型計画のプロジェクト総資金で不足する部分は、海外機関との協力や、国内他資金の可能性を模索している。
低コスト化への取り組み	超伝導を利用したシステムとしては、受信機システムを小型化し冷凍機消費電力を削減する設計を進め、コストが最小となるよう検討している。マイクロ波分光計をスウェーデンの SIW 衛星と共通化しコスト削減するなど、国際協力について検討を始めている。
将来展望	現時点では、高層大気領域を広く一気に高精度に測定する手段としてサブミリ波領域の観測は唯一の手法といえる。これによって得られるデータは参照データとして、広く大気科学研究に利用できる。将来的には、高周波で低雑音の半導体素子が利用可能となることが見込まれるので、超小型衛星等による観測(感度は少し低いが多数の観測でカバー)が期待される。
実利用の可能性	最近の現業数値モデルでも中長期の予報精度を向上させるためには中層大気領域を含めることが必須と認識されているため、地表から中層大気を含む高度 80km 付近までをモデル領域とするのが一般的になっているが、モデルに対する十分な入力データはないのが現状である。最近 Aura MLS(Microwave Limb Sounder) の温度データが再解析データ作成にあたって実験的に利用されはじめているが精度は十分ではない。数値モデルに対する要請や宇宙天気予報の発展なども踏まえ、将来の現業的な運用への発展も視野に入れた観測として実施される。

B

【第2回試行公募最終審査委員会による評価】

(グランドデザイン B 改訂での扱い)

第二期短期計画

(最終審査コメント)

SMILES は良い実証データを出したが短期間の観測であった。地球科学と宇宙科学の境界分

野の観測であり、その隙間を埋めるためにも地球観測の継続のためにも重要であり、ぜひ実現してほしい。ISS 搭載を念頭におくのであれば、学術目的以外のアウトカムや実利用の観点のアピールも必要であると思料する。

【第 1 回試行公募最終審査委員会による評価】（参考）

（グラントデザイン A 改訂での扱い）

評価対象外

（最終審査コメント）

SMILES は良い実証データを出したが短期間の観測であった。地球科学と宇宙科学の境界分野の観測であり、その隙間を埋めるためにも地球観測の継続のためにも重要なので、ぜひ実現してほしい。

B

4.2.2.4.2 高層大気の化学・力学場の動態把握のための FTS 衛星観測ミッション (第二回試行公募での新規提案ミッション)

提案者：江口 菜穂 (九州大学)

ミッション概要：

成層圏のオゾン層破壊や人為起源温室効果ガスの大気中濃度の増加による対流圏の温暖化および成層圏の寒冷化は現在進行形の気候変動現象である。現在の気候の理解および将来の気候変動の予測には、全球規模での大気微量成分、雲の継続的な観測が必要不可欠である。

本ミッションでは FTS (Fourier Transform Spectrometer) を用いて、近赤外から熱赤外域の波長 4~14 μm 、分解能 0.02cm^{-1} の太陽掩蔽観測を実施する。本手法により中部対流圏から下部熱圏 8~100 km) における多種類の気微量成分 (同位体含む) と氷雲の高鉛直分解能 (1.5 km) の観測が可能である。

本ミッションによって、成層圏内の化学過程の精緻化や新しい機構の解明、また対流圏上層の水蒸気、HDO の情報により数値モデルによる予報精度の向上が期待される。さらに成層圏の化学過程を詳細に再現することにより、成層圏の力学場の再現性の向上、それによる中層大気の大気変動が対流圏に与える力学的効果がより現実的に再現が可能となり、気候変動予測の精度向上を介して、社会生活や政策への貢献が期待される。

衛星・センサ仕様	<p>衛星：</p> <p>軌道：太陽非同期 (non sun synchronous), solar occultation</p> <p>軌道高度：650km</p> <p>軌道傾斜角：65度 (観測緯度範囲は参考資料図1参照)</p> <p>搭載センサ：</p> <p>FTS (参考資料図2参照)</p> <p>観測波長：4~14 μm</p> <p>分光分解能：0.02 cm^{-1}</p> <p>鉛直分解能：1.5~4 km</p> <p>Line of sight：200 km</p> <p>積分時間：2 秒</p> <p>測器質量：50kg</p> <p>消費電力：65 W</p> <p>設計寿命：5 年</p>
期待される科学の成果	<ul style="list-style-type: none"> - 中部対流圏から下部熱圏までの温室効果ガス、水蒸気とその同位体およびオゾン関連気体成分や氷雲の全球規模かつ高鉛直分解能の観測から、地球大気化学、放射過程および圏をまたいだ水循環や物質循環の動態を把握する。(導出可能な微量気体成分は参考資料表1に記載) - 気候モデルが不得意とする圏間の相互作用および大気上層の微量気体

B

	<p>成分や力学過程の情報のインプットによる気候予測精度の向上</p> <ul style="list-style-type: none"> - 成層圏オゾンに関連する成分の観測によって、成層圏化学・力学モデルの精度向上、および水蒸気とその同位体の観測によって、気象予報モデルの精度向上が図られる。
アウトカム	<ul style="list-style-type: none"> - 対流圏の温暖化による成層圏気候への影響、およびオゾン層を介した成層圏からの対流圏への気候影響の評価。成層圏の化学・力学過程を精緻化することにより気候モデルの低温バイアス（数度）の軽減が期待される [例えば、Yook et al.,2019]。 - 水蒸気同位体を用いることによる気象場の予報精度の向上。それによる極端現象の予報精度向上が期待される。IASI の水蒸気同位体を用いた結果、10%の気象場（風場、湿度場）の予報の精度向上が確認された [Toride et al.,2019]。 - 温室効果ガスの成層圏シンクの絶対量の評価が可能となり、炭素インベントリー（排出量）の不確定性量の削減により、より正確な気候予測や排出量にかかわる政策を介して社会に貢献する。
技術の特色	<p>① 優位性：</p> <ul style="list-style-type: none"> - FTS によって赤外域波長を高波数分解能で広範囲に観測することで、多成分の微量気体成分（同位体含む）を同時に取得できる。それによって、上層大気の化学・力学過程の理解が進む。 - 高緯度範囲（±80 度；軌道傾斜角 65 度の場合）、高高度範囲（雲頂高度～100 km）を高鉛直分解能（1.5～4 km）で測定することで、中部対流圏から熱圏下部の圏間の連続した物質交換過程の詳細な議論が期待できる。 <p>② 成熟度：</p> <p>ACE-FTS, GOSAT シリーズによる近赤外から熱赤外域の FTS 観測経験あり。</p> <p>③ 人材確保と育成：</p> <p>既存の技術を応用することで人件費の削減を図るが、人材育成および科学技術発展のため、各国の研究者に数名ずつ若手研究者を配置し、シニア世代から培ってきた知見、技術の継承と次世代の衛星分野の人材育成、分野の活性化と衛星ミッションの国際的競争力の強化を目指す。</p>
開発体制	<p>測器開発は主に Canadian Space Agency。案が採用になった場合、JAXA の関わり方を調整する。</p> <p>ソフトウェアは千葉大、環境研、九大で実施</p>
研究体制	<p>ハードウェア：カナダ、JAXA (TBD)</p> <p>ソフトウェア：千葉大（齋藤）、環境研（吉田）、九大（江口）、Environmental Canada (Nassar)</p> <p>データ提供：(案) Tellus、または、JAXA G-portal</p>

B

	<p>解析：九大（江口）、千葉大（齋藤）、東大（芳村）、University of Toronto (Walker, Strong)</p> <p>検証：北大（藤原）(TBD)</p> <p>数値モデル：JAMSTEC（河谷、山下）、University of Toronto (Jones), Environmental Canada (Plummer)</p>
関連団体	<p>日本気象学会、日本大気化学会、日本リモートセンシング学会、日本地球惑星科学連合、Canadian Meteorological and Oceanographic Society、Canadian Space Agency</p>
継続性/新規性	<p>新規性： 高鉛直分解能で、中部対流圏から下部熱圏の同位体を含む多種類の微量大気成分同時観測は初の試みである。また水蒸気同位体を得ることで、上層大気を含む水循環の全球的な理解を得ることができる。</p> <p>継続性： ACE-FTS での高高度の微量大気成分の観測実績や GOSAT シリーズでの近赤外から熱赤外の高スペクトル分解能の導出手法の継続と発展を期待する。また MLS、ACE-FTS、MIPAS 等との連続的な長期観測によって気候変動に寄与する高層大気の微量気体成分の全球規模観測データの蓄積が期待される。</p>
緊急性 タイムリーさ	<p>温暖化対策は世界規模での喫緊の課題である。オゾン層破壊も気候変動によってどのように変化するか不明な点が多い。</p> <p>国際的にみて大気上層の大気微量成分をターゲットとした地球観測衛星の実行段階にあるプロジェクトは皆無である。NASA、ESA 主導の地球観測衛星の寿命を考慮すると早急に次期衛星の打ち上げを検討すべきである。</p>
国際的分担	<p>測器開発およびソフトウェアの開発を CSA と共同で実施する。</p> <p>データ提供を日本側が担当する。</p>
予算	<p>予算規模 125-150 億円</p>
低コスト化への取り組み	<ul style="list-style-type: none"> - 測器およびソフトウェア共に既存の技術を応用することでコストカットを目指す。 - ACE-FTS の研究チームの協力を仰ぐことで人件費及び開発期間短縮によるコストカットが期待できる。 - 他の測器との打ち上げおよびプラットフォームの相乗りによる打ち上げ、運用コストのカットを図る。
将来展望	<p>同位体を含む多種類の微量気体成分の導出から、特に成層圏化学過程の精緻化やさらなる未知の化学機構の発見が期待される。</p>
実利用の可能性	<p>中層大気を含めた全球規模での温室効果ガスの観測および圏間の相互作用の理解の進展から気候変動予測モデルの精緻化を通じて、異常気象や極端現象の予測の高精度化によるリスク管理等の政策への提言が期待できる。</p>

B

[参考資料]

表 1 : 観測分子種

Science Goal	Measurement	CASS-FTS Role
Climate and Ozone Balance Monitoring: Ozone	O ₃ , HCl, ClONO ₂ , CFC-11, CFC-12, CH ₃ Cl, CCl ₄ , CFC-113, HCFC-142b, HCFC-22, HFC-134a, COClF, COCl ₂ , NO, NO ₂ , N ₂ O ₅ , HNO ₃ , HNO ₄ , HF, CH ₄ , N ₂ O and H ₂ O	Measurements of ozone and suite of molecules involved in ozone depletion processes as well as tracers of atmospheric dynamics
Climate and Ozone Balance Monitoring: Climate	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄ , H ₂ O, O ₃ , CFC-11, CFC-12, CH ₃ Cl, SF ₆ , CF ₄ , CCl ₄ , CFC-113, HCFC-142b, HCFC-22, and HFC-134a	Profiles of all major greenhouse gases including halocarbon species
Understanding the role of the UTLS in coupling the atmosphere and surface climate	H ₂ O, HDO, H ₂ ¹⁸ O, O ₃ , CO, HNO ₃ , HCl, CH ₄ , N ₂ O, HCN, NO, and NO ₂	High vertical resolution profiles of large suite of molecules including isotopologues
Understanding the role of aerosols	N/A	N/A
Improving estimates of CO ₂ sources and sinks	CO ₂	Profiles of CO ₂ to improve vertical distribution of this greenhouse gas in model simulations
Investigating mesosphere and lower thermosphere	O ₃ , H ₂ O, NO, CO	Extended profile retrievals from key species.

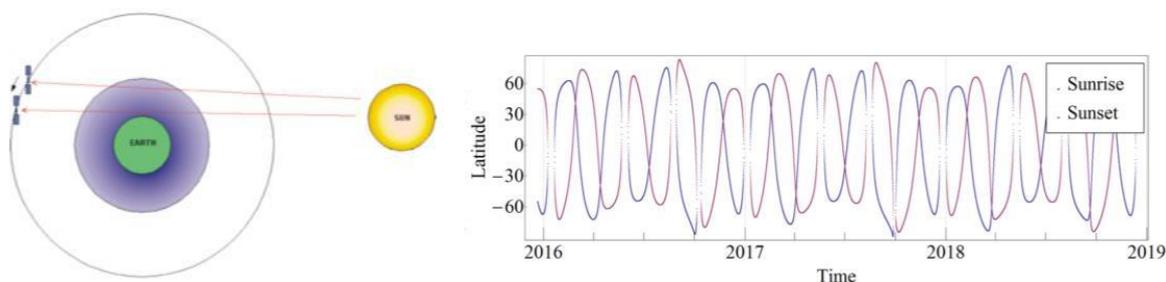


図 1 : (左) 太陽掩蔽法と (右) 観測軌道 (軌道傾斜角 65 度の場合)

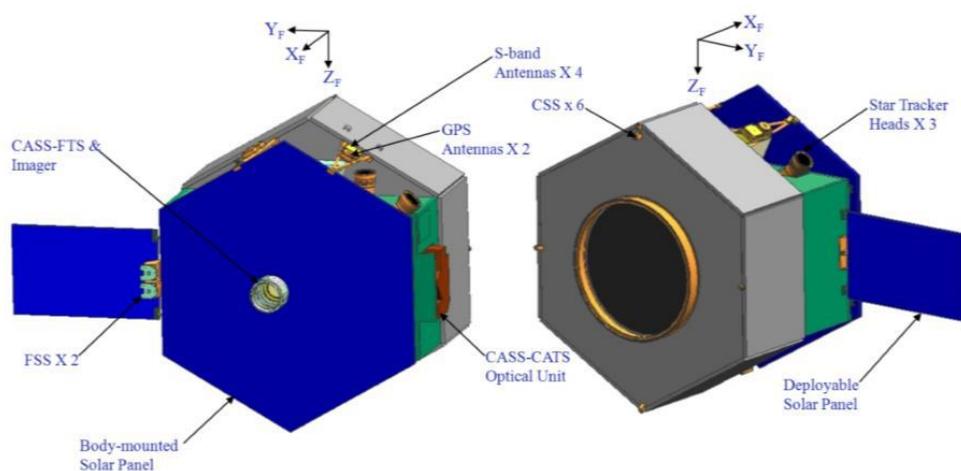


図 2 : FTS イメージ (CASS-ACE, credit: ABB Bomem)

B

【第2回試行公募最終審査委員会による評価】

(グラウンドデザインB改訂での扱い)

第二期短期計画

(最終審査コメント)

観測が少ない成層圏・中間圏での大気化学的な観測は意義深く、また、現業化の道筋もあるので、ぜひ推進すべきである。一方で、国際分担とその理由付け、日本が実施するための意味付け、現業機関のコミットメントを得る方策等についてTFと協力して検討すべきである。

B

4.2.2.4.3 雲レーダ・ライダーによるデュアルドップラー観測ミッション

提案者：岡本 創（九州大学）

ミッション概要：

ドップラー機能を搭載する 94GHz 雲レーダとライダーの同時観測により、雲・エアロゾル微物理特性観測と晴天域・雲内部の風速の同時観測を行う。雲レーダとライダーの双方が真下向きもしくは真下及び斜めの 2 方向の最大 3 方向で視線方向のドップラー速度の 3 次元観測を行う。

ライダーは 532nm, 1064nm の 2 波長での観測をベースとする（最大で 355nm を加えた 3 波長）。高スペクトル分解ライダー(HSRL)は波長 532nm の 1 波長（最大で 355nm を加えた 2 波長）で実現し、偏光解消度は 2 波長（最大で 3 波長）とも有するものとする。ドップラー観測は波長 532nm のみで行う。ライダーのドップラー観測用では狭い視野角と、光学的に厚い雲域の観測を可能とする大きな視野角の多視野角偏光ドップラーライダー(multiple-field-of-view lidar)とする。

ここで雲レーダは 2006 年打ち上げのレーダ反射因子の観測に成功している CloudSat 衛星と、2021 年打ち上げ予定の EarthCARE 衛星搭載のドップラー機能を持つ雲レーダの後継としての雲観測の役割を担う。ライダーは 2006 年打ち上げの CALIPSO 衛星搭載の 2 波長偏光ライダー、2018 年打ち上げ成功の ADM-Aeolus 衛星の波長 355nm の偏光と高スペクトル分解型の直接検波方式のドップラーライダーの後継としてエアロゾル・雲・風速観測の役割を担う。衛星軌道は極軌道とする。

期待される科学の成果	雲レーダとライダーの両センサを用いた雲域、晴天域、雲頂上での鉛直方向のドップラー観測を行うことで、雲・エアロゾル・降水・降雪の微物理特性と鉛直流の同時観測を実現する。多視野角の多重散乱ライダーでは、従来のライダーよりも光学的に厚い雲の情報が取得可能になる。雲レーダとライダーの同時観測が光学的に厚い雲でも行えること、そして高スペクトル分解ライダーによる消散係数観測とドップラー速度の情報から、雲微物理特性と雲落下速度、対流特性として鉛直流を格段に精度良く求めることが可能になる。これによって、雲の微物理特性と対流に関する全球データセットを初めて構築することが可能となる。この観測情報は雲の微物理過程および力学過程に関する理解を飛躍的に促進し、数値モデルにおいて不確実性の大きいこれらの表現を素過程レベルで改善する。これは、気象・気候モデリングの質的向上を促す。また、高スペクトル分解ライダーからは更に多種多様にわたる大気粒子の光学・微物理特性の情報も得られる。特に NASA decadal survey の ACCP (Aerosol, Cloud, Convection, and Precipitation) ミッション等で重要な観測項目としても選定されている消散係数、粒子種や有効半径の高度分布の抽出も包括しており、世界に類をみない確かな大気粒子情報の獲得が可能となる。
アウトカム	雲の微物理特性、エアロゾルの種類とそれらの微物理特性、晴天域と雲域両方の風速 3 次元分布、雲微物理および対流パラメタリゼーションの素過程レベルでの検証と改善による、気候変動予測精度の質的向上、極端現象予測

B

	<p>精度の向上が見込まれる。また、気候変動だけではなく、エアロゾルによる大気環境影響の評価（健康・植生への影響等）の質的向上も見込まれる。これらの科学的知見の向上は、地球温暖化問題の解決に向けた国際的な合意形成や国内外での環境施策の高度化を促進する。</p>
<p>技術</p>	<p>搭載センサ：</p> <p>(1)ドップラー雲レーダ Wバンド（94GHz）、設計寿命：3年、計測方向：鉛直下（+斜下方向）</p> <p>(2)ライダ 532nm および 1064nm（+355nm）、設計寿命：3年</p> <p>計測機能：</p> <p>(a)波長 532nm（+355nm）での高スペクトル分解ライダ（HSRL）測定 (b)波長 532nm での鉛直下（+斜下）多視野角直接検波式ドップラー風測定 (c)波長 532 および 1064nm（+355nm）での偏光測定</p> <p>① 優位性:EarthCARE 衛星で日本が開発した 94GHz 雲レーダ CPR のドップラー観測技術を利用。干渉計を用いた HSRL 技術の実現。MOLI の 1064nm の技術をベースに発展可能。</p> <p>② 成熟度：衛星搭載ドップラー雲レーダ技術はすでに確立。HSRL は干渉計を用いた手法で実現可能（地上で走査型干渉計による HSRL 技術を確立し、多波長化（355, 532nm）技術の開発を進行中）。多視野角ライダと解析手法は開発済みであり、また地上の 355nm 直接検波方式ドップラーライダの開発に着手している。これらの技術を元に衛星化をねらう。 CloudSat/CALIPSO/EarthCARE 解析アルゴリズムの資産がある。</p> <p>③ 人材確保と育成：EarthCARE CPR を JAXA が、ドップラーライダを情報通信研究機構が、高スペクトル分解ライダを国立環境研究所が担当可能。 大学・NIES・NICT・JAXA で若手育成。</p> <p>④ 衛星：極軌道衛星による全球観測を想定する。JAXA 協力の下、搭載衛星や軌道打ち上げ技術の検討を行う。</p>
<p>開発体制</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 九州大学応用力学研究所: レーダ・ライダ開発統括、アルゴリズム開発 ・ 国立環境研究所: HSRL 開発、多視野角多重散乱ライダ開発 ・ 情報通信研究機構：ドップラー雲レーダ開発、ドップラーライダ開発 ・ 国内では他の衛星ライダーミッションとして、風測定ライダ、水蒸気測定ライダそして植生ライダ（MOLI 後継ミッション）が提案されている。レーザ、オプティクス、排熱技術等の衛星ライダ基盤技術の共同開発や技術共有を想定している。また、これらの技術・開発共有はコスト削減にも繋がる。

B

研究体制	九州大学応用力学研究所: レーダのリトリバルアルゴリズム開発研究 国立環境研究所: ライダのリトリバルアルゴリズム開発研究 東京大学大気海洋研究所: 微物理・力学特性のデータ解析によるプロセス研究、数値モデルとの比較検証
関連団体	JAXA, NASA/JPL(CloudSat グループ)、NASA-Langley(CALIPSO ライダグループ)、ESA(EarthCARE ATLID ライダグループ、ADM-Aeolus ライダグループ)、環境省、気象庁、日本気象学会、日本エアロゾル学会、レーザセンシング学会、など
継続性/新規性	<p>【新規性】晴天域と雲域における鉛直流・雲・エアロゾル微物理量の観測により、エアロゾルと雲・降水の微物理特性と対流特性をシームレスに観測する点。これにより、数値モデルにおける最大の不確実要因であるエアロゾルと雲の相互作用及び対流その相互作用を素過程レベルで明らかにでき、モデルにおける当該プロセスの表現を高度化し、エアロゾル・雲・降水に関わる現象のモデル予測精度を質的に向上させる。また、衛星による可視・近赤外波長域における HSRL 測定や近赤外波長域での衛星偏光測定は無く、得られる大気粒子パラメータも世界初となる。</p> <p>【継続性】本ミッションは、アクティブセンサを導入した CALIPSO、CloudSAT、EarthCARE ミッションによる国際的な全球大気粒子観測ミッションの後継としての役割を担い、将来の衛星搭載アクティブセンサによる全球大気粒子の国際観測ミッションを牽引するものとなる。</p>
緊急性 タイムリーさ	EarthCARE 衛星後の雲レーダ・ライダ衛星計画がないため、雲の気候変動のデータを継続して取得する計画の実現は急務である。また豪雨や台風などの極端降水現象が頻発している昨今、その雲物理・力学的な理解を早急に進展させ、それに基づいて予測精度を向上させることは社会的にも喫緊の課題である。
国際的分担	ACCP ミッションが進行していることも踏まえ、NASA/JPL との共同分担開発(雲レーダを NASA/JPL、日本側がライダもしくは、雲レーダを JAXA、ライダを NASA-Langley)、ESA との共同分担開発(たとえば雲レーダを JAXA、ライダを ESA) の可能性があり得る。
予算	JAXA 予算による施行を想定している
コスト削減策	HSRL 搭載衛星やドップラーライダ衛星計画が立ち上がった場合、本ミッションの 355nm のドップラーを 2 ミクロンで代替し、ドップラー雲レーダとの複合観測とする。ACCP の進展による、ACCP と同軌道観測による、本提案の部分的代替(雲レーダもしくはライダの一部機能)も検討する。雲レーダは固体素子も検討。
将来展望	<ul style="list-style-type: none"> エアロゾル・雲・降水の微物理・力学特性をシームレスに観測できるセンサ技術およびリトリバルアルゴリズムの開発を、数値モデリング

B

	<p>との密な連携のもとで継続的に実施する。雲と降水を同時に計測するためにドップラー降雨レーダ搭載衛星との複合観測も視野に入れる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 植生ライダ MOLI ミッションで確立されたレーザ・ライダ技術を基に、より高度なレーザ・HSRL 技術を確立する。これらの技術は、ライダによる気象要素測定（気温、風速、水蒸気など）の根幹技術でもある。宇宙からの大気粒子・気象要素の同時測定への発展により、大気粒子の気候・大気環境影響評価への利用だけではなく、台風進路や火山灰拡散を含めた気象予測精度向上や防災利用への発展も期待できる。
実利用の可能性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 衛星搭載の雲レーダとライダの3方向ドップラー計測から得られる鉛直流（最大で3次元風速）と雲・エアロゾル微物理特性（もしくは観測量そのもの）により雲対流プロセスを改良すると共に、数値予報モデルへ同化し予測スコアを改善させる。また、極端現象の再現性の向上に貢献する。 ・ 「安全・安心で豊かな社会の実現」への実利用として、数値モデルとの結合利用（同化等）により、大気環境質を悪化させる粒子（火山噴火に伴う噴煙、黄砂、バイオマス燃焼粒子や大気汚染粒子）の拡散・輸送に関する予測・監視への利用が可能である。

B

【第2回試行公募最終審査委員会による評価】

（グラウンドデザインB改訂での扱い）

第二期短期計画

（最終審査コメント）

科学的には重要なミッションと考えられるが、EarthCARE や ACCP との関係をどのように考えるのかの明快な説明が必要となろう。また全てを実現するより、他ミッションとの協力の中に上手く位置付けて実現を目指すのはどうか。他提案のライダー間での調整は必要である。

【第1回試行公募最終審査委員会による評価】（参考）

（グラウンドデザインA改訂での扱い）

将来に向けた要素技術開発・技術実証

（最終審査コメント）

大気科学の今後の展望において、重要な観測が複数盛り込まれているため、すべてを実現するためには観測アーキテクチャの検討が必要。また、例えば NASA/ACCP への積極的な参加により一部を実現させることを検討してはどうか。

4.2.2.4.4 キロメートル級 SLCP イメージング分光観測：地球温暖化・大気汚染の同時軽減対策効果に関する静止衛星診断

(SLCP イメージング分光計ミッション。第一回公募での LEO 衛星コンステレーションの提案から構想を変更して提案。)

提案者：笠井 康子（情報通信研究機構）

ミッション概要：

SLCP は大気汚染と気候変動の双方に複雑に関係しており、それらを紐解き効果的な改善を導く。SLCP は 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、閣僚級の国際的取組みが 2012 年より開始された (CCAC)。大気汚染に起因する死亡者数は世界で 370 万人程度であり (WHO, 2012)、交通事故死者数の約 3 倍に相当する。特に我が国は越境および国内起源の高濃度オゾンの問題が深刻で、早期死亡者率は OECD 国で最高レベルにあるほか、農作物への影響も無視できない。SLCP は排出源が局所的であり、実態把握のためには空間分解能 1km クラスの観測が必要であるが、技術的困難さのためこれまで存在していない。

そこでオゾンと前駆物質、光吸収性 BC に焦点を当てた SLCP イメージング分光計 (UV/VIS) をアジア上空の静止衛星に搭載し、積分時間を排出地域に重点的に割り当てること等により、高水平分解能 (目標：水平分解能 1~2km)、日変化観測を実現する。GOSAT-GW 等での回折格子型イメージング分光観測を、静止衛星観測へと発展させるもので、1) オゾンと前駆物質 (NO2, HCHO, CHOCHO) の網羅的計測による非線形大気光化学解明と管理を実現するとともに、2) 近赤外バンドでのメタン、CO2 計測オプションにも道を拓き、GHG-SLCP の総合的管理からパリ協定や SDGs 達成を牽引する。

B

衛星・センサ仕様	<p>I (GOSAT-GW) 衛星軌道：LEO 軌道高度：6,00km 程度 衛星質量：数十 kg を想定</p> <p>搭載センサ：回折格子型分光イメージャ ・波長帯：280-500nm 中の最適値 ・センサ質量：50 kg程度(tbd) ・消費電力：80W 程度(tbd) ・設計寿命：5 年(tbd) ・水平（鉛直）分解能：1-4 km程度（水平），対流圏気柱量・総気柱量 ・走査幅：10S-60N, 80-150E (tbd)</p> <p>II 衛星軌道：静止軌道 軌道高度：36,000km</p>
----------	---

	<p>衛星質量： tbd (ひまわりまたは通信衛星相乗り等を検討)</p> <p>搭載センサ：回折格子型分光イメージャ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 波長帯：280-500nm ・ センサ質量：100-200 kg程度(tbd) ・ 消費電力：500W 程度(tbd) ・ 設計寿命：10 年(tbd) ・ 水平（鉛直）分解能：1 km程度（水平），対流圏気柱量・総気柱量 ・ 走査幅：10S-60N, 80-150E (tbd)
期待される科学の成果	<ul style="list-style-type: none"> ・ SLCP 局所排出源の特定・定量化と対流圏オゾン非線形化学プロセス解明 ・ 生活に密着したキロメートル空間スケールでの健康影響評価 ・ 局所発生源から全球に広がる大気汚染とその温暖化影響の確定的評価 ・ とくにアジアにおけるガス・エアロゾル汚染の時空間変動の解明と気候変動理解研究の主導 ・ 超高解像度データ同化による化学天気予報の高度化（オゾン、PM2.5） ・ 欧米を含む、空間規模の異なる SLCP 観測衛星のデータ統合
アウトカム	<ul style="list-style-type: none"> ・ オゾン SLCP 汚染に関する、実態把握を元にした、削減施策の評価と合理的改善指針 ・ 農地や森林火災等からの SLCP 発生の実態把握と発生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検証。特に IPCC TFI(インベントリタスクフォース)主導の SLCF(SLCP)排出インベントリ(2019 年 IPCC 第 49 回総会で決定)の方向性を踏まえた SLCP 排出のトップダウン評価と削減監視 ・ CCAC(短寿命気候汚染物質削減のための気候と大気浄化の国際パートナーシップ)での SLCP 管理への貢献 ・ SDGs3(健康),11(都市),13(気候変動)への貢献等
技術の特色	<ol style="list-style-type: none"> ① 優位性：日変化観測かつ高水平分解能観測（キロメートル級）は世界初。局所的である SLCP 排出源の特定や反応性が高く局在化しやすい SLCP 挙動の解明には高分解能が求められている。 ② 成熟度： <p>UV/VIS は ODUS/OPUS 開発、GOSAT-GW 開発のヘリテージを生かせる。差分吸収アルゴリズムも含め世界的に成熟度は高い。新たにエアロゾルの放射効果を入れたガス定量化に挑むが十分なベース知見がある。</p> ③ 人材確保と育成：大気質は気象ビジネスとしても関心が高くウエザーニュースなどでもビジネス化が促進されている。環境衛星データサイエンス人材育成に貢献できる。大学や国研による先進的衛星開発人材

B

	の確保を行う。
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（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。 サイエンスリーダー：金谷有剛（JAMSTEC） 検証リーダー：谷本浩志（NIES） 測器リーダー：研究レベルでは JAXA とブレーメン大学 近年では、文部科学省・宇宙利用促進プログラム「キロメートル級分解能を備えた新世代大気汚染観測衛星データの科学・政策利用研究：オゾン・PM2.5 問題解決へ向けて(H27-29)」などにおいても研究開発体制を整えるとともに、実現可能性についての検討を進めてきた。また、GOSAT-GW の NO2 プロダクト化と解析に深くかかわっている。
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。
継続性/新規性	新規性：日変化観測かつ低高度周回衛星搭載による 1km 級高水平分解能観測は世界初。CO2M(欧州)では 1km 級 NO2 計測を狙うが、周回軌道のため日内変化は測定できず、他成分（HCHO 等のオゾン前駆物質）は網羅されていない。GEMS(韓国)では静止衛星による NO2 等計測が計画されるが、水平分解能が 7x8km であり局所観測には至っていない。 継続性：従来の 7～20km スケールでの衛星観測データ解析実績や同化処理技術等のレガシーを活用し継続発展させる。
緊急性 タイムリーさ	SLCP は地球温暖化対策効果が早期に得られるため、IPCC 1.5℃特別報告書(2018)などにもあるように対策は喫緊である。また各 SLCP 施策、排出推計は始まったばかりであり、グローバルな検証は大きな課題である。 WHO レポートにあるように年々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重要。
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や、太陽同期軌道で決まった時間のみの観測を行う Sentinel-5、-5p に対し、日本はアジア高分解能（1km）、日変化の付加情報を提供し、Human Activity 実態把握を行う。国際的にハーモナイズされた小型衛星コンステ観測情報をデータ同化に取り込み、理論と整合した予測情報を提供していく。
予算	100 億程度(tbd)。内閣府主導、文科省、環境省、気象庁等の運営費交付金による技術開発。民間通信衛星の利用などの可能性。
低コスト化への取り組み	既存技術の活用、民間通信衛星の利用などによる低コスト化
将来展望	近赤外バンド拡張によりメタンや CO2 との同時アジア静止衛星観測への展開を視野に入れ、GHG と SLCP を合わせたアジア総合排出削減戦略作

B

	りを主導する。ひまわり 10,11 号以降の静止衛星に搭載する分光センサを開発し、韓国 GEMS 衛星後継機として国際分担によるシリーズ継続を想定している。
実利用の可能性	越境汚染には国境が存在しない。健康被害を及ぼす大気汚染物質の衛星グローバルモニタリング、ローカル情報提供には高いニーズがある。科学エビデンスに基づく公衆衛生行政や健康ビッグデータ利用へ向けた衛星データへの期待は大きい。健康大国を目指す我が国としては、生気象学や予防医療分野など新たな知の体系を創造するとともに、SLCP データなどを利用した大気汚染情報の社会還元や健康ツーリズムなどの新産業創出が見込まれる。IPCC TFI での SLCP インベントリ評価での実利用。 汚染物質排出の把握は、経済活動動向を把握する活動にほかならず、準リアルタイムでの経済活動把握は国際動向分析・国家戦略構築にも資する。

B

【第 2 回試行公募最終審査委員会による評価】

(グラウンドデザイン B 改訂での扱い)

第二期短期計画

(最終審査コメント)

米欧の進展を考慮し、日本での早期実現のため、フィージビリティ検討をさらに進めるとともに、ひまわり後継や GOSAT-GW 後継など具体的な枠組みの検討を進めることを望む。一方で、韓国 GEMS との具体的な連携の方策の検討も望む。

【第 1 回試行公募最終審査委員会による評価】(参考)

(グラウンドデザイン A 改訂での扱い)

短期計画

(最終審査コメント)

提案の分光計と諸外国を含めた他のセンサー・ミッションとのシナジーについてさらに検討を望む。例として GOSAT シリーズ連携または相乗りを提案する。

【グラウンドデザイン初版での評価】(参考)

(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 PM2.5 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，N₂，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，N₂ 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。

4.2.2.4.5 ドップラー風ライダー(気象予測精度向上のための全球風観測ミッション)

提案者：石井 昌憲 (情報通信研究機構：提案時、東京都立大学：2022年3月現在)

ミッション概要：

風は大気の流れを直接表す重要な気象変数であり、総観規模から局所的なスケールの大気物理、雲対流・大気循環の総合作用等の理解に不可欠である。数値予報、環境監視・予測や気候変動予測の精度向上のためには、風観測が重要である。様々な風観測が利用されているが、ゾンデやウインドプロファイラーなどは高精度で鉛直分布を観測できるが、陸域に局所的に存在している。現在の衛星観測システムは、風観測に比べて、温度や水蒸気に関連した観測に偏重している。衛星大気追跡風は、広域・高頻度で観測できるが高度推定が悪い・高度分解能が十分ではない、観測精度が十分ではない、晴天・乾燥域や中層は算出しにくい、といった課題がある。レーザを用いるドップラー風ライダー (Doppler Wind LiDAR、以下DWL) は、衛星軌道に沿った狭い範囲の観測ではあるものの、高精度かつ高い分解能で風の高度分布が得られる能動型光センサーである。DWLは、現在の衛星観測システムの問題点(透き間)を解決する有望な手法の一つである。本提案は、DWLを用いて全球規模で風の高度分布を観測することである。目標とする観測精度や頻度は、世界気象機関(WMO)ユーザー、特に数値予ユーザーからの要求を満足するように設定する。

地球規模で直面する気候変動(豪雨、台風の大型化や増加、洪水、熱波等)の影響に対応・適応するために、安全で強靱な活力ある社会を持続的に実現する事、気候変動に対する緊急対策を取る事等が求められている。これらを実現していくために、交通政策審議会気象分科会による提言「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」は、様々な気象現象の発生メカニズムから予測までを総合的に取組むことの重要性と気象観測と予測精度向上のための技術開発の必要性を述べている。

このような社会的要請に応えるために、DWLによる風観測は、①数値予報データ同化システムを用いて同化することにより、数値予報精度の向上、②数値予報精度の向上による台風や豪雨などへの防災情報の高度化、③風予報精度の向上を通し、航空機や船舶の運航計画の最適化に応用し、燃料・CO2排出量の削減に貢献、④データ同化処理で作成される高精度な全球風プロダクトにより、気候変動の監視、大気・物質循環メカニズムの理解の深化等への利用、を実現する。DWLによる風観測を実現する事により、宇宙基本計画 2. (1)①、4. (1)②の「宇宙を活用した地球規模課題の解決と安全・安心で豊かな社会の実現」に資する。

本提案は、気象による自然災害発生や気候変動のメカニズムの解析を通して、大気科学の諸問題解決に貢献を図る、また、高度なライダーセンサである衛星搭載DWLの開発・運用を通して、我が国の衛星搭載ライダー技術を飛躍的に向上に資する。

衛星・センサ仕様	衛星軌道：太陽同期軌道 軌道高度：200-300 km (TBD) 衛星質量：600 kg (TBD) 搭載センサ：ドップラー風ライダー
----------	---

B

	<ul style="list-style-type: none"> ● 周波数：2μm 帯 (TBD) ● センサ質量：200-300kg (TBD) ● 消費電力：500-600 W (TBD) ● 設計寿命：3年 ● 鉛直分解能：0.5 (高度:<3 km) , 1 (高度: 3-8 km) , 2 km (高度：8-20 km) ● 水平分解能：<100 km
期待される科学の成果	<ul style="list-style-type: none"> ● 数値予報データ同化システムを用いて、DWLの詳細な風の全球高度分布データを全球大気解析場へ同化することにより、数値予報精度の改善が期待される。 ● DWLの高精度高度情報を用いることにより、パッシブセンサーから得られる風の高度推定アルゴリズムの精度向上が期待される。 ● エアロゾル・雲の空間分布が得られることが期待される。 ● 植生ライダーMOLI 用宇宙レーザーの研究開発の研究知見・技術を継承し、さらに高度化することで、将来のより高性能なレーザー技術が要求されるライダー分野への展開が期待される。 ● 総観規模や領域規模の大気物理現象（台風、Madden-Julian 振動、雲の発生、乱流、風のシア等）のメカニズムの分析・解明に貢献が期待される。
アウトカム	<ul style="list-style-type: none"> ● 観測精度が担保された全球 3次元風マップを作成し、全てのステークホルダーへ展開され、風データを利用することが可能となる。 ● エアロゾル・雲の分布観測により気候モデルの精度予測向上が期待される。 ● 温暖化物質や越境汚染物質の輸送等の予測精度の向上が期待される。 ● 極域における気候変動研究、大気・海洋結合研究への寄与が期待される。 ● 航空ビジネス、海運ビジネスにおいて衛星データの利活用が促進され、新たな宇宙ビジネス産業の創出が期待される。 ● 短期・長期の気象変化に対する農作物の生育・出荷量、再生可能エネルギーの効率的な運用の分析が可能となる。(SDGs 1,2: 食料需給予測と貧困、SDGs 3,6: 健康と平和、SDGs 7:エネルギー) ● 客観解析・予測プロダクトの精度向上により、気候変動予測精度の向上により安全で強靱な社会の実現、早期・詳細な防災情報に貢献 (SDGs 13: 気候変動対策、SDGs11:安全・強靱なまちづくり)
技術	<p>①コア技術：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 光ヘテロダイン検波方式パルスレーザーセンサ (=コヒーレントライダー) ● 単一波長高出力 2μm パルスレーザー 光源 ● 光路 安定化技術、光源ポインティング安定化技術、光源方向切換え

B

	<p>技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 衛星姿勢 情報、衛星速度補償技術、遅角補償技術 ● 排熱技術、熱輸送技術 <p>②優位性：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 単一波長発振かつ高出力な衛星搭載パルスレーザ光源技術の確立 ● 宇宙用レーザ技術における中赤外波長領域の開拓 ● 衛星搭載向け高出力パルスレーザの排熱について、技術の確立と高度化 ● 光アクティブセンサーに対する熱歪み/機械的歪み抑止技術の確立と高度化 ● 超低高度衛星技術(SLATS で実証中)の採用により、ライダーシステムへの要求仕様を大幅に緩和することで、野心的なライダーミッションを実現 ● ESA の衛星搭載ドップラー風ライダーAeolus (以下、Aeolus) は、背景光雑音に弱いものに対し、本提案は日照領域に置いてもライダー観測が可能である。すなわち、観測域の自由度が飛躍的に向上する。 ● Aeolus は口径の大きな望遠鏡が使用しているのに対し、本提案は口径の小さな望遠鏡が使用できるため、衛星への搭載性、複数方向観測の実現性において優位性がある。また、Aeolus は、バイアス (約 3m)・測定精度 3-5m/s) と大きいものに対し、本提案の DWL は、エアロゾル濃度に依存するけれども、バイアス (約 <0.2m/s)、測定精度 1-2m/s) と高い観測精度で観測が行える優位性がある。 <p>③成熟度：</p> <p>情報通信研究機構は、1990 年代後半よりコヒーレントライダーのための基盤研究を行ってきており、研究知見と技術の確実な積み上げがある。2013 年に JAXA とシステム検討を実施し、大凡衛星システムとして成立性確認。2018 年度、2019 年度、概念検討を実施。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 送信機開発状況 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 要求仕様を満足する出力 125mJ 超・繰返し周波数 30Hz で動作する 2μm パルスレーザを開発 ➢ 単一波長・マルチパルス発振方式によるレーザ発振技術の確立 ➢ パルスエネルギー安定度 1%を実現 ● 受信機開発状況 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 光ヘテロダインシステム (1/5 スケール受光望遠鏡、光検出器等) を開発 ➢ 地上設置や航空機搭載型 DWL 用風データ抽出アルゴリズムの開発 ● 観測システムシミュレーション実験 (OSSE) による数値予報へのイ
--	---

B

	<p>ンパクト調査</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 衛星シミュレーターによるン疑似衛星風観測シミュレーション ➤ OSSE による数値予報へのインパクト調査 ➤ 同上 2 項目について論文化 (Ishii et al., 2016, 2017; Baron et al., 2017; Okamoto et al., 2018) (別添 1 : 省略) <p>④人材確保と育成 :</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 2010 年より DWL 検討会 (登録者 : 50 名超) を発足、検討会を年 1 回開催 ● 人材育成を想定し、本提案の共同提案者は 30-40 代前半で構成 ● シンポジウムやワークショップを通し、国内外の技術者と交流を実施 ● 気象ビジネス、航空ビジネス、衛星会社、大学や国研から人材を確保
開発体制	JAXA、情報通信研究機構、データ利用者の協力のもとで DWL 開発を想定している。海外機関との国際協力による開発も想定する。
研究体制	DWL 検討会に参加する大学関係者や研究者。また、日米欧の大学研究者、研究者と協議することにより、さらに高いレベルでの研究を実現することが可能。
関連団体	別添 2 参照
継続性/新規性	<ul style="list-style-type: none"> ● コヒーレントライダーとして世界初 ● 複数の 視線方向観測が可能な 衛星搭載 DWL として世界初 ● 単一波長高出力 2μm パルスレーザセンサとして世界初 ● マルチパルス発振方式によるパルスレーザセンサとして世界初 ● 日本初となる高出力パルスレーザの波長、パルス形状の高度制御技術の確立 ● MOLI 用 近赤外波長 レーザ から 中赤外波長 レーザ への展開 ● 新しい衛星バスによる衛星姿勢制御の確立 <p>※ 世界のライダーミッションとの比較 (別添 3 参照 : 省略)</p>
緊急性 タイムリーさ	Aeolus の運用期間は 3 年間のため 2021 年に終了し、その後は後期運用となり、Follow-On ミッションとして位置づけられる。Aeolus の観測精度は、バイアス、測定精度において、WMO ユーザーによる風観測要求を十分に満足していない (特に、下部・中部対流圏)。そのため、風観測性能向上が求められており、タイムリー性、緊急性を要する。
国際的分担	<ul style="list-style-type: none"> ● NASA、ESA と今後の風観測の在り方の協議が開始されており、Aeolus Follow-On ミッションとして国際協力の一つとして位置づけられる。 ● 全球的な風観測システムの連携。詳細だが観測範囲に限られるラジオゾンデなどの直接観測やドップラーレーダなどの地上観測、海面だけを観測する衛星搭載のマイクロ波散乱計、広域・高頻度だが高度分布及びその推定精度が限定的な衛星搭載可視・赤外イメージャ (パッシブセ

B

	ンサー) に対し、DWL は観測領域頻度は限定的だが風速・風向・高度が高精度に得られるという特徴がある。これらの観測は、データ同化システムを利用することにより、うまく補完し合うことができる。
予算	予算規模は 175 億円程度 (目標) (イプシロンロケット 50 億円、衛星バス 50 億円、DWL60 億円、地上システム 15 億円)
コスト削減策	<ul style="list-style-type: none"> ● DWL ディグレード廉価版 1 視線方向のみ) などによるコスト削減 ● 単一波長レーザ発振の発振効率化と冷却方式の検討
将来展望	MOLI 用宇宙用レーザ技術の開発知見を継承し、単一波長レーザを用いる高スペクトル分解ライダーへの展開 (2030 年代)、単一波長レーザ・同時マルチフットプリント観測が必要な水蒸気や温室効果ガス用差分吸収ライダーへの発展 (2030 年代)、レーダ等や廉価版 DWL によるコンステレーション衛星観測の展開が期待される (2030 年代)。XCO ₂ 観測用差分吸収ライダーは、DWL 用レーザを高度化することにより、レーザ高度計の機能も併せ、炭素循環の理解に資する多機能ライダーへの展開も期待される。
実利用の可能性	<p>風の予測精度向上により、航空産業や海運産業等において可能性がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 飛行経路並びに飛行高度の精度が向上し、航空機搭載燃料量適正化 ● 搭載燃料量が適正化されることにより、CO₂ 排出量削減効果や経済効果 ● 晴天乱気流や火山灰拡散予測の精度向上による航空機の安全運航 ● 台風の進路予測精度向上に伴う、高精度な計画運休の立案 ● 海洋上の船舶の安全な航路計画の立案

B

別添 2 関連団体一覧

- 学術団体

日本気象学会、日本風工学会、エアロゾル学会、日本大気化学会、日本農業気象学会、水文・水資源学会、日本地球惑星科学連合、米国気象学会、欧州気象学会、アメリカ地球物理学連合、欧州地球科学連合

レーザセンシング学会、日本リモートセンシング学会、計測自動制御学会、レーザ学会、応用物理学学会、日本赤外線学会、日本光学会、電気学会、電子情報通信学会、写真測量学会、日本分光学会、日本航空宇宙学会、日本機械学会、日本伝熱学会、日本材料学会、他の海外の学術団体

- 各国関連機関、政府機関等

気象庁、世界気象機関、欧州中期予報センター、米国海洋大気庁、欧州気象衛星開発機構、その他の海外の気象・水文機関

- 関連省庁

文部科学省、国土交通省、総務省、経済産業省、環境省、農林水産省

- 国内関連研究機関

気象研究所、宇宙航空研究開発機構、情報通信研究機構、国立環境研究所、海洋研究開発研

【第2回試行公募最終審査委員会による評価】

(グラウンドデザインB改訂での扱い)

第二期短期計画

(最終審査コメント)

気象予報や航空機航路の点からの実用ニーズを背景に既に JAXA での DWL の検討が始まっていることもあり、計画を進めることが適当である。他のライダー風観測提案(「雲レーダ・ライダーによるデュアルドップラー観測ミッション」、「全球風観測プログラム」と共同するなどライダー間での調整は必要である。

【第1回試行公募最終審査委員会による評価】(参考)

(グラウンドデザインA改訂での扱い)

将来に向けた要素技術開発・技術実証

(最終審査コメント)

航空機航路の点からも要請があり、進めることが適当。大気システムの研究のためにも重要である。MOLI の経験を生かして、さらに高度な LIDAR 技術を確立して頂きたい。

4.2.2.4.6 小型降水レーダコンステレーション

提案者：古川 欣司（宇宙航空研究開発機構（JAXA））

ミッション概要：

宇宙航空研究開発機構（JAXA）と日本電気株式会社（NEC）は、全球降水観測計画主衛星搭載二周波降水レーダ（GPM/DPR）の開発を行った。GPM/DPRは2014年に打上げられ、その観測データはJAXAが提供する世界の雨分布速報（GSMaP）に取り込まれるなど、様々に活用されている。GPM/DPRはマイクロ波放射計による降水観測に比べて、海上／陸上の区別なく高精度の観測が可能であり、降雨の高度プロファイルが取得可能であるなどの点で優れている。一方で、GPM/DPRは観測幅が比較的狭く、かつ1機しか運用されていないことから、同一地点の観測頻度が少ないことが課題である。

本提案ではこの課題を解決するため、GPM/DPRを構成するKu帯降水レーダ（KuPR）をベースとして小型衛星に搭載可能な降水レーダを開発し、運用機数を増やすことにより同一地点の観測間隔を約6時間程度に短縮することを目標とする。なお、本降水レーダはNECが開発した小型衛星バスNEXTAR-300Lに搭載することを想定している。

衛星・センサ仕様	<p>本提案で想定する降水レーダの観測性能は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・周波数：13.6GHz ・アンテナ方式：アクティブフェーズドアレイアンテナ ・アンテナ素子数：128 ・観測幅：800km（Cross-Track 方向に電子走査） ・空間分解能：約 10km ・距離分解能：250m ・観測高度範囲：0km～19km @Nadir、4km～19km @走査端 ・最小測定降雨強度：1mm/h 以下 ・衛星高度：800km ・軌道傾斜角：日本本土を観測可能とする。 ・衛星機数：2 軌道面に各 2 機を投入（合計 4 機） ・観測頻度：同一地点を平均 6 時間間隔以下で観測可能 <p>降水レーダのブロック図を図1（割愛）に示す。本降水レーダは GPM/DPR で開発実績のあるコンポーネントで構成することを想定している。また、本降水レーダを既存小型衛星バス（NEXTAR-300L）に搭載したコンフィギュレーション図を図2（割愛）に示す。想定している衛星バスでは全球観測は不可能だが、1 周回の 36%の観測が可能であり、特定領域（東南アジア）についての高頻度観測を実現する。軽量化・低コストをめざしており、冗長系を持たないため、信頼性は通常の地球観測センサより低くなる。</p>
期待される科学の成果	<p>熱帯域の高頻度観測による、降水の日変化の研究に役立つと考えられる。衛星の個数が異なる（1 機、2 機、3 機）時に全球の様々な降水現象をどこ</p>

B

	まで解明できるのか、また、データ同化による降水データセットの精度がどうなるのか、ユーザサイエンティストと協力して検討が必要。
アウトカム	天気予報の精度向上、台風や集中豪雨による水害発生予測など防災面での活用が想定される。本降水レーダの観測データは東南アジア諸国でも活用可能であり、関心のある国々に開発・打上げを分担してもらうことで、衛星コンステレーションを構築することを想定(ODA等による実現)している。
技術の特色	① 優位性：日本は、世界初の衛星搭載降水観測レーダ (TRMM/PR)、その後継機である、二周波降水レーダ (GPM/DPR) の開発実績があり、優位性がある。 ② 成熟度：降水レーダおよび衛星バスとも既開発品を活用するので、成熟度は高い。 ③ 人材確保と育成：1 機目の開発を日本の機関で実施し、2 機目以降は関心のある国々に開発を分担してもらうことで、他国の宇宙開発人材の育成につながる。
開発体制	1 機目の開発を日本の機関で実施し、2 機目以降は関心のある国々に開発を分担してもらうことを想定。
研究体制	ユーザサイエンティストとの議論が必要。
関連団体	東南アジア諸国気象・防災関連機関
継続性/新規性	TRMM/PR、GPM/DPR の観測を継続できる。 降水レーダコンステレーションによる高頻度観測は新規性がある。
緊急性 タイムリーさ	東南アジア諸国の洪水被害は深刻であり、緊急性は高い。 GPM/DPR の運用中にタイムリーに実現すれば、DPR データの活用も可能となり、観測頻度が更に向上する。
国際的分担	1 機目の開発を日本の機関で実施し、2 機目以降は関心のある国々に開発を分担してもらうことを想定。
予算	ODA 等による実現を想定。
低コスト化への取り組み	1 機目の開発コストは 100 億円以下を目指すのが、複数機製作のコストダウン効果について検討が必要。
将来展望	2 機目以降は、東南アジア諸国で関心のある国々に開発を分担してもらうことを想定。更に、機数を増加できると観測頻度の更なる向上につながる。
実利用の可能性	東南アジア諸国での、天気予報の精度向上、台風や集中豪雨による水害発生予測など防災面での活用が想定されるが、これらの国のユーザニーズの把握が必要。

B

【第2回試行公募最終審査委員会による評価】

(グラウンドデザインB改訂での扱い)

第二期短期計画

(最終審査コメント)

成熟した技術をもとに小型化し、複数機を運用するためには、日本以外の国にも参画してもらう必要性を感じる。そのためにもコストを抑える努力がさらに必要と考える。

B

【第1回試行公募最終審査委員会による評価】（参考）

（グラウンドデザイン A 改訂での扱い）

短期計画

（最終審査コメント）

科学ミッションにより成熟した技術を小型転用・廉価版で産業化する新しい試みで、ユーザ開拓に期待する。TF としてどのように支援をするかは検討する必要がある。

4.2.2.5 中期計画で考慮すべきミッション（技術の研究開発・実証、データのニーズを育てる等の活動を継続し、ミッションの成立性を考える提案ミッション）（5件）

4.2.2.5.1 衛星搭載水蒸気観測用差分吸収ライダー(DIAL)の技術実証

提案者：阿保 真（首都大学東京：提案時、東京都立大学：2022年3月現在）

ミッション概要：

全地球の水・エネルギーサイクルにおける水蒸気の役割、主な物理プロセス（例えば対流、放射、降水、大気化学と関連した対流圏-成層圏交換）についての理解の向上を目的として、グローバルに高い高度分解能で対流圏および下部成層圏の水蒸気の観測を行うとともに、豪雨や台風予測精度向上による防災面への貢献を目的として、情報の不足している特に海上における下部対流圏の高分解能水蒸気観測を行う、衛星搭載水蒸気観測用差分吸収ライダー(DIAL)の技術実証を行う。

・科学的意義

気候システムにおいて、水蒸気は中心的な役割を担っているが、その役割が十分解明されていないことが、予測精度のばらつきに現れている。気候モデルの課題の1つは、水蒸気プロセスを正確に説明し、現実的な三次元放射、雲、降水をパラメータ化することである。これは、個々の対流スケール現象を予測する数値予報においても同様である。更に水蒸気は、地表面の放射バランスや大気の冷却速度のような重要な天気要素に直接影響を与える。

SPARC リポート (WCRP 2000) では、世界的な水蒸気分布を上部対流圏から下部成層圏領域で得ることを求めており、特に圏界面領域では高い垂直分解能が必要であるとされている。これは、成層圏/対流圏交換の理解を向上させるために必要である。水蒸気は、OH ラジカルの生成を通して、重要な化学プロセスにも関与している。(Warneck 1988) これら水蒸気的重要性から、世界的な水蒸気分布データの質の向上が必要である。これは、長期の気候変動解析と短期の数値予報どちらにも有用である。

衛星搭載水蒸気測定用差分吸収ライダーで全地球的な水蒸気計測を行うことにより、各構成要素を結んでいるフィードバックプロセスの理解を進めることが科学的意義の一つ目のポイントであり、これにより、地球温暖化シナリオで現実的な水蒸気増加レベルをシミュレーションすることが可能となる。(参考資料：図1) (省略)

二つ目のポイントとして、近年気候変動の影響により日本では線状降水帯による豪雨の発生や台風の大型化が防災面から大きな社会問題となっている。これらの災害は事前の予測精度を上げることにより減災が可能であるが、これらの現象予測には、特に海上の下部対流圏の水蒸気分布情報が重要であることが指摘されている。衛星搭載水蒸気観測用差分吸収ライダーではゾンデやGPSなどの観測では不可能な日本周辺の海上での水蒸気観測が可能であり、衛星観測データを数値予報モデルに同化することにより予測精度の向上が期待できる。

・技術概要と技術的優位性

B

現在の水蒸気観測は、地表面や船での直接測定、ラジオゾンデ観測、地上リモートセンシングシステム（ライダー、分光計、GPS によるトータル量測定）、衛星による受動的な赤外線とマイクロ波センサーによる測定が行われているが、いずれも空間及び時間分解能に問題がある。さらにこれらを組み合わせたとしても、上部対流圏・下部成層圏の境界領域に空白域が生じる。また、衛星観測では水平方向のカバー領域は広いが、鉛直分解能が不十分である。グローバルな水蒸気循環を定量的に評価するためには、精度、垂直分解能及びカバーレンジが不足している。

また、最もデータが豊富なラジオゾンデデータは、低温領域における湿度センサーの不正確さも問題である。パッシブセンサーのバイアス除去の問題もある。地球の3分の2が海であることから、宇宙からのリモートセンシングが水平、垂直及び時間分解能を確保する唯一の方法である。しかし、従来は大気の循環を決める風と温度の計測が優先され、水蒸気の計測は進んでいない。現在の数値モデルでは、対流圏の1 kmの層を1.5Kの精度で再現できるが、対照的に比湿の6時間予報値の相対誤差は20-40%になる（English 1999）。全地球大気モデルの鉛直分解能は境界層附近の100mから成層圏の1kmの間にある。しかし、現在の水蒸気観測データはこれより荒く、逆に水蒸気や雲はしばしばこれより狭い層構造を形成する。これらを、衛星搭載水蒸気測定用差分吸収ライダーで全地球的に計測することにより、以下のような優位性がある。①全球域の高品質データによる数値予報の精度向上。それに伴う天気予報精度（特に降雨予測）の飛躍的向上。②他の赤外線やマイクロ波のパッシブリモートセンシング機器の校正に利用することができ、モデルのバイアス誤差の検出に有効であるとともに、衛星搭載のパッシブセンサーによる面的な観測とのシナジー効果が期待できる。

・技術的新規性

水蒸気ライダーによる観測手法としては、これまで波長760nm及び820nm付近の吸収線を利用した差分吸収ライダー(DIAL)の開発が行なわれてきた。NASAではLASEとして航空機搭載水蒸気DIALの実用化が行われ、多くの成果を得ている(Browell et al. 1998)。また、ESAではWALEX (Water Vapour Lidar Experiment in Space)と呼ばれる衛星搭載水蒸気差分吸収ライダーが提案されたが、現時点で具体的な計画はない。その要因の一つとして波長可変レーザーの安定性への疑念が指摘されている。

我々は、1.57 μ mのCO₂-DIALの技術で開発したQPM (Quasi Phase Matching)結晶を用いたOPA (Optical Parametric Amplifier)システムの採用を提案する。このレーザーは世界的にもトップクラスの技術で、one path amplifierであるため、通常の位相整合OPOより、制約条件が緩和されるため宇宙利用での安定動作には有利であるところに新規性がある。

(Sakaizawa et al., 2009, Shibata et al., 2017)

・開発進捗

我々(Nagasawa et al. 1995)はこれまで、この波長帯を利用した航空機搭載水蒸気DIALの開発をJAXA(当時はNASDA)とともに進めた実績があり、実際の試験観測まで成功している。(参考資料:図2)(省略)衛星搭載と対流圏界面高度の水蒸気量の観測を考慮した場合

B

は、レーザーの効率が良く、かつより吸収量の大きい 1350nm 付近の吸収線を利用した水蒸気観測用差分吸収ライダーを提案する。この波長は QPM-OPA 方式で容易に得ることが可能で、既に CO₂ 観測用ライダー開発による実績を有している。地上観測用としては光源は異なるが小型半導体レーザーベースの水蒸気 DIAL を開発し長時間観測にも成功している。さらに 2020 年度からは航空機搭載を目指した QPM-OPA 方式の水蒸気 DIAL の開発に着手する予定である。

測定誤差のシミュレーションより水平分解能 1000km、高度分解能 1km で地表付近から高度 20km まで、3つの吸収線を用いることにより熱帯上空の水蒸気を誤差 10%以下で計測可能であることを確認している。(参考資料: 図3) (省略) また、低高度(高度 250km)で TRMM 衛星のような太陽非同期準回帰軌道とし、測定を 2 方向同時に行う 2 ビーム方式も検討しており、(参考資料: 図4) (省略) この方式では 200km の間隔で水平分解能 50/20km、高度分解能 200/300m で地表付近から高度 2km までを誤差 10%以下で計測可能であることを確認している。(参考資料: 図5) (省略)

得られたデータのデータ同化によるインパクトの検討(OSSE の実施)を目指して、まず気象庁気象研究所の有識者と気象分野でどのような水蒸気観測が不足し必要とされているかについて意見交換会を行っている。さらに JAMSTEC の有識者より海上の水蒸気観測が、海面での潜熱フラックス推定精度向上につながるとの指摘をいただき議論を行っている。

本提案を含めた衛星搭載ライダーの提案に関してはレーザーセンシング学会の衛星搭載ライダーに関するプロジェクト調査委員会において議論、提案間の調整を行っている。2019 年 AGU Fall Meeting で本計画のプレゼンテーションを行い NASA の研究者から好意的なコメントをいただいている。

・想定するコスト

励起用レーザーについては、植生ライダー(MOLI)用に開発された宇宙用レーザー技術の応用が出来る。そのため DIAL 独自の開発要素は、衛星搭載用 QPM 素子の開発(対宇宙線等の検討)が必要となる。衛星搭載システム開発の前には、実証用 DIAL 装置を開発し、航空機搭載検証実験を行う必要がある。ここまでの開発コストは1億円程度と見積もられる。最終的な衛星搭載システムの開発コストはトータルで百億円程度と見積もられる。当面は今後 TRL のクリアを目指したスケジュールを検討し詳細を詰めていく必要がある。

・技術的・実利用的展開

以下の様な実利用的展開が期待できる。

- ・ 地球温暖化により雨量の増加や大型台風の発生頻度の増加などが予想される中、集中豪雨、竜巻、台風などの予報精度の向上による、防災対策への貢献が期待出来、人的、物的損害の軽減に寄与する。
- ・ 全地球域のデータの高品質化により数値予報の精度向上。
- ・ 測定手段がきわめて限られている上部対流圏・下部成層圏領域における水蒸気の高精度、高鉛直分解能観測による気候フィードバック理解とモデル化の進展。

B

【第2回試行公募最終審査委員会による評価】

(グラウンドデザインB改訂での扱い)

将来に向けた要素技術開発・技術実証

(最終審査コメント)

水蒸気観測全体としての比較がなされ、計画検討としてはかなり充実してきた。今後は OSSE 実験など観測の数値モデルに対するインパクトなどの検討を進め、技術とともに利用優位性評価を進めていくのがよい。中程度の時間が必要と予想される。

【第1回試行公募最終審査委員会による評価】 (参考)

(グラウンドデザインA改訂での扱い)

将来に向けた要素技術開発・技術実証

(最終審査コメント)

水蒸気分布計測の他の手法との比較を行い、優位性を示す必要がある。また各段階に要するコストについても具体的な検討が必要。航空機での実証を再度行ったうえで、小型ミッションで QPM-OPO 方式の実証を早くやるべきである。

4.2.2.5.2 静止常時観測衛星

提案者：沖 一雄（東京大学）

ミッション概要：

本ミッションの目的は災害時の即時概況把握を目的とする 100km 四方を視野とした中分解能（10m 以下）の光学観測を観測 30 分以内で幾何補正済みデータ配信する要求を実現することである。また平時においては、マルチバンド観測 (RGB, NIR および IR) による農業/植生分野における高時間分解能観測や、航空機、大型船などの交通監視等、時間分解能を要求する観測対象に対して、動態観測を実現し、衛星観測が社会インフラとなる技術開発を実施する。

本衛星では性能拡張性の高い分割大型光学系を採用し、最新の Active/Adaptive optics を衛星上で確立することが技術研究上の目的である。初号機では直下 7m 程度@パンクロの分解能を持つ直径 3.6m 光学系を想定するが、将来主鏡分割を二重列に改良するなどにより飛躍的な性能向上の基本技術を獲得する。

衛星・センサ仕様	衛星軌道：静止軌道（高度 36,000km） 衛星質量：約 4t（ドライ）、衛星電力：TBD W 設計寿命：10 年 搭載センサ：静止イメージャ センサ質量：約 2t 観測視野：100kmx100km 地表面分解能：パンクロマチック 7m@NADIR (3-4m 超解像処理後) 観測バンド：パンクロバンド，マルチバンド (RGB+NIR), IR SNR:>150 (パンクロマチック) 動画モード：1fps
期待される科学の成果	これまで観測できなかった高時間分解能の観測を陸域観測レベルの解像力で実現することにより、植生変化、火山噴火や津波など急激な環境変化の観測を実現し、従来観測できなかった新しい自然現象の観測を捉えることにより、多様な科学に対して新しい知見の掘り起こしが期待される。また赤外チャンネルにより、発達した積乱雲をタイムリーに観測できれば線状降水帯の識別などの可能性もあると考えられ、ゲリア豪雨などへの予防も期待できる。
アウトカム	防災に関連し、これまで発災時から被災状況確認まで、数時間から十数時間かかっていたものが、30分以内に観測データを供給することで、避難計画や救援計画など、派生する行動に対して速やかに対処が可能となり、多くの人命や資産を保護できる、世界初のシステムとなる。 さらに、災害分野ばかりでなく、都市、森林、農業、水（河川・海）などにおいて従来なかった様々な社会サービスが提供されることが期待され、科学・実利用分野で多くのユーザーが生まれると考えている。例えば農業にお

B

	いては収穫時期の判断のために日毎の観測が必須となる時期があり、そうしたものについてこれまでの衛星観測では実現できていない。本システムにおいて雲を避けつつ日毎の観測がある程度実現すると大規模な農業管理が実現していく事となる。
技術の特色	① 優位性：直径 3.6 mの主鏡を持つ地球観測光学センサはこれまでに例がなく、世界で初めて実現する。 ② 成熟度：地上における分割式望遠鏡の開発実績（京都大学・国立天文台せいめい等） ③ 人材確保と育成：本技術を展開することで、更に大型の光学系を製作する基礎技術の獲得がなされ、新規技術の基礎が確立すると共に、このようなセンサを前提とした新しい科学や利用の発展を促すことで若い世代を育てていく必要がある。
開発体制	JAXA による開発。また民間との共同事業としても検討中。
研究体制	JAXA の他、東京大学、京都大学（国立天文台）
関連団体	日本リモートセンシング学会，写真測量学会，日本地球惑星科学連合
継続性/新規性	地球観測目的の分割式望遠鏡、特に可視域のものは世界初
緊急性 タイムリーさ	低軌道高分解能ミッションである ALOS-5,6 や実用 SLATS の検討と併せ、総合システムとして検討を早急に進めることが重要
国際的分担	ESA より技術討議の要請などが出始めている状況
予算	FY2018-2020 において、JAXA 内での基礎研究費として 10 億円。プロジェクト予算は 500 億円+を想定中
低コスト化への取り組み	1 枚鏡にするなどでコストは削減するが発展性がなくなる。
将来展望	ひまわりとならぶ基盤的な観測衛星として確立する。固定分割式望遠鏡から展開分割式に発展し、直下分解能を 3m 台に発展させる。
実利用の可能性	小型衛星フォーメーションにおいても困難である即時性および長期ビデオ観測など究極の時間分解能をもつ性質から、そうした観測が必須となる災害観測を含む広義の安全保障や 1 日 1 回撮影要求のある農業等への応用が強く期待できる。また低軌道光学衛星で課題であった被雲についても同一地点で複数撮像した結果を合成することで雲なし画像を取れる確率を飛躍的に向上できる見込み。

B

【第 2 回試行公募最終審査委員会による評価】

(グランドデザイン B 改訂での扱い)

将来に向けた要素技術開発・技術実証

(最終審査コメント)

実利用面で利用価値が高いと考えられるが、他の方法（光学や SAR などの衛星の複数運用など）とのコスト比較も必要である。また、狭義の安全保障からのデータ利用の引き合いもあ

ると思われ、その辺りとの調整をいかにこなすかも念頭に置いてユーザー調整が必要と考
える。

B

【第1回試行公募最終審査委員会による評価】（参考）

（グラウンドデザインA改訂での扱い）

将来に向けた要素技術開発・技術実証

（最終審査コメント）

農業・災害・安全保障など幅広い用途が想定される。アンテナ設計、打ち上げ方法など、非常に難しい技術であるため、システムコンセプトを詰めるのが重要。

実利用の観点からのコメントが加えられるべき。

4.2.2.5.3 静止衛星海色ミッション

(第二回試行公募での新規提案ミッション)

提案者：石坂 丞二 (名古屋大学)

ミッション概要：

気候変動によって海水温や淡水流入が大きく変化する状況で、もともと人為的影響を大きく受けてきた沿岸の海洋生態系は更に大きく変化しつつあると考えられる。海色の観測によって植物プランクトン、懸濁物、塩分、藻場など沿岸の生態系の状況の連続的把握が可能になりつつある。しかし、雲によって妨害される可視域観測では、河川水や潮汐など短期間に変化が起これやすい沿岸域において、特に雲の多い時期・場所で十分なデータが得られない。「ひまわり」の時間単位の高頻度な観測によって、短期間の変動とともに、雲の多い時期・場所での観測が可能になることが明らかとなった。一方で、十分な海色の情報を取得するには波長数や放射輝度分解能が不足している。そこで、海色バンドを更に加えた静止衛星海色センサによる高頻度・高解像度・高輝度分解能の観測をここに提案する。これによって、赤潮や河川水な沿岸漁業・養殖業等に影響を与える現象のモニターや沿岸の物質循環に関わる観測が可能である。また、日本だけではなく、人間活動と気候変動の影響を大きく受け、雲が比較的多い東南アジア域の沿岸域においても、環境の把握に貢献することが可能である。さらに海洋だけではなく、大気（エアロゾル粒子）や陸域（植生）の観測にも有効と考えられる。

<p>衛星・センサ仕様</p>	<p>静止衛星 搭載センサ：可視・近赤外・熱赤外センサ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・可視（色素）：380, 412, 443, 460, 490, 510, 530, 565 (±10) nm ・可視（蛍光）：665, 681, 709 (±10、665 と 681 は±5) nm ・可視（大気補正）：749, 868 (±10) nm ・近赤外（大気補正）：1630 (±100) nm ・熱赤外（水温）； 10.8, 12.0 (±0.4) μm ・S/N : >600@海洋平均輝度、>800(665 と 681nm)、0.1K@300K (熱赤外) ; (1時間内の時間積算による達成でも可) ・水平分解能：250 m ・時間分解能：1時間
<p>期待される科学の成果</p>	<p>(地球科学・気候変動問題に対する貢献)</p> <p>海水温上昇、極端気象現象、陸水流入などの変化による海洋生態系の応答と生物多様性の変化</p> <p>海洋生態系の変化による物質循環の変化</p> <p>海水温上昇、極端気象現象、陸水流入などの変化による海洋物理過程の変化</p> <p>気候変動と同時に起きている人為的汚染による沿岸環境の変化</p> <p>沿岸環境予報のための数値モデリングの精度向上</p> <p>越境大気・海洋汚染の動態とそれに対する海洋生態系の応答</p>

B

アウトカム	<p>(提案ミッション・計画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)</p> <p>赤潮などによる水産業の被害軽減および沿岸・沖合漁業情報サービス</p> <p>水産資源の保全と持続的管理計画</p> <p>沿岸環境変化のモニタリングと管理</p> <p>洋上風力発電や海底資源開発等のための環境アセスメントとモニタリング</p> <p>越境大気汚染(大気エアロゾル粒子)のモニタリング</p>
技術の特徴	<p>① 優位性: 極軌道衛星では、みどり I, II の OCTS と GLI, しきさいの SGLI で海色観測の実績がある。また静止衛星センサでは、海色に特化したセンサではないが、ひまわりの AHI を利用して、試験的にクロロフィル a の推定と配信も行われている。</p> <p>② 成熟度: 基本的な技術は OCT, GLI, SGLI, AHI で蓄積されているが、静止軌道から高解像度、高感度(高 SNR)で測定する技術は確立する必要がある。</p> <p>③ 人材確保と育成: OCTS-GLI-GLI と続いたプロジェクトによって研究者が育っており、国際的な認知も高い。OCTS や GLI が短寿命で終わったことによって離れていた研究者の興味が、SGLI のデータ配信が継続されることによって戻ってきている。</p>
開発体制	ひまわり後継機として位置づける。あるいは大気・陸域等の分野と共同で新たな科学ミッションとして位置付ける可能性がある。
研究体制	水産関係、沿岸環境、海岸工学関係の研究者での研究体制が期待される。また、海洋のみならず、陸域・大気の研究にも利用できる。
関連団体	利用者として、水産庁や水産研究所、水産試験場、海岸工学や沿岸環境関連分野での利用が期待される。研究面では海洋科学技術センターや大学などの研究者の利用が想定される。
継続性/新規性	極軌道衛星で極域を含んだ全球をカバーする SGLI およびその後継機との連携が期待される / 高頻度・高効率の観測
緊急性 タイムリーさ	気候変動による沿岸環境の変化は急速に進んでいると考えられ、また赤潮等水産業での被害も毎年のように起こっており、緊急性がある。
国際的分担	静止海色衛星に関してはすでに韓国が GOCI-I, II で、韓国・日本周辺域の観測を行っているが、日本の現業機関やビジネスでの利用や自然災害時のリアルタイムの利用は現状では困難である。また、GOCI-I は韓国・日本海域外はカバーされておらず、GOCI-II でも韓国・日本以外は 1 日 1 回の観測である。本提案では、ひまわり 8・9 号での観測域を継続し、アジア・オセアニア域を 1 時間解像度でカバーする。
予算	現状では予定はない。
低コスト化への取り組み	ひまわり 8・9 号で可視センサが搭載され、すでに植物プランクトン量であるクロロフィル a 推定の実証試験が行われている。本提案では、AHI の仕

B

	様をさらに向上したもので、十分に達成が可能である。
将来展望	さらに 100m 程度の高解像度化が期待される。夜間画像を取得できるようにすることにより、MDA の一環として不審船等の監視にも利用が可能である。
実利用の可能性	水産分野での養殖環境監視や水産資源評価、漁場探査など、環境分野での水質監視や越境大気・海洋汚染監視などでの利用の可能性が想定される。

【第 2 回試行公募最終審査委員会による評価】

(グランドデザイン B 改訂での扱い)

将来に向けた要素技術開発・技術実証

(最終審査コメント)

実利用面での期待はかなり大きいと考えられる。提案に対応するには、ひまわりの光学センサは製品調達ではなく、開発ということになり、ハードルが高くなるため、将来のひまわり光学センサの改良という形で検討を進めると良いと考える。

B

4.2.2.5.4 全球風観測プログラム

提案者：岡本 創（九州大学）

ミッション概要：

全球風観測プログラムは、国際協力による極軌道衛星に搭載したドップラーライダーネットワークと 2 機の気象衛星に搭載される赤外サウンダーのデータを統合することで、全球の水蒸気量とともに風分布（大気運動場）を主に観測値から準リアルタイム評価するシステムである。

ドップラーライダーは最小で斜め 1 方向（最大で 3 方向）で風速ベクトルの観測を行う。この測器は高い鉛直分解能で高精度の風速分布が得られる事が最大の利点である。一方で面的観測をすることが難しい。気象衛星に搭載される赤外サウンダーのデータから高度別水蒸気分布を求め、その分布変化から Moving Vector を出す手法があるが、大まかな分布は得られるが精度的には高くない。本プログラムではドップラーライダーと赤外サウンダーとしての FTS を組み合わせる事で、より時空間的に高密度でかつ高精度の風速の 3 次元分布を得る。

本プログラムは日本単独では不可能であり、2018 年 8 月打ち上げの ESA Aeolus 衛星、日本で検討中のドップラーライダー計画、米国開発計画と協力し、CGMS による気象衛星協力の 2 つを合わせてデータを入手しシステム構築を行う必要がある。

期待される科学の成果	<p>全球規模の風について、これまでゾンデ、風速計など限られたステーションデータしか存在せず、数値モデルに同化した客観解析データを基にし、数値モデルを介して風の分布を判断してきた。本提案でドップラーライダーでの風ベクトルの高度分布と、気象衛星からの水蒸気分布による高度別 Moving Vector を合わせて統合した観測データセットを作成することで、主に観測ベースでの全球風分布が実現する。数値モデルに比較してパラメータ調整による誤差もなく、直接的な評価が可能となる。数値気象予報モデルの精度向上や気候変動予測能力の向上も大きく期待できる。ライダーでは雲も検出可能であり、3 次元全球の風速分布と水蒸気の時間発展を得られるため、雲プロセス研究に大きな進展が見込まれる。</p>
アウトカム	<p>GSMaP を例にし、準リアルタイム評価が可能となると、空路航路安全や最適ルートを選定による燃料の削減、あるいは気象予報精度の向上が実現すれば、極端現象の予測能力向上による災害低減が見込まれる他、農業漁業他気象に関連する産業に与える影響は非常に大きい。</p>
技術	<p>① コア技術：ドップラーライダーシステムおよび気象衛星に搭載する赤外サウンダー</p> <p>② センシング技術の成熟度：ドップラーライダーは MOLI によるレーザー送信機技術の確立を経て、最もクリティカルな開発を終えつつある。赤外サウンダーについては、GOSAT-TANSO-FTS 技術を応用することで、技術的問題は小さい。</p> <p>③ 優位性：国際協力によるシステムとなるので想定するパートナーであ</p>

B

	<p>る NASA/ESA と比肩するシステムとなる。すでに温室効果ガスリモートセンシングとの共通化が開始。</p> <p>④ 人材確保と育成： 衛星搭載ライダーについての技術研究者は少なく、可能であれば分散している研究者を JAXA に集めて知見の集積を行う必要がある。</p>
開発体制	<p>ドップラーライダーは JAXA および NICT との協力開発を想定。他航空会社の協力事業可能性。赤外サウンダは JAXA。ドップラーライダーはライダーコミュニティが基礎的な技術から開発を共有化しつつある。</p> <p>静止衛星 FTS は、サウンダを超え、温室効果ガスのリモートセンシングとの共通化が進展しつつある。</p>
研究体制	JAXA, NICT, JMA 他
関連団体	気象学会、リモートセンシング学会他
継続性/新規性	衛星搭載ドップラーライダーの例は ESA の ADM-Aeolus のみであり、使用する波長、レーザー光源が異なる予定であるため一部世界初。GOSAT シリーズで培われた技術資産を生かす。
緊急性 タイムリーさ	ライダーに関しては MOLI に引き続き応用ライダーとして研究着手時期として適切。FTS に関しては GOSAT の機器開発・アルゴリズム開発の資産を生かす。
国際的分担	NASA Langley 研究所から共同研究の要請があり、調整中。ESA とも NASA を通じて検討中。また JMA を通じ CGMS 枠組みで各国気象衛星からのサウンダーデータ提供を受ける。A-train, EarthCARE, ACCP の雲レーダ・降水レーダ・ライダーによるエアロゾル・雲・降水・降水域の対流観測と、全球風観測プログラムによる FTS とドップラーライダー観測は、非常に相補的な観測に成り得るため、当該ミッションだけでなく、大きな成果が望まれる。
予算	ドップラーライダー衛星 400 億円、気象衛星搭載赤外サウンダー 100 億円 (センサのみ)
コスト削減策	赤外サウンダーの波数分解能仕様等の調整によりある程度削減余地あり
将来展望	定常的に国際協力としてドップラーライダーと気象衛星を維持し、全球風分布をモデルからではなく、観測データセットとして維持する。
実利用の可能性	気象観測・空路航路安全管理システムとして社会インフラとなりうる。同化・リアルタイム解析から極端現象への予測技術の大きな向上が期待できる。

B

【第 2 回試行公募最終審査委員会による評価】

(グランドデザイン B 改訂での扱い)

将来に向けた要素技術開発・技術実証

(最終審査コメント)

全球の風モニタリングは、気象、気候分野に重要なだけでなく、航空業界での実利用でも期待され重要である。複数異種観測データの組み合わせなので、大きな科学プログラムの提案を立てて、その元に複数衛星観測を実現するような実施方策とするなどが必要。その中で日本はどのセンサを開発するのか。また、赤外サウンダは気象庁のひまわり後継や環境省 GOSAT-GW の後継とするのか、風ライダーは他提案と合流するのかなどの実現方策の検討が必要である。

【第1回試行公募最終審査委員会による評価】（参考）

（グラウンドデザイン A 改訂での扱い）

将来に向けた要素技術開発・技術実証

（最終審査コメント）

全球の風モニタリングは気候システムの理解と航空業界における実利用両面で重要である。赤外サウンダ（FTS）の開発については、過去の GOSAT シリーズの経験を生かしていただきたい。

4.2.2.5.5 Role of Japan on polarization observations from space

(第2回試行公募での新規提案ミッション。追加公募において JpGU 2021 へのアブストラクト投稿フォーマットでの応募による。)

提案者：中田 真木子 (近畿大学)

ミッション概要：

The color composite images from Himawari-8/AHI (Advanced Himawari Imager) and SGLI (Second-Generation Global imager) are presented in Fig.1a and 1b, respectively. The images by Himawari have become an integral part of our daily lives. The image by SGLI visualizes the heavy smoke over large scale forest fires in the western Canada on Aug. 14, 2018. It is well known that large-scale wild fires have occurred worldwide since 2018 owing to global warming and climate change.

The so-called imagers currently on board the Japanese satellite are AHI, SGLI and CAI-2. The AHI mounts on the geostationary meteorological satellite Himawari-8 launched on October 7, 2014. The functions and specifications of AHI are notably improved. AHI is a 16 channel multispectral imager to capture visible light and infrared images of the Asia-Pacific region, then AHI contributes to not only weather prediction but also environmental monitoring. The SGLI on board GCOM-C launched on December 23, 2017 contains 19 channels from near-UV (380 nm) to infrared. The CAI (Cloud and Aerosol Imager)-2 on the GOSAT-2 launched on October 29, 2018 is a push-broom radiometer with 10 channels in the spectral ranges from ultra violet to short wavelength infrared for the observation of aerosols and clouds optical properties and for monitoring of air pollution. These imagers not only have the capability of high resolution at multiple wavelengths, but also each has its own unique capability and makes a great contribution to the global environment by utilizing the excellent features of AHI's high temporal resolution, SGLI's polarization information, and CAI-2's two-way observation. It is clear that these sensors are not just for capturing the satellite images that the word "imager" implies, but it is also clear that the information that satellite images directly appeal to intuitively is large and strong.

The usefulness and important role of imagers in atmospheric environment analysis will be partly introduced, focusing on the SGLI that our group has been involved in. The SGLI encompasses two polarization channels PL1 (674 nm) and PL2 (869 nm) with 1 km instantaneous field-of-view (IFOV). Note that this polarization measurement is the smallest resolution obtained to date. As shown in Figure 2, the sensitivities of the non-PL band (674) (b) and PL band (674) (c) are different. This is likely because the radiance channel considers the observations of darker targets, such as vegetation and land cover. Thus, the black area exists in color composite image (a). The dark yellow color spreading in the upper central region of the image (a) denotes the smoke caused

B

by the wild fire events owing to the near-UV band (380). Further, the swaths of both images (b) and (c) are different because of differences in observation angles, wherein the radiance observation telescope observes downward, and the polarization telescope observes at 45° oblique. In other words, two-directional observation is available, and geometrical information is obtained.

This is just one example, but it shows the effectiveness of the complementarity between the polarization information and the non-polarized radiance measurements from the SGLI for biomass burning aerosol retrieval. In this way, the SGLI observables have various possibilities. The technology and experience of multi-wavelength polarization sensors cultivated by SGLI should be inherited. Even if the revolutionary aerosol and cloud sensor 3MI; muti-viewing, -channel, -polarization imager: will fly to space on the MetOp-SGA satellite in 2022, the successor of SGLI is still very valuable. There's no substitute for sustainability.



Fig.1 Color composite images from Himawari-8/AHI over Japan on Jan. 12,2020 (a), and GCOM-C/SGLI over the large forest fire in western Canada on Aug. 14, 2018 (b).

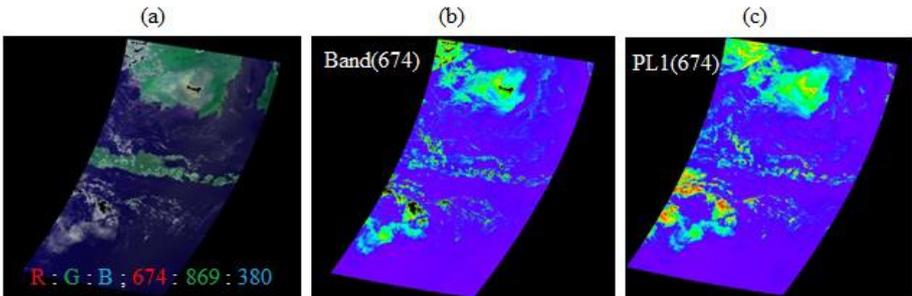


Fig. 2. Color composite image (a), radiance (b) and polarization (c) measurements by SGLI over Kalimantan, Indonesia on September 15, 2020.

B

【第2回試行公募最終審査委員会による評価】

(グランドデザインB改訂での扱い)

将来に向けた要素技術開発・技術実証

(最終審査コメント)

高解像度の偏光情報(250m)が何をもたらすのかを具体的に示され、初期段階はGCOM-C後継ミッション提案と協調し、長期偏光観測が科学的に何をもたらすのかを示されると良い。

B

4.2.2.6 技術実証を目的とした提案ミッション（1件）

4.2.2.6.1 次世代降水観測レーダの技術実証

（HTV-X を利用した技術実証ミッション）

提案者：上土井 大助（宇宙航空研究開発機構（JAXA））

ミッション概要：

平面アンテナを用いたパルス圧縮レーダにより降水粒子のドップラ速度を軌道上から計測できることを実証する。その際、平面アンテナの大型化を可能にするためのアンテナ展開・結合機構の原理を軌道上で実証する。また、アンテナ展開時の挙動やアンテナ展開後の構造特性に関するデータを取得する。

■技術概要

実証する技術は次の2つである。1つ目は、降水ドップラ速度の計測技術であり、これは、軌道上から降水粒子のドップラ速度の計測を可能にするものである。2つ目は、大型平面アンテナの構築技術であり、これは、平面アンテナの大型化を可能にし、30m×30m 以上の大型平面アンテナの軌道上構築を目指すものである。

■技術的新規性/優位性

①降水ドップラ速度の計測技術について

EarthCARE 衛星搭載雲レーダにより、雲粒子のドップラ速度計測技術は確立される見込みであるが、降水粒子のドップラ速度計測技術は未だ確立していない。

②大型平面アンテナの構築技術について

衛星搭載用合成開口レーダを一次元展開により構築する技術は確立しているが、30m 級大型平面アンテナを二次元展開により構築する技術は未だ確立していない。また、太陽電池パドルを二次元展開により構築する技術は確立しているが、平面アンテナは太陽電池パドルよりも面精度や剛性の要求が厳しいため、太陽電池パドルの二次元展開技術では 30m 級大型平面アンテナの構築に対応できない。なお、実証する機構のうち、新しい概念の結合機構である、「ソレノイドを用いた結合機構」については、JAXA が特許出願中である。

■開発進捗

提案するミッションの実現性については、収納時 1.2m×2.2m×0.7m、展開時 1.2m×2.2m×4.4m の軌道上実証機を想定した場合、HTV-X 曝露カーゴ搭載部への搭載条件に適合する見込みを得ている。また、同実証機の熱解析を実施し、熱的に成立する見込みを得ている。さらに、2017 年度に同実証機の 1/2 サイズで、アンテナ展開・結合機構が正常に動作することを地上実験により実証している。なお、軌道上実証機のサイズを、収納時に 1.0m×1.0m×1.5m 以下になるようにすると、構築後のアンテナサイズおよび降水エコーの検出感度は低下するものの必

B

要な検証は可能と考えている。

2018年度は、1列目アンテナパネルが展開しなかった場合でも2列目アンテナパネルが自立展開できる機構を考案し、同機構試作モデルによる地上実験を実施した。その結果、1.3kg程度の質量追加で、2列目アンテナパネルの自立展開機能の実現可能なことを確認した。

2019年度は、HTV-X1号機への搭載を想定した、展開型平面アンテナの予備設計を実施しており、その一環として、HTV-X側とのインタフェース調整、パネル展開挙動解析、部分試作・試験等を実施している。

■想定するコスト

本ミッション機器の開発コストの概算見積額は1,000,000千円で、内訳は以下のとおり。

- ・降水ドップラ計測関連：600,000千円
- ・アンテナ展開・結合機構関連：400,000千円

■技術的・実利用的展開

①降水ドップラ速度の計測技術について

・本技術は、二周波降水レーダ(DPR)後継機の実現に貢献する。DPR後継機では、低軌道から降水粒子のドップラ速度を計測することを想定している。DPR後継機が実現すれば、降水システムの力学構造(内部での降水粒子の動き・移動など)の全球的な把握や気象予報・洪水予測の精度向上等が期待できる。

・本技術は、静止降水レーダ(GPR)の実現に貢献する。GPRでは、静止軌道から常時・機動的な降水観測を行うことを想定しており、高緯度観測のために、ドップラ情報による降水エコーと地表面クラッタの分離が必須である。GPRが実現すれば、台風の発生メカニズムの解明や気象予報・洪水予測の精度向上等が期待できる。

②大型平面アンテナの構築技術について

・本技術は、衛星搭載用平面アンテナ構造の大型化を可能にするものであるため、地球観測、通信、電波天文、災害監視・安全保障等の様々な分野の衛星搭載用アンテナ/レーダの性能を格段に向上させることに貢献する。

・本技術は、30m×30m以上の大型平面アンテナ構造の構築を可能にするものであり、静止軌道からのレーダ観測(従来システムに比べ時間分解能が格段に向上する観測)等、これまでに無いミッションの実現に貢献する。

・本技術を発展させれば、宇宙太陽光発電システムのような超大型宇宙構造物を実現できる可能性がある。

提案ミッションの全体イメージ(割愛)

【第2回試行公募最終審査委員会による評価】

(グランドデザインB改訂での扱い)

B

技術実証ミッション

(最終審査コメント)

HTV による展開実験手始めとするが、検証すべき技術は複数残っているため、長期に取り組むべき課題と認識する。

B

【第1回試行公募最終審査委員会による評価】(参考)

(グラウンドデザイン A 改訂での扱い)

将来に向けた要素技術開発・技術実証

(最終審査コメント)

大型アンテナは今後必要性が高まると考えられるため、技術実証案件として重要である。
JAXA 実施の技術実証実験として実現を望む。

4.2.2.7 衛星データの利活用や地球観測の新たな枠組みの提案として今後検討を進める提案 (4件)

衛星データの利活用や総合的解析の提案であり、本ミッション公募を行うことにより発掘できたもの。衛星観測ミッションを支えるとともに、衛星データの利活用を拡大・発展させる研究開発として大変重要。今後新たな枠組み(カテゴリ)を公募時に設けるなど、より幅広く提案を募る方向で応募様式などを検討していく。

4.2.2.7.1 気象・海洋・陸面予測を革新する高頻度衛星観測網の設計事前評価プラットフォーム

提案者：三好 建正 (理化学研究所)

ミッション概要：

本ミッションでは、天気予報、水文災害予測や水産資源の維持管理等の実応用のために、衛星によってどのような物理量をどの程度の頻度で観測することが有効か、データ同化技術により衛星計画の事前評価を行う仮想実験プラットフォームを開発する。提案者らは、主に気象学に関する数値計算シミュレーションと観測データを最適に繋ぐデータ同化研究で、スーパーコンピュータ「京」や衛星ひまわり8号などの最先端技術を駆使して世界をリードしてきた。これにより、ひまわり8号の10分毎の高頻度観測により台風や集中豪雨の大幅予測改善が得られ、30分毎では不十分であることが分かった。高頻度観測は、海洋や陸面の予測にも有効だと期待できる。

そこで本ミッションは、気象・海洋・陸面予測革新のため、準天頂軌道衛星や多数の小型低高度軌道衛星など日本域を高頻度に観測する衛星観測網の可能性を探るため、先端的データ同化技術を駆使した衛星計画事前評価のための仮想実験プラットフォームを開発する。他提案衛星計画との連携も図りつつ、我が国の費用対効果の高い衛星ミッションの実現に貢献する。

期待される科学の成果	<p>1. 高頻度衛星観測網の設計による科学成果</p> <p>搭載可能なセンサーとその有用性に関する知見を獲得することが可能である。観測システムシミュレーション実験や観測インパクト推定など先端的データ同化技術により、可視、赤外、マイクロ波、レーダ等の観測をある時空間的な密度で得られた場合の効果を定量化できる。また本研究では、衛星データをリアルタイムに処理して、地球環境予測に利用する。それに伴う、ビッグデータ処理技術の革新も期待できる。</p> <p>2. データ同化技術としての科学成果</p> <p>ビッグデータを有効に利用するための新手法の開発は必須であり、データ同化の理論研究として新たな発展が期待できる。また、新規衛星ミッションの事前評価手法の発展も科学的・経済的観点から重要である。</p>
アウトカム	<ul style="list-style-type: none"> ・ 天気予報、農業収量予測、水産資源分布の予測など、地球環境予測の改善とそれに伴う社会的価値の創造

	<ul style="list-style-type: none"> 高精度な気象予測による、人的・経済的被害の低減 実際の予測に役立つ観測技術を明らかにし、新規観測コストを削減 衛星ビッグデータの有効な活用によるスマート社会 Society5.0 の実現
技術の特色	<p>① 優位性： 世界をリードする計算資源による豊富な計算能力、大規模計算に向けたプログラム開発実績、地球科学分野のデータ同化研究の最先端技術</p> <p>② 成熟度： 既に衛星観測に関する観測システムシミュレーション実験の実績を多数有する。加えて、データ同化に必要な衛星観測シミュレータの利用開発実績を有する。また、これまでに利用されていなかった観測を有効に活用するための技術開発実績を有する。</p> <p>③ 人材確保と育成： 研究代表者と共同研究者らにより十分に人材は確保されている。また、グループの主催するデータ同化スクールや研究会等によりデータ同化研究プロフェッショナルの人材育成・コミュニティの発展を図る。</p>
開発体制	<p>本ミッションは、提案者らにより数値シミュレーションを用いて事前に衛星観測の価値を検証する。実機の開発は想定していないが、他グループで行われる実機開発との共同研究により相乗効果が期待できる。</p>
研究体制	<p>理化学研究所計算科学研究センターにおいて、代表及び共同提案者らが実施する。また提案するプラットフォームは、シミュレーションデータから観測相当量を計算する観測演算子があれば、様々な種類の観測システムに適用可能であり、他の提案課題にも応用可能である。そのため、本課題では他プロジェクトへの応用を意識して汎用性の高いプラットフォーム開発を行う。実機開発を行う他の提案課題と連携をとり、相乗効果的な発展を図る。</p> <p>ロードマップ： 理研ではこれまでも全球及び領域の大気データ同化システムについて十分な開発実績がある。既に全球システムを使った観測インパクト推定手法は実装されており、領域システムへも1年程度で実装可能である。 本プラットフォームは、観測演算子を拡張することで様々な衛星ミッションに適用可能である。そして、既存の観測網に加えて新規データが得られることの付加価値を、予報精度改善の観点から定量化可能となる。</p>
関連団体	<p>これまでに共同研究を実施してきたパートナーと連携する。 (JAXA, 情報通信研究機構、東京電力、(株) エムティーアイ)</p>
継続性/新規性	<p>提案者らは、既に打ち上げられた衛星として、全球降水観測計画主衛星(GPM)や、ひまわり8号を始めとした、地球観測衛星の同化技術開発を行ってきた。また、計画段階の衛星として、静止軌道降水レーダのミッション</p>

B

	<p>要求の事前検討を実施している。本研究はこれらの研究実績の延長として行う、継続性の高く、かつ、十分な研究実績を伴うものである。</p> <p>新規性： 提案者らの研究成果により、世界で初めて、高頻度観測の有効性を示した。これに基づき、高頻度観測の多目的展開を主眼とした衛星観測計画は、衛星ミッションとしての新規性も高い。</p>
緊急性 タイムリーさ	<p>近年、気候変動とも関係して、激しい気象が増大傾向にあり、人類の生存環境が脅かされている。これに適応することは、喫緊の地球規模課題である。甚大化する気象・水象災害に対応するには、精度の高い気象予測情報を提供し、避難等対策のリードタイムを確保することが重要である。本提案による新たな観測を導入することで、予測精度の革命的な向上が期待できる。</p> <p>また、本研究で実施するデータ同化による新規衛星の事前検討は、ミッション全体のコストの効率化に貢献する。この技術は、多種多様な地球観測衛星ミッションにも応用可能であり、コスト削減効果を勘案すると、早期の技術確立が望ましい。</p>
国際的分担	<p>特に日本域の高頻度観測を主眼とするため、我が国のみならず、韓国・中国・台湾などの周辺各国との協力体制を模索する。</p>
予算	<p>研究体制を維持する上での人件費や研究費については研究グループ内で確保する。</p>
低コスト化への取り組み	<p>打ち上げ前に衛星から得られるデータの価値を評価することでミッション全体のコスト効率化に貢献する。なお、この技術は本ミッションだけではなく、他ミッション全体にも適用できるものであり、汎用性の高い技術開発となる。地球観測グランドデザインの評価過程にも十分に貢献可能なシステムであり、衛星ミッションの高付加価値化に資する研究開発である。</p>
将来展望	<p>米国では、地球観測衛星の新規計画に観測インパクト推定による事前評価を必須にする動きが見られる。衛星観測に限らず、国家規模で行う計測技術開発ミッションには、計測データの価値を事前に示すことが今後スタンダードになると思われ、本研究はその嚆矢として位置付けられる。</p> <p>将来的には、複数モデルによる評価を行えるようにプラットフォームを拡張し、複数アンサンブルで観測価値を評価することが望ましい。これにより、単独モデルの固有のバイアスの影響を緩和することができる。</p> <p>生物・生態系のモデルには地球システムモデル等大型モデルへのデータ同化システム適用やそのモデルパラメータ推定も併せて必要となる。気象分野を超えて本プラットフォームを活用するには、更なる研究開発が必要であり、最先端の科学研究となる。</p>
実利用の可能性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 気象庁などの現業機関への技術移管による社会実装 ・ 事業者へ向けた予測情報提供によるスマート社会の実現

B

	<ul style="list-style-type: none"> - 気象予報に基づく、小規模水力発電ダムの効率的な操作 - 水産資源分布予測に基づく、漁船の効率的な運用 ・ 市民へ向けた局地的な気象予報の提供 (スマートフォンアプリによる配信を想定)
--	---

B

【第2回試行公募最終審査委員会による評価】

(グラウンドデザインB改訂での扱い)

新たな枠組みの提案

(最終審査コメント)

早期に実現すべき提案である。地上計測についても範囲に含めてはどうか。また、今後の検討において、日本の将来にとって有効と考えられる持続的な研究プログラムや枠組み・組織に関する提案なども期待する。

4.2.2.7.2 静止衛星と周回衛星複合観測による擬似高頻度高解像度観測の実現

提案者：本多 嘉明（千葉大学）

ミッション概要：

地球科学・実利用の両分野から地球観測光学センサデータはより高頻度かつより高解像度の観測データが望まれる。しかし、この高頻度観測と高解像度観測は同時に実現するためには、一つの衛星では不可能で、超小型衛星の多数運用が実現されつつある。しかし、一般的に超小型衛星は設計寿命が短い、校正システムを有さないなどの問題がある。一方、静止衛星を含む中型以上の衛星は、設計寿命が長く、校正システムを有している。しかし、中型以上の規模の衛星で高頻度かつ高解像度を実現するため、衛星数を確保しようとするとその予算は莫大なもので現実的ではない。

本提案は、我が国が打ち上げる衛星群（ひまわり、GCOM-C、ALOS などの後継機を想定）の中で比較的解像度の低い静止衛星の高頻度観測と解像度は高いが低頻度の周回衛星観測から各衛星のセンサ仕様の一部を相互調整することと観測ジオメトリーの違いを調整するモデルを介して擬似高頻度高解像度観測データを製造することを目指し、このような高品質で長期に提供する枠組みを構築する。これにより地球科学および実利用分野での衛星光学センサデータ利用を拡大させ、科学の進展および実利用の拡大を目的とする。この枠組みは計画されている予算規模で、より大きな成果を得る一歩であり、実利用分野の拡大は、我が国における地球観測の継続性を担保することにも資する。さらに、新たに計画される他国の衛星もこの枠組みに取り込むことにより、地球科学および実利用の分野における我が国の地球観測のプレゼンスを高めることを目指す。

期待される科学の成果	<p>擬似高頻度高解像度観測データは想定される生成過程の性質上、対象の変化の時定数が長いものに限られる。いわば、観測頻度間隔が長い周回高解像度衛星データの時間的内挿に低解像度高頻度データを補助データとして用いるものである。つまり、対象は植生や土地利用になる。</p> <p>高頻度の高解像度データによる陸上生態系分野の進展、さらには、土地被覆データによる社会科学の進展が期待できる。これらの地表面構成物に関する情報に高頻度の気象情報を組み合わせると、植物による炭素や水などの物質循環の解明などの生態系をはじめとする地球科学の進展や、山地崩壊などの危険把握などの防災科学にも役立つことが考えられる。</p> <p>2019年11月7日に日本写真測量学会周期講演会にて現行ひまわりのAHI高頻度観測データとGCOM-C/SGLIの隔日観測データに基づいたデイリーNDVIデータ導出手法による検討状況を報告することになっている（タイトル：NDVIに基づいた黔南州植生被覆変化の分析）。さらに、2019年、東日本の台風被害で提案する擬似高頻度NDVIデータで植生被害把握の可能性を調査している。</p>
アウトカム	必要なときに被雲などの影響で撮像できずに、必要な日時の衛星データ

B

	が確保できずに、大幅な利用が進まなかった林業、農業生産、温室効果ガス排出量取引、大型社会基盤施設（耐久消費財的施設）などへの衛星データ利用拡大が期待され、その延長上で、より詳しい解析のための補強データとして超高解像度商用衛星データへの需要も高まることが期待できる。
技術の特色	<p>① 優位性：SGLI の直下（250m）・前後（1km）視観測データを利用した前後（1km）視の擬似 250m データの解析が進んでいる。</p> <p>② 成熟度：ひまわり、GCOM-C、ALOS などの利用実績がある。</p> <p>③ 人材確保と育成：ひまわり、GCOM-C、ALOS などのチームの協力が想定している。この9月初旬から TF 高度化 WG のミッション間調整の枠組みを利用して次期ひまわり検討会（非公式）通して、データ利用のみならず、計画段階からのセンサ仕様調整が開始され、この調整活動はある程度長い期間続けられる予定である（現在：ひまわり、GCOM-C、GOSAT シリーズ間を含む）。</p>
開発体制	ひまわり、GCOM-C、ALOS などの後継機のミッション立ち上げ過程から開発過程で形成することを考えている。
研究体制	ひまわり、GCOM-C、ALOS などの後継機を検討する段階で調整し、形成することを考えている。
関連団体	地球科学・実利用の両分野からの参画が想定される。 たとえば、植生にかかわる生態系研究を始めとした地球科学、防災科学、林業、食料生産など。
継続性/新規性	ひまわり、GCOM-C、ALOS などは継続観測を前提されているが、相互の調整によって、地球科学・実利用の両分野の光学センサユーザーが切望している高頻度高解像度観測データが擬似的に取得できる。これは継続性と新規性の両方を持ち合わせている。
緊急性 タイムリーさ	ひまわりの後継機の検討が本格化し、5年後には製造に着手する予定であり、さらに、様々な衛星計画の継続が検討されている今、それぞれの衛星ミッションが少しの仕様調整で大きな地球科学・実利用分野での利用拡大が期待できる。
国際的分担	まずは我が国の衛星で擬似高頻度高解像度観測データの活用を実現させ、被雲率が比較的高い東南アジア諸国の衛星データ利用拡大を図るとともに海外の衛星の参画を模索する。
予算	ひまわり、GCOM-C、ALOS などの後継機予算獲得にそれぞれのミッション立ち上げの活動があり、今後、本格化される。
低コスト化への取り組み	本提案は、本来、それぞれのミッション予算範囲内で実現を目指す。しかし、各々のミッション独自での効果に比して複合調整の結果で得られる擬似高頻度高解像度観測データは地球科学・実利用の両分野で大きな効果が得られることが期待でき、コストパフォーマンスの向上が期待できる。
将来展望	まず、我が国の衛星の光学センサ領域で実績を積み、他国の衛星の参画を

B

	促し、欧米の気象衛星の仕様にも影響を与え、世界標準になることを目指す。
実利用の可能性	光学センサの擬似高頻度高解像度観測データは、比較的变化が遅い植物が関係している農業や林業分野で利用されることが期待される。このデータは静止衛星の観測範囲に及ぶので、東南アジア、東アジア、オセアニアに展開している農林関係企業やそれに絡む投資、保険事業などに役立つことが期待される。

【第2回試行公募最終審査委員会による評価】

(グラウンドデザインB改訂での扱い)

新たな枠組みの提案

(最終審査コメント)

静止衛星と組み合わせる高解像度衛星画像の分解能をどのあたりに置くか(サブメートル級～250m)で研究戦略が変わると考えられる。すぐに実現できるレベルであれば、JAXA-気象庁での新たなデータプロダクト提案などが良いだろう。まずは既存衛星を使った研究の発展とデータ利用促進を期待する。

B

4.2.2.7.3 マイクロ波リモートセンシングによる準リアルタイム水循環変動の監視と評価 (第2回試行公募での新規提案ミッション)

提案者：鈴木 和良 (海洋研究開発機構 (JAMSTEC))

ミッション概要：

地球温暖化に伴う水循環の変化は、世界の様々な場所で水に係わる諸問題を引き起こし、地域の環境・生態系に大きな影響をもたらしている。こうした世界の水問題と水資源の実態把握のためには、大気と陸域を統合した水循環監視システムの構築が必要不可欠である。本研究では、大気水循環と陸域水循環を統合した全球水循環監視システムを構築し、世界の水問題と水資源管理のため、準リアルタイムで水循環データセットを作成・公開する。本研究では、特に貯留量に着目し、温暖化に伴う大気中の可降水量と陸域貯留量の監視と評価を行っていく。この目的を達成するため、マイクロ波リモートセンシングデータと一般気象データを、準リアルタイム大気陸面結合データ同化に基づく水循環再解析システムを開発する。作成された再解析データの精度評価のため、温暖化による水循環変動が顕著なシベリア、アラスカ、並びにモンゴルでの水文気象観測データを取得し、衛星データと共に比較・検証を行う。以上の研究より、温暖化に伴う水循環強化の実態解明と水資源問題の解決に貢献する。

<p>期待される科学の成果</p>	<p>水文学における重要な問いの1つは、「気候が温暖化するとき、水循環は強化するのか？強化する場合、その影響はどのようなものであるのか？」ということである。水循環強化は水蒸気フィードバック（可降水量の増加）によって温暖化増幅をもたらすと考えられる（仮説1）。さらに現在、20億人以上の人が水ストレスの激しい熱帯から中高緯度地域に住んでいる。水循環強化は、水ストレスに苦しむ地域の人々に利用可能な水資源（陸域貯留量）を増やすかもしれない（仮説2）。しかしながら一方で、水循環強化によって降水の季節パターンの変化や極端気象が増加することが考えられる（仮説3）。</p> <p>これら3つの仮説に立脚し、本研究では大気陸面結合系として大気水循環と陸域水循環を統合的に解析する。特に、可降水量と陸域貯留量の変動に注目する。具体的には、以下の3つの「問い」に応える。</p> <p>【問い1】水循環強化は、水蒸気フィードバックを通じた温暖化増幅とどの様に関係し、熱帯・中高緯度間の水蒸気輸送や可降水量変動とどの様にリンクしているのか。</p> <p>【問い2】温暖化が顕著なシベリア、アラスカでは、降水の季節パターンや極端現象はどの様に現れ、それによって可降水量と陸域貯留量はどの様に変化しているのか。</p> <p>【問い3】水ストレスが顕在化しているモンゴルの陸域貯留量は、温暖化によってどの様に変化しているのか。</p>
-------------------	---

B

	<p>上記 3 つの「問い」に応え、陸域貯留量と大気中の水蒸気量を統合し、全球水循環を数値的に可視化する準リアルタイムの全球水循環監視システムの開発に挑戦する。大気陸面結合データ同化では、米国海洋大気庁の全球気象観測データセット(PrepBUFR)を同化すると同時に、気象観測が時空間的に不均質であるため、衛星リモートセンシングデータを活用する。衛星リモートセンシングデータの活用では、日本独自の衛星観測技術である水循環観測衛星(GCOM-W)のマイクロ波放射計(AMSR2)データを準リアルタイムで入手し、データ同化システムによって大気陸面結合データ同化を行う。これによって、準リアルタイムの全球水循環監視システムを構築し、可降水量と陸域貯留量を結合した画期的なデータセットを作成・公開し、水資源変動の実態把握と変動評価、並びにデータの精度検証を行う。</p> <p>本研究では、全球および温暖化に伴う水循環変動が顕著な地域を解析対象とし、可降水量と陸域貯留量変動に着目した統合解析を行う。それによって、熱帯・中高緯度間の水蒸気フラックスによる可降水量変動が中高緯度の陸域貯留変動に与える影響を明らかにする。さらに、シベリアとアラスカを対象とし、ネスティング機能(特定領域のみ高解像度に解析する機能)によって詳細な水循環データセットを構築し、水循環変動の実態把握と地点観測データとの比較・検証を行う。また、モンゴルの衛星検証サイトを対象としたネスティングを行い、水循環データの精度検証、ならびに地域水資源変動の監視と評価を行う。</p>
アウトカム	<p>これまでの水循環研究は、大気あるいは陸域のどちらか一方を対象とし、大気中の水蒸気と陸水を別々に取り扱ってきた。本研究では、大気中と陸域に蓄えられている水を同時に評価できる水循環再解析システムを構築する。これによって、世界に類をみない大気-陸域結合系での準リアルタイム水循環データセットを作成する点で、独自性と創造性を有する。また、突発的災害(例えば洪水)の予測と監視のためには、準リアルタイムの水循環監視システムの開発が急務である。日本独自の革新的な衛星観測技術に基づく GCOM-W/AMSR2 データを利用し、半日～1日遅れで水循環データを構築・公開する事は、突発的な災害予測と監視、並びにその対策立案にも効果的である点で革新性を有する。</p>
技術の特色	<p>① 優位性：代表者らが開発してきた大気陸面結合データ同化システムは国内最先端であり、現在のシステムを全球に拡張することで、大気中の水蒸気量と陸域貯留量を整合的に解析する水循環監視システムの礎になる。</p> <p>② 成熟度：2011年からコロラド州立大学大気共同研究所の Zupanski 博士と共同研究を行い、大気海陸面結合データ同化システムを開発してきている(Suzuki et al., 2017)。そのシステムの特徴として、Maximum Likelihood Ensemble Filter (Zupanski, 2006) を用いている。</p>

B

	③ 人材確保と育成：大型予算を獲得した場合はポスドクを雇用する。また、海外からの若手研究者受入のため、来年度外国人特別研究員の応募申請を予定し、協力研究者の学生との共同研究を計画している。
開発体制	水循環結合再解析システム開発：鈴木和良, Milija Zupanski 準リアルタイム観測データ提供システム：可知美佐子 データセット検証：斉藤和之, 小林秀樹, 檜山哲哉
研究体制	<p>本研究では 3 つの研究課題に分けて研究を行う。図 4 に各研究課題の担当者と準備状況、年次研究計画、並びに連携を示す。本研究では、準リアルタイム全球水循環監視システムを構築し、水循環構成要素の中でも特に可降水量と陸域貯留量の実態把握と変動解明を行う。</p> <p>研究課題 1. 全球水循環変動監視システムの開発</p> <p>最先端の大気陸面海洋結合データ同化手法を基に、準リアルタイムで提供される AMSR2 と PrepBUFR を、同時にデータ同化可能な水循環再解析システムの開発を行う。開発した再解析システムにより、1 日～半日遅れで準リアルタイム水循環データセットを作成・公開する。これにより、水蒸気フラックス変動に伴う可降水量-陸域貯留量変動の監視と評価を行う。</p> <p>研究課題 2. 衛星マイクロ波放射計データの品質管理とデータ提供システム開発</p> <p>GCOM-W によって観測される AMSR2 データを準リアルタイムで入手し、データの品質チェックや、データ同化システムで扱いやすい形にデータを整形・整理する。同時に、PrepBUFR 等も準リアルタイムで入手し、衛星データと共に配信するシステムを開発する。データは研究課題 1 と研究課題 3 に提供し、共同解析を行う。また、モンゴルの気象水文観測データの入手し、再解析データの精度検証と水資源変動解析を行う。</p> <p>研究課題 3. 検証観測データ収集と精度評価ならびに水循環変動解析</p> <p>シベリア・ヤクーツク市の北方生物問題研究所ならびにアラスカ大学フェアバンクス校国際北極研究センターとの連携により、Spasskaya Pad 特別観測サイトと Porker Flat 特別観測サイトでの降水量、蒸発散量、土壌水分、並びに積雪等の水文気象観測とデータ収集を行う。現場観測データと衛星プロダクトを基に、シベリア、アラスカでの温暖化に伴う水循環変動を解析すると共に、再解析データの精度検証を行う。</p>
関連団体	特になし

B

<p>継続性/新規性</p>	<p>地球温暖化や世界各地における異常気象が水循環ならびに生態系に与える影響は、様々な要因が相互に絡み合い、その実態把握を困難にしている。また時空間的に不均質なデータに基づいて報告されており、互いに矛盾した結果がみられる。例えば、レナ川流域での湿潤化(Velicogna et al., 2012)とレナ川下流域での乾燥化(Suzuki et al., 2016)の報告例がある。水循環変動の実態把握のためには、地域から全球、短期から長期に及ぶ水循環の多様なスケールを、単一のシステムを用いて準リアルタイムで監視する必要がある。水資源の解析には、図 1a の様な大気を外力とした全球陸面再解析データ同化システム(GLDAS, Rodell et al., 2004)が利用されている。一方、水蒸気フラックスや可降水量解析には、図 1b の様な全球再解析データ(例えば JRA-55, Kobayashi et al., 2015)が用いられる。既存の水循環データセットは、図 1a もしくは図 1b の様に、陸域又は大気に特化したシステムによって水循環データセットが作成されている。水蒸気フィードバックを考慮した水循環変動監視のためには、可降水量と陸域貯留量を同時に解析できる図 1c の様なデータ同化システムの開発が望まれるが、世界的にみて皆無である。さらに突発的災害(例えば洪水)の予測と監視のためには、準リアルタイムの水循環監視システムの開発が急務である。</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>図 1. 大気と陸域における水収支の概念図(沖ら,1995の図を改変した)。(a) 陸域水収支、(b) 大気水収支、(c) 大気陸面結合系水収支。陸面再解析では(a)のみを考慮し、大気再解析では(b)のみを考慮している。本研究で提案する大気陸面結合データ同化は、(c)の大気陸面結合系水収支を考慮することで、大気水循環と陸域水循環を整合的に表現できる水循環データセットを構築する。</p>
<p>緊急性 タイムリーさ</p>	<p>世界の様々な場所で頻発する豪雨、洪水災害、渇水、水不足などの水に係わる諸問題は、地域の環境・生態系に深く関与し、ときに不可逆的な大きな変化をもたらす。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)(2013)の 5 次報告では、95%以上の信頼度で水循環の変化が温暖化によってもたらされていることを指摘している。水循環の変化は、水資源の入手可能性、豪雨、洪水、干ばつ等として現れ、さらに水蒸気フィードバックを通じて温暖化増幅を引き起こすと共に水循環強化に繋がる。そのため、水循環監視体制の強化は喫緊の課題である。</p> <p>さらに AMSR3 の打ち上げが 2023 年度に予定されている。現在利用可能な AMSR2 と AMSR3 のデータを利用することで、今後 10 年程度運用可能なことよりタイムリーさが有する。</p>
<p>国際的分担</p>	<p>米国との共同研究を行い、データ同化手法については米国共同研究者の手法を利用し、代表者が所属する機関においてシステムを構築し、データセ</p>

B

	ット作成を行う。
予算	令和 2 年度科学研究費補助金・基盤研究 (B)へ申請中。
低コスト化への取り組み	本研究では、公開データを利用することで低コスト化を行っている。
将来展望	最先端の大気陸面海洋結合データ同化手法を基に、準リアルタイムで提供される AMSR2/AMSR3 と PrepBUFR を、同時にデータ同化可能な水循環再解析システムの開発を行う。開発した再解析システムにより、1 日～半日遅れで準リアルタイム水循環データセットを作成・公開する。これにより、水蒸気フラックス変動に伴う可降水量-陸域貯留変動の監視と評価を行う。
実利用の可能性	上記のシステムを定常的に運用するための計算機資源を確保出来れば、実利用は可能である。

B

【第 2 回試行公募最終審査委員会による評価】

(グラウンドデザイン B 改訂での扱い)

新たな枠組みの提案

(最終審査コメント)

提案される成果を上げるための解像度はどの程度なのかなど、衛星データに求める仕様の具体化がもう少し必要と考える。また、国際協力でおこなうとする場合、日本の衛星が担う部分をもう少し明らかにする必要があると考える。

4.2.2.7.4 多波長光学イメージャを用いた大気エアロゾルの監視、同化予測および再解析プロダクトの作成

提案者：弓本 桂也（九州大学）

ミッション概要：

自然現象や人為活動によって発生する大気エアロゾルは、大気環境のみならず、気候・海洋・陸域生態系および人の健康等、多岐にわたって影響を与えている。これらの実態把握、被害軽減のため、以下の様な研究・取り組みが行われている。

- (1) モニタリング：大気環境および気候変動の進行状況の監視（エアロゾルの時空間分布の把握）
- (2) 同化予測：PM2.5 および黄砂等の短期間予測による（早期警戒による社会・健康被害の軽減）
- (3) 気候データ：再解析プロダクト等の長期気候データセットの作成（気候影響評価や疫学研究等への貢献）

これらの中で、多波長光学イメージャ（近紫外～近赤外）による観測は核をなす部分であり、欠かすことが出来ない。地球システムの一部である大気エアロゾルの把握および影響評価を継続的に、より正確に行うために、多波長光学イメージャによる観測の継続を提案する。

期待される科学の成果	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「エアロゾル光学特性の推定」：光学イメージャから得られた放射輝度よりエアロゾル光学的厚さ等の光学特性の推定を行うことができる。推定された光学特性は以下の成果につながる。 ・ 「エアロゾルイベントの監視と動態解明」：黄砂、噴煙、森林火災や大気汚染等の高濃度イベントの把握とその放出源および輸送プロセスの解明。 ・ 「エアロゾルの時空間分布およびその変動の把握」：寿命が短く、時空間的に変化の激しいエアロゾルの全球分布やその変動の把握。 「エアロゾルの気候に対する影響の定量的評価」：IPCC AR6 で予定されている Short-Lived Climate Forcers という独立した章への貢献。 ・ 「エアロゾル再解析プロダクトの作成」^{a)}：大気環境だけではなく、気候影響評価、海洋・陸域生態系の影響調査、疫学研究、衛星リトリーバルなど様々な分野で利用が期待される。 ・ 「雲生成メカニズムの解明」：他の衛星と組み合わせることで、エアロゾルが雲・降水微物理過程に与える影響の評価（例、NASA が計画する A-CCP プロジェクト）。 ・ 「エアロゾルのプロセス研究の発展」：静止軌道からの準連続観測は、エアロゾルの粒子生成や沈着過程など、これまでは困難だったプロセス研究を可能にするポテンシャルを含んでいる。
アウトカム	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「エアロゾルに対する早期警戒」^{b)}：衛星によるモニタリングや衛星デ

B

	<p>ータを同化した予測を行い、広く国民に公開することで、PM2.5等の早期警戒を呼びかけ、社会生活や健康に与える被害を抑制する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 「地球温暖化施策」：蓄積されたデータやそれを同化することで作成された再解析プロダクトからエアロゾルが気候に及ぼす影響を評価、地球環境変動の予測精度を向上させることで温暖化対策の策定に寄与する。 ・ 「健康影響の解明」：生気象学や疫学に正確なデータを提供することで、エアロゾルの人体に与える影響の明らかにする。 ・ 「境界条件としての利用」：気象予報、太陽光発電や紫外線予測の境界条件として利用することで、それらの精度向上に寄与する。
技術の特色	<p>① 優位性： 共通アルゴリズムによる AHI や MODIS といったセンサーにとらわれないエアロゾル光学特性のリトリバル。AHI や MODIS から得られたエアロゾル光学特性を用いたエアロゾル同化予測および再解析プロダクトの作成の実績。</p> <p>② 成熟度： AHI, MODIS を通じて、リトリバル技術および同化技術は成熟しつつある。</p> <p>③ 人材確保と育成： 人材の確保と技術の継承のためにも継続となる衛星プロジェクトが必要である。</p>
開発体制	<p>エアロゾル光学特性のリトリバル技術：JAXA/EORC エアロゾル数値モデルおよびデータ同化技術：九州大学、気象研究所</p>
研究体制	<p>エアロゾルデータ同化に関する共同研究（JAXA、環境研、気象研、九州大学）で培った研究協力体制。</p>
関連団体	<p>気象学会、日本エアロゾル学会、大気環境学会</p>
継続性/新規性	<p>提案者が想定する仕様やコンセプトについて、極軌道衛星および静止軌道衛星に分けて提案を行いたい。</p> <p>【極軌道衛星】</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 陸上及び海上でのエアロゾルの定量的な観測のため、可視から近赤外に観測バンド（波長幅 10-20 nm）が必要である。 ✓ 陸上での推定精度を向上させるため、近紫外（例えば、380 nm）に観測バンドがあることが望ましい。近紫外の観測バンドがあることで、吸収性のエアロゾルを分離が可能になる。 ✓ 陸上での推定精度の向上、小粒径粒子の観測を可能にするために偏光の観測機能（例えば、670nm および 865nm）を持つことが望ましい。 ✓ 1日に1回、全球をカバーできる観測幅。

B

	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 静止衛星と比べた際の極軌道衛星の利点は、高解像度であること、そして他の衛星とコンステレーションを構築できることであると考えられる。その点から、ライダー搭載衛星（エアロゾル3次元分布、エアロゾル・雲相互作用）、レーダー搭載衛星（エアロゾル・雲・降水相互作用）、紫外・可視・近赤外分光計（エアロゾルの前駆物質）との同軌道への投入が望ましい。 <p>【静止軌道衛星】</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 陸上及び海上でのエアロゾルの定量的な観測のため、可視および近赤外に観測バンド（波長幅 20 nm 程度）が必要である。 ✓ 陸上での推定精度を向上させるため、近紫外（例えば、380 nm）に観測バンドがあることが望ましい。近紫外の観測バンドがあることで、吸収性のエアロゾルを分離が可能になる。 ✓ ひまわり 8 号の倍程度の空間解像度（中緯度帯で 2 km 程度の空間解像度の実現）。 <p>※極軌道衛星と静止軌道衛星の両者に長所がある。静止軌道衛星は極軌道衛星を完全に置き換え得るのか等については議論の余地があり、この提案で結論を出すことは避けたい。ただ、提案者としては、次期静止気象衛星への搭載が議論されている赤外サウンダーのように、極軌道衛星で新センサーや新技術の確立を行い、その結果を静止軌道衛星に反映させていくサイクルが確立されていくと良いのではないかと考える。</p>
<p>緊急性 タイムリーさ</p>	<p>データ欠落期間の存在は、監視・予測や、気候研究および再解析プロダクト作成に支障をきたすため、切れ目のない衛星計画が求められる。</p>
<p>国際的分担</p>	<p>エアロゾル予測のための国際協力（ICAP）（参加機関：NASA, NOAA/NCEP, NRL, ECMWF, UKMO, BSC, JMA 等）や全球エアロゾルモデル相互比較プロジェクト（AeroCOM）等との連携。</p>
<p>予算</p>	<p>光学イメージャデータを用いた研究に対する予算としては、 科研費（基盤研究 B）「次世代静止衛星と数値モデルを融合したエアロゾル統合研究の新展開」（代表：弓本桂也） 宇宙航空研究開発機構：第一回地球観測研究公募「全球エアロゾル予測システムにおけるデータ同化手法の構築」（代表：弓本桂也）など。</p>
<p>低コスト化への取り組み</p>	<p>エアロゾル観測のみを目的とした静止衛星の整備は現実的ではないが、次期静止気象衛星（ひまわり 10 号）搭載センサーの機能拡充で対応可能であると考えられる。例えば、ひまわり 8 号を前提とすれば、可視および近赤外の観測バンドを維持し、新たに近紫外の観測バンドを追加することで、観測の継続と陸上のリトリーバル精度の向上と吸収性エアロゾルの分離を行うことができる。</p>

B

	<p>極軌道衛星については</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 陸面（植生）、海洋、雲等多目的衛星としての提案 ✓ GOSAT やライダー搭載衛星等関係性の高い衛星への相乗りでコストの分散・削減が行えると考える。
将来展望	<p>AHI の成功は、今後の静止衛星に搭載された光学イメージャの大気エアロゾルへの積極的利用の促進を予感させる。</p> <p>GEMS や TEMPO 等、近紫外—赤外分光計を搭載した静止衛星が打ち上げ予定であり、静止軌道から大気微量気体の連続的な観測が可能となる。</p> <p>光学イメージャからは鉛直積分されたカラム量しか得ることができない、EarthCARE 等ライダー搭載衛星と複合利用することで、さらなるシナジー（水平分布+鉛直分布）が期待できる。</p> <p>ライダーやレーダーと複合利用と A-CCP への貢献。</p> <p>SGLI の偏光観測から、今までは難しかった陸上におけるエアロゾル光学的厚さの正確な推定だけではなく、その特徴（組成等）に関する情報を引き出せる可能性がある。得られる情報が増え、同化予測や再解析プロダクトの精度向上にも大きく寄与することが期待できる。</p>
実利用の可能性	<p>現在および数年スケール：</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ ひまわり 8 号から得られたエアロゾル光学的特性および、それを同化したエアロゾル輸送モデルの予測結果（気象庁気象研究所が提供）が JAXA の運用する web サイト（ひまわりモニタ）⁶⁾を通じて提供されている。 ✓ 気象庁が行っている現業黄砂予測にもひまわり 8 号のデータを用いた同化予測が導入される予定であり、黄砂や PM2.5 の監視・予測を通じて、国民生活の質や健康の向上への寄与が期待できる。 ✓ MODIS のデータを同化したエアロゾル版再解析データ（JRAero Version 1）がリリースされ、気候影響評価、海洋・陸域生態系の影響調査、疫学研究、衛星リトリーバルなど様々な分野で利用されている。 <p>※これらのミッションの継続にはイメージャー観測の継続が必須である。</p> <p>5 年～スケール：</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 紫外線予測や太陽光発電量予測の入力データとしての利用。 ✓ 光学イメージャのデータを同化して得られた高精度のエアロゾル予測を気象予報の境界条件に用い、エアロゾルによるフィードバックを正しく表現することで、気象予報の精度向上が期待できる。 <p>通常の衛星プロダクト（Level 2 および Level 3）に加え、モデルと強く結びついたプロダクト（Level 4；例えば、同化技術を応用したリトリーバル手法によって作成されたプロダクト）によって、地上付近 PM2.5 濃度等、実社会でより利用しやすいデータを提供する。</p>

B

参考資料

a) エアロゾル再解析プロダクト

エアロゾル版再解析プロダクト (JRAero)。光学イメージャ (MODIS) のデータをエアロゾル輸送モデルに同化することで作成されたエアロゾル4次元データセットで、大気環境動態解析、気候影響評価、疫学研究等々に利用されている。

<https://www.riam.kyushuu.ac.jp/taikai/JRAero>

b) ひまわりモニタ

AHI(ひまわり 8号)の観測データから得られたエアロゾル光学的厚さを準リアルタイムで表示。黄砂や PM2.5, 森林火災といったエアロゾルイベントの監視, 早期警戒に広く活用されている。11月より, エアロゾル光学的厚さを同化した数値予測の結果も掲載される予定である。

https://www.eorc.jaxa.jp/ptree/index_j.html

B

【第2回試行公募最終審査委員会による評価】

(グラウンドデザインB改訂での扱い)

新たな枠組みの提案

(最終審査コメント)

既存の日本の衛星だけでなく Sentinel-3 など海外の衛星も使って早期の実現が可能と思われるが、類似のデータセットとの違いの明確化が求められる。中長期的には、GCOM-C 後継提案との連携や、提案「気象・海洋・陸面予測を革新する高頻度衛星観測網の設計事前評価プラットフォーム」、「キロメートル級 SLCP イメージング分光観測：地球温暖化・大気汚染の同時軽減対策効果に関する静止衛星診断」と役割分担をした上で総合的な解析システムとしての実現を期待する。

B

4.3 全体俯瞰図

TF リモセン分科会において実施した第一回及び第二回試行公募の結果、短期計画についてその実現性と優先度の観点から第1期（2030年頃まで）、第2期（2030年頃以降）において実現すべきミッション、その先の中期計画に含めるべきミッション、技術実証目的のため短期計画には含めず技術実証ミッションという別カテゴリとしたミッション、さらには、衛星地球観測データの複合的利用やミッション検討支援のためのシステム研究開発といった、当初想定していた以上に広範なミッション提案が挙げられることとなった。

第二回試行公募結果を踏まえた公募結果の俯瞰図を以下に示す。以前から工程表に示されているひまわり後継ミッション、GOSAT後継ミッション、ALOSシリーズミッション以外に新しく立ち上げをしていくべきミッションとして、茶色の太線で囲ったミッションを提案している。

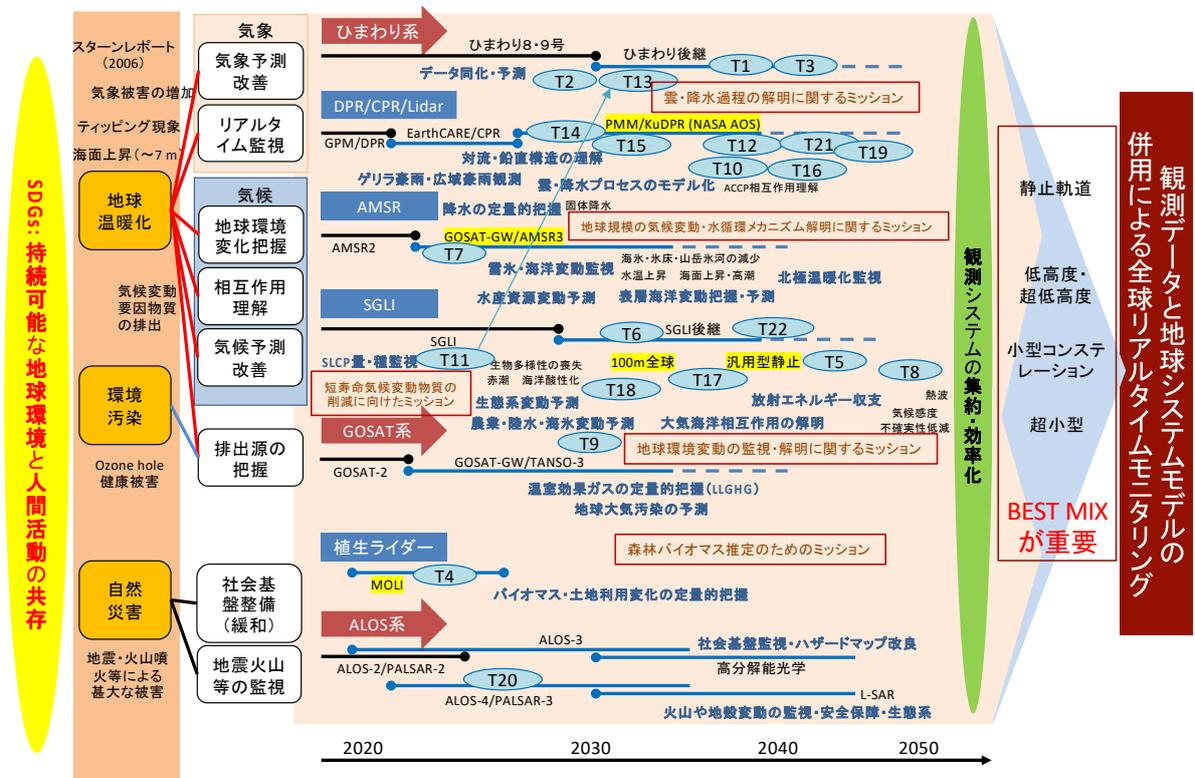


図9 第2回ミッション試行公募結果を反映した全体俯瞰図

なお、図中に示されたT1～T22は、第二回試行公募において提案された下記の案件となる。また、これらの提案に対して、時間的な優先度に基づく議論をTFとして実施し、その結果を地球観測衛星ロードマップ（短期ロードマップ）等に反映し、ミッション提案を関係府省などに行っていく。

番号	ミッション名	代表提案者	所属
T1	ひまわり後継機	中島 孝	東海大学 情報技術センター
T2	気象・海洋・陸面予測を革新する高頻度衛星観測網の設計事前評価プラットフォーム	三好建正	理化学研究所 計算科学研究センター
T3	静止衛星搭載雷センサ	牛尾知雄	大阪大学
T4	植生ライダー(MOLI)	浅井和弘	東北工業大学工学部情報通信工学科
T5	静止衛星と周回衛星複合観測による擬似高頻度高解像度観測の実現	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
T6	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(GCOM-C後継)	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
T7	マイクロ波リモートセンシングによる準リアルタイム水循環変動の監視と評価	鈴木和良	国立研究開発法人海洋研究開発機構
T8	全大気圏衛星観測 - 超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(SMILES-2)	塩谷雅人	京都大学 生存圏研究所
T9	高層大気化学・力学場の動態把握のためのFTS衛星観測ミッション	江口菜穂	九州大学 応用力学研究所
T10	雲レーダ・ライダーによるデュアルドップラー観測ミッション	岡本 創	九州大学 応用力学研究所
T11	キロメートル級SLCPイメージング分光観測:地球温暖化・大気汚染の同時軽減対策効果に関する静止衛星診断	笠井康子	情報通信研究機構
T12	ドップラー風ライダー(気象予測精度向上のための全球風観測ミッション)	石井昌憲	東京都立大
T13	多波長光学イメージャを用いた大気エアロゾルの監視,同化予測および再解析プロダクトの作成	弓本桂也	九州大学 応用力学研究所
T14	アクティブセンサによる雲降水観測ミッション	高橋暢宏	名古屋大学 宇宙地球環境研究所
T15	小型降水レーダコンステレーション	古川欣司	宇宙航空研究開発機構 衛星利用運用センター
T16	衛星搭載水蒸気観測用差分吸収ライダー(DIAL)の技術実証	阿保 真	東京都立大学システムデザイン研究科
T17	静止常時観測衛星	沖 一雄	東京大学 生産技術研究所
T18	静止衛星海色ミッション	石坂丞二	名古屋大学 宇宙地球環境研究所
T19	次世代降水観測レーダの技術実証	上土井大助	宇宙航空研究開発機構
T20	災害対応・ベースマップおよび環境モニタリングに関するミッション(その2)	山本 彩	日本リモートセンシング学会
T21	全球風観測プログラム	岡本 創	九州大学 応用力学研究所
T22	Role of Japan on polarization observations from space	中田真木子	近畿大学

B

4.4 その他の検討中のミッション

4.4.1 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。

4.4.2 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 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 6 次評価報告書,” IPCC, 2021-2022.
- [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/siry01.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.

B

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。~~

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