

# 地球観測グランドデザイン

A 改訂版

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)

2020/10/23

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			
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	4
3.1	気候変動問題への取り組み	5
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	温室効果ガス観測ミッション後継機	15
4.2.1.3	先進光学・先進 SAR（ALOS-3, ALOS-4）および後継機	16
4.2.1.4	HISUI	17
4.2.1.5	高性能マイクロ波放射計（AMSR3）	18
4.2.2	ミッション公募による新規の提案ミッション	19
4.2.2.1	第一期短期計画（～2030年ごろまで）に含めるべきミッション（5件）	23
4.2.2.2	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（4件）	46
4.2.2.3	中期計画で考慮すべきミッション（要素技術の開発や技術実証を進めるミッション（技術の研究開発、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ミッション））（8件）	51
4.2.2.4	技術実証を目的としたミッション（2件）	60
4.2.2.5	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もの（3件）	62
4.3	全体俯瞰図	64
4.4	そのほかの検討中のミッション	66
4.4.1	SMILES 後継機	66
4.4.2	散乱計・測地	66
4.4.3	海面高度計	66
	参考文献	68
	付録 A	69

# 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)」<sup>1</sup>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。

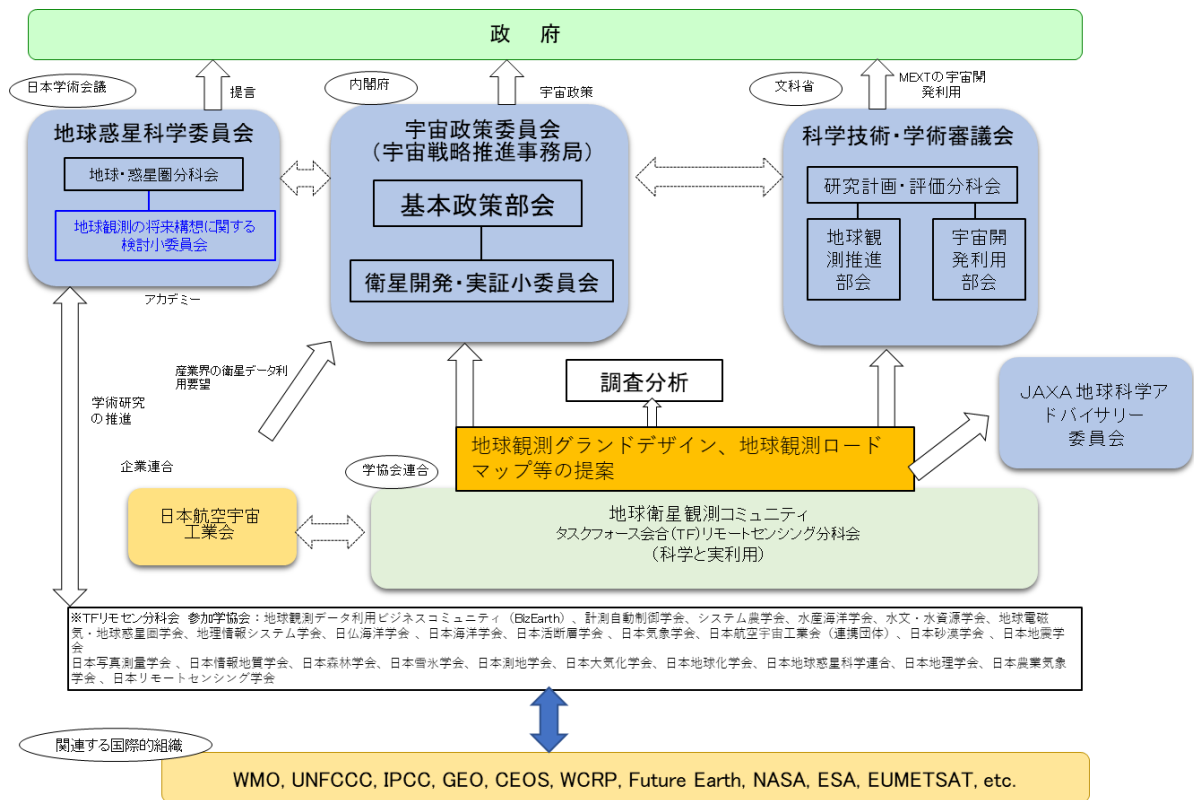


図 1 衛星による地球観測に関連する国内の組織

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

<sup>1</sup> 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。人類は今までに経験したことのないスピードの気候変動に直面し、実際にその影響は極端気象の増加などを通じて人間生活に影響を及ぼし始めている。

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

## 3 中長期計画

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

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

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

表 1 地球観測センサの種類

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

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

### 3.1 気候変動問題への取り組み

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

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

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

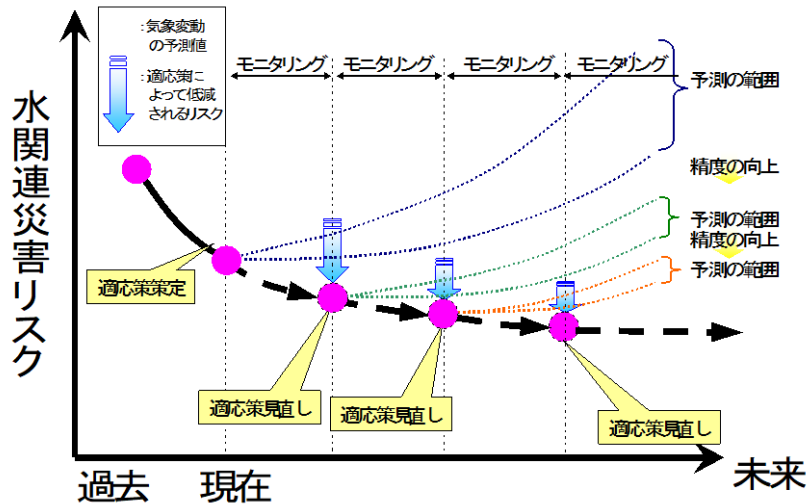


図 2 順応的なアプローチの採用 概念図

(出典 文献 [6] 56 ページ)

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

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

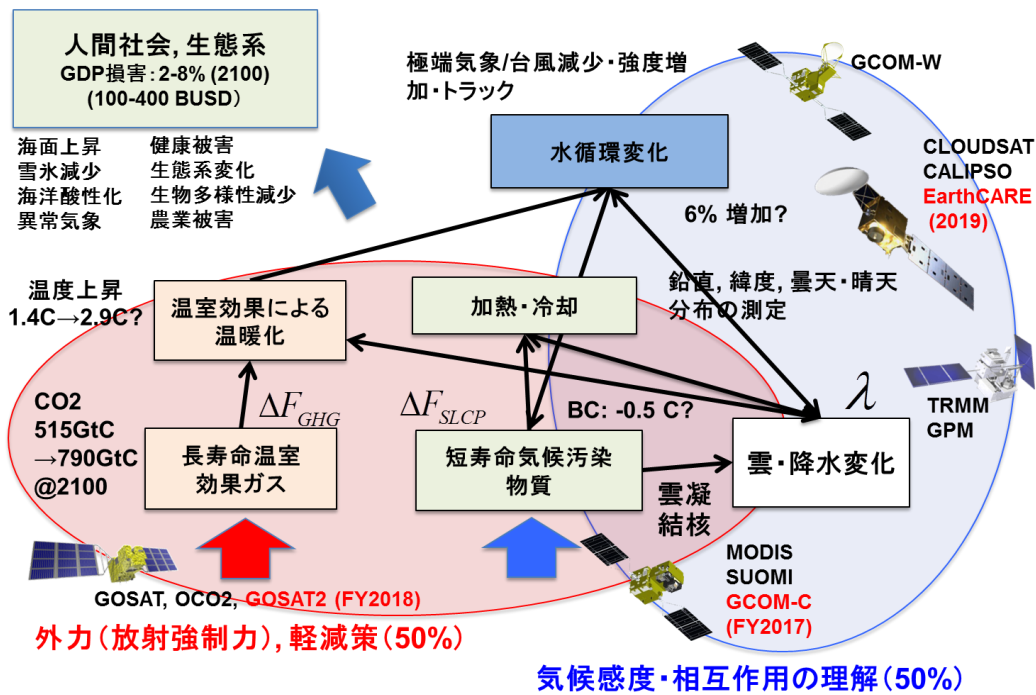


図 3 人為起源の気候変化要因と影響の関係性

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

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

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

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）。

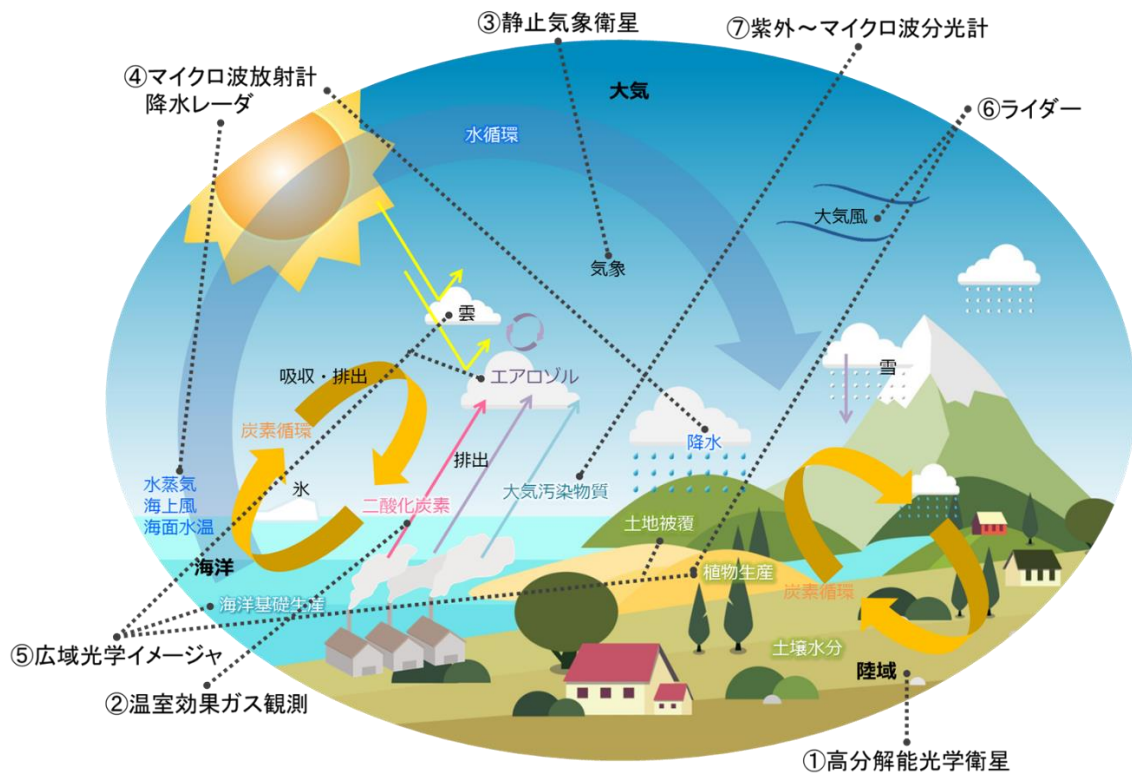


図4 複雑な地球表層環境を構成する要素と衛星地球観測の対応

### 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。

ブラジル/アマゾン流域におけるフィッシュボーン様  
森林伐採の12年間の拡大の一例

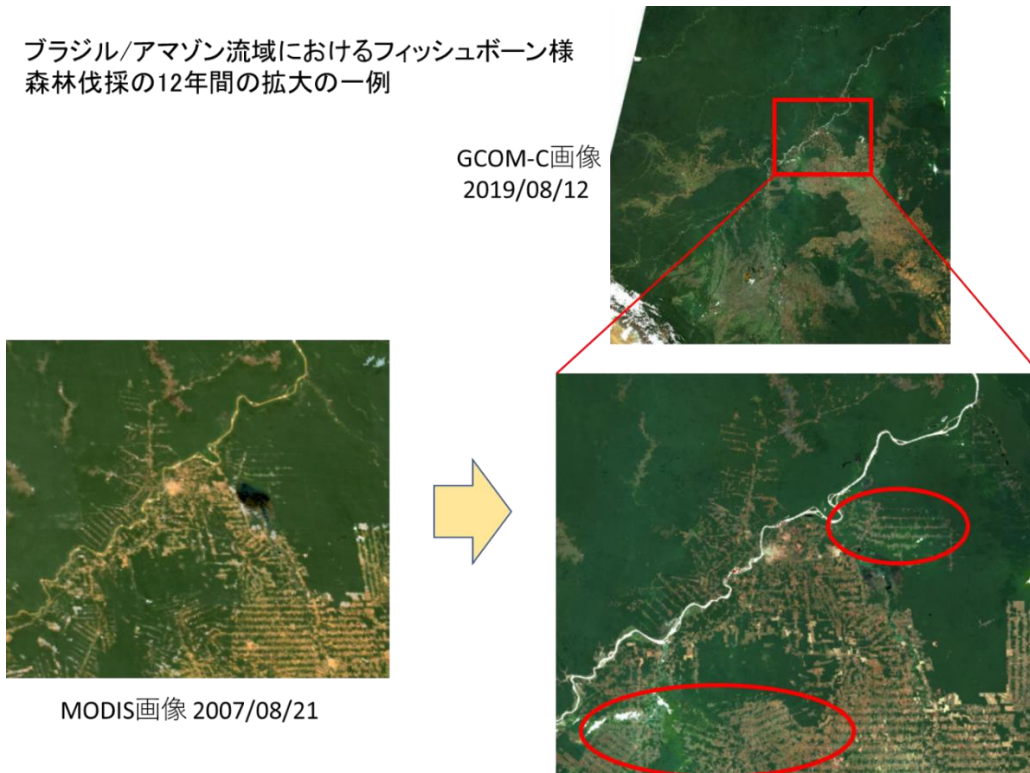


図5 ブラジルのフィッシュボーン・デベロップメント

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。

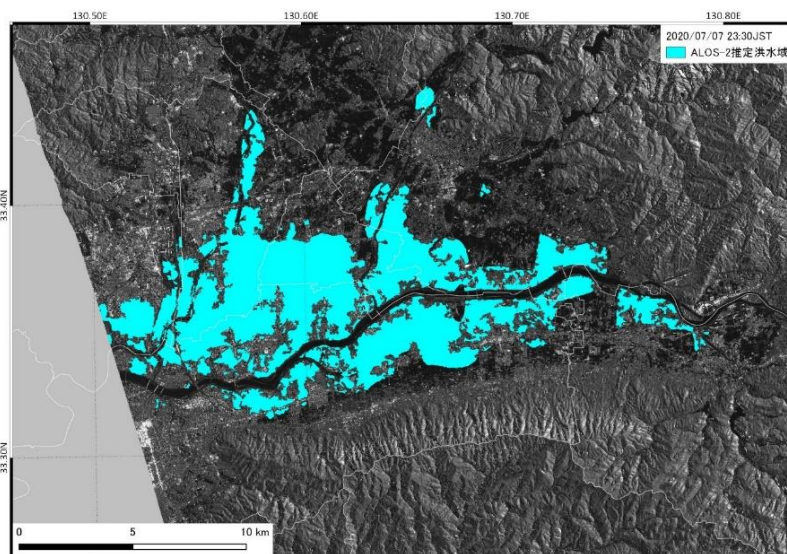


図6 2020年7月九州豪雨時の「だいち2号」PALSAR-2データから推定した浸水域(水色)  
©JAXA/EORC

A

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考えられる。

### 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たいと考える。

### 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

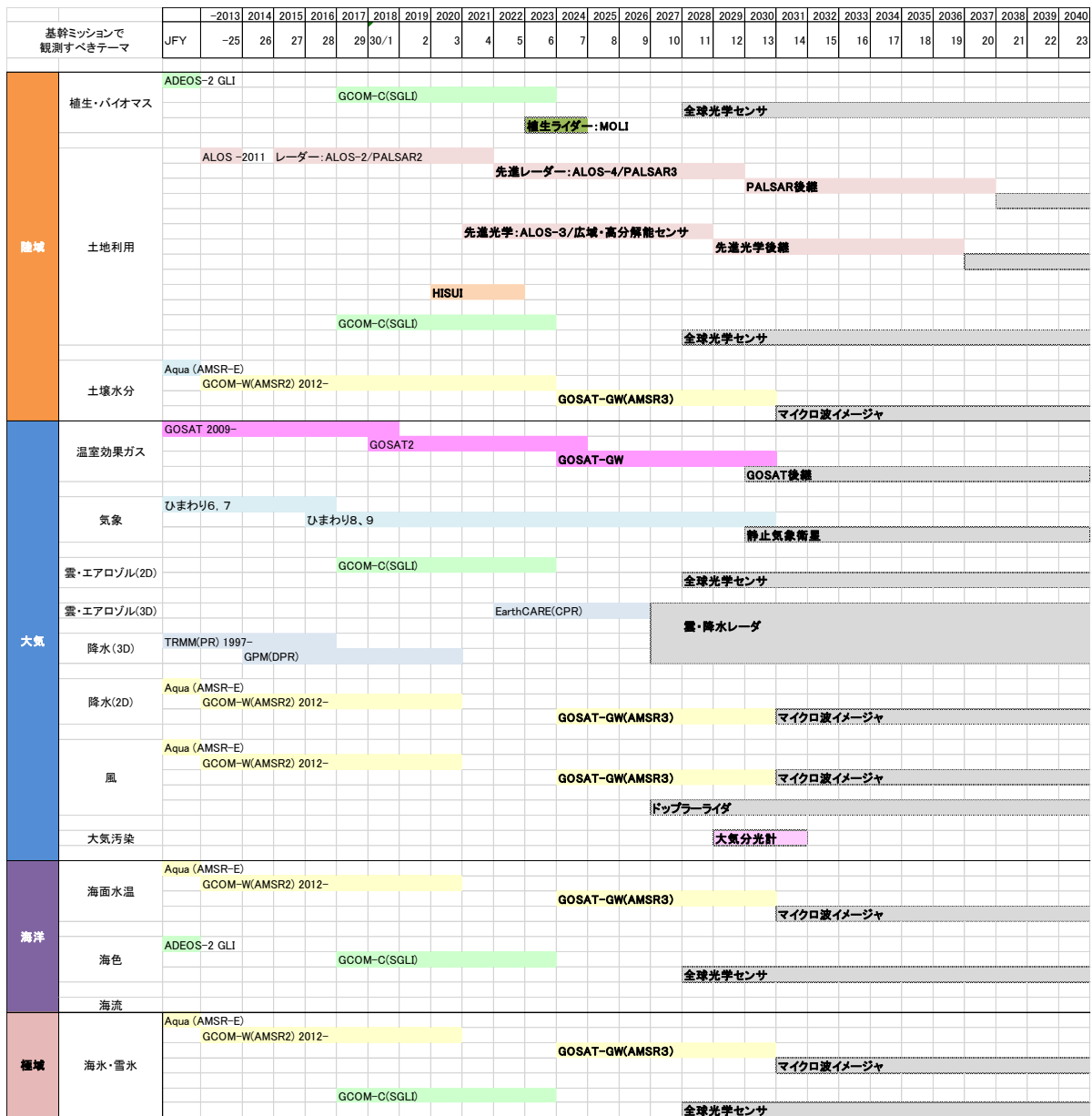
下の小型衛星、多センサ共用の中規模プラットフォームの定期的打上げなど、2t以上の専用衛星ミッション以外での観測実現機会も積極的に提案・活用していく。中長期計画の策定においては、低軌道衛星でのみ可能であった技術もその進展と効果を考慮したうえで静止衛星への移行も検討すべきである。センサの小型化は重要な技術課題であり、GPSのように多数の衛星に搭載することにより地球科学に貢献することは可能であるが、センサによっては原理的に小型化が不可能なものもある。センサの小型化をさらに進め100kg程度以下のマイクロサットに搭載するアイデアもある。軌道・姿勢制御、校正の面で適するミッションは限られるが、観測テーマ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。



A

図 7 中長期計画線表

## 4 短期計画

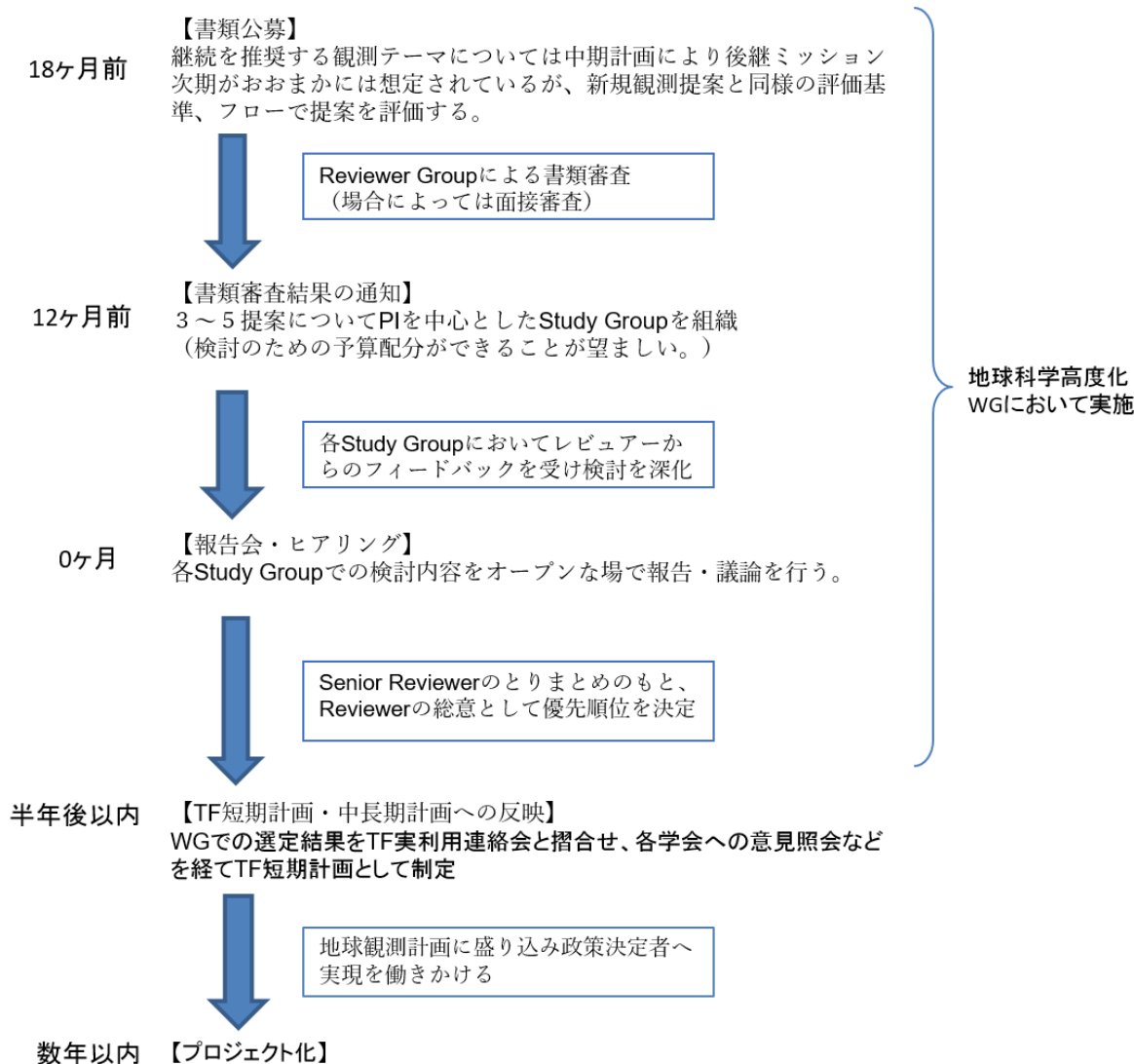
### 4.1 ミッションの選定方法について

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。

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

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





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

図 8 地球観測短期計画へのミッション反映までのフロー (案)

## 4.2 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、先進光学衛星、先進レーダ衛星、温室効果ガス観測ミッション後継機などが挙げられる。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。

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、特に米国のディケイ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。

A

#### 4.2.1.1 静止気象衛星（ひまわり後継機）

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

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

#### 4.2.1.2 温室効果ガス観測ミッション後継機

[1]より抜粋・一部改変。

温室効果ガスセンサに関しては、我が国が GOSAT 搭載 TANSO-FTS で最初の専用センサを開発し、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 及びメタン (CH<sub>4</sub>) の観測で、高精度を達成している。その後米国で OCO-2 が 2014 年に上がり、OCO-3 も 2019 年に ISS 搭載され、さらに静止軌道の民間通信衛星への搭載を目指した GeoCarb も計画されている。ESA では CarbonSat が採択されなかったが FLEX (FLuorescence EXplorer) の開発が計画中、CNES では micro-Carb と MERLIN (DLR との共同事業) の開発を計画している。更に Copernicus 計画の中で、Sentinel-7 の議論が始まっている。また、世界の温室効果ガス観測衛星の中で、近年は中国が 2016 年の TanSat を皮切りに 2017 年の FY-3D、2018 年の Gaofen 5 および 2021 年に打ち上げ予定の FY-3G など次々と CO<sub>2</sub> を観測する衛星の打ち上げ実績と計画などがある。

これに対し我が国では、GOSAT-2 を 2018 年に打ち上げ、二酸化炭素及びメタンの濃度観測精度向上のため、大都市など大規模排出源を集中して観測する機能の強化や雲なし地域を自動探索し観測する機能の新規追加、人間活動によって排出された二酸化炭素を特定する能力向上のため一酸化炭素 (CO) の同時観測を可能とした。更に後継機として、温室効果ガスセンサに加え、水循環変動観測のための高性能マイクロ波放射計 (AMSR3) の相乗り衛星となる温室効

A



果ガス・水循環観測技術衛星（Global Observing SATellite for Greenhouse gases and Water cycle : GOSAT-GW）が 2023 年度の打上げを目指して現在開発が行われている。

A

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

#### 4.2.1.3 先進光学・先進 SAR（ALOS-3, ALOS-4）および後継機

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

A

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。

A

先進光学衛星、先進レーダ衛星に続く 10~15 年後の後継衛星では、地上データやモデルと組み合わせて利用することで災害状況の把握のみならず、避難活動などによる被害の軽減対策にも衛星が組み込まれることを目指す必要がある。このため、サブメートル級の高分解像度光学データによる 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。

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」。(文部科学省等)へ対応した提案を行っていく必要がある。

A

#### 4.2.1.4 HISUI

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

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

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

このような状況の中、日本においても HISUI(Hyperspectral Imager SUite)の開発を進めてきた。HISUI は、2019 年 12 月に国際宇宙ステーション(ISS)の「きぼう」日本実験棟の船外プラットフォームへ設置され、これにより全球規模で観測可能なハイパースペクトルセンサが実現されることとなった。

A

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

#### 4.2.1.5 高性能マイクロ波放射計 (AMSR3)

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 としてミッション化に進んでいる（「また、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）」）。宇宙基本計画工程表においては、

「■ 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、2023 年度の打上げに向け、詳細設計を行うとともに、エンジニアリングモデル、プロトフライトモデルの製作・試験等を着実に進める。

■マイクロ波放射計の継続的な高度化に向け、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。」と記述されている。

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 (700 km→666 km) 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。

A

#### 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た。本公募は、2019年度版地球観測グランドデザインの「短期計画」にあたる衛星地球観測ミッション（2019年度から5年程度で実現あるいは開発に着手すべきミッション）について、科学研究・実利用のそれぞれの分野ごとに、3段階のミッション規模で提案を募集したものである（下表参照）。

規模 分野	1. プログラム 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	2. プロジェクト 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	3. 技術実証・小型 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（アイデアベース でも可）
A. 科学研究	カテゴリ <b>1A</b>	カテゴリ <b>2A</b>	カテゴリ <b>3A</b>
B. 実利用	カテゴリ <b>1B</b>	カテゴリ <b>2B</b>	カテゴリ <b>3B</b>

提案書に記述すべき項目については、下記のように1A及び2A用の項目とそれ以外用の項目とで様式を分けて実施した。これは、1A及び2A以外の提案については、ミッション提案の詳細がまだ定まっていない、あるいはビジネス展開する上で現時点では具体的な記述を避けたいというような事情を配慮したことによる。

[カテゴリ 1A・2A用]

期待される 科学の成果	地球科学での顕著な進展について記述
アウトカム	ミッションで得られる成果が、社会課題あるいはビジネスにどのような効果を与えるかについて記述
技術	①コア技術： ②優位性： ③成熟度： ④人材確保と育成：
開発体制	
研究体制	
関連団体	
継続性/新規性	
緊急性 タイムリーさ	次期短期計画で取り組むべき根拠について記述

A

国際的分担	
予算	直近の予算状況と想定されるスポンサーシップについて記述
コスト削減策	ミッション提案に反映済のコスト削減策について記述
将来展望	提案ミッションのさらに後継に関する研究テーマ, 時期, およびそのセンシング技術の進むべき方向性等について記述
実利用の可能性	

[カテゴリ 1B・2B・3A・3B 用]

フリーフォーマットにて、以下の推奨する記載内容について記述

- ・技術概要 (アイデアのみでも可)
- ・技術的新規性/優位性
- ・開発進捗
- ・想定するコスト
- ・技術的・実利用的展開

第1回試行公募は2018年9月3日に開始し、11月2日に締め切り、24件の提案を受け付けた。提案には個別ミッションのみならずデータ利用技術系の提案も含まれていた。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(2019年9月26日開催、委員長:中村健治)において議論し、あわせて第二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一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、本委員会の結果をふまえて、地球観測グランドデザインに必要な反映、特に科学的な見地になっ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。多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。また、HTV-Xを利用した実験についてはJAXA外部にも参加機会を提供されると非常に有益と考えられる。

第二回公募についても、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。

A

表 判定結果一覧

ア) 第一期短期計画（～2030年ごろまで）に含めるべきミッション
<ul style="list-style-type: none"> <li>・気候変動・全球水循環のモニタリングとメカニズム解明(AMSR3)</li> <li>・ひまわり後継機</li> <li>・植生ライダー（MOLI）</li> <li>・衛星搭載アクティブセンサによる降水観測</li> <li>・地球の健康診断-温暖化対策効果の早期検証と大気汚染実態把握のための SLCP イメージング分光計衛星コンステレーション</li> </ul>
イ) 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
<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・CO2 大規模点排出源観測衛星</li> <li>・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</li> <li>・小型降水レーダコンステレーション</li> </ul>
ウ) 中期計画で考慮すべきミッション（要素技術の開発や技術実証を進めるミッション（技術の研究開発、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ミッション））
<ul style="list-style-type: none"> <li>・高空間分解能 SIF/PRI 観測衛星の開発</li> <li>・静止常時観測衛星</li> <li>・二波長イメージングライダーを用いた森林資源量の推定</li> <li>・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）</li> <li>・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</li> <li>・多波長偏光・高スペクトル分解ライダー（全球エアロゾル・雲観測ミッション）</li> <li>・全球風観測プログラム</li> <li>・衛星搭載水蒸気測定用差分吸収ライダー（DIAL）の技術実証</li> </ul>
エ) 現時点では実現性が薄く再検討を要するミッション
該当なし
技術実証を目的としたミッション
<ul style="list-style-type: none"> <li>・次世代降水観測レーダの技術実証</li> <li>・円偏波 SAR の軌道上実証</li> </ul>

A

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

- ・ 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
- ・ 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
- ・ 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

以上

令和1年9月26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。

A

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、国際的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 第一期短期計画（～2030年ごろまで）に含めるべきミッション（5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については、すでに宇宙基本計画にプロジェクトとして実現していくことになっているものも考慮した上で、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。

##### 4.2.2.1.1 気候変動・全球水循環のモニタリングとメカニズム解明(AMSR3)

（宇宙基本計画の工程表に既掲載。高性能マイクロ波放射計3（AMSR3）。令和2年度の宇宙基本計画改訂において、温室効果ガス観測センサ3型(TANSO-3）と共にGOSAT-GW衛星に搭載するセンサの開発として工程表に加えられた。また、さらに将来の後継ミッションの検討のため、マイクロ波放射計の継続的な高度化も加えられた。）

提案者：江淵 直人（北海道大学）

ミッション概要：

①長期・継続的かつ高頻度・高解像度・全天候観測に基づいた気候変動に伴う全球水循環変動のメカニズムの解明、および②海水密接度・積雪深・海面水温・降水量・水蒸気量・土壌水分など長期モニタリングによる気候変動・全球水循環変動の監視を目的として、衛星搭載マイクロ波放射計の観測を提案する。

マイクロ波放射計は地表面・海面・大気から放出されるマイクロ波の信号を測定し、放射輝度温度から様々なアルゴリズムを使って物理量を算出する。日本のマイクロ波放射計はAMSRシリーズと呼ばれ、これまで世界をリードしてきたセンサであり、海外の将来計画にも匹敵するものがなく、技術的な優位性も高い。気候変動・全球水循環変動のメカニズムを解明するために必要となる変数を、世界トップの高解像度で観測・提供する。具体的には、AMSR2で実現した世界最高の空間分解能を持った6-89GHzの多周波・多偏波輝度温度観測に基づく全球水循環に関する物理量観測を継続・発展させる。同時に、新規に追加する高周波チャンネル帯（166/183GHz）によって、全球降水量の変動把握に必要なではあるがAMSR2では推定できなかった固体降水（降雪量）を観測する。さらに超解像処理技術によりAMSR2では約50km分解能で提供している海面水温プロダクトをAMSR3では約20km程度とし、沿岸約20km以遠が利用できる海面水温プロダクトの提供を目標としている。

AMSR2の観測データは、気象・水産業・船舶航行等の分野の現業利用にすでに組み込まれており、気象再解析データや全球海面水温マップ、全球降水マップ等の複合データに主要入力として利用されているため、現業利用ユーザからのミッション要求の声も大きい。

期待される科学の成果	<p>気候変動に伴う全球水循環変動の実態を把握し、そのメカニズムを明らかにすることを通して、将来予測と対策に貢献する。世界トップレベルの観測精度・空間分解能を持つAMSRシリーズでのみ可能となるサイエンスが期待される。例えば</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水蒸気量，降水量，海面水温，海上風速，土壌水分，海水密接度などの</li> </ul>
------------	---



	<p>主要物理量の高精度継続観測による Climate Data Record<sup>3</sup>※ の作成とそれを用いた気候変動・水循環変動のメカニズムの研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 海洋深層循環変動の解明につながる海氷の研究</li> <li>・ 短期予測モデルへのデータ同化（輝度温度，水蒸気量，降水量，土壌水分，海面水温，海氷密接度など）</li> <li>・ 気候予測モデルの初期値・境界条件，検証評価への利用</li> </ul>
アウトカム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 気象予報，防災分野における現業利用の継続および高度化</li> <li>・ 全球水循環変動・気候変動の予測精度向上</li> <li>・ 水資源管理，洪水・旱魃予測，農業への応用</li> <li>・ 沿岸域への漁場予測の拡張，水産資源管理：AMSR2 を含めた衛星データの利用により，約 16% の燃油節約が報告されている他，AMSR の観測データが停止すると，漁海況分布の精度が落ちることが利用者から報告されている。</li> <li>・ 極域航行支援：極域全域を 10 km 解像度で毎日モニタ可能なセンサとしては世界唯一であり，近年急速に増加している北極海航路（6000 万トン以上の輸送量を見込む）の最大の課題である海氷予測の精度向上に貢献できる。AMSR2 による短期の海氷予測情報の精度の向上や，現在は精度が低く実用に至っていない中・長期の海氷予測精度向上に向けた海氷モデルの改良に貢献することで，北極海航路の開拓・運用に対する我が国の存在感を後押しする。</li> </ul>
技術	<ol style="list-style-type: none"> <li>① コア技術：低周波チャンネルの空間分解能を維持するために 2 m の大型アンテナが必要，かつコニカルスキャンのための回転駆動機構により，広い観測幅（AMSR2 で 1600 km）を確保している。</li> <li>② 優位性：衛星搭載マイクロ波放射計としては世界最大である 2 m 径のアンテナにより可能となる 6 GHz 帯チャンネルは海面水温と土壌水分量の推定に用いられる。AMSR3 では 166/183 GHz 帯のチャンネルを加えることで，水蒸気推定精度向上や降雪観測を実現する。さらに 166GHz 帯偏波観測（TBD）により降雪推定を精緻化することを検討している。また，超解像技術により，空間分解能 20 km で沿岸 20 km 以遠に海面水温の観測域を拡大する。</li> <li>③ 成熟度：AMSR-E, AMSR, AMSR-2 の開発により十分成熟している。</li> <li>④ 人材確保と育成：AMSR-E, AMSR2 で設計製造を担ったメーカー技術者の世代交代の時期であり，継続できない場合はノウハウが失われる。</li> </ol>
開発体制	<p>JAXA による開発・GOSAT-3 との相乗りでの打上げ予定。2018 年 6 月にミッション定義審査（MDR）を完了し，同 9 月にプリプロジェクトチー</p>

<sup>3</sup> Climate Data Record：気候の変動性と変化を決定するのに十分な長さ，一貫性，連続性をもつ時系列に沿った測定（NCR:全米研究評議会による定義） [8]

	ムが設置されている。2019年2月にはシステム要求審査(SSR)を完了し、同10月に予定されているシステム定義審査に向けて準備を進めている。
研究体制	JAXA 研究公募を基本とした科学者コミュニティ, 米国 NOAA を中心とした米国 AMSR2 サイエンスチームとの連携, EUMETSAT をハブとした欧州気象機関との連携などの連携体制が整っている。
関連団体	水産海洋学会, 水文・水資源学会, 日仏海洋学会, 日本海洋学会, 日本気象学会, 日本雪氷学会, 日本地球惑星科学連合, 日本リモートセンシング学会, 日本写真測量学会, 漁業情報サービスセンター, 水産庁, 気象庁, 北極環境研究コンソーシアムなど
継続性/新規性	<p>継続性: AMSR-E, AMSR2 で約 15 年間のデータを蓄積済み。AMSR3 によって 6/10 GHz 帯の全球観測データは世界最長のデータレコードとなる。特に極域の海氷監視については信頼性の高いデータとして世界的に評価されている。</p> <p>新規性: 新たに 166/183 GHz 帯チャンネルを追加することにより, 固体降水(降雪量)の観測が可能になる。また, オーバーサンプリングによる超解像技術を低周波チャンネルに応用することにより, 海面水温の空間分解能を 20 km まで向上させることを試みる。</p>
緊急性 タイムリーさ	AMSR2 は 2012 年の打上げ後, 設計寿命の 5 年を経過し, 後期運用に入っている。AMSR2 運用停止前に AMSR3 を打上げ, 相互校正を行うことによって観測の継続性・整合性を確保するためには即座に開発に着手しなければならない。AMSR2 が AMSR3 運用開始前に停止した場合においても, 観測の空白期間を可能な限り短縮する必要がある。
国際的分担	NOAA は JPSS 計画にマイクロ波放射計を持たず, AMSR2 およびその後継センサを利用する計画であり, GCOM-W に対して行っているサポートを後継センサでも継続する予定。NOAA を始めとして WMO, CGMS, OOPC, SOOS 等の国際機関・枠組みからの AMSR2 後継ミッションへの要望あり。低周波数帯観測に必須の 2 m 級アンテナの実現が技術的に難しいため各国で開発できておらず, 全体的にユニカルスキャン型のマイクロ波放射計が減少傾向。AMSR2 は唯一の午後軌道のマイクロ波放射計として GPM 計画に加わっており, 全球降水マップの精度維持にも不可欠。
予算	平成 30, 31 年度予算要求に次期マイクロ波放射計の開発研究(要素試作試験等)に係る費用を計上。
コスト削減策	AMSR-E, AMSR2 で培った技術や知見を活用することで開発費用を抑える。加えて, GOSAT-3 と相乗りすることで衛星バスや打上げ費用などが合理化され, 総経費を圧縮可能。
将来展望	2 m 口径のマイクロ波放射計を継続できれば, 2020 年代においても世界トップの優位性を確保できるほか, 高周波チャンネルを追加することで, デファクトスタンダードを維持できる。AMSR3 の開発と同時に, さらに次の

	<p>世代のマイクロ波放射計に向けて、開発に時間のかかる大口径アンテナによる高解像度化や静止衛星搭載についての技術研究開始も必要。</p>
実利用の可能性	<p>一般社団法人漁業情報サービスセンターでは、NOAA 衛星等の赤外センサと AMSR シリーズのマイクロ波放射計で観測したデータを用いて表面水温の情報を提供している。この利用事例については、平成 25 年度宇宙開発利用大賞を受賞しており、燃油が 16% 節約できた、漁業の ICT 化に大きく貢献した、等の効果が評価された。我が国が漁業技術先進国として存在感を示すためには必要不可欠なセンサといえる。</p> <p>気象予報分野では、気象庁の数値予報システムで、AMSR のデータが継続して利用されており、気象予報の精度維持・向上のためには、AMSR3 の利用が必須である。AMSR のデータは NOAA や ECMWF、豪州気象局などの 10 の海外気象機関でも現業で利用されている。</p> <p>北極海航路の利活用の分野では、すでに、AMSR2 の海水観測データが、現状把握および短期・中長期の予測において利用されている。シベリア沿岸域の資源開発にともない北極海航路の利用が進めば、今後さらにこの分野での利用は拡大すると期待できる。そのためには、AMSR2 から AMSR3 以降のミッションへ安定・継続したデータ提供が必要不可欠である。</p> <p>土壌水分量のデータは既に農業モニタリングの一指標として、欧米の企業は利活用を始め、情報提供まで行っている企業も存在する。我が国のリモセン関連事業者でも、途上国の流域水循環モデルの構築にあたり AMSR2 データを利活用している事例がみられることから、途上国支援という位置づけからもデータの継続性は重要であると考えられる。</p>

【第 1 回試行公募最終審査委員会による評価】

(改訂グラウンドデザインでの扱い)

実施段階：確実な実現を求める

(最終審査コメント)

工程表に記載され、実施段階に移った。成果は幅広い分野へ波及する。マイクロ波放射計の優位性も高い。AMSR-2 の寿命を考慮して、いち早い打ち上げが推奨される。

【グラウンドデザイン初版での評価】

(総評)

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

(実利用の観点から)

一般社団法人漁業情報サービスセンターでは、NOAA 衛星の赤外センサと AMSR のマイクロ波放射計で観測したデータを用いて表面水温の情報を提供している。この利用事例については、平成

A

25年度宇宙開発利用大賞を受賞しており、高騰する燃油が16.1%節約できた、漁業の近代化により若い船頭が増加した等の効果が評価された。我が国が漁業技術先進国として、存在感を示す為には、必要なセンサといえる。気象予報分野では、気象庁の数値予報システムで、AMSRのデータが継続して利用されており、気象予報の精度維持・向上のためには、AMSR3の利用が必須である。

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

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

#### (議論：ミッションの方向性)

DMSF-F20のキャンセルを含めて、国際的にみてもマイクロ波イメージャの将来計画は少なく、AMSRシリーズ並みの大口径アンテナのものは存在しない。午後軌道にあるマイクロ波放射計はAMSRシリーズと中国のFY-3シリーズのみ(7GHz帯がなく、アンテナも小さい)であり、数値予報や全球降水マップ等でAMSRシリーズが果たしている役割が大きい。高周波チャンネルはSSMISやGMI、欧州のEPS-SG(2022年打上げ予定)など最近のマイクロ波放射計はすべて備えており、温暖化の影響による全球降水量の変動において重要な要素である高緯度の固体降水推定に必須であることが明らかになった。ただし、予算的な制約が存在する場合、AMSRシリーズのコア技術たる低周波チャンネルを重視し、シナジーをあきらめることにはなるが高周波チャンネルを非採用とするのはやむをえないと考える。

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

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

ンテナを開発する方向もある。AMSR2 観測とのギャップ軽減を最優先としている次期マイクロ波放射計では、開発期間的に実現が不可能だが、さらに将来に向けた技術開発として期待できる。

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

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

#### 4.2.2.1.2 ひまわり後継機

(宇宙基本計画の工程表に既掲載)

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 ヶ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_s.pdf))

([http://www.jma-net.go.jp/sat/satellite/riyoujigyokondan/201903\\_sensor.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、

A

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](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 1 回試行公募最終審査委員会による評価】

(改訂グランドデザインでの扱い)

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。

A

#### 4.2.2.1.3 植生ライダー (MOLI)

(森林バイオマス推定のためのミッション。工程表ではライダー観測技術について開発を見据えた研究の継続とされている。)

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 約50mφ@along-track, 約40m@cross-trackの近接したフットプリント間隔により, 傾斜角度および方位角を自己決定可能とする。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を目指す。

② 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。

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ようになる。</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"> <li>● 更なるレーザー送信機の長寿命技術の確立</li> <li>● 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</li> <li>● 大気ライダー（雲/エアロゾル、水蒸気、風ベクトル）</li> </ul>
技術	<p>① コア技術:世界的にも大きな技術課題であった大出力パルスレーザー送信機の長寿命化に成功（40mJ x 150Hz, 65 億レーザーショット数の実績を取得済）</p> <p>② 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と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>③ 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>④ 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<sup>4</sup>※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キャナ技術への発展

<sup>4</sup> 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

実利用の可能性	<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"> <li>● REDD+<sup>5</sup> (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。</li> <li>● 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。</li> <li>● 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</li> </ul>
---------	--

【第 1 回試行公募最終審査委員会による評価】

(改訂グラウンドデザインでの扱い)

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。

A

【グラウンドデザイン初版での評価】

(総評)

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

(実利用の観点から)

MOLI の特徴として、これまで取得が困難であった高精度な 3 次元構造情報の取得が可能であり、REDD+ 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。

<sup>5</sup>REDD+ : 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

(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CO<sub>2</sub>）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。

#### 4.2.2.1.4 衛星搭載アクティブセンサによる降水観測

(DPR 後継ミッション。「また、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) ) および改訂された工程表において、降水レーダ後継ミッションの検討着手とされた。) )

提案者：高橋 暢宏 (名古屋大学)

ミッション概要：

全球の雲・降水システムの理解とそのモニタリングを目的とする。気候変動による雲・降水システムの変化を正確に捉えるためにエアロゾル・雲・降水過程を総合的に把握する。また、これまでの長期的な高精度降水観測を継続することにより全球降水、さらに地球の水循環の理解に資する。これらの研究では数値モデルを用いた研究との連携を想定している。実利用として、気象・防災等多岐にわたる活用がなされている全球降水マップの提供を継続、高度化する。

このミッションでは、科学的・実利用的なニーズと技術発展を考慮して GPM 搭載二周波降水レーダを高度化したレーダ (DPR-2) を開発するとともに、NASA 等との連携により、雨雲の鉛直方向の動的情報や雲・エアロゾル観測を実現する。

期待される科学の成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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することにより気候変動の解明に資することができる。</li> </ul>
アウトカム	<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"> <li>●衛星降水レーダの高度化による効果： <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul> </li> <li>●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"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul> </li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>●全球水文モデル利用による効果： <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> </ul> </li> </ul> <p>以上により，日々の生活の利便性が図れるほかや淡水資源の効率的管理による生活・産業の安定にもつながる。また，気象・気候予測の向上により数日から数十年のタイムスケールでの備えと対処が可能となる（人命と財産の保護，レジリエンスな都市や経済活動の設計等）。</p>
技術	<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。</p> <p>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るが，科学研究・実利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> <ul style="list-style-type: none"> <li>① コア技術：アクティブフェーズドアレイレーダ技術と観測精度を保証する校正技術。ドップラー速度計測には，EarthCARE/CPR で培った技術を活用するが，アンテナ拡大のための技術開発が必要である。また，最新の固体増幅器（GaN など）の採用により感度向上を図る。</li> <li>② 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。</li> <li>③ 成熟度：PR, DPR で経験が蓄積されている。長期間の安定稼働の実績がある。</li> <li>④ 人材確保と育成：PR,DPR で設計製造を担ったメーカー技術者の世代交代の時期であり，継続できない場合はノウハウが失われる。</li> </ul>
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</p>

	<p>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、NASA (A)-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>
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～200 億。文部科学省予算を想定。</p>
コスト削減策	<p>KuPR については、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。</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。スピニアウト技術として、安価なレーダのコンステレーション衛星 (5～10 年以内)。社会的に最もインパクトを与えることが可能なのは静止軌道からの観測であり、現状での最終ゴールとなる (10～20 年後)。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>

**【第1回試行公募最終審査委員会による評価】**

(改訂グランドデザインでの扱い)

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。

**【グランドデザイン初版での評価】**

(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。

#### 4.2.2.1.5 地球の健康診断-温暖化対策効果の早期検証と大気汚染実態把握のための SLCP イメージング分光計衛星コンステレーション

(SLCP イメージング分光計 (APOLLO, uvSCOPE))

提案者：笠井康子 (情報通信研究機構)

ミッション概要：

人間活動により排出される短寿命気候汚染物質 (SLCP (注)) のインベントリ把握を行う世界衛星コンステ計画である。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)。また、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 レポート 2012)、これは交通事故死者数の約 3 倍に相当する。特に我が国の早期死亡者率は OECD 国で最高レベルにあり事態は深刻である。また、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。本提案 SLCP イメージング分光計 (UV/VIS/SWIR) は、太陽非同期の低軌道衛星に搭載、世界で初めての高水平分解能 (目標：水平分解能 1~2km)、日変化観測を実現する。さらに追加機能として MIR+MW 分光観測シナジーにより、地上付近 SLCP (特に健康被害に影響のあるオキシダント) 検出を提案する。空間分解能と観測ローカルタイム (LT) から本センサは世界の大气汚染衛星観測の「標準機」としての機能を有し、本機の存在により、世界衛星を結んだコンステレーションが可能になる。これにより、世界中の衛星データを統合し、最高水準の科学的知見を得て、エビデンスに基づく施策を促すものである。

(注) ここでは SLCP として、対流圏オゾンと前駆物質としての NO2, ブラックカーボン, PM2.5 を想定。

期待される科学の成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 世界 SLCP 観測衛星の均一なクオリティでのデータ統合</li> <li>● SLCP 排出源の特定モデルと合わせた排出量の実態把握とプロセス解明。</li> <li>● 健康評価や温暖化評価に重要であるもののこれまで抽出が困難であった対流圏オゾンについて、役割の異なる地表付近、自由対流圏、上部対流圏を分離し、動態の解明と影響度の評価を実施。</li> <li>● アジアにおけるエアロゾルについて、ブラックカーボンや PM2.5 など、気候や健康に影響を及ぼすエアロゾルの広域的な分布や時間変動を解明。</li> </ul>
アウトカム	SLCP 実態把握によるホットスポット排出源検知。大気汚染状況把握による健康被害推定および予測。農地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、工業地域からの農地への SLCP 流入の実態把握と農作物被害の軽減手法開発への貢献。地球温暖化施策への短期的

	<p>な効果検証,特に 2018 年に打ち出された IPCC 主導型 SLCP 排出インベントリ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.</p>
技術	<p>① コア技術:センサ開発では ODUS/OPUS 研究や EOS-CHEM, 静止軌道からの大気汚染ミッション観測の検討等により JAXA 等国内で検討された実績を有す. 本 TF 推薦ミッション第 3 位の実績. また, データ解析では UV/VIS/NIR と IR,MW を合わせたシナジーリトリバルなどの実績を有す. モデル解析では, 複数衛星を利用したデータ同化の実績.また, 地上評価検証の実績がある.</p> <p>② 優位性:日変化観測(太陽非同期)かつ低高度周回衛星搭載による高水平分解能観測は世界初. 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.</p> <p>③ 成熟度:UV/VIS/SWIR は ODUS/OPUS 開発の実績. 広空間分解能センサは欧米では気象衛星搭載されるほど成熟している. 赤外 MIR は IMG, GOSAT など FTS 搭載の実績. 欧米では TES, IASI と協力関係にある.MW は SMILES, JUICE/SWI, Terex シリーズ開発の実績.</p> <p>④ 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, ウェザーニュースなどでもビジネス化を促進.こういった衛星データサイエンス人材育成に貢献. 大学や国研による先進的衛星開発人材の確保.</p>
開発体制	<p>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</p>
研究体制	<p>日本・海外の研究機関や大学 (NICT, JPL, ブレーメン大学 etc.) による国際的な協力体制を整備. 大気化学会のバックアップ.</p> <p>サイエンスリーダー:金谷有剛 (JAMSTEC)</p> <p>検証リーダー:谷本浩志 (NIES)</p> <p>測器リーダー:研究レベルでは JAXA とブレーメン大学</p> <p>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.</p>
関連団体	<p>日本大気化学会, 大気環境学会, エアロゾル学会, 日本気象学会, 日本リモートセンシング学会, 日本地球惑星科学連合など. NIES, JAMSTEC, NICT.</p>
継続性/新規性	<p>新規性:日変化観測(太陽非同期)かつ低高度周回衛星搭載による 1km 級高水平分解能観測は世界初.</p> <p>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.</p>

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°C特別報告書(2018)にもあるように対策は喫緊である。また、各 SLCP 施作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ネットワーク観測が重要。
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、日本はピンポイントな時間ではあるが太陽非同期軌道により各 Local Time におけるグローバルな、そして高分解能 (1～2km) Human Activity 実態把握を行う。これにより世界衛星観測の「標準観測データ」提供者として、国際政策に対しイニシアチブをとる。これらの衛星群全体をコンステレーションととらえ、標準化した全データを統合して用いるデータ同化解析システム等により、世界を牽引しつつ最高水準の科学的知見を得る。
予算	1 測器 3～20 億程度(UV/VIS/NIR, MIR, MW それぞれ) 現在は文科省などの競争的資金や運営費交付金による基礎技術開発。今後は GOSAT-III など、各省による大型センサ開発のほか、民間小型衛星による多数展開を期待。
コスト削減策	それぞれの技術は熟練した完成されたものであり、「早く・安く・軽く」が技術課題
将来展望	分光計の静止衛星・小型衛星への搭載。政府が作る標準衛星を軸に、民間の小型衛星群が多数展開することが望ましい。将来的には同分光技術を用いたひまわり 10 号,11 号などの静止衛星に搭載するセンサを開発し、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。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。 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。

【第 1 回試行公募最終審査委員会による評価】

(改訂グランドデザインでの扱い)

短期計画

(最終審査コメント)

A

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。

A

#### 【グランドデザイン初版での評価】

(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。

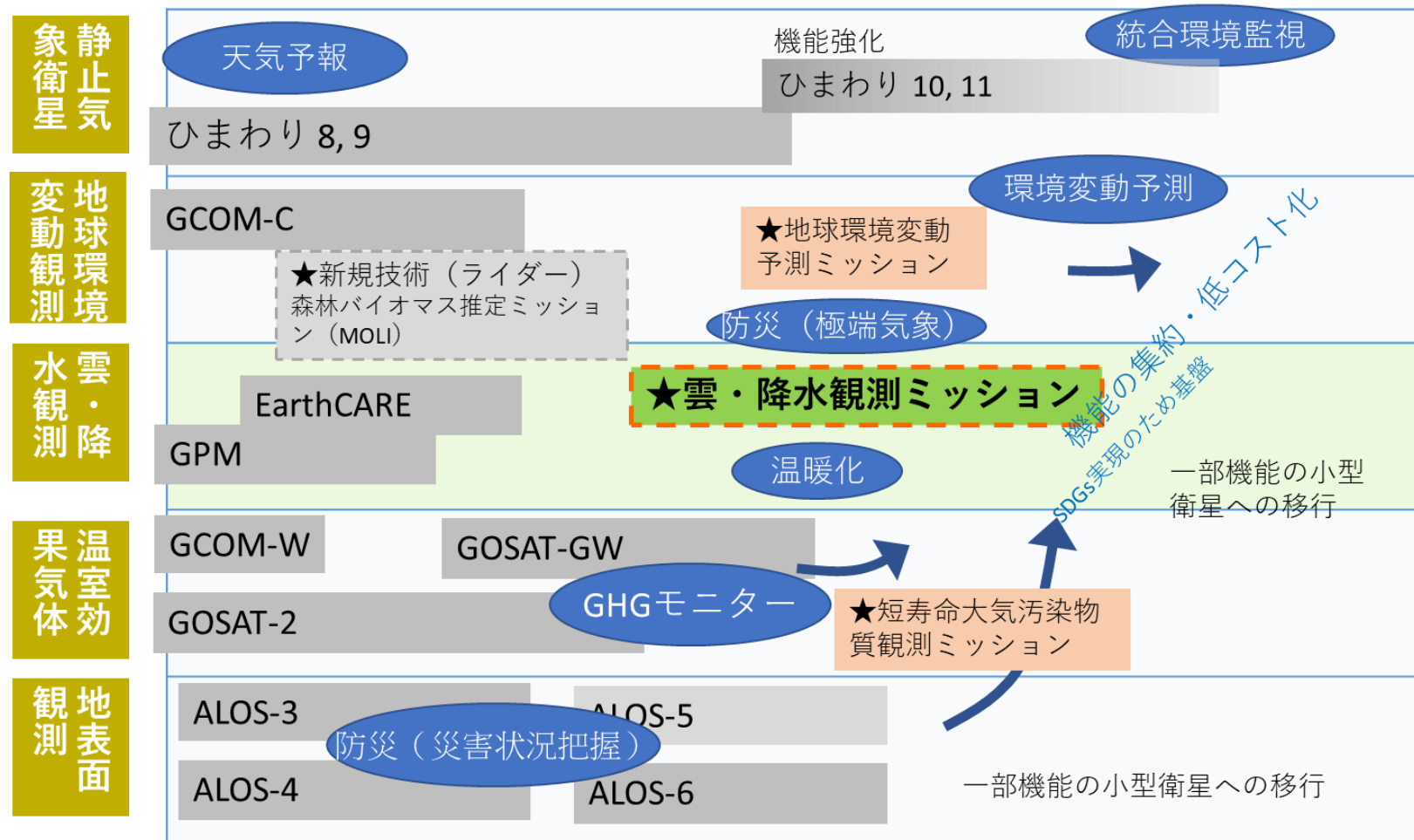
(議論：ミッションの方向性)

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 O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>, 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、N<sub>2</sub> 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。

#### 4.2.2.1.6 短期ロードマップ

4.2.1, 4.2.2 を考慮し、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たち、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。



#### 4.2.2.2 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(4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4件を推奨する。

A

##### 4.2.2.2.1 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

(広域光学イメージャ(GCOM-C後継ミッション))

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。

#### 【第1回試行公募最終審査委員会による評価】

(改訂グランドデザインでの扱い)

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。

A

#### 【グランドデザイン初版での評価】

(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、

自国で持つておく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おり、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。



#### 4.2.2.2.2 CO2 大規模点排出源観測衛星

提案者：大山 博史（国立環境研究所）

ミッション概要：

本衛星の目的は、火力発電所のような二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の大規模点排出源からの CO<sub>2</sub> 排出量をモニタリングすることである。

世界のエネルギー起源 CO<sub>2</sub> 排出量の約 4 割を占めている火力発電所や製鉄所からの CO<sub>2</sub> 排出量を衛星観測により定量化するためには、拡散されるプルーム（CO<sub>2</sub> を多く含んだ空気塊）中の CO<sub>2</sub> 濃度を高い空間分解能で測定する必要がある。そのために、回折格子を用いたイメージング分光計と GOSAT シリーズで培ったポインティング機能により、0.76 及び 1.6 μm 帯の地表面散乱太陽光スペクトルを 500 m × 500 m 以下のフットプリントサイズで特定点方式により（大規模点排出源周辺を 2 分程度連続して）測定する衛星を提案する。

A

##### 【第 1 回試行公募最終審査委員会による評価】

（改訂グランドデザインでの扱い）

短期計画

（最終審査コメント）

回折格子を用いた高性能センサの研究開発を進める段階と思われる。GOSAT シリーズに本提案のような高分解能を実現する技術が生かされ温暖化対策に貢献することが考えられる。

#### 4.2.2.2.3 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

(ALOS-3、ALOS-4 の後継機に関するミッション)

提案者：石塚 直樹（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・継続的な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 の系譜となる光学および SAR センサは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、流氷、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。

Landsat シリーズが高く評価されるのは、継続性によるところも大きく、地球温暖化による環境変動、地球資源（鉱物資源、生物資源、水資源など）のモニタリングという観点からも ALOS シリーズの高分解能 センサ の継続はプレゼンスを上げることにつながる。

#### 【第1回試行公募最終審査委員会による評価】

(改訂グランドデザインでの扱い)

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。

A

#### 4.2.2.2.4 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）

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、様々な活用されている。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。

A

#### 【第1回試行公募最終審査委員会による評価】

(改訂グランドデザインでの扱い)

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。

4.2.2.3 中期計画で考慮すべきミッション（要素技術の開発や技術実証を進めるミッション（技術の研究開発、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ミッション））（8件）

#### 4.2.2.3.1 高空間分解能 SIF/PRI 観測衛星の開発

提案者：野田 響（国立環境研究所）

ミッション概要：

太陽光励起クロロフィル蛍光（SIF）およびPhotochemicalreflectance index（PRI）は植物の光合成活性を反映したリモートセンシング指標として注目されている。しかし、これらの指標は他の目的で設計されたセンサで副次的に観測されるにすぎない。本提案では、SIF と PRI を同一視野で、かつ高空間解像度で観測する小型衛星を新たに開発し、世界各地の地上 CO2 フラックス観測サイトを重点的かつ時間連続的に観測することを目指す。そして、これにより得られるデータから植物生理学的メカニズムに基づいた陸域生態系の一次生産量推定モデルを構築し、温暖化対策において緩和策および適応策の両面から貢献することを目指す。

#### 【第1回試行公募最終審査委員会による評価】

（改訂グランドデザインでの扱い）

将来に向けた要素技術開発・技術実証

（最終審査コメント）

航空機実験や地上実験に基づいて基礎技術検討を進め、衛星搭載センサに対する性能要求をはっきりさせることで実現性が高まる。GOSAT との関係も考慮すべき。実現すればニーズやアウトカムについてもさまざまな可能性が考えられる。

A

#### 4.2.2.3.2 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@パングロの分解能を持つ直径 3.6m 光学系を想定するが、後続機で主鏡分割を二重列に改良し、展開分割式直径 7.2m として、分解能を 3.5m に一気に向上する。

#### 【第 1 回試行公募最終審査委員会による評価】

（改訂グランドデザインでの扱い）

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。

A

#### 4.2.2.3.3 二波長イメージングライダーを用いた森林資源量の推定

提案者：平田 竜一（国立環境研究所）

ミッション概要：

本ミッションは、波形記録式レーザ測距計（ライダー）を搭載した極軌道衛星により、全球の樹冠高や森林バイオマスといった森林資源量の分布を高精度に観測し、炭素循環過程の解明や気候変動対策、生物多様性保全に資することを目的とする。従来の衛星搭載ライダー（ICESat/GLAS、GEDI、MOLI）にない新たに開発する技術として、発信レーザ光を変調することでレーザ照射範囲の森林資源量の空間分布を計測できるイメージング・ライダー、地盤面を高精度で捉える2波長ライダーの2つがある。空間分布を計測することにより、従来よりも高い精度でフットプリント内の平均樹冠高・平均バイオマスを捉えることができる。2波長のライダーを用いることで、樹冠と地盤高を従来よりも正確に捉えることが可能となり、より正確な樹冠高および森林構造の情報を得ることができる（図1）。また、これらのシステムにより、レーザー照射範囲内の地盤面形状が高精度で計測できるため、これまで大きな誤差要因であった斜面における樹冠高などの測定精度が大幅に向上することが期待される。このように、本ミッションにより、従来に比べて飛躍的に高精度な森林資源量の計測値を提供することを目標とする。樹高の予測精度はICESat/GLASで5m、MOLIの目標精度は3mであるのに対し、本ミッションでは1mの精度を目指す。

ライダー観測点はポインティングを行うため離散的な点での観測となるが、分解能0.5m程度のマルチバンドイメージャーで同時観測を実施し、データ融合処理を行うことによりライダー観測点以外でも30m程度の空間分解能で森林資源量のマッピングを可能にする。これにより、REDD+やMRVにおいて、植林事業などの個別事業におけるバイオマスを評価することが可能となる。

##### 【第1回試行公募最終審査委員会による評価】

（改訂グランドデザインでの扱い）

将来に向けた要素技術開発・技術実証

（最終審査コメント）

MOLIの成果を受けての開発開始が好ましい。森林のみならず雪氷等を計測できる可能性もある。

A

#### 4.2.2.3.4 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：2020年8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。これらを応用した、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。しかし、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。また数値予報では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するのみである。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。一方で、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。これを用いることで、現在の衛星観測システムの問題点（透き間）を解決する。本提案は、DWLを用いて全球規模で風ベクトル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、特に数値予報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じ、航空機や船舶の運航計画の最適化に応用し、燃料・CO<sub>2</sub>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。

#### 【第1回試行公募最終審査委員会による評価】

（改訂グランドデザインでの扱い）

将来に向けた要素技術開発・技術実証

（最終審査コメント）

A

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。

A



#### 4.2.2.3.5 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 355nm, 532nm, 1064nm の 3 波長で観測を行い、高スペクトル分解(HSRL)は最小で波長 532nm の 1 波長で（最大で 355nm を加えた 2 波長）で実現し、偏光解消度は 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。

A

#### 【第 1 回試行公募最終審査委員会による評価】

(改訂グランドデザインでの扱い)

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。

#### 4.2.2.3.6 多波長偏光・高スペクトル分解ライダー（全球エアロゾル・雲観測ミッション）

提案者：西澤 智明（国立環境研究所）

ミッション概要：

高スペクトル分解ライダー技術（High spectral resolution lidar (HSRL)技術）と偏光測定技術を複合利用した、多波長偏光 HSRL アクティブセンシングによる全球のエアロゾル・雲（以下、大気粒子）の鉛直プロファイルの観測を提案する。紫外～可視～近赤外波長域における多波長（355, 532, 1064nmを想定）での偏光・HSRL測定を実現し、大気粒子の多波長・多パラメータ同時測定を行う。高精度かつ革新的な情報量により、データ同化技術や気候モデルの飛躍的な高度化、そして大気粒子に関わる気候変動の再現・予測精度の向上に資すると共に、宇宙基本計画における「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。また、本提案のライダーは、CALIPSO 衛星搭載ライダーCALIOP（2006年以降、現在も運用中）や EarthCARE 衛星搭載ライダーATLID（2021年打ち上げ予定、運用計画は3年）による国際的な全球大気粒子ライダー観測ミッションの後継センサーとしての役割を担い、EarthCARE以降計画のない衛星搭載ライダー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。

A

##### 【第1回試行公募最終審査委員会による評価】

（改訂グランドデザインでの扱い）

将来に向けた要素技術開発・技術実証

（最終審査コメント）

実現すれば高度な科学的成果が期待されるので、ライダーミッションの中で適切な開発ロードマップに位置付ける。

#### 4.2.2.3.7 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。

A

##### 【第1回試行公募最終審査委員会による評価】

（改訂グランドデザインでの扱い）

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。赤外サウンダー（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。

#### 4.2.2.3.8 衛星搭載水蒸気測定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：2020年8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及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、衛星搭載水蒸気測定用差分吸収ライダー (DIAL) の技術実証を行う。

A

##### 【第1回試行公募最終審査委員会による評価】

(改訂グランドデザインでの扱い)

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。

#### 4.2.2.4 技術実証を目的としたミッション（2件）

##### 4.2.2.4.1 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：牛尾 知雄（首都大学東京：提案時、大阪大学：2020年8月現在）

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。

##### 【第1回試行公募最終審査委員会による評価】

（改訂グランドデザインでの扱い）

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ので、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。

A

#### 4.2.2.4.2 円偏波 SAR の軌道上実証

提案者：久世 宏明（千葉大学）

ミッション概要：

現在小型円偏波 SAR 衛星の開発を進めているが、円偏波 SAR の航空機搭載による実証が成功したので、次のステップである軌道上での円偏波 SAR の実証を実施する。

小型円偏波 SAR 衛星は、千葉大学が独自に開発した円偏波合成開口レーダセンサを搭載する 100 kg クラスの小型衛星であり、火山活動に対する防災・減災機能の強化をはじめ、活断層、土砂崩れ、地震被害地域などの観測等のグローバル環境・災害監視、また新たなデータ利用等を創出し、衛星データ利用分野に関する質の高い教育研究を実現することを目的とする軌道上衛星システムである。

##### 【第 1 回試行公募最終審査委員会による評価】

（改訂グランドデザインでの扱い）

将来に向けた要素技術開発・技術実証

（最終審査コメント）

大学発の技術実証（小型）衛星ミッションとして検討・早期の実現を望む（ただし円偏波の優位性の評価が必要）。衛星システムの具体化に向けて周回衛星システム・衛星搭載 SAR の有識者との情報交換を TF として推奨する。

A

#### 4.2.2.5 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もの (3件)

公募当初は想定されていなかった提案内容として、データ利用技術系の提案が3件提出された。評価の結果、いずれも優れた提案であり検討の継続による深化が期待できる。また、今後新たな枠組み(カテゴリ)を公募時に設けることにより、より幅広く提案を募ることが重要である。

##### 4.2.2.5.1 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。

A

#### 4.2.2.5.2 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。

A



#### 4.2.2.5.3 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を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で実現されつつある。しかし、一般的に超小型衛星は設計寿命が短く、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。

#### 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。

第一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。

A

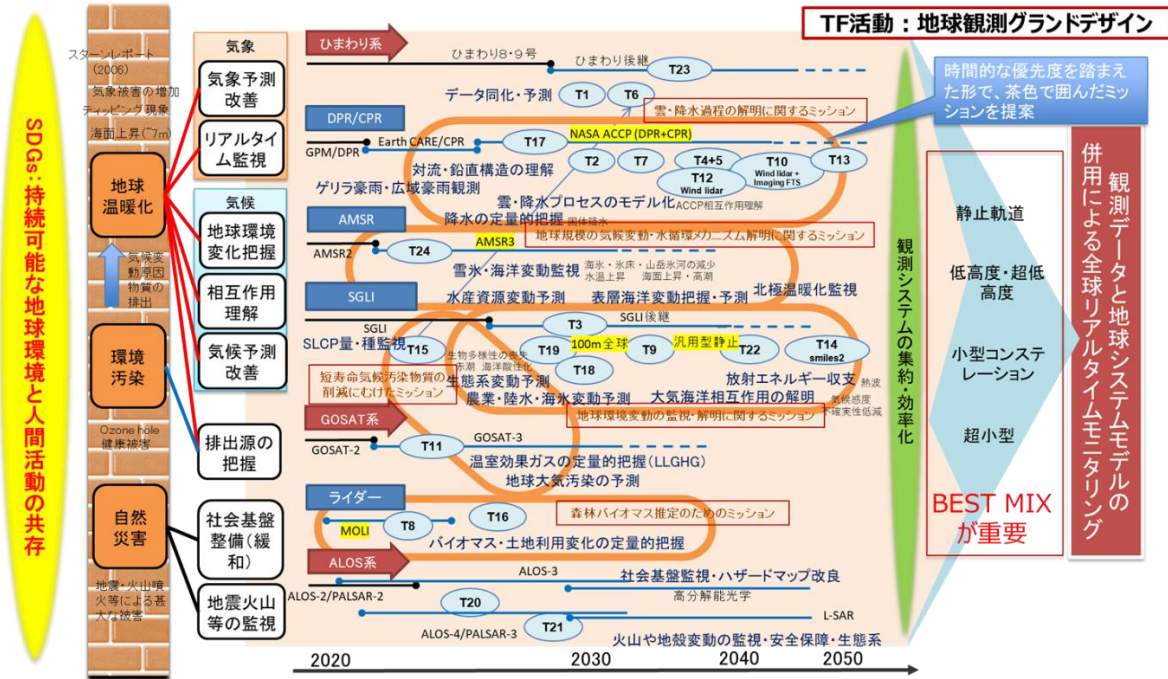


図9 第1回ミッション試行公募結果を反映した全体俯瞰図

なお、図中に示された T1~T24 は、公募において提案された下記の案件となる。

T1	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フォーム	三好建正	理化学研究所 計算科学研究センター
T2	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 第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター
T3	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	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
T4	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	国立研究開発法人 情報通信研究機構
T5	ドップラー風ライダー（航空・船舶運航業務効率向上のための全球風観測ミッション）	石井昌憲	国立研究開発法人 情報通信研究機構
T6	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
T7	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
T8	植生ライダー（MOLI）	浅井和弘	東北工業大学 工学部 環境エネルギー学科
T9	静止常時観測衛星	沖一雄	東京大学 生産技術研究所
T10	全球風観測プログラム	岡本 創	九州大学 応用力学研究所
T11	CO2大規模点排出源観測衛星	大山博史	国立研究開発法人 国立環境研究所 地球環境研究センター
T12	衛星搭載水蒸気測定用差分吸収ライダー（DIAL）の技術実証	阿保 真	首都大学東京
T13	次世代香水観測レーダの技術実証	牛尾知雄	首都大学東京
T14	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
T15	地球の健康診断-温暖化対策効果の早期検証と大気汚染実態把握のためのSLCPイメージング分光計衛星コンステレーション	笠井康子	国立研究開発法人 情報通信研究機構
T16	二波長イメージングライダーを用いた森林資源量の推定	平田竜一	国立研究開発法人 国立環境研究所 地球環境研究センター
T17	衛星搭載アクティブセンサによる降水観測	高橋暢宏	名古屋大学 宇宙地球環境研究所
T18	高空間分解能SIF/PRI観測衛星の開発	野田 響	国立研究開発法人 国立環境研究所
T19	多波長偏光・高スペクトル分解ライダー（全球エアロゾル・雲観測ミッション）	西澤智明	国立研究開発法人 国立環境研究所
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	石塚直樹	日本リモートセンシング学会
T21	円偏波SARの軌道上実証	久世宏明	千葉大学環境リモートセンシング研究センター
T22	静止衛星と周回衛星複合観測による疑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
T23	ひまわり後継	中島 孝	東海大学
T24	気候変動・全球水循環のモニタリングとメカニズム解明（AMSR-3）	江淵直人	北海道大学

#### 4.4 そのほかの検討中のミッション

##### 4.4.1 SMILES 後継機

地球科学の境界分野にも注目すると、現在は宇宙科学の主導する分野であっても地球科学への波及効果を持つようなミッションが存在する。国際宇宙ステーションの日本実験棟船外実験プラットフォームに取り付けられた「超伝導サブミリ波リム放射サウンダ」(SMILES: Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder) は、2009年から2010年にかけて中層大気領域の超高感度観測をおこなった。得られたデータ解析から成層圏オゾンの日変化をはじめて見いだすなど、これまでの衛星からの大気観測では精度の限界のために検出不可能であった事象を明らかにした。この成果を受けて、中層大気(成層圏・中間圏)から超高層大気(熱圏・電離圏)の温度場・風速場と大気微量成分を超高感度で観測する SMILES 後継機の検討が現在行われている。本ミッションについても衛星地球観測ミッション第1回試行公募において応募された(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)提案者: 塩谷 雅人(京都大学))が、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。しかしながら、最終審査会より「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。」とのコメントが出された。このような境界分野の衛星観測も地球科学の一層の深化に重要であると考え、実現に向けて協力していくことが肝要である。

A

##### 4.4.2 散乱計・測地

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

地球の形・回転・重力を測定する測地学ミッションは、測地基準座標系や高精度ジオイドといった地球観測の基盤を与えるものであり、また、表層下を含めたり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。

##### 4.4.3 海面高度計

海面高度計は、観測点が衛星直下に限定されるものの、海流変動・波浪分布・平均海水位上昇などの観測に加え、低気圧の発達に重要な海面貯熱量や海上ジオイド取得など、様々な分野で重要な役割を果たしている。日本での独自開発・運用の実績はないが、日本の得意とする干渉 SAR 技術を用いることで、これまで得られたことのない面的な海面高度分布を取得する新型高度計

を開発できる可能性がある。この情報は、水産業や海運、海底探査などにも有益なため、将来において、国際協力を含めて日本の地球観測の可能性を探るべきと考える。

## 参考文献

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

## 付録 A

### 今後の宇宙開発体制のあり方に関するタスクフォース会合 参加学協会一覧

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

- ・ 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