

## 5 研究推進のために必要な施策・組織

### 5.1 研究推進のために必要な施策

この章では、2-4 章で挙げられた各研究課題を解明するための施策を挙げる。これらの施策は全学会員にアンケート調査を行うことにより得られたものであり、

- 5.1.1 飛翔体計画
- 5.1.2~5.1.4 地上施設整備・観測計画  
(予算規模によって大型(5.1.2節)、中型(5.1.3節)、小型(5.1.4節)に分類)
- 5.1.5 技術開発
- 5.1.6 センター整備

に分かれている。以下に、まず全ての施策を表としてまとめる。それ以降のページに、各施策の詳細の記述を述べると共に、それぞれの記述の最後に、原則1枚のまとめ図と連絡先担当者をつける。

節番号	タイトル	カテゴリ	連絡担当者所属	連絡担当者
<b>5.1.1</b>	<b>衛星計画</b>			
5.1.1.1	惑星科学、生命圏科学、および天文学に向けた紫外線宇宙望遠鏡計画(LAPYUTA)	衛星計画	東北大学	土屋史紀
5.1.1.2	BepiColombo プロジェクト(日欧共同国際水星探査計画)	衛星計画	宇宙航空研究開発機構	村上豪
5.1.1.3	JUICE 計画への参加	衛星計画	宇宙航空研究開発機構	齋藤義文
5.1.1.4	国際宇宙探査計画と連動した火星宇宙天気・気候・水環境探査(MIM)計画	衛星計画	東京大学	関華奈子
5.1.1.5	MMX 火星圏観測計画	衛星計画	東京大学	今村剛
5.1.1.6	小型衛星群による大気圏-電離圏観測	衛星計画	宇宙航空研究開発機構	児玉哲哉
5.1.1.7	衛星・惑星内部構造推定を目的とした電磁探査	衛星計画	東京大学地震研究所	清水久芳
5.1.1.8	地球磁場観測衛星	衛星計画	東京大学地震研究所	清水久芳
5.1.1.9	編隊飛行による地球電磁気探査衛星計画(FACTORS)	衛星計画	名古屋大学太陽地球環境研究所	平原聖文
5.1.1.10	NEO-SCOPE 計画	衛星計画	宇宙航空研究開発機構	齋藤義文
5.1.1.11	ジオスペース探査衛星(ERG)計画	衛星計画	宇宙航空研究開発機構 名古屋大学	篠原育 三好由純
5.1.1.12	Comet Interceptor 計画	衛星計画	東京大学	笠原慧
<b>5.1.2</b>	<b>大型地上施設整備・観測計画</b>			
5.1.2.1	海洋科学掘削 2050 サイエンスフレームワーク	観測計画	海洋研究開発機構(JAMSTEC)	木戸ゆかり
5.1.2.2	国際陸上科学掘削計画	観測計画	海洋研究開発機構(JAMSTEC)	木戸ゆかり
5.1.2.3	太陽地球系結合過程の研究基盤形成	観測計画 施設整備	京都大学生存圏研究所	山本衛
5.1.2.4	EISCAT_3D レーダー	施設整備	国立極地研究所	先端的レーダー研究推進センター
5.1.2.5	南極昭和基地大型大気レーダー(PANSY)を中心とした南極重点研究観測	観測計画	東京大学 国立極地研究所	佐藤薫 堤雅基 富川喜弘

<b>5.1.3</b>	<b>中型地上施設整備・観測計画</b>			
5.1.3.1	日本列島周辺での大規模アレイ状電磁観測計画	観測計画	京都大学	後藤忠徳
5.1.3.2	赤道MUレーダー	施設整備	京都大学生存圏研究所	山本衛
<b>5.1.4</b>	<b>小型地上施設整備・観測計画</b>			
5.1.4.1	大学中・小型望遠鏡群による惑星観測計画－惑星変動現象の飛翔体連携観測と系外惑星の大気成分検出に向けて	施設整備	東北大学	坂野井健
5.1.4.2	太陽系・系外惑星大気の精密観測のための赤外高分散分光技術開発－惑星大気物理過程の多角的理解に向けて	施設整備	東北大学	坂野井健
5.1.4.3	HF～VHF 帯大型アレイ・アンテナ計画	施設整備	東北大学	三澤浩昭
5.1.4.4	UHF 帯高感度・広帯域偏波スペクトル計開発	施設整備	東北大学	土屋史紀
5.1.4.5	赤道・低緯度 SuperDARN レーダー装置	施設整備	名古屋大学宇宙地球環境研究所	西谷望
5.1.4.6	次世代太陽風観測装置による革新的太陽圏科学の実現	施設（観測網）整備	名古屋大学宇宙地球環境研究所	岩井一正
5.1.4.7	ライダーおよびレーダーによる極域大気上下結合の研究	施設整備	名古屋大学宇宙地球環境研究所	野澤悟徳
5.1.4.8	内部磁気圏のプラズマ・電磁場変動の総合地上ネットワーク観測	施設（観測網）整備	名古屋大学宇宙地球環境研究所	塩川和夫
5.1.4.9	大気・プラズマ結合過程のアジア・アフリカ子午面ネットワーク総合観測	施設（観測網）整備	名古屋大学宇宙地球環境研究所	塩川和夫
5.1.4.10	多点地磁気観測ネットワーク MAGDAS・短波帯電離圏観測 FM-CW レーダーによる広域ネットワーク磁場・電場連携観測	施設（観測網）整備	九州大学国際宇宙惑星環境研究センター 九州工業大学	吉川顕正 藤本晶子
<b>5.1.5</b>	<b>技術開発</b>			
5.1.5.1	海洋底構成岩石の系統的試料採取技術の開発	技術開発	国立極地研究所	藤井昌和
5.1.5.2	掘削コア試料の古地磁気測定に関わる技術開発・環境整備	技術開発・環境整備	高知大学	山本裕二
<b>5.1.6</b>	<b>センター整備</b>			
5.1.6.1	宇宙地球環境研究のための包括的なデータサイエンスセンター	センター整備	名古屋大学宇宙地球環境研究所	草野完也 三好由純
5.1.6.2	将来の惑星探査・観測を念頭に置いた惑星大気コミュニティモデルの開発とコアモデリンググループの確立に向けて	研究グループ確立	神戸大学惑星科学研究センター	高橋芳幸
5.1.6.3	超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究（IUGONET）	センター整備	国立極地研究所 京都大学生存圏研究所	田中良昌 山本衛
5.1.6.4	宇宙地球環境研究のための国際連携研究センター	センター整備	名古屋大学宇宙地球環境研究所	塩川和夫
5.1.6.5	CPS(惑星科学研究センター)の定常化に向けて	センター整備	神戸大学惑星科学研究センター	牧野淳一郎 林祥介
5.1.6.6	惑星探査コンソーシアム	センター整備	国立天文台	竝木則行

### 5.1.1.1 惑星科学、生命圏科学、および天文学に向けた紫外線宇宙望遠鏡計画 (LAPYUTA)

#### 1. 目的・内容

宇宙における生命生存可能環境の探査は宇宙科学の根源的な課題となっている。生命生存環境の第一条件は、液体の水の存在である。地球では太陽からの適度な距離と大気存在によって表層に液体の水が存在する温暖な環境が形成されている。低温環境の外惑星では、複数の氷衛星に存在するとされる地下海が、安定的な水の存在形態となっている可能性がある。現在、地下海存在が実証されている衛星は土星のエンセラダスのみであり、この事実は表層から噴き出す水プルームの発見によりもたらされた。木星の氷衛星においても表層に吹き出す水プルームが検出されれば、地下海の情報にアクセスする手段が得られる。生命生存可能環境の第二の条件は、化学エネルギーの供給である。地球型惑星では太陽からの放射がエネルギー供給を担う。一方、低温環境の氷衛星では磁気圏プラズマがこれを担う可能性があり、磁気圏プラズマと衛星の相互作用過程の理解の重要性が高まっている。

表層に安定に水が存在する太陽系内の天体は地球のみであるが、火星には過去に大量の水を保有していた証拠が見ついている。金星も過去に水を有していた可能性が示唆されている。失われた水の消失先の有力な候補が宇宙空間への散逸である。大気散逸を駆動する太陽紫外線や太陽風の状態は現在と過去の太陽では異なるため、過去の太陽の状態に遡って水や温暖化ガスの散逸を把握する必要がある。太陽系の地球型惑星大気の知見は系外惑星へ拡張できる。惑星の超高層大気の広がりには太陽放射に加えて大気の組成に関係している。系外惑星大気の広がりを観測できれば、大気の組成や表層環境を特徴づけるマーカーとして利用できる可能性がある。

本計画では、宇宙における生命生存可能環境の多様性の理解を進めるために以下の科学目標を設定する。

- (1) 太陽系科学：巨大惑星系の氷衛星での物質・エネルギーの輸送過程の理解  
地球型惑星の外圏大気と大気散逸観測を通じた惑星大気形成過程の理解
- (2) 系外惑星：外圏大気の検出を通じた惑星大気組成・表層環境の推定

氷衛星のプルームの存在と磁気圏プラズマ-衛星相互作用を明らかにするためには、プルームの空間分布やプラズマ-衛星相互作用の結果生じる衛星周囲の現象（電磁場とプラズマの擾乱や、衛星の外圏大気の時空間変動）を観測する必要がある。2030年代の欧米による木星探査計画は、その場観測によりこれらの課題に取り組む。一方、プルームの発生領域や頻度は把握されておらず、磁気圏プラズマは時々刻々と変化するため、プルームと衛星外圏大気の空間分布の連続監視が不可欠である。地球型惑星大気の進化過程を過去に遡って理解するためには、紫外線や太陽風の時間変化に対する惑星大気の膨張や大気散逸総量の応答を把握する必要があり、連続監視が不可欠である。プルーム、外圏大気、散逸大気は希薄であり、高感度且つ高いコントラストで観測を行う必要がある。これを実現できるのは紫外線領域の分光・撮像観測である。紫外線波長域には水素原子、酸素原子、炭素イオンの輝線・吸収線があり、水や温室効果ガスの物理的状態を高いコントラストで観測できる。

紫外線波長域の天文学はハッブル宇宙望遠鏡により大きく進展したが、銀河形成論や時間領域天文学に関して未開拓の領域が残されている。本計画では、上記に述べた太陽系・系外惑星の科学課題に加え、

### 3. 宇宙論におけるミッシングサテライト問題

### 4. マルチメッセンジャー・時間領域天文学

に取り組む。

上述の科学課題に取り組むため、紫外線宇宙望遠鏡に求められる設計目標は以下の通りとなる。光学系有効面積  $350\text{cm}^2$ 、空間分解能  $0.1$  秒角、観測波長  $110\text{nm}\sim 190\text{nm}$ 、波長分解能は  $0.02\text{nm}$  以下、分光及び撮像の視野は  $180\text{arcsec}$  以上。紫外線は地球大気を透過しないため、宇宙機からの観測が必須となる。口径  $60\text{cm}$  以上の紫外線宇宙望遠鏡に分光観測装置とイメージャを搭載した宇宙望遠鏡を公募型小型計画の規模で実現を目指す。地球外圏大気の酸素、水素原子発光の影響を低減しつつ放射線の影響を極力回避するため、遠地点高度  $7,500\text{km}$  を想定している。

### 2. 参加機関

宇宙科学研究所、東北大学、東京大学、名古屋大学、東京理科大学、立教大学、国立天文台、大阪大学、北海道大学、情報通信研究機構、京都産業大学、東京工業大学

### 3. 予算規模

(c) 100 億円以上

### 4. 準備状況とスケジュール

本計画は、ISAS の公募型小型計画公募への提案を目指し 2020 年末に WG が設立された。2022 年のミッション提案、2032 年頃の打ち上げを目指している。

連絡先：土屋史紀（東北大学大学院理学研究科）

e-mail: [tsuchiya@pparc.gp.tohoku.ac.jp](mailto:tsuchiya@pparc.gp.tohoku.ac.jp)

### 5.1.1.2 BepiColombo プロジェクト(日欧共同国際水星探査計画) (BepiColombo Project)

#### 1. 目的・内容

紀元前から知られる水星は、「太陽に近い灼熱環境」と「軌道投入に要する多大な燃料」から周回探査は困難であった。過去の探査は、米国マリナー10号による3回のフライバイ観測(1974-5)と米国 MESSENGER による周回探査(2011-2015)の2つのミッションのみである。2011年に世界で初めて水星周回軌道に投入された米国 MESSENGER 衛星により多くの興味深い現象・事実が発見・観測された一方、それらの多くは未だ解明に至っていない。ベピコロombo (BepiColombo) は、欧州宇宙機関(以下、ESA)との国際分担・協力によりこの惑星の磁場、磁気圏、内部、表層を初めて多角的・総合的に観測し、MESSENGER によって発見された問題の解明を含め、水星に関して調べ尽くそうというプロジェクトである。固有磁場と磁気圏を持つ地球型惑星は地球と水星だけで、初の水星の詳細探査＝「初の惑星磁場・磁気圏の詳細比較」は、「惑星の磁場・磁気圏の普遍性と特異性」の知見に大きな飛躍をもたらす。また、磁場の存在と関係すると見られる巨大な中心核など水星の特異な内部・表層の全球観測は、太陽系形成、特に「地球型惑星の起源と進化」の解明に貢献する。

本計画は、観測目標に最適化された2つの周回探査機、すなわち表面・内部の観測に最適化された水星表面探査機(MPO)(3軸制御、低高度極軌道)と、磁場・磁気圏の観測に最適化された水星磁気圏探査機(MMO)「みお」(スピン制御、長楕円極軌道)から構成される。JAXA/ISAS は、日本の得意分野である磁場・磁気圏の観測を主目標とする「みお」の開発と水星周回軌道における運用を担当し、ESA が残りの全て、すなわち、打ち上げから惑星間空間の巡航、水星周回軌道への投入、MPO の開発と運用を担当する。これら2つの周回軌道衛星により水星の起源・誕生、進化、および環境に関する科学課題の解決に取り組む。具体的には、地形・組成などの「惑星としての水星」、「水星磁場の起源」、「外圏大気」の組成・構造並びに生成・消失メカニズム、太陽風との相互作用などの「磁気圏現象」、相対性理論の観測的検証、重力場観測等の「基礎物理研究」などに関して同時観測により明らかにする事を科学目標としている。

ベピコロomboの両探査機は2018年10月に仏領ギアナからAriane-5ロケットで打ち上げられ、2025年末の水星到着に向けて順調に航行を続けている。合計9回の惑星スイングバイが予定されており、2020年4月に地球スイングバイ、2020年10月と2021年8月に2回の金星スイングバイ、2021年10月と2022年6月に2回の水星スイングバイをそれぞれ実施済みであり、想定通りの軌道を航行していることに加えてスイングバイ前後の科学観測にも成功している。また当初の計画には含まれていなかった惑星間空間航行中の科学観測も多く実施し、米国のParker Solar Probeや欧州のSolar Orbiterとともに内部太陽圏の多点同時観測実現に貢献している。

水星到着後の観測は、選ばれた装置開発チームに留まらず、広く日欧研究者で構成する「BepiColombo 科学ワーキングチーム」(年2回程度開催)で立案・実施される。

#### 2. 関係機関(MMO 関係機関のみ)

国内：JAXA、東北大、東北工大、東大、東工大、国立天文台、立教大、早稲田大、東京海洋大、東京工芸大、東海大、極地研、情報通信研究機構、名大、京大、京産大、大阪市大、金沢大、富山県立大、愛媛大、九大、熊本大

国外：

フランス：CESR-CNRS、CETP-IPSL、CNRS、LESIA、LPCE-CNRS

ドイツ：Tech. Univ. Braunschweig、MPS、MPI-NP  
オーストリア：IWF  
ロシア：IKI  
連合王国：Imperial College、MSSL/UCL  
スイス：Univ. Bern  
スウェーデン：IRF、KTH  
ノルウェー：Univ. Oslo  
フィンランド：Finn. Meteo. Inst., Univ. Oulu  
ハンガリー：Eotvos Univ.  
イタリア：CNR-IFSI  
チェコ：Charles Univ., IAP  
米国：APL/JHU、UCLA、Boston Univ.  
台湾：National Central Univ.

### 3. 予算規模

(c) 100 億円以上

### 4. スケジュール

開発完了

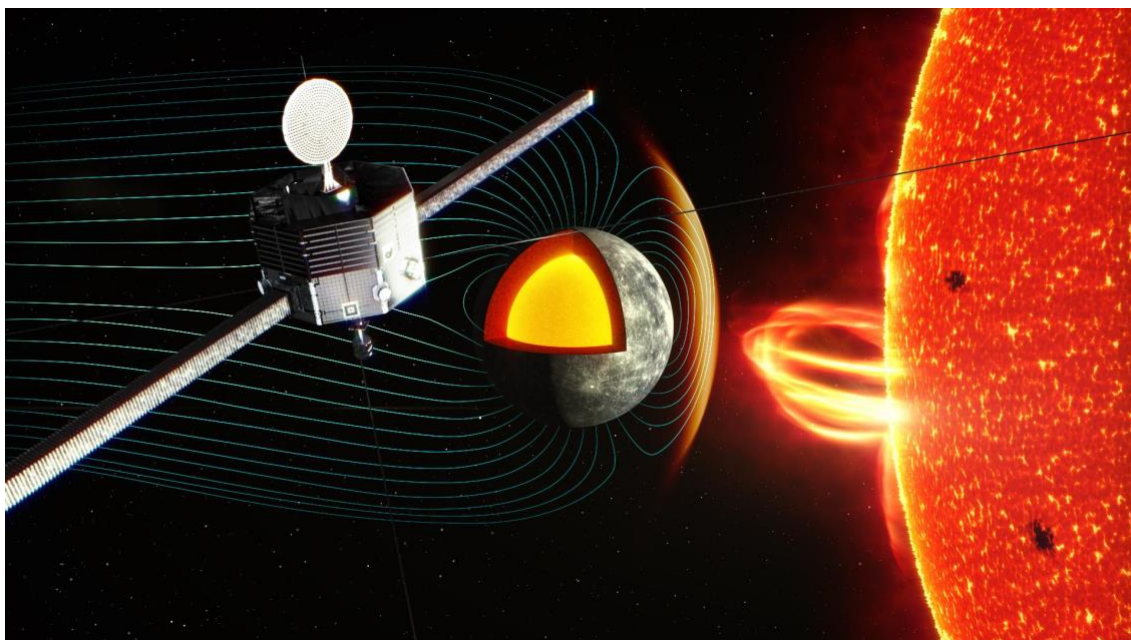
打ち上げ：2018 年 10 月

仏領ギアナより Ariane-5 型ロケットにより打上げ

水星周回軌道投入：2025 年 12 月(予定)

観測期間：ノミナル 1 地球年

さらに延長として 1 地球年（以上）を想定



連絡先：村上 豪（宇宙航空研究開発機構）

e-mail: go at stp.isas.jaxa.jp

### 5.1.1.3 JUICE 計画への参加

(Participation to ESA's L-class mission: Jupiter Icy Moons Explorer)

#### 1. 内容

「木星氷衛星探査計画 (JUICE)」は欧州宇宙機関 (ESA) が主導する L-class の基幹ミッションであり、日本からは、ISAS・JAXA の多様な小規模プロジェクト群「戦略的海外協同計画」の一つとして、観測機器の一部の開発・提供及びサイエンス共同研究により参画すべく準備を進めている。海外大型計画への国際協力により効果的・効率的に成果創出を目指す。

JUICE ミッションの目的は、木星周回軌道から木星系の観測 (磁気圏、木星大気、エウロパ・カリストのフライバイ観測) を実施し、世界初の氷衛星周回機となって太陽系最大の氷衛星ガニメデの総合観測 (元の表現では精査) を実施することで、以下の理解・解明を目指す。

- 1) 「惑星はいかにして作られたのか？」 (太陽系以外にも適用できる普遍的な惑星形成論を構築し、太陽系形成論を見直す。)
- 2) 「地球の外に水の海はあるか？」 (氷衛星の地下海、生命誕生につながる高分子が生成する環境が作られる条件を探る。)
- 3) 「太陽系で起きている環境の変動にはどのようなものがあるのか？」 (木星 (JUICE)、水星 (MMO)、地球 (ARASE) のプラズマ過程を比較を行うことで、宇宙のプラズマ過程を理解する。)

ISAS/JAXA は、11 の搭載観測機器のうち、我が国が実績と技術的な優位性を持つ 3 つの機器 (RPWI: 電波・プラズマ波動観測装置、PEP/JNA: 高速中性粒子観測装置、GALA: ガニメデレーザ高度計) についてハードウェアの一部を開発・提供するとともに、2 つの機器 (JANUS: カメラシステム、J-MAG: 磁力計) のサイエンス共同研究者として参加する。また、搭載観測機器の一つである SWI: サブミリ波観測機器 については NICT からハードウェアの一部を開発・提供して参加する。

JUICE ミッションに参加することで、1) 外惑星探査に関わる技術の獲得、惑星・生命科学の新たな知見の創出 2) 国際協力プロジェクトへの参画により、将来の我が国の宇宙科学研究者の人材育成に貢献 などの成果が期待できる。

#### 2. 関係機関

機器チームの代表者は、東北大、ISAS/JAXA、NICT に所属している。

#### 3. 予算規模

(b) 約 24 億円

#### 4. JUICE ミッション概要

重量: 2,200kg (ドライ)、2,900kg (推進薬)

電力: 約 180W

打上げ年度 (予定): 令和 5 年度 (2023 年度)

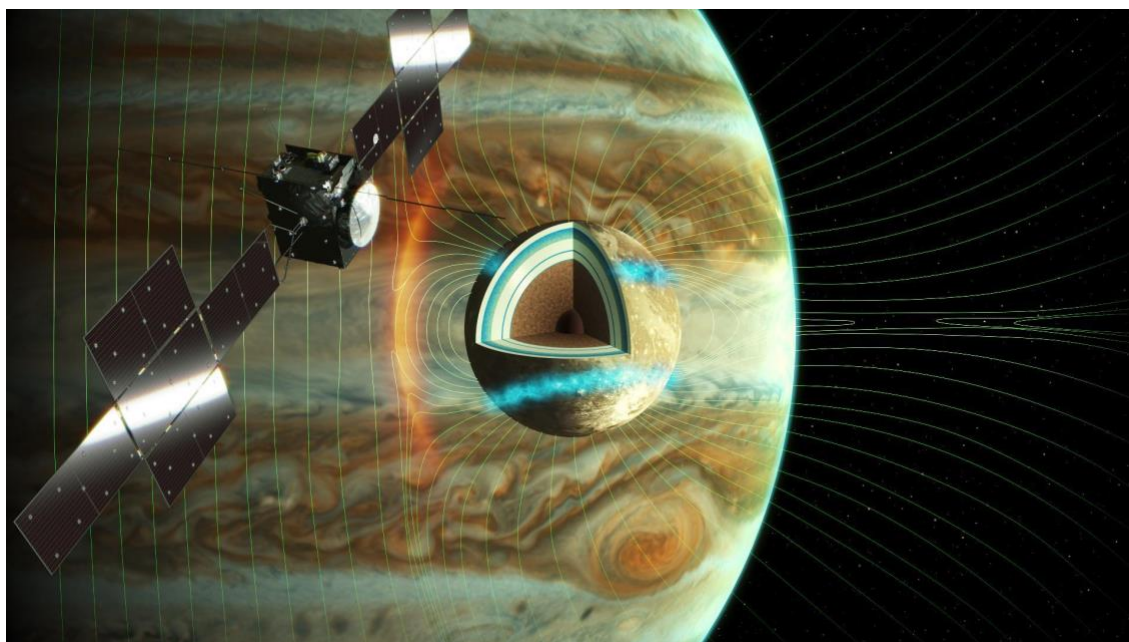
打上げロケット: アリアンロケット (欧州が打上げ)

運用期間: 12 年間 (2023~2035 年)

2023 年打上げ、2031 年木星系到着、2034 年ガニメデ周回軌道投入、2035 年ミッション完了 (予定)

探査機システム担当: ESA (欧州宇宙機関)

観測機器担当：各国機関（日本も一部参画）



連絡先： 齋藤義文（宇宙研）

e-mail: saito at stp.isas.jaxa.jp

## JUICE計画への観測機器搭載

木星系探査衛星 宇宙プラズマ物理・惑星大気科学・固体惑星科学  
ESAのクラス計画 打ち上げ 2023年

ミッション目的：木星周回軌道から木星系の観測（磁気圏、木星大気、エウロパ・カリストのフライバイ観測）を実施し、世界初の氷衛星周回機となって太陽系最大の氷衛星ガニメデの総合観測（元の表現では精査）を実施することで、以下の理解・解明を目指す。

- 「惑星はいかにして作られたのか？」太陽系以外にも適用できる普遍的な惑星形成論を構築し、太陽系形成論を見直す。
- 「地球の外に水の海はあるか？」氷衛星の地下海、生命誕生につながる高分子が生成する環境が作られる条件を探る。
- 「太陽系で起きている環境の変動にはどのようなものがあるのか？」木星（JUICE）、水星（MMO）、地球（ARASE）のプラズマ過程を比較を行うことで、宇宙のプラズマ過程を理解する。

実施形態：多様な小規模プロジェクト群「戦略的海外協同計画」の一つとして、欧州宇宙機関（ESA）の基幹ミッションである「木星氷衛星探査計画（JUICE）」に、観測機器の一部の開発・提供及びサイエンス共同研究により参画すべく準備を進めている。海外大型計画への国際協力により効果的・効率的に成果創出を目指す。

構成：JAXAは、11の搭載観測機器のうち、我が国が実績と技術的な優位性を持つ3つの機器（RPWI：電波・プラズマ波動観測装置、PEP/JNA：高速中性粒子観測装置、GALA：ガニメデレーザ高度計）についてハードウェアの一部を開発・提供するとともに、2つの機器（カメラシステム、磁力計）のサイエンス共同研究者として参加する。

予算規模：(b) 10億円以上

関係機関：機器チームの代表者は、東北大、ISAS/JAXAに所属。



### 期待される成果:

- ・外惑星探査に関わる技術の獲得、惑星・生命科学の新たな知見の創出。
- ・国際協力プロジェクトへの参画により、将来の我が国の宇宙科学研究者の人材育成に貢献。

### 探査機主要諸元:

- ・重量: 2,200kg(ドライ)、2,900kg(推進薬)
- ・電力: 約180W

打ち上げ年度(予定): 令和5年度(2023年度)  
打ち上げロケット: アリアンロケット(欧州が打上げ)

運用期間: 12年間(2023~2035年)  
2023年打上げ、2031年木星系到着、2034年ガニメデ周回軌道投入、2035年ミッション完了(予定)

探査機システム担当: ESA(欧州宇宙機関)  
観測機器担当: 各国機関(日本も一部参画)



### 5.1.1.4 国際宇宙探査計画と連動した火星宇宙天気・気候・水環境探査(MIM)計画

(Martian Space Weather, Climate, and Aqueous Environment Exploration in cooperation with the International Mars Ice Mapper)

#### 1. 目的・内容

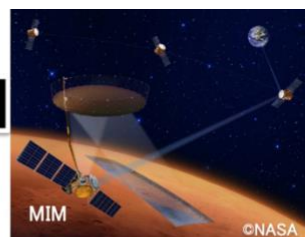
##### 背景と目的：

今後の太陽系探査の中で火星は、過去にハビタブルな環境を保持し、進化の過程でそれを失った地球外太陽系天体として、国際的にも重要な探査対象である。近年の先行火星探査における新発見も踏まえ、本計画の目的は、ハビタブル環境の持続性の理解に向けて、火星における宇宙天気・気候・水環境の探究と、着陸探査に向けた探査技術実証である。本計画は、国際協働宇宙探査に向けた我が国の戦略的火星探査の重要なステップとして位置づけられており、我が国の宇宙基本計画の太陽系探査のプログラム化の方針とも合致している。上記の目的実現のため、本計画では3つの達成目標と、対応する10の観測項目を設定し、戦略的な海外共同計画の中でMIM周回機に2つの科学機器パッケージの搭載と小型着陸機の提供による火星探査を実施する(下図)。マスタープラン2020で採択されたMACO計画を発展させ、アルテミス計画の火星有人探査に向けた重要な先行探査である国際 Mars Ice Mapper (MIM)計画との相乗効果を目指した提案となっており、宇宙放射線環境や表層・浅部地下水環境など、将来探査に不可欠な知見を提供することで、人類の活動域拡大にも貢献する。

**目的** 火星における宇宙天気・気候・水環境を探る

～ハビタブル(生命生存可能)惑星成立の条件は何か?～

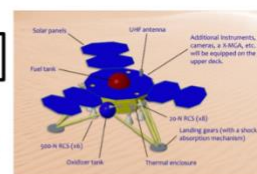
**達成目標** 周回機: 惑星大気進化に重要な大気上下結合、宇宙環境影響の理解



1. 大気境界層での水蒸気観測を実現し、地表/地下の水リザーバーがどの程度大気と相互作用するのかを明らかにするとともに、広い高度範囲での速度場観測を実現し、大気の大気上下結合による水の効率的な輸送機構を解明する。(観測項目: A,B,C,D)
2. 火星オーロラの高感度撮像を実現し、地殻磁場が宇宙放射線環境と大気散逸に与える影響を明らかにする。(観測項目: C,D,E,F,G)

**着陸機: 浅部地下を含めたH<sub>2</sub>Oの動態と揮発性物質の起源を制約**

3. 将来の本格着陸探査の技術実証と小型着陸機による探査によりH<sub>2</sub>Oの動態と揮発性物質の起源を制約する。(観測項目: H, I, J)



**観測項目** A: 表層付近(<10km高度)の大気境界層の水蒸気観測, B: 高度30-100kmの速度場と水蒸気分布の3次元同時観測, C: 電離圏温度・速度場観測, D: 電離圏同位体計測, E: 火星オーロラ撮像, F: 磁場観測, G: 高エネルギー粒子観測, H: 着陸地点地質的特徴の撮像, I: 着陸地点気象観測, J: 着陸地点での化学分析

2つの科学機器パッケージ:  
大気上下結合パッケージ  
火星宇宙天気パッケージ  
をMIM周回機に搭載するとともに、小型着陸機による技術実証と科学観測を検討中

#### サイエンス成果が与えるインパクト:

生命生存可能(ハビタブル)惑星成立の条件は何なのか。この人類の根源的な問いに対し、

今後の太陽系探査において、太陽系におけるハビタブル環境の形成と進化の探求が重要な科学目標となっている。約 40 億年前の火星は湿潤な気候であったと推定される一方で、現在の火星は寒冷乾燥な気候をもつ。従って火星は、過去にハビタブルな環境を保持し、進化の過程でそれを失った地球外太陽系天体として、ハビタブル環境の持続性を調べるために国際的にも重要な探査対象となっている。火星がハビタブル環境を失った際の大規模な気候変動を引き起こすには、多量の水と CO<sub>2</sub> 大気が地下に貯蔵もしくは宇宙空間に流出して表層環境から取り除かれる必要がある。その中で、過去の激しく変動する太陽条件下での宇宙空間への水や大気の散逸機構の解明が、喫緊の要請となっている。また、月から火星への有人探査を目指すアルテミス計画など国際宇宙探査が活発化する中、火星の放射線環境や気象の理解が人類のフロンティア拡大の関連から重要課題となっている。火星においては、もしかしたら生命活動に重要な役割を果たした可能性のある過去の海洋水が、現在でも凍土や含水鉱物として地下に存在している可能性があり、地下水圏、大気圏、宇宙環境の相互作用の帰結としての水環境進化を実証的に調べることができる。その中で、本計画では、「惑星大気進化に重要な大気上下結合、宇宙環境影響の理解」と「浅部地下を含めた H<sub>2</sub>O の動態と揮発性物質の起源を制約」に着目した探査を実施し、ハビタブル惑星環境の持続性の理解に貢献することを目指している。

多数の系外惑星が発見される中、主星の活動と惑星圏環境の関係を理解しようという宇宙気候探求の機運が高まっており、本計画で得られる知見は、系外惑星がどのような大気と表層環境を持ちうるか（ハビタブル環境を持つか否か）を推定する知的基盤を提供する。また、本計画で実現する宇宙放射線環境や表層・浅部地下水環境の把握は、将来の着陸探査や国際協働による火星有人探査に不可欠な知見を提供する。本計画は、学術的な価値に加えて、人類の活動領域を火星へと拡大するために重要な探査である。さらに工学的には、重力天体突入・降下・着陸に関する着陸探査に向けた航空宇宙工学、ロボット工学等の幅広い発展が促され、総合的な技術の体系的な獲得が可能となる。

#### モデル科学機器：

本計画では、モデル科学機器として、下表の項目（オプションを除く総重量約 72kg、電力約 160W）を設定している。その開発状況・搭載実績等は下表を参照されたい。

パッケージ	センサー	開発状況	搭載実績
大気上下結合パッケージ	THSS	天文・地球観測ミッションで、技術・手法は確立され、国内外を含めて観測実績も豊富。多周波/広帯域/周波数高分解能における小型省電力化や惑星保護対応が発展的課題。	SMILES (Herschel, JUICE, MLS/AURA, SWAS, Odin, IceCube,)*
	HRMS	各開発要素は BBM で検証済み。OKEANOS 用に概念検討を実施、類似観測器を LUPEX 用に開発中。	
	IDA	海外協力機器、コンポーネントレベルでの実績多数	Mars/Venus Express 他
火星宇宙天気パッケージ	MAI	IMAP/VISI をベースに、MAVEN/IUVS チームと協力して SNR・光学概念設計を検討中。スキャナミラーは DESTINY+ の開発実績を活用。	IMAP/VISI

ージ	SE sensors	RockSat-XN, あらせ, みお など搭載実績多数.	RockSat-XN 他
	EPS MAG	要求を満たす技術は既存。小型・省電力が必要な場合には開発が必要。(他計画用に現在開発中)	あらせ, みお
	ESA	搭載実績は多数。小型省電力化は発展的課題。	あらせ他

小型着陸機搭載機器候補については、気象パッケージ(温度、風速、圧力、水蒸気、ダスト)、Ne 同位体分析器、カメラを想定して検討を進めている。

## 2. 関係機関

JAXA 宇宙科学研究所(ISAS)、東京大学、東北大学、大阪大学、大阪府立大学、東京工業大学、情報通信研究機構、名古屋大学、京都大学、他、計 18 機関。

## 3. 予算規模

(c) 100 億円以上

## 4. 準備状況とスケジュール

2030 年代には国際協働による火星サンプルリターンが計画されており、そこで日本が主導的な役割を果たすためにも、太陽の影響を受ける大気と浅部地下環境の共進化過程に着目した我が国独自の火星探査の実施が喫緊の要請である。本計画は、この要請に応えるため先行探査の成果を精査し検討された JAXA 宇宙科学研究所(ISAS)の火星タスクフォース報告書にて、国際協働宇宙探査に向けた我が国の戦略的火星探査の MMX に続く次の重要なステップとして位置づけられている。本計画は、国際宇宙探査と宇宙科学探査のシナジーが期待できる探査計画であり、MIM 周回機搭載機器については、主に ISAS/JAXA の宇宙理学委員会の下に設置された周回・探査技術実証による火星宇宙天気・気候・水環境探査計画検討 WG において開発検討を進めている。また、小型着陸機搭載機器候補については、2022 年 2 月に JSEC/JAXA に発足したミッション定義チームの下で、小型着陸機システムと合わせて技術検討を実施している。また、関連コミュニティとの連携も進んでおり、日本学術会議のマスタープラン 2020 の大型研究計画として、SGEPSS (地球電磁気・地球惑星圏学会) と惑星科学会両学会の会長名で提案され採択されている。また本計画は、本文書その他、太陽系・系外探査プログラムの工程表(日本惑星科学会)にも記載されている。

また、Mars Ice Mapper 計画は、NASA(米国)、CSA(カナダ)、ASI(イタリア)、JAXA(日本)の4ヶ国の宇宙機関が協働で行う新しい形の国際宇宙探査計画であり、2021年2月には、意向表明書が発出されている (<https://www.isas.jaxa.jp/topics/002581.html>)。また、同8月には Measurement Definition Team が国際公募され (<https://www.exploration.jaxa.jp/e/news/20211112.html>)、現在その報告書が取りまとめられている最中である。各国の役割分担については、この報告書も受けて今後決まっていく予定であるが、意向表明書の段階では JAXA は衛星システムと sub-science payloads (科学機器と EDL 着陸機) を担当する方向性が示されており、全体として 2030 年頃の打ち上げを目指して検討が進んでいる。

連絡先：関 華奈子 (東京大学大学院理学系研究科)

e-mail: k.seki at eps.s.u-tokyo.ac.jp

### 5.1.1.5 MMX 火星圏観測計画

#### 1. 背景

火星は表層環境の歴史や有人活動の観点から世界的な関心を集めてきた。現在の火星は地表と地下に凍結した水資源を含む寒冷な世界であるが、探査機によって得られた地質学的な証拠から、過去には温暖湿潤な環境が存在した可能性がある。現在の気候への移行は、脱ガス、揮発性物質の宇宙への散逸、内部磁場の消失、大気と地殻間の水や他の揮発性物質の交換、光化学、放射伝達、大気循環など様々な物理・化学プロセスによって生じたと想像されている。そのような異なるプロセスの間の結合を理解することを目的として、MMX (Martian Moons eXploration) ミッションにおける火星観測計画は立案された。

#### 2. 目的・内容

MMX は第一に、火星の衛星フォボスとダイモスのクローズアップ観測を行い、フォボスからサンプルを採取して地球に持ち帰り、2つの衛星の起源を明らかにすることを目指している。MMX はさらに、3年間の火星周回期間中に火星の大気や地表の遠隔観測と、宇宙空間に散逸する揮発性物質のその場測定も行う。地球に持ち帰るサンプルには小天体の衝突によって火星表面から放出された粒子が含まれていることが期待されており、そこから初期火星の情報を得ることも想定している。MMX ミッションではこれらを統合して、火星とその衛星、そして火星の周辺空間からなる火星システムを総合的に理解することを目指している。

これまでの多くの火星周回機が極軌道を採用したのとは違い、MMX は赤道面に近い高高度軌道をとる。そのため、火星表面の短時間スケールの現象を連続的に遠隔観測することが可能である。このことを利用して、水蒸気、氷雲、ダスト、微量気体、大気温度などの広域分布の日周期～季節変動を、多色広角カメラ (OROCHI) ・望遠カメラ (TENGOO) ・分光撮像装置 (MIRS) を用いて高高度から高時間分解能かつ高空間分解能でマッピングする。火星大気における物質輸送、地表・地下のリザーバーと大気との間の交換過程、上層大気への物質輸送を理解するための手がかりが得られると期待される。

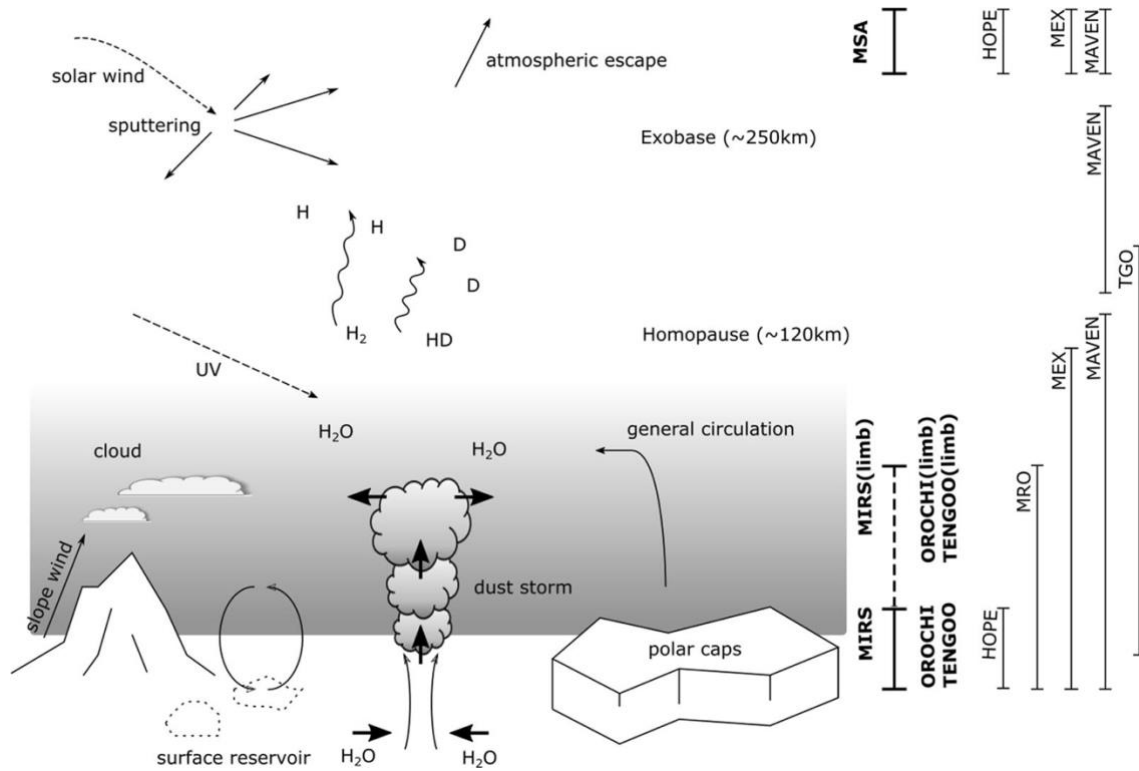
MMX の軌道はまた、火星とフォボスの影を利用して低エネルギーイオンを計測するのに有利である。高い質量分解能を持つ質量分析計 (MSA) で宇宙へ逃げるイオンを観測し、過去の火星が現在のような冷たく乾燥した環境へと変化した要因と考えられる大気散逸を究明する。

フォボスの表面には火星の放出物があまり衝撃を受けずに蓄積されていると予想される。火星からの噴出物が堆積していれば、堆積岩から火成岩まで、あらゆる地質時代の火星の岩石が含まれている可能性がある。そのため、帰還したサンプルを分析することで、火星の表面環境の歴史を復元することができる。

これらの異なる観測は火星の環境進化の解明のために有機的に結びつけられる。たとえば大気の遠隔観測と散逸イオンの直接計測によって水が地表から宇宙空間までどのように運ばれるかを追跡し、さらに帰還した火星サンプルの同位体分別分析とを組み合わせることによって、環境進化のシナリオを構築する。

#### 3. 準備状況

探査機は 2024 年に打ち上げられ、2025 年に火星軌道に投入され、2028 年まで火星周回軌道に滞在し、2029 年に地球に帰還する予定である。JAXA を中心に NASA、ESA、CNES、DLR が国際協力で進められており、世界から多くの研究者が参加している。同時期に火星圏にいる他の火星ミッションとの協同についても検討が始まっている。



MMX による火星圏観測と他の火星ミッションの対象高度領域と物理化学プロセス (Ogohara et al. 2022)

連絡先：今村 剛 (東京大学)

t\_imamura at edu.k.u-tokyo.ac.jp

### 5.1.1.6 小型衛星群による大気圏—電離圏観測 (Small Satellite Constellation for Atmosphere-Ionosphere Research)

#### 1. 目的

電離圏研究はもはや電離圏のみを研究する時代ではない。また電離圏研究は、1920年代に電離圏が発見されてから、既に約100年が経過しようとしている現在では、電離圏に関する知識は人間活動に応用されている。一方では電離圏で生じているいくつかの大きな現象の物理が未解決である。電離圏は電離圏よりはるか下部の対流圏、成層圏、中間圏、熱圏の大気力学、あるいは電磁気現象と深く関連しており、これらの高度における物理量を同時に知る必要がある。

私達はその物理を理解したい現象は：

1. 台風による電離圏への影響
2. 成層圏突然昇温の電離圏への影響
3. 大地震発生前における電離圏擾乱
4. 地磁気赤道帯における電波シンチレーション

などである。特に項目3、4は直接社会に影響をおよぼすものである。この他に、

5. 電離圏F領域のプラズマ密度、温度モデルなどの改良

があげられる。上記項目のうち台風による電離圏擾乱は、高層雲に伴う帯電、あるいは内部重力波、成層圏突然昇温は他下部大気の大気運動の変動、そして最終的には高度100km付近のダイナモ電場を変化による電離圏への影響であると考えられ、地震の前駆現象については、いくつかのメカニズムが提案されている。その一つは地震発生前に何らかのメカニズムにより発生し、増幅された内部重力波であり、2つ目は地球内部の岩石の押し合いにより発生した正電荷、そして第3には地下からのラドン発生による大気の大気電離によるものである。どれが主たる役割を果たしているか不明である。あるいはこれらの原因が同時に影響している可能性も捨てきれない。電離圏シンチレーションは電離圏F領域における電子密度の小振幅の変動に始まるという報告がある。この場合、電離圏に擾乱を与えているのは内部重力波の可能性が大きい、その重力波が、どこでいつ発生するのか全く不明である。

#### 2. 上記の目的達成のための観測器

上記した問題の解決のためには衛星観測のみならず、イオノゾンデ、磁力計、対流圏、成層圏風レーダー等の地上観測との共同作業が必須である。

いずれの場合においても内部重力波が主な擾乱源と考えられるが、内部重力波が直接電離圏F層に到達する、あるいはまず高度100km付近のダイナモ電場を変化させる、あるいは両方同時に働く可能性も捨てきれない。したがって上記した現象の物理を解明するための観測機器は共通している。そのための観測優先順位順には、

- 1 衛星高度からの観測項目：電子密度の衛星高度の上下の高度分布、プラズマドリフト速度、電子温度・イオン温度及びイオン組成、中性風速度、中性ガス密度・温度、電場・磁場 (DC/AC)
- 2 高度約100km付近の観測項目：中性風速度及び温度
- 3 中間圏以下の観測項目：中性風及び温度

高度で分けたのは観測機器により測定高度が違うからである。②及び③を全世界的に測定するには、例えばTIMED衛星に搭載されたSABAR及びTIDIが考えられる。ただしこれ

らの観測器は光学的手法であり、観測が地方時で制限を受けるかもしれない。

中間圏以下の高度では GPS 掩蔽観測による中性ガス温度の観測が可能となる【参考：Formosat-3/COSMIC】

### 3. 小型衛星と超小型衛星群の組み合わせ

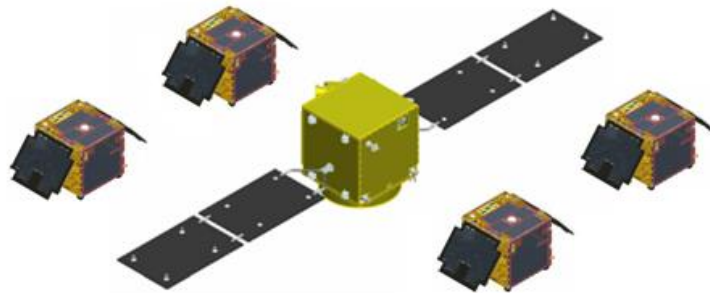
ここで述べる超小型衛星は、約 50～100kg、小型衛星は～500kg であろう。ここでは前者を子衛星、後者を母衛星と呼ぶことにする

母衛星は上記①において挙げた観測項目の少なくともイオン組成までの物理量に加え、②及び③のための GPS 掩蔽受信機及び SABAR, TIDI に類する測定器を搭載する。

超小型衛星はプラズマの基本量すなわち電子密度・温度は基本的な測定器として搭載し、余裕があればプラズマ速度測定を最優先として他の測定器も搭載する。少なくとも 6 機を軌道に経度で等間隔に配する。等間隔に衛星を配置するためにはまず衛星を設定高度より高い高度に持ち上げ、衛星間の距離が離れた時点で再び高度を落とす必要があり、このために小型のスラスターを搭載する必要がある。

衛星高度は一案として母衛星は 300～1000km, 子衛星は 300～Xkm が考えられる。楕円軌道を取ることで子衛星と母衛星の寿命を同程度にするための高度 X の値は正確な軌道決定が必要である。

軌道傾斜角は今後の議論によるが、SSW に関連して境域の大気力学も考慮すると極軌道とすることも考えられる。



上記の観測以外の主衛星搭載計器候補機器一覧（赤印は特に搭載優先順位高い）

	重量[kg]	電力[W]	Datarate [kbps]
電子密度・温度プローブ	計 2	計 7	計 20 以下
GPS 掩蔽受信器	2.5	25	2.3(25Mbytes/day)
低周波電磁波受信機	5	5	64
電場測定器	5	5	64
二次元フォトメータ	5	2	10
エネルギー測定器	8.6	13.5	32
プラズマ高度プロファイル計測器	12	40	32
イオン・中性ガス質量分析計	2.97	8	32
中性風測定器	10	5	20
プラズマドリフトメータ	3	3	20
酸素原子測定器	3	3	19.2
磁力計(Magnetometer)	3.11	5	1.544
技術データ取得装置 (TEDA)	4.55	11.9	1

合 計	約 68kg	約 133W	約 318kbps
-----	--------	--------	-----------

上記以外に高度 100km 付近から以下の測定のため

TIDI System	Mass: 41.8 kg	19.32 watts (orbit ave.)	
Heater Power: 11.0 watts	2494 bits/sec		
SABER System	Mass: 65.6 kg	76.5 W	4 kbps
.....			
総計	170kg	230 W	

従来の衛星において測定器の衛星全重量に占める割合は約 30%であることを考えると衛星総重量は約 500kg となる。

#### 4. 国際協力

本計画は日本一国で進めるよりはまず 2つの理由で諸外国と共同で進めるべきと考える。第一の理由はたとえば TIMED 衛星に搭載された TIDI, および SABAR の 2 個の測定器、熱圏での中性風測定器など日本ではすぐには開発出来そうもない。第 2 の理由は費用である。このために本計画は早い時期に国際会議において周知を図るべきである。

#### 5. サクセス・クライテリア

	Minimum Success	Nominal Success	Extra Success
実利用： 気象予測精度向上	GPS 掩蔽観測により時空間的な大気圏の諸物理量を計測する。	GPS 掩蔽観測技術を確立し、ミッション期間中に取得したデータにより気象予測精度改善に資する。	GPS 海面反射実用化への目処をつけるとともに長期観測の実現により、他の地球観測衛星データの精度改善に利用する。
科学研究： 地圏・中間圏・電離圏	多様な搭載機器により時空間的な大気圏から電離圏にわたる領域の諸物理量を計測する。	ミッション期間中の信頼度の高い高精度な電離圏モデルを構築し、国際標準電離圏モデルに貢献する。	長期観測の実現により、信頼できる地震先行電離圏変動の結果を積み重ねるとともに、地圏—大気圏—電離圏結合の解明をする。
工学利用： 宇宙環境・宇宙天気	宇宙環境データ取得装置 (TEDA) 及び搭載機器により宇宙環境・電離圏の諸物理量を計測する。	ミッション期間中に取得したデータにより宇宙環境モデルを構築し、JAXA 衛星設計基準に反映するとともに、宇宙天気予報の精度を改善する。	長期観測の実現により、大規模太陽フレア等の異常イベントデータを取得し、宇宙環境・宇宙天気データの蓄積を行う。



--	--	--	--

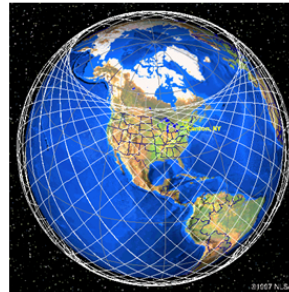
## 6. 予算規模

100 億（主衛星 30 億、超小型衛星 5 億×6=30 億、イプシロン 40 億）  
国際共同ミッションとし、経費節減を図る

## 小型衛星群による大気圏－電離圏統合観測

内容：主衛星および子衛星複数機による観測

- ・高度500-600km・軌道傾斜角50-60度
- ・大気圏－電離圏の時空間変動観測のため  
全衛星にGPS掩蔽・電子密度・温度プローブ
- ・主衛星は予定されるすべての観測機器・子衛星の余剰  
ペイロードには光学・電波・粒子観測機器等



目的：①実利用：GPS掩蔽データによる気象予測精度向上

②科学研究：分野横断的学際研究・国際標準電離圏モデルへの貢献

③工学利用：宇宙環境・宇宙天気・通信・高精度測位への利用

予算規模(b)：約80億(打上げ費は除く)

関係機関：JAXA、気象庁、NiCT、国内外大学、UCAR、IRI、URSI及び  
IUGG/EMSEV等

連絡先：JAXA 第一研究ユニット 児玉哲哉 kodama.tetsuya at jaxa.jp

### 5.1.1.7 衛星・惑星内部構造推定を目的とした電磁探査 (EM survey of moon and planets)

電気伝導度は地震波速度構造や密度構造と独立な情報であるため、地球内部構造や地球を構成する物質、ダイナミクスを理解する目的で、電気伝導度探査が行われている。月の電気伝導度探査はアポロ計画によって行われたが、十分な精度で求められているわけではない。また、「かぐや」によって観測された磁場から核の大きさや表層の電気伝導度の見積もりがされたが、さらなる同種、または別の原理に基づいた観測により、これまでに得られた結果が確立される必要がある。また、惑星において慣性モーメント等の推定から得られた内部構造と比較するためにも、電気伝導度探査が重要である。

磁場観測のみによる電気伝導度探査では、月・惑星表面で観測された磁場と高高度で観測された磁場を用いて電磁感応を求める方法と、表面における複数点による磁場観測から電磁感応を求める方法の2つが考えられる。これらのためには、月・惑星表面における、数ヶ月以上の磁場観測が必要となるため、磁力計を月・惑星表面に設置する技術や厳しい温度条件下で利用可能な磁力計を開発する必要がある。

地球での電気伝導度探査では、電磁場の両方を計測する MT 法がしばしば用いられる。これは、磁場変動入力に対する電場の応答を直接的に観測することで、電気伝導度探査の非常に強力な手法となっている。しかし、地表での観測においても、長期間安定して良好な電場データを取得するためには、電極のメンテナンスが必要となる。

惑星／衛星での電場観測では、電極と大地との接地抵抗を低減する技術や、高入力インピーダンスの計測器の開発が必要となる。地上の観測では接地抵抗の軽減のために、銅-硫酸銅電極のような液体部分を含む電極に、粘土質の材質を付着させ、大地と接地させる。このような方法は、惑星／衛星での電場観測には用いる事ができないので、電極の材質そのものを含めた開発が必要となる。

上記に加えて、月や惑星表面で人工的に電磁場を発生させ、それらに対する電磁感応を観測する人工電磁場電気伝導度探査を行うことも検討に値する。このためには、人工電磁場発生源となる比較的大規模（直径数メートル以上）のコイルの展開方法の検討と、ローバー等の移動体に装着可能な小型電磁場発生源と観測装置の開発や、装着方法の検討が必要である。

予算規模：トータルで1億円以上  
関連機関：東京大学、東京工業大学など

## 惑星・衛星の電磁探査

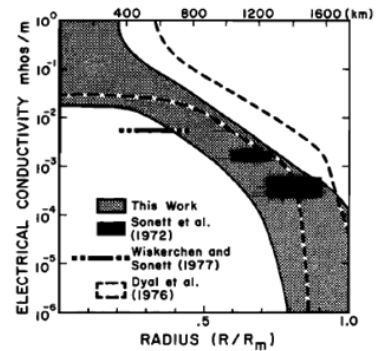
### ・惑星、衛星内部の電気伝導度探査の目的

- 測地学的観測(慣性モーメント等)とは独立な情報
- 惑星、衛星の温度構造、構成物質の制約
  - 表面付近の水の存在、メルトの存在
- 惑星、衛星熱史の解明

### ・現状: 月の電気伝導度構造

- Apollo: 高高度衛星+月表面での磁場観測 [マントル]
- Kaguya: 低高度衛星 [核の大きさ]

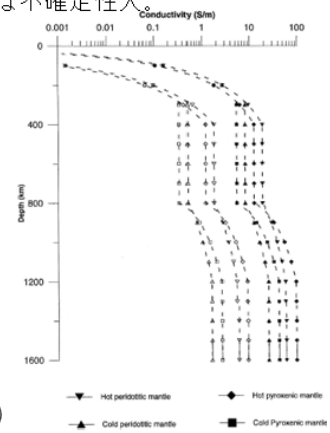
→ マントルの電気伝導度にも1桁程度の不確定性あり。表層 80 km は不確定性大。



月の電気伝導度構造 (Hood et al. 1982)

### ・将来: 月/火星表面での電磁場観測による電磁探査

- 複数点での磁場観測による電気伝導度構造 (C-response)
- 電磁場の同時観測による電気伝導度探査
  - MT 法、要電極と電極設置方法の開発
- 人工ソース電磁場探査
- 着陸機式/ペネトレータ式



火星の電気伝導度構造と物質/温度の対応(理論値)

Mocquet and Menvielle (2000)

連絡先: 清水久芳 (東京大学地震研究所)  
shimizu at eri.u-tokyo.ac.jp

### 5.1.1.8 地球磁場観測衛星 (Geomagnetic field observation satellite)

地球磁場の空間分布や数年程度の時間スケールを持つ地磁気永年変動を観測し、地球深部ダイナミクスを解明することを目的として、地球磁場観測衛星がアメリカやヨーロッパを中心として打ち上げ・運用されてきた。Oersted、CHAMP 衛星および、2013年に打ち上げられた3機の SWARM 衛星による連続したベクトル磁場観測により、1年程度の時間スケールを持つ永年変動（地球磁場の時間1階微分）や加速度（2階微分）の議論が可能となり、地球回転速度変動（lod 変動）との比較により、核のダイナミクスがあきらかになりつつある。地磁気永年変動や加速度変動を理解するためには、さらに長期の面的な観測が必要であるが、残念ながら、CHAMP 衛星は2010年9月に運用を停止し、Oersted 衛星も現在は地磁気強度の観測のみを行っているが、通常運用は終了している。

Oersted、SWARM 等の地球磁場観測衛星プロジェクトに個人、グループ単位で参加していた日本人研究者は存在し、また、日本発の、数百 km 程度の高度を飛行する地球磁場観測衛星計画の検討はされてきたが、観測は実現していない。日本単独での衛星開発や打ち上げは困難であるかもしれないが、高い空間解像度を持つ地磁気データを継続して取得するために、日本を中心とした国際的な地球磁場観測衛星計画の検討を継続する必要がある。

今後検討する項目としては、主に下記3点があげられる。

- 衛星の規模、数、観測期間に関する検討  
(大型／1機／長期 or 中小型／複数機／短期等の検討)
- 磁場センサー／周辺システムの小型化と DC 観測の高精度化に関する検討
- 地球観測衛星への相乗りに関する検討  
(衛星本体や他の機器の磁気ノイズを避けるための検討)

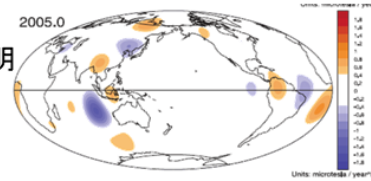
予算規模：1億円以上

関連機関：東京大学、東京工業大学、京都大学など

## 地球磁場観測衛星

### ・地球磁場の面的観測による地球内部ダイナミクスの解明

- 地磁気空間分布の詳細の解明 (MAGSAT)
- 地磁気永年変動と原因となる核のダイナミクスの解明
  - 地磁気ジャーク等の短期磁場変動
  - 地磁気変動加速度の空間分布
- マントル内部電気伝導度構造とマントルダイナミクスの解明



2005.0年における Br 成分の時間2階微分  
Finley et al. (2012)

### ・地球磁場観測衛星

Satellite	Operation	Inclination	Altitude	Data
OGO-2	Oct. 1965–Sep. 1967	87°	410–1510 km	Scalar only
OGO-4	Jul. 1967–Jan. 1969	86°	410–910 km	Scalar only
OGO-6	Jun. 1969–Jun. 1971	82°	400–1100 km	Scalar only
Magsat	Nov. 1979–May 1980	97°	325–550 km	Scalar and vector
Orsted	Feb. 1999–	97°	650–850 km	Scalar and vector
CHAMP	Jul. 2000– Sep. 2010	87°	350–450 km	Scalar and vector
SAC-C/Orsted-2	Jan. 2001–Dec. 2004	97°	698–705 km	Scalar only
Swarm	<del>2010–2014</del> 2013–	88°/87°	530/<450 km	Scalar and vector

・SWARM 以降のプロジェクトは未定

Olsen et al. (2009) に加筆

### ・地球磁場の継続観測

- 地磁気ジャークの面的な理解、再現性の解明
- 100年以上の時間スケールの永年変動(e.g. 西方移動)の解明
- マントル最下部電気伝導度構造の解明

### ・日本発の地磁気観測衛星の検討

- これまでのような大型／1機／長期 or 中小型／複数機／短期
- 地球観測衛星への相乗り
- 小型センサー／周辺システムの小型化、DC 観測の高精度化

連絡先：清水久芳（東京大学地震研究所）

shimizu at eri.u-tokyo.ac.jp

### 5.1.1.9 編隊飛行による地球電磁気探査衛星計画 (FACTORS)

#### 1. 目的・内容

極軌道（高度：350～3500km）を約1～50km（可変）の間隔で編隊飛行する2～3機の衛星群の直接・間接観測により、大気惑星、特に磁化大気惑星における宇宙惑星結合系として作用している普遍的で多様性に富む物理機構の定量的理解を得る事を目的とする。

地球周辺の宇宙空間と電磁的・物質的に接合している地球極域磁気圏・電離圏では、領域間結合系機構により、宇宙空間物質の加速・輸送、それらに関わる波動の励起・伝搬、大規模な電場構造、そして地球超高層と宇宙空間における電流が、多様な形態と様々な空間・時間スケールで発現し、相互作用機構を担っている。磁気圏プラズマダイナミクスにより駆動された現象が、磁力線により地球極域へと投影・伝達され、地球極域電磁気圏・超高層大気においては、宇宙プラズマ粒子の加速・輸送、電磁気圏電流系の形成・変動、オーロラ発光、地球大気プラズマの加熱・流出、あるいは中性大気加熱が引き起こされている。

このような宇宙惑星結合系は、系内・系外惑星を問わず、中心星（太陽）からの恒星風（太陽風）に晒される大気惑星、特に地球と同じ磁化惑星においては多様で普遍的な物理過程であり、それらの惑星周辺の宇宙空間を含む惑星圏の形成や惑星大気進化に深く関わる基本的な物理機構として作用する。特に地球極域電磁気圏の結合過程は、大気惑星における宇宙惑星結合系を代表するだけでなく、衛星による直接観測と、それらと相補的・多角的な地上観測との統合的観測体系により、最も精密で定量的に理解出来る探査対象である。

更に、ERG（あらせ）衛星計画において世界で初めて実証されつつある波動・粒子相互作用解析によるエネルギー授受機構の定量的評価の実績を継承し、電離圏イオンのプラズマ波動による加速・流出現象、極域磁気圏で励起するアルベン波やイオンサイクロトロン波によるプラズマ加速現象における素過程の定量的な物理機構の同定が可能である事も特筆される。これらの波動観測や波動粒子相互作用解析においては、複数衛星による同時観測が、波動のモード・伝搬特性、加速領域の空間分布・時間変動の定量的解析には不可欠となる。

また、従来の単独衛星による直接観測では時間変化と空間分布の分離がほぼ不可能であるのに対し、高時間・空間分解能によるオーロラ発光の2次元空間分布・時間変動の画像データとの比較・相関解析により、複数探査衛星での同時・多点観測データの取得・解析が実現すれば、自然事象の成長/励起・伝搬/輸送・消滅/減衰に関する定量的な評価が可能となる。これにより、広く宇宙科学全般において最も詳細で多面的な物理量（6桁に及ぶエネルギー帯域でのプラズマ粒子の速度分布関数の取得、7桁以上の周波数帯域におけるプラズマ波動の電界・磁界の多成分スペクトル・波形の計測、オーロラ・大気光の高速2次元単色撮像、等）を、統合的にもたらして来た実証科学としての宇宙空間物理学の分野に、まさに質的な転換をもたらすと期待される。

国外では編隊飛行衛星計画が着実に実現されて来ており、その学術的意義と将来展開の方向性は明瞭である。しかしながら、欧米に比肩する成果を輩出して来た日本の宇宙空間物理学分野には、未だに編隊飛行による探査衛星計画が実現しておらず、加えて、着実に実績を積み重ねつつ世界の第一線に並びつつある中国・インドにおける宇宙科学の将来計画に鑑みても、日本独自の構想と技術による編隊飛行探査衛星計画の早期実現が不可避である。

この状況下において、他の探査計画とは大きく異なる観点で、本探査衛星計画は独創的・進歩的である。それは、無衝突プラズマ系としての宇宙プラズマと弱電離プラズマ系としての地球超高層中性大気との領域間結合の直接探査である。無衝突系である磁気圏プラズマや電磁場・プラズマ波動が、磁力線に沿って地球極域電離圏・熱圏へと侵入・入射される過程において、衝突系であり弱電離プラズマを有する超高層大気領域との相互作用を経て、中性大気・プラズマ結合系を主体とする領域結合系を形成しているという事は、宇宙地球結合系を代表する特長の一つである。この様に、無衝突プラズマ領域から衝突系としての弱電離

プラズマ領域へと変化する結合系を、様々な物理量に渡って統合的・直接的に精密観測し得るのは地球超高層大気領域を対象とする本計画が唯一と言える。つまり、本計画のほぼ全ての高度領域において、最先端の学術的視点における科学観測意義・目的に合致した観測項目を提案している。

本計画では近地点高度 300~400km・遠地点高度 3500km の楕円極軌道に、3 軸姿勢安定方式の衛星を投入し観測・運用を行う。この軌道上での直接観測では 2 つの大きな特長を有する。第一点は、れいめい衛星と同様に、プラズマ粒子分析器が有する 360 度の平面状視野に磁力線を捕捉する姿勢制御により、ピッチ角分布を瞬時に取得可能で、1 台の分析器でも高い時間分解能を達成出来る事である。また、オーロラ発光を撮像している領域内にプラズマ粒子計測地点の磁気共役点を捕捉する姿勢制御を行う事で、オーロラ発光領域へ降下するオーロラ電子、あるいはオーロラ帯から上昇してくる電離圏イオンのエネルギー・ピッチ角分布を長時間に渡って同時計測する事も可能になる。次に、低高度での中性大気粒子計測においても、姿勢制御により衛星の進行方向を粒子分析器の視野内に捕捉し続ける事で、中性大気の密度・風速・温度計測が実現可能となる。この姿勢制御は近地点高度での空気抵抗を利用した微細な軌道修正運用にも有効である一方で、近地点・遠地点維持には衛星搭載推進系による制御も検討する必要がある。更に、イオンの旋回位相を分離しつつ、フラックスを計測するという世界初の旋回位相同時計測も可能で、波動粒子相互作用と併用する事で、波動・粒子間のエネルギー授受素過程の定量的直接観測が実現する。

前述の通り、本計画は ERG (あらせ) 衛星計画の発展型としても位置付けられる。ERG (あらせ) 計画では衛星観測・地上観測・モデリング/シミュレーションからなる三位一体型研究体制を新規軸の研究体制・手法として確立し、無衝突プラズマ系における波動・粒子間のエネルギー収支を定量的に評価出来る波動粒子相互作用解析として提案したが、本計画ではこれらを更に深化させ、世界的にも類を見ない研究活動を展開する事を目指している。従って、本計画は ERG (あらせ) 衛星計画の次のコミュニティーミッションとして分野の総意で提案されているものである。国外の宇宙空間物理学や超高層大気物理学の分野においても今後 10 年間に於ける最も重要な観測領域として広く認識されている。その中でも本計画は、宇宙地球結合系に作用する素過程の定量的・統一的理解を目指すという点で独創性・独自性が高く、広範な高度・領域・現象を網羅的、かつ統合的に観測する唯一の探査衛星計画として位置付ける事が出来る。また、本計画に衛星本体を提供し、同時打ち上げ・同時共同観測を行う可能性を見通し、スウェーデンの王立宇宙物理学研究所と国立宇宙機関も関心を持っており、実質的に推進する研究者間の検討・意見交換がなされつつある状況である。

本探査計画では、系内・系外の大気惑星において不変的な宇宙惑星結合系の定量的理解を得る事が目的であり、編隊飛行による探査計画という日本初の手法を基盤として実施する。更に、極軌道探査衛星計画においては世界初となる高時間・高空間分解能を達成し、衛星観測と相補的な地上観測、及びモデリング・シミュレーションとも連携することで、磁気圏・電離圏の領域間結合における多様な電磁的・物質的エネルギー授受過程の定量的理解、波動粒子相互作用におけるエネルギー授受の素過程の理解、無衝突プラズマ系から衝突系である弱電離プラズマ系へのエネルギー注入機構と中性大気の応答に関する統一的理解、をもたらすものと期待される。

## 2. 関係機関

名古屋大学、宇宙航空研究開発機構、京都大学、東北大学、東京大学、国立極地研究所、情報通信研究機構、電気通信大学、金沢大学、富山県立大学、大阪大学、九州大学、高知高専、スウェーデン王立宇宙空間物理学研究所 (Swedish Institute of Space Physics, IRF)、スウェーデン国立宇宙委員会 (Sweden National Space Board)

## 3. 予算規模

(c) 150 億円程度 (JAXA・宇宙研の公募型小型衛星計画)

#### 4. スケジュール

2018 年度に JAXA・宇宙研でワーキンググループ申請・承認

2022 年度に JAXA・宇宙研の公募型小型衛星計画として提案の結果、不採択

2022 年度末までに今後の方針（WG 解散、計画の再構築、など）を再検討（予定）

連絡先：平原 聖文（東海国立大学機構名古屋大学宇宙地球環境研究所）

hirahara at nagoya-u.jp



#### 5.1.1.10 NEO-SCOPE 計画 (The NEO-SCOPE Mission)

磁気圏・宇宙プラズマの大規模ダイナミクスは、これまで主として MHD 方程式に基づいて議論されて来た。しかしながら、磁気圏・宇宙プラズマにおいて多彩な現象がおこる真の原因を突き詰めていくと、全体としては大規模な運動であってもその中で鍵となる小さな領域が出現すること、その領域で鍵となるプロセスが発動すること、鍵プロセスはプラズマ粒子が MHD の制約から解き放たれて振舞うことに強く関係することが、Geotail, Cluster, THEMIS などによる最近の衛星観測から明らかになってきた。特に 1992 年打ち上げの Geotail 衛星以降、精密「その場」観測結果に基づいて MHD 近似の範囲を越えた議論が行われるようになった。2015 年 3 月に打ち上げられた米国の MMS 衛星は 4 衛星による編隊観測を電子スケールで展開している。鍵となるプロセスを理解するためには、鍵となる場所で、電子スケールでのプラズマ粒子の振る舞いを理解しなければいけない。しかしながら鍵となる場所の観測だけではスケールをまたがったダイナミクスの連携があるため十分とは言えず、鍵領域での電子スケールを分解すると同時に、イオンスケール、MHD スケールでのマルチスケール観測を行う必要がある。

NEO-SCOPE はポスト MMS のサイエンスを担うミッションである。比較的大きな親衛星 1 機と、100kg を少し超えるサイズの 4 機の子衛星で複数スケールの観測を目指した SCOPE 衛星計画は、日本だけでは実現不可能な規模に大規模化してしまった結果、海外協力の不調により検討半ばで実現を諦めざるを得なくなった。この、旧 SCOPE の反省の上に立ち、NEO-SCOPE では 50-100kg 級超小型衛星を本格的な磁気圏観測に投入することで、旧 SCOPE よりも小さい予算規模で SCOPE 以上の成果を目指す。現時点では高性能の 50kg 級衛星、およびそれに搭載可能な高性能観測装置の開発が途上であるため、ミッションの実現時期は確定できていない。

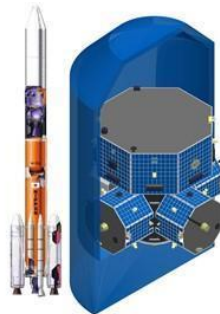
## SCOPE計画から NEO-SCOPE計画へ

### 磁気圏探査衛星・宇宙プラズマ物理 想定打ち上げ年 未定

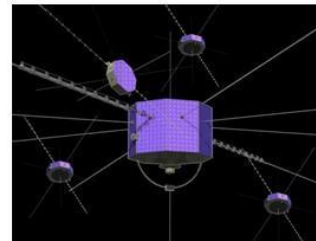
意義：(1) 太陽の影響下で大変動する太陽系宇宙環境を理解する。(2) 宇宙空間を満たすプラズマガスの物理を解明する。(3) プラズマ物理に基づいた新しい宇宙観を構築する。

目的：(1) 衝撃波、(2) 磁気リコネクション、(3) プラズマ乱流輸送において、マイクロ・スケールとマクロ・スケールの現象がどのように結合することで現象全体が作用するのか、宇宙ガスの振る舞いを支配することになるのかを、高性能「その場」観測から解明する。これら3つの現象の本質を理解することは、プラズマ宇宙観の構築にとって必須である。

## 旧SCOPE計画



H-2Aによる打ち上げを想定して検討。右は6機編隊をフェアリングに格納した状態。



親子衛星ペア(中心の二機)とそれを取り囲む3衛星からなるSCOPE編隊。親子間距離を10~100km、編隊の衛星間距離を100~5000kmとすることで、プラズマ物理における重要なスケールを網羅する。

構成：ダイナミックな現象が展開する地球周辺宇宙空間を宇宙プラズマ物理現象の実験室と見做し、そこでの精密な「その場」観測から宇宙空間ダイナミクスの根源的理解へと迫る。旧SCOPE衛星計画では、宇宙プラズマ現象「その場」で「同時マルチ・スケール観測」を実施するため、親子ペア衛星とそれを取り囲む子機3機の計5機で衛星編隊を組むことを想定していた。親子ペアがマイクロ物理へのズーム・インを行うと同時に、3機編隊がその周辺場のマクロ物理を把握し、スケールの異なる物理プロセスが結合・連携する様相を解明する予定であった。しかしながら、SCOPE衛星計画は、日本だけでは実現不可能な規模に大規模化してしまった結果、海外協力の不調により検討半ばで実現を諦めざるを得なくなった。この、旧SCOPEの反省の上に立ち、NEO-SCOPEでは50-100kg級超小型衛星を本格的な磁気圏観測に投入することで、旧SCOPEよりも小さい予算規模でSCOPE以上の成果を目指す。

連絡先：齋藤 義文 (宇宙航空研究開発機構)  
saito at stp.isas.jaxa.jp

### 5.1.1.11 ジオスペース探査衛星(ERG)計画 (Geospace Exploration: ERG Project)

#### 1. 目的・内容

本計画は、放射線帯の高エネルギー粒子の輸送・加速・消失機構と宇宙嵐ダイナミクスの解明を目的としたミッションである。2016年12月に、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所によって、ERG(あらせ)衛星が打ち上げられ、現在ジオスペースの観測を行っている。また、日本国内をはじめとする研究グループによって、ジオスペースの地上観測網が整備され、新学術領域、特別推進、基盤S等の大型科研費等の支援も受けながらネットワーク観測を行っている。また、ジオスペースの様々な現象に関係したモデリング・シミュレーションの開発も行われている。取得されたデータや解析ツールは、ERGサイエンスセンター(<https://ergsc.isee.nagoya-u.ac.jp>)から公開されている。これまで、本ミッションでは、関連する国外のジオスペース探査計画との積極的な連携を進め、キャンペーン観測や共同観測を多く展開してきた。今後も、関係するミッションとの共同観測を積極的に実施し、ジオスペース変動現象の包括的な理解を目指していく。また、国内外での講習会等の活動を通して、キャパシティビルディングにも貢献する。

#### 2. 関係機関

宇宙航空研究開発機構、東北大学、名古屋大学、東京大学、大阪大学、金沢大学、京都大学、富山県立大学、台湾 ASIAA、北海道大学、東京工業大学、電気通信大学、立教大学、情報通信研究機構、国立極地研究所、統計数理研究所、東京工科大学、大阪府立大学、大阪電気通信大学、吉備国際大学、九州大学、鹿児島高専、台湾国立成功大学、IRF、他国内外の多くの研究機関

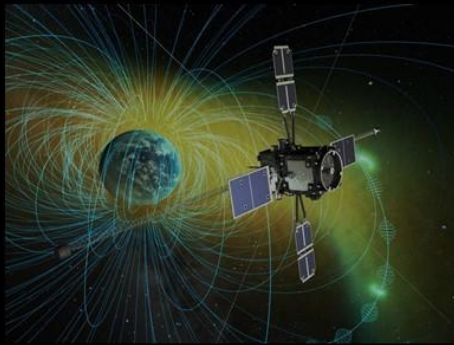
#### 3. スケジュール：実施中

2016年：ERG(あらせ)衛星の打ち上げ

現在、ERG衛星によるジオスペース観測、地上観測や他衛星との共同観測を実施中

## ジオスペース探査衛星(ERG/あらせ)計画: 放射線帯相対論的電子加速と宇宙嵐変動機構の解明

宇宙嵐時に大きく変化する放射線帯高エネルギー粒子加速、消失機構を  
衛星による直接観測、連携地上観測、モデリングの総合研究体制で解明



2016年12月 あらせ衛星の打ち上げ



衛星観測、地上観測、モデリングの総合研究体制

**年次計画 2016年：ERG衛星の打ち上げに成功**

**現在、衛星、地上観測群の連携によってジオスペース探査を行っている**

ERGサイエンスセンター：<https://ergsc.isee.nagoya-u.ac.jp>

関連機関：宇宙航空研究開発機構、東北大学、名古屋大学、東京大学、大阪大学、金沢大学、京都大学、富山県立大学、台湾ASIAA、北海道大学、千葉大学、東京工業大学、電気通信大学、立教大学、情報通信研究機構、国立極地研究所、統計数理研究所、東京工科大学、大阪府立大学、大阪電気通信大学、吉備国際大学、徳山高専、九州大学、鹿児島高専、台湾国立成功大学、IRF

連絡先：篠原育（宇宙航空研究開発機構）

e-mail: [iku@stp.isas.jaxa.jp](mailto:iku@stp.isas.jaxa.jp)

三好由純（名古屋大学）

e-mail: [miyoshi@isee.nagoya-u.ac.jp](mailto:miyoshi@isee.nagoya-u.ac.jp)

## 5.1.1.12 Comet Interceptor 計画

### 1. ミッション概要

Comet Interceptor は、長周期彗星（オールト雲領域から太陽系内側領域に飛来する彗星）に対し、複数探査機のフライバイによって電磁場・プラズマ観測、コマ物質観測、表面撮像などを行う。このサイエンスを実現するため、ターゲットとなる彗星が出現するまでの間はラグランジュ点で待機するという、新しいコンセプトの探査である。観測に成功すれば、太陽系初期に形成された小天体の形成環境・履歴に関する重要な知見を与えると期待される。プラズマ物理の観点では、衝撃波や太陽風 cavity, diamagnetic cavity といった、プラズマ境界を同時多点観測できるメリットがあり、衝撃波や中性粒子-プラズマ相互作用といった素過程の理解、さらには、その理解の惑星への応用が期待される。

本ミッションは、ESA においては既に採択済みである。ミッション提案時、ISAS としても Letter of Endorsement を発行している。日本のハードウェア関係者チームは、ESA におけるミッションのダウンセレクション以前から、ISAS RG として活動してきた。現在は体制を整えつつ Comet Interceptor Japan として ISAS WG の申請準備中である。

探査機構成：

親機 (ESA) , 子機 1 (JAXA) , 子機 2 (ESA) の 3 機構成の予定。

ペイロード：

ESA 側ではプラズマ観測器（粒子，電磁場）の他，中性粒子質量分析器，ダスト観測器，可視カメラ，分光計など。日本からは，磁力計，イオン質量分析器，可視カメラ，紫外カメラなどを搭載予定。

### 2. 関係機関

JAXA, 立教大, 京都産業大, 国立天文台, 東大, 京大など

### 3. 予算規模

10 億円以上 100 億円未満

### 4. スケジュール

2029 年頃打ち上げ予定

### 5. 連絡先

笠原 慧（東京大学大学院理学系研究科）

e-mail: s.kasahara at eps.s.u-tokyo.ac.jp

## 5.1.2.1 海洋科学掘削 2050 サイエンスフレームワーク

### 1. 目的・内容

深海掘削計画 (Deep Sea Drilling Program: DSDP) から国際深海掘削計画 (Ocean Drilling Program: ODP)、統合国際深海掘削計画 (Integrated Ocean Drilling Program: IODP)、国際深海科学掘削計画 (International Ocean Discovery Program: IODP) へと 50 年の歴史を持つ深海掘削科学は、日・米・欧 (カナダを含む) 主導のもと、中、韓、豪、印、ニュージーランド、ブラジルといった世界 20 カ国以上が参画する多国間国際共同プロジェクトである。2013 年 10 月からのプログラムが、2023 年に区切りを迎えるため、これまでの歴史を継承し、さらなる海洋掘削科学へ展開を図るべく、海洋科学掘削 2050 サイエンスフレームワーク (2050 Science Framework: Exploring Earth by Scientific Ocean Drilling) が 2020 年秋に出版された。世界各国から 650 名を超える研究者・技術者が議論を尽くし、科学コミュニティのアイデアを結集させて創り上げた 25 年を越える長期ビジョンを示している。科学掘削による地球システムの解明を目指し、7 つの戦略を骨子としている。1. 生命とそれを育む地球、2. 表層を覆うプレートのライフサイクル、3. 気候システム、4. 地球システムのフィードバック、5. 地球史のティッピングポイント、6. エネルギーと物質のグローバルサイクル、そして 7. 社会に影響を与える自然災害への挑戦である。

IODP では日本、アメリカ、ヨーロッパがそれぞれ提供するプラットフォームである科学掘削船を用いて、海底を掘削し研究を行っている。日本は地球深部探査船「ちきゅう」を主力船として、掘削やラボの運用を牽引してきた。海底広域研究船「かいめい」を用いた欧州との協力体制での調査航海の枠組みにも着手している。IODP に参加する研究者は、掘削によって得られる地層・岩石の柱状試料 (コア) や、掘削孔を活用した研究を行っている。科学掘削を通じて、地球科学や生命科学等における飛躍的な発展、パラダイムシフトが生まれた。地球電磁気学分野においても、海底磁気異常を担う海洋地殻の磁化構造の進化過程、変質過程等の解明を目指すとともに、過去の地球磁場変動の解明をより一層進めることを目指している。

国際深海科学掘削計画 (International Ocean Discovery Program: IODP)

J-DESC ホームページ (日本語): [http://j-desc.org/about\\_us/about-iodp/](http://j-desc.org/about_us/about-iodp/) IODP ホームページ (英語): <https://www.iodp.org/>

### 2. 関係機関

文部科学省、海洋研究開発機構、日本地球掘削科学コンソーシアム

国内では 50 組織 (大学及び研究機関等)、賛助会員 6 企業、個人会員 5 名が参画し、海洋研究開発機構は総合的推進機関となっている。

### 3. 予算規模

100 億円以上

### 4. スケジュール・構想の成熟度

すでに予算がついて実施中の計画だが、個々の掘削プロポーザルは、予算要求のために計画を具体化しつつあるのものから予算要求中のものも含まれる。

連絡先： 木戸ゆかり  
国立研究開発法人 海洋研究開発機構 (JAMSTEC)  
研究プラットフォーム運用開発部門 (MarE3)  
運用部 研究航海マネジメントグループ  
〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町 2 番地 15  
e-mail: [ykido@jamstec.go.jp](mailto:ykido@jamstec.go.jp)  
URL: <https://www.jamstec.go.jp/>  
J-DESC 事務局: [https://j-desc.org/about\\_us/about-iodp/](https://j-desc.org/about_us/about-iodp/)

### 5.1.2.2 国際陸上科学掘削計画 (International Continental Scientific Drilling Program: ICDP)

#### 1. 目的・内容

国際陸上科学掘削計画 (International Continental Scientific Drilling Program: ICDP) は、各種陸上科学掘削計画を推進するための国際的な枠組みで、メンバー国は 23 カ国に及ぶ。近年、地球の内部情報について、物理探査調査、リモートセンシング、広域マッピング等で広域概査がなされ、地球の形成過程や構造をよりよく理解するためのツールとして、科学掘削が注目されている。掘削は、地球の形成過程を直接研究できる唯一の手段であり、また地表観測やリモートセンシング観測に基づく地質学的モデルを評価・検証するためにも役立つ。掘削から得られる情報は、地球の天然資源や地球環境を管理する戦略作成にあたって必要不可欠なものとなっている。ICDP では、プロジェクト提案の相互評価を行い、メンバーの年間寄付金から掘削資金を提供する仕組みである。

ICDP は、21 世紀の我々社会の基礎的な挑戦として以下の 3 つのテーマを掲げている。

- ・ 気候と生態系
- ・ 持続可能な地下資源
- ・ 自然災害

これらの挑戦は我々が生きる惑星地球の表層のみならず、地下から表層の至る所で起こる化学反応や物理運動、そして生物間相互作用などのダイナミクスと密接に関わり、時空間の広がり膨大で限りなく複雑である。SGEPSS 関連では、極域の氷床、火山、鉱床、湖沼等での地球電磁気学的調査や地下構造の解明や過去の地球磁場・気候変動の解明をより一層進めることに寄与している。

ウェブサイト：

J-DESC ホームページ(日本語)：<https://j-desc.org/icdp-2/>

ICDP ホームページ(英語)：<https://www.icdp-online.org/home/>

#### 2. 関係機関

文部科学省、海洋研究開発機構、日本地球掘削科学コンソーシアム（海洋研究開発機構内に事務局が置かれている）。

#### 3. 予算規模

1 つのプロジェクトは、1 億~数十億円規模

#### 4. スケジュール・構想の成熟度

すでに予算がついて実施済～実施中の計画であるが、各プロポーザルベースでは、構想段階のものから予算要求中のものもある。

ICDP の組織

理事会 (AOG)：出資国の代表により構成され、ICDP の政策を決定し、活動を監視する。

執行委員会 (EC)：メンバー各国から出される代表 1 名により構成され、計画全体の統括、プロポーザルの実行順位の決定、予算の配分、および各掘削の運営・実施に当たる。



科学諮問グループ (SAG) : 世界の主導的な研究者により構成され、提出されたプロジェクトを評価 (ピアレビュー) し、計画委員会に送る。

技術支援グループ (OSG) : プロポーザルを提出する人に技術的な助言を与えると共に、実際の掘削の管理、得られた試料・データの整理分配を行う。

連絡先 : 木戸ゆかり

国立研究開発法人 海洋研究開発機構 (JAMSTEC)

研究プラットフォーム運用開発部門 (MarE3)

運用部 研究航海マネジメントグループ

〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町 2 番地 15

e-mail: [ykido@jamstec.go.jp](mailto:ykido@jamstec.go.jp) URL: <https://www.jamstec.go.jp/>

J-DESC ホームページ (日本語): <https://j-desc.org/icdp-2/>

ICDP ホームページ (英語): <https://www.icdp-online.org/home/>

### 5.1.2.3 太陽地球系結合過程の研究基盤形成 (Study of coupling processes in the solar-terrestrial system)

#### 1. 目的・内容

##### 【これまでの経緯】

本計画は、日本学術会議が2010年ごろに大型研究計画のマスタープラン策定を開始した当初から現在まで、引き続き提案を続けてきたもので、いずれの機会においても高い評価を得てきた。本題目名の研究計画としてマスタープラン2011に採択され、マスタープラン2014で重点大型研究計画（さらに、文科省ロードマップ2014に新規課題として採択）とされた。その後のマスタープラン2017とマスタープラン2020においても重点大型計画として高評価を連続して得てきた。しかしながら、未だ我が国の大型計画としての予算を獲得できていない状況にある。一方で、本計画に含まれるEISCAT\_3DレーダーはEU諸国からの予算を得て建設が進められつつある。

第25期の日本学術会議が提唱する「未来の学術振興構想」の策定に向けた「学術の中長期研究戦略」の公募に対しても、引き続き提案する予定であり準備中である。ここではその概要を紹介する。本計画に含まれる各装置に関して、本文書の各所に説明がある（下記に各節の番号を示す）。

（参考）

第24期学術の大型研究計画に関するマスタープラン（マスタープラン2020）公表文書  
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/kohyo-24-t286-1.html>

##### 【計画概要】

太陽からの放射エネルギー・太陽風プラズマの流れと、それに対する地球大気圏・電磁気圏の応答過程を観測し、太陽地球系の結合過程を統一したシステムとして定量的に理解するとともに、人類の宇宙利用や地球大気変動の予測に貢献する。このため、我が国が得意とする太陽風から地球までの地上設置観測装置群を整備し、太陽風速度、極域の電磁気圏変動、赤道域の全地球大気上下結合、全緯度域の電離圏・超高層・中層大気変動を10年以上にわたり観測・長期モニタリングする。

- 1) 赤道 MU レーダー：インドネシアに赤道 MU レーダーを設置して総合観測拠点とし、対流圏から中層大気を経て超高層大気に至るエネルギー・物質の噴流・循環過程（赤道ファウンテン）を解明する。（5.1.3.2 参照）
- 2) EISCAT\_3D レーダー：6ヶ国共同で北欧に建設中の EISCAT\_3D レーダー計画に参画し、主として送信機の整備を担当する。太陽風エネルギー流入により激しく変動する極域の電磁気圏を高解像度で3次元観測し、太陽風エネルギーの流入と地球大気の応答過程を解明する。（5.1.2.4 参照）
- 3) 広域地上観測網：地磁気と大気発光現象の広域地上観測網を赤道から極域に展開し、中層・超高層大気的全地球結合過程を解明する。（5.1.4.10 参照、5.1.4.11 参照）
- 4) 次世代太陽風観測装置：太陽風プラズマが電波天体（キューサー等）からの電波信号に生じさせるシンチレーションの受信装置（3点観測）を整備する。太陽風加速機構を明らかにし、太陽面爆発が地球に影響を与える規模と到来時刻の予報精度を飛躍的に向上させる。（5.1.4.7 参照）
- 5) 観測データ管理機構：大学間連携で運用中の「超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究（IUGONET）」を活用して、多種多様な観測データの統合データベース・解析ツールを構築し、国際共同研究に供する。（5.1.6.3 参照）

## 2. 関係機関

本計画の主たる実施機関は以下の通りである。

- 1) 赤道 MU レーダー  
京都大学生存圏研究所  
インドネシア国立研究革新庁 (BRIN)
- 2) EISCAT\_3D レーダー  
国立極地研究所  
名古屋大学宇宙地球環境研究所  
EISCAT 科学協会
- 3) 広域地上観測網  
名古屋大学宇宙地球環境研究所 (光学・電磁場観測網)  
九州大学国際宇宙惑星環境研究センター (地磁気観測網 (MAGDAS))
- 4) 次世代太陽風観測装置  
名古屋大学宇宙地球環境研究所
- 5) 観測データ管理機構  
IUGONET 運営協議会 (所属機関下記)  
京都大学生存圏研究所・京都大学理学研究科附属世界地磁気資料センター・  
京都大学理学研究科附属天文台・国立極地研究所・  
名古屋大学宇宙地球環境研究所・東北大学理学研究科・  
九州大学国際宇宙惑星環境研究センター

## 3. 予算規模

本計画の所要経費は総額 215 億円 (設備費と運営費 (10 年間)) である。

内訳

- 1) 赤道 MU レーダー : 120 億円
- 2) EISCAT\_3D レーダー : 40 億円 (日本の分担額)
- 3) 広域地上観測網 : 20 億円
- 4) 次世代太陽風観測装置 : 20 億円
- 5) 観測データ管理機構 (IUGONET) : 15 億円

## 4. スケジュール・構想の成熟度

- 本計画に対して国内外の研究コミュニティから支援を得ている。関連する学協会には、日本地球惑星科学連合 (略称 JpGU) 傘下の地球電磁気・地球惑星圏学会 (略称 SGEPS) および日本気象学会であり、電子情報通信学会にも関連が深い。国際的には ISC 傘下の SCOSTEP、URSI、IUGG (IAGA, IAMAS)、並びに ISWI である。
- 日本学術会議地球惑星科学委員会による「地球惑星科学分野における科学・夢ロードマップ 2020」の「1. 宇宙惑星科学」と「2. 大気水圏科学」に明確に位置付けられている。
- 参加研究機関はそれぞれの観測装置について概算要求を行っている段階にある。
- 赤道 MU レーダーは予算化から 3 年、地上広域観測網は予算化から 2 年間程度で装置類の設置を完了できる見込みである。EISCAT\_3D レーダーは第 1 段階の建設が開始され 2023 年には部分運用が開始されるが、当初計画を達成するためには、日本の貢献が必須である。

連絡先：山本 衛（京都大学生存圏研究所）  
e-mail: yamamoto at rish.kyoto-u.ac.jp

#### 5.1.2.4 EISCAT\_3D レーダー (EISCAT\_3D Radar)

##### 1. 目的・内容

スカンジナビア北部に設置された欧州非干渉散乱 (EISCAT) レーダーシステムに替わる、世界で初めての多点イメージングレーダー (EISCAT\_3D) を国際共同で建設・運用する。2017 年 9 月から、EISCAT 科学協会により、EISCAT\_3D レーダーの第 1 段階の建設が開始され、2023 年からの運用開始を予定している。第 1 段階では、主局のシーボトンと、2 つのリモート局 (カイセニエミとカレスパント) を整備する。日本は、EISCAT\_3D レーダーの送信系の開発及び部分整備を担当してきており、さらに第 2 段階における送信機増強への貢献を目指している。長年築いてきた国際共同の責任を果たすと共に、国内研究者が十分な観測時間を確保する上でも予算獲得が強く望まれる。

EISCAT\_3D レーダーの性能は、現行の EISCAT レーダーより 100 倍程度の向上が見込まれている。それにより、これまで成しえなかった電離圏パラメータ (電子密度・電子温度・イオン温度・イオン速度) の 3 次元立体観測を高い時間分解能で実現する。この EISCAT\_3D レーダーを中心とした拠点観測により、大気科学や太陽地球系科学、宇宙天気やレーダー工学等における様々な研究課題のブレークスルーを目指す。科学目標と機器概要、開発状況に関しては、「4.1.1 (2) 地上観測機器の開発」内の「多点フェーズドアレイ方式の非干渉散乱 (IS) レーダー」の項目を参照。

なお本提案は、日本学術会議マスタープラン 2017 の重点大型研究計画である計画番号 78 「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」による実現を目指している。(参照: 5.1.2.3 節)

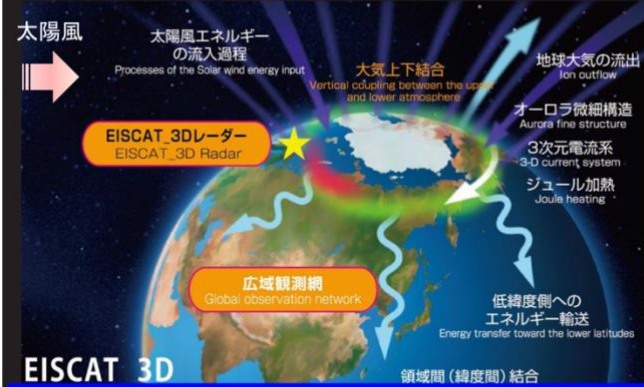
##### 2. 関係機関

EISCAT 科学協会には、国立極地研究所が EISCAT 国内代表機関として参画している。名古屋大学宇宙地球環境研究所をはじめとする全国の 17 大学・研究機関が現行の EISCAT プロジェクトに参画し、共同利用を実施している。国際的には、6 カ国 (日本、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、英国、中国) が EISCAT 加盟国として EISCAT レーダー群を維持・運用し、さらに准加盟国 (米国、ドイツ、ウクライナ、韓国) によるレーダー実験が実施されている。さらに、Peer Review Program と呼ばれる実験公募により、世界中の研究機関の研究者がレーダー実験に参加している。

##### 3. 予算規模

EISCAT 加盟国を中心とした各国の予算を予定。総建設経費は約 160 億円。その第 1 段階においては、ノルウェー・スウェーデン・フィンランド・英国、日本の国際共同による約 600 MSEK (約 80 億円) の予算を用いて整備を進めている。さらに、国立極地研究所は、約 25 億円規模の予算申請を継続し、第 2 段階における送信機増強の実現を目指している。運用費として年間約 5 億円を必要としており、加盟国の分担金で支出する。日本は現行のオーナーシップ (15%程度) の確保を目指している。

**大型レーダー（EISCAT\_3D）による極域の磁気圏・電離圏  
・大気圏へのエネルギー流入と応答過程の解明**



太陽風の粒子エネルギー流入によって極域に特有の現象が発生する。

- ・オーロラで代表される地球周辺プラズマ現象は秒単位の高速度で時間変動する。
- ・極域からは、地球大気の一部が宇宙空間に流出している。
- ・太陽風に起因する熱エネルギーや大気物質の変動は、下層の大気ならびに低緯度方向に伝わる。

これらの現象について、3次元 (3-dimensional) 空間構造を精密観測できる世界初の多点大型レーダー「EISCAT\_3Dレーダー」を国際協力で建設する。

**EISCAT\_3Dレーダー**

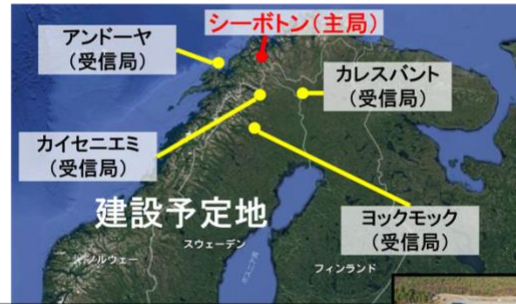
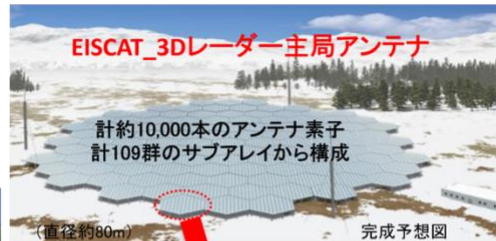
(設備総額160億円、日本分担35億円)

欧州非干渉散乱 (EISCAT) 科学協会 (日本・中国を含む6カ国) が提案し、EU大型研究ロードマップ (ESFRI) に採択 (2008年)、ESFRI-Landmark 認定 (2018年)。2017年9月に整備着工、2023年1月から第1期運用を開始予定。

- ・ノルウェー/スウェーデン/フィンランド/英国の予算を基に建設中。国立極地研究所も概算要求中。
- ・国内体制: 国立極地研+名古屋大学ISEE研

**EISCAT\_3Dレーダーの状況 (概算要求中)**

- 送信モジュール: 日本は技術実証用の増幅器開発や送信機の部分整備に貢献
- 「先端的レーダー研究推進センター」を極地研に設置 (2022年)。EISCAT\_3Dレーダーの共同利用・共同研究体制を強化。



連絡先: 先端的レーダー研究推進センター (国立極地研究所)  
e-mail: arrc-all at nipr.ac.jp

### 5.1.2.5 南極昭和基地大型大気レーダー(PANSY)を中心とした南極重点研究観測 (Program of the Antarctic Syowa MST/IS Radar and JARE prioritized project)

#### 1. 目的・内容

日本の南極地域観測事業は 1956 年に開始され、これまで 60 年以上にわたって継続して実施されてきた。これまでに行われた研究観測や定常観測から得られたオゾンホールが発見、南極氷床深層掘削、隕石の大量収集などの数多くの成果は、国内のみならず国際的にも極めて高い評価を受けている。平成 21 年度に南極初の大型大気レーダーとなる PANSY レーダーの南極昭和基地への設置が認められ、平成 22 年度から 27 年度まで実施された第Ⅷ期 6 年計画においては、重点研究観測「南極域から探る地球温暖化」のサブテーマ①「南極域中層・超高層大気を通して探る地球環境変動」の枠組みのもと、対流圏から熱圏／電離圏に至る幅広い高度領域における風速 3 成分や各種プラズマパラメーターの高精度かつ高鉛直・時間分解能な連続観測を開始した。これに加えて、昭和基地では PANSY レーダーと相補的なデータを提供する各種電波・光学観測が整備・運用されている。平成 28 年度から令和 3 年度までの第Ⅸ期 6 年計画では、PANSY レーダーフルシステムによる観測を軸に、これらの相補的観測を組み合わせ、南極大気の力学や物質輸送等に関する精密科学を展開する重点研究観測「南極から迫る地球システム変動」のサブテーマ①「南極大気精密観測から探る全球大気システム」を実施した。これは、南極観測のみならず、国内外の機関と共同で全球ネットワーク観測を行い、高解像度大気大循環モデルを用いてこれらをつなぐ世界初の総合的な地球気候システム研究として展開された。さらに、令和 4 年度から開始された第Ⅹ期 6 年計画では、重点研究観測「過去と現在の南極から探る将来の地球環境システム」のサブテーマ⑥「大型大気レーダーを中心とした観測展開から探る大気大循環変動」として、PANSY レーダーを中心とした大気観測を継続発展させ、数分から太陽活動周期 11 年の幅広い周期帯の南極大気現象を捉えるとともに、各大気現象の年々変動とメカニズムを明らかにするための研究観測を実施している。

これまでの南極重点研究観測では、対流圏・成層圏・中間圏を主な対象として、軸となる PANSY レーダーフルシステムによる連続観測に加えて、種々の光学・電波同時観測を展開することで、成層圏極渦、極中間圏雲などの南極固有の大気現象やブリザード・ブロッキングなどの下層大気現象と中層・超高層大気の上下結合の解明を進めてきた。また、近年発見された冬極成層圏と夏極中間圏を結ぶ両半球結合過程のメカニズムを探るための基礎となる重力波観測データを取得するため、南極の他国基地および中低緯度・北極域をつないだ大型大気レーダー国際共同によるキャンペーン観測 (ICSOM: Interhemispheric Coupling Study by Observations and Modelling) を計 7 回主導した。関連して、全大気モデルによる長期シミュレーション実験データに基づいて、両半球結合の経路や中層大気中で発生する各種波動の重要性を明らかにし、新たなメカニズムを提案した。また、中間圏下部熱圏を含む高解像大気大循環モデルを用いて衛星等の観測データを同化し、現実大気の高解像グローバルデータを作成する開発研究が行われており、ICSOM による国際共同精密観測データを組み合わせることで、重力波スケールから惑星規模までの全中性大気の階層構造や大気大循環の仕組みの定量的解明が期待される。また、PANSY レーダーでは対流圏・成層圏・中間圏の基本観測に加えて、南極では初となる非干渉性散乱エコーの観測 (とそれを用いたプラズマパラメータ推定) や、周波数領域干渉計と多チャンネル観測を組み合わせた 3 次元イメージング、沿磁力線不規則構造の観測 (による電場の推定) などがキャンペーンベースで実施されている。基本観測である中間圏観測の際に、副産物として行う流星風観測を実用化し、下部熱圏域も常時連続観測が実現している。また付加受信装置を用いた境界層観測も計画さ

れている。さらに、高分解能気温センサーを搭載したラジオゾンデや無人飛行機との同時観測による大気乱流の研究、スーパープレッシャー気球による面的観測と組み合わせた大気重力波の研究など、南極では初となる様々な研究観測が実施されている。また、PANSY 計画では第 VIII 期から第 X 期にかけて、太陽活動の 11 年周期を含む約 12 年のフルシステム観測を予定しており、高時間分解能な長期連続観測データを用いた広範な周波数領域における変動成分の抽出と異なるスケール間の遷移過程や相互作用の解明も期待される。第 X 期においては、大気大循環変動の理解を傘テーマとし、以下のような研究展開を行う。

#### 1. 大気大循環変動のメカニズムの理解

気候変動の理解には、気候決定の重要要素である大気大循環の変動の定量理解が不可欠である。大気大循環は、様々な時間空間スケールの大気現象の相互作用の結果として生成維持されているため、その変動のメカニズムの理解には、総合的な大気観測の実施が本質となる。第 X 期においては、PANSY レーダーを軸に蓄積してきた長期連続高解像度観測データをもとに大気大循環変動に取り組む。とりわけ観測の不足する大気重力波を中心に、その発生、伝播、砕波の物理メカニズムや大循環変動に対する役割を研究するとともに、カタバ風・極成層圏雲・極渦・オゾンホール・成層圏突然昇温・極中間圏雲などの南極固有の現象も研究対象とするほか、対流圏界面折込み現象や乱流における輸送・混合過程にも光をあてる。さらに、以下に示す PANSY 高機能観測、各種電波・光学観測装置、ネットワーク観測、相補的高解像度大気大循環モデルを組み合わせた研究体制を構築する。

#### 2. 高機能観測および電波・光学同時観測の充実による大気現象の変動の多角的理解

様々な南極固有現象の変動の深い理解には、PANSY レーダーの対流圏から下部熱圏域の定常観測に加えて、各種高機能観測と相補的各種電波・光観測装置による多角的観測が有効である。PANSY レーダー観測の電離圏観測を拡充するとともに、イメージング手法をもとにした高空間分解能観測を実施し、付加受信装置による境界層内の観測も行う。また、第 IX 期までに導入された大気光イメージャ、ミリ波分光放射計、MF レーダー等の観測を継続・強化する。さらに、PANSY レーダーを、気象予報のための装置としてとらえ、そのデータの局所的・遠隔的影響を、データ同化システムを用いて探る。

#### 3. 新たな面的観測展開による南極広域大気理解

気候変動の実態を捉えるには、気温・風などの基本的観測を長期にわたって行うことが必要となるが、南極域は圧倒的に観測データが不足している。第 X 期では PANSY レーダーを中心とした昭和基地拠点における超精密観測に加え、面的展開として、南極上空の風に乗って南極域全域を周回し長期間の観測可能とする気球（スーパープレッシャー気球）を開発し、季節ごとに実施する。第 X 期にとどまらずより長期的な実施を視野に入れている。

#### 4. 太陽地球系としての地球外環境に対する極域大気応答の解明

極域では、宇宙空間からのエネルギー注入や流星ダスト等の地球外物質の流入による大気組成やエネルギー収支の変動が起こる。長期的な地球環境変動を予測するには、地球近傍の宇宙空間も含めた地球システムの精密な理解が欠かせない。第 X 期では、第 IX 期に開始した光電波観測や衛星観測等に加え、宇宙線観測の拡充も行い、地球外起因の現象調査を継続・発展させる。

#### 5. 国際協同ネットワーク観測と高解像度大循環モデルの結合による総合研究



PANSY レーダーを要として、数年にわたり我が国主導で行ったグローバルな国際協同大型大気レーダーネットワーク観測データを生かし、精密な南北両半球結合メカニズムの解明を行う。データ同化による地上から下部熱圏までの全中性大気の長期再解析データを作成し、これを用いた高解像大気大循環モデルによる重力波を含む観測の再現を行い、季節性や年々変動の視点で研究する。この国際協同観測には、大気光イメージャネットワーク (ANGWIN) による相補的観測も含まれる。PANSY レーダーおよび ANGWIN の観測を継続し、並行して南極周回気球観測を加え、高解像度大気大循環モデルを用いた研究と連携することで、地上から下部熱圏までの全球的な定量的な運動量・エネルギー収支の解明が期待される。

## 2. 関係機関

国立極地研究所、東京大学、京都大学、名古屋大学、東京都立大学、信州大学、明治大学、立教大学

## 3. スケジュール

2022～2028 年：南極地域観測第 X 期 6 か年計画重点研究観測

～2027 年：PANSY レーダーフルシステム観測

2027 年～：PANSY レーダー部分システム観測

連絡先：佐藤薫（東京大学大学院理学系研究科）

e-mail: kaoru at eps. s. u- tokyo. ac. jp

堤雅基（国立極地研究所）

e-mail: tutumi at nipr. ac. jp

富川喜弘（国立極地研究所）

e-mail: tomikawa at nipr. ac. jp

### 5.1.3.1 日本列島周辺での大規模アレイ状電磁観測計画 (Project “JEMINI” : Japan Electro-Magnetic Imaging with Network observation In-depth)

#### 1. 目的・内容

プレート沈み込み場の 1 つである日本列島とその周辺海域では、地震や火山活動などの地球科学的活動が極めて活発であり、そこには地殻やマントル内の流体の寄与が指摘されている。そこで本計画では、日本列島の海陸を覆うような、大規模アレイ状の地球電磁気観測を実施して、地下の 3 次元電気伝導度構造を解明し、流体の分布や地殻活動への寄与について制約を与えることを目的としている。

日本列島周辺に沈み込むプレートは 1 枚ではなく、年代の違うプレートが重なって沈み込むなど、立体的で複雑な沈み込み場となっている。日本列島規模の 3 次元地下構造を把握することは、沈み込みに伴う諸現象を解明するために必要であり、これまでに面的な地震波観測や地殻変動観測により、3 次元速度構造モデルや地殻変動モデルが提案されている。しかし、これらとは独立な物理量である電気伝導度の 3 次元構造は未解明であり、地下の温度構造や地殻・マントル内の流体分布について制約を与えるために必要となっている。

一方、海外では大規模アレイ状電磁気観測が精力的に実施されている。例えば北米における USArray、中国大陸における SINOPROBE、イベリア半島における Topo-Iberia など、3 次元地下構造解明を目指した大型プロジェクトが大きな成果を上げている。これらを受けてその他の国でも同様の計画を検討中であり、例えばオーストラリアでは AuScope 計画が進行中である。

そこで JEMINI 計画（仮称）では、日本列島の陸域～沿岸海域を 50km 間隔で覆い尽くすように観測点を配し、電磁気観測を実施し、地下での電磁誘導現象を明らかにすることを計画している（別図）。陸域においては既存の電磁気観測データを補うように観測を行う。また海底については 10 台以上の海底観測装置を巡回させ、10 年程度をかけて日本の周辺海域でのデータ取得を行う。

#### 2. 関係機関

SGEPSS 分科会 CA 研究会に参加する大学・研究機関

（北海道大、東北大、秋田大、東京大、東京工業大、千葉大、京都大、大阪市立大、神戸大、鳥取大、高知大、産業技術総合研究所、国土地理院、気象庁、海洋研究開発機構など）

#### 3. 予算規模（(b) 10 億円以上）

・ 観測機器開発費（陸上用、長周期磁力計 x20 台）	1 億円
・ 観測機器開発費（海底用、海底電位差磁力計 x40 台）	4 億円
・ 観測消耗品（海底用、年間 30 点、年間 3000 万円）	3 億円/10 年間
・ 旅費（野外観測、学会発表など、年間 1500 万円）	1.5 億円/10 年間
・ 人件費（データ整理、解析、年間 2000 万円）	2 億円/10 年

#### 4. スケジュール

2013 年度～2017 年度：

既存の地下比抵抗断面の整理（地殻比抵抗構造データベースの構築）

観測地点データベース構築のためのデータ収集

2018 年度より当面：

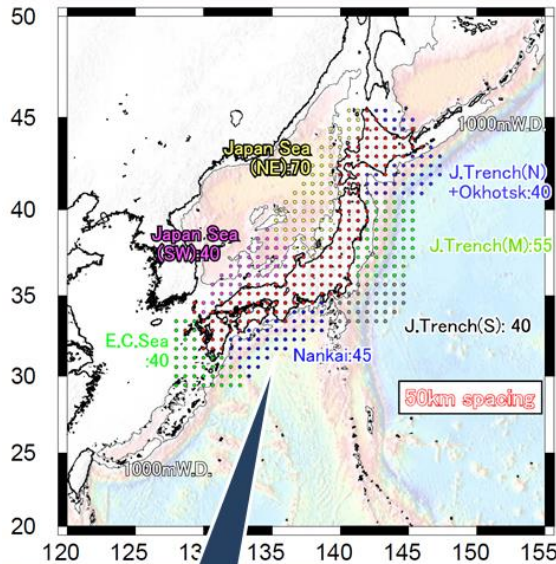
既取得データの整理・データベースの構築、フィージビリティスタディー

その後：東北地方（太平洋・日本海側）を中心とした海陸での電磁観測の実施

近畿・中国・四国地方（太平洋・日本海側）を中心とした海陸での電磁観測の実施

その他の地域（北海道、九州、中部日本）での海陸での電磁観測の実施

## JENINI計画 - 日本列島周辺での大規模アレイ状電磁観測 (Japan Electro-Magnetic Imaging with Network observation In-depth)



日本列島の海陸を覆うような  
大規模アレイ状の  
地球電磁気観測を実施

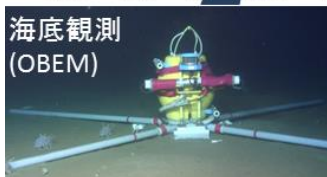
↓  
3次元的な地下電気伝導度構造  
を解明し、流体の分布や地殻活  
動への寄与を明らかにする。

### 年次計画

2013年より当面：既存データの整理、事前検討

- その後：
- ：東北日本での海陸電磁観測
  - ：西南日本での海陸電磁観測
  - ：その他の地域での海陸電磁観測

関連機関：SGEPSSCA研究会  
(東大・京大・JAMSTECほか)



海底観測  
(OBEM)



陸上観測  
(Network-MT)

連絡先：後藤忠徳（京都大学工学研究科）  
goto.tadanori.8a at kyoto-u.ac.jp

### 5.1.3.2 赤道MUレーダー (Equatorial MU Radar)

#### 1. 目的・内容

##### 【設備の概要】

生存圏研究所の最大・最重要な海外研究拠点である赤道大気レーダーの飛躍的な拡充をめざし、MUレーダーと同等の感度を有する高機能大気レーダー「赤道MUレーダー」をインドネシア共和国に設置する。本装置は、多チャンネル・多周波数の送受信機能と高度な信号処理技術により、地上から超高層大気に至る広領域の大気現象を3次元イメージング観測する。装置概要は、1045台のクロス八木アンテナが略円形敷地内に配置された「アレイアンテナ」、各アンテナ基部に設置された同数の「送受信モジュール」、ソフトウェア無線技術を駆使して多チャンネル・多周波数の変調パルスを生成し受信信号を復調し信号処理するサブシステムと信号の分配・合成回路等から構成される「多チャンネル変復調・データ処理装置」である。本装置は高度化する大気微細構造の観測ニーズを満足するために必要不可欠であり、導入によって、地球環境変化の鍵を握る赤道域大気現象の微細構造を立体可視化して捉えることができるようになる。

なお、赤道MUレーダーは、日本学術会議マスタープラン2020の重点大型研究計画である計画番号18「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」の設備群に含まれている。さらに、現在公募が行われている日本学術会議「未来の学術振興構想」においても、同名称の計画の一部として提案される。(参照：5.1.2.3節)

##### 【導入の必要性等】

わが国は、MUレーダー(中緯度域の大気レーダー;1984年設置)、南極昭和基地大型大気レーダーPANSY、赤道大気レーダーと、低緯度・中緯度・高緯度域にそれぞれユニークな観測装置を有している。しかし赤道大気レーダーは他の2者より感度が1/10と低くバランスを欠く状況である。赤道域は太陽放射エネルギーを最も強く受ける領域であり、地球大気の種類現象の駆動源であって地球環境変動研究上の最重要地点である。特にインドネシア域は太陽光による島嶼(とうしょ)の加熱と周辺の海洋からの水蒸気供給によって、地球上で最も活発な対流現象が発生しており、この地域の大気諸現象が日本の気象・気候変動に与える影響も小さくない。「赤道MUレーダー」を用いてインドネシア域赤道大気の観測感度と機能を飛躍的に高め、赤道の下層大気で発生した大気波動が上方へ伝搬し上層大気の運動を変化させる様子など、赤道を中心とする地球大気の上層結合すなわち「赤道ファウンテン」と呼ぶべき大気の構造・運動の解明を進めることが必要不可欠である。

高感度の「赤道MUレーダー」によって、世界で初めて、地理赤道上における中間圏(高度60~100km)の大気乱流観測と、電離圏からの超微弱なインコヒーレント散乱の観測が可能となる。またレーダーイメージングによって地球環境変化の鍵を握る赤道域大気現象の微細構造を立体可視化して捉えることができる。以下のような研究の進展が期待される。

- ・対流圏界面近傍・中間圏を含む下層・中層大気のダイナミクスの解明
- ・対流圏・下部成層圏における乱流層の微細立体構造の解明
- ・地球温暖化にも関係する大気微量成分の鉛直輸送に関する研究
- ・電離圏コヒーレント散乱の微細立体構造の解明
- ・流星・スペースデブリの微細立体構造の解明
- ・新しいイメージングレーダー技術の開発研究

#### 2. 関係機関

京都大学生存圏研究所

インドネシア国立研究革新庁(BRIN) 【相手国の協力機関】

### 3. 予算規模

概算要求額（設備費） 100億円  
（運営費：10年間で20億円）

## 赤道MULレーダーの具体化状況

### • 設備計画

- 用地は確保済。工事のための環境影響評価、工事許可の合意済。
- 赤道大気レーダー（EAR、2001年完成）の北側に整備する。
- 詳細設計が終了しており、建設開始から約12ヶ月で観測開始できる。

### • 運用体制

- 15年以上に亘って、EARをインドネシア航空宇宙庁（LAPAN）と共同運営。
- 赤道MULレーダーに関し、インドネシアの研究・技術高等教育省（RISTEK-DIKTI）大臣と2回面会し、対応責任機関をLAPANとすることが決定済。
- LAPANと計画推進で合意済（2014年）
- インドネシア側の要請を日本大使館を通じ文科省に伝達済。
- 日本側：設備費、運営経費（電気代、装置維持費、共同研究経費等）
- インドネシア側：用地提供、観測所の設置、研究者・観測要員の配置等、既にEARのために体制構築済。



連絡先：山本 衛（京都大学生存圏研究所）  
e-mail: yamamoto at rish.kyoto-u.ac.jp

#### 5.1.4.1 大学中・小型望遠鏡群による惑星観測計画

##### ー惑星変動現象の飛翔体連携観測と系外惑星の大気成分検出に向けて

(Plan of planetary observation with small- and medium size optical telescopes - toward understanding planetary atmospheric variation in cooperation with spacecraft and detection of exoplanetary atmosphere)

#### 1. 目的・内容

現在ハワイ・ハレアカラ山頂（標高 3000m）で稼働している東北大学 60cm 望遠鏡・40cm 望遠鏡による惑星大気変動現象のために不可欠な光赤外リモートセンシングの「連続観測データ」を得るとともに、国際共同で進められている口径 1.8m 低分散光学望遠鏡「PLANETS」をはじめ、地上望遠鏡の観測を進める。ハワイ望遠鏡以外にも、北大・名寄ピリカ望遠鏡、チリ・アタカマの東京大学 TAO 望遠鏡が稼働中もしくは近年に稼働を開始する。これらの大学望遠鏡では自前の設備の利点を生かして科学目的に最適な連続モニタリング観測、突発現象や飛翔体連携観測などのフレキシブルな運用を行うことができる。地上からは、大型の装置を生かした可視・近赤外観測が有効であるが、高地では近紫外観測も可能となるため様々な惑星・小天体観測が候補となる。具体的には以下の通りである。

- ✓ 木星 Hisaki/EXCEED, Juno, JUICE: 衛星イオ火山ガスモニタリング、衛星イオプラズマトーラス、木星オーロラ活動、エウロパ水プルーム
- ✓ 火星 MMX, MAVEN, MarsExpress など火星探査機: 微量気体・水系分子季節変動
- ✓ 金星 Akatsuki: 風速・温度分布、雲・未知の吸収物質分布
- ✓ 土星: エンセラダス水系分子トーラス発光
- ✓ 水星 Bepi Colombo : アルカリ金属外圏大気分光

さらに、偏光分光や高コントラスト性能を生かした系外惑星の大気成分の検出も課題である。

#### 2. 関係機関

東北大学、JAXA、東大、名古屋大、国立天文台、ハワイ大学、ドイツケーペンハウワー研、フィンランド・トゥルク大、ブラジル・ポンタグロッサ大、フランス・リヨン大

#### 3. 予算規模

～3 億円

#### 4. スケジュール

2022 年: PLANETS 主鏡の最終研磨、PLANETS 観測所建築工事

2023 年: PLANETS 望遠鏡国内試験観測、TAO 望遠鏡完成予定

2024 年: PLANETS 望遠鏡のハワイ・ハレアカラ観測所への設置

2025 年～: PLANETS 望遠鏡の定常観測の開始、木星、火星、金星ならびに系外惑星の科学観測

次ページのサマリ図を参照のこと。

## 大学小型・中型望遠鏡群による惑星観測計画

### – 惑星変動現象の飛翔体連携観測と系外惑星の大気成分検出に向けて

- ハワイ・ハレアカラ山頂（標高3000m）の口径1.8m低分散光学望遠鏡「PLANETS」を用いて、惑星変動現象のために不可欠な光赤外リモートセンシング「連続データ」を得る。
- 大学望遠鏡の専有性を生かし、科学目的に最適化したフレキシブルな運用を行い、突発天体や飛翔体連携を進める。

● 主な研究テーマ  
 木星オーロラ・衛星イオ火山ガス  
 火星量気体季節変動、同位体、水系分子  
 金星雲分布・風速温度分布  
 系外惑星大気

- コスト  
 ~3億円
- 主な関連機関  
 東北大学、JAXA、東大、名古屋大、北大、国立天文台、ハワイ大学、ドイツケーペンハウワー研、フィンランド・トゥルク大、ブラジル・ポンタゴロッサ大、フランス・リヨン大

1.8m低分散光学望遠鏡PLANETS  
 (東北大・名大、京大他)

既設ハレアカラ40cm・60cm望遠鏡（東北大）



#### ● スケジュール

- ✓ 2022年：PLANETS主鏡の最終研磨、PLANETS観測所建築工事
- ✓ 2023年：PLANETS望遠鏡国内試験観測、TAO望遠鏡完成予定
- ✓ 2024年：PLANETS望遠鏡のハワイ・ハレアカラ観測所への設置
- ✓ 2025年：PLANETS望遠鏡の設置、木星、火星、金星ならびに系外惑星の科学観測を開始

飛翔体観測との連携

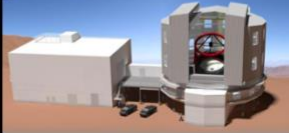
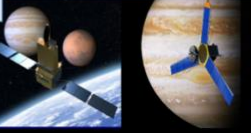
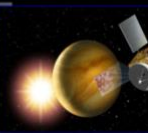
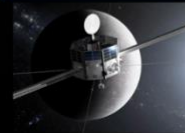
大学望遠鏡群との連携  
 (東大TAO6.5m望遠鏡等)

水星 (BepiColombo)

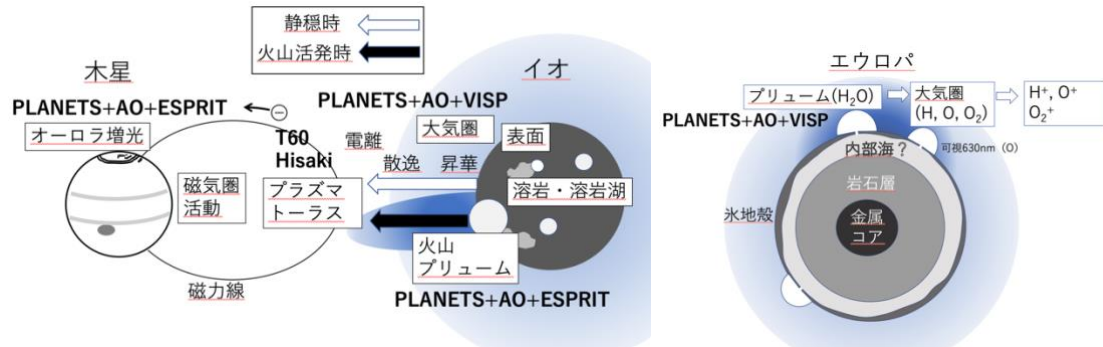
金星 (Akatsuki)

火星 (MMX, MAVEN, MarsExpress 等)

木星 (Hisaki, Juno, JUICE 等)



研究テーマ例：（左）イオ火山と木星磁気圏-電離圏結合過程の解明（右）



連絡先：坂野井 健（東北大学）

e-mail: tsakanoi\_ at\_pparc. gp. tohoku. ac. jp

#### 5.1.4.2 太陽系・系外惑星大気の精密観測のための赤外高分散分光技術開発 －惑星大気物理過程の多角的理解に向けて

(Development of infrared high-resolution spectroscopy for precise measurement of planetary atmosphere - toward understanding the multifactor in planetary atmospheric processes)

##### 1. 目的・内容

これまでの可視高分散分光装置、コロナグラフ、中間赤外ヘテロダイン分光装置の開発スキルを生かし、中空ファイバーを用いた小型軽量ヘテロダイン分光装置、近赤外高分散エシエル分光装置、近赤外でも利用可能なファイバーアレイ開発を行う。また、補償光学(AO)を用いて、水星などの惑星表面やイオ火山火口・溶岩ならびにエウロパ水プルームの分布を捉える高空間分解観測を行う。さらに、小型軽量高分散分光器の将来飛翔体実験を検討する。具体的な研究テーマを以下に挙げる。

- ✓ 火星の微量気体成分の観測から、惑星気候変動に取り組む。
- ✓ 金星の微量成分観測と雲層の風速と温度を明らかにする。
- ✓ 木星イオ火山活動と赤外オーロラ観測から、磁気圏におけるプラズマ加速と磁気圏-電離圏結合を解明する。
- ✓ エウロパ水プルーム分布観測から地下構造の解明に挑む。
- ✓ ロケットや飛翔帯搭載機器開発への技術展開を図る。

##### 2. 関係機関

東北大学、名古屋大学、東京大学、国立天文台、千葉工大、JAXA、ハワイ大学

##### 3. 予算規模

～2億円

##### 4. スケジュール

2022年：近赤外カメラによる木星赤外オーロラの国内試験観測、可視AO実験

2023年：可視AO観測、赤外ファイバーアレイ開発、赤外AO開発

2024年：近赤外エシエル分光器試

2025年～：近赤外エシエル分光器の国外観測開始

次ページのサマリ図を参照のこと。

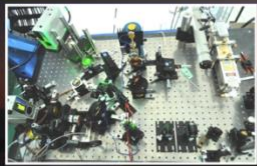


# 太陽系・系外惑星大気の精密観測のための赤外高分散分光技術開発

## －惑星大気物理過程の多元的理解に向けて

- 可視高分散分光装置、コロナグラフ、中間赤外ヘテロダイン分光装置の開発スキルを生かし、中空ファイバーを用いた小型軽量ヘテロダイン分光装置、近赤外高分散エシェル分光装置、近赤外でも利用可能なファイバーアレイ開発を行う。
- 補償光学（AO）を用いて、水星などの惑星表面やイオ火山火口・溶岩ならびにエウロパ水ブリュームの分布を捉える高空間分解観測を行う。
- 小型軽量高分散分光器の将来飛翔体実験を検討する。

中間赤外ヘテロダイン分光装置



可視高分散分光装置  
コロナグラフ装置

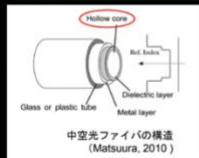


- ✓ 主な研究テーマ
- ✓ 火星の微量気体成分の観測から、惑星気候変動に取り組む。
- ✓ 金星の微量成分観測と雲層の風速と温度を明らかにする。
- ✓ 木星イオ火山活動と赤外オーロラ観測から、磁気圏におけるプラズマ加速と磁気圏-電離圏結合を解明する。
- ✓ エウロパ水ブリューム分布観測から地下構造の解明に挑む。
- ✓ ロケットや飛翔帯搭載機器開発への技術展開を図る。

- コスト  
～2億円
- 主な関連機関  
東北大学、名古屋大学、東京大学、国立天文台、千葉工大、JAXA、ハワイ大学

ファイバーアレイ追加  
AO化、赤外検出

中空赤外ファイバー応用



近赤外高分散エシェル分光装置



小型軽量化  
飛翔体搭載検討

地上望遠鏡へ設置・観測

- スケジュール
- 2022年：近赤外カメラによる木星赤外オーロラの国内試験観測、可視AO実験
- 2023年：可視AO観測、赤外ファイバーアレイ開発、赤外AO開発
- 2024年：近赤外エシェル分光器試
- 2025年～：近赤外エシェル分光器観測開始

連絡先：坂野井 健（東北大学）

e-mail: tsakanoi\_ at\_pparc. gp. tohoku. ac. jp

### 5.1.4.3 HF～VHF 帯大型アレイ・アンテナ計画 (Development of a high sensitivity radio observation system in the HF-VHF range)

#### 1. 目的・内容

太陽コロナや惑星圏で発生し到来する非熱的電波は、その放射域や伝搬域の電磁環境やプラズマ・ダイナミクスに関わる情報を内包している。それらの非熱的放射の中で、地球電離圏で遮蔽されずに地上に到達し得る低い周波数帯の電波には、STP 領域に加えて宙空災害科学の研究面でも重要な、多様な時間・周波数で変化する電波現象が存在する。本計画では、太陽、惑星から到来する HF～VHF 帯 (20～80MHz) の電波を、高感度・高速、且つ、定常的に観測を行い得る装置の開発を行う。具体的な内容として、低コストの小型アンテナ群を、高速演算素子を用いた受信機をデジタル的に結合し、「高感度・高速性」を備え、且つ、STP・宙空災害科学両研究面で重要な、「連続・長時間観測」が可能なシステムの開発を目指す。

本計画で観測対象とする周波数帯において、「高感度性」を備える観測システムとして、国際的な超大型電波干渉計プロジェクトであり、開発の進む超大型アレイ・アンテナである SKA (Square Kilometer Array) -Low(豪)の path-finder 的な役割を担う LoFAR (Low Frequency Array, 欧州) や NenuFAR (仏) プロジェクト等があるが、こうした大型プロジェクトは多目的に運用されるため、STP・宙空災害科学両研究分野で求められる「連続・長時間観測」には適さない。現在、太陽・惑星電波の定常的な高感度観測を行っているシステムは、世界的にはフランス・パリ天文台の電波観測装置 (NDA) がほぼ唯一であり、可観測時間が限られている。本装置の設立は太陽・惑星電波の世界的な観測カバレッジ増加に繋がり、NDA とともに「連続・長時間観測」を実現することにより、惑星圏グローバル変動様相の解明や、人類の宇宙活動の脅威となる高エネルギー粒子 (SEP) 発生に同期して放射される特徴的な太陽電波バーストの高速検出に基づく、SEP 出現の早期把握等への貢献が期待される。また、本装置は将来的に SKA-Low と超長基線干渉計 (VLBI) を構成し、太陽系外も含む惑星科学研究への展開の他、天文学分野の研究 (宇宙再電離研究 他) への貢献も期待される。更に、本計画で行おうとする「高感度・高速性」実現のための技術開発は、人材育成面も含めて、on-going の研究課題である、月面天文台や宇宙空間での本計画より更に低い周波数帯での「高感度」電波観測へ接続する役割を担うことも期待される。

本計画の具体的な研究対象は以下の通りである。

- ・ 太陽電波バーストの広帯域偏波観測による粒子加速過程・電波伝搬過程の究明
- ・ 太陽電波バーストの高感度観測による電波発生的高速同定と高エネルギー粒子 (SEP) 現象の早期把握
- ・ 惑星 (木星) 電波バーストの高感度観測による磁気圏グローバル変動過程の究明

- ・ 惑星（木星）電波バーストの高感度広帯域偏波観測によるプラズマ環境とその変動の究明
- ・ 超大型アンテナとの VLBI 観測による系外惑星電波の同定と惑星電磁環境の探究

2. 関係機関 東北大学、名古屋大学、情報通信研究機構、国立天文台

3. 予算規模 ～1 億円

4. スケジュール

2022 年：広帯域・高速信号処理系のソフトウェア構築とデジタル受信機の仕様策定

2023 年：デジタル受信機の開発およびアンテナ・アレイへの適用と、信号処理系統合による 高感度電波観測システムの構築

2024 年～：太陽電波バースト・惑星電波の観測・研究

連絡先：三澤 浩昭（東北大学）

e-mail: misawa\_ at\_pparc. gp. tohoku. ac. jp

#### 5.1.4.4 UHF 帯高感度・広帯域偏波スペクトル計開発 (High sensitive Spectro-Polarimeter in the UHF range)

##### 1. 目的・内容

惑星磁気圏・大気圏や太陽コロナ領域からは、数十 MHz から数 GHz 帯の周波数領域で強い非熱的放射が生じており、地上から電波観測は有効な惑星の遠隔探査手段となる。惑星のオーロラ活動に伴って放射される非熱的放射は、系外惑星探査の手段の一つとしても注目されており、この周波数帯の電波観測の高感度化、高機能化が求められている。本計画では、惑星磁気圏・大気圏の電磁気現象及び太陽大気中の粒子加速の究明に向け、高感度・広帯域偏波スペクトルの計測機能をもつ地上大型電波観測装置の開発を行う。東北大学が運用している開口面積 1023m<sup>2</sup> の飯館惑星電波望遠鏡 (IPRT) に設置されている狭帯域高感度受信機 (325MHz・650MHz) と太陽電波観測用広帯域スペクトル偏波計 (AMATERAS) (150-500MHz) の広帯域化・高効率化を実現するフィードを開発する。電波天文観測分野では、低周波域で広大な集光能力を持つ電波望遠鏡 SKA (Square Kilometer Array) が計画されており、本研究はこの活動と連携し、IPRT は開発された広帯域フィードのテストベンチの役割を担うとともに、SKA を用いた観測・研究への参画の足掛かりとする。

本計画により整備した広帯域受信系を用い、以下の観測的研究を推進する。

- ・ 木星シンクロとトロン放射の強度・偏波並びにその時間変動観測に基づく、放射線帯電子の加速・輸送・消失過程の探査
- ・ 太陽電波バースト微細構造観測によるコロナ中の粒子加速・プラズマ素過程の探査
- ・ 惑星大気 (火星・土星) の雷放電電波観測と大気科学・力学過程の理解への貢献
- ・ SKA をはじめとする大型電波干渉計との超長基線干渉計 (VLBI) 観測による系外惑星電波の検出に向けた、観測技術の開発
- ・ パルサーのディスパージョンメジャーを用いた星間空間構造の観測
- ・ パルサー、銀河磁場構造、FRB 探査を通じた低周波天文学グループとの研究推進

##### 2. 関係機関 主幹：東北大学、名古屋大学、国立天文台

##### 3. 予算規模 1 億円以下

##### 4. スケジュール

2022 年：広帯域フィードの開発並びに実装・試験観測

2023 年～：木星放射線帯・惑星雷現象・太陽電波バーストの観測及び、VLBI 観測による電離圏遅延補正技術の開発

# UHF 帯高感度・広帯域偏波スペクトル計開発 (High sensitive spectro-polarimeter in the UHF range)

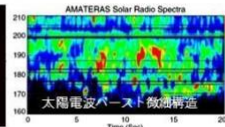


飯館惑星電波望遠鏡 (東北大学)

## 非熱的放射観測によるリモートセンシング



木星シンクロトロン放射



AMATERAS Solar Radio Spectra

太陽電波バースト微細構造



火星雷放電(想像図) (Farrell et al 2004)

木星シンクロトロン放射：放射線帯電子の加速・輸送・消失過程  
 太陽電波バースト微細構造：太陽コロナ中の粒子加速・プラズマ素過程  
 惑星大気の雷放電電波観測：大気科学・力学過程の理解への貢献  
 パルサーのディスパージョンメジャー：星間空間構造の観測



低周波天文学観測の共同研究：パルサー、銀河磁場構造、FRB探査  
 SKA (Square-kilometer array)への参画・技術開発の連携

Square-kilometer array (想像図)  
 Jodrell Bank Centre for Astrophysics - The University of Manchester

SKA (Square-kilometer array)参画・技術開発連携

関係機関  
 東北大学(主幹)  
 名古屋大学  
 国立天文台

連絡先：土屋 史紀 (東北大学)  
 e-mail: tsuchiya\_ at\_pparc. gp. tohoku. ac. jp

#### 5.1.4.5 赤道・低緯度 SuperDARN レーダー装置 (Equatorial and low latitude SuperDARN radar)

(1) 必要と思われる施策・技術開発

赤道・低緯度領域に新たに SuperDARN レーダー装置を設置することによる上記領域に特有な電離圏・熱圏擾乱現象の観測網の確立並びに、電離圏対流観測網のより低緯度域への拡大および、他の装置との協力によるグローバル超高層大気観測網の確立

(2) 具体的に存在する計画 (a) 1 億円以上

「タイトル」赤道・低緯度 SuperDARN レーダー計画

「内容」赤道や低緯度領域に新たに SuperDARN レーダー装置を設置し、電離圏・熱圏・上部中間圏の高時間分解能 2 次元観測を行い、上記領域に特有な電離圏・熱圏擾乱現象の観測網を確立すると同時に、他の観測装置およびシミュレーションとの協力により磁気圏・電離圏から熱圏・上部中間圏にわたる領域におけるグローバルダイナミクスの解明を目指す。

「予算規模」レーダー数により 1.2～数億円

「関係機関」名古屋大学宇宙地球環境研究所・情報通信研究機構・国立極地研究所・電気通信大学等

「時間軸」5-10 年後に完成し、その後 10 年以上にわたる運用を予定

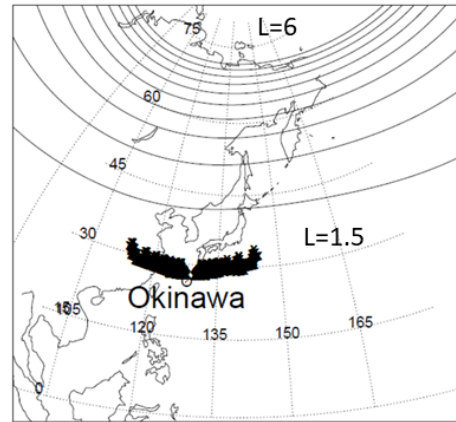
(3) 計画の内容

現在の SuperDARN レーダーの視野は最も低緯度側にある北海道-陸別 HF レーダーにおいても地磁気緯度で 38 度以上であり、プラズマバブルのような赤道低緯度域に特有の電離圏・熱圏擾乱現象を捕らえることができない。上記現象は通信・測位に深刻な影響を与えることが知られており、発生メカニズムの解明および広域にわたる連続したモニタリングのためには、当該装置の設置が極めて重要である。赤道・低緯度領域においてはプラズマバブルの他にも LSWS (Large Scale Wave Structure)、TID のような興味深い現象が数多く報告されており、本装置を設置することにより研究の進展が期待される。

さらには、1989 年 3 月のような大規模磁気嵐時には現存の SuperDARN レーダーの視野より低緯度側に高速対流領域が拡大すると見込まれ、最近注目を浴びつつある極端宇宙天気事象を詳細に解析するためにはより低緯度側に視野を広げて観測体制を形成しておくことが重要である。一方、通常時においても、disturbance dynamo、penetration electric field、overshielding、tide 等にとともなう電離圏電場変動を常時モニターすることが可能であり、継続的に高時間分解能の二次元データを取得していくことにより、上記プロセスの解明に貢献すると期待される。

# 赤道・低緯度HFレーダー計画

- 「内容」赤道や低緯度領域に新たにSuperDARNレーダー装置を設置し、電離圏・熱圏・上部中間圏の高時間分解能2次元観測を行い、上記領域に特有な電離圏・熱圏擾乱現象の観測網を確立すると同時に、他の観測装置およびシミュレーションとの協力により磁気圏・電離圏から熱圏・上部中間圏にわたる領域におけるグローバルダイナミクスの解明を目指す。
- 「予算規模」レーダー数により1.2～数億円
- 「関係機関」名古屋大学宇宙地球環境研究所・情報通信研究機構・国立極地研究所・電気通信大学等
- 「時間軸」5-10年後に完成し、その後10年以上にわたる運用を予定



(図は沖縄に設置した場合のエコー分布計算結果、ただし9MHz, 2.5 hopまで)

## 研究ターゲット

- プラズマバブル、LSWS (Large Scale Wave Structure)、TID
- 大規模磁気嵐時の電離圏対流分布
- 赤道・低緯度領域における電離圏対流分布の変動
  - disturbance dynamo, penetration electric field, overshielding, tide, ...
- Etc.

1

連絡先：西谷 望 (名古屋大学宇宙地球環境研究所)  
e-mail: nisitani at isee.nagoya-u.ac.jp

#### 5.1.4.6 次世代太陽風観測装置による革新的太陽圏科学の実現 (Next generation solar wind observation system)

##### 【内容】

太陽の大気コロナは数 100 万度もの高温に保たれており、コロナのプラズマ大気の一部は、超音速の風「太陽風」となって宇宙空間へと流出する。太陽風の速度は 300km/s から 800km/s 程度まで領域によって大きく変化し、太陽圏を満たしている。この太陽風を加速するメカニズムは詳しく分かっておらず、太陽物理学・宇宙空間物理学における共通の問題として活発に研究が行われている。また、太陽風の変動や突発的擾乱は地球・惑星の周辺環境や大気進化に影響を与える。太陽風の理解とその予報は情報通信を始めとして急速に宇宙に進出する社会基盤にとっても重要となっている。本提案では (1) 太陽風がどうやって加速され宇宙空間へと伝搬していくのか、という太陽物理学最大の未解決問題「太陽風加速問題」を解明すること、そして (2) 太陽風のリアルタイム予測による宇宙天気予報の実用化・高精度化を通じて社会に貢献すること、という 2 つの課題を達成することを目指す。太陽風は電離した大気の塊であり、電波を散乱する性質がある。この惑星間空間シンチレーションを地上電波観測から捉えることは、太陽風のグローバルな構造を導出できる有効な手法である。本研究では国内 3 箇所に 327MHz 帯域に感度を持つ広視野大口径なアレイアンテナを設置し、多方向に存在する電波天体を一度に観測することで、既存装置の 10 倍の太陽風速度データを創出する。このデータから世界で初めて太陽表面における太陽風の流源の空間分布を分解し、その加速過程を解明する。更に本装置で得られる太陽風のリアルタイムデータを太陽圏の磁気流体シミュレーションに同化することで、太陽風の擾乱現象が地球に到来する時刻を劇的に向上させる。

##### 【予算規模】

- 約 20 億円 (建設費約 15 億円、運用経費約 5 億円/20 年)

##### 【関係機関】

名古屋大学宇宙地球環境研究所 (日)、UCSD、UAH、SwRI (米)、UNAM (メキシコ)、Lebedev Physical Institute (露)、など

##### 【時間軸】

2021 年～2020 年代前半 : 全体の数%の規模のアレイの建設、観測  
2020 年代半ば～2020 年代後半 : 1 基地局 (富士) におけるフルサイズアレイの開発  
2020 年代後半～2030 年代前半 : 2 基地局 (木曾・豊川) におけるフルサイズアレイの開発



## 次世代太陽風観測装置による革新的太陽圏科学の実現

**科学目標：「太陽風の加速問題」の解明**

- ・太陽・恒星から秒速数100kmもの超音速の風が発生するメカニズムは全くの未解明（＝宇宙物理の最重要未解決問題の一つ）。従来の約3倍の空間分解能から世界で初めて太陽風の3次元分布と、その流源の加速領域の構造との詳細な比較が実現。太陽風の宇宙空間でのダイナミクスや加速メカニズムを解明。

→ノーベル賞級の成果を創出

**社会貢献：**

- ・太陽風によって地球の周辺環境に大きな擾乱が発生し、情報通信などの経済活動に深刻な影響が発生。
- ・太陽風の予報（＝宇宙天気予報）が緊急の課題。
- ・本設備のデータを用いた独自のデータ同化シミュレーションで世界最高精度の太陽風予報を実現。

→宇宙インフラの安定・防災に貢献

**本設備の特徴：**

- ・平面フェーズドアレイと独自に開発したデジタル信号処理装置で高い感度で複数の方向を同時に電波観測が可能。
- ・既存機の10倍の太陽風観測性能を達成。
- ・駆動部が無く安定した運用と維持費の低コスト化が可能。

連絡先： 岩井一正（名古屋大学宇宙地球環境研究所）  
 e-mail: k.iwai@isee.nagoya-u.ac.jp

### 5.1.4.7 ライダーおよびレーダーによる北極域大気上下結合の研究 (Research on atmospheric vertical coupling based on Multi-LIDAR and radar observations in the polar region)

#### 1. 目的・内容

スカンジナビア北部に設置されたライダーおよびレーダーを用いて、成層圏から熱圏までの幅広い高度領域の観測を行い、北極域大気上下結合の解明を行う。

#### 2. 関係機関

名古屋大学宇宙地球環境研究所、信州大学、理化学研究所、電気通信大学

#### 3. 予算規模

(b) 1 億円以上。

#### 4. スケジュール

トロムソ(北緯 69.6 度、東経 19.2 度)を中心として整備したライダーおよびレーダー群に加えて、ナトリウムライダーの出力増強による下部熱圏および成層圏観測の時間分解能の向上、ミリ波分光計を新たな開発により、極域成層圏から熱圏までの詳細観測を行う。

2024 年： ナトリウムライダーのレーザー出力増強、ミリ波分光計の開発

2026 年： ミリ波分光計の設置

2026-2034 年： 北極域成層圏から熱圏までの観測を実施

#### 5. その他

2010 年からトロムソにて、ナトリウムライダーによる中間圏-下部熱圏 (MLT) の大気温度観測を実施している。既存の EISCAT レーダー、MF レーダー、流星レーダーを併用することにより、MLT 領域の大気変動の解明を進めている。ナトリウムライダー開発によるノウハウを活かして、レーザー光出力を増強し、下部熱圏高度におけるオーロラ加熱の評価能力、成層圏観測における時間・高度分解能を高める。同時に、大気微粒子観測用のミリ波分光計を開発・設置し、高エネルギー粒子による大気変動も同時に解明を進める。

**ライダーおよびレーダーによる北極域大気上下結合の研究**

**特徴**

- ・ 世界最高性能にてオーロラ大気加熱の解明に迫る
- ・ 大気微量粒子測定を合わせ、大気上下輸送過程を解明
- ・ 風速および温度観測に基づく大気波動の解明

**成層圏から熱圏まで観測**

高度 ↑

温度	大気微量成分
風速	
Na	
温度	

Naライダー  
80-110 km 温度、風速、Na  
30-60 km 温度

ミリ波分光計  
40-70 km 大気微量成分

連絡先：名古屋大学宇宙地球環境研究所 野澤悟徳  
e-mail: nozawa at nagoya-u. ac. jp

#### 5.1.4.8 内部磁気圏のプラズマ・電磁場変動の総合地上ネットワーク観測 (Comprehensive ground-based network observations of plasma dynamics and electromagnetic disturbances in the inner magnetosphere)

##### 1. 目的・内容

地球周辺の宇宙空間であるジオスペースのうち、特に静止軌道（地球半径の 6.6 倍）から内側の内部磁気圏は、ジオスペースの最高エネルギーである MeV エネルギーのプラズマで構成される放射線帯から、1eV の低エネルギーの低エネルギー電子で構成されるプラズマ圏まで、6 桁以上の広いエネルギー範囲のプラズマ粒子が混在し、0.1Hz–10kHz の ULF-VLF 帯プラズマ波動と相互作用しながら、粒子の加速・消失が起きている興味深い領域である。また、この領域は大部分の人工衛星が飛翔しており、プラズマとの衝突による衛星障害も発生している。この内部磁気圏の粒子変動機構を解明するために、緯度 70 度付近のオーロラ帯よりも少し低緯度側のサブオーロラ帯に経度方向に並べて、高感度全天カメラ（観測対象：オーロラ粒子降り込み）、誘導磁力計（ULF 帯地磁気脈動）、ループアンテナ（LF/VLF 帯プラズマ波動）、リオメータ（高エネルギー粒子降り込み）、GPS 受信器（電離圏電子密度変動）を設置し、地球半径の 4 倍程度に位置する放射線帯粒子、プラズマポーズやリングカレント粒子に関連したプラズマ粒子降り込みやそれに伴う ULF 帯・LF/VLF 帯波動と粒子の相互作用を、地球規模の広い経度帯に沿ってネットワーク観測する。これらの観測と、この領域を磁気圏で観測する RBSP 衛星（2012 年打ち上げ）や ERG 衛星（2016 年度打ち上げ）のデータを組み合わせ、内部磁気圏の粒子変動機構を明らかにする。本計画は、科学研究費補助金の特別推進研究「地上多点ネットワーク観測による内部磁気圏の粒子・波動の変動メカニズムの研究」（PWING Project、研究課題番号：16H06286、<http://www.isee.nagoya-u.ac.jp/dimr/PWING/>）として、平成 28 年度から開始され、令和 4 年現在も各観測点で自動定常観測が続けられている。本計画により、サブオーロラ帯の磁気圏・電離圏・大気圏の様々な変動過程が明らかにされつつある。

2. 関係機関：名古屋大学宇宙地球環境研究所、金沢大学、東北大学、千葉大学、国立極地研究所、カナダ・アサバスカ大学、ロシア・IKIR/IKFIA/ISTP、米国アラスカ大学など

3. 予算規模：5 億円程度

##### 4. スケジュール

2012 年 8 月：RBSP 衛星打ち上げ

2016 年 4 月：特別推進研究の採択・開始

2016-2017 年度：機器の購入、ロシアシベリア域、北欧地域、カナダ、アラスカへの設置

2016 年 12 月：ERG 衛星打ち上げ

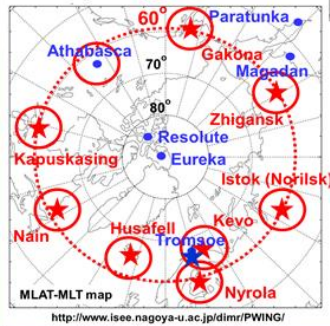
2016 年度－：設置した機器の定常観測継続と衛星－地上同時キャンペーン観測の実施

## 内部磁気圏のプラズマ・電磁場変動の総合地上ネットワーク観測

目的・内容: 緯度70度付近のオーロラ帯よりも少し低緯度側のサブオーロラ帯に経度方向に並べて、高感度全天カメラ(観測対象:オーロラ粒子降り込み)、誘導磁力計(ULF帯地磁気脈動)、ループアンテナ(LF/VLF帯プラズマ波動)、リオメータ(高エネルギー粒子降り込み)、GPS受信器(電離圏電子密度変動)を設置し、地球半径の4倍程度に位置する放射線帯粒子、プラズマポーズやリングカレント粒子に関連したプラズマ粒子降り込みやそれに伴うULF帯・LF/VLF帯波動と粒子の相互作用を、地球規模の広い経度帯に沿ってネットワーク観測する。これらの観測と、この領域を磁気圏で観測するRBSP衛星(2012年打ち上げ)やERG衛星(2016年度打ち上げ)のデータを組み合わせ、内部磁気圏の粒子変動機構を明らかにする。本計画は、科研費の特別推進研究(PWING Project, <http://www.isee.nagoya-u.ac.jp/dimr/PWING/>)として、平成28年度から開始されている。

Ground-based stations of the PWING Project. (since 2016)

● Existing sites ★ New sites

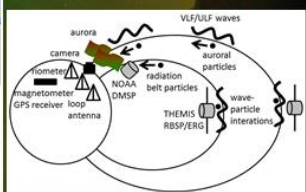


Induction magnetometer

VLF antenna

riometer

all-sky camera



予算規模:5億円程度

年次計画

2012年8月:RBSP衛星打ち上げ

2016年4月:特別推進研究の採択・開始

2016-2017年度:機器の購入、ロシアシベリア域、北欧地域、カナダ、アラスカへの設置

2016年12月:ERG衛星打ち上げ

2016-2020年度:設置した機器の定常観測継続と衛星-地上同時キャンペーン観測の実施

関連機関:名古屋大学宇宙地球環境研究所、金沢大学、東北大学、千葉大学、国立極地研究所、カナダ・アサバスカ大学、ロシア・IKIR/IKFIA/ISTP、米国アラスカ大学など

連絡先:塩川 和夫(名古屋大学宇宙地球環境研究所)

e-mail: shiokawa at nagoya-u. jp

#### 5.1.4.9 大気・プラズマ結合過程のアジア・アフリカ子午面ネットワーク総合観測 (Network observations of plasma-atmosphere coupling processes over the Asian and African meridians)

##### 1. 目的・内容

高度 80–1000km の地球の電離圏は、一部の大気が電離してプラズマ状態にあり、人工衛星–地上間の通信・測位に障害を引き起こしたり、電離圏電流が地上の送電線に誘導電流を引き起こしたりする。太陽を主な起源として宇宙空間から高緯度地域に侵入する電磁場・プラズマ擾乱と、赤道域を中心とした下層大気の大気擾乱に起因する大気波動によって、この電離圏のプラズマ変動が引き起こされており、特に近年は後者も非常に大きな影響があることがわかってきた。本研究ではこれらの変動の原因を調べるために、宇宙空間からのエネルギーの侵入がある高緯度地域から、大気擾乱が活発であり磁力線が水平になる磁気赤道域までの子午面において、高度 100km 以下の中間圏からそれ以上の熱圏の大気変動、電離圏のプラズマ変動を光学・電波機器を使って総合的に観測し、電離圏を中心とした大気・プラズマ結合過程を明らかにする。具体的には、高感度全天カメラ（観測対象：オーロラ・大気光）、ファブリ・ペロー干渉計（熱圏風・温度）、分光フォトメータ（中間圏温度）、磁力計（地磁気）、流星レーダー（中間圏風速）、イオノゾンデ（電離圏高度・電子密度）、GPS 受信器（電離圏電子密度）、ループアンテナ（下部電離圏高度）、クランプ電流計（誘導電流）などの機器を、アジア・アフリカの子午面に設置し、多地点地上ネットワーク観測を行う。これらの観測と、電離圏高度を観測する米国の ICON/GOLD 衛星、DMSP 衛星、ドイツの Swarm 衛星などの人工衛星データを組み合わせ、電離圏における大気・プラズマ結合過程とその緯度間結合を明らかにする。日本を含むアジアの子午面はこれらの機器が広く設置・運用されてきたが、ヨーロッパを含むアフリカの子午面ではまだあまり観測が行われていない。両子午面は磁気赤道と地理赤道の位置関係や赤道の対流活動の大きさが異なり、それらの違いが大気・プラズマ結合過程に与える影響も明らかにすることができる。本計画は、令和 3 年度から基盤 A 研究としてその一部が開始されており、ヨーロッパやエジプト、エチオピア等に大気光観測用全天カメラの設置が予定されている。

2. 関係機関：名古屋大学宇宙地球環境研究所、京都大学、情報通信研究機構、千葉大学、国立極地研究所、九州大学、インドネシア・LAPAN、タイ・チェンマイ大学、ナイジェリア宇宙航空研究開発機構（NASRDA）など

3. 予算規模：5 億円程度

##### 4. スケジュール

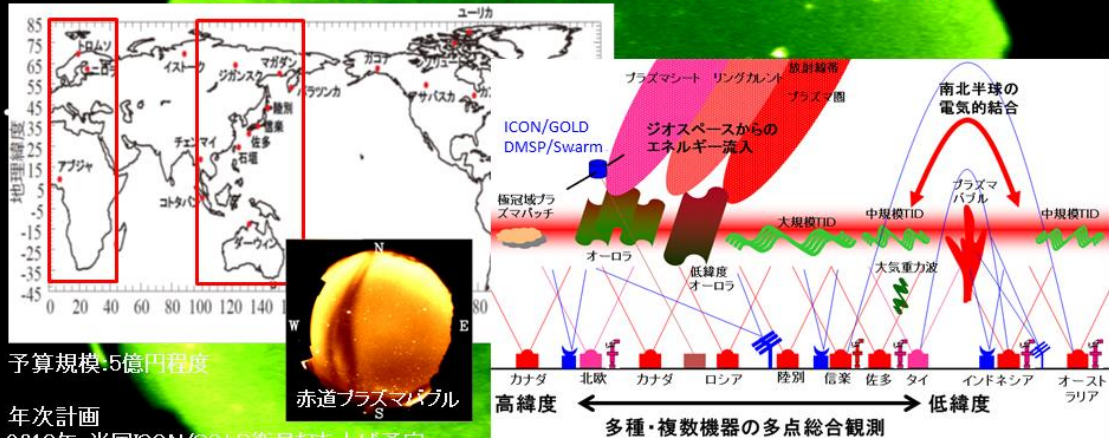
2018 年：米国 ICON/GOLD 衛星打ち上げ予定

2020–2021 年度：機器の購入、アジア、アフリカ、ロシア、カナダ、北欧地域への設置

2022 年度以降：設置した機器の定常観測継続と衛星–地上同時キャンペーン観測の実施

# 大気・プラズマ結合過程のアジア・アフリカ子午面 ネットワーク総合観測

目的・内容: 高感度全天カメラ(観測対象:オーロラ・大気光)、ファブリ・ペロー干渉計(熱圏風・温度)、分光フォトメータ(中間圏温度)、磁力計(地磁気)、流星レーダー(中間圏風速)、イオンソナー(電離圏高度・電子密度)、GPS受信器(電離圏電子密度)、ループアンテナ(下部電離圏高度)、クランプ電流計(誘導電流)などの機器を、アジア、アフリカの子午面に設置し、多地点地上ネットワーク観測を行う。電離圏高度を観測する米国のICON/GOLD衛星、DMSP衛星、ドイツのSwarm衛星などの人工衛星データを組み合わせ、大気・プラズマ結合過程とその緯度間結合を明らかにする。



連絡先: 塩川 和夫 (名古屋大学宇宙地球環境研究所)  
 e-mail: shiokawa at nagoya-u.jp

#### 5.1.4.10 多点地磁気観測ネットワーク MAGDAS・短波帯電離圏観測 FM-CW レーダーによる 広域ネットワーク磁場・電場連携観測 (Cooperative observations with MAGDAS and FM-CW)

##### 1. 目的・内容

高移動性・小型化・廉価化による多点地上地磁気観測、地磁気微小変動観測に基づくグローバルな地球電磁場環境の変動の定常監視システムを実現してきた。九州大学国際宇宙惑星環境研究センターは、その前身となる宙空環境研究センター、国際宇宙天気科学・教育センターの時代を経て、過去 40 年以上にわたり、多点地磁気観測網 MAGDAS プロジェクトを実施し、太陽風擾乱エネルギーの赤道域への浸入過程の理解において成果をあげてきた。一方で、低出力高利得、低コスト、移動性に優れた短波帯電離圏観測 Frequency-Modulated Continuous Wave (FM-CW) レーダーによる多点電離圏観測を国内外に展開し、電離圏の電場推定ならびにプラズマ運動の計測を実施している。FM-CW レーダー観測を MAGDAS 観測と組み合わせることにより、超多点地磁気観測ネットワークによって捉えられた全球的な地磁気擾乱の極域から磁気赤道域への伝搬過程や、地磁気変動の励起源が磁気圏起源か電離圏起源といった詳細特定までを可能とする。

本観測計画では、MAGDAS・FM-CW 広域ネットワーク観測を通して、下記のグローバルな電磁エネルギー結合系の理解を目指している。

- (a) 宇宙空間（磁気圏）を横切って直接電離圏・地上へと伝達される「太陽-地球系結合」
- (b) 極域に流入してくる電磁エネルギー電離圏を介して全球へと伝わる「面的結合」
- (c) 気象変動などの下層大気擾乱により励起された重力波や潮汐波が電離圏まで到達し有限な磁場振幅を励起する「上下結合」

このように、3 次元的な結合過程を把握することで、太陽表面爆発が及ぼすと地球システムへの影響、気象現象・長期気候変動と太陽活動の関連性、超高層大気を含む物質・エネルギーの全球循環を明らかにすることを目的としている。

また、この広域ネットワーク観測は太陽地球系結合過程のフロンティアを切り拓く重要なツールに加えて、日々アーカイブされる地磁気と電離圏のビッグデータの宇宙天気概況・予報へ利活用に関する宇宙天気インフォマティクス研究も行なっている。

ICT 情報通信技術の進展や計測技術の高度化に伴い、太陽地球系を取り巻く観測データはビッグデータ化してきた。一方で、近年の人類による宇宙進出や利活用を背景に、宇宙天気環境のより高精度な把握や予測が重要となっている。

膨大に蓄積されている宇宙天気ビッグデータから日々の宇宙天気環境と類似した情報や特徴を高速かつ高精度に取り出し、情報を精査し、我々の安心・安全な宇宙活動へフィードバックする新たなしくみを創成することを目指している。

##### <多点地磁気観測ネットワーク MAGDAS について>

MAGDAS は、高緯度から中低緯度領域、磁気赤道領域に広がる全球的磁場観測網であり、その観測拠点の整備に特徴がある。

特に、磁気赤道領域は太陽風-磁気圏-電離圏-大気圏結合系の終着点であり、宇宙天気現象の様々な様相が磁気赤道特有の地磁気変動の異常増幅・減衰成分として観測される特異な領域である。

210 経度帯ネットワークをつうじて、緯度間結合を捉え、磁気赤道ネットワークをつうじてその全球的な広がりを把握するためのネットワーク構築に取り組んでおり、取得されたデータの利活用により、

- ・ EE-index の作成による宇宙天気監視モニタリングシステム構築
- ・ 磁場変動データによるプラズマ圏密度診断



- ・ 気象現象・長期気候変動と太陽活動の関連性
  - ・ 超高層大気を含む物質・エネルギーの全球循環
  - ・ 太陽表面爆発が及ぼすと地球システムへの影響
- 等の、様々なプロジェクト研究を推進する。

#### <短波帯電離圏観測 FM-CW レーダーについて>

FM-CW レーダーの特徴はイオノゾンデ観測とドップラー観測の 2 種類に観測モードを兼ね備えている。前者は、その観測データを可視化したイオノグラムから電離圏電子密度の高度プロファイルや、その時間変動から侵入電場の推定が可能である。後者の観測モードでは、電離圏プラズマの鉛直運動速度を推定できる。FM-CW レーダーは、国内・海外の計 4 拠点で観測運用を行っており、昼一夜間電場侵入の関係性の把握を可能とする。現在は、特に下記の課題に取り組んでいる。

- ・ FM-CW レーダー受信機のデジタル化・小型化

既存システムは、従来のアナログシステムにおいては小型であるが、デジタル化による更なる可動性の向上を目指している。特に、受信部に関して、ソフトウェア無線技術を利用して、ソフトウェアを変更すること複数の通信方式を変更できる受信システム整備を行なう。

- ・ 自動制御観測

FM-CW レーダーの 2 種類の観測モードの切り替えを既存の事前スケジューリング方法から、準リアルタイム電離圏環境に応じた自動切り替え方法へと拡張する。これまでに蓄積された電離圏ビッグデータを利活用して、機械学習、強化学習といった、数理・データサイエンス・AI 技術を応用した FM-CW 自動制御システムの開発を行う。

- ・ 複合電離圏観測による電離圏じょう乱現象の定常モニタリング

上記の受信機開発に関連して、FM-CW レーダーに加えて、GPS シンチレーション計測を併せもつ受信システムと、地磁気 MAGDAS ネットワーク観測を組み合わせた複合電離圏観測を行う。特に、MGADS・EE 指数モニタリングを活用した磁気赤道域プラズマバブル発生・消失メカニズムの理解や、低緯度・磁気赤道域における電波伝搬障害となるスポラディック E 層の定常モニタリングを実施する。さらには、機械学習ベースの一般物体検出技術やグラフ理論を応用して、電離圏イオノグラム画像からの電離圏じょう乱現象の特定や物理パラメータの読み取りや、地磁気データの特徴分析などの高速化・高精度化を行う。

## 2. 関係機関

MAGDAS・FM-CW 観測連携機関： 91 観測拠点・30 ヶ国・62 研究機関（欧州・アフリカ域：15 観測拠点・11 ヶ国・12 研究機関、アジア・太平洋域：57 観測拠点・12 ヶ国・38 研究機関、ロシア域：9 観測点・2 研究機関、北・南米域：10 観測拠点・6 ヶ国・7 研究機関）

国内連携パートナー：九州大学国シア宇宙惑星環境研究センター (i-SPES)、九州工業大学、鹿児島高専工業専門学校、名古屋大学宇宙地球環境研究所 (ISEE)、東北大学超高層大気プラズマセンター、気象庁柿岡地磁気観測所、星槎大学

締結済学術協定：4 機関，MOU：10 機関

## 3. 予算規模

約 15 億円程度

## 4. スケジュール

今後 10 年程度（2022 年 - 2032 年）で、広域ネットワーク観測拠点の拡張（地磁気観測点 100 点、FMCW 観測点 20 点）を目指し、「気象現象・長期気候変動と太陽活動の関連性」、「超高層大気を含む物質・エネルギーの全球循環」、「太陽表面爆発が及ぼすと地球システムへの影響」の解明に取り組む。

連絡先: 吉川 顕正 (九州大学国際宇宙惑星環境研究センター)  
e-mail: yoshikawa.akimasa.254 at m.kyushu-u.ac.jp  
藤本 晶子 (九州工業大学大学院情報工学研究院)  
e-mail: fujimoto at ai.kyutech-u.ac.jp

### 5.1.5.1 海洋底構成岩石の系統的試料採取技術の開発

#### (Development of systematic sampling techniques for oceanic crust and mantle)

##### 1. 目的・内容

海洋底には過去の地磁気変動の歴史が連続的に記録されている。たとえば、地磁気縞模様などに代表される磁気異常は、海底拡大の解明など固体地球進化の研究に不可欠な証拠として広く活用されてきた。近年では、深海観測技術の発展により高分解能な磁気異常も観測されるようになり、熱水循環や断層運動など詳細な地質過程と関連付けた議論も進みつつある。しかしながら、「何が海域磁気異常を作るのか？」という根本的な問いはまだ未解明な点が多い。この原因の一つに、海洋底から直接採取される岩石が限られ、磁気異常の起源を解釈する学術的基盤が乏しい事が挙げられる。古地磁気、プレート運動、海底下構造などの研究発展に、海洋底構成岩石から信頼ある古地磁気記録を得るための技術開発が望まれる。

海洋底試料採取の方法として、岩石ドレッジがよく知られるが、残留磁化強度や磁化率などの情報は得られても定方位による古地磁気情報の取得は難しい。深海掘削計画も広く展開されてきたが、定方位採取でない点や大規模観測の割に試料採取が限定的となる他に、掘削時に獲得する2次磁化の問題などが存在する。有人潜水船ではマンピュレータを用いて目視による露頭試料採取が可能であるが、割れやすく掴みやすい形などの条件が伴い、古地磁気研究に最適な試料が得られない。

こうした状況を打破するため、効率的かつ信頼性の高い方法として、露頭観察が可能かつ機動性のある海中無人探査機で簡易掘削機を利用する方法が実用化されつつある。現状では、二重管式のドリル・ロッドで内管が回転せずに方位マークが付く構造を持ち、長さ30cm程度の定方位コアを10本程度採取可能な試験機が、水深2000m級の日本近海でROV「ハイパードルフィン」(耐水深3000m)を用いて運用された。今後は、ROVの改良も含めて水深6000m級の領域で観測を可能にするとともに、外航航海でも運用できるシステム構成を構築する必要がある。溶岩の産状やマンガンクラスト被覆などの海底露頭条件に大きく依存せずに、幅広い水深および年代を持つ海底で定方位での試料採取を実現することが期待される。空間的な分布とともに鉛直方向の構造の解明も進める必要があり、掘削孔を活用した計測・採取等とは異なるアイデアとして、海底断裂帯の鉛直断面などを活用した浅部の定方位連続採取など、海洋底の磁化構造の本質的な理解深化への展開も望まれる。

##### 2. 関係機関

国立極地研究所、東京大学、産業技術総合研究所、千葉工業大学、国立科学博物館、熊本大学、高知大学、海洋研究開発機構

##### 3. 予算規模

～1億円(構想段階のため暫定額)

##### 4. スケジュール・構想の成熟度

構想段階であり、現在のところ予算要求の予定はない。

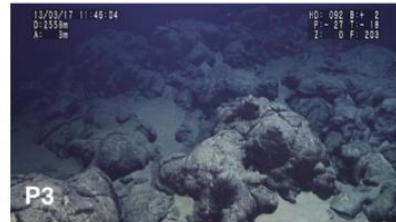
連絡先：藤井 昌和(国立極地研究所)

e-mail: fujii.masakazu (at) nipr.ac.jp

# 海洋底構成岩石の系統的試料採取技術の開発

## 【現状】

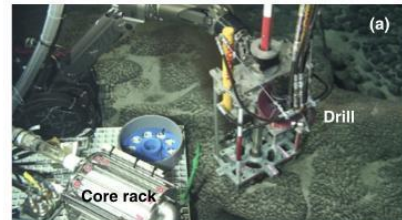
- 深海観測技術の発展も背景に、観測磁気異常と岩石磁気の連携が一層期待される
- 海底露頭条件に依存しない採取法が必要
- 掘削時に獲得する2次磁化の問題
- 定方位の古地磁気情報が必須



海洋底玄武岩の産状の例  
(Fujii & Okino, 2018 EPS)

## 【具体策】

- ROVを用いた定方位浅部掘削
- 大水深化、汎用化
- 異なる地質背景で複数の航海実績へ



ROVを用いた定方位掘削の例  
(Yamazaki et al., 2021 EPS)

連絡先： 藤井 昌和 (国立極地研究所)  
fujii.masakazu (at) nipr.ac.jp

### 5.1.5.2 掘削コア試料の古地磁気測定に関わる技術開発・環境整備 (Technical developments and general improvements for paleomagnetic measurements on drilling core samples)

#### 1. 目的・内容

国際深海科学掘削計画 (IODP) や国際陸上科学掘削計画 (ICDP) の進展に伴い、これまで以上に掘削コア試料から信頼ある古地磁気測定結果を得るための技術開発・環境整備が望まれる。

IODP における掘削では、多くの場合、採取されるコア試料に非常に大きな掘削残留磁化が二次的に印加され、初生磁化の情報を覆い隠してしまうという問題を抱えてきた。このため、古地磁気層序が決定できなかつたり、決定できても層序の信頼性が乏しい岩相が発生したりすることも多かつた。この問題は、非磁性コアバレルを導入することで大きな改善が見込まれ、実際、アメリカが IODP のために運行する JOIDES Resolution 号において積極的な導入がなされ成功を収めている。日本が運行する「ちきゅう」など、他の掘削船でも積極的に導入されることが望ましい。非磁性コアバレルは、通常のコアバレルに比べて高価かつ耐久性に劣るといった問題点もあるため、平行して、安価・高耐久性の高性能材料の調査研究をすすめ、導入しやすい状況を作り出すことも重要と考えられる。

掘削コア試料に共通する問題として、コアの定方位採取が挙げられる。多くの場合、コア試料の採取時には水平面内の回転が起これるため、古地磁気偏角の情報が失われる。コア試料からさらに有用な古地磁気情報を得るためには、定方位の情報が必須である。IODP においては FlexIt と呼ばれるツールが利用されるようになり、正帯磁・逆帯磁を判断できるほどには定方位採取が可能になってきているが、永年変化を議論できる程度までの精度はなく、改善の余地は大きい。陸上掘削においては、未だ、技術開発は発展途上である。磁場・ジャイロ等を複合的に用いたオリエンテーションツールの開発が望まれる。

IODP においては、掘削後間もないコア試料を対象として、船上搭載機器による初期分析が行われる。この初期分析の結果は、その後のコア試料研究の方向性を大きく左右するため、船上測定においては高精度かつ高信頼度のデータが継続的に得られるような環境整備が常に求められる。このためには、主力の古地磁気測定機器である超伝導磁力計をはじめとした機器の維持整備が必要であり、陸上の関連研究施設との密接な連携のもと、この任にあたる船上技術者のスキルの維持・向上も重要である。将来的には、さらに高性能な測定機器への更新も必要と考えられ、随時、検討を進めていくべきである。

#### 2. 関係機関

日本地球掘削科学コンソーシアム

#### 3. 予算規模

～1 億円 (構想段階のため暫定額)

#### 4. スケジュール・構想の成熟度

構想段階であり、現在のところ予算要求の予定はない。

# 掘削コア試料の古地磁気測定に関わる 技術開発・環境整備

## [現状]

- 定方位情報の欠如
- IODP掘削時に「掘削残留磁化」が獲得される問題
- IODPの船上測定環境の問題

## [具体策]

- 磁場・ジャイロ等を複合的に用いた定方位ツールの開発.
- 高耐久性をもつ非磁性コアバレルの導入.
- IODP船上搭載機器の維持・整備 / 船上技術者のスキルの維持・向上.

年次計画：構想段階

関連機関：日本地球掘削科学コンソーシアム

連絡先：山本 裕二（高知大学）

e-mail: y.yamamoto (at) Kochi-u.ac.jp



### 5.1.6.1 宇宙地球環境研究のための包括的なデータサイエンスセンター (Integrated Data Science Center for Space-Earth Environmental Research)

#### 1. 目的・内容

太陽・地球・惑星・太陽圏を含む太陽地球惑星圏環境の研究は多様な衛星観測および地上観測にもとづいている。それ故、これらがもたらすデータを統合し、シミュレーションやモデリングとの定量的な比較によって現象をシームレスに把握するための取り組みが、複雑な太陽地球惑星圏の理解のために不可欠である。このような総合解析研究は、データのフォーマットの違いや固有の解析環境の違いなどによって、これまで必ずしも効率的に実現できていなかった。それゆえ、様々な太陽地球惑星圏ミッションと関連する地上観測に柔軟に対応し、データの標準化とアーカイブ化、付加価値を付けたデータファイルと統合解析ツールの整備、観測と直接比較できる高度なシミュレーションの開発などを先導して実施し、メタデータや DOI の整備、太陽地球惑星圏のシームレスな理解とその変動を予測するためのサイエンスを推進するための拠点センターを整備する必要がある。

これまで、名古屋大学と宇宙科学研究所、国立天文台の共同によって、ひので衛星サイエンスセンター、ERG（あらせ）プロジェクトサイエンスセンター（2013-2017年度：宇宙科学連携拠点）が運営され、これらのプロジェクトの推進に貢献してきた。2018年度からは新たに宇宙科学連携協力協定が、名古屋大学と宇宙航空研究開発機構の間で締結され、ひので、ERGサイエンスセンターの運用を実施している。さらに、2022年度から太陽、ジオスペースおよび惑星圏の飛翔体探査計画（ひので、あらせ、Geotail、BepiColombo、Solar-C\_EUVST）と地上観測、シミュレーション研究を連携することで太陽圏システム科学を推進する太陽圏サイエンスセンターが、名古屋大学、宇宙航空研究開発機構、国立天文台の連携でスタートし、様々なコミュニティ・プロジェクトの研究基盤を提供すると共に国際的な研究の拠点としての役割を担うための包括的なサイエンスセンターの整備が進められている。

#### 2. 関係機関

名古屋大学、宇宙航空研究開発機構、国立天文台、他関連大学、研究所

#### 3. 予算規模 : (a) 1億円程度

#### 4. スケジュール：実施中

2010年より：ひので、あらせサイエンスセンターを運営。2013-2017年度は、宇宙航空研究開発機構と名古屋大学の宇宙科学連携拠点としてERGサイエンスセンターを運営

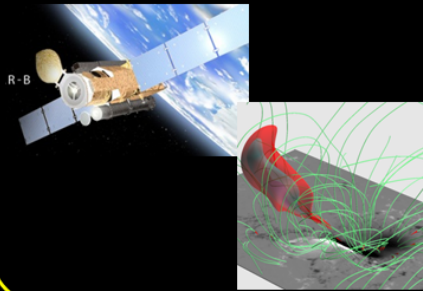
2018年度以降：宇宙航空研究開発機構と名古屋大学による宇宙科学連携協力拠点として、太陽地球系科学分野の探査に関するサイエンスセンターを継続・発展

2022年度以降：太陽圏環境研究のための包括的な太陽圏サイエンスセンターを設置・運用

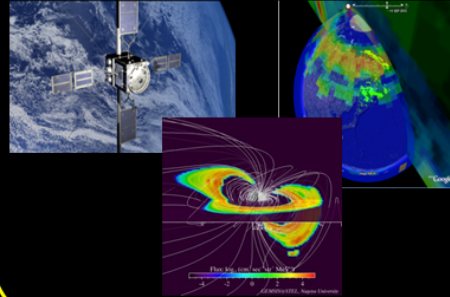
## 宇宙環境研究のための包括的なサイエンスセンター： 太陽地球系の総合的な理解と予測に向けた研究基盤構築

人工衛星や地上からの多様な観測と、シミュレーションとを融合した総合的な研究を進めるために、各種データの標準化、統合解析ツール開発を先導し、異なるミッションで共通して利用できる研究基盤を継続的に提供する。

ひのでサイエンスセンター



ERGサイエンスセンター



年次計画 2010年-2017年： ひので衛星サイエンスセンター/ERG衛星サイエンスセンターを運用  
2018年以降： ひので、ERGサイエンスセンターを継続運用

コミュニティのニーズに呼応して、Solar-C\_EUVST, BepiColomboなどに向けた発展の準備

2020年度以降： 太陽地球惑星圏環境研究のための包括的なデータサイエンスセンターの整備

関連機関：名古屋大学、宇宙航空研究開発機構、国立天文台、他関連大学・研究機関

連絡先：草野完也（名古屋大学） e-mail: kusano at isee.nagoya-u.ac.jp  
三好由純（名古屋大学） e-mail: miyoshi at isee.nagoya-u.ac.jp



### 5.1.6.2 将来の惑星探査・観測を念頭に置いた惑星大気コミュニティモデルの開発とコアモデリンググループの確立に向けて

(Toward development of community models for planetary atmosphere and establishment of core modeling group for purposes of future planetary exploration and observation)

#### 1. 目的・内容

シミュレーションモデルは、惑星大気・表層の理解を試し、試された理解を集積・表現するための手段であり、当該分野の主体的な展開を目指すコミュニティは自前での開発能力を獲得すべき基盤的資源である。また、欧米における近年の惑星大気・表層探査においては、その立案やデータの提供時に、シミュレーションモデルは観測システムシミュレーション実験 (Observation System Simulation Experiment; OSSE) やデータ同化・再解析を担う必須の道具として認識されるようになってきており、多くの投資がなされつつある。実際、火星探査においては、地球観測と同様、大きな力を発揮しつつある。

日本においても、「あかつき」による金星大気探査が実現し、また、将来の MMX による火星探査、JUICE による木星探査も進められており、他方、太陽系外にも多数の惑星が発見され、それらに期待される表層環境の推測や新たな観測計画の立案が求められている。これを担うにふさわしい、防災科学や地球環境科学に最適化されたものとは異なる惑星大気科学を主目的とした、シミュレーションモデルと同化システムやデータ処理ツールの構築提供をすすめることが急務である。

このようなソフトウェア資源は、多くの研究者からの知見の集約と様々な協力が得られなければ構築できないし、かつ、それには膨大な手間 (コスト) がかかる。一方、誰でも利用でき変更再配布が許される (学生にも使える) のでなければ、人々の協力と参加が期待できない。惑星大気シミュレーションモデルはこれらを担保するオープンな思想に基づいたコミュニティモデルとして構築される必要がある。これを可能にするためには、人々の信頼を得、その中心となる専従コアチームの確立が必要である。

#### 2. 関係機関

神戸大・理/CPS (Center for Planetary Science, 惑星科学研究センター)、北大・理、京大・理。

しかし、欧米の該当機関に比肩しうる、上記ミッションを専従して担う常勤職員を有した共同利用研究機関の設立が望まれる。現在は全国の大学 (北大、京大、京産大、神戸大、岡山大学、九州大、福岡大など) に分散する教員・研究者が、時間を割いて任意団体である地球流体電脳倶楽部 (<https://www.gfd-dennou.org/>) を組織して上記活動を試みている。

#### 3. 予算規模

一億円/年 (専従研究者・職員の人件費と基盤的運営経費)

#### 4. スケジュール

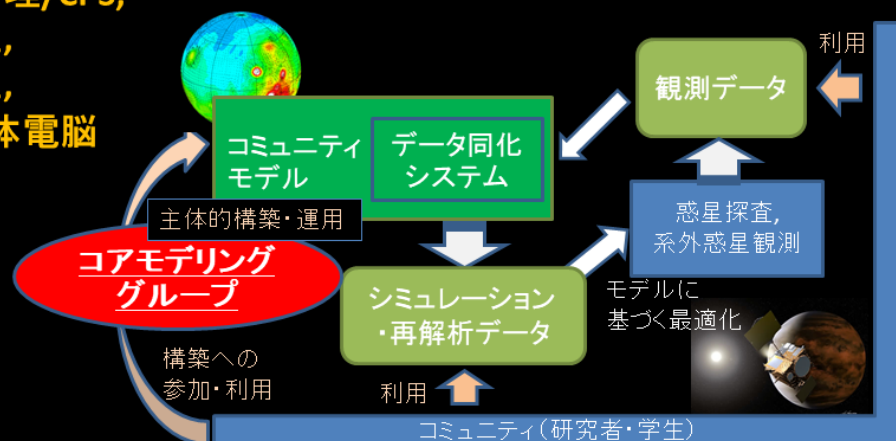
## 将来の惑星探査・観測を念頭に置いた惑星大気コミュニティモデルの開発とコアモデリンググループの確立に向けて

### 目的と内容

大気を持った惑星の探査や系外惑星大気の観測の立案・設計・実施を助け、その探査・観測結果を使い尽くすために、信頼できる惑星大気のコミュニティモデルの構築と、それを開発・運用していくコアモデリンググループの確立が必要である。

### 関連機関：

- 神戸大・理/CPS,
- 北大・理,
- 京大・理,
- 地球流体電脳倶楽部



連絡先：高橋 芳幸（惑星科学研究センター/神戸大学）

e-mail: yot at gfd-dennou.org

### 5.1.6.3 超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究 (IUGONET)

#### 1. 目的・内容

超高層大気科学の研究において、多数の大学・研究機関で地上観測や衛星観測、数値シミュレーションによって得られる多種多様なデータを共有し、包括的に解析することが重要である。しかし、データの多様性により、異なる研究・観測グループ間でデータを相互利用することは容易ではなかった。その状況を打開するため、2009年度に5機関7組織の大学間連携による『超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究(略称: IUGONET)』プロジェクトが開始され、データの公開・共有支援、研究基盤(メタデータデータベース、統合解析ツール)開発、国際連携・研究者育成等の活動が行われてきた。

宇宙物理データに関しては、国際太陽系物理学データ環境アライアンス(International Heliophysics Data Environment Alliance: IHDEA)によって、実データやメタデータのフォーマット、ツールやAPI等の標準化についての議論が行われている。IUGONETでは、基本的にこのIHDEAで推奨されている実データフォーマット(CDF、NetCDF、FITS等)、メタデータフォーマット(SPASE)でデータを公開している。また、IUGONETが開発した研究基盤であるメタデータデータベース「IUGONET Type-A」、統合解析ツール「UDAS」、「M-UDAS」も、これら標準フォーマットに基づいている。

現在、IUGONETプロジェクトは第3期(2021~2026年度)を迎えており、今期は(1)太陽地球系物理学分野への貢献、(2)国際連携・人材育成、(3)新しい領域研究の推進、の3つの目標を掲げている。以下、それぞれの内容を述べる。

#### (1) 太陽地球系物理学分野への貢献

国内外の太陽地球系物理学分野における様々な地上観測プロジェクトで取得されるデータ、具体的には、EISCAT\_3Dレーダー、赤道MUレーダー、地上広域観測網等で得られるデータについて、公開、メタデータの作成、統合解析ツールへの登録等を進める。これらの大量且つ多様なデータを効率的に検索、可視化、解析するために、これまでに開発した研究基盤(メタデータデータベース、統合解析ツール)を強化する。

メタデータについては、観測だけでなくシミュレーションデータ、再解析データ等を新たに作成して登録する。これらのデータを記述するために、必要に応じてメタデータフォーマットの改良を行う。また、近年、研究データにデジタルオブジェクト識別子(DOI)を付与する活動が盛んになっていることから、IUGONETでも研究データにDOIを付与するサービスを行う。統合解析ツールについては、IHDEAでも推奨されているプログラミング言語Pythonで書かれた解析ツール「PySPEDAS」のプラグインソフトウェアを開発する。

#### (2) 国際連携・人材育成

宇宙物理データの国際標準メタデータフォーマット「SPASE」を策定しているSPASEコンソーシアムと連携し、SPASEの改良に貢献する。既にIUGONETはSPASEコンソーシアムのメンバーであり、議論を開始している。また、米国NASAの太陽系物理学データポータル(Heliophysics Data Portal)にIUGONETメタデータを登録し、IUGONET参画機関のデータをこのポータルで検索可能にする計画である。加えて、IUGONETは世界科学データシステム(World Data System: WDS)のネットワークメンバーに加盟することを目指している。

国内外の研究者を対象に、IUGONETが開発した研究基盤を用いたデータ解析講習会をオンサ

イト/オンラインで開催し、若手研究者育成に貢献すると共に、多種データ総合解析による共同研究を推進する。特に、赤道 MU レーダーや地上広域観測網等が展開されるアジア、オセアニア、アフリカ地域において、データ公開支援やデータ解析講習会開催を実施することで、国際共同研究を推進する。

### (3) 新しい領域研究の推進

大型レーダー等で取得されるデータ量は極めて膨大であり、そこから効率良く科学成果を創出するために、機械学習や深層学習等のデータサイエンス手法を応用した解析手法、ツールの開発を行う。そのために、統計数理、情報科学分野の研究者との共同研究を推進する。また、異分野、隣接分野の研究者と連携することで、新しい研究領域を開拓する。

## 2. 関係機関

IUGONET 参加機関（情報・システム研究機構国立極地研究所/データサイエンス共同利用基盤施設極域環境データサイエンスセンター、名古屋大学宇宙地球環境研究所、東北大学大学院理学研究科、京都大学生存圏研究所、京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センター、京都大学大学院理学研究科附属天文台、九州大学国際宇宙惑星環境研究センター、北海道大学、金沢大学、JAXA/ISAS）、並びに、上記以外の SGEPPS 分野関連データ取得・収集機関（未定）

## 3. スケジュール

2022～2023 年度：

新たに得られる地上観測データ、シミュレーションデータ、再解析データ等の公開を支援する。IUGONET メタデータを利用したデータ DOI 付与のフローを構築する。Python ベースの解析ツール PySPEDAS の開発・公開を行う。

2024～2026 年度：

STP 分野の様々なプロジェクトと連携し、多様なデータの公開を進める。新しい観測装置で取得されたデータの高機能解析ツールの開発を行う。国内外の研究者を対象にデータ解析講習を開催し、若手研究者の育成、共同研究の推進に貢献する。

連絡先：田中良昌(国立極地研究所) E-mail: ytanaka at nipr.ac.jp  
山本衛(京都大学生存圏研究所) E-mail: yamamoto at rish.kyoto-u.ac.jp

#### 5.1.6.4 宇宙地球環境研究のための国際連携研究センター (Center for International Collaborative Research)

##### 1. 目的・内容

地球規模の現象を相手にする宇宙地球環境の研究においては、国際連携研究が欠かせない。このため、宇宙地球環境の分野の共同利用・共同研究拠点として、名古屋大学宇宙地球環境研究所 (ISEE) が所内に国際連携研究センターを整備し、全国の研究者の国際連携研究の推進を支援している。具体的には、国内の研究者が海外の研究者と共同で推進する国際共同研究、名古屋大学をはじめとした国内に海外の研究者を招聘して共同研究を推進する外国人招聘共同研究、テーマを絞ったトピックについて国際ワークショップを開催しその成果を論文の特集号やレビューとして出版する国際ワークショップ、の 3 種類の国際共同研究を毎年公募して推進している。さらに、海外の著名研究者をクロスアポイントメントで雇用したり、国際スクールやトレーニングコースを主催したり、ISCU 傘下の SCOSTEP (太陽地球系物理学科学委員会) が推進する VarSITI プログラムなどの国際プログラムを主導的に推進したり、この分野の各種の多点ネットワーク観測プロジェクトを推進したりしている。このために、英語対応可能な事務補佐員を複数名雇用し、国際事務体制を整備している。このような活動は今後、国際的な共同利用・共同研究拠点として発展させていく必要がある。

##### 2. 関係機関

名古屋大学宇宙地球環境研究所

##### 3. 予算規模 : ( a ) 1 億円程度

##### 4. スケジュール: 実施中

2015 年-2026 年: 名古屋大学宇宙地球環境研究所に国際連携研究センターを整備・推進  
2023 年以降: センター活動を中心に ISEE が国際共同利用・共同研究拠点へ発展

名古屋大学宇宙地球環境研究所  
国際連携研究センター  
Center for International Collaborative Research

国際派遣・招聘



国際連携研究の推進  
 クロスアポイントメントによる外国人教員の雇用  
 国際共同研究の展開  
 外国人招聘共同研究  
 国際ワークショップの主催と特集号出版  
 発展途上国での国際スクールの主催  
 英語対応可能な事務体制の整備





国際協同研究プログラムの立案・推進



国際スクール



国際ワークショップ

連絡先：塩川和夫（名古屋大学）  
 e-mail: shiokawa at nagoya-u.jp

## 5.1.6.5 CPS(惑星科学研究センター)の定常化に向けて Toward the establishment of CPS (Center for Planetary Science)

### 1. 目的・内容

21COE プログラム最終年度 (H19) に設立され、続く G-COE プログラム (H20-H24 年度) の実施拠点として機能した神戸大学理学研究科附属惑星科学研究センター (Center for Planetary Science, 略称 CPS) (<http://www.cps-jp.org/>) を財政的・組織的に安定化定常化させる。そこで実現していた国際プラネタリースクール、あるいは、近年開催していた探査ミッション立案スクール (H27-H30) など各種滞在型スクール・実習・研究会開催あるいは開催支援、様々な形での人材交流、知見情報アーカイブの運営維持等々の活動を復活あるいは維持継承発展させるとともに、これらの活動を運営する事務局とこれらの活動を介して涵養される人的ネットワークをもって、別途惑星科学・宇宙科学関係者で構想されている、日本学術会議マスタープラン 2020「惑星探査コンソーシアムプロジェクト：太陽系における生命生存環境の探求」(計画番号 97 学術領域番号 24-2) 後継プランの構成要素として機能し、太陽系探査を支える基盤の一翼に資する。

高度化専門分化した現在の科学のスタイルにおいて、知識を総合し俯瞰すること、交流と協業を促す場と知見を集積し提供する装置を有することはその継承と展開において必要不可欠であり、特に、太陽系探査に象徴される巨大プロジェクトを必要とする惑星科学・宇宙科学の展開においては、その企画を議論提案支援し成果を抽出提供共有していくために必須の装置である。

CPS はネットワーク型研究所としてそのような必要に答えようとする組織である。少人数のスタッフで構成し、あらゆる分野に手法として必要とされる計算科学・データ科学の展開と知見アーカイブをその中核に据え、コミュニティの研究者による交流と協業の企画・運営を支援することで知識を総合し俯瞰することに貢献する。このようなネットワーク型研究所の重要性は米国や欧州では認識されており、Lunar & Planetary Institute (LPI) や International Space Science Institute (ISSI) 等がその例として挙げられる。CPS をもって LPI や ISSI に比肩しうるネットワーク型研究所として定着させ、それらが惑星科学・宇宙科学において担っているのと同等の機能を我が国において実現することが目標である。

### 2. 関係機関

JAXA/ISAS、国立天文台、アストロバイオロジーセンター (ABC)、神戸大、北海道大、他惑星科学に関連するすべての研究教育機関

### 3. 予算規模

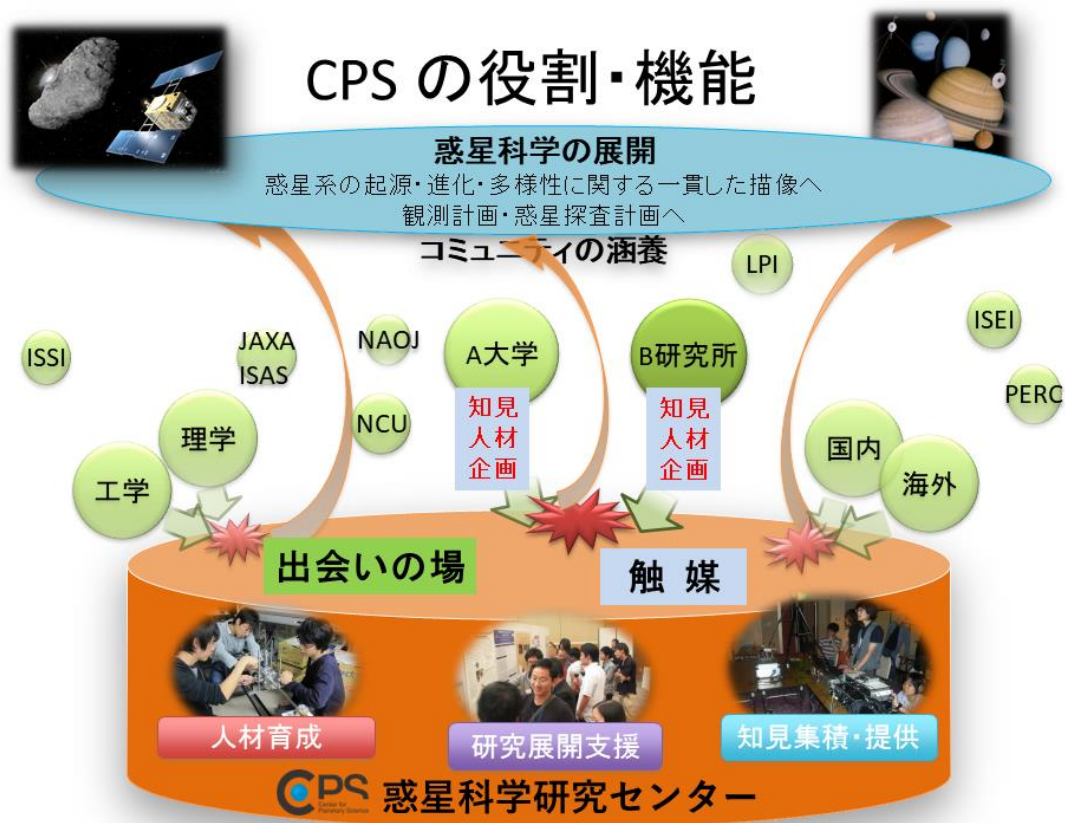
4 億円/年 (= G-COE プログラムの規模+計算情報基盤)

国際プラネタリースクール、各種滞在型スクール・実習、CPS セミナーならびに各種研究会・大型計画企画立案集会の開催、人材の国内外への派遣並びに招聘等の事業費、ならびに、これらの事業を企画運営しその事務局として機能するための専任教員と専任職員の人件費、知見情報の収集とその活用を促すソフトウェア・ハードウェアの開発ならびにそれらの整備提供等の事業費、これらの活動を支える神戸大学等での空間維持経費ならびに情報基盤の整備運営維持費等。

### 4. スケジュール

神戸大学 - 北海道大学 G-COE プログラムが平成 24 年度に終了した後、CPS は財政的組織的に不安定な状態にあり、できるだけ速やかに定常状態に移行させ、経験と資産の散逸消失を防ぐことが望まれている。平成 25 年度から平成 30 年度までは神戸大学からの支援によって同大学統合研究拠点にて空間と若干名の事務員と常駐専任研究者を擁することができ、特に平成 27 年度から 30 年度までは JAXA 宇宙科学研究所との大学共同利用連携拠点事業 (太陽系探査ミッション創出と探査を牽引する人材育成プログラム)、現在も継続中の事業

としてはアストロバイオロジーセンター（ABC）との連携事業、そして、HPC活用の計算科学振興事業として、ポスト「京」萌芽的課題「生命を育む惑星の起源・進化と惑星環境変動の解明」（平成28～令和元年度）、「富岳」成果創出加速プログラム「宇宙の構造形成と進化から惑星表層環境変動までの統一的描像の構築」（令和2～4年度）等の事業推進を実現できてはいるが、G-COE終了から10年の歳月を経て様々なノウハウの散逸の危機にあり、これを防ぐべく安定的な運営基盤の確保確立が急がれるところにある。



連絡先：牧野淳一郎、林祥介（神戸大学理学研究科／惑星科学研究センター）  
 e-mail: exec-ml at cps-jp.org



### 5.1.6.6 惑星探査コンソーシアム

日本の宇宙探査は構想段階から始まって、いわゆるフェーズ A(概念検討)、B(開発研究)、C(開発)、D(運用)を経た後に、獲得データを使った成果創出に至る。JAXA は『実行機関』として、フェーズ A~D に責任を持ってプロジェクトを実施するが、最初の構想段階と最後の成果創出は、原則として、個別の研究グループや個人研究者の自助に委ねられている。しかしながら、典型的な大型プロジェクトである宇宙探査では、多様なミッション提案、機器提案を JAXA がゼロから評価することはあり得ず、『コミュニティの合意』というフィルタを通して事前の選別を行うことが求められる。成果創出の段階においては、プロジェクト研究者のデータ利用優先と速やかなデータ公開のバランスをコミュニティが調整して科学成果の最大化を図らなければならない。このように、プロジェクトの入口と出口において、コミュニティは重い責任を負っているのであり、その責任を担うだけの体制が必要である。

コミュニティはミッション構想段階において、搭載機器の基礎開発を行い、ミッション案をブラッシュアップして、コミュニティ内での優先順位をつける責任がある。一方、この段階で組織されたりサーチグループ(RG)が、概念検討・プロジェクト化準備段階でワーキンググループ(WG) ⇒ プリプロジェクトと発展するにつれて、コミュニティと宇宙研メンバーが緊密に協力して搭載機器開発やミッション定義を行わなければならない。特に、ミッション構想~概念検討段階においては、宇宙研における機器開発の経験を人材交流を通して宇宙研所外の大学・研究機関へ還流させて、多種多様な搭載機器の萌芽を育てることが重要である。反対に、コミュニティは現実的なシミュレーション研究(一般には“研究成果”として認められ難い)によって、宇宙研による概念検討・プロジェクト化準備を支援する。現状では、惑星科学コミュニティにおける責任体制が無く、宇宙研との連携に重大な支障がある。

アルテミスに代表されるトップダウン型のプロジェクトでは、原則として、個別の研究グループが一本釣りで直接 JAXA プロジェクトに組み込まれる。コミュニティが分野ごとに持っている将来計画やロードマップを反映させるためには、宇宙研(アルテミスでは国際宇宙探査専門委員会)を通して JAXA(アルテミスでは国際宇宙探査センター)に働きかける必要があるが、そのような意思疎通のシステムの構築は現在模索中である。

安全保障や産業振興といった目的で実施されるトップダウンプロジェクトにおいて、コミュニティが一貫した科学戦略を保つためには、多様な搭載機器の選択肢を常備していなければならない。そのためにはコミュニティに戦略的機器開発と情報流通を統括する指令塔が必要である。また、今後は宇宙理工学のみならず、医学や農学、人文社会学にわたる広い視野をもつ人材が求められる。学際的な人材の教育は宇宙技術に特化した JAXA よりも基礎教養を重んじる大学の務めであろう。

宇宙研とともに日本の惑星探査プロジェクトを実現するにあたって、コミュニティに以下のような役割を求められていることが分かる。(1)ミッション構想~概念検討段階において、宇宙研と連携しうる責任体制を構築する。搭載機器開発を育成し、ミッション提案のブラッシュアップを実行するとともに、シミュレーション研究を通して概念検討やプロジェクト化準備を支援する。また、宇宙研との人事交流を可能にする。(2)トップダウンのプロジェクトに即応できる体制を構築する。積極的な情報流通により、戦略的な機器開発を統括する。(3)宇宙理工学の壁を破り、医学や農学、人文社会学にわたる広い視野をもつ人材を大学において育成する。(4)データの管理・公開に一定の責任を持つ体制を構築する。研究目的で開発されたオープンソフトウェア群と、それにより高次処理されたデータを維持する。(5)コミュニティ内の将来計画提案を具体的で実現性の高いロードマップへ蒸留する中核研究所を構築する。このような役割を担う体制として惑星探査コンソーシアムを提案している。

連絡先：竝木 則行 (自然科学研究機構 国立天文台)

E-mail: nori.namiki at nao.ac.jp