

太陽地球系結合過程の研究基盤形成

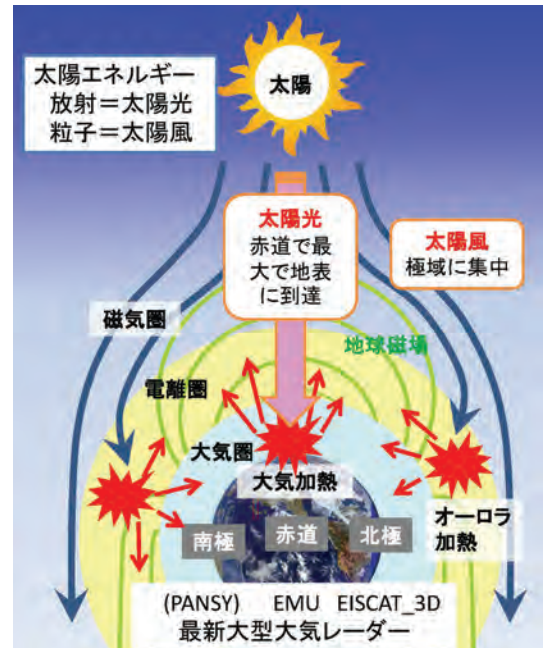
① 計画の概要

太陽から地球へのエネルギーとプラズマの流れ、太陽活動に対する地球大気圏・電離圏・磁気圏の応答過程を知り、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理解を深める(右図)。太陽から放射エネルギーと太陽風(高エネルギー粒子の流れ)が地球に与えられる。前者は赤道域で最大となり、後者の電磁エネルギーは磁力線を通じて極域に集中する。赤道と極域の2つの特異点に大型大気レーダーを建設するとともに、全球に広域地上観測網を整備し、衛星観測・モデル研究と連携しつつ研究を推進する。

(1) 赤道ファウンテン：赤道域で大気擾乱が最大である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、地表付近の対流圏、中層大気、電離圏(超高層大気)に至る高度領域に共通するエネルギー・物質の噴流・循環過程(赤道ファウンテン)を解明する。

(2) 極域エネルギー流入過程：スカンジナビア半島北部に EISCAT_3D レーダーを6ヶ国の共同で建設する。太陽風エネルギー流入により激しく変動する極域の電離圏・磁気圏を高解像度で3次元観測し、電離圏・中層大気へのエネルギー流入と応答過程を解明する。

(3) グローバル結合過程：中層大気・電離圏の広域地上観測網を赤道から極域に展開する。大学間連携プロジェクト「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)」による大量・多様な観測データの統合メタデータベース・解析システムを活用して総合的な解析を推進する。



② 目的と実施内容

【目的】本研究の目的は、太陽放射エネルギーと太陽風プラズマが地球に流入する過程、ならびにそれに対する地球大気圏・電離圏・磁気圏の応答過程の解明である。

【背景】日本は世界で唯一、中緯度(MU レーダー)、南極昭和基地(PANSY)、低緯度(赤道大気レーダー)全てに大型レーダーを有する。北極でも、欧州以外から初めて EISCAT 科学協会に加盟し研究・運営に参画してきた。本計画の2つの大型レーダーは、フェーズド・アレイ・アンテナを技術基盤とする。1984年完成のMU レーダーを源流とし、電子・通信分野の卓越したイノベーションとして2015年にIEEEマイルストーンの栄誉を受けた。日本は広域観測にも強く、磁気経度210度と磁気赤道沿いの地磁気観測網を有し南米やアフリカにも展開中である。超高層大気の微弱夜間大気光の観測網をアジア、カナダ、ノルウェーに有する。観測データの共有を強化するIUGONETも推進している。

【実施内容】太陽光と太陽風は、それぞれ赤道域と極域で最大となる。この2つの特異点に大型大気レーダーを設置して拠点観測する。赤道域でも変動が最大のインドネシア・西スマトラ州に、京都大学生存圏研究所(RISH)が赤道MU(EMU: Equatorial MU Radar)レーダーを設置する。国立極地研究所(NIPR)と名古屋大学宇宙地球環境研究所(ISEE)が連携し、国際協力によりスカンジナビア北部にEISCAT_3D(European Incoherent Scatter 3 Dimensional)レーダーを建設する。同時にISEE、九州大学国際宇宙天気科学・教育センター(ICSWSE)を中心に、赤道から極域までをつなぐ広域地上観測網を構築する。衛星観測や数値モデル等との連携によって、エネルギーと物質のグローバルな流れを総合解析する。

③ 学術的な意義

太陽地球結合系におけるエネルギー再配分と物質輸送に関する個別の領域研究を融合し、定量的な総合解明を目指す。

(1) 太陽からの放射エネルギーは赤道域の地表を暖め、活発な積雲対流を生み大気波動を発生する。大気波動のエネルギーと運動量は姿を変えつつ電離圏まで運ばれ、地球周辺環境を変動させる。赤道域の地表から放出される大気物質は、対流圏を循環しつつ積雲や巻雲の生成・発達に寄与し、対流圏界面を通過して噴出され中高緯度まで広く輸送される。赤道MUレーダーを中心とする複合観測によって、大気の全高度域に現れるエネルギー・物質フローが解明される。

(2) 極域には太陽起源の高エネルギー粒子や電磁エネルギーが直接流入する。EISCAT_3Dレーダーによる高解像観測により、オーロラ微細構造やプラズマ-中性大気相互作用等の素過程を観測でき、磁気圏最大のエネルギー解放現象であるサブストームをはじめとする重要過程が解明される。

(3) 赤道から極域までをカバーする大気圏・電離圏の子午面観測網、磁気圏でのエネルギー・物質の経度方向の循環過程の極域観測網に加え、各種の衛星観測、データベース及び数値モデル等を組み合わせることで、大気圏・電離圏・磁気圏のグローバルなエネルギーと物質の流れが明らかとなる。

【波及効果】太陽地球系結合過程は他惑星にも適用しうるため、天文学で注目される系外惑星の大気進化や生命存在の可能性の理解に役立つ。地球大気の上下結合により地表付近の環境変動が超高層大気に敏感に現れるため、本計画の観測が環境モニ

タとなり得る。2つの大型レーダーはフェーズドアレイを用いたイメージング観測に特徴を有し、電波リモートセンシング技術や超高速信号処理技術の点で電子情報通信工学への貢献が期待できる。広域地上観測を含む大量・多様なデータ収集や総合解析システムの開発は数値モデルの発展にも大きく貢献する。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

本計画は1980年代の大型レーダーによる大気圏・電離圏の研究を源流とし、継続的取組みを経て提案に至った。多くの国際協同研究計画が推進された(ICSU傘下のSCOSTEP:太陽地球系科学委員会による太陽地球結合過程の研究計画(CAWSES:2004-2013とVarSITI:2014-2018)、国連傘下の宇宙天気研究(ISWI:2010-))。この中で我が国は中心的役割を果たしており、最近ではCAWSES-IIとVarSITIの国際共同議長を本研究のメンバーが務めた。特に、我が国は地上レーダー観測で大きく国際貢献してきた。本計画により我が国のMUレーダー・PANSYを含む国際レーダー観測網が完成する。IUGONETにより参加機関の連携は更に緊密になった。赤道MUレーダーはLAPANと共に建設準備を進めている。EISCAT_3DはEUの大型研究設備ロードマップ(ESFRI)に採択済で、北欧3国は日本他の出資を前提とした予算化を進めている。日本学術会議SCSOSTEP小委員会は赤道MUレーダー、EISCAT_3D、広域地上観測網を国際的に提案している。

⑤ 実施機関と実施体制

- (1) 赤道ファウンテン：京都大学生存圏研究所(RISH)・インドネシア航空宇宙庁(LAPAN)
- (2) 極域エネルギー流入過程：国立極地研究所(NIPR)・名古屋大学宇宙地球環境研究所(ISEE)・EISCAT科学協会
- (3) グローバル結合過程：ISEE・九州大学国際宇宙天気科学・教育センター(ICSWSE)・IUGONET運営協議会[RISH・京都大学理学研究科附属地磁気世界資料解析センター・京都大学理学研究科附属天文台・NIPR・ISEE・東北大学理学研究科・ICSWSE]関連事業 ERG衛星、SOLAR-C衛星、PANSYなど

整備される観測装置はいずれも共同利用のもとで開放的に運用する計画である。大学共同利用機関であるNIPRと共同利用・共同研究拠点であるRISHとISEEが参画しており、共同利用体制は完備している。

⑥ 所要経費 総額120億円(10年計画)うち設備費70億円、運営費50億円

- (1) 赤道MUレーダー：設備費35億円、運営費20億円
- (2) EISCAT_3Dレーダー：設備費25億円、運営費10億円(日本は全体の建設予算の約15%を分担する)
- (3) 広域地上観測網：設備費10億円、運営費20億円(運営費にはIUGONETコンソーシアムの運営等を含む)

⑦ 年次計画

赤道MUレーダー(EMU)と広域地上観測網は、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。完成後は機器調整・予備観測を経て4年度目に広域地上観測網と連携した重点観測を実施する。EISCAT_3Dレーダーは中核施設を初年度後半に建設開始し、約3年間で完成させる(全体は5年度目に完成)。2017年度を開始時点とした年次計画は以下のとおりである。
2017年度： EMU建設開始。EISCAT_3Dコア(送受)システムの建設開始(2020年まで)。広域地上観測網の整備を開始。IUGONETをベースとしたデータベース構築体制の整備。

2018年度： EMU完成、予備観測を開始。EISCAT_3D受信システムの建設開始(2021年まで)。観測データベース構築と地上観測・衛星観測・モデリングの統合解析ツールの開発。アジア・アフリカ域及び極域の広域地上観測網の整備。国際研究集会。

2019年度： EMU本格観測を開始(共同利用の開始)。広域地上観測網による大気圏・電離圏・磁気圏観測の継続。

2020年度： 赤道域を中心とする強化観測。EISCAT_3Dコア(送受信)システムが完成、予備観測を開始。国際研究集会。

2021年度： EISCAT_3Dが本格運用を開始する。国際研究集会(赤道域の強化観測取りまとめ)。

2022年度～： 全球の強化観測を実施。観測データの総合解析を継続。国際研究集会(全球の強化観測取りまとめ)。

2025～26年度： 研究の取りまとめと次期計画の検討。国際研究集会(次期計画の検討)。

⑧ 社会的価値

本計画は学術的に重要な広範な波及効果が望める上に、以下の諸点において社会的価値も高い。

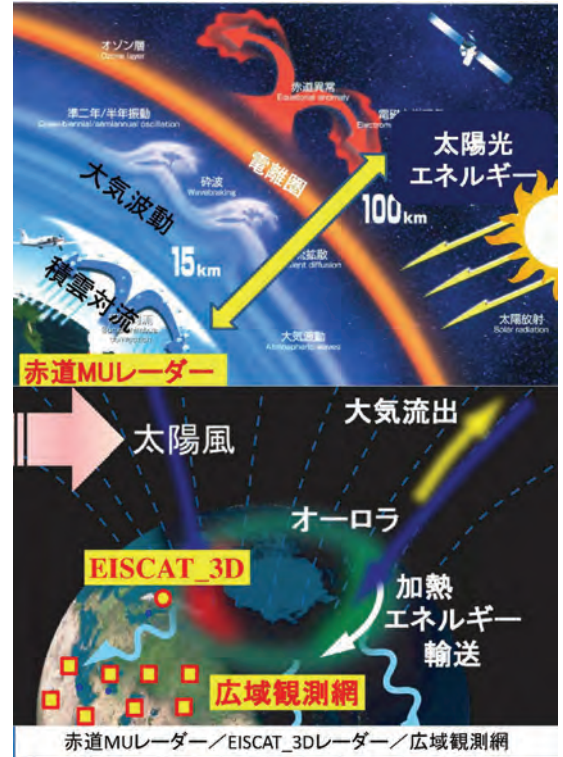
【災害防止】大型大気レーダー等を用いた大気や宇宙プラズマの研究は、極端気象の予報改善、ならびに宇宙天気の基礎過程の理解に貢献すると期待され、風水害の未然予防、衛星システムの安全運用や衛星測位精度の向上等に寄与する。

【産業振興】電波技術、信号処理技術、データ解析技術を産学連携で新開発することは産業振興につながる。

【国際貢献】高度人材育成によってアジア・アフリカにおける日本のプレゼンスが向上し、我が国の外交上の利益に貢献する。

【宇宙地球環境変化の理解】太陽エネルギーを起源とする地球環境の生成・維持および長期・短期の変動機構の解明は、人類共通の根源的な興味であり、人々の知的好奇心を刺激する。

⑨ 本計画に関する連絡先 山本 衛(京都大学・生存圏研究所)



火星における宇宙天気・宇宙気候探査計画

① 計画の概要

火星はグローバルな固有磁場を持たず、太陽風と大気が直接相互作用する。太陽高エネルギー粒子の火星大気への侵入は、この相互作用の形態に依存するが、最近発見された新しい火星オーロラを使うことで、この相互作用の形態を可視化できる可能性がある。また、将来の火星有人探査にとっても、火星周辺の宇宙放射線環境把握は大切である。火星の宇宙放射線環境と太陽変動の関係を理解することは、火星の宇宙天気研究の重要な課題となっている。約 40 億年前の火星は海を持ち温暖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した気候を持つ惑星である。このような気候変動を引き起こすには、1 気圧分程度の CO₂ 大気が表層環境から取り除かれる必要があり、宇宙空間への大気流出が重要と考えられている。火星宇宙気候研究の重要課題として、CO₂ 大気を宇宙空間に逃がすことができる物理機構の解明がある。

本計画は、火星における宇宙天気・宇宙気候の課題を解明することを目的とした火星周回探査計画である。主要観測を実施する親機と火星軌道での太陽風モニターをする子機の 2 周回機から構成され、2 つの達成目標を設定している：1. 火星オーロラの動態を明らかにし、火星圏での高エネルギー粒子環境を理解する。2. 火星圏の太陽風・太陽放射変動への瞬時応答を明らかにし、宇宙への大気散逸が気候変動に果たした役割を理解する。そのために、6 つの観測項目（オーロラ撮像、磁場観測、高エネルギー粒子観測、太陽風・太陽放射モニター、電離大気流出観測、中性大気流出観測）の実現を目指している。本研究は、JAXA 宇宙科学研究所の戦略型中型計画公募への提案を目指して設立が許可された、火星大気散逸探査（のぞみ後継機）検討 WG と SGEPSS 地球型惑星圏環境分科会が中心となり、2018 年のミッション提案、2024 年頃の打ち上げを目指して検討を進めている計画である。

② 目的と実施内容

上述のように、火星の宇宙放射線環境と太陽変動の関係を理解すること、および、大量の CO₂ 大気を宇宙空間に逃がすことができる物理機構の解明は、各々火星宇宙天気、宇宙気候研究の重要課題である。本計画は、この 2 つの課題に焦点をあて、火星周回探査により、火星における宇宙天気・宇宙気候研究を飛躍的に発展させようという計画だ。

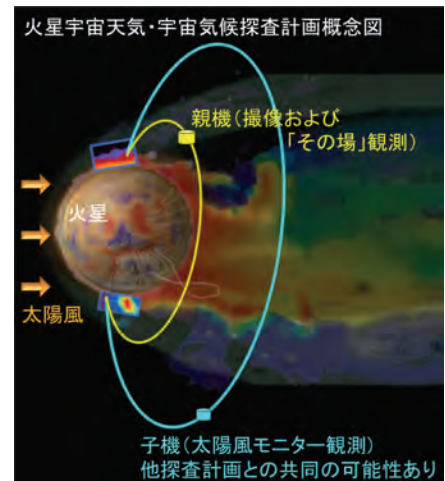
本計画は、JAXA 宇宙科学研究所の戦略的中型科学衛星計画として実現すべく検討中の火星周回探査計画であり、2011 年 12 月に設立が承認された「火星大気散逸探査（のぞみ後継機）検討 WG」と地球電磁気・地球惑星圏学会（SGEPSS）の「地球型惑星圏環境分科会」が検討の中心となっている。今年度、米国 NASA の火星探査機 MAVEN の新たな発見を受け、ミッション定義の整理・改訂を行った結果、宇宙天気に関する達成目標「火星オーロラの動態を明らかにし、火星圏での高エネルギー粒子環境を理解する」と、宇宙気候に関する達成目標「火星圏の太陽風・太陽放射変動への瞬時応答を明らかにし、宇宙への大気散逸が気候変動に果たした役割を理解する」の 2 つを設定した。この達成目標実現のため上述の 6 つの観測項目を、複数の搭載機器の組み合わせで実現する。

現在、搭載機器の詳細は検討中であるが、オーロラ撮像カメラ、大気散逸撮像カメラ、高エネルギー粒子計測器、磁場観測器、プラズマ粒子計測器パッケージ、中性大気計測器、電場・波動計測器、太陽放射モニター、太陽風イオン計測器、太陽風磁場計測器が候補として検討が進められている。高高度に遠火点を持つ太陽風モニター用の子機に搭載する太陽風イオン計測器、磁場計測器以外は親機に搭載予定で、親機近火点付近でその場観測を、遠火点付近で遠隔観測を実施する計画である。なお本計画は、2018 年頃のミッション提案、2024 年頃の打ち上げを目指して検討を進めている。

③ 学術的な意義

本計画の特徴の 1 つは、世界で初めて太陽風・太陽放射変動と火星オーロラのイメージング、降下粒子の同時観測を実現することで、太陽風-火星相互作用を可視化することにある。これにより、火星オーロラの動態を明らかにし、火星圏での高エネルギー粒子環境の理解を目指している。火星は、グローバルな固有磁場を持たない非磁化惑星であり、一方で、南半球には地殻起源の残留磁化を持ち、局所的な磁場によるバリア機能も持ち合わせているため、火星周辺の電磁場構造およびそれに影響される高エネルギー粒子分布は複雑なものになることが予想されている。特に、惑星間空間磁場の方向などの太陽風の状態によって、火星周辺の宇宙環境は大きく変わるため、時々刻々と変化する太陽風をモニターしながら、高エネルギー粒子分布を撮像とその場観測の両方で捉えることで、惑星間コロナ質量放出(ICME)などの激しい太陽活動に伴う極端現象時のシビアな宇宙環境変動の理解が可能になると期待されている。

宇宙気候の観点からの本計画の特徴は、撮像で全体像を把握しその場観測と組み合わせて物理機構を解明すること、また、太陽風・太陽放射変動と大気散逸機構を同時に観測し太陽変動応答を把握することである。このことにより、統計的描像から極端現象も含む瞬時描像への質的転換を達成し、過去への演繹を可能にすることで、大量の CO₂ 大気を行方を解明する。火星



図：ミッション構成概念図。

は過去 40 億年程度の表層環境進化の歴史が残る惑星である。この火星で、宇宙への大気散逸が気候変動に果たした役割を、表層環境進化の情報も踏まえて検証することは、非磁化惑星の大気進化とハビタブルゾーンを理解を大きく前進させるものである。ここで得られた知見は、太陽系外の惑星も含めて、地球型惑星が大気を保有する条件は何か、生命惑星成立の条件は何か、という根源的な問いに答えるための学問分野を開く礎になると考えている。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

NASA の火星探査機 MAVEN によって火星大気散逸現象を含む火星圏環境について多くの基本的描像が得られつつあると同時に、惑星間コロナ質量放出 (ICME) 時の大気散逸率の増加や太陽高エネルギー粒子 (SEP) によって引き起こされるオーロラなどの発見は、火星周辺の宇宙環境や大気散逸率に太陽変動が大きな影響を与えることを示している。特に新しい火星オーロラ発見は、高エネルギー粒子環境を探索する手段として、火星オーロラのイメージングが有用な手段になることを示唆した。

本計画は、こうした新発見を踏まえ、火星オーロラの動態を明らかにし火星圏での高エネルギー粒子環境を理解するとともに、火星圏の太陽風・太陽放射変動への瞬時応答を明らかにし、大気散逸が気候変動に果たした役割を理解しようとする我が国主導の火星探査計画である。本計画の重要な要素に、常時太陽風モニターの実現がある。地球圏では、常時太陽風モニターの実現後、地球周辺宇宙環境や宇宙天気現象への理解が飛躍的に向上した。最近の科学成果の多くが火星における太陽風モニターの重要性を示しており、研究者レベルでは、国際協力の議論が始まっている。

⑤ 実施機関と実施体制

上述したように、本研究計画は、JAXA 宇宙科学研究所の戦略的中型科学衛星計画として実現すべく検討中の火星周回探査計画であり、その実施には、同研究所でのミッション公募において選定されることが実現の前提となっている。従って、選定された場合には、JAXA 宇宙科学研究所が主要実施機関となる予定である。一方で、計画の科学検討や科学観測用の搭載機器の検討開発については、以下の研究機関の研究者が参画してきている。

JAXA 宇宙科学研究所、北海道大学、東北大学、立教大学、成蹊大学、東京工業大学、東京大学、千葉大学、東海大学、国立天文台、情報通信研究機構、国立極地研究所、信州大学、名古屋大学、京都大学、富山県立大学、金沢大学、九州大学、鹿児島高専、仏 CNRS、スウェーデン IRF、米コロラド大 LASP。

⑥ 所要経費

本計画は、宇宙科学の戦略的中型計画の予算規模 (300 億円程度) 内での実現を目指して検討している。所用経費の大まかな内訳は、衛星システムの設計・製造・試験に約 140 億円、ミッション機器の設計・製造・試験に約 40 億円、地上系および JAXA からの支給が必要なシステム機器に約 20 億円、打ち上げ費用約 100 億円を想定している。ただし、衛星設計・製造・試験経費の詳細については、メーカーによる見積りもあるが、非開示情報のため、内訳の記載は控えさせていただく。

⑦ 年次計画

過去への演繹のためには、太陽活動の変動が大きい太陽活動極大期 (2024 年頃) をミッション期間に含むことが望ましいことと、次回の戦略的中型科学衛星公募は 2018 年に予定されていることの 2 点を踏まえ、本計画では、2024 年の衛星打ち上げを目指して検討を進めている。今後の主な想定スケジュールは以下の通り。

2016 年度～2017 年度 システム検討

2018 年度 公募時期にあわせてミッション提案

2019 年 3 月頃 プロジェクト定義審査(PDR), 2021 年 3 月頃 詳細設計審査(CDR)

2021 年度 フライトモデル製造

2022 年度 一次噛み合わせ試験等

2023 年度～2024 年秋 フライトモデル総合試験、射場作業等

2024 年秋 打ち上げ

2025 年夏 火星到着

2025 年秋 科学観測開始

2027 年秋 ノミナル科学観測終了

⑧ 社会的価値

近年、太陽の活動が惑星環境に与える影響に対する理解は大きく前進し、地球においては太陽活動が我々の生活に及ぼす影響を予測する宇宙天気研究が多方面で推進されている。また、多数の系外惑星が発見される中、惑星の生命居住可能性(ハビタビリティ)の理解の観点から、主星の活動と惑星圏環境の間の関係をより普遍的に理解しようという惑星の宇宙気候探求の機運が高まっている。我々の検討している「火星宇宙天気・宇宙気候探査」は、こうした学際的な新しい研究の大きな流れの中にある。本計画で得られる知見は、遙か彼方の系外惑星がどのような大気と表層環境を持ちうるかを、推定する手がかりを提供する。また、火星有人探査にとっても、火星周辺の宇宙放射線環境把握は大切である。世界的には、宇宙天気フォーラムなどで、火星周辺の放射線環境の議論が始まっているとともに、火星有人地表探査へのステップとして、火星有人周回探査の検討なども始まっており、本計画は、学問的な価値に加えて、将来人類の活動領域を火星にまで拡大するために重要な探査であるという側面も持っている。

⑨ 本計画に関する連絡先

関 華奈子 (東京大学・大学院理学系研究科地球惑星科学専攻)

太陽系生命前駆環境の実証的解明のための統合研究プログラム

① 計画の概要

「はやぶさ」「かぐや」を経て、「はやぶさ2」「あかつき」日欧共同水星探査「ベピコロポ」火星衛星探査（MMX）、さらに重力天体着陸等の探査計画を進めようとするわが国は、これら探査から最大限の科学成果を引き出すために、ミッションを実施する JAXA 宇宙科学研究所（ISAS）を多角的に支える周辺拠点を充実させるべき段階にある。本計画では、実践的な人材育成・交流を展開しつつ、次世代機器の開発を戦略的に進め、データ解析・モデリング及び宇宙物質分析研究を連携させる「惑星科学研究コンソーシアム」を、ISAS を取り巻く形で構築する。これにより全国の研究者の有機的なネットワーク化を図りつつ各探査を強力に推進し、太陽系における生命圏の誕生・持続に至る条件と過程について実証的解明を進める。

② 目的と実施内容

太陽系における生命前駆環境の進化—生命圏の誕生・持続に至る条件の実証的解明を目的とする。1) 生命前駆物質の形成・進化、2) 惑星材料物質・生命前駆物質の分布・移動、天体への供給、3) 惑星・衛星の形成・分化、4) 地下熱水環境：鉱物—水—有機物反応系、5) 大気水圏の進化とその光化学反応系について包括的に解明し、各探査の科学成果を相乗的に最大化する。

「はやぶさ2」により、C型小惑星のその場観測と帰還サンプルの顕微分析によって鉱物・水との相互作用による有機物進化を解明する。日本の小惑星サンプルリターンと高品質月リモートセンシングの優位性を火星圏に伸ばす「MMX」の科学シナリオ構築と機器開発を進め、その場観測と帰還サンプル分析から火星衛星の起源を求めると同時に火星の材料物質、分化、大気水圏の起源と進化の解明に迫る。「あかつき」の金星大気循環データと「ベピコロポ」の水星表層データを、「かぐや」の月全球データや、氷衛星データの hoch 解析と併せて統合的に解釈し、地球型惑星の分化や表層環境進化の比較解明を進める。

本計画は多拠点ネットワーク型の「惑星科学研究コンソーシアム」を構築し推進する。機器開発センターを新設し、JUICE、MMX、将来探査に向けた機器開発を行う。データ解析プロジェクトにおいて、一次データのバックアップアーカイブと同時に、その hoch 解析と解析ソフトウェアの開発提供を行う。物質分析プロジェクトにおいて、帰還試料の多段分析と、次世代分析技術の研究開発を行う。シミュレーションプロジェクトと惑星科学実験プロジェクトにおいて、探査天体の環境予測と探査データに基づくモデリングを進める。統括部門が、情報共有・交流環境と活動評価プログラムを提供するとともに、コミュニティによる将来探査計画の立案と練り上げを促進し、各拠点の活動を開かれた形で緊密にネットワーク化する。

③ 学術的な意義

〔期待される研究成果〕 生命の起源の解明には、生命誕生に至った太陽系および惑星環境の様態とそこでの物質進化の解明が重要である。そのためには多角的な探査ミッションを戦略的に進めていくことが不可欠である。本計画では、こうした一連のミッションを持続していくための体制を構築し、太陽系生命前駆環境を解明する研究プログラムを確立する。これによって、生命前駆環境における有機物の鉱物や水との相互作用、生命前駆物質の主供給源である外部太陽系における揮発性物質の分布と進化過程、最終的に生命を産み出した物質進化場である固体惑星の大気水圏の形成と進化についての解明が期待できる。

〔効果と意義〕 機器開発、探査シナリオの練り上げ、帰還試料分析およびデータアーカイブ・解析を推進する体制の構築が喫緊の課題である。多数の探査候補天体に対し多様な切り口を有する太陽系探査は、将来ミッションの戦略的立案や次世代機器の基礎研究開発を、コミュニティベースで常時進めなければならない。本計画はこれらの課題へ全面的に貢献する。月惑星データの解析、始原物質の分析、惑星大気水圏のシミュレーション解析は、探査計画の立案や機器開発にも活用される。これには高い信頼性と精度が要求されるため、解析・分析・シミュレーション技術を世界トップレベルに高める原動力となる。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

世界的評価を得た「かぐや」「はやぶさ」の成功、「あかつき」の軌道投入リカバリ、ベピコロポの日欧共同開発を経て、以前は ISAS でしか担えなかった搭載機器開発や科学検計が全国の大学機関へ浸透し、日本の月惑星探査に欠かせない奏者に育つとともに、次期中型探査 MMX の立ち上げや JUICE 等の海外探査計画への協力打診に、多くの研究グループが参画・呼応するに至っている。一方、政策主導、工学主導であった探査を惑星科学コミュニティが自ら立案する活動が、日本惑星科学会により段階的に進められ、その成案が新規太陽系探査計画の一つに位置づけられるとともに、多様な専門と研究資源を有する全国の研究者が有機的に連携することの必要性が広く認識されるに至っている。本計画は、各探査を通底する科学目標で結び、伝統あるモデリング・分析研究と発展的に融合することによって、次の探査シーズを開拓しつつ科学成果を最大化する。そして別途推進されている系外惑星系の研究や初期地球生命研究と相補的に、生命前史の解明に貢献する。

⑤ 実施機関と実施体制

〔統括〕 神戸大惑星科学研究センターにコンソーシアム運営委員会をおき、評価を含む計画全体のマネジメントを行う。学際共同研究、探査計画アセスメント、高度専門家教育プログラム、知見ライブラリ配信、アウトリーチを展開促進する。

〔搭載機器開発〕 惑星探査機器開発センターを新設し、搭載機器開発環境を整備する。このもとで東京大(理、工、新領域)・千葉工業大(惑星探査研究センター)・国立天文台(RISE 月惑星探査グループ)等を中心に、MMX や JUICE、将来探査に向けた機器開発を担う。宇宙物質分析部門との連携による試料ハンドリング利便性を追求した試料回収カプセルの開発、ロボット探査のための観測装置やその場年代計測を目的とするレーザ絶縁破壊分光計の汎用化等を進める。

[宇宙物質分析] 北海道大創成科学研究機構・東京大(理)を中心に、独自の同位体顕微鏡開発の経験をベースに、宇宙物質の微細高精度分析を展開し、そのための新規技術開発、「はやぶさ2」試料を想定したキュレーション技術の開発を行う。

[データ解析] 会津大(先端情報科学研究センター宇宙情報科学クラスタ)が、情報科学に特化した同大の基盤を活かし、名古屋大(環境)等と連携しつつ惑星探査データの hoch 解析を担う。現有のクラウドサービス基盤を活用し、宇宙探査データバックアップ配信サイトとして機能する。

[シミュレーション] 北海道大(理)、神戸大(理)を中心に、オープンな数値モデル開発の経験を活かし、他部門および周辺研究者との密な交流のもと、惑星表層・原始太陽系円盤・始原天体・鉱物-水-有機物相互作用等のモデリング研究を展開する。

[実験惑星科学] 神戸大(理)と名古屋(環境)を中心に、機器開発チームと連携しつつ、衝突現象や熱輸送等、天体表層における物理諸過程の実験的解明を行う。

⑥ 所要経費

十年計画で初期設備投資に50億円、運用に毎年8億円の総額130億円を必要とする。

[統合部門] 情報基盤整備3億円 ホスティングサーバ・遠隔会議システム他、人件費0.8億円/年、事業費0.7億円/年 運営委・研究会・高度人材養成スクール開催、招聘・交換プログラム、知見ライブラリ事業

[搭載機器開発・実験惑星科学] 搭載機開発施設整備25億円 機器加工・組立室、天体表層環境模擬装置群、試験装置他、人件費1億円/年、事業費2億円/年 搭載機器、試作実証機器開発

[宇宙物質分析] キュレーション技術開発施設整備15億円 宇宙極低温物質有機物マニピュレーションチャンバ、無汚染環境ストレージ、同位体ナノスコープ等先端分析装置群、人件費0.5億円/年、事業費1億円/年 機器オペレーション、機器更新、微小試料分析技術開発

[データ解析] データアーカイブ基盤構築4億円 PBストレージ他、人件費0.5億円/年、事業費0.5億円/年 配信オペレーション、高次解析プログラム開発

[シミュレーション] ソフトウェア開発環境整備3億円 高速計算システム・大容量ストレージ他、人件費0.5億円/年、事業費0.5億円/年 開発環境保守更新

⑦ 年次計画

1年目 立ち上げ。施設設計整備。アーカイブデータ移送ならびに公開試験。月(かぐや)・小惑星(はやぶさ)・金星大気(あかつき)等データの hoch 解析。固体天体の物質進化場解明に向けた月惑星地質学・表層環境学の推進。これらを参照した火星衛星探査 MMX と国際木星衛星系探査 JUICE の観測シナリオの構築と機器開発ならびに将来将来月惑星探査立案の促進。惑星大気シミュレーションモデル、原始太陽系円盤モデルの開発。「はやぶさ2」・「MMX」に向けたキュレーション・分析機器群の開発。搭載機器試験実証のための超小型衛星の利用検討。研究会、研究者招聘・交換・人材養成スクールプログラムの実施。

2-5年目 上記事業の改善と継続。「はやぶさ2」(2018年小惑星到着、2020年地球帰還予定)その場観測と帰還試料分析による太陽系始原天体の物質進化場の解明。「JUICE」「MMX」搭載機器完成(2022~24年打上)。既存惑星探査データの本格移送と公開、惑星大気データ同化ソフトウェアの構築。惑星内部進化モデルとの結合に基づく、大気保有惑星のモデリング科学の深化、将来探査計画への貢献。はやぶさならびに国外探査帰還試料の詳細分析と、物質進化モデリングによる宇宙物質科学の展開と分析機器改良。将来探査計画の定量的評価と試作搭載機器開発。超小型衛星を用いた機器検証観測の実施。

5年目以降 評価に基づく改善を加えた上記事業の発展継続。「MMX」のその場観測と帰還試料分析による、火星衛星の起源ならびに火星の大気水圏の形成進化過程の解明。「ベピコロポ」その場観測データによる太陽系最内縁域における惑星形成・分化・進化過程と物質供給の解明。新規探査計画の科学シナリオ検討と搭載機器開発。

⑧ 社会的価値

深宇宙を目指す惑星探査の推進と成功は多くの国民、とりわけ若い世代に夢と希望をもたらす。また、太陽系と惑星の成り立ちの解明は、人類が共通に抱く根源的な好奇心に繋がる知的価値を有する。本計画では、探査データの配信や、知見ライブラリの提供も目的としており、これらは学際研究にとどまらず、一般市民の理科教育コンテンツとして活用が期待される。

産学協働による新しい搭載機器の時間をかけた企画・開発は、センサー、ロボティクス、通信技術などの小型化・高効率化・高信頼化等、さまざまな技術を先鋭化させ、企業側にも大きなメリットを生む。産業界とのパイプを活かした理工連携による長期的な開発計画をデザインし、惑星探査データ hoch 解析や流体シミュレーションなどの情報技術面と合わせて、高度科学技術を担う人材の育成と産業イノベーションに資する。

⑨ 本計画に関する連絡先

倉本 圭(日本惑星科学会)



海陸・掘削統合観測による革新的地震・噴火予測科学 —沈み込み帯の時空間情報科学の挑戦—

① 計画の概要

「海底・陸域での地震・地殻変動観測網整備」と「超深度掘削による地下圏孔内観測」を統合し、日本周辺の沈み込み帯に固有の地球科学諸現象を解説し、地震発生・火山噴火の新しい予測科学創出を目指す。

観測網が不足している海底と地下圏において列島規模の稠密な地震・地殻変動観測網を整備し、加えて超深度掘削による現位置試料採取を行う。特に、巨大地震発生の切迫性が高く、超深度掘削計画との統合により大きな研究の進展が見込まれる南海トラフ域において、海底 300 点、孔内 75 点を優先的に整備する。また 3 点の超深度国際科学掘削を実施し、震源断層物質を採取するとともに震源付近の物理化学特性モニタリングを開始し、地震・津波切迫度の解明に挑戦する。陸域でも、内陸活断層、火山周辺における観測体制を強化する。

東大地震研をハブとした地震・火山噴火予知研究協議会と、国際深海科学掘削計画 (IODP) の協力を受けた日本地球掘削科学コンソーシアム (J-DESC) で遂行する。本計画により飛躍的に強化される観測体制を、超深度掘削・孔内連続観測と統合して時空間スケールモデルを構築する。シミュレーションとリアルタイム観測データを同化して、世界を先導する地震発生・火山噴火の予測科学研究を行う。さらに社会学・工学と連携し持続可能な社会基盤の形成と国土強靱化に貢献する。

② 目的と実施内容

日本周辺の沈み込み帯で、地殻表層観測網と超深度掘削孔内観測を軸とした統合的観測体制の強化を行う。巨大地震断層の構造と物性、動的変動、地下深部の流体移動に関連した物理化学過程など、沈み込み帯の諸現象を解説し、それらを基に地震発生や火山噴火の本質に迫り、新しい予測科学の創出を目指す。

具体的には、南海トラフにおいて海底 300 点、孔内 75 点を優先的に整備し、陸域でも千点規模の集中観測により、地震発生場と活火山の動態解明を行う。超深度掘削に関しては、南海トラフ (紀伊半島沖) 地震発生帯等における国際科学掘削を実施し、海底下 5 km から震源断層物質を採取するとともに孔内の物理化学特性モニタリングを開始し、地震・津波発生機構や切迫度解明に挑戦する。

さらに、詳細な地下構造探査からプレート境界の空間分布を把握し、巨大地震後の観測データ、掘削試料を用いた地震・津波履歴を合わせてモデル化し、地震発生シミュレーション研究を行う。これにリアルタイム観測データを加え、世界を先導する地震発生および火山噴火の予測研究を推進し、人文社会学・工学との連携により、持続可能な社会基盤の形成と国土強靱化に貢献する。

③ 学術的な意義

本計画の学術的な意義は「沈み込み帯の地球科学」の確立である。地震発生・火山噴火に至る物理・化学過程や、深部流体 (水・マグマ) の挙動の理解を通じ、地震及び火山噴火現象の本質を知ることである。それにより巨大地震だけでなく、大規模噴火・巨大カルデラ噴火など、大きな人的被害を引き起こす自然現象の予測モデル構築に迫ることができ、地震・火山災害の軽減化という社会的ニーズが極めて高い課題に活用できる。また本計画の成果から、緊急地震速報の早期化や津波警報の高度化へと利用できるよう、切迫度の指標となる新しいシグナルの発見ができる可能性がある。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

地震・火山予知研究に関しては、昭和 40 年代から全国の大学・研究機関が気象庁や地方自治体等の防災関係機関と協力し組織的に推進してきた。平成 21 年に地震予知と火山噴火予知研究を統合し、「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」が開始された。平成 26 年には「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」が開始され、陸上・海底観測網による地震火山現象の理解と予測に関する研究を推進、他国との共同研究も進んでいる。

一方、深海掘削孔を用いた地震発生帯研究も、日本海溝や南海トラフを中心に国際共同研究として行われている。東日本大震災後に行われた掘削では断層の高速滑りが確認された。超深度掘削の実施も国際的に承認されており、日本の活動を具体的に推進する。したがって、既に国際的に活発な活動を行っている両計画を統合することで、日本が主導する総合的な研究体制を構築でき、本計画で目指す地震・火山予測研究システムの確立に大いに貢献できる。

⑤ 実施機関と実施体制

地震・火山観測網に関しては、東京大学地震研究所 (共同利用・共同研究拠点) が中核となり、国立大学法人 (15) (、私立大学 (2)、研究開発法人 (3)、省庁 (3) 他が実施する。

超深度掘削研究に関しては、現時点で掘削コアや掘削孔を用いた研究を主導している国立大学法人 7 機関と、国立研究開発法人海洋研究開発機構を中核とした体制により遂行する。また、国際深海科学掘削計画 (IODP) と J-DESC と密接に協力し、国内・国際連携基盤を最大限に活用できる。

⑥ 所要経費：合計 570 億円

●設備費 390 億円： 海底地震津波観測ケーブルシステム 240 億円；ケーブル接続型掘削孔観測システム (優先 75 観測点) 110 億円； 次世代型稠密地震・火山観測システム (千点規模) 10 億円； 分析解析拠点整備・維持 30 億円

●調査観測費 160 億円： 長測線構造探査5 億円・ボーリング調査5 億円・超深度掘削事前調査50 億円×3 か所※

※超深度掘削オペレーション費用は含めていない。

●運営費（海底ケーブルシステム・拠点研究機関 5 年間）： 20 億円

⑦ 年次計画

●海底ケーブル・海底孔内地震津波地殻変動観測システムの整備と運用

平成 28～29 年度：6,000km・300 点規模のシステム設計と製作、ケーブルルート決定

平成 30～34 年度：システムの海底敷設・設置

平成 35～37 年度：海底/海底孔内観測システム試験運用（平成 55 年頃まで運用）

●その他の地震発生及び火山噴火予測研究

平成 28～35 年度：太平洋側～日本側8 地域で海陸統合長測線探査による島弧プロファイリング

平成 28～30 年度：次世代型稠密地震・火山観測システムの整備・集中観測、地震発生予測・火山噴火予測手法の開発

平成 31～35 年度：地震発生・火山噴火予測の試行（その後運用を目的）

●南海トラフ地震発生帯超深度掘削

平成 28 年度：浅部断層孔内観測所設置3 次元構造探査データ再解析

平成 29～30 年度：深部断層掘削により、震源断層(海底下 5000m)に到達、断層固着域物質採取・現場特性データを取得。

平成 31～35 年度：東南海地震の先端部(海底下 400-1000m)に孔内観測装置設置

平成 28～30 年度：地球化学・コア解析等の分析解析拠点の整備

●室戸沖南海トラフ付加体先端部掘削（T-Limits）

平成 28 年度：温度計製作、付加体先端部掘削（1000m）による浅部断層物質採取

平成 29 年度：温度計回収、源位置温度データ取得

●東北沖日本海溝軸部～アウターライズ掘削

平成 31 年度～35 年度：掘削、孔内計測実施

⑧ 社会的価値

災害大国日本は、地震・火山災害軽減に関して国民の期待が大きい。科学技術白書でも「我が国が直面する重要課題への対応」に地震、火山、津波などに関する調査観測や災害対応能力の強化に関する研究開発の推進が掲げられている。本計画により整備される海底ケーブル観測網や、S-net、DONET 等の海底観測網と超深度掘削孔とが連動した高次空間観測網により得られる科学的な知見、さらに、長期連続モニタリングと物理モデルに立脚した予測システムを組み合わせると、高い確度での地震・津波切迫度が評価できる。この評価システムは、今後予想される南海・東南海地震の防災対策へ寄与し、社会的な重要性・緊急性が極めて高い。また近年の火山噴火の頻発も社会的な問題で、巨大カルデラの形成や噴火予測の研究が期待され、持続可能性な社会を探究する「Future Earth」の課題にも貢献できる。

⑨ 本計画に関する連絡先

平田 直（東京大学・地震研究所）

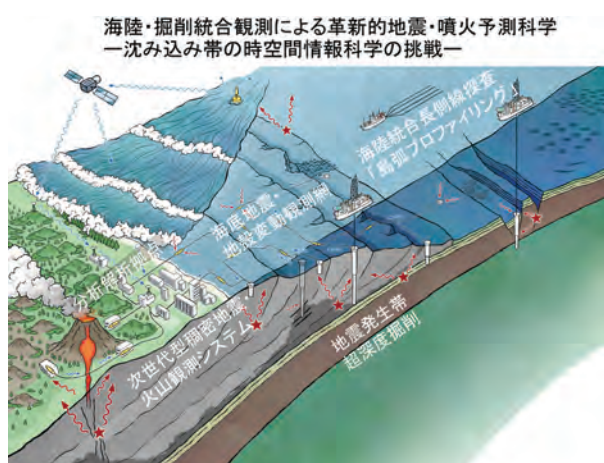


図1 本計画のコンセプト

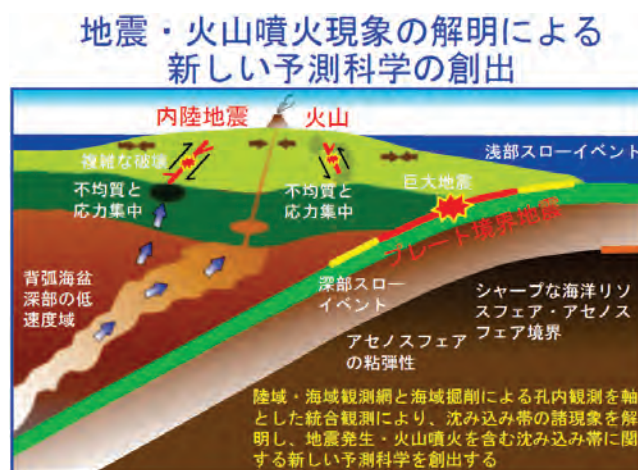


図2 沈み込み帯の地球科学 最近10年の知見と今後の展望

極低雑音・大口径ミュオン検出器アレイによる、火山ダイナミクス統合研究計画

① 計画の概要

本提案は我が国が世界をリードする素粒子ミュオンを用いた火山の透視技術（ミュオグラフィ）の時間分解能の限界を乗り越え、ミュオン測定装置をアレイ状に多数配置することで実効的な有感領域を劇的に向上させ、これまでの静的透視あるいは数日に1枚という準実時間透視から30分に1枚以上の真の実時間透視へと進化させる開発研究である。未だ研究途上にある「火山活動がどのような経過をたどり、いつ終息するのか」の問いに答えられる。また、透視画像を実時間で閲覧できるデータサーバーを全国共同利用することにより、ミュオン測定装置と同時に配置される地震計・傾斜計・重力計から得られる地球物理学データとの共同解析を容易にし、より統合的な火山観測を推進する。ミュオンを用いた固体地球のイメージングは、1990年代に東大・理学部で提案され、2007年に浅間火山の透視を東大・地震研究所が実現してから、急速に発展してきた。特に地震研究所は平成23年度から「ミュオン透視技術高度化プロジェクト」を文部科学省の支援のもと推進し、世界最高水準の雑音低減能力を持つミュオグラフィ観測装置が開発され、噴火中の火山内部のマグマ検出に世界に先駆けて成功した。また、日本火山学会からも本計画に対して強い支持が得られており、実績、準備状況に鑑み、本計画は、火山学・地震学分野で、我が国が今後も世界を主導し、国際的プレゼンスを示す上で必須のものと位置づけられる。

② 目的と実施内容

わが国主導で始まったミュオグラフィは、国内外の火山を対象として、最近5年間に、数多くの成果を創出してきた。本計画は、これまで技術的蓄積を重ねてきたミュオグラフィによる火山浅部の系統的研究を飛躍的に発展させ、火山噴火・マグマの移動の謎を、素粒子物理学と地球物理学とによって解き明かすことを目的としている。そのために、火山体に100台のミュオン検出器(M)と、地震計(S)・傾斜計(T)・重力計(G)などの地球物理学計測器各々10台とを、配置したアレイを建設する(MSTGアレイシステム=ムスタング・アレイシステム)。ただし、地震計と傾斜計はボアホール内に設置することで雑音を低減する。さらに、実時間火山内部透視画像を遠隔閲覧できるソフトウェアを開発し、透視画像を全国共同利用に供することで、地球物理学データとの統合的な解析を実施する。本システムを用いると、火山を通り抜けてくる極めて微弱なミュオン信号を、世界最高感度かつ大口径で同時検出することができるため、従来のコマ撮りから実時間動画撮影への飛躍が可能となる。本計画では、「地震・火山科学の共同利用・共同研究拠点」として、文部科学大臣の認定を受けている東京大学地震研究所がミュオグラフィに付随設置する地球物理学的観測機器(地震計・傾斜計・重力計)を含めて統合運用することにより、桜島サイズの活動的火山内部のマグマの動きやその火道の形状の変化などを、30分を切る時間分解能で連続的に追跡する。その動画解析から、火山浅部のマグマ・ダイナミクスの包括的理解へとつなげる。

③ 学術的な意義

人類を、ある時は巨大災害ゆえに恐れさせ、また、ある時はその神秘的な美しさで魅了してきた現象に、火山噴火がある。20世紀における地球物理学・地球化学・岩石学等の進展は、人類の地球観に大きな変革をもたらし、近年では、前兆現象に基づいて火山噴火の始まる時期の予知(噴火予知)は、かなりの成功を収めている。とはいえ、ひとたび噴火した後、「火山活動がどのような経過をたどり、いつ終息するのか」については、未だ研究途上にある。そもそも、マグマは何故、何万年にもわたって同じ場所から噴出し、1つの火山が形成されるのだろうか？火山形成のためには地下深くの地層の割れ目(岩脈)を昇ってくる板状のマグマがいつの間にか管状になる必要があると想像されているが、そのような特異な構造の検出も夢の段階にとどまっている。さらに、同じ火山であっても、爆発的な噴火をする時もあれば、溶岩を穏やかに流出させる時もあり、このような違いが生じる原因も謎である。このような火山に関する未解明の諸問題の根幹には、火山内部のマグマの形状と動きを、詳細にかつ、直接的に捉えることができなかったことがある。本計画では、この問題に直接的な解答を与えるため、火山学者と素粒子物理学者の強力な連携で開花した、宇宙線ミュオンによる透視装置をアレイ状に配置することで実効的な有感領域を劇的に向上させ、火山体内部の実時間撮影を行う。医学に例えれば、通常のX線検査から、X線透視造影検査への飛躍的発展である。本計画によって火山浅部マグマの研究は大いに進み、火山科学のみならず固体地球科学に新たなパラダイムをもたらすことが期待される。また、ミュオグラフィを高度化して世界最高感度の実験で見出される新たな発見は、異分野融合の成功例として、科学全体にとって大きな刺激を与える。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

宇宙線素粒子を用いた固体地球のイメージングは、1990年代に東大・理学部で提案され、2007年に浅間火山の透視を東大・地震研が実現してから急速に発展してきた。この研究は世界中の注目を集め、本計画グループのイニシアチブの下で技術開発や野外観測など様々な国際共同研究が推進されている。一方、米国やカナダでは独自の研究開発が進行中である。わが国でも本計画に対して準備を行ってきた。このような国内外の研究動向から、今後5年から10年で、この分野は資源探査をも念頭に置いて、益々発展することが予想される。このような背景(実績、準備状況、国際協力体制)に鑑み、本計画は、火山学・地震学分野で、我が国が今後も世界を主導し、国際的プレゼンスを示す上で必須のものと位置づけられる。また、素粒子物理学と固体地球物理学という、異分野の連携融合研究という観点から、固体地球科学に革新をもたらす重要な役割を担っている。

⑤ 実施機関と実施体制

実施主体となる機関は東京大学地震研究所であり、平成22年に東京大学の全学支援の下、同研究所に設置された「高エネルギー素粒子地球物理学研究センター」が、本研究計画の推進にあたる。地震研究所は、「地震・火山科学の共同利用・共同研究拠点」として、文部科学大臣の認定を受けていることから、その機能を活用して、全国共同研究を円滑に実施する体制が整っている。ミュオグラフィに関わる技術開発は、高エネルギー加速器研究機構及び東大物理学専攻と提携し、素粒子検出における最新の技術導入を図る。MSG アレイ・システムを用いた火山観測については、これまでに火山のミュオグラフィ共同研究を実施してきた大学や研究独立法人を中心にすすめるが、それにとらわれることなく、地震研究所の共同利用機能を活用して、広く関係する火山学研究者の参加を求める。研究遂行上生じる膨大な事務は、地震研究所・事務部と、研究事務支援室を強化することで対応する。広報アウトリーチ活動は、高エネルギー素粒子地球物理学研究センターが研究事務支援室とともに進めている活動（ニュースレター発行等）を拡充し、同時に研究所広報アウトリーチ室と連携して進める。

⑥ 所要経費

【総経費】 60 億円

【内訳】 検出器アレイ：4000 万円/台×100 台、地震計・傾斜計・掘削費 5000 万円/台×10 台、重力計（地震計・傾斜計の局舎内）5000 万円/台×10 台、運営費等：1 億円/年×10 年

⑦ 年次計画

研究継続期間：10 年間

【初年度から5年間】基盤設備の建設および高度化。

新規ミュオグラフィ観測システムは初年度に1台製作した後、2～3年目に5台を製作し、テスト観測を完了する。4～5年目で全ての製作を完了し、本格運用を目指す。既存地球物理学的計測機器を多点配置し、5年目終了までに国内外のデータ利用ニーズに対応できる新規運用体制を構築する。対象火山として、玄武岩質火山とデイサイト質火山を一つずつ予定している。

【6年目から5年間】運用体制の充実及びデータベースの構築。

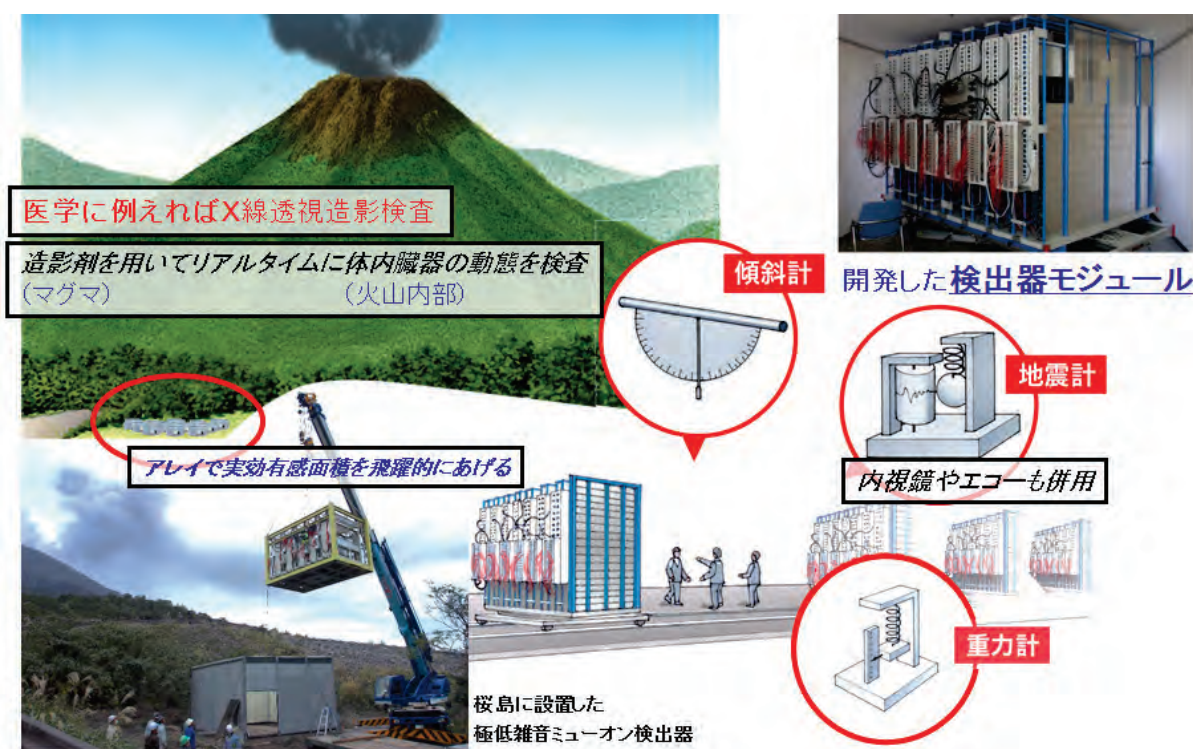
ミュオグラフィ・アレイシステムの遠隔モニタリングシステムを完成させる。透視画像の全国共同利用を円滑に運用するためにデータサーバーを構築する。本計画の実現により得られる火山内部の新しい知見を元に、次期計画の具体的検討を行い、システムの新たな火山観測技術としての実用化を目指す。

⑧ 社会的価値

ノーベル賞受賞などがわが国で多くの成果を上げてきた素粒子物理学分野と、多様な火山活動が生じている我が国の地球科学的特徴を組み合わせた新しい学術融合分野であるミュオグラフィの発展は、わが国のサイエンスに対する国民的価値を向上させる。さらに、3.11 東日本大震災以降巨大噴火の懸念が高まる中、防災という視点からも火山噴火の予測は重要である。ミュオグラフィは安心できる噴火モニタリングシステムへと進化できるポテンシャルを秘めている。大手製造メーカーの操業成績の向上、わが国の製造業における国際競争力の強化の過程を経て、日本国全体の経済水準の向上に寄与する。また、ミュオグラフィによる資源探査技術の高度化は安全・安心な持続性可能な社会の実現に寄与する。

⑨ 本計画に関する連絡先

田中 宏幸（東京大学・地震研究所）



e-サイエンスに向けた革新的アルゴリズム基盤

① 計画の概要

本研究計画は、従来手法では解決不可能な大規模問題を数理解析に基づく革新的なアルゴリズムによって解決することを目指す。科学、工学、交通、経済・経営の諸分野や地球規模の諸問題及び突発的事態への具体的かつ現実的な対応を目標とする。このために、アルゴリズム科学と実問題の数理的モデル化による解決を目指す共同研究拠点を関西学院大学に作る。拠点ではアルゴリズムの設計と応用の科学的体系を構築し、ソフトウェア実装技術や高速計算技術を融合した問題解決手法の開発と標準化を行い、地球規模のネットワークや高密度な計算環境の高度活用を実現する情報技術開発基盤センターとして整備する。さらに東大、東北大、東工大などにもサテライト拠点を作る。これにより、個別分野に分散しているアルゴリズム開発の要求と学術を集約し、アルゴリズム科学の学問体系をe-サイエンスの中核として創生し、標準化した知識として諸分野に提供する体制を確立する。

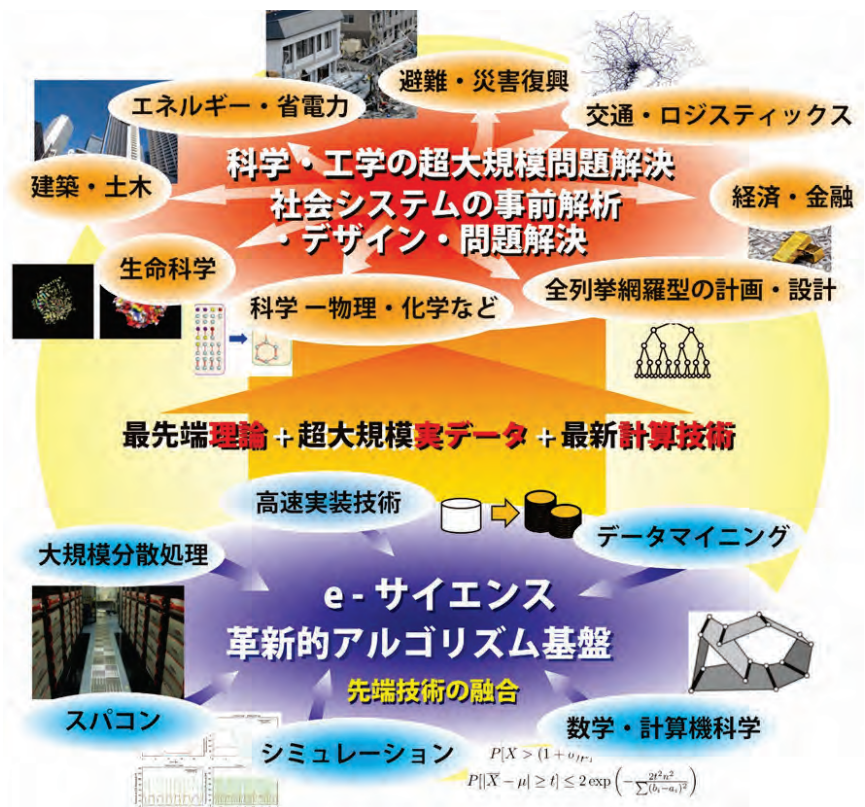
そのための基礎技術として、サンプリング・圧縮技術を用いて超巨大入力を処理する劣線形アルゴリズム、数兆点の超大規模ネットワークにおけるクラスタリングや探索アルゴリズム、さらに巨大出力を持つ全列挙アルゴリズムなどの基礎理論を深化させて高速実装技術を開発し、諸分野で利用できるソフトウェアを公開する。そして、近年急速に発展し人間社会を動かしているアルゴリズムを、広く自由に利用できる学術体系として公開し、e-サイエンスの中核さらに科学の一般分野として発展させる。21世紀には、高度情報処理技術の進歩が、人類が抱える様々な問題を解決することが期待されるが、その多くはいわゆるビッグデータの問題などから、エクサフロップス級の計算機を使用しても解決が容易でない難問である。このような高度問題解決のためには、アルゴリズムの新たな革新が必須であり、科学の共通基盤として最優先の意義をもつ。

② 目的と実施内容

本研究計画は、従来手法では解決不可能な大規模問題を数理解析に基づく革新的なアルゴリズムによって解決することを目指す。物理、化学、生物などの科学、土木、建築、機械などの工学、交通、経済・経営の諸分野や地球規模の諸問題（環境、エネルギー、バイオ）及び突発的事態（防災、避難及び復興計画）への具体的かつ現実的な対応を目標とする。このために、アルゴリズム科学と実問題の数理的モデル化による解決を目指す共同研究拠点を作る。拠点ではアルゴリズムの設計と応用の科学的体系を構築し、ソフトウェア実装技術や高速計算技術を融合した問題解決手法の開発と標準化を行い、地球規模のネットワークや高密度な計算環境の高度活用を実現する情報技術開発基盤センターとして整備する。

これにより、個別分野に分散しているアルゴリズム開発の要求と学術を集約し、アルゴリズム科学の学問体系をe-サイエンスの中核として創生し、標準化した知識として諸分野に提供する体制を確立する。とりわけ東日本大震災以降、安心できる社会システムの計画・設計のための、すべての場合を想定した全列挙網羅型の計画・設計の重要性が増している。突発的に発生する大規模災害の多様な事態に備え、超大規模な交通網データを用いた高精度な事前予測や、災害発生時の動的なデータ収集等と高速計算による速やかな避難誘導及び復興計画策定による解決を最重要目標に設定し、革新的アルゴリズム基盤の構築を目指す。

そのための基礎技術として、サンプリング・圧縮技術を用いて超巨大入力を処理する劣線形アルゴリズム、数兆点の超大規模ネットワークにおけるクラスタリングや探索アルゴリズム、さらに巨大出力を持つ全列挙アルゴリズムなどの基礎理論を深化させて高速実装技術を開発し、諸分野で利用できるソフトウェアを公開する。これにより、諸分野の世界的な競争力の強化をe-サイエンスを通して実現する。



③ 学術的な意義

本研究の科学的意義は、人間社会を動かしているアルゴリズム、すなわち論理的手続き処理における近年の急速な発展を、広く自由に利用できる学術体系として公開し、e-サイエンスの中核さらに科学の一般分野として発展させることにある。コンピュータや情報インフラ上で行う大規模情報処理は現代では数学的に高度な科学技術であり、これを一般科学として普及を行うことは情報社会での国際競争力を持つために大きな学術及び教育的な意義を持つ。21世紀には、高度情報処理技術の進歩が、人類が抱える様々な問題を解決することが期待されるが、その多くはエクサフロップス級の計算機を使用しても解決が容易でない難問である。このような高度問題解決のためには、アルゴリズムの新たな革新が必須であり、計算モデルと数理の探究に基盤をおく革新的なアルゴリズム設計技法の構築、体系化と、それに基づくソフトウェア開発は科学の共通基盤として最優先の意義をもつ。さらに、これによって、コンピュータの利用を行うすべての分野での学術の発展を加速する。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

国内におけるアルゴリズム理論の研究は、情報処理学会アルゴリズム研究会、電子情報通信学会コンピュータ研究会を中心に行われている。また、日本が中心になって東アジア、太平洋地域において、アルゴリズムに関する国際会議(ISAAC)をおこない、AAAC という組織を設立している。国際的には、STOC, FOCS, SODA, SoCG といったアルゴリズム理論のトップ会議をはじめとして数十の国際会議が毎年開かれている。CREST「ビッグデータ時代に向けた革新的アルゴリズム基盤」(平成26年度発足、代表者はこのプロジェクト提案者)と密接に関係し、本プロジェクトの課題の一部に先行して取り組んでいる。また、平成24年度発足の新学術領域研究「多面的アプローチの統合による計算限界の解明」と密接に関係し、計算困難性の解明からe-サイエンスの基盤モデルの確立を目指す。さらにERATO河原林巨大グラフプロジェクト(平成24年度発足)、CREST「ポストペタスケールシステムにおける超大規模グラフ最適化基盤」(平成23年度発足)とも密接に関係し、そこで得られた成果をもとに実世界の要求からe-サイエンスの革新を目指す。

⑤ 実施機関と実施体制

関西学院大学に諸分野における未解決課題を集約し最新の計算技術により解決する中核的研究拠点を構築し、国内外との共同研究、研究交流を行うスペースを確保する。また、東京大学(医学情報システムの基盤構築)、東京工業大学(超大規模データ最適化問題に対する高速計算システム構築)、東北大学(耐災害情報システムの基盤構築)にもサテライト型研究拠点を配置し、共同研究や連携を推進する体制を整備する。

⑥ 所要経費

42億円(初期投資:7億円、運営費等:5億円/年)

・初期投資 共同研究拠点施設整備:1億円、ソフトウェア開発や大規模な検証実験環境のための計算機クラスターとネットワーク及びインターフェース:5億円、海外拠点等との連携経費:1億円

・運営費 年間5億円[内訳 施設賃借料および設備運営費:1億円、ソフトウェア開発費:2億円、人件費:1億円(博士研究員、事務経費等)、旅費5千万円(海外著名研究者招へい費用を含む)]、その他:5千万円(会議費、消耗品費、計算機設備更新費等)]

⑦ 年次計画

平成28~34年度

(具体的な計画)

平成28~29年度:各応用分野において従来解決不可能な大規模かつ重要な問題の抽出と分析を行なうとともに、具体的に研究開発が進行している課題のソフトウェア基盤整備をおこなう。

平成30~32年度:抽出された重要問題解決のための最先端のアルゴリズムを開発し、個別分野での問題解決を行い、アルゴリズム科学と実問題の数理的モデル化と解決のため共同研究拠点を形成する。また登場が予想されるポストペタスケールスパコンに対応できる基盤ソフトウェアを研究開発する。

平成33~34年度:個別に開発されたアルゴリズムの共通部分をアルゴリズム基盤として整備、標準化し、諸分野に提供する体制を確立する。また超大規模実問題を解決可能なソフトウェア群も同時に整備する。

⑧ 社会的価値

アルゴリズムの変革はすべての社会生活に波及する基盤事項である。ビッグデータ処理においては、計算量が線形よりも低いアルゴリズムが要求され、本計画研究にあるアルゴリズムの設計指針の革新が必須である。さらセンサーなどの外的環境から送られる巨大ストリームデータから情報を取得するためには、ストリーミングアルゴリズムを用いた新しい設計指針によるデータの濾過と圧縮が必要である。これにより、現在特殊な大規模記憶装置を持つ組織のみで行われた高度情報処理を、個人が所有でき、持ち歩けるモバイル端末で実現できることになる。これは2つの意味を持つ。まず、多くの人間が知識を集約したビッグデータを革新的なアルゴリズムとスーパーコンピュータを用いて解析すれば、あたかもそれが「智の集約」であるかのように利用でき、社会全般での様々な場面での指針に用いることができる。

その一方で、現在スーパーコンピュータでしか動かないような大規模データ処理を、アルゴリズムの効率化によって分散型クラウドとパソコンで動くようにすることにより、情報の大衆化を行い、デジタルデバイドを防ぐとともに、省電力な社会の実現へも貢献できる。

⑨ 本計画に関する連絡先

加藤 直樹(関西学院大学・理工学部)