

大型中型将来計画の意志表明書一覧

番号	申請者	計画規模	計画名(略称)	計画タイトル
1	杉山直	大型	SKA1	Square Kilometre Array Phase 1 (SKA1)
2	清水敏文	大型	Solar-C(EUVST)	高感度太陽紫外線分光観測衛星Solar-C(EUVST)
3	身内賢太郎	中型B	NEWAGE/GYGNUS	ガス飛跡検出器による暗黒物質の正体解明
4	井上邦雄	大型	カムランド2	極低放射能環境でのニュートリノ研究
5	高田淳史	中型B	SMILE-3	Sub-MeV/MeV gamma-ray Imaging Loaded-on-balloon Experiments 3
6	郷田直輝	大型	JASMINE	小型JASMINE (赤外線位置天文観測衛星)
7	山下雅樹	中型B	DARWIN	50トン級液体キセノン宇宙暗黒物質直接探索計画
8	久野成夫 中井直正	中型A	ATT10	「南極10mテラヘルツ望遠鏡(ATT10)」計画
9	森浩二	大型	FORCE	広帯域X線高感度撮像分光衛星 FORCE (Focusing On Relativistic universe and Cosmic Evolution)
10	吉田 滋	大型	IceCube-Gen2	IceCube Gen2 国際ニュートリノ天文台
11	手嶋政廣	大型	CTA	CTA国際宇宙ガンマ線天文台
12	松浦周二	大型	IPST	惑星間宇宙望遠鏡 (Inter-Planetary Space Telescope - IPST)
13	田村元秀	大型	HabEx	Habitable Exoplanet Observatory (HabEx、ハベックス)
14	松本浩典	大型	Athena	大型国際X線天文台 Athena (Advanced Telescope for High ENergy Astrophysics) への日本の参加
15	岩井一正	中型B	次世代太陽風	次世代太陽風観測装置
16	左近 樹	大型	Origins	Origins Space Telescope の科学推進と中間赤外観測装置(MISC)開発の分担
17	瀧田正人	中型B	Mega ALPACA	(仮) Mega ALPACA : 南天 における P eV 領域ガンマ線 広視野連続観測
18	米徳大輔	大型	HiZ-GUNDAM	ガンマ線バーストを用いた初期宇宙・極限時空探索計画 HiZ-GUNDAM
19	住貴宏	大型	Roman	Roman 近赤外広視野サーベイ宇宙望遠鏡への参加
20	住貴宏	大型	LUVOIR	NASA 大型紫外可視近赤外線宇宙望遠鏡LUVOIRへの参加
21	小高裕和	中型B	GRAMS	Gamma-Ray and AntiMatter Survey (GRAMS) 計画
22	常定芳基	中型B	UHECR-TA2	最高エネルギー宇宙線の起源解明のための大型地上空気シャワー観測
23	臼田知史	大型	TMT	30m光学赤外線望遠鏡計画TMT
24	勝川行雄	中型B	ngGONG	太陽観測次世代国際ネットワーク計画ngGONG への参画
25	成影典之	大型	PhoENiX	太陽X線ガンマ線観測衛星 PhoENiX
26	羽澄昌史	大型	LiteBIRD	LiteBIRD — 熱いビッグバン以前の宇宙を探索する宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星
27	浅井歩	中型B	大口径太陽望遠鏡焦点面装置	大口径太陽望遠鏡に搭載する赤外線偏光分光撮像装置
28	滝澤慶之	中型B	POEMMA	POEMMA (Probe Of Extreme Multi-Messenger Astrophysics)
29	土屋史紀	大型	LAPYUTA	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Life-environmentology, Astronomy, and Planetary Ultraviolet Telescope Assembly (LAPYUTA)
30	井上昭雄	大型	GREX-PLUS	GREX-PLUS (Galaxy Reionization EXplorer and PLanetary Universe Spectrometer)
31	河野孝太郎	大型	LST	大型サブミリ波望遠鏡LST
32	百瀬宗武	大型	ngVLA	次世代大型電波干渉計 ngVLA
33	安東正樹	大型	B-DECIGO	宇宙重力波望遠鏡 B-DECIGO
34	和泉 究	中型B	LISA	宇宙重力波干渉計LISA への参加

SKA1

1. 計画タイトル
Square Kilometre Array Phase 1 (SKA1)
2. 問い合わせ先
杉山直、名古屋大学、naoshi@nagoya-u.jp
3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）
自然科学研究機構・国立天文台
4. 計画規模：大型・中型 A・中型 B
大型
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況
2017 は未申請。2020 は採択、重点大型研究計画ヒアリング対象計画。
6. 実施時期
2021 年 7 月から建設開始。部分運用は 2025 年頃、完成は 2029 年頃。完成後は 40 年以上の運用を想定。日本の参加が遅れると国際計画に影響が出るだけでなく、技術貢献の機会を逃し科学成果を逸する緊急性がある。
7. 必要経費および予算プロフィール
総予算は 2021 年から 2030 年までの建設期に \$1.98B€。その後運用期は毎年 100M€程度。日本は総予算の 2%前後の貢献を目標とし、2021 年から 2030 年では、望遠鏡建設費として約 40 億円、望遠鏡運用費に毎年約 3 億円、地域センターなどの国内経費に毎年約 1 億円。
8. 計画の概要(200-500 字程度で簡潔にお願いします)
SKA1 は豪州に観測周波数 50-350 MHz を網羅する開口アンテナ 13 万基と南アに 0.35-15 GHz を網羅するパラボラ鏡 197 台を建設する国際計画である。アレイ範囲は 150km に達する。データは信号処理施設に光伝送されビーム合成等をされた後に、科学データ処理施設にて電波画像等に解析され、世界各地の地域センターを経てユーザーに届けられる。広視野、高画像品質に加えて、連続波・輝線・パルサー捜索・VLBI の同時観測能力から、特筆したサーベイ能力を持つ。この性能で、宇宙再電離から現在までの水素史や銀河形成史の解明、パルサー精密観測による重力理論の検証、星・惑星とその形成領域のミリ波では見えない世界の探査、広域深サーベイによる宇宙論の超精密化と宇宙磁場の 3 次元構造の解明、そして突発現象の徹底究明を目指す。SKA1 は建設が決定している唯一の大型電波計画。
9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ
SKA1 は 1 GHz 以下の周波数で世界唯一の大型望遠鏡として多波長天文学の重要な一角を担う。宇宙再電離期の原子ガス層の情報は、星(TMT)・分子ガス(ALMA)の情報と相補的であり、超高遠方($z>20$)ではほぼ唯一の手段。

銀河広域探査では Subaru と高い親和性。超新星残骸、銀河団、コンパクト天体の非熱的な側面を徹底究明し、XRISM や CTA と強い相補性を持つ。SKA1 で見つかった分子雲や原始惑星系円盤を ALMA で細かく深く見るという連携を生む。Global VLBI の中核を担い、感度の大幅向上に寄与する。日本は、理論研究に強みを持つ宇宙再電離・宇宙論・宇宙磁場の研究、ALMA と相補的な天の川銀河・星間物質・星惑星の研究、そして国内望遠鏡と連携した活動銀河核や突発天体の研究で独自性を見出す。多岐にわたる科学目標から、日本の多彩な天文学を支えていく研究施設となる。国際協力や過疎地への建設を通じて、近代的エネルギーへのアクセス、産業と技術革新の基盤、パートナーシップといった 5 項目の社会問題(SDGs)の解決に貢献する。

10. 実施内容（実施機関・体制（国際協力等を含む）、共同利用体制）

SKA 条約に基づいて、政府間機構 SKA 天文台が実施し、SKA 評議会が統治する。建設地として中核をなす英国・南ア・豪州を始めとする世界 16 カ国が SKA 評議会に参加あるいは参加準備中。観測時間の約 7 割を大規模提案に、約 3 割を個別提案に割り当て、いずれも参加国の出資割合に比例して所属する研究者に配分される見込み。大規模提案の共同利用体制は SKA 先行機で試行中、個別提案の共同利用体制はピアレビュー、評議会下の時間割当委員会の審査を経て、SKA 天文台長が決定する。観測の 1-2 年後にデータは公開予定。観測運用は SKA 天文台が行う。

11. 現在までの準備状況

（建設の準備）稼働中の SKA 先行機の経験が SKA1 の設計および運用の計画に反映されている。SKA1 の建設に対して地元住民や自治体の理解は得られている。SKA 評議会は建設計画書と保守運用計画書を承認済み。建設の役割分担と予算の負担割合は約 9 割が固まる。予算の不足分は追加の参加国を見込むが、不足時のリスク回避策も立案中。日本は SKA 条約の批准を必要としない連携国としての参加で調整中。評議会での議決権がないが、各種委員会には参加し意思決定に関与する見込み。

（国内の準備）日本では日本 SKA 協会と VLBI 懇談会が科学・技術の検討を進める。総額 4 億円近い競争的資金を獲得し、160 名を超える大学院生を排出する。2015 年と 2020 年に日本版 SKA 科学白書を出版。実施予定機関の国立天文台は前身の SKA 理事会に 2011 年からオブザーバを派遣し、大学支援経費の資金援助を通じて海外調査を進めてきた。2019 年度より水沢 VLBI 観測所に SKA1 検討グループが設置され、参加計画案を策定中。グループは 2021 年秋にプロジェクト申請を予定。日本は Assembly, Integration, and Verification (AIV)を中心に VLBI でも国際貢献を進め、さらにソフトウェア、高周波受信機、そして SKA 地域センターへの貢献を準備中。

高感度太陽紫外線分光観測衛星 Solar-C(EUVST)

1. 計画タイトル：

高感度太陽紫外線分光観測衛星 Solar-C(EUVST)

2. 問い合わせ先：

清水敏文、JAXA 宇宙科学研究所、shimizu.toshifumi@isas.jaxa.jp

3. 想定される提案者：JAXA 宇宙科学研究所長、または連携会員(浅井,今田)

4. 計画規模：大型

5. マスタープラン 2017、2020 への採否状況：

マスタープラン 2020 では学術大型研究計画（区分 I）として採択された。また 2017 では、本計画の前身である SOLAR-C が同様に採択された。

6. 実施時期

2019－2021：計画定義・決定期間

2022－2026：衛星開発期間

2026：射場試験・打ち上げ

2027－2028：ノミナル観測運用

2029 以後：後期運用（運用延長審査により認められた場合）

7. 必要経費および予算プロファイル

必要経費は総額 179 億円(予備費含む)。内訳は、建設費 171 億円（衛星システム開発 81 億円(予備費含む)、EUVST 望遠鏡開発 46 億円、射場試験・初期運用・地上設備開発 7 億円、ロケット調達 37 億円)、運営費(ノミナル観測運用等) 8 億円。この日本支出の他に、分光器を分担製作する米国および欧州各国が合わせて 6500 万米ドルを負担する予定である。

8. 計画の概要

宇宙にいかにか高温プラズマが作られ、太陽がどのように地球や惑星に影響を及ぼしているのかという命題を探求するため、この衛星計画は、太陽表面から太陽コロナ・惑星間空間までのエネルギーと質量の輸送を理解し、宇宙プラズマ中で普遍的に起きている基礎物理過程を検証する。太陽の磁気活動は、基本となる微細な構造間で受け渡される磁気エネルギーを源泉とし、彩層やコロナという高温の大気を形成し、太陽面の大規模爆発現象から惑星間空間を乱す擾乱を生み出すと考えられている。これらの成因を理解するため、基本となる磁気構造を広範な温度領域で追跡し、それらの運動や相互作用を通して、磁気エネルギーの輸送過程や散逸過程を定量化することを目的としている。観測装置として極端紫外線域の高分散撮像分光器を用い、太陽を長時間観測できる太陽同期極軌道から、太陽大気の彩層から太陽コロナに到る温度領域を隙間なく観測する。太陽大気全体に亘り、プラズマのダイナミックな現象に追従するため、観測装置は以前に飛翔のものに較べておよそ

高感度太陽紫外線分光観測衛星 Solar-C(EUVST)

1桁以上の性能（空間・時間分解能、波長範囲）向上を見込む。本計画は、「ひのとり」「ようこう」「ひので」に続く我が国4番目の太陽観測衛星であり、イプシロンSロケットで打ち上げる公募型小型衛星4号機として2020年代の半ばに飛翔する計画である。日本の太陽研究者コミュニティが第一優先で取り組む計画であり、米国・欧州からの参加を得て実現する国際プロジェクトである。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

太陽プラズマを通じて宇宙で起きる物理現象の理解にとって重要な基礎物理過程の知見を得る。地球環境・社会インフラに直接影響を与える太陽からの大規模噴出や太陽風の起源と動力学に関する知見を大きく発展させる。太陽の活動が実社会に与える影響は大きい。本計画は単に知的な好奇心に基づく価値に留まらず、高度化した社会的基盤の安全性確保にとって必要な学術的知見を得る。高精度観測技術は小型衛星の高度化にも貢献する。

10. 実施内容

本計画は日本が主導し、米国と欧州各国から参加を得て実施する。国内は、JAXA（宇宙科学研究所）と国立天文台が中核となり、衛星および観測望遠鏡EUVSTを開発する。JAXA（宇宙科学研究所）が本計画の全般を統括して推進し、国立天文台は、EUVST望遠鏡部の開発を主導、また衛星システムや海外が主導する分光器の開発にも貢献する。飛翔後の衛星科学運用は宇宙科学研究所において、国立天文台や全国の大学研究者の協力を得て実施される。データの較正や解析環境を全世界に向けて提供するサイエンスセンターを名古屋大学宇宙地球環境研究所が運営する。京都大学理学研究科附属天文台は、EUVSTと協働して行う国内外の地上観測をコーディネートし、また、観測データを解釈する上で重要となる数値計算の連携を主導する。

11. 現在までの準備状況

本計画は宇宙科学研究所の宇宙理学委員会のもとで組織された「SOLAR-Cワーキンググループ」が主体となって概念検討や開発研究を進め、2018年7月に公募型小型衛星#3/#4の候補に選ばれた。2019年度から「ミッション定義段階（Pre phase A2）」の活動を実施し、2020年1-2月に実施されたプリプロジェクト候補ダウンセレクション前審査の結果に基づき、宇宙科学研究所は2020年4月に本計画を公募型小型4号機として選定した。2022年度から衛星開発に着手すべく調整・準備を進めている。国際協力に関しては、NASAがPhase A検討結果に基づき2020年12月に本計画に参加することを決定した。また、欧州諸国の宇宙機関による参加表明や興味表明に引き続き、ESAも欧州としての参加に向けた調整を加速させている。国立天文台は、2020年からEUVSTの開発に特化した「SOLAR-Cプロジェクト」を改めて組織し、実験開発設備の提供を含め、責任機関として本計画の推進準備を進めている。

(NEWAGE/GYGNUS)

1. ガス飛跡検出器による暗黒物質の正体解明
2. 問い合わせ先：神戸大学大学院理学研究科・准教授・身内賢太郎・
miuchi@phys.sci.kobe-u.ac.jp
3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）
中型 B 選択のため、該当なし
4. 計画規模：大型・中型 A・**中型 B**（どれかひとつを選択してください）
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況
提案なし
6. 実施時期
フェーズ 1 (2021-2026) 1m³ 検出器 (NEWAGE/GYGNUS) による研究
フェーズ 2 (2026-2031) 10m³ 検出器 (CYGNUS) による研究
7. 必要経費および予算プロファイル
総経費 20 億円
フェーズ 1: 検出器製作 2 億円 運転経費 0.5 億円/年
フェーズ 2: 検出器製作 10 億円 運転経費 1 億円/年
8. 計画の概要
暗黒物質の正体解明は、現在の素粒子・宇宙物理にまたがる大きな問題である。いくつかの手法によって暗黒物質探索が進められているが、この中でも通常の物質との反応を探る「直接」探索は、我々近傍の暗黒物質を探り、その正体解明に大きく貢献すると言われている。直接探索の中でも、方向に感度を持つ手法は、暗黒物質検出の明確な信号を得られ、その性質解明にも役立つ。身内はこれまで「NEWAGE」実験を主導、当該分野をリードしてきた。数年前から、国際協力のフレームワーク「CYGNUS」の議論がすすめられている。本計画はこうした研究成果及び準備の発展として、大型ガス飛跡検出器を神岡地下に設置、方向に感度を持つ暗黒物質直接探索を行う。まずはフェーズ 1 として、NEWAGE 検出器を CYGNUS フレームワークの一環をして稼働させ、方向に感度を持つ暗黒物質探索を進める。並行して CYGNUS を国際共同実験として確立、フェーズ 2 として 10m³ 検出器を用いた観測を進める。
9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ
暗黒物質は、素粒子物理、宇宙物理などにまたがる大きな問題で、科学的な注目はもちろん、社会的にも注目されている。
本提案は、方向に感度を持つ手法で暗黒物質の直接探索実験を行い、暗黒物質の発見および性質解明を目的とする。本提案は宇宙線研究者会議 (CRC) での議論を踏まえた提案である。

10. 実施内容

本計画は神戸大学を中心として、国内・海外の研究期間と協力して推進する。

国内の研究機関との協力 地下実験（東京大学宇宙線研究所）、MPGD 開発（京都大学）、低 BG 関連の R&D（東北大学、日本大学、東京理科大）、回路開発（KEK）

海外の研究機関との協力 CYGNUS steering committee(シェフィールド大学 Gran Sasso Science Institute ハワイ大 オーストラリア国立大学)

11. 現在までの準備状況

ガス検出器を用いた方向に感度を持つ暗黒物質直接探索実験は、2004 年に身内が提案論文を発表して以来[1]、NEWAGE 実験として、国内グループで当該分野をリードしてきた[2]。2007 年より、国際会議 CYGNUS が隔年で開催され、国際協力の議論が行われてきた。身内は CYGNUS の国際協力準備グループの 5 名の steering committee メンバーとして、観測器を世界に数ヶ所設置して観測するという”multi-site observatory”を提案するなど、議論をリードしてきた[3,4]。2020 年には、CYGNUS としての感度見積もり論文を公表、図 1 に示す様に 10m³から順次大型化してゆくという方針を示した。これまで、NEWAGE として制限を更新してくるとともに、国内のグループと協力して、低バックグラウンド検出器の開発、回路開発、TPC 要素技術の開発など、CYGNUS を牽引してゆく準備が整っている。

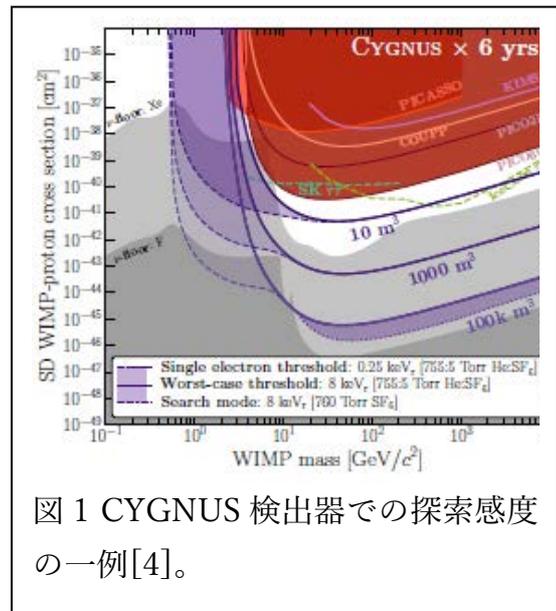


図 1 CYGNUS 検出器での探索感度の一例[4]。

[1] Physics Letters B 578 (2004) 241

[2] PTEP (2020) ptaa147

[3] K.Miuchi et.al. “CYGNUS” 2020 J. Phys.: Conf. Ser. 1468 012044

[4] S.Varsen et.al. arXiv 2008.12587

カムランド 2

1. 計画タイトル 極低放射能環境でのニュートリノ研究
2. 問い合わせ先 井上邦雄、東北大学 RCNS、inoue@awa.tohoku.ac.jp
3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）
東北大学ニュートリノ科学研究センター長
4. 計画規模 **大型** 中型 A・中型 B
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況 いずれにも採択
6. 実施時期 -2024 : 準備期間、2025-2026: 建設期間、2027-2036...: 観測
7. 必要経費および予算プロファイル
 - 準備期間(-2024年)23億円(濃縮キセノン 200kg 4億円、高量子効率 PMT 5億円、高性能電子回路 3億円、クリーンルーム整備 3億円、純空気製造装置 1億円、純化装置高度化 5億円、集光ミラー 1億円、バルーン 1億円)
 - 建設期間(2025-26年)17億円(工事 1億円、高量子効率 PMT 5億円、高光収率液体シンチレータ 11億円)
 - 観測期間(2027-2036)人件費、運転経費等 3.8億円(内自己資金 3億円、国外 0.3億円)×10年
 - 建設費合計 40億円(内国外 4億円)、運転経費 3.8億円(内国外 0.3億円)×10年
8. 計画の概要

カムランド実験は、MeV 領域でのニュートリノ観測や稀な現象の研究で世界屈指の性能を誇り、現在はニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊 ($0\nu 2\beta$) の探索や自身が開拓したニュートリノ地球科学で分野の中核として世界をリードしている。しかし 20 年に及ぶ運転で光センサーの劣化が顕著となり、これらの分野を継続的に発展させるには装置の改修が不可欠である。そこで、カムランドのエネルギー分解能を大幅に高める刷新をすることで、 $0\nu 2\beta$ 探索においてニュートリノ質量の逆階層構造をカバーする 20meV まで感度を高め、複数の理論予測も検証する。さらに、地球ニュートリノ観測における U・Th 系列分離能を高め、原子炉ニュートリノが少ない特別な状況や大陸プレートの端に位置する地理的特徴を生かした地球ニュートリノ観測で、地球の形成・ダイナミクスを理解を深めるニュートリノ地球科学を強力に推進する。汎用性を意識した高性能化や、極低放射能環境の拡充・共同利用化で、地下宇宙素粒子研究分野の発展に広く寄与する。
9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

ニュートリノ質量の発見により、ニュートリノのマヨラナ性の検証が重要課題となっている。現在唯一現実的な検証方法が $0\nu 2\beta$ の探索であり、 $0\nu 2\beta$ の発見は「宇宙物質優勢の謎」、「軽いニュートリノ質量の謎」の解明につながると考えられている。多数の $0\nu 2\beta$ 探索実験の中、極低放射能を実現したニュートリノ観測装置カムランドを活用したカムランド禅実験は、常に世界をリードし着実に探索感度を高めてきており、極低放射能環境での宇宙素粒子研究の中核として機能している。本高感度化は複数の理論モデルをカバーし、逆階層領域を初めてカバーすることで本質的な研究の進

カムランド 2

展をもたらす。

また、カムランドは「ニュートリノ地球科学」の開拓に加え分野の中心として唯一稼働を続けており、最も確実かつ着実な観測として継続的な発展が期待されている。地球ニュートリノ観測時にバックグラウンドとなる原子炉ニュートリノは、国内の原子炉の大半が停止していることで小さく抑えられており、地球ニュートリノ観測精度はモデル精度を凌駕するレベルに達している。また、海外の原子炉ニュートリノを観測する超長基線ニュートリノ振動研究も可能である。本計画での高エネルギー分解能化では、地球内部の組成比などのさらに踏み込んだ研究展開が可能になる。

さらに天体のマルチメッセンジャー観測の重要性の観点では、ICECUBE やハイパーカミオカンデの観測を補う低エネルギーのニュートリノ観測を得意としており、近傍超新星前兆ニュートリノ観測を可能にするなど、ニュートリノにおける多波長観測体制としても継続的な運転は不可欠である。

また、2027年のハイパーカミオカンデ稼働後は、より深く低放射能環境である現行神岡地下空間の中核大型実験をカムランドが引き継ぐこととなり、そのアクティビティの継続は、その他の萌芽的研究や小型実験の活動環境保持にも直結する。コンソーシアム構築などによって地下宇宙素粒子研究分野を幅広く発展させることができる。

10. 実施内容

高量子効率PMT、集光ミラー、高光収率液体シンチレータ、高性能電子回路を導入し、約5倍の光収集量による高エネルギー分解能・高バックグラウンド識別能力を獲得する（カムランド2）。これにより、 $0\nu 2\beta$ 探索のみならず特徴的なエネルギースペクトルを持った地球ニュートリノの観測精度も大幅に向上させる。また、スーパークリーン環境整備、上部導入口の拡大、吊り下げ機構設置、外水槽の機器設置スペース構築などの汎用化によって、多様な極低放射能宇宙素粒子研究に対応し、コミュニティ全体の発展に貢献する。

本計画は東北大学ニュートリノ科学研究センターが中核機関となり、日米を中心とした国際協働で推進する。これまでも、新学術領域「地下素核」「地下宇宙」、大阪大学核物理研究センターとの連携協定、東京大学宇宙線研究所との連携協定などを通して、カムランド付帯の地下空間やカムランド自身を共同利用に活用してきており、共同利用での十分な活動実績を有する。

11. 現在までの準備状況

カムランドは2002年以降観測を継続しており、国際共同研究体制は整い、地下空間や筐体、蒸留装置や純水装置などの流用できる設備が既に整っている。高エネルギー分解能化のための技術開発は完了しており、一部先取りして、新型の高性能電子回路のプロトタイプを製作し性能テストも進めている。また、共同利用を想定した地下クリーンルーム構築のための地下空間の整備も開始した。CRCでの「最優先で推進すべき計画」として認められているほか、マスタープラン2014, 2017, 2020にも継続的に採択されており、予算が確保できしだい本格的に計画を進めることができる。

1. 計画タイトル
Sub-MeV/MeV gamma-ray Imaging Loaded-on-balloon Experiments 3
2. 問い合わせ先
高田 淳史 (京都大学) takada@cr.scphys.kyoto-u.ac.jp
3. 想定される提案者
京都大学大学院 理学研究科
4. 計画規模： 中型 B
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況
提案していない
6. 実施時期
FY2021 準備開始予定 (フライトモデル開発・環境試験)
FY2024 観測開始予定 (数年に一度の頻度で気球実験での観測を実施)
7. 必要経費および予算プロファイル
準備～1 回目フライト 300 百万円
2 回目以降のフライト 数億円/フライト
8. 計画の概要
有効面積 10～20 cm²・空間分解能 約 5～10 度の電子飛跡型コンプトン望遠鏡 (electron-tracking Compton camera: ETCC)を米国 NASA が提供する長時間気球に搭載する実験を複数回実施し、0.2～10 MeV の帯域において天空を広く深く探査、系内・系外拡散ガンマ線や電子陽電子対消滅線・²⁶Al の詳細なスペクトルや空間分布を得て、系内・系外拡散ガンマ線の起源を特定し、暗黒物質の存在や銀河系内における元素合成・循環について明らかにすると共に未発見天体の探索も行い、20 年以上停滞している MeV ガンマ線天文学の大きな進展を図る。
9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ
0.1～100 MeV にかけての MeV ガンマ線領域は、超新星爆発や中性子星合体に伴う元素合成・ガンマ線バーストや活動銀河核における粒子加速・宇宙線加速現場の探索・暗黒物質の間接探査等、多様な宇宙物理現象の解明へのプローブとして期待されている。特に放射性同位体の核ガンマ線や励起原子核からの脱励起線といった寿命を持つライン放射は他波長には無いユニークな情報であり、マルチメッセンジャー天文学の重要性が増している現在、特徴的な役割を担うことが期待されている。一方で、天文学に必須なイメージング分光の困難さから 2000 年に観測を終えた COMPTEL 以降 MeV ガンマ線観測は停滞しており、低雑音・高空間分解能な観測が早急に求められている。本研究は、MeV ガンマ線の観測困難さを原理的に解決した ETCC による広域観測であり、天文・物理の両面から大きく期待されている計画である。

10. 実施内容

[総括・飛跡検出器]高田, 谷森 (京都大学); [シンチレータ] 黒澤 (東北大学); [データ収集系]中森 (山形大学), 櫛田 (東海大学), [アンタイカウンタ]澤野 (金沢大学); [熱・電源設計]水村 (ISAS/JAXA); [データ通信]濱口, Hunter (GSFC/NASA); [理論研究]郡 (KEK)

11. 現在までの準備状況

ETCC はコンプトン散乱を利用して入射ガンマ線の運動量を得る検出器であり、散乱で生じた反跳電子の飛跡とエネルギーを測定するガス飛跡検出器と、散乱ガンマ線を捉える位置感度型シンチレーション検出器から構成される。従来の観測器では測定不能であった低エネルギー電子の詳細な飛跡が得られることで、光子毎の到来方向を一意かつ高精度に得られるだけでなく、反跳粒子のエネルギー損失率やコンプトン散乱運動学テストという雑音事象を強力に排除する能力を持つ。この為、低雑音・高空間分解能の観測が実現される。京都大学では 2002 年から ETCC の開発を進めており、原理実証機での MeV ガンマ線イメージング分光の検証だけでなく、陽子線ビームによる強い放射場中でのガンマ線観測や放射光を用いた偏光測定も実施、ETCC の持つ測定能力は検証済である (Tanimori+17, Komura+17)。

ETCC での天体観測実証実験としては、2006 年 (SMILE-I) 及び 2018 年 (SMILE-2+) に気球実験を実施している。SMILE-2+ では高度 38 km 以上での約 1 日の観測から、銀河中心領域を有意度 10σ 、かに星雲を 4σ で検出し、他観測と矛盾しないスペクトルを得た。特に銀河中心領域は、その仰角の時間変化に合わせて光度曲線が増減しており、ETCC のもたらす雑音除去能力の高さを示している。また従来型の MeV ガンマ線観測器は雑音の見積もりが困難である為、地上較正実験から予測される検出感度を宇宙環境下で実現できた例は存在しないが、SMILE-2+ が実現した検出感度は MeV ガンマ線背景放射と大気ガンマ線の 2 つのみが雑音であった場合の予想感度とほぼ一致し、ガンマ線以外の雑音をおおよそ完全に除去できた事が示された。即ち、ETCC は MeV ガンマ線領域の検出感度を設計できる、初めての望遠鏡と言える (Tanimori+20)。

本計画の ETCC では、SMILE-2+ の ETCC から有効面積の拡大・空間/エネルギー分解能の向上を行う。この目的の為、飛跡検出器の電極構造の改良・ガスの最適化・光読み出し回路の改良を既に進めており、フライトモデル開発へ向けた準備ができている状態にある。また、米国 NASA とも 2020 年度から長時間気球実験について協議を開始し、打ち上げに向けた準備を始めている。

・ T. Tanimori+, Scientific Reports, 7 (2017), 41511

・ S. Komura+, Astrophysical Journal, 839 (2017), 41

・ T.Tanimori+, Journal of Physics: Conference Series 1468 (2020), 12046

JASMINE

1. 計画タイトル：小型 JASMINE（赤外線位置天文観測衛星）
2. 問い合わせ先 名前：郷田直輝、所属：国立天文台 JASMINE プロジェクト、e-mail: naoteru.gouda@nao.ac.jp
3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）：未定
4. 計画規模：大型
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況
マスタープラン 2020 での学術大型研究計画（区分 I）に採択
6. 実施時期
(2021 年 4 月時点の予定) 2021 年度～2027 年度：設計、開発 2028 年：打ち上げ、2028 年度～2031 年度：科学運用、2028 年度～2033 年度：データ解析、2033 年度：最終カタログ公開
7. 必要経費および予算プロファイル
JAXA 宇宙科学研究所（以降、宇宙研）の基盤経費等による開発準備費用（1 億円以上）、宇宙研のプロジェクト経費による、開発・打上げ・運用の費用（150 億円程度）。
8. 計画の概要
JASMINE の大目的は、位置天文観測であり、恒星の天球面上での動きを正確に測定することで、年周視差や固有運動（位置天文パラメータ）等の恒星の基本情報を提供することにある。精度の高い測定を行うために、大気揺らぎの影響を受けない宇宙望遠鏡を用いる。また、様々な年代の天体が密集している銀河系中心核バルジを探索するために、塵やガスによる吸収の影響を受けにくい近赤外線での観測を行う。特に観測装置の安定性とデータ解析の工夫により超高精度を達成する。JASMINE は 3 年間の軌道上運用によって銀河系中心方向の 10 万個におよぶ恒星を観測し、最高精度 25 マイクロ秒角の位置天文パラメータを決定する。観測データは、カタログとして、研究者コミュニティに恒久的に公開する。これによって、天の川銀河が誕生以降、どのような変化を遂げて現在の姿に至ったか、その中で太陽系がどのような経路を辿ってきたか、という人類誕生にも関わる謎を紐解く手がかりが得られる。さらに、中心核バルジのサーベイに加えて太陽より小さい恒星（晩期 M 型星）周りの地球型惑星探索等も行う。
9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ
銀河系中心核バルジは、銀河系バルジやバー構造と銀河系中心との物理的関係をつなぐ重要な領域であり、様々な年齢をもつ星が、年代に応じて異なった空間構造と系統的な運動分布をして今も存在している。JASMINE は、力学的構造の探求を基に中心核バルジの起源と進化の解明、つまり「銀河中心考古学」の遂行を目指す。ESA の可視光位置天文観測衛星

Gaiaによって銀河系の複雑な力学構造が明らかとなってきたが、可視光では塵やガスに覆われた銀河中心領域は観測できず、銀河系中心核ディスクの形成時期、銀河系誕生時の面影を残しているかもしれない銀河系中心領域の恒星系の力学構造、中心巨大ブラックホールの成長に関わる内部バーの存在の是非等は未解明のままである。そこで、近赤外線観測を行うJASMINEによって、世界で初めて中心核バルジの恒星の高精度な距離と運動情報を得る。中心核バルジの解明は、バーやバルジの形成進化の解明にも必須である。例えば、太陽系が誕生した場所や銀河系内での現在の位置まで移動する軌跡の解明にとってバー構造の形成時期は重要な物理情報となるが、それは、JASMINEで解明が期待される中心核ディスクの形成時期によって明らかに出来る。さらにJASMINEの高い測光能力と連続観測を活用して、晩期M型星周りのハビタブルゾーンにある地球型惑星をトランジット観測によって検出する。NASAの系外惑星探索衛星TESSよりJASMINEの方が20倍程度も集光力が高く、地球型惑星の検出に対しては有利であり、国内初の衛星を用いた系外惑星探査という意義も持つ。

10. 実施内容

現時点では、宇宙研内にプリプロジェクト候補チームが形成され、装置の検討・開発、サイエンス検討、データ解析準備は、国立天文台JASMINEプロジェクトをはじめ主に国内の研究機関の協力で行われている。特に、JASMINEコンソーシアムが研究者有志（若手を中心として国内の複数機関から50名程度）により組織され、目標精度達成のためのシミュレーターを用いたデータ解析開発、模擬カタログ等を使ってのサイエンス準備等が進められている。また、JAXAと国立天文台との協力により国産検出器の宇宙用化を進め、JASMINEに搭載予定である。国際協力としては、Gaiaメンバーでもあるハイデルベルグ大学とのデータ解析開発に関する協力や、分光観測によって銀河系中心付近の視線速度等を測定する米国のAPOGEE-2（MOUを締結済み）等の地上プロジェクトとの連携も進めている。さらにESA地上局によるサイエンスデータ受信のための協力準備も進められている。

11. 現在までの準備状況

ISASでは、国際審査を含むいくつもの審査を経て、2019年5月に公募型小型計画3号機の唯一の候補として選定されている。現在はミッション定義段階であり、プリプロジェクトへの移行を目指して概念検討を進めている。国立天文台では、2019年8月に台外委員も含む「小型JASMINEワーキンググループ」が科学戦略委員会のもとに公式に組織され、計画の立ち上げに係る広範な事項が評価され、2020年6月にはプリプロジェクト化へ向けて推進することを国立天文台として後押しできるとの結論を頂けた。天文コミュニティとして光学赤外線天文連絡会からは、JASMINEは支援を続けるに相応しいミッションとの評価を以前より頂いている。

50 トン級液体キセノン宇宙暗黒物質直接探索計画

1. 計画タイトル

「50 トン級液体キセノン宇宙暗黒物質直接探索計画」

2. 問い合わせ先（名前、所属、e-mail など）

山下雅樹, 東京大学 Kavli IPMU, masaki.yamashita@ipmu.jp

3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）項目 中型 B

4. 計画規模：大型・中型 A・中型 B（どれかひとつを選択してください） 中型 B

5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況 提案しておりません。

6. 実施時期

- 2020 - 2024: R&D, Conceptual Design Report (CDR, 2022 年), Technical Design Report (TDR, 2024 年)
- 2024 - 2025: 建設
- 2025 - 2026: コミッショニング
- 2027 - 2032 観測 (200 ton-year の exposure が目標)

7. 必要経費および予算プロファイル

日本グループは光センサー開発及び調達、キセノン純化装置、中性子半同時検出器の貢献を担う。総予算 200 億円、日本分担 15 億円。

準備期

- 実機で使用するキセノンガス調達(3 トン ~ 8.5 億円)
- 極低放射能光検出器調達(5 億円)
- 開発 (光センサー、密閉型液体キセノン検出器) (0.5 億円)

建設期

- キセノン純化装置、中性子反同時検出器 (0.4 億円)

運用期

- 運転費用、旅費、コモン・ファンド、PD 人件費、年額 1000 万円 (5 年、合計 0.5 億円)

8. 計画の概要

「宇宙は何で出来ているのか？」宇宙背景輻射の観測によれば宇宙のエネルギー・質量は 95%が未知のエネルギー・物質で満たされることが判明している。物質に限って言えば 80%以上の物質は我々にとって未知であり、暗黒物質と呼ばれる。ヒッグス粒子の発見により、標準理論で体系化された素粒子は全て揃ったが、暗黒物質はその性質からどの粒子にも当てはま

50 トン級液体キセノン宇宙暗黒物質直接探索計画

らない。これは、標準理論を超えた新しい素粒子の存在を示唆していると考えられる。DARWIN 実験は極低バックグラウンド地下実験室における暗黒物質の直接探索を目的としている。その感度は究極的なバックグラウンドとも言えるニュートリノにより制限される領域に到達する。検出器標的として有効質量 40 トンのキセノンを使用し、検出器は気体と液体からなる二相型キセノン Time Projection Chamber を用いる。今までにない大型キセノンの検出器、極低バックグラウンド、低いエネルギー閾値 (~keV) を備えるこの検出器は、暗黒物質探索だけでなく、多様な物理探索が可能であり、超新星や太陽ニュートリノ、ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊、アクシオン、原子核稀崩壊の探索などが展開される。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

暗黒物質の解明は、長年人類が抱いてきた疑問「どうして現在の宇宙の姿があり、我々はどのように生まれたのか？」を解く鍵を握り、宇宙の解明に大きく貢献するものである。暗黒物質は宇宙の歴史の中で星誕生や銀河の大規模構造を形成する際になくってはならないものだと考えられ、従って、暗黒物質無しには我々は存在できないことになる。また、暗黒物質は宇宙物理学だけでなく素粒子物理学とも密接に関係しており、その正体とその背後に潜む理論の解明はまさに 21 世紀の大きなチャレンジの一つである。直接探索により暗黒物質が検出され、その正体が解明できれば、新しい素粒子モデルが展開され、暗黒物質による天文学の創生が期待される。

10. 実施内容（実施機関・体制（国際協力等を含む）、共同利用体制）

神戸大学、東京大学、名古屋大学、横浜国立大学、他 DARWIN Collaboration (13 ヶ国、33 機関)

11. 現在までの準備状況

申請者らは既に世界最大約 3.2(8.6)トンの液体キセノンを用いた XENON1T(nT) 実験に参加し、世界最高感度での暗黒物質探索を進めている。特に XENON1T 実験では、低エネルギー電子反跳事象の観測データにバックグラウンドでは説明できない超過があることを発見し、さらなる感度でこの検証を行うため、より大型化・低バックグラウンド化した XENONnT 検出器コミッショニングを行なっている。日本グループは、特にキセノン純化システムや中性子反同時検出器(EGADS, SK-Gd 実験により培われた水チェレンコフ検出器技術を応用)の開発に貢献している。DARWIN 実験では、この XENON1T, XENONnT での成果をもとに進められる。DARWIN 実験の目標感度の達成には、検出器自身からの放射性ラドンへの侵入や中性子バックグラウンドのさらなる低減が不可欠であり、申請者らは石英を用いた密閉型検出器や、新たな極低放射能光検出器(光電子増倍管、シリコン半導体光検出器)の開発を進めている。

ATT10

1. 計画タイトル

「南極 10m テラヘルツ望遠鏡 (ATT10)」計画

2. 問い合わせ先

久野成夫 (筑波大学数理物質系：宇宙史センター南極天文部門)
kuno.nario.gt@u.tsukuba.ac.jp

中井直正 (関西学院大学理学部) nakai@kwansei.ac.jp

3. 想定される提案者 (計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等)

筑波大学学長 永田恭介

4. 計画規模：中型 A

5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況

マスタープラン 2017 採択

マスタープラン 2020 不採択

6. 実施時期

2025 年 設計開始

2028 年 建設開始

2032 年 南極での観測開始

2052 年 終了

7. 必要経費および予算プロファイル

建設期 26.6 億円/7 年

運用期 0.4 億円/年 (+ 基地運営費： 1.2 億円/年)

8. 計画の概要

南極内陸部は標高が 3000m~4000m で気温が $-20\sim-80^{\circ}\text{C}$ の極寒の地であるため、大気中の水蒸気が極めて少なく且つ安定している。そのためサブミリ波~赤外線の大気透過率が非常に高く、地上から宇宙への最後の窓が開いている。また晴天率は 9 割で可視光のシーイングは 0.2" に達し、風も弱い地上で圧倒的に優れた天文観測環境にある。この南極内陸部に建設される国立極地研究所の新ドームふじ基地に超広視野 ($> 1^{\circ}$) の 10m テラヘルツ望遠鏡を設置してサブミリ波~テラヘルツ波による天文観測を行う。観測装置としては、多周波同時連続波観測 (400GHz、850GHz、1.3THz) 用の超広視野カメラ (MKID) を搭載し、南天の広域掃天観測を行い、現代天文学の大きな未解明問題である宇宙初期における銀河と AGN (巨大ブラックホール) の形成・進化史を明らかにする。また、200GHz~2THz 分光観測用ヘテロダイン受信機も搭載し、未開拓であるテラヘルツ帯での輝線観測も行う。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

テラヘルツ帯は、地上から観測できる波長帯で唯一未開拓の領域であり、それが観測可能となる南極天文は大きな可能性を秘めている。南極 10m テ

ラヘルツ望遠鏡を用いたサブミリ〜テラヘルツの観測では、宇宙初期の光赤外領域では見えないサブミリ波銀河（爆発的星形成銀河 SBG）と活動銀河中心核 AGN を同時に観測し、低温の SBG と高温の AGN を分離識別して銀河と巨大ブラックホールの形成と共進化を解明することができると期待される。南極 10m テラヘルツ望遠鏡によって大きな成果が得られれば、その経験を活かし、将来的には口径 30m 級テラヘルツ望遠鏡の建設への発展も可能になる。30m 級望遠鏡が実現されれば、宇宙最初の銀河形成を含む究極的な銀河・AGN の形成進化の解明や超広域磁場観測による星惑星系形成等の解明が可能となると期待される。

南極の条件の良さは、米国や中国を中心に外国からも注目されており、ミリ波から可視光の単一鏡および干渉計の検討が行われている。世界的には「国際南極天文台」の設立も議論され始めている。しかし、標高 3000m 以上で条件の良い南極内陸部では、まだ 10m クラスの電波望遠鏡は実現されていない。10m テラヘルツ望遠鏡を実現することで、新ドームふじ基地を南極天文の国際拠点へと発展させ、天文学に革命をもたらさう南極天文を、日本が主導していくことができる。また国立極地研究所の「南極地域観測将来構想」（2019）では、新ドームふじでの天文観測が強く期待されている。

10. 実施内容（実施機関・体制（国際協力等を含む）、共同利用体制）

筑波大学(概算要求主体)、関西学院大学、北海道大学、国立天文台、電気通信大学、埼玉大学、公立小松大学、福島高専、JAXA、情報通信研究機構、新潟工科大学、ほか南極天文コンソーシアム、国立極地研究所。共同利用にも供する。

11. 現在までの準備状況

- ・2004 年より極地研究所との協力を開始し、2009 年にはメンバーがドームふじ基地へ行き、大気透過率の測定を行い南極の条件の良さを実際に確認した (Ishii et al. 2010)。
- ・2005 年に筑波大学を中心に計画の母体となる南極天文コンソーシアムを結成し、低温対策や雪上輸送の振動対策などの技術検討を開始した。
- ・2006 年から 30cm サブミリ波望遠鏡の開発を開始し (Ishii et al. 2014)、2010 年にはパリナコッタ (チリ) で観測を行い、科学的成果をあげた (Ishii et al. 2016)。現在、極地研の南極計画 X 期 (2022 年—2027 年) 一般研究観測に応募の準備を進めている。採択されれば、2024 年に 30cm 望遠鏡を新ドームふじ基地へ設置する。
- ・テラヘルツ帯でのサイエンスの検討を行うため、2015 年から国立天文台研究集会または国立極地研究所研究集会として毎年研究会を開催してきた。
- ・10m テラヘルツ望遠鏡の予算に関しては、2015 年度より筑波大学から概算要求を続けている。2020 年より寄付集め (目標 20 億円) も行っている。

FORCE

1. 計画タイトル

広帯域X線高感度撮像分光衛星 FORCE (Focusing On Relativistic universe and Cosmic Evolution)

2. 問い合わせ先（名前、所属、e-mail など）

森浩二・宮崎大学工学部・mori@astro.miyazaki-u.ac.jp

3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）

宮崎大学工学部

4. 計画規模：大型・中型 A・中型 B（どれかひとつを選択してください）

大型

5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況

2017, 2020 とも採択

6. 実施時期

2022: 衛星提案

2025: フライトモデル製造・評価

2023: 概念設計/予備設計段階

2030: 打上げ・観測開始

2024: 基本設計段階

2033: 提案時運用終了

7. 必要経費および予算プロファイル

準備期 2 億円（日本分担 1 億円）

建設期 230 億円（日本分担 171 億円）

運用期 18 億円（日本分担 8 億円）

総予算 250 億円（日本分担 180 億円）

8. 計画の概要

FORCE は、「未知のブラックホール探査を通じた天体形成史の解明」、および、「宇宙に存在する高エネルギー宇宙線の起源と総量の解明」を目的とした科学衛星計画である。ブラックホールや高エネルギー宇宙線からの非熱的 X 線放射を高感度で捉えるために、1-80 keV という広帯域の X 線を 10 秒角にせまる角度分解能で撮像分光する。高角度分解能を有し広帯域の X 線を集光するスーパーミラーと、軟 X 線から硬 X 線を 1 台でカバーする広帯域 X 線撮像検出器を搭載し、特に 10 keV 以上の硬 X 線においては、既存の X 線天文衛星より 5-10 倍よい角度分解能と 1 桁よい感度を達成する。「見えているものをよりよく見る」のではなく、「見えていなかったも

FORCE

のを見る」ことを志向した計画である。電波からガンマ線、さらにニュートリノや重力波も含むマルチメッセンジャー天文学の時代において、広帯域X線天文衛星は2030年代には世界で実現の目途がない。FORCEは次世代における世界で唯一の広帯域X線天文台としての役割を果たし、マルチメッセンジャー天文学の一翼を担う。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

学術的意義：存在が予言されながらも既存の観測にかかっていない「ミッシングブラックホール」は様々な質量の階層に数多く存在していると考えられ、その発見によりX線でしか辿ることのできない天体の形成史が明らかになる。また、高エネルギー宇宙線の起源と総量を解明することで、宇宙における非熱的エネルギーが果たす役割の理解に繋がる。

当該分野での位置付け：10 keV以上の硬X線で既存の衛星に比べて1桁以上よい感度を達成し、2030年代で硬X線を撮像分光可能な唯一の衛星計画である。同時期に欧州で計画されている10keV以下を観測対象とする軟X線分光衛星や同じ科学目的を有する他波長計画と相補的な関係にある。

10. 実施内容（実施機関・体制（国際協力等を含む）、共同利用体制）

衛星・検出器開発の主体はX線天文衛星「ひとみ」の開発に携わった日本の大学・研究機関からなり、スーパーミラーの開発については米国のNASA/GSFCとの国際協力で進める。

11. 現在までの準備状況

これまでに大型科研費や宇宙科学研究所の戦略的開発研究費を取得し、衛星システム検討およびサブシステムの開発を進めてきた。システム検討については、小型衛星におおむね収まる目処が得られているが、高角度分解能実現にむけてさらなる検討および課題抽出が必要である。広帯域X線検出器については、ひとみ衛星搭載よりもさらに高精度のCdTeイメージャに加えて、日本独自のSOI-CMOSシリコンピクセル素子を開発しており、科学目的から導かれた要求値を満たす目処を得ている。望遠鏡の開発は米国のNASA/GSFCと共同で進めており、日本で硬X線での角度分解能の実証を進めている。また、FORCEが目指すサイエンスに関する研究会を毎年開催し、理論家や他波長の観測家と協議を進め、科学目的を常に精査している。

IceCube-Gen2 国際ニュートリノ天文台

1. 計画タイトル IceCube-Gen2 国際ニュートリノ天文台
2. 問い合わせ先 吉田滋 千葉大学ハドロン宇宙国際研究センター
syoshida@hepburn.s.chiba-u.ac.jp
3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）
千葉大学学長
4. 計画規模：大型・中型 A・中型 B
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況
2017 年は未提出。2020 は採択
6. 実施時期
2023 より検出器製作開始 2026/27 南極シーズンより建設開始 2032 年建設完了
7. 必要経費および予算プロファイル
準備期 (2023-2025) (100 億円 日本 10 億円) 主として検出器製作設備の増強と人件費
建設期 (2025-2032) (250 億円 日本 35 億円) 主として検出器製作費用・南極埋設費用・データセンターの構築
運用期 (2028-) (10 億円/年 x 10 年 日本 2 億円/年 x 10 年) 主としてデータセンター運営・人件費・保守費
8. 計画の概要
ニュートリノ放射天体を同定し、宇宙物理学上最大の謎の一つである高エネルギー宇宙線の起源を明らかにするために、IceCube 実験を約 10 倍に拡張する IceCube-Gen2 観測所を建設する。TeV 以上の高エネルギー宇宙ニュートリノを年間 200 事象以上検出し、ニュートリノ放射点源の同定、ガンマ線バーストや AGN のフレアとの同時事象検出による宇宙線放射機構の研究、EeV(1000PeV)領域のニュートリノ束探索による超高エネルギー宇宙線起源の研究を行う。また素粒子としてのニュートリノの特性を生かして、フレーバー比の解析による超長基線ニュートリノ振動の研究や、TeV-PeV 領域におけるニュートリノ・核子相互作用の研究、モノポールなど素粒子大統一理論由来の生成物の探索を進める。高エネルギーニュートリノ天文学を高統計データに基づいた観測的科学へと昇華させることにより、天文学研究に全く新しいインプットを提供し、高エネルギー極限宇宙の探査から非加速器素粒子物理まで多様かつ重要な科学を総合的に展開するのが本計画のアジェンダである。
9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ
現行 IceCube 実験により宇宙線起源天体由来のニュートリノが実際に存在することが確証され、その存在量から宇宙線起源天体クラスについての一

IceCube-Gen2 国際ニュートリノ天文台

定の洞察まで可能となった現在、ニュートリノ観測は天文学の新しい窓として確立した。2018年7月にサイエンス誌に掲載された2編の論文では、ニュートリノと γ 線、可視光観測によってついにブレーザー天体 TXS 0506+056 を高エネルギー宇宙線放射天体として同定した成果を公表している。高エネルギー宇宙ニュートリノ観測が、既存の天文観測と組み合わせることで、高エネルギー宇宙の理解にブレークスルーをもたらすことを実証したものであり、まさにマルチメッセンジャー天文学の幕開けであった。IceCube-Gen2 観測所は、その窓を通じて高統計で高エネルギー極限宇宙の非熱的物理現象を解明し高エネルギー宇宙線起源を同定する確実な観測データを提供する。ニュートリノ観測は、可視光・X線・ガンマ線・重力波観測と連動して行い、それぞれの波長・メッセンジャー観測による天文学研究にとってユニークなプローブとなる。

10. 実施内容（実施機関・体制（国際協力等を含む）、共同利用体制）

IceCube-Gen2 collaboration は、日本、アメリカ、カナダ、ドイツ、イギリス、スウェーデン、ベルギー、デンマーク、スイス、韓国、オーストラリア、ニュージーランドから約50の研究機関が参加する国際共同機関である。日本からは千葉大学ハドロン宇宙国際研究センター（ICEHAP）が参加する。プロジェクトオフィスはウイスコンシン大学マディソン校に置かれる。観測データは公開され、観測データ・解析ツールの提供、チュートリアル開催などは、共同利用の枠組みとして日本国内ではICEHAPが実施し、共同利用研究拠点として現在文科省に申請中である。

11. 現在までの準備状況

フェーズ1（IceCube 実験アップグレード）は科研費で実施中。日本グループは科研費特別推進研究が採択され、2022年初頭に新型検出器300台を南極に埋設。このフェーズ1は新型検出器を現行IceCube検出器アレイの中心部に密に埋設することにより、1)マルチメッセンジャー天文観測に提供できるニュートリノアラート数の倍増、2)過去に検出したニュートリノデータをより高精度で再解析するための系統誤差の削減、3)タウニュートリノ出現解析による3flavorニュートリノ振動モデルの確立、の3点を物理目標に掲げている。IceCube-Gen2は、IceCube本体を8倍に拡張する超大型計画として、フェーズ1の建設終了後にただちに建設を開始する。全120 stringsの計画であるが、フェーズ1の建設とスムーズに接続させるため、25 strings分を先行して米国NSF-MSRIの枠組みで予算化して実施する。日本グループの概算要求はこの予算スケジュールと連動する。IceCube-Gen2のWhite Paperは2020年に公開されている。先行建設分のNSF Reviewは2021年9月に予定されている。

CTA 国際宇宙ガンマ線天文台

1. 計画タイトル: CTA 国際宇宙ガンマ線天文台
2. 問い合わせ先: 手嶋政廣、東京大学宇宙線研究所 mteshima@icrr.u-tokyo.ac.jp
3. 想定される提案者: 東京大学・宇宙線研究所・梶田隆章
4. 計画規模: 大型
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況: 2017, 2020 に採択される
6. 実施時期

2016 年より 4 基の大口径チェレンコフ望遠鏡を CTA 北サイト（スペイン・ラパルマ）に建設中。2023 年に 4 基の大口径望遠鏡アレイを完成し、南半球の大口径望遠鏡建設を予算化し、全天観測を現実のものとしたい。

北半球建設:	2016-2023,	32 億円 (措置済)
南半球建設:	2024-2027,	34 億円
観測運用 (北半球):	2018-2043,	50 億円 (一部措置)
観測運用 (南半球):	2024-2043,	40 億円

7. 必要経費および予算プロフィール

CTA 国際宇宙ガンマ線天文台の総建設費 320MEuro、運営経費 24MEuro/年であり、20 年の運営を予定している。日本は建設費 66 億円、運営費 4 億円/年を予定している。

8. 計画の概要

CTA は北半球と南半球に設置される 2 ステーションから構成され全天観測を可能とする国際宇宙ガンマ線天文台である。宇宙観測における最高エネルギー光子である TeV ガンマ線を観測し、極限宇宙の姿を明らかにする。北サイトは 1 km² に展開された 19 基の望遠鏡群、南は 4 km² に展開された 99 基の望遠鏡群から構成される。アレイの中央部には大口径 23m チェレンコフ望遠鏡(LST) 4 基を配置し、その周囲に中口径 12m 望遠鏡(MST)、小口径 4m 望遠鏡(SST)が配置され、高エネルギー宇宙ガンマ線を高精度で観測する。2016 年より日本主導で北半球サイトに大口径望遠鏡 4 機の建設を開始している。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

宇宙では驚くべき高エネルギー現象がさまざまな場所で起きている。CTA は感度向上、広いエネルギー領域の観測により、宇宙で起こる非熱的物理現象、粒子加速機構の研究を行う。CTA は高エネルギーガンマ線による観測を赤方偏移 $z=4$ まで延ばし、ガンマ線観測を宇宙論的なスケールに拡大し、活動銀河中心にある超巨大ブラックホールの進化、そして宇宙の構造形成史を明らかにする。宇宙論・基礎物理の探究として宇宙を満たす暗

黒物質を今までにない高感度、高精度で探索する（発見を目指す）。

日本グループは、多くの新発見をもたらすと考えられるアレイ中央に設置する大口径望遠鏡のデザイン、開発、建設に責任を持ち、強いリーダーシップでプロジェクトを推進している。これら大口径望遠鏡は、観測可能エネルギーを 20GeV まで下げ、観測領域を $z=4$ まで広げ、かつ高い感度でガンマ線強度の時間変動を測定することができる。重力波、高エネルギーニュートリノとのマルチメッセンジャー天文学、また、ガンマ線バースト、超新星爆発、活動銀河核フレアーなどの突発天体现象に関して重要な科学成果をもたらす。

10. 実施内容

上で述べたように、CTA Consortium が実施機関・運用機関の中心であり、大型国際共同で 31 カ国 1400 名の研究者からなる。主要国は、ドイツ、イタリア、フランス、スペイン、日本の 5 カ国である。日本グループ CTA-Japan は国際共同研究拠点・共同利用研である東京大学宇宙線研究所を中心とし、22 機関 117 名の研究者からなる。

11. 現在までの準備状況

過去 3 年間のサイエンスの成果としては、以下の重要な発見がある。

高エネルギーニュートリノと高エネルギーガンマ線との相関。

IceCube により観測された高エネルギーニュートリノ ($>300\text{TeV}$) の到来方向に活動銀河核 TXS 0506+056 ($z=0.336$) が位置することが見出された。これと時を同じくして、この活動銀河核から TeV 領域で、ガンマ線フレアーを MAGIC 望遠鏡により観測した。活動銀河核が超高エネルギー宇宙線源の有力候補であることが明らかになった。

TeV ガンマ線バーストの発見。

2019 年 1 月には MAGIC 望遠鏡は Swift X 線衛星からのアラートを受け、follow-up 観測により GRB190114C ($z=0.424$) から数千の $>100\text{GeV}$ ガンマ線放射を発見した。このガンマ線バーストからのガンマ線スペクトルは EBL (宇宙背景光) によるガンマ線吸収を激しくうけながらも TeV を超えるエネルギーまで伸びていた。TeV ガンマ線バーストの世界で初めての発見であり歴史的な大発見である。その結果は、2019 年に発見、物理解釈の 2 本の論文として Nature に発表した。

日本グループが主導し建設を進めている CTA 大口径望遠鏡が、マルチメッセンジャー天文学、突発天体観測、さらには暗黒物質探索において、これから大いに活躍することは間違いない。これらの極めて興味深い天体现象、物理現象の観測例を飛躍的に増やすため、また銀河中心領域を詳細に観測するため、CTA 南サイトにも大口径望遠鏡の建設をすすめ全天に観測網を広げることは極めて重要である。

IPST

1. 計画タイトル
惑星間宇宙望遠鏡 (Inter-Planetary Space Telescope - IPST)
2. 問い合わせ先
松浦 周二 (関西学院大学) matsuura.shuji@kwansei.ac.jp
3. 想定される提案者 (計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等)
未定 (JAXA/ISAS または研究分野コミュニティを想定して調整中)
4. 計画規模: 大型・中型 A・中型 B
大型
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況
提案していない
6. 実施時期
2020 年: 準備開始 光赤天連 2030 年代将来計画検討 White Paper 提案
2021-2026 年: JAXA/ISAS 計画 RG → WG → プリプロ → プロジェクト
2026-2032 年: 探査機開発, 製造および試験
2032-2040 年: 打上げ・観測開始 → 惑星間空間・黄道面外軌道
2045 年頃ミッション終了
7. 必要経費および予算プロファイル
準備(2021-2026 年): 5 億円
探査機開発・製造および試験: 200 億円
打上げ: 50 億円
運用期年額: 2 億円
総額: 270 億円
8. 計画の概要
本計画の主目的は, 初代星, 原始ブラックホール, 宇宙背景ニュートリノ崩壊光子などの再電離期や初期宇宙の痕跡を可視光および赤外線 (光赤外域: 波長 0.3-300 μm) の宇宙背景放射の精密観測により初めて直接検出することである. 地球近傍からの光赤外観測では, 手前にある惑星間ダストの熱放射や太陽光散乱が強く, それらの影響により宇宙背景放射の精密観測は困難である. 特に惑星間ダストの熱放射が極めて強い赤外域は宇宙背景放射だけでなく遠方宇宙の未開拓領域となっている. 我々はこの限界を突破すべく, 惑星間ダストの影響がない外惑星域や黄道面外の惑星間空間に小型の光赤外望遠鏡を搭載する探査機を軌道投入する計画を提案する. JAXA 宇宙科学研究所の衛星計画として 2030 年代の実現を想定している.

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

本計画は、これまで日本が世界を主導してきた宇宙赤外線背景放射の観測の実績を基盤とし、これまで各国で多くの計画が提案されている宇宙マイクロ波背景放射や遠方銀河探査とは全く違う切り口で、天文学や宇宙論の最重要課題である初期宇宙や初代天体形成・再電離期の解明に取り組むものである。また黄道面外を含む惑星探査軌道をとることで、始原天体である彗星に起源を持つ惑星間ダストの3次元分布や組成の光学測定から太陽系の変遷史を明らかにすることも本計画の独創的な課題である。

初期天体の研究に赤外線観測が強力であることは知られており、今後、JWST, EUCLID, Roman などの大型赤外線天文衛星が続々と打上げられるが、いずれも近地球軌道のため惑星間ダストの影響を避けられず、宇宙赤外線背景放射を主課題としない。IPST は他国にない独創的な計画である。

IPST の概念は、大気の影響がない宇宙空間へと望遠鏡が進化したように、惑星間ダストの影響がない次世代の望遠鏡サイトの開拓であり、その実現は新しい天文学を拓く道標となる。「はやぶさ」シリーズで世界に示した日本の探査技術は社会的にも賞賛されたが IPST が求める外惑星域は日本にとって未踏である。一方で深宇宙への進出や生命起源解明に向けた外惑星探査の期待が高まっている。IPST は惑星科学や探査工学を含む理工学の複合分野で計画を推進しており、これらの分野の発展にも大きく寄与する。

10. 実施内容

実施機関： 光赤天連コミュニティを主体とする実施

体制：【天文・観測機器】 関西学院大，東京都市大，九工大，筑波大，国立天文台，JAXA，ロチェスター工科大，【太陽系科学】 JAXA，千葉工大，【宇宙論】 KEK，名大，UC Irvine，【探査機開発】 JAXA，東工大

共同利用体制： 未定

11. 現在までの準備状況

宇宙赤外線背景放射を観測する NASA ロケット実験 CIBER/CIBER-2 を実施し(2010年~現在)，観測技術の実績を積むとともに観測成果を基に IPST の科学課題検討を深化させた。また JAXA 宇宙科学研究所の戦略的中型計画に提案した木星トロヤ群探査 OKEANOS 計画において IPST の前駆的計画として赤外望遠鏡の搭載検討と要素技術開発を進めた(2000~2020年)。今後、JAXA/ISAS に IPST リサーチグループを形成提案する予定である。

光赤天連コミュニティに計画を提案し将来計画検討書「2020年代の光赤外線天文学」に掲載された。現在とりまとめられている「2030年代光赤外線天文学」にも提案書(White Paper)を提出した。学術会議マスタープラン 2020 には本計画に関連する「宇宙探査ミッションを支える宇宙技術実証プログラム」と「宇宙背景ニュートリノ崩壊探索」が掲載された。

1. 計画タイトル：Habitable Exoplanet Observatory (HabEx、ハベックス)
2. 問い合わせ先（名前、所属、e-mail など）：田村元秀、東京大学・アストロバイオロジーセンター、motohide.tamura@nao.ac.jp
3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）
（仮）田村元秀（これまでの HabEx SDT の JAXA 側代表）
4. 計画規模：大型 中型 A 中型 B（どれかひとつを選択してください）
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況：未提案
6. 実施時期

2020-2021	Mission Concept Review (Decal study Astro2020)
2021-2024	Pre-Phase A Concept Studies
2024-2026	Phase A Concept and Technology Development
2026	SRR/MDR
2026-2029	Phase B Preliminary Design and Technology Completion
2029	PDR
2029-2033	Phase C Final Design and Fabrication (2031 CDR)
2033-2036	Phase D System Assembly, Integration and Test
2036	Launch
2040(2045)	Mission end (extended)
7. 必要経費および予算プロファイル（FY20 金額、1 \$ = 100 円假定）

項目	時期	金額	日本側負担
総予算：	2021-2040	6787 億円	340 億円 (5%負担)
準備期：	2021-2026	270 億円	14 億円
建設期：	2026-2036	6057 億円	301 億円
運用期年額：	2036-2040	92 億円 x 5 年	5 億円 x 5 年

8. 計画の概要

長い歴史の中で人類は遂に太陽に似た恒星の周りのハビタブルな惑星を直接に発見し、分析することが可能な技術を手に入れた。HabEx は、紫外線・可視光・赤外線波長における高コントラスト撮像分光機能を備えた口径 4m の宇宙望遠鏡として、US Astro2020 Decadal Survey に提案されているミッションである。5 年間の主運用中に次の 3 つのキーサイエンスを完遂する。① 我々の近くの「新世界」を探索し、そのハビタビリティを開拓する。② 近傍の惑星系の「地図」を描き、その多様性を理解する。③ 太陽系から宇宙論までの紫外線～近赤外線における一般天文学のためのプラットフォームの役割を果たす。同様の目的を持つ LUVOIR に比べると中口径望遠鏡であるが、早期かつ技術的・コスト的に高い実現性を重視したミッションであり、8 個の地球型惑星を含む 150 個以上の太陽型恒星まわりの系外惑星の直接観測が可能となる。所定運用期間の 50%、拡張期間の 100%が一般共同利用に供される。

日本は、Roman 望遠鏡への寄与や地上直接観測の長年の経験を礎として、コロナグラフコンポーネント、偏光機能、波面測定・制御およびデータ解析ソフトウェア開発、紫外線検出器、第二期装置開発などで貢献することができる。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

HabEx は、人類の根源的な問いである「宇宙で我々は唯一の存在なのか？」

に答えるミッションである。そのために、近傍の太陽型恒星周りの地球型惑星を含む惑星系を直接に検出し、分析する。プロジェクトの科学目的は上記概要に記述した3点(①~③、図1参照)である。

系外惑星は、言うまでもなく現代天文学・惑星科学の中でも最もホットな分野の一つである。1995年の太陽型恒星周りの系外惑星の発見(2019年ノーベル賞)から、わずか25年ほどで高精度分光観測やケプラー衛星をはじめとする多様な観測が数千個もの多様な惑星系を発見してきた。そして、遂に地球に似た惑星系に生命の兆候を狙える時代が到来している。一方、技術的制約のため、ドップラー法、トランジット法、重力マイクロレンズ法などの間接観測がこれまでの主流であり、惑星表層分析に必要な直接観測は巨大惑星に止まる。

HabExは上記概要の科学目的の①と②に対し、宇宙からの観測により10桁という超高コントラスト観測を初めて可能にし、近傍の太陽型恒星周りの地球型惑星を撮像・分光する。そのために、内部コロナグラフと外部オカルターという2つの高コントラスト技術により恒星光の抑制を追求する。このための装置はそれぞれ Coronagraph (HCG) と Starshade Instrument (SSI) である。

HabEx と同時期の地上 30m 級望遠鏡は、その高解像度と高コントラスト(8桁)を活かした M 型惑星周りの地球型惑星の直接観測を目指す、それとは全く相補的な科学目標となっている(HabExは太陽型星、30m級はM型星)。

目的③については、地上装置では不可能、あるいは、ハッブル宇宙望遠鏡の退役後には無くなる観測機能を補い、広範な天文学観測に利用可能である。特に、紫外線分光カメラ(UVS)と HabEx Workhorse 撮像分光器(HWC)は一般天文学・惑星科学にも有用である。これらの科学的目的が達成された場合、上記の人類共通の問いへの答えとして、超ノーベル賞的な社会的意義を持つことは間違いない。



図1：HabExの科学的目的

10. **実施内容** (実施機関・体制(国際協力等を含む)、共同利用体制)
JAXA、国立天文台、アストロバイオロジーセンターが主導。大学と協力。
NASA・ESAとの協力(日本は約5%の寄与)。長時間の共同利用の提供。

11. **現在までの準備状況**

HabEx国内検討チームを作り、US-DS白書、光赤天連白書等に提案済。関連プロジェクトであるJTPFの活動は2000年頃から開始しており、一部はRoman望遠鏡コロナグラフへの日本の貢献に繋がった。

2025年打上予定のRomanのコロナグラフは、HabExコロナグラフのtestbedとしての役割も果たすため、現在はそれに集中している。

Astron2020の結果に基づき、次期旗艦ミッションが決まり次第、LUVOIR・ORIGINS等も含めた体制を統合・構築することを想定している(これらのプロジェクト間で合意済)。

大型国際 X 線天文台 Athena

1. 計画タイトル
大型国際 X 線天文台 Athena (Advanced Telescope for High-ENergy Astrophysics) への日本の参加
2. 問い合わせ先
松本浩典、大阪大学大学院理学研究科、matumoto@ess.sci.osaka-u.ac.jp
3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）大阪大学大学院理学研究科長
4. 計画規模：大型
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況
2017:学術大型研究計画(区分 I)に採択
2020:学術大型研究計画(区分 I)に採択。重点大型研究計画ヒアリング対象。
6. 実施時期
現在～2021 年: Phase B (基本設計)
2022 年 11 月ごろ Mission Adaption Review (衛星基本仕様確定)
2023 年～2030 年ごろ: 詳細設計、開発
2030 年台初頭: 打ち上げ、観測 (寿命 4 年以上)
7. 必要経費および予算プロファイル
現在～2022 年度 (準備期): 約 4 億円
2023 年度～打ち上げ (建設期): 約 26~56 億円
総予算: 約 30~60 億円 (マージン込み。日本側予算のみ)
現在、欧州宇宙機構、宇宙科学研究所を交えて日本の参加範囲の議論が進行中。最小案で 30 億円、最大案で 60 億円程度。
8. 計画の概要
Athena は、European Space Agency が大型計画 2 号機として採用した X 線天文衛星である。日米の国際協力のもとに欧州が開発の中心となり、2030 年代初頭の打ち上げを目指す。角度分解能 5 秒角の大型望遠鏡 (SPO) を搭載し、高エネルギー分解能 (2.5 eV) の TES X 線マイクロカロリメーター (X-IFU) と、広視野 (40 分角四方) の DEPFET 半導体検出器 (WFI) で宇宙 X 線を観測する。同じく X 線マイクロカロリメーターを搭載する XRISM と比較すると、2 倍以上優れた波長分解能、100 倍以上優れた空間分解能、エネルギー $E=1$ keV の X 線に対して約 70 倍の有効面積を誇る。Athena は(1) $z\sim 2$ に至る銀河団の撮像分光による、物質の集積過程と大規模構造への成長過程の解明、(2) $z\sim 5$ に至る AGN の系統的探査による、巨大ブラックホールの成長過程とフィードバックの解明、の 2 つを科学目的として掲げる。さらに 2030 年代に稼働する国際的に唯一の大型 X 線天文台として、observatory 的な役割も担う。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

(目的)(1)日本の参加によって Athena の科学的価値を高め、計画を確実に実施可能なものとする、(2)日本の研究者が Athena の科学的成果を創出し、科学的価値を最大化すること。

(学術的意義) 2030 年代に確定している大型 X 線天文台は世界で Athena のみである。2030 年代は様々な巨大観測装置が稼働し、真の多波長観測時代が到来する。Athena はこの中で X 線データを世界に発信する役割を担う。

(位置づけ)科学的な意義において Athena は XRISM の後継ミッションであり、日本の X 線天文学の自然な延長であると同時に、日本が重要な役割を果たせるミッションである。高エネルギー宇宙物理連絡会は、Athena を XRISM 後の最も重要なミッションと位置付けている。

10. 実施内容

Athena の開発は欧州が中心ではあるが、資金、技術的実現性などの理由で、日米の国際協力が必須である。Athena 計画の確実な実施に関して、ハードウェア開発に貢献する。ASTRO-H、XRISM などの経験を活かし、極低温検出器を利用する X-IFU の開発に貢献することが最優先である。SPO, WFI, 地上局などに関しても、可能であれば貢献を行う。科学成果創出に関して、XRISM の成果をもとに Athena のサイエンス活動に加わる。特に、Athena の主要科学目的は総観測時間の半分以上を占めるキーププロジェクトとして実施される予定である。日本の研究者がキーププロジェクトに参加し、計画策定に関与し、科学成果を創出する道を拓く。

11. 現在までの準備状況

ここでは日本での準備状況を述べる。我々は宇宙科学研究所(ISAS)に Athena ワーキンググループを設立した。2015 年 12 月に ISAS 小規模プロジェクトの枠組みに「Athena への日本の参加」を提案、宇宙理学委員会からの推薦を得た。その後、小規模プロジェクトの枠組みが見直され、Athena は現在「戦略的海外共同計画」に分類されている。また、欧州で Phase B に進んだことに伴い、2019 年 10 月にワーキンググループは計画検討チームとなり、Pre-Phase A1b へと進んだ。欧州で 2022 年後半に予定される Mission Adoption Review に合わせ、現在は Pre-Phase A2 への移行を目指している。日本が最も期待されている部分は X-IFU 冷凍機系であり、その寄与に関して、X-IFU consortium に日本人研究者 4 名が co-PI、1 名が X-IFU scientist として参加している。欧州発の公募研究 Cryo-Chain Core Technology Program に ISAS から参加し、そのもとで冷凍機系の開発を進めてきた。欧州での Athena 開発を総括する Athena Science Study Team (ASST) (欧米日 10 名の科学者で構成) に日本から 1 名が参加、さらに ASST のもとに設置された Working Group に日本から 6 名がチェアとして参加し、科学的成果創出に関与している。Telescope WG、WFI consortium などの活動にも参加し、日本コミュニティの意見を述べる道筋を構築している。

(次世代太陽風)

1. 計画タイトル
次世代太陽風観測装置
2. 問い合わせ先
岩井一正、名古屋大学宇宙地球環境研究所、k.iwai@isee.nagoya-u.ac.jp
3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）
名古屋大学 宇宙地球環境研究所
4. 計画規模：中型 B
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況
提案していない
6. 実施時期
2018 年：計画開始
2021 年：プロトタイプ建設
2023 年：富士局建設開始
2025 年：富士局観測開始・木曽局建設開始
2027 年：木曽局観測開始・豊川局建設開始
2029 年：三局での観測開始
連続観測予定期間：約 20 年
7. 必要経費および予算プロフィール
総予算：約 17 億円（建設費：建設期 15 億円、運用期 0.1 億円/年）
2021 年度より科研費ベースで全体の数%程度の規模のプロトタイプアレイの建設を開始予定。1 局分の建設費用を 2022 年度概算要求に提案中。
8. 計画の概要
本計画は太陽風の観測を行うための地上電波観測装置の提案である。計画では、国内 3 カ所（山梨県富士河口湖町、長野県上松町、愛知県豊川市）に 327MHz 帯域に感度を持つアレイアンテナ群を建設する。各基地局は、約 4000m²の平面に 327MHz 帯域に感度を持つダイポールアンテナを敷き詰めた 2 次元平面フェーズドアレイアンテナで構成され、各ダイポールアンテナで取得された信号をデジタル処理することで多方向に同時に指向できるデジタルビームフォーミングを実現する。各基地局でビームフォームされたデータをインターネット経由で愛知県名古屋市に収集し、相関処理することで、太陽風速度を導出する。
9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ
本研究では、太陽から流れ出る高速の電離大気「太陽風」がどうやって

(次世代太陽風)

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の一つ「太陽風加速問題」を解明することを目標とする。太陽風については恒星風の加速問題は恒星や恒星圏を理解するために普遍的問題と言える。加えて、太陽風は地球を含む惑星の周辺環境に大きな擾乱を与える。この擾乱によって、通信障害や人工衛星障害など、社会インフラが甚大な被害を被ることがあり、太陽風の変動を事前に予報することには社会的要請も高まっている。そこで、太陽風が電波を散乱する特性を用いて、遠方天体を観測中に太陽風が天体の電波を散乱する現象（惑星間空間シンチレーション：IPS）から太陽風の3次元構造の導出を行う。開発する新装置では、広視野大口径なアレイアンテナで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。このデータを用いて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することが可能となり、太陽風を加速する要因を解明する。

また太陽風速度のリアルタイムデータを公開し、太陽圏の3次元シミュレーションに組み込むことで、地球への擾乱の到来を事前に予測することを可能とする。

10. 実施内容

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・太陽風グループが主体的に運用を行う。観測は全自動で行われ、相関処理後の太陽風速度データは即日インターネット上に公開され、太陽圏研究に用いられるとともに、国内外の宇宙天気予報機関で現業の宇宙天気予報にも利用される。また、デジタル信号処理による広視野マルチビーム観測の特徴を生かし、一部のビームを共同利用観測に提供し、太陽風以外の多様な観測対象に対しても活用する。本装置の観測帯域では、太陽・恒星・惑星・銀河・パルサー等多くの電波観測例があり、幅広い活用が期待される。

11. 現在までの準備状況

建設予定の3地点では、1980年代より順次既存のシステムを用いた太陽風の観測を行ってきた。その過程で装置の運用や観測データを即日公開する経験を蓄積してきた。本提案に向けては、2018年より数値計算等も用いて太陽風流源を分解するために必要な空間分解能、およびその空間分解能を達成するアレイシステムに必要とされる面積等を導出するなどの科学検討・技術検討を行ってきた。並行して、平面フェーズドアレイおよびデジタル信号処理装置の設計・開発を進めてきた。既にデジタル信号処理装置のプロトタイプが完成し、想定した機能を有することが実験で確認されている。これらの結果をもとに本計画の一部を概算要求に提案している。

本計画の概要および進捗状況は、天文学会等、太陽研究者連絡会、地球電磁気・地球惑星圏学会など、関連の学会・研究会で定期的に報告し、計画のコミュニティへの浸透に努めている。

(Origins)

1. Origins Space Telescope の科学推進と中間赤外観測装置(MISC)開発の分担
2. 問い合わせ先 左近 樹、東京大学、isakon@astron.s.u-tokyo.ac.jp
3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）
JAXA・宇宙科学研究所・宇宙物理学研究系 教授 山田 亨
4. 計画規模：大型
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況：未提案
6. 実施時期

Pre-Phase A	2020 Decadal report 発表[2021.6]から Mission Selection[2025.6]迄
Phase A	System Requirement Review (SRR) [2026.12] 迄
Phase B	Preliminary Design Review (PDR) [2028.12] 迄
Phase C	Critical Design Review(CDR)[2030.6]を経て System Integ. Review(SIR)[2032.1]迄
Phase D	Delta SIR [2033.4]及び Pre-Ship Review (PSR)[2034.6]を経て Launch [2035.6]迄
Phase E	10 years, serviceable ※終了予定年 2045 (TBD)

7. 必要経費および予算プロファイル

総予算 6.7BUSD[50% Confidence Level(CL)] –7.3BUSD[70% CL] (CY2020)
(phases A—E, 米国以外の海外負担は仮定しない、即ち MISC 開発費を含む)

MISC-T ; 437MUSD[50% CL] – 516MUSD[70% CL] (CY2020) in Phase B-D

日本負担分は MISC-T の必要経費の一部(NASA/Ames の担当分を除いた物)。

8. 計画の概要

Origins Space Telescope (略称:Origins) は、米国 2020 Decadal Survey で検討される 4 つの大型ミッションコンセプトの 1 つである。Origins は 4.5K に冷却された主鏡直径 5.9m で JWST とほぼ同じ集光面積(25m²)をもつ冷却赤外線宇宙望遠鏡で、3 つのベースライン観測装置(OSS, FIP, MISC-T)で波長 2.8—588 μm の分光、偏光撮像観測を行う。これにより、(1)宇宙再電離から現在まで、銀河がいかに星形成を行い、金属量を増やし、中心の超巨大質量ブラックホールを形成したか、(2)惑星形成の間にいかにハビタビリティの条件が育まれたか、(3)M 型矮星の惑星に生命がもたらされるか、の解決に挑む。本計画では、日本が STDT 活動で開発検討を担当した中間赤外観測装置 MISC を基軸とするハードウェア貢献を通じて国際的分担を獲得し、Origins が扱う全ての最前線の科学的課題の解決に多くの日本人研究者が当事者として参画する道筋を構築する。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

ハーシェル宇宙天文台以来、特に遠赤外波長域において深宇宙探査での confusion を克服し、十分な空間分解能と従来の 1000 倍以上の感度の革新的改善を達成する中間～遠赤外線を扱う赤外宇宙望遠鏡のミッションの必要性が、NASA の宇宙物理学ロードマップにおいて定義されている。これまで米国の Decadal Survey で推薦を受けたミッションは、全て実行に移され、人類が挑む

(Origins)

宇宙科学フロンティアの拡張に寄与してきた。その人類のミッションに一つのベースライン観測装置のハードウェア貢献を通じた国際的な分担を持つ事の社会的意義は大きく、また、我が国の研究者が極めて高い費用対効果でミッションの当事者として最前線の科学課題の遂行に挑戦できる点で、学術的価値は高い。

10. 実施内容

Origins は NASA 主導のミッションであり、米国内及び海外のパートナーとともに推進される。「JAXA」及び「CNES 主導のヨーロッパコンソーシアム」は、ミッション概念検討における実働パートナーである。2020 Decadal Report で Origins が高い推薦を得た場合には、Origins/MISC 装置チーム(参考文献[1] Decadal Report 内に定義)を中心に、チームの拡張と日本の活用可能な技術の集約を図り、Pre-Phase A 完了時点(2025 年 3 月)までに、競争的資金も利用し必要な技術開発項目について TRL 5 を達成する。同時に「初代銀河の形成」から「化学豊潤化の歴史」そして「ハビタブルな系外惑星」の研究に関わる我が国の科学コミュニティーが、Pre-Phase A の段階から、再構築される Origins のミッション科学目標の策定に関わることが本計画の狙いである。IRTS、あかり、SPICA で育った赤外衛星に関わる技術ヘリテージを最大限に有効活用し、我が国の研究者が国際的に最前線の研究水準を維持するために本研究を推進する。

11. 現在までの準備状況

Origins Space Telescope (Origins)は、2016 年以降 Science and Technology Definition Team (STDT) の枠組みで約 4 年間にわたって科学策定とミッションコンセプトの検討および技術検討が実施された。2 段階の概念設計検討を経て、最終的に主鏡直径 5.9m の冷却遠赤外線望遠鏡ミッションとしてデザインされるに至った。日本は JAXA を窓口として、STDT 発足時より Origins Space Telescope の STDT 活動に参加し、中間赤外線観測装置 Mid-Infrared Spectrometer and Camera (MISC)の概念検討を担当し、NASA/Ames と共同で最終コンセプトのベースライン装置の一つ MISC-Transit Spectrometer (MISC-T)およびアップスコープ機能 MISC-Wide Field Imager (MISC-WFI)の概念設計及び技術検討を実施した(Sakon et al. 2021)。2021 年 6 月に発表予定の 2020 Decadal Report において高い推薦を得た場合には、Phase A の開始時までに、日本国内での Origins サイエンスチームを組織し、同時に MISC を中心とするハードウェア貢献において現実的なリソースの集約と Origins の技術開発ロードマップに沿った開発項目の分担の獲得を目指す。なお、2020 Decadal Report で次期旗艦ミッションが決まり次第、LUVOIR・HabEx・Origins を含めた体制を統合・構築することを想定する。

【参考文献・資料】 [1] Origins Space Telescope Mission Concept Study Report, August 2019

<https://asd.gsfc.nasa.gov/firs/docs/OriginsVolume1MissionConceptStudyReport25Aug2020.pdf>

[2] Sakon, I., Roellig, T. L., Ennico-Smith, K., et al. “Mid-infrared spectrometer and camera for Origins Space Telescope”, JATIS, 7, 011013 (2021) <https://doi.org/10.1117/1.JATIS.7.1.011013>

(Mega ALPACA)

1. 計画タイトル：

(仮) Mega ALPACA: 南天における PeV 領域ガンマ線広視野連続観測

2. 問い合わせ先：瀧田 正人 (たきた まさと)、東京大学宇宙線研究所、 takita@icrr.u-tokyo.ac.jp

3. 想定される提案者：未定 (中型 B)

4. 計画規模：中型 B

5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況：未提案

6. 実施時期：

2027 建設準備

2028-2032 地下ミューオン検出器+空気シャワーアレイ設置 部分観測

2033-2042 本観測

7. 必要経費および予算プロファイル

総額 40 億円

2027 建設準備 5 億円

2028-2032 観測装置建設+部分観測 毎年 5 億円→5 億円×5 年 =25 億円

2033-2042 本観測 毎年 1 億円→1 億円×10 年=10 億円

いずれも日本は半分程度を負担予定。

8. 計画の概要

本計画は、南米アンデス山脈の高地に総面積 1 km² (合計約 1500 台の 1m² プラスチックシンチレーション検出器を 15-30m 間隔に配置)の地表空気シャワー観測装置と総面積約 50,000m²の大型地下水チェレンコフ型ミューオン検出器 (鉄筋コンクリート製の水プールと 20 インチ光電子増倍管を設置) から構成される。観測される宇宙線・ガンマ線のエネルギー閾値は 5-20TeV 程度、視野は 2steradian 程度、角度分解能は 100TeV ガンマ線で 0.2° 程度である。地下ミューオン検出器により、宇宙線を 99.9%以上除去可能である。南天における PeV 領域ガンマ線の広視野連続観測を世界最高感度で行う。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

南天における PeV 領域ガンマ線の広視野連続観測を世界最高感度で行う。PeV 以上の宇宙ガンマ線は現在まで観測されておらず、南天での PeV 領域ガンマ線天文学を世界に先駆けて開拓する。特に、H.E.S.S.実験によって銀河中心付近の広がった領域から 10TeV 程度まで観測されたガンマ線は、宇宙線を PeV 領域まで加速している宇宙加速器 PeVatron の可能性を強く示唆している。本計画は、その領域から放射されているガンマ線が PeV 領域ま

(Mega ALPACA)

で伸びていることを確認し、未だに特定されていない PeVatron の発見を目指す。また、銀河系内の拡散ガンマ線を観測することにより、銀河系内で宇宙線の加速エネルギー限界やそのエネルギースペクトルの系内の場所依存性を観測することができる。それらの観測結果は天体粒子物理学理論の発展にとって、重要な観測データをなす。その他、 $(10^{15}-10^{17}\text{eV})$ 宇宙線の化学組成とエネルギースペクトルの測定、宇宙線中の太陽の影の観測による太陽地球間磁場の研究や宇宙天気予報、宇宙線異方性の研究など多様な研究テーマが可能である。

10. 実施内容：中型 B（国際協力）100-200 人規模

11. 現在までの準備状況

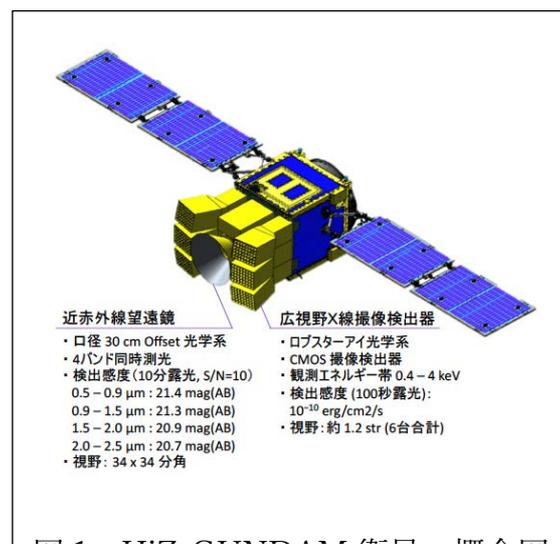
現在、南米ボリビアのアンデス高原（標高 4740m）でボリビア、メキシコ等との共同実験として、ALPACA 実験（約 83,000m²の空気シャワーアレイと 4,000m²の地下ミューオン検出器）を建設中である。観測装置は 2022 年に完成予定で、2023 年から本観測開始予定である。ALPACA 実験の成果が一通り出ることが予想される 2027 年に ALPACA 実験より一桁以上大きな 1km²空気シャワー観測装置を建設し、ALPACA 実験よりも一桁以上高い感度を有する、世界最高感度で PeV ガンマ線天文学を開拓する。建設候補地はボリビアを含むアンデス高原を想定している。

HiZ-GUNDAM

1. 計画タイトル：
ガンマ線バーストを用いた初期宇宙・極限時空探査計画 HiZ-GUNDAM
2. 問い合わせ先：米徳大輔（金沢大学） yonetoku@astro.s.kanazawa-u.ac.jp
3. 想定される提案者：金沢大学長
4. 計画規模：大型
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況
マスタープラン 2017, 2020 の両方に採択
6. 実施時期
2023 – 25 年度：プリプロジェクト活動、プロジェクト化
2026 – 27 年度：エンジニアリングモデル(EM)設計・開発
2028 – 30 年度：フライトモデル(FM)設計・開発、打ち上げ、観測開始
2033 年度：ノミナル運用終了、運用延長
7. 必要経費および予算プロファイル
総予算：148.4 億円（日本が全額を負担することを想定）
プリプロジェクト活動（準備期）：2.7 億円
プロジェクト活動（EM・FM 開発、建設期）：143 億円、運用：2.7 億円
8. 計画の概要

科学衛星 HiZ-GUNDAM は、宇宙年齢が 7.7 億年よりも若い（赤方偏移が $z > 7$ の）初期宇宙において最も明るい光源であるガンマ線バースト (GRB) の観測を通して、初代星・初代ブラックホールの形成、宇宙再電離や重元素合成の歴史の解明など、初期宇宙観測のフロンティアを目指すミッションである。また、重力波と同期した突発天体を観測することで、ブラックホールが誕生する瞬間の極限時空環境における物理現象を探査する。これらにより、天文・宇宙物理学全体の最重要テーマである「宇宙の物質と空間の起源」を深く理解することが目的である。

本計画は、ロブスターアイ光学系と X 線イメージセンサを組み合わせた超高感度の広視野 X 線撮像検出器で高エネルギー突発天体を発見した後、自律制御で衛星姿勢を変更し、同時に搭載する口径 30cm の近赤外線望遠鏡で 4 バンド同時測光観測を行う（図 1 参照）。これにより、高赤方偏移 GRB の候補天体や連星中性子星の衝突・合体、それに伴うキロノヴァ現象を捉え、地上の大型望遠鏡で迅速な分光観測を



行うことで物理情報を獲得する。本提案では、これらの観測を実現するミッション機器を搭載した人工衛星の開発と、イプシロンロケットによる打ち上げ、および衛星運用を実施する。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

宇宙最初の天体形成から現在の姿に至るまでの宇宙進化を理解することは、天文学における究極の目標のひとつと言える。特に初期宇宙において、宇宙再電離がいつ始まり、どのような時間スケールで宇宙空間全体を電離してきたのかは、最重要課題である。その起源が初代星からの紫外線放射に起因しているのであれば、大質量星の形成史と密接に関連しているはずである。また、その星の核融合で作られる重元素が、水素・ヘリウムばかりであった宇宙に新たな要素を付け加えたと考えられている。GRB は初期宇宙において最も明るい光源であり、本計画による GRB の観測を通じて、これらのシナリオを観測的に検証できるようになる。

2017年に、連星中性子星の衝突・合体に伴う重力波と、それに付随する短時間 GRB に類似した電磁波対応天体が観測された。また、中性子過剰な超重元素の放射性同位体を熱源とするキロノヴァ現象が観測され、鉄よりも重い元素の誕生する現場を観測的に捉えることに成功した。本計画では、重力波観測と連携したマルチメッセンジャー天文学を強力に推進し、ブラックホールが誕生する瞬間の極限時空環境における物理現象を理解し、宇宙の元素組成の全貌を解明することを目指す。

このように、GRB を用いた「初期宇宙探査」と「極限時空探査」を実現するには、X線による現象の発見から、可視光・近赤外線観測による高赤方偏移天体やキロノヴァの同定を迅速に行う必要がある。したがって、本計画は高エネルギー宇宙物理連絡会と光赤外線天文学連合の両コミュニティにまたがる「分野横断型プロジェクト」として推進すべきミッションと位置付けられている。

10. 実施内容

宇宙科学研究所および金沢大学を中心とする国内外の約 30 の大学・研究機関より約 100 名の研究者で構成される体制で推進する。X線検出器の開発では英国の Leicester 大学と、近赤外線望遠鏡の開発では韓国の KASI との国際協力を進めているが、開発経費は宇宙科学研究所の公募型小型衛星計画の枠内で実施する。

11. 現在までの準備状況

2018年1月29日に宇宙科学研究所の公募型小型衛星計画に対するミッションコンセプト提案書を提出し、将来ミッションの候補の1つとして選定されている。2025年度のプロジェクト化を目指した検討や開発を進めている。

(Roman 宇宙望遠鏡への参加)

1. 計画タイトル: Roman 近赤外広視野サーベイ宇宙望遠鏡への参加
2. 問い合わせ先: 住 貴宏、大阪大学、sumi@ess.sci.osaka-u.ac.jp
3. 想定される提案者: 山田 享 (宇宙科学研究所、日本学術会議連携会員)
4. 計画規模: 大型
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況: マスタープラン 2020 に採択
6. 実施時期

2016-2021、マイクロレンズ望遠鏡建設、コロナグラフ装置開発、地上局検討
2021-2026、マイクロレンズ事前観測、 コロナグラフ装置開発、地上局改修
2026-2031、Roman 観測。すばる、マイクロレンズ協調観測。地上局運用

7. 必要経費および予算プロフィール

Roman 全体: \$3.2-3.9B

日本の貢献分: 39.1 億円 (以下内訳)

- すばる望遠鏡: 100 夜相当 (過去の運用費から見積ると約 10 億円相当)
- 地上マイクロレンズ望遠鏡: 準備 0 億円+建設 5 億円+運用 0.5 億円 (科研費他獲得済み)
- 地上局アンテナ改修: 準備 0 億円+建設 14.8 億円+運用 3.6 億円 (5.3 年分)
- コロナグラフ制作: 準備 0.8 億円+建設 1.9 億円 (技術実証運用費含む)
- 計画管理・科学協力推進: 2.5 億円

8. 計画の概要

本計画は、NASA の次期旗艦ミッション Roman 近赤外広視野サーベイ望遠鏡計画 (旧 WFIRST) に、日本の貢献計画をもって参画し、その主要な科学目的である、(1)バリオン音響振動実験、弱重力レンズ実験、Ia 型超新星の観測による暗黒エネルギー (ダークエネルギー) 理論および修正重力理論の検証、(2)重力マイクロレンズ系外惑星探査による系外惑星の質量・軌道要素の分布および形成過程の解明、(3)系外惑星のキャラクターゼーション用コロナグラフ装置の技術実証、(4)スペースからの高感度・高解像度を活かした、これまでにない近赤外線広視野サーベイによる様々な分野での天文学研究の推進、を遂行する。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

Roman は、米国・NASA が James Webb Space Telescope (JWST) に続く旗艦計画として推進している大型の光学近赤外線天文衛星計画である。米国の宇宙物理学分野の Decadal

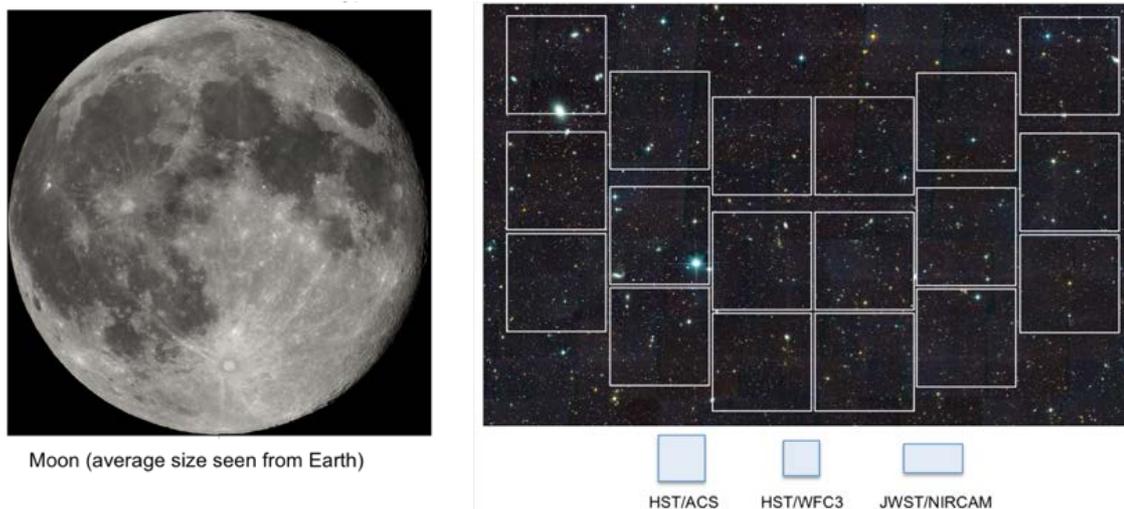


図 1: Roman 広視野撮像カメラの視野と月および、HST, JWST の視野との比較

(Roman 宇宙望遠鏡への参加)

Survey 2010の報告 (New Worlds New Horizons) において、スペース計画の最も優先度の高い計画と位置づけられ、検討が開始された。打ち上げ目標は2026年で、2020年2月に Phase Cに進んだ。ハッブル宇宙望遠鏡 (HST)と同じ口径2.4mの望遠鏡に、近赤外波長域で、HSTの200倍の0.28平方度という圧倒的な広視野を持つ「広視野観測装置」を搭載し(図1)、これまでにない深さと広さの大規模撮像・分光サーベイ観測を遂行する。これにより、精密宇宙論(上記の科学目的1)、重力マイクロレンズ系外惑星研究(同2) および、広視野赤外線天文学(同4)を推進する。さらに、将来の本格的な地球型系外惑星研究への技術実証とも位置づけられる、「コロナグラフ(高コントラスト観測)装置」の搭載により、これまでを大きく凌駕する恒星近傍での高コントラスト観測を実現すること(同3)を目指している。

Roman は、2020 年代における宇宙の加速膨張と系外惑星の精密観測の決定版と言えるスペースミッションとして位置づけられるが、この旗艦計画に日本が参加する事で、その科学成果の創出に貢献するとともに、日本としても、より将来における高度な国際大型旗艦ミッションに参加するためのステップとしても位置づけるものとして提案する。

10. 実施内容

日本からは、(A)国立天文台・すばる望遠鏡による Roman とのシナジー観測(これに特化したすばる望遠鏡の観測時間の確保)、(B)日本独自の地上重力マイクロレンズデータ(MOA 計画)の提供、および、日本の重力マイクロレンズ専用望遠鏡(PRIME 計画)による開発・観測支援・および協調観測 (C) 地上局によるデータ受信の支援、(D) コロナグラフ装置の特に偏光機能を付与する増強デバイス、コロナグラフマスク基板の提供、による貢献を行い、Roman のキーサイエンス全般の成功に寄与すると共に、その特徴を利用した独自のサイエンスを追求する。すばる望遠鏡をはじめとする地上施設およびそのデータによる貢献を含む「パッケージ」となっているが、スペース計画である Roman への参加にあたっては、これらを一元化し、JAXA が NASA に対する窓口となっている。また、これら日本の計画の推進は、ISAS の Roman プリプロジェクトチームによって行われている。

11. 現在までの準備

2010 年に初期の WFIRST Science Definition Team (SDT) に、住が参加し、2012 年、口径が 2.4m に再定義された際に、JAXA-NASA の協議に基づき、新たな SDT に JAXA 代表として山田亨 (JAXA/ISAS)が参加した。日本国内では、宇宙論から系外惑星に至る幅広い分野で WFIRST 参画に意欲を示す研究者が約 20 名 (後に 36 名)が「WFIRST 連絡会」を組織した。2014 年 2 月、コロナグラフ装置開発のための WACO WG (主査:田村元秀、東京大学)を ISAS に設立した。2016 年 1 月に、(コロナグラフ装置に限らない)全般的な WFIRST WG (主査:住)として発展的に改組し、上述の日本貢献案を取りまとめてきた。2016 年 4 月には、最初のすばる-スペースシナジー研究会、7月には、すばる-WFIRST シナジー観測白書 (82 人から 30 提案)を制作した(<http://iral2.ess.sci.osaka-u.ac.jp/~sumi/Subaru-WFIRST-Synergy.pdf>)。9 月の光赤天連シンポジウムでコミュニティの合意を得て、11 月にすばる SAC によって 100 晩のコミットメントが認められ、すばるユーザーズミーティングで報告された。これまでに、米国 WFIRST 関係者と日本コミュニティの約90人を集め、すばる-WFIRST シナジー観測ワークショップを4回開催し、日米共同で白書を作成した (https://www.ir.isas.jaxa.jp/WFIRST_Subaru_II/TALKS/WFIRST_Subaru_April25.pdf ID:wfirst, passwd:subaru)。コロナグラフ装置開発は、NASA JPL と連携し、設計と R&D を行い(ISAS 戦略的基礎開発予算)、現在までに光学系の試作・実機の一部を NASA に納入済みである。PRIME 望遠鏡も順調に制作中(科研費特別推進研究等)である。2020 年 3 月には、JAXA-NASA 間で Letter of Agreement にサインされ、これに基づき Roman Science Integration Team (SIT)に日本から 24 人が参加している。日本の参加を JAXA/ISAS に「海外戦略的協力ミッション」として提案し、2021 年 2 月には、ミッション定義審査を通過し、Phase A に進み、プリプロジェクトチームとして推進している。

LUVOIR への参加

1. 計画タイトル：NASA 大型紫外可視近赤外線宇宙望遠鏡 LUVOIR への参加
2. 問い合わせ先： 住 貴宏、大阪大学、sumi@ess.sci.osaka-u.ac.jp
3. 想定される提案者：住 貴宏（大阪大学、日本学術会議連携会員）
4. 計画規模：大型
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況： 提案なし
6. 実施時期

2016-2020 Mission concept study

2020-2021 Concept Review (Decal study Astro2020)

2021-2025 Pre-Phase A Concept Studies

2025-2030 Phase A Concept and Technology Development

2030-2033 Phase B Preliminary Design and Technology Completion

2033-2039 Phase C Final Design and Fabrication

2039-2040 Phase D System Assembly, Integration and Test, Launch

Mission duration: 5 years (prime), 10 years (extension), 25 years (service)

7. 必要経費および予算プロファイル

総予算額：LUVOIR-A: \$13-16B (FY20), \$19-24B (RY)

LUVOIR-B: \$8-12B (FY20), \$12-18B (RY) (50%–70%信頼域)

* Fiscal-year 2020 dollars (FY20\$) and real-year dollars (RY\$).

日本分担：高安定高分散分光器 : 100 億円

コロナグラフ装置(光学素子+独自ユニット) : 60 億円

紫外線検出機(Funnel MCP)+鏡コーティング: 45 億円

合計 : 205 億円

8. 計画の概要

本計画は、NASA の将来の旗艦計画である大型紫外可視近赤外線宇宙望遠鏡 LUVOIR(The Large UV/Optical/Infrared Surveyor)に、装置開発、科学検討の貢献を持って参加し、その主要科学目標、1) 太陽型星周りの系外惑星の大気において、生命居住環境及び生命の痕跡の探査、2) 広範囲な一般宇宙物理研究、を遂行する。LUVOIR は、口径 15m(LUVOIR-A) 及び 8m(LUVOIR-B) の複合鏡を持つ 2つのコンセプトが検討されている歴史的超大型計画である。そのこれまでにない高空間分解能・高感度を生かして数十個の地球型惑星の大気を直接分光し成分を調べる(図 1)。これにより、太陽系外の惑星(系外惑星)で、初めて生命居住環境及び生命の痕跡を発見し、その頻度を見積もる。また、あらゆる分野で観測能力が飛躍的に向上し、宇宙最初期の暗く小さな構造体まで検出可能で、宇宙創生以来のその構造形成史を解き明かす。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

LUVOIR は、NASA のハッブル宇宙望遠鏡 (HST)、James Webb Space Telescope (JWST)、Roman Space Telescope に続く基幹計画として提案されている超大型宇宙望遠鏡計画である。現在、米国の 2020 Astrophysics Decadal Survey (Astro2020)に提案されている 4つの大型計画の一つである。

LUVOIR への参加

遂に人類史上初めて、地球外生命探査や宇宙構造の創成期の解明が可能になる。現在、数千個の系外惑星が発見され、巨大ガス惑星の大気成分が観測されるようになった。次のステップは、地球の様な岩石惑星の大気で、生命居住環境及び生命の痕跡の探ることである。LUVOIR は、その圧倒的な高空間分解能・高感度を生かして生命居住環境が一般的なのか希少なのかを調べ、そして生命の痕跡を発見することを可能にする。初の地球外生命発見という歴史的計画に貢献することの重要性は言うまでもない。また、HST の退役後は、スペースでの、特に紫外線可視光での高感度観測が途絶えることになるが、LUVOIR はその後継にあたり、天文学分野での主役になる。日本の研究者にこの世界最高水準の装置へのアクセスを可能にするのは、全天文学物理研究者のみならず、地球惑星分野の研究者にも大きな資産となる。

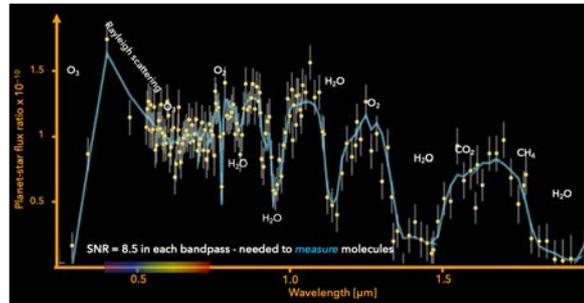


図1: 10pcの距離にある地球をLUVOIRで観測した場合のスペクトル。(SNR = 8.5)

10. 実施内容

LUVOIR は、NASA がリードする国際計画で、日本以外にも ESA などが参加を検討している。日本では、JAXA、国立天文台、全国の大学の研究者が以下の検討を進めている。(1) コロナグラフ装置に光学素子、マスクを提供する。また複合鏡に特化した新たな独自ユニットを提供し、性能向上を図る。(2) 独自の高安定高分散分光器を提供しトランジット分光による生命探査、精密速度測定による太陽型星周りの地球型惑星探査、宇宙論定数直接測定と言う新機能を追加する。(3) 量子効率の高い大面積 funnel MCP 紫外線検出機および紫外線鏡コーティング技術を提供する。これにより LUVOIR のキーサイエンスに貢献すると共に、その特徴を利用した独自のサイエンスを追求する。日本の計画推進は JAXA/ISAS に Working Group を設置して、JAXA がこれら貢献を一元化し NASA との窓口となり、共同利用体制を整える

11. 現在までの準備状況

2016年にNASAに設置されたLUVOIR Science and Technology Definition Team (STDT) に、住がJAXA代表として概念検討に参加した。同時に国内研究者有志で検討グループを結成して、日本の貢献案の検討を行ってきた。我々は、Roman宇宙望遠鏡の世界初の本格スペースコロナグラフ装置へ光学素子の提供を行っている。これはLUVOIR実現のために必須の技術実証であり、これに大きく貢献をしており、LUVOIRにも同様の貢献をする。また、分割鏡に特化した独自のコロナグラフの検討を行い、実証実験の準備をしている。独自の高安定高分散分光器の検討は、NASA Ames Research Centerで実証実験を行い実験室テストベッドで、10 ppmの安定性を実証した(TRL3)。また、JAXAのHISAKI衛星やロシアWSO-UV紫外線宇宙望遠鏡搭載機器の開発メンバーが、その経験を活かしLUVOIRに搭載しうる紫外線検出器、および鏡面コーティングの開発を行っている。現在、光赤天連2030年代将来検討WGに白書を提出して、検討および、コミュニティへの普及を行っている。

Astro2020の結果に基づき、次期旗艦ミッションが決まり次第、HabEx, ORIGINS等も含めた体制を統合・構築することを想定している(これらプロジェクト間で合意済)

GRAMS

1. 計画タイトル
Gamma-Ray and AntiMatter Survey (GRAMS) 計画
2. 問い合わせ先
小高裕和、東京大学、hiroказu.odaka@phys.s.u-tokyo.ac.jp
3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）
（中型 B なので記入なし）
4. 計画規模
中型 B
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況
提案していない。
6. 実施時期
準備開始予定：2021 年
建設開始予定：2024 年
観測開始予定：2026 年（第 1 回気球フライト）
観測終了予定：2030 年（第 3 回気球フライト）
7. 必要経費および予算プロファイル
総予算：930,000 千円（日本負担分: 320,000 千円）
準備期：100,000 千円（日本負担分: 50,000 千円）
建設期：500,000 千円（日本負担分: 150,000 千円）
運用期：330,000 千円（日本負担分: 120,000 千円）
8. 計画の概要

Gamma-Ray and AntiMatter Survey (GRAMS) 計画は、大型の液体アルゴン検出器を気球に搭載し、メガ電子ボルト (MeV) ガンマ線天文学の開拓と反重陽子検出によるダークマター間接検出を同時に目指す日米国際協力実験である。これら 2 つの目的を同一検出器で達成するための技術的基盤が、液体アルゴン time projection chamber (TPC) であり、ガンマ線コンプトンカメラと 3 次元粒子飛跡検出器の役割を担う。液体検出器の採用により、高密度と大容量の両立が可能になり、かつてない大有効面積を低コストで実現する。南極大陸やニュージーランドでの 1 ヶ月以上の長期間の気球フライトを複数回実施する計画である。MeV ガンマ線の観測により、ブラックホール最近傍のプラズマ流や宇宙における核反応の物理が明らかになるであろう。実験装置は観測終了後に回収することで、アップグレードして次のフライトに臨むことができる。

GRAMS のコンセプトの優位性は長い観測時間の確保によりさらに拡大する。2020 年代後半に計画される複数回の気球搭載実験によって科学的成果を創出し、技術的実現性が確立すれば、2030 年代をターゲットとした人工衛星ベースの大型計画への展開が期待できる。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

ニュートリノや重力波による宇宙の観測が可能となり、天文学は黄金時代を迎えているように思える。しかし、宇宙観測の窓が未だ閉ざされた電磁波のエネルギー帯域が存在する。0.1-10 MeV の中間エネルギーガンマ線帯域である。GRAMS はこの帯域を大面積液体コンプトンカメラという全く新しい概念の検出器で開拓する。

私たちの周りにある物質の基本構成要素である 100 種類余りの元素は宇宙史の中でどのように作られたのか？これは天文学のみならず現代科学の最重要問題のひとつであり、特に、鉄よりも重い元素の起源は未だ謎に包まれている。様々な仮説が提案されているが、これらを唯一、直接検証できるのが、MeV 帯域にある原子核から放出されるラインガンマ線の直接測定である。

さらに、GRAMS は反粒子を介したダークマターのバックグラウンドフリー間接探索も同時に行うことができる。観測的宇宙論の進展によりダークマターの存在自体は疑いないと考えられているが、その正体は完全に不明である。この物理学最大の問題に GRAMS はあらたな角度から迫ることができる。このように GRAMS は 2 つの究極的な目標を掲げ、宇宙・素粒子物理学融合の視点から、世界を構成する「もの」の起源と正体の解明を目指す。

10. 実施内容（実施機関・体制（国際協力等を含む）、共同利用体制）

日米国際協力のもと実施する。日本の参加機関は、東京大学、早稲田大学、大阪大学、立教大学、理化学研究所である。米国の参加機関は、コロンビア大学、ノースイースタン大学、バーナードカレッジ、マサチューセッツ工科大学など。日米双方に宇宙物理学・素粒子物理学の実験・理論の専門家を配置したバランスの良い共同研究体制。発案者を含めて日米双方が若手研究者を中心としたチーム構成となっているのが特色である。

11. 現在までの準備状況

- ・ニュートリノ実験・ダークマター直接探索実験など素粒子物理学実験で実用化が始まっている液体アルゴン TPC のガンマ線検出器への転用における技術的課題について実測データを用いて検討した。
- ・大容量液体アルゴンコンプトンカメラのコンセプトの鍵となる「多重コンプトン散乱イベントの再構成」を高精度で行う新しい解析アルゴリズムを開発した。
- ・小型プロトタイプ機的设计・建設を開始した。
- ・具体的な観測戦略の立案のため、GeV ガンマ線（Fermi 衛星）および硬 X 線（Swift 衛星）の天体カタログを用いて、MeV 帯域で検出が期待される天体リストの作成を行った。

UHECR-TA2

1. 計画タイトル:『最高エネルギー宇宙線の起源解明のための大型地上空気シャワー観測』
2. 問い合わせ先(常定芳基、大阪市立大学大学院理学研究科、tsunesada@osaka-cu.ac.jp)
3. 想定される提案者(計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等)
東京大学宇宙線研究所
4. 計画規模:中型 B
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況
提案していない提案していない場合はそのようにご記入ください
6. 実施時期
 - 2030 建設開始
 - 2032 部分運用開始
 - 2035 フル運用開始 (最低 10 年間運用)
7. 準備開始予定年、観測開始予定年な
 - 2021-2025 国際協力環境整備
 - 2025-2030 予算獲得運動
8. 必要経費および予算プロフィール
総予算:200億円
 - 地表検出器:100億円
 - 大気蛍光望遠鏡:100億円
 - 日本負担分:50億円
9. 計画の概要
 - 超高エネルギー宇宙線の観測を行う。現行の検出器、すなわちテレスコープアレイ実験(TA, 米国ユタ州)、Pierre Auger Observatory(アルゼンチン)の約100倍の検出面積(4万平方キロメートル)を実現し、大統計解析によって宇宙線のエネルギースペクトルと異方性を精密に決定することにより、超高エネルギー宇宙線の起源解明する。
 - TA の60倍の検出面積を有することにより、TA と同じ統計量で全天を60分割してエネルギースペクトルを得ることができる。これによってエネルギーごとの異方性を議論することが可能となり、既知の天体・宇宙の物質分布との相関を調べることにより、宇宙線起源天体の種族天体の決定から特定の銀河・銀河団同定までを目指す。
10. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

UHECR-TA2

- 単一の粒子としてはこの宇宙で最も高いエネルギー ($E > 10^{19}$ eV) をもつ超高エネルギー宇宙線の起源を解明し、宇宙において普遍的に起こっていると考えられる粒子加速現象の究極的到達点の物理をあきらかにする。またこれによって荷電粒子観測による 100Mpc スケール宇宙の天文学を切り拓く。
- 直進性の高い銀河系外宇宙線の起源を解明することにより、よりエネルギーの低い銀河系内宇宙線の起源と加速メカニズムへの示唆を得る。

11. 実施内容

- 東京大学宇宙線研究所
- 大阪市立大学
- 信州大学
- 大阪電気通信大学
- 神奈川大学
- 京都大学
- 米国、ヨーロッパの宇宙線研究者との国際共同実験

12. 現在までの準備状況

- 米国ユタ州にて、面積 700km² の Telescope Array (TA) 稼働中
- TA 拡張として “TAx4” が稼働中
- 低コスト型大気蛍光検出器として 2 タイプのプロトタイプ (FAST, CRAFT) が TA サイトで稼働中。FAST プロトタイプは Auger サイトでも稼働中。

TMT 計画

1. 計画タイトル：30m光学赤外線望遠鏡計画 TMT
2. 問い合わせ先：臼田 知史（自然科学研究機構国立天文台）
usuda@naoj.org
3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）：自然科学研究機構 国立天文台長 常田 佐久
4. 計画規模：大型
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況：採択（2017: 学術大型研究計画（区分Ⅱ）、2020: 学術大型研究計画（区分Ⅰ））
6. 実施時期：2014 年度建設開始。2032 年度完成、2033 年度から共同利用
7. 必要経費および予算プロファイル
総建設費 26 億ドル（検討中）
日本の建設費 375 億円、建設期の国内経費（共同利用準備等） 40 億円
日本の分担および共同利用運用 年間 30 億円
8. 計画の概要
ハワイ島マウナケア山頂域に、国際共同科学事業として口径 30m の超大型望遠鏡 TMT を建設し、補償光学により可能となる宇宙望遠鏡を上回る解像度と、紫外線から中間赤外線までの幅広い波長域における比類ない感度を達成する。具体的には、従来の光学赤外線望遠鏡の 10 倍以上の集光力、3 倍以上の解像力、点光源に対し 100 倍以上の感度向上により、地球型系外惑星と生命の兆候探査、宇宙最初の天体の特定、ダークエネルギーの性質の解明、マルチメッセンジャー天文学の発展など、既存の望遠鏡では成し得ない研究を遂行し、人類の宇宙理解の飛躍的進展を果たす。日本は望遠鏡本体の製作・現地据付調整、主鏡分割鏡材の製造と研磨加工の一部、第一期観測装置の一部の製作といった枢要部分を担当する。建設期における日本の貢献割合に応じて配分される日本の観測時間を用いて大学共同利用を実施する。TMT 完成後も、最新の観測装置を順次搭載することにより、完成後 50 年にわたって天文学を牽引する基幹装置となる。2032 年度完成、2033 年度共同利用運用開始を予定している。
9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ
すばる望遠鏡をはじめとする口径 8-10m 級の地上望遠鏡や宇宙望遠鏡、さらにはアルマ望遠鏡等の活躍により、宇宙の理解は大きく進展したが、より大口径の光学赤外線望遠鏡でなければ実現できないフロンティアも明確になってきた。TMT は地球型系外惑星の姿を直接撮像すると共に、惑星の反射光や惑星大気を透過してくる星の光を分析することで地球型系外惑星の表面や大気の組成を調べ、酸素など生命に関連する物質の存在を探る。また、すばる・アルマ両望遠鏡が切り拓いた宇宙誕生から 5~10 億年後の時代の銀河の観測をさらに推し進め、これらの銀河の起源といえる宇

TMT 計画

宙で最初に誕生した星々による光をとらえて、初期宇宙の天体形成を解明する。さらに、超高精度分光観測で宇宙膨張を直接測定しダークエネルギーの性質に迫るとともに、国内外の重力波望遠鏡などと連携してマルチメッセンジャー天文学を展開し、高感度分光観測により宇宙における物質の起源を解明する。これらの研究の実施に当たっては、広視野探査能力をもつすばる望遠鏡と超高感度の TMT の一体運用により成果の最大化を図る。国立天文台は、TMT の実現によって、基礎研究・技術開発における国際共同研究を促進し、大学の教育研究水準の向上とグローバル化や人材育成に資する。また、最先端の科学研究成果を社会に還元するとともに、国民の自然科学への理解を深めることに貢献する。

10. 実施内容

日本・米国・カナダ・インド・中国の共同により望遠鏡建設と運用を担う TMT 国際天文台(TIO) を設立するため、2014 年に合意書を締結し、建設における各国の役割分担等を定めた。日本は自然科学研究機構がメンバー機関、国立天文台が実施機関として参加し、担当部分の製造を国内企業と共に推進するとともに、TIO の運用費を分担する。完成後の望遠鏡運用は TIO が主に行い、国立天文台はアルマ望遠鏡等での国際共同運用の経験を活かして国内の研究者コミュニティへの共同利用運用を実施すると共に現地運用を支援する。広視野探査能力をもつすばる望遠鏡と超高感度の TMT を一体化した科学運用体制を構築することで、日本の研究者による、両望遠鏡を活用した国際的競争力の高い研究の展開を実現する。

11. 現在までの準備状況

日本が担当する望遠鏡本体構造は詳細設計まで完了しており、速やかに製造を開始できる完成度に達している。これまでに主鏡分割鏡材の約 6 割を製造し、非球面研削・研磨加工の量産工程も進めた。第一期観測装置 IRIS で日本が担当する撮像部は詳細設計を完了しつつある。また、TMT による科学研究や科学運用計画、さらに第二期以降の観測装置の開発について研究者コミュニティと緊密に連携し継続的に検討を積んでいる。建設予定地ハワイで 2015・2019 年に計画した現地工事開始が反対運動により実施できず全体計画が遅延しているが、日本担当分については、上記取組のほか、製造準備及び、コスト増・スケジュール遅延につながる技術的リスクの低減に取り組んでおり、各国でも準備が進められている。TIO はハワイへの本部の段階的移転を決め、ハワイ州政府を始め関係機関と協力して事態の打開に取組み、国立天文台もこれに協力している。米国 Decadal Survey の結果を受けて、米国国立科学財団(NSF)の審査ののち、米国政府予算の投入を見込んでいる。既に NSF は、ハワイ現地で幅広い対話を中心とした準備活動を行っている。これらの活動を通じて地元社会での支持を拡大し、現地工事を早期に再開して、2032 年度の完成を予定している。

ngGONG

1. 計画タイトル

太陽観測次世代国際ネットワーク計画 ngGONG への参画

2. 問い合わせ先

勝川 行雄 (国立天文台, yukio.katsukawa@nao.ac.jp)

3. 想定される提案者 (計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等)

連携会員 (太陽研連から浅井氏または今田氏)

4. 計画規模: 中型 B

5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況

過去のマスタープランには提案していない

6. 実施時期: 以下は暫定スケジュールであり、今後関係機関と調整する。

2021-2024 年: 概念検討、設計、要素技術開発

2025-2027 年: ngGONG 搭載機器開発

2028 年-: 観測開始予定、太陽活動周期以上の継続的な観測を行う

7. 必要経費および予算プロファイル

国内における概念検討、設計、要素技術開発 (2021-2024 年): ~1 億円

ngGONG の日本担当分開発 (2025-2027 年): ~10 億円程度 (ngGONG の全予算規模は約 120 億円、装置コンポーネントを開発する程度の寄与を想定)

運用(維持費, 人件費, 2028 年以降): ~3000 万円/年

8. 計画の概要

太陽はその磁気活動によって地球を含む惑星間空間の電磁気的環境を左右する存在である。本計画の目的は、突発的太陽活動をとらえ、さらにはその予測をも行って宇宙天気研究に貢献することである。そのために ngGONG 計画に参画し、太陽全体を視野に収めつつ太陽大気の運動と磁場を十分な分解能で観測するとともに、磁場進化の数値計算により宇宙天気現象の予測を行う。

ngGONG は、米国で提案されている、世界各地 6 か所に太陽の全面観測を行う望遠鏡を配置することで、24 時間休みなく太陽を定常的に観測する、次世代の国際ネットワーク観測計画である。日本で培われた高度偏光観測技術や磁気流体力学計算技術をもとに、複数ある観測装置のひとつを日本側で担当する、観測サイトひとつを担当する、などいずれかの形でこれに参画することで、観測網を国際協力で実現することを目指す。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

太陽表面の爆発現象は、惑星間空間に影響を与え、時に地球への影響は文明社

会における災害の原因ともなりうる。このようないわゆる宇宙天気現象の予測を行うことは、現代の太陽物理学、太陽圏物理学、地球惑星圏物理学の重要課題である。太陽物理学においては、大口径太陽望遠鏡による高解像度観測に基づき磁場が引き起こす現象の物理素過程を理解する研究とともに、太陽全面の先進的観測に基づき、太陽圏、地球惑星圏の衛星・地上観測とも連携して、太陽-地球惑星圏の環境予測の研究に取り組む必要がある。そのような研究を基礎として各国で宇宙天気現象を災害の要因としてとらえ、その対策の検討が進められている中で、本計画の実現は一般社会に対しても重要な貢献をもたらすものである。さらに、磁場が引き起こす爆発現象は、規模の違いはあれ、太陽に限らず多くの恒星で共通して発生するものであり、太陽-地球惑星圏における詳細な観測研究を起点として、主星の磁気活動が系外惑星の環境に及ぼす影響を理解することにも貢献する。

10. 実施内容

国内体制: 国立天文台 (コンタクトポイント、ngGONG 機器開発), 京都大学 (機器開発), 名古屋大学 (モデリング研究、データ整備), NICT (宇宙天気予報)

米国: National Solar Observatory (NSO, ngGONG の実施機関)

観測方式・共同利用体制: 太陽フレアに代表される短期的太陽活動とともに、太陽活動周期を超える長期変動を記録するため、一定の観測方式で定常的な観測が行われ、その取得データはデータポリシーに従って広く公開される。運用体制は今後 NSO と検討する必要がある。

11. 現在までの準備状況

国立天文台・三鷹にある太陽フレア望遠鏡は、ngGONG において目指している近赤外線光球・彩層磁場測定を小規模ながら世界に先駆けて既に実現したものであり、2010 年から観測を継続している。また、科研費新学術領域研究「太陽地球圏環境予測(PSTEP)」を中心とした研究活動は、偏光観測用大フォーマット赤外カメラの開発(国立天文台)、彩層 3 次元速度場追跡の実現(京都大学)、ngGONG の前身である GONG の磁場観測データを用いた惑星間空間コロナプラズマ伝播予測の実装(NICT)など、装置開発から予測計算に至る広い範囲での宇宙天気関連研究の進展に結実しており、我が国はこの分野で先端的な位置にある。

ngGONG は NSO を中心に検討が進められており、Astro 2020 decadal survey に提出した white paper では国立天文台と京都大も Co-author として関わっている。NSO が ngGONG の設計検討を NSF へ提案した際に、国立天文台太陽グループから Letter of Interest を提出し、協力する意思を示した。今後 3-4 年かけて国内や米国と科学検討、装置設計を進め、分担を決めていく。

太陽 X 線ガンマ線観測衛星 PhoENiX

1. 計画タイトル

太陽 X 線ガンマ線観測衛星 PhoENiX

2. 問い合わせ先

成影 典之 (国立天文台) noriyuki.narukage@nao.ac.jp

3. 想定される提案者 (計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等)

日本学術会議連携会員： 観山 正見 (岐阜聖徳学園大学・学長)

4. 計画規模：大型

5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況

マスタープラン 2017 には提案していない。2020 には掲載された。

6. 実施時期

- ミッションコンセプト検討： 2018 年度～2021 年度
- ミッションコンセプト提案： 2022 年頃 (宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所による「公募型小型計画」の次回公募を想定)
- プロジェクト化審査期間： 2023 年頃～2025 年頃
- 基本設計、詳細設計、製作・試験： 2026 年頃～2032 年頃
- 打ち上げ (観測開始)： 2033 年頃
- 運用： 2033 年頃～2034 年頃 (ミッションライフタイム：2 年間)
- 延長運用： 2035 年頃～

7. 必要経費および予算プロファイル

衛星の製作、試験、運用のための予算は全額日本が負担。以下金額は概算。

- ミッションコンセプト検討： 2018 年度～2021 年度 - 1 億円
- ミッションコンセプト提案～運用： 2022 年頃～2034 年頃 - 150～180 億円
- 延長運用： 2035 年頃～ - 年間 1.2～1.5 億円

8. 計画の概要

PhoENiX 計画は、磁気リコネクションに伴う粒子加速の理解を科学目的とした衛星計画で、磁気リコネクションが引き起こす太陽フレアにおける粒子加速場所の特定、加速の時間発展の調査、加速の特徴の把握を目指す。そのための観測手法として、高いダイナミックレンジを確保した軟 X 線～硬 X 線の 2 次元集光撮像分光観測と、高精度の硬 X 線～軟ガンマ線の偏光分光観測を行う。これらの観測手法を用いた太陽フレア観測は、世界初の試みであり、高精度ミラーと高速度カメラ・高精度検出器を用いて実現する。衛星の打ち上げは、第 26 太陽活動周期の前半から極大期付近にかけて (2033 年

頃以降) を目指している。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

加速された粒子は宇宙空間の至る場所で観測されているが、その加速のメカニズムは未だ解明されていない。PhoENiX 計画は、太陽フレアを観測対象とし、太陽フレアに伴う粒子加速の理解を科学目的とした衛星計画である。太陽フレアは、宇宙空間において磁気リコネクションとそれに関連する現象の全容を空間・時間分解して観測できる唯一の観測対象である。この観測対象に対し、加速電子の検出に適したエネルギー帯（軟 X 線～硬 X 線帯域）において、空間・時間・エネルギー分解能を持つ観測を、世界に先駆けて行う。これにより、太陽フレアにおける粒子加速場所の特定、加速の時間発展の調査、加速の特徴の把握を目指す。

PhoENiX で得られる知見は、プラズマ環境の違い、観測手法の違いという点で、地球磁気圏や高エネルギー天体の観測で得られている粒子加速の知見と相補的である。これらの知見を合わせることは、統一的な粒子加速の理解の第一歩となり、高い学術的意義を持つ。この意義により、本計画を核の一つとして、粒子加速を研究する研究者による分野横断型のコミュニティが形成されつつある。

太陽フレアで発生する粒子加速により生成される高エネルギー粒子や X 線などの電磁波は、地球周辺の宇宙環境に大きな影響を及ぼす。本計画がめざす粒子加速過程の理解は、フレアによる宇宙天気変動の理解や影響の把握を通じて社会へ貢献し得る。

10. 実施内容

本計画は、衛星を用いた新機軸の太陽フレア観測を実現し、科学運用を通して粒子加速に関連する科学データを研究者コミュニティに提供、科学成果を創出するものである。

本計画は、太陽物理学、地球磁気圏プラズマ、高エネルギー宇宙物理、プラズマ実験室、工学の分野に所属する総勢約 60 名の研究者からなる分野間連携ワーキンググループが推進している。本計画は日本が立案、主導し、米国・スイスの研究者も参加する国際共同ミッションである。

11. 現在までの準備状況

PhoENiX 計画は、JAXA・宇宙科学研究所・宇宙理学委員会のもとに設置されたワーキンググループを母体として科学検討・ミッション検討・装置開発を実施している。また、PhoENiX を推進するメンバーによって NASA の観測ロケットを用いた実証実験も実施している（FOXSI シリーズ；2024 年に 4 回目の飛翔予定）。

以上

LiteBIRD

1. 計画タイトル

LiteBIRD — 熱いビッグバン以前の宇宙を探索する宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星

2. 問い合わせ先

羽澄 昌史 (東京大学・国際高等研究所・カブリ数物連携宇宙研究機構、高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所)、e-mail: Masashi.Hazumi@kek.jp

3. 想定される提案者 (計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等)

宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所長 國中 均

4. 計画規模：大型

5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況

マスタープラン 2017：計画番号 72、重点大型研究計画採択

マスタープラン 2020：計画番号 17、重点大型研究計画採択

6. 実施時期

現在—2022 年度：ミッション定義段階の活動を継続。キー技術の成熟度を高める

2022-24 年度：プロジェクト準備段階の活動を進める。開発・製造企業を選定。

2024-25 年度：プロジェクト実行段階に入り、基本設計を進める。

2025-26 年度：詳細設計を進める。エンジニアリングモデル試験実施。

2027-28 年度：フライトモデルの製作。

2028-29 年度：総合試験を行い、開発完了。衛星打ち上げ・初期運用。

2030-32 年度：L2 で 3 年間の全天観測を実施。

2033-35 年度：データ解析およびアーカイブ整備完了。解析結果発表。

7. 必要経費および予算プロファイル

準備期 (2026 年度まで)：120 億円

製作・試験期 (2027-29 年度)：160 億円

運用期 (2030 年度以降)：2030 年度は 5 億円、2031 年度以降は 3 億円/yr

総額：300 億円

注：LiteBIRD 計画は国際共同計画であり、上記金額はいずれも日本負担分のみ。

8. 計画の概要

LiteBIRD 計画は、インフレーション宇宙理論が存在を予言する原始重力波を世界に先駆けて観測し、代表的インフレーション宇宙理論を検証することを目的とする。そのために宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) という宇宙最古の光に着目する。原始重力波は CMB の偏光度分布に渦状のパターン (原始 B モード) を刻印する。これを検出するのが最も感度の高い原始重力波発見法である。原始 B モード発見のために、本計画では 2 種類 3 台の小型望遠鏡、超低温冷却系、多色高密度超伝導検出器を搭載した LiteBIRD 衛星を開発し、銀河系からの前景放射を分離するため、40GHz から 400GHz の周波数帯域を 15 バンドに分けてカバーする。太陽と地球のラグランジュ点 (L2) で CMB の偏光度を全天にわたり 3 年間精密に観測することで、原始 B モードの検出を目指す。国内では、JAXA、KEK、東大カブリ IPMU を始めとする研究機関・大学が協力し、海外では欧加米との広範な国際協力により計画を推進する。JAXA 戦略的中型ミッションとして、2029 年度の打ち上げを目指している。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

本計画は、宇宙論、素粒子論、天文学にわたる幅広い学術的意義を持つ。1)宇宙論：本計画の原始重力波観測により、代表的インフレーションモデルの多くが検証可能となる。原始重力波が検出されない場合は、代表的モデルが棄却され、宇宙論に深刻な打撃を与える。2)素粒子論：原始重力波の検出は、インフレーションの背後にある様々な量子重力理論候補（超弦理論など）を選別できる現在唯一の手段であり、重力理論と量子論の統一という素粒子物理最大の目標に対し大きな意義を持つ。3)天文学：銀河磁場の構造と起源、星間ダスト組成分布と整列機構、宇宙再電離史の詳細決定と再電離機構等の探求にユニークな情報を与える。

我が国では、10年ほど前より、KEKを中心としてCMB偏光観測の活動が急速に立ち上がり、地上観測では世界最高レベルの観測結果を出すところまで成長した。大気のゆらぎや全天観測の困難さのため、最終的には宇宙からの観測が必須である。欧米では、ここ10年以内に実現可能な衛星計画はなく、LiteBIRD計画が原始重力波の検出を10年以内に行う可能性のある世界で唯一の衛星計画であり、我が国が世界をリードできる格好の機会である。熱いビッグバンからわずか38万年後の宇宙を観測できるだけでも驚嘆すべき事であるが、LiteBIRDは、宇宙史を遙かにさかのぼり、ビッグバン（熱い火の玉宇宙）以前の信号の検出を目指す。これは国民に大きな夢と知的興奮を与える文化事業であり、社会的意義も高い。

10. 実施内容

実施機関は以下の通りで、合意に向けた調整が進んでいる。

- ・JAXA：衛星ミッション部及びバス部の開発、打ち上げ、運用、データアーカイブ、プロジェクト管理
- ・カブリIPMU：データ解析パイプラインの構築、偏光変調器の設計・開発
- ・KEK：低周波望遠鏡（LFT）の地上試験。LFT焦点面検出器アレイシステムの開発。
- ・CNES、ESA、ASI、UKSA、DRL：中高周波望遠鏡、極低温冷却系の開発。
- ・カルフォルニア大バークレー校、サンディエゴ校、コロラド大・マギル大・米国立標準技術研究所：TESボロメータと読み出しシステムの開発。

共同利用体制については、JAXA宇宙科学研究所にデータアーカイブが整備され、全世界の研究者に公開される。

11. 現在までの準備状況

JAXA宇宙科学研究所は、2019年にLiteBIRDを戦略的中型ミッションの2号機に選定した。宇宙科学研究所にLiteBIRDチームが編成され、海外機関とも協力して概念検討を進めている。国内の開発拠点としては、カブリIPMUで偏光変調器の試作モデルの開発が進められ、KEKではLFTの試験方法の検討と地上試験装置の概念設計が進められている。欧州では、CNESリードで中高周波望遠鏡の概念設計が進められている。米国では、まだNASAの参加の見通しがたっていないものの、カルフォルニア大を中心にTESボロメータの開発が進められている。このように、日欧加米の密接な協力のもとに準備を進めている。

(大口径太陽望遠鏡焦点面装置)

1. 計画タイトル：大口径太陽望遠鏡に搭載する赤外線偏光分光撮像装置
2. 問い合わせ先：
浅井歩、京都大学大学院理学研究科、asai@kwasan.kyoto-u.ac.jp
3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）：
マスタープランへの掲載を特に希望しないので該当しない
4. 計画規模：中型 B
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況：提案していない
6. 実施時期：以下は暫定スケジュールであり、今後関係機関と調整する。
2021-2024 年: 概念検討、設計、開発環境整備、要素技術開発
2025-2027 年: 大口径望遠鏡に搭載する装置開発
2028 年-: 観測開始予定(太陽活動周期(11 年)を超える運用を行う)
7. 必要経費および予算プロファイル：
2021-2024 年: 設計・要素技術開発 1 億円、DST 改修を含む開発環境整備 約 10 億円（いずれも人件費を含む）
2025-2027 年: 大口径望遠鏡用の赤外撮像分光装置開発：約 15 億円（人件費を含む）
運用（2028 年以降, 維持、人件費): 約 2000 万円/年
8. 計画の概要：
太陽は空間・時間分解した詳細な観測に基づき天体プラズマにおける物理素過程を探求できる唯一の天体である。中でも、口径 4m の太陽望遠鏡 DKIST(米国)に代表されるように、海外では大口径望遠鏡が推進されており、究極的な解像度と集光力が実現されつつある。これらに設置する次世代焦点面装置として近赤外線の広視野偏光分光撮像装置を開発することにより、プラズマ中の爆発現象と熱化のプロセスを解明することを目指す。開発には京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡(DST)を用いるが、DST の口径拡大を含めて環境を整備する。これらの計画を国際的なフレームワークで実現する。

(大口径太陽望遠鏡焦点面装置)

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ：

太陽外層にある高温プラズマを生み出すプロセスの理解は、「ひので」衛星に代表される高解像度多波長観測で進展した。しかし、その本質に関わる磁気流体波動や乱流の散逸、高速な磁気リコネクションの発現は、ある種のブラックボックスとして扱われてきた。この状況を打開するため、極めて高い解像度で太陽大気を偏光分光観測することで、プラズモイドの発現、磁気リコネクションにおける局所的な電場発生、加熱の非等方性など、磁気エネルギーの散逸を担う要素的プロセスを直接観測でとらえることを目指す。それを実現できるプラットフォームが太陽望遠鏡 DKIST に代表される大口径の海外太陽望遠鏡である。大口径望遠鏡に搭載する広視野偏光分光撮像装置を開発する基盤として、京都大学飛騨天文台の太陽望遠鏡 DST(口径 60cm)を活用する。DST では高い波長分解能の分光器によりユニークな分光・偏光観測を実施するとともに、大学天文台の望遠鏡として、京都大学をはじめとする国内大学の教育面で大きな役割を果たしてきた。大型装置を開発する上で現状の DST では不足している機能を補うため口径の拡大化を含めた改修を行う。

10. 実施内容：

大口径望遠鏡に搭載する広視野偏光分光撮像装置として、波長可変狭帯域フィルターと面分光装置の 2 方式を比較検討する。開発は京都大学と国立天文台と共同で行う。海外大口径望遠鏡として DKIST を主案とするため、DKIST の実施機関である米国・National Solar Observatory(NSO)や DKIST 装置開発の実績がある米国・ハワイ大学と High Altitude Observatory (HAO)と共同で検討を進める。ヨーロッパ、中国の大口径望遠鏡計画との連携の可能性もあるため情報共有を図る。現 DST では、国内外のユーザーに提案(プロポーザル)に基づく共同利用を行っており、本計画により DST 改修後の利用は従来と同様に共同利用で実施する予定である。

11. 現在までの準備状況：

これまでに、大口径望遠鏡での次世代焦点面装置のプロトタイプとして、撮像観測装置(UTF)の開発(京大)や赤外撮像分光装置、面分光装置の開発(京大・国立天文台)、偏光観測用大フォーマット赤外カメラの開発(国立天文台)を行い、またこれらの海外望遠鏡での設置・観測実績もある。DKIST については、2020 年に発出された最初の観測公募で日本の研究者を PI とする観測提案も複数採択されており、2021 年に観測データが得られる見込みである。大口径望遠鏡装置の国際共同開発では、観測装置パッケージの提供、装置の中の構成要素の提供などがあり得る。今後 3-4 年かけて国内や米国と科学検討、装置設計を進めつつ、分担をつめていく必要がある。

1. POEMMA (Probe Of Extreme Multi-Messenger Astrophysics)
2. 滝澤慶之、理化学研究所、takky@riken.jp
3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）
理化学研究所・光量子工学研究センター（調整中）
4. 計画規模：中型 B
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況
MP2020 では、最終的に申請を行わなかった。
6. 実施時期
提案中。NASA decadal survey で選考中となっている。2029 年頃の軌道投入を計画している。
7. 必要経費および予算プロフィール
総経費は、1000 億円（打上費用込）である。日本は、レンズ製造と焦点面検出器製造の一部を担当する。焦点面検出器は、国際 JEM-EUSO コラボレーションで、それぞれ分担する予定。
日本における予算は、米国での詳細設計審査以降に、総額 3.3 億円（レンズ製造 8,500 万円、焦点面検出器製造 16,000 万円、人件費(5 年間×2 名程度) 8,500 万円) と見積もっている。
8. 計画の概要
POEMMA (Probe Of Extreme Multi-Messenger Astrophysics)w ミッションは、Schmidt 望遠鏡をベースにした口径 4m の観測衛星 2 機によるステレオ観測ミッションで、宇宙線・ニュートリノを軌道上から観測し、超高エネルギーをもった宇宙線粒子の源を探索する。シカゴ大学の Angela V. Olinto 教授が推進する次世代の宇宙線観測の宇宙ミッションである。日本は、直径 3.3m の補正レンズの供給と焦点面検出器の製造に参加することを提案している。NASA decadal survey 等で選考が順調に進むと、2029 年頃の打ち上げとなる予定である。POEMMA の観測露出量は、地上で最大の Auger 観測装置の 20 倍以上と評価されており、全天で 10 個程度の点源検出が期待され

ている。また、初めて超高エネルギーニュートリノの検出・測定が期待できる。 τ ニュートリノがつくる上向きに発達する空気シャワーの蛍光光やチェレンコフ光の観測により、Cosmogenic なニュートリノの直接検出ができると期待される。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

Auger、TA の観測結果から宇宙線起源天体のヒントが見えてきたが、未だ統計不足のため起源天体の特定には至っていない。この統計不足を解決するため、POEMMA で、軌道上から超高エネルギー宇宙線観測をし、南天・北天を使った宇宙線到来方向異方性の研究を行う。POEMMA は、Auger、TA の両チームの研究者も参加して実現する全天観測国際天文台である。

10. 実施内容

POEMMA は、次に示す機関で実施する。米国は、シカゴ大学、コロラドスクールオブマイنز州立大学、アラバマ大学ハンツビル校、NASA である。欧州は、JEM-EUSO コラボレーションに参加している各国の大学・研究機関、各国宇宙機関が参加予定となっている。

国内における実施体制を以下に示す。

実施機関 理化学研究所・光量子工学研究センターで調整中

研究代表 調整中（理化学研究所）、責任者 滝澤慶之（理化学研究所）

体制は、K-EUSO の実施体制を母体に再編成を行う。

11. 現在までの準備状況

POEMMA の準備実験の位置付けである気球実験 EUSO-SPB2（2023 年飛揚予定）は、製造フェーズにある。EUSO-SPB2 は、POEMMA と同様の Schmidt 望遠鏡をベースとした光学系と焦点面検出器を用い、NASA の Super Pressure Balloon (SPB) により高度 40km から超高エネルギー宇宙線及びニュートリノ観測実験を行う。

LAPYUTA

1. 計画タイトル

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
Life-environmentology, Astronomy, and Planetary Ultraviolet Telescope
Assembly (LAPYUTA)

2. 問い合わせ先

土屋史紀・東北大学大学院理学研究科 tsuchiya@pparc.gp.tohoku.ac.jp

3. 想定される提案者

未定です。

4. 計画規模：大型

5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況

提案をしていません。

6. 実施時期

2021-2023 年 (Pre-phase A) Concept study, Mission definition study

2023-2024 年 (Phase A) Concept design & Project definition

2025-2026 年 (Phase B) Preliminary design & technology completion

2026-2027 年 (Phase C) Final design & fabrication

2028-2029 年 (Phase D) System assembly, integration and test, launch

2029-2031 年 (Phase E) Initial and nominal operations

7. 必要経費および予算プロファイル

計画の総費用は概算 170 億円と評価している。内訳は、望遠鏡部分の開発に 50 億円程度、バスシステムの開発に 50 億円程度（「ひさき」で使用された ISAS 小型科学衛星バスを想定）、打ち上げ費用に 45 億円程度（イプシロン S ロケットを想定）、地上試験・地上系システムに 10 億円程度、運用コストに 1 億円/年である。開発は日本国内で行い、海外機関のミッション機器の提供は予定していない。コストマージンは、開発コストの 10%、地上試験システムと打ち上げ・運用コストの 5%を考慮している。

8. 計画の概要

本計画は、天文学・太陽物理分野で培われてきた望遠鏡技術と太陽系科学分野で蓄積されてきた紫外線分光撮像技術とを融合し、2020 年代後半から 30 年代に世界最高レベルの感度と空間分解能をもつ紫外線宇宙望遠鏡を実現し、天文学と太陽系科学の喫緊の科学課題に取り組む。紫外線天文学は、ハッブル宇宙望遠鏡により大きく成長したが、銀河形成論や時間領域天文学に関して多くの未開拓の領域が残されている。本計画で、高解像度のサーベイ観測と機動的観測を実現し、未解決課題に適用することにより、紫外線天文学に新展開をもたらす。地球惑星科学分野では、氷天体の

地下海環境や地球型惑星の大気散逸は、惑星・衛星の生命存在環境の形成に関わる重要課題である。紫外線の分光と撮像によりこれらの課題に取り組み、太陽系の惑星・衛星と太陽系外惑星の生命存在可能環境を普遍的視座のもとに理解することを目指す。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

宇宙惑星科学分野では、太陽地球惑星の現状把握や宇宙における生命を育む環境の普遍的理解が大きな科学課題として挙げられている。本計画は氷天体と地球型惑星の大気散逸の観測から生命存在環境の形成過程を明らかにし、その知見の系外惑星への拡張を目指すもので、学術分野の方向性に合致している。天文学分野では、光学赤外線天文連絡会の2030年代将来計画検討においてレビューを受け、本計画を将来計画に位置づける活動を進めている。紫外線観測技術は太陽系科学、系外惑星科学、天文学と分野間をまたがる日本のキー技術といえるもので、高感度化などの要素技術を実証し、本計画で60cm級の独自宇宙望遠鏡に適用することで、LUVOIRなど将来の大型計画における日本の存在感を高めることにつながる。

10. 実施内容

本計画はJAXA宇宙科学研究所の公募型小型計画での実現を想定している。実施機関は宇宙科学研究所である。本計画の検討チームは、これまで地球周回の宇宙望遠鏡および惑星探査機の科学観測に従事してきた太陽系科学、惑星科学分野、光学・赤外線天文分野の研究者を主として構成されている。2021年4月時点で14機関、36名の研究者が参加しており、2013年に打ち上げられた地球周回の宇宙望遠鏡「ひさき」、2018年に打ち上げられた「BepiColombo MMO」をはじめ、宇宙機のプロジェクトを経験した研究者を多数含む。共同利用については、科学チームを設置し、定期的に会合を開催して短期～長期観測計画を決定する。また公募観測期間を設けることを検討する他、観測データは一定期間経過後に公開し、広く研究機会を提供する。

11. 現在までの準備状況

2018年から惑星分光観測衛星「ひさき」のメンバーを中心に太陽系科学分野の検討を開始し、主鏡口径60cmクラス、空間分解能:0.1秒角クラス、波長範囲115nm-190nmの紫外線望遠鏡が必要との結論となった。2019年より天文学、系外惑星、太陽・恒星分野の研究者が参加し、光赤天連2030年代将来計画検討ワーキンググループ計画白書でレビューを受けている。2020年12月に宇宙科学研究所 公募型小型計画検討ワーキンググループの設置が承認され、ミッション立案に向けた概念検討を開始している。

GREX-PLUS

1. 計画タイトル：GREX-PLUS
(Galaxy Reionization EXplorer and PPlanetary Universe Spectrometer)
2. 問い合わせ先：井上昭雄、早稲田大学、akinoue@aoni.waseda.jp
3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）：未定
4. 計画規模：大型
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況：提案なし
6. 実施時期
2020-2021 JAXA 宇宙科学研究所宇宙理学委員会 Research Group (RG)
2022- JAXA 宇宙科学研究所理学委員会 戦略的中型 Working Group (WG)
2025- ミッション提案、2030 年代中盤 打ち上げ
ミッション期間 5 年、延長期間 5 年以上目標
7. 必要経費および予算プロファイル
400 億円(JAXA 宇宙科学研究所 戦略的中型科学衛星枠)
小規模な国際協力も検討中
8. 計画の概要
近中間赤外線広視野カメラと中間赤外線高分散分光器を搭載した口径 1.2m 級宇宙望遠鏡 GREX-PLUS により、地上観測では到達できない高感度を実現し、銀河形成進化論および惑星系形成論を革新する。広視野カメラは、波長 3-10 ミクロン帯の超広視野探査を実施し、初期宇宙の希少な明るい「初代銀河」を発見する。さらに、銀河系の 100 分の 1 の質量を持つ「ビルディングブロック」を宇宙史の 95% にわたって観測する。これにより、銀河の形成と成長過程を解明する。高分散分光器は、分子分光学の指紋領域とされる波長 10-20 ミクロン帯で波長分解能 30,000 という機能を持ち、星間分子分光の新しい扉を開く。銀河系内の原始惑星系円盤の「スノーライン」の位置を特定し、惑星系形成過程を解明する。さらに、太陽系内外の惑星大気分子の観測から、惑星生命圏研究を開拓する。
9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ
21 世紀の宇宙物理・天文学における重要課題は、銀河の形成進化と惑星系の形成進化の解明である。GREX-PLUS はこれらに真正面から取り組む計画である。GREX-PLUS 広視野カメラによる波長 3-10 ミクロン帯で行なう超広域探査は、従来の NASA/Spitzer 宇宙望遠鏡、あるいは、今後実施される James Webb 宇宙望遠鏡による探査に比べて、100 から 1,000 倍以上面積が広い。NASA/Roman 宇宙望遠鏡の超広域探査は波長 2.3 ミクロンまでに限られるため、GREX-PLUS の波長 3 ミクロン以上での探査で初めて見つかる学術的価値の高い天体が多数予想される。例えば、宇宙膨張による赤方偏

移のため、初代銀河は Roman の波長では原理的に観測できず、これらの発見には波長 3 ミクロン以上に感度を持つ GREX-PLUS が不可欠である。塵に深く埋もれた大質量ブラックホールや、宇宙最初期の銀河系ビルディングブロック、超高輝度超新星、初代星超新星などもそうである。

GREX-PLUS 高分散分光器は、宇宙望遠鏡で初めて波長分解能 30,000 という真にユニークな機能を持つ。分子分光学の指紋領域とも言われる波長 10-20 ミクロン帯に感度を持ち、原始惑星系円盤スノーラインの同定、太陽系天体の H/D 比の測定と地球の海の起源の解明、太陽系外惑星大気分光による物理化学状態の解明など、他に類のない星間および惑星大気分子分光学を展開することができる。また、遠方宇宙の明るい活動銀河核を背景光源とした銀河間分子ガスの観測、活動銀河核の禁制線観測による微細構造定数の時間変化の高精度測定も可能である。

また、GREX-PLUS が提供する波長 3-10 ミクロン帯の高感度、高角度分解能の超広視野画像データと、波長分解能 30,000 という中間赤外線高分散分光データは、天文学のあらゆる分野で活用され、さまざまな革命的発見をもたらすと期待できる。未知の天体や現象の発見も当然これに含まれる。

GREX-PLUS は、SPICA で培われた冷却宇宙望遠鏡技術と、すばる望遠鏡で世界をリードしてきた超広視野遠方宇宙探査の融合により、日本の光赤外線天文コミュニティの総力を結集する計画となる。ここで蓄積した技術と経験は、将来の超大型宇宙望遠鏡時代に向けての足掛かりとなる。

10. 実施内容

JAXA 宇宙科学研究所戦略的中型計画として実施する計画。全国の大学の研究者も参加しコンソーシアムを構成する。広視野サーベイ観測、高分散分光ターゲット観測の 2 つのモードを持つ。得られたデータはコンソーシアムで共有し、一定期間後、世界に公開される。小規模な国際協力も検討中である。

11. 現在までの準備状況

JAXA 宇宙科学研究所戦略的中型 WISH Working Group をベースに、2020 年 1 月に G-REX Research Group を立ち上げ、口径 1.2m 級近赤外線広視野宇宙望遠鏡を検討してきた。科学目的の具体化と定量化、超広視野深宇宙探査パラメータの同定などを行なった。また、口径 1.2m で視野 0.4 平方度以上を確保できる光学系の成立性を確認した。昨年度の光学赤外線天文連絡会 2030 年代将来計画 White Paper 審査において、日本主導の計画として最高評点を獲得した。そして、SPICA の検討で 20 年にわたり蓄積してきた宇宙望遠鏡用冷凍機技術を活かして技術的検討課題を克服し、中間赤外線高分散分光器を搭載して科学的機能が強化された GREX-PLUS 計画にバージョンアップした。SPICA 冷凍機を搭載した熱設計、広視野カメラの波長 5-10 ミクロン帯への拡張、衛星寿命、データ転送量などの検討を行ない、全体的な開発運用コストの見積もりも行なった。実現性が十分に高い計画である。

大型サブミリ波望遠鏡 LST

1. 計画タイトル：大型サブミリ波望遠鏡 LST
2. 問い合わせ先：河野孝太郎（東京大学）kkohno@ioa.s.u-tokyo.ac.jp
3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）：未定
4. 計画規模：大型
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況
2020 に学術大型研究計画（区分 I）として採択（計画 No. 80）
6. 実施時期
2020 年代後半の建設開始、2030 年代半ばまでの初期科学運用開始を目指す。科学運用期間は 20 年以上を目標とする。
7. 必要経費および予算プロファイル
本計画は欧州が主導する AtLAST 計画との統合を予定しており、所要経費について今後さらに国際共同での検討を進める必要があるが、現時点において日本側が想定する建設費総額は約 300 億円である。このうち日本からは、建設費および運営費に対して、アルマにおける日本分担分と同水準の約 20%（建設費 60 億円、年間運営費 3 億円規模）の分担を目指す。
8. 計画の概要
ミリ波サブミリ波帯において、広い視野（1 度角以上）・広い波長域（100 GHz 幅以上）を一挙に観測可能な大口径（50m）単一鏡を南米チリに建設し、アルマとは相補的なディスカバリー・スペースを開拓する。特に、超伝導検出器の劇的な技術的進展を活用し、大規模な超広帯域分光撮像装置を開発してミリ波サブミリ波帯輝線銀河の広域 3 次元探査を行い、また既存のミリ波サブミリ波撮像装置と比較して 4 桁以上探査能力が高い広域撮像カメラでミリ波サブミリ波帯での時間領域天文学を本格的に開拓する。
9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ
近年アルマを使って酸素イオン輝線の観測を行うことにより、最遠方銀河の分光赤方偏移記録が塗り替えられているが、これらの結果は、宇宙開闢後わずか 3 億年弱（赤方偏移 ~ 15 ）の時代に、「最初期の星生成銀河」がすでに誕生していたことを示唆している。ミリ波サブミリ波帯での広域かつ高感度な分光撮像探査は、希少な最初期の星生成銀河を見出す有力な手段であることが理論的に予測されつつあり、LST 計画は、酸素イオン輝線や γ 線バースト逆行衝撃波をプローブとしたユニークな手段により、このフロンティアに切り込む。また、この波長帯で観測されるスニヤエフ・ゼルドビッチ（SZ）効果は、宇宙の構造形成に伴うガス加熱・冷却過程のユニークな研究手段、特に高赤方偏移宇宙に強い手段である。この他、アルマと Planck・LiteBIRD 等スペースからの偏波観測をつなぐ空間スケールでの星間磁場構造とその星形成での役割の全貌解明、星生成初期段階の物理的および化学的多様性と普遍性の研究、宇宙再電離期のキューサー前駆体

大型サブミリ波望遠鏡 LST

や放浪する中質量ブラックホールの探査、および高頻度サブミリ波 VLBI 観測の実現によるブラックホール科学への貢献、超新星残骸に付随する分子雲の広域観測に基づく宇宙線研究、長期間分光観測モニターによる太陽系惑星の突発的あるいは長期的気候環境変動の研究など、新たな切り口の開拓により、天文学・天体物理学・惑星科学の幅広い発展に寄与する。

10. 実施内容

実施機関・実施体制は検討中である。国内実施機関の候補としてはアルマの運用を担う国立天文台がまず挙げられるが、国際協力の枠組みがどのようなものになるか、その形態に応じて、適切な実施機関・体制の構築を進める必要がある。当面は、国立天文台内において、新規の萌芽的プロジェクト候補としての提案を行い、こうした枠組みのもとで国立天文台において実施する可能性の検討や合意形成を進める。このほか、東京大学などの大学が主導する体制の可能性も検討している。LST 計画は、そもそも日本発の構想であるが、その後、同様のコンセプトの望遠鏡である AtLAST 計画が欧州主導で立案されるなど、次世代大口径サブミリ波望遠鏡を求める世界的な潮流へと発展してきた。ASIAA（台湾）との協力についても議論が継続されている。我が国は野辺山宇宙電波観測所やアルマ計画の実現を通して培ってきた超伝導デバイス技術や高精度大型アンテナ技術を活かした形で参画し、望遠鏡構造や焦点面観測装置など計画の根幹をなす部分において、独創性の高い新手法による貢献を行う。

11. 現在までの準備状況

競争的資金をベースとした要素技術開発を、国立天文台が運用するサブミリ波望遠鏡 ASTE や野辺山 45m 電波望遠鏡、またメキシコの大型ミリ波望遠鏡 LMT や ASIAA が主導するグリーンランド望遠鏡 GLT 計画等と連携しつつ進めている。特にミリ波補償光学の創出とその実証、多色撮像カメラの開発・評価、オンチップ型超広帯域分光システム DESHIMA の提唱と世界に先駆けた天体信号による実証成功、また統計数理科学の進展を活かした新しいデータ解析手法の提唱など、独自性の高い成果を挙げている。その一端は 2020 年 12 月に国際会議 SPIE にて発表した。2021 年 3 月には国立天文台研究集会を開催し、100 名を超える参加者とともに 2030 年代を見据えて取り組むべき諸課題および技術開発の展望を議論することができた。2021 年 9 月の日本天文学会秋季年会においては、南極テラヘルツ望遠鏡計画と合同での企画セッション開催が認められ、さらに幅広くコミュニティーとの議論を行うことになっている。欧州側では欧州研究評議会（ERC）予算の獲得に成功し、2021 年 3 月から 3 年計画で望遠鏡の設計を含む重点 6 項目の詳細検討ワーキンググループを組織して計画の具体化が開始された。<https://www.lstobservatory.org/> も参照されたい。

(ngVLA)

1. 計画タイトル：次世代大型電波干渉計 ngVLA

2. 問い合わせ先：

百瀬宗武(茨城大学理工学研究科) munetake.momose.dr@vc.ibaraki.ac.jp

3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）

自然科学研究機構・国立天文台

4. 計画規模：大型

5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況

2017 は応募なし。2020 で学術大型研究計画(区分 I)に掲載(計画 No.86)。

6. 実施時期

米国の Decadal Survey Astro2020 の審査を経て、2021 年に装置設計フェーズに移行し、2024 年には設計が完了する。翌年の 2025 年に建設を開始し、2028 年に初期科学運用として部分的に観測装置を公開し、2034 年の本格運用の開始を目指す。2054 年までの運用を予定している。

7. 必要経費および予算プロファイル

国際計画全体での総建設予算額は約 2300 億円(1 ドル 100 円換算)で、年間運用費は約 93 億円である。内、日本が支出する総建設予算額は(10-20%を想定) 230-460 億円、年間運用費は 9.3-18.6 億円程度である。

8. 計画の概要

次世代大型電波干渉計 ngVLA は、米国国立電波天文台(NRAO)を中心に検討されている大型計画である。口径 18m の高精度アンテナを 300-1,000km の範囲に 214 台設置し、稼働波長帯(約 25cm から 2.6mm)において、既存装置に比べて 10 倍以上の高い感度と空間分解能を実現する。また、広がった放射を検出する短基線アレイ・単一鏡や超長基線干渉法(VLBI)のための 10,000km 基線の追加も検討されている。ngVLA は汎用型望遠鏡であり、ALMA と同様、出資国に対して開かれた共同利用で運用される。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

次の 5 つの主要テーマを設定する。(1)太陽系のような惑星系の形成過程、(2)生命・惑星系誕生に対する初期化学条件、(3)宇宙誕生後数十億年から現在に至る銀河の形成進化、(4)銀河系中心領域のパルサーによる重力理論の検証、(5)マルチメッセンジャー天文学を通じたブラックホールの形成進化。この波長帯での観測が最も有効な、円盤内域の岩石惑星形成領域を見

(ngVLA)

通した惑星探索や、アンモニアや大型有機分子輝線による星間化学などの展開が期待できる。ALMA が得た成果を飛躍的に発展させ、将来の太陽系内探査ともシナジーがある。系外銀河からは、星の材料である低温ガスやブラックホール周辺からの放射を検出し、他の観測装置との協調により、銀河進化に関わる幅広い現象を探究する。ngVLA は我が国が ALMA 以前から注力してきた波長帯における次世代装置であるため、それ以外にも独自の観点から様々なテーマの提案がある。技術面でも、ALMA で培われた広範な開発要素を背景に、アンテナ製造や高精度な周波数標準の分配等、我が国が分担可能な項目が多数あり、産業界への波及効果が期待できる。

10. 実施内容（実施機関・体制（国際協力等を含む）、共同利用体制）

米国 NRAO が計画を主導する。我が国においては国立天文台が建設と科学運用の中心となる機関である。国立天文台は、ALMA での開発実績を踏まえ、複数の主要なコンポーネントの開発を担当し得る技術的な実績を有しており、ALMA と同様な高い水準での国際協力を行う。また運用面では、国立天文台が国内の共同利用窓口となり、コミュニティの観測提案を受け付け、評価委員会による審査を経て採択課題を決定する形態を想定している。ALMA と同様に広範なユーザー支援を行い、国内の大学との共同科学研究を積極的に推進する。

11. 現在までの準備状況

米国では 2018 年に Astro 2020 へ申請された。日本では 2019 年 4 月に国立天文台 ngVLA 検討グループを設置した。国際研究会を 2019 年 9 月に主催し、近隣諸国からの参加者を含め約 100 名が参加した。2020 年度には日本独自の科学検討推進母体として 5 つの作業部会を設け、計 14 回のオンライン会合を行った。その成果は英文科学記事 29 編にまとめられ、ngVLA-Japan ウェブサイト (<https://ngvla.nao.ac.jp>) にて公開した。2021 年日本天文学会春季年会では科学的展望を議論する企画セッションを開催し、168 名が参加した。国際協力の枠組みでは、日本の大学・機関の研究者が科学・技術の両諮問委員会に参加している。また国立天文台は、過去の実績を通じて築かれた信頼関係を礎に NRAO と協力協定を結び、アンテナ、フロントエンド、高精度周波数標準の伝送等の検討を進めている（一部の日本の貢献案は暫定的に合意済）ほか、システム要求審査や単一鏡観測機能の仕様策定に参加・貢献している。建設時には、国立天文台が民間企業を含む国内コミュニティと共同開発した技術が活かされると期待される。

(宇宙重力波望遠鏡 B-DECIGO)

1 計画タイトル:

宇宙重力波望遠鏡 B-DECIGO

2 問い合わせ先

安東正樹 (東京大学 理学系研究科)

E-mail: ando@phys.s.u-tokyo.ac.jp

3 想定される提案者

未定

4 申請分類: 大型

5 マスタープラン 2017, 2020 への採否状況

2017: 不採択, 2020: 未提出

6 実施時期

- 2021 - 2024 年 ミッション検討, 根幹技術開発.
- 2025 - 2028 年 プロジェクト開始, 基本設計・詳細設計
- 2029 - 2031 年実機製作.
- 2032 年 打ち上げ, 観測開始.

7 必要経費および予算プロファイル

総経費 500 億円

宇宙機製作・打ち上げ経費 390 億円,

根幹技術開発・地上実証試験 60 億円

観測・宇宙機運用 50 億円

8 計画の概要

100km 離れた 3 機の宇宙機によって長基線レーザー干渉計を構成することで, 0.1Hz 付近の重力波を観測する宇宙重力波望遠鏡. 強重力・高密度天体からの重力波の観測によって, 時空構造・銀河形成・高エネルギー天体現象の解明を目指す. 地上重力波望遠鏡や電磁波望遠鏡では探ることができない独自の観測や相補的な観測を行い, 人類の宇宙に対する知見を拡大させる. JAXA/ISAS の中型衛星ミッションとしての実現を見込む.

9 学術的意義, 当該分野・社会等での位置づけ

非常に強い透過力をもつ重力波を用いて宇宙を観測することで, 従来行われてきた電磁波による観測では得られない新たな知見を, 人類にもたらすことが期待できる. 本計画の B-DECIGO は主に 0.1Hz 付近の重力波信号を観測する. これは, 米国の LIGO や国内の KAGRA といった地上重力波望遠鏡(100Hz 付近)と, 欧米の宇宙重力波望遠鏡 LISA (1mHz 付近)の中間の観測周波数であり, 独自の観測や相補的な観測によって宇宙の誕生や成り立ちを探ることを可能にする. 連星中性子星からの重力波観測では, 連星合体の 1

(宇宙重力波望遠鏡 B-DECIGO)

年程度前から信号を捕え、位置や合体時刻、天体質量といった情報を事前に与えることが可能になる。これによって、地上重力波望遠鏡や、電磁波望遠鏡にアラートを与え、合体の瞬間の観測を促すことを可能にする。また、中間質量ブラックホール連星の合体現象の観測は、電磁波など他の手段でとらえることが困難な独自の観測対象である。宇宙全体の合体現象をとらえることが期待でき、その統計的性質から、銀河中心にある超巨大ブラックホールの形成の謎に迫ることを可能にする。中性子星・白色矮星からなる多くの連星系に起因する前景重力波は、初期宇宙からの重力波観測を妨げる要因になり得る。そこで、その性質を観測によって明らかにし、将来のより本格的な観測のための知見を本計画で得る。

国内の重力波分野では、現在建設が進められている地上重力波望遠鏡 KAGRA を第一優先としている。そして、その後の計画として本提案の宇宙重力波望遠鏡 B-DECIGO で重力波天文学を発展させる、というコンセンサスが得られている。海外では、欧州宇宙機関 (ESA) を中心に宇宙重力波望遠鏡 LISA を 2034 年ごろに打ち上げる計画が進められている。LISA は 1mHz 付近を観測周波数帯としており、0.1Hz 帯を観測する本計画とは相補的な科学的知見が期待できる。

10 実施内容

実施機関は未定であるが、東京大学 理学系研究科を中心機関として推進し、JAXA 中型衛星ミッションの枠組みで実施する体制を想定する。科学的価値の検討やミッション要求、ミッション部や搭載機器の設計は、京都大学、東京大学、国立天文台、電気通信大学、法政大、JAXA などの研究者を中心とし、国内約 100 名のコラボレータによって計画を進める。国際協力も想定するが、現時点では確定していない。

11 現在までの準備状況

2001 年に DECIGO 計画が提案されてから検討が始められた。2006 年からは、JAXA 宇宙理学委員会のもとで小型科学衛星 DPF(DECIGO Pathfinder) ワーキンググループを組織し、検討・開発を継続。具体的な科学的意義・ミッション要求・システム要求の検討、および、根幹搭載機器の開発を進めた。2007 年と 2013 年の小型科学衛星公募の際にはミッション提案している。それと並行して、2009 年には相乗り衛星を活用した宇宙実証も行い、信号処理システムや宇宙における非接触制御技術を確認した。

2016 年、LIGO による重力波初観測の結果を受けて、本提案の宇宙重力波望遠鏡 B-DECIGO を中型衛星計画として再定義した。DPF ワーキンググループを DPF を発展的に解消し、単体で大きな科学的成果が期待できるものとして検討を進めている。

宇宙重力波干渉計 LISA への参加

1. 計画タイトル

宇宙重力波干渉計 LISA への参加

2. 問い合わせ先

和泉究 (JAXA 宇宙科学研究所), kiwamu@astro.isas.jaxa.jp

3. 想定される提案者 (計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等)

未定

4. 計画規模：中型 B

5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況

未提出

6. 実施時期

■ 2019-2022：機器開発検討

■ 2023-：搭載機器フライトモデル製造・試験・納入

■ 2034-：打ち上げ，科学運用開始

■ 2035-2039：観測 (4年間)

7. 必要経費および予算プロファイル

総経費 12 億ユーロ，うち日本負担分 10 億円程度

■ 機器開発検討：1 億円

■ 搭載機器フライトモデル：10 億円

■ 観測運用 (4年間)：数 1,000 万円

8. 計画の概要

LISA(Laser Interferometer Space Antenna)は、地上では観測の難しい mHz 帯の低周波数重力波に感度を持つレーザー干渉計型スペース重力波検出器計画である。ESA の大型計画シリーズの 1 つとして現在 ESA を主体に国際協力のもと開発が進められている。本ミッションでは、3 機の人工衛星を 1 辺 250 万 km の正三角形の頂点にくるよう軌道配置し、その人工衛星間で交換し合うレーザー光の位相情報から重力波を観測する。本ミッションに対して、10 名程度の国内研究者からなる LISA Japan Instrument グループが搭載機器コンポーネントの開発と供給を目指している。

9. 学術的意義、当該分野・社会等での位置づけ

KAGRA, LIGO といった地上重力波検出器が 100 Hz 帯に感度を持つのに対し、LISA は 1mHz 帯の重力波観測に特化している。したがって LISA は、地上検出器では観測の困難な超大質量ブラックホールの衝突合体や天の川銀河に分布するコンパクト連星系 (特に白色矮星連星を含む系) などが主たる観測対象となる。これらの観測を通じて、重力理論およびブラックホール

宇宙重力波干渉計 LISA への参加

周辺時空構造の詳細検証, 重力波源を標準音源とした宇宙論パラメタの測定, ブラックホール進化過程の解明, 電磁波観測との協働による連星系の周辺環境理解といった科学成果の創出が期待されている。

LISA はこのように地上検出器とは周波数帯が異なるため、得られるサイエンスも異なる。同様に、現在日本で考えられている宇宙重力波望遠鏡コンセプト DECIGO (100 mHz 付近に感度) と周波数帯が異なり、これらの計画間で周波数帯による住み分けができています。

10. 実施内容

LISA Japan Instrument グループは、JAXA 宇宙科学研究所・宇宙理学委員会内に設置された LISA Working Group を母体に機器開発検討活動を実施している。Working Group 提案時メンバは 11 名で、JAXA 宇宙科学研究所のほか国立天文台・東大・電通大などからの研究者で構成される。活動の主眼は、低雑音広帯域フォトレシーバと呼ばれる搭載機器の開発供給にしばっており、2022 年前後を目処に JAXA 戦略的海外共同ミッションとして、LISA 計画へ機器提供貢献を提案することを目指している。

11. 現在までの準備状況

LISA Japan Instrument グループでは、複数の機器開発貢献の可能性を検討してきた。その結果、我が国の技術的な強みを生かすことができる貢献項目として、フォトレシーバの開発にエフォートを一本化した。2019 年度より試作機の製作・試験を通じた実験的検討を開始し、これまでにミッションクリティカルとなる雑音性能・帯域性能に対して、地上実験室において達成の見込みが得られつつある。

本開発はインターフェースとなる欧州グループ（蘭・独・英・仏・白）と情報を共有しながら進められており、LISA Japan Instrument グループの開発状況は LISA consortium へ迅速に報告されている。2021 年冬期を目処にフォトレシーバの供給担当国候補を明確化することが想定されており、今後はこれに向けた国際調整および、国内での JAXA 戦略的海外共同ミッション提案準備を進めていく見通しである。