

2025年度 融合研究戦略課題 目次詳細

2025 Interdisciplinary Research Strategy Projects

List

13 件

*所属は2026年3月現在

*Affiliation displayed are current as of March 2026.

整理番号 No.	研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	受入責任教員 Responsible Faculty	フェーズ/ 型 Phase/ Type	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
1	内海志典	岐阜大学	教育学部	檜山哲哉	Sta / See	不確かな社会を生き抜くための意思決定能力の育成を志向した気候変動のカリキュラム開発	437	
2	松尾太郎	名古屋大学	理学研究科	三野義尚	Sta / See	緑の海仮説における検証: 薩南諸島硫黄島海域における光環境と光合成生物分布の計測	439	
3	Carlos MENDEZ	名古屋大学	国際開発研究科	高橋暢宏	Fol / -	持続可能な開発のモニタリングのための衛星データと社会経済データの統合	441	
4	伊藤早苗	名古屋大学	人文学研究科	早川尚志	Sta / Str	天文古記録データレスキューの予備研究	443	
5	持田陸宏	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	持田陸宏	Fol / -	宇宙開発に伴う大気汚染評価	445	
6	田中幸恵	名古屋大学	附属図書館	三好由純	Sta / See	デジタルデータを活用した文理融合研究の可能性検討	447	
7	門脇誠二	名古屋大学	博物館	南 雅代	Fol / -	元寇金属器の地球化学分析・年代測定:「コンクリーション考古学」の展開に向けて	449	
8	中澤知洋	名古屋大学	素粒子宇宙起源研究所	三好由純	Sta / See	アルベドの融合科学～国際宇宙ステーションから探るアルベドX線・ガンマ線・中性子線～	451	
9	福田努	名古屋大学	高等研究院	加藤 文典	Sta / See	超高解像度・素粒子顕微鏡技術による岩石中の放射性元素の空間分布測定	453	
10	菅野里美	名古屋大学	高等研究院	田島宏康	Sta / See	CMOSイメージセンサーを利用した生細胞内元素トレーサイメージングシステムの構築	455	
11	市原寛	名古屋大学	環境学研究科・地震火山研究センター	石井守	Sta / Str	Magnetotelluric法による地下探査への宇宙天気情報の活用	457	
12	村瀬建	岐阜大学	工学部	水野 亮	Sta / Str	岐阜大学における冷却実験拠点の構築とミリ波・サブミリ波帯における高精度観測の実現	458	
13	橋口未奈子	名古屋大学	環境学研究科	加藤 文典	Sta / Str	隕石観察による過去～現在の宇宙環境および太陽活動の変動の理解と暗黒物質の探索	459	

※ フェーズ Sta:スタートアップフェーズ・Fol:フォローアップフェーズ、

※ タイプ Str:ストラテジー型・See:シーズ型

2025年度 融合研究戦略課題 目次詳細

2025 Interdisciplinary Research Strategy Projects

List

13 proposals

*所属は2026年3月現在

*Affiliation displayed are current as of March 2026.

No.	Principal Investigator	Affiliated Institution	Affiliated Department	Responsible Faculty	Phase/ Type	Research Project Title	頁 Page	備考 Remarks
1	UTSUMI Yukinori	GIFU Univ.	Faculty of Education	HIYAMA Tetsuya	Sta / See	Development of a climate change curriculum oriented to the development of decision-making skills to survive in an uncertain society	437	
2	MATSUO Taro	NAGOYA Univ.	Graduate School of Science	MINO Yoshihisa	Sta / See	Green sea hypothesis: Measurement of light environment and phototrophs under water around Iwo island	439	
3	Carlos MENDEZ	NAGOYA Univ.	Graduate School of International Development	TAKAHASHI Nobuhiro	Fol / -	Integrating satellite and socioeconomic data for monitoring sustainable development	441	
4	ITO Sanae	NAGOYA Univ.	Graduate school of humanities	HAYAKAWA Hisashi	Sta / Str	Feasibility Study of Data Rescue for Old Astronomical Records	443	
5	MOCHIDA Michihiro	NAGOYA Univ.	ISEE	MOCHIDA Michihiro	Fol / -	Investigation of Air Pollution Associated with Space Developments	445	
6	TANAKA Sachie	NAGOYA Univ.	University Library	MIYOSHI Yoshizumi	Sta / See	Investigation of the possibility of interdisciplinary research of humanities and sciences using digital data	447	
7	KADOWAKI Seiji	NAGOYA Univ.	University Museum	MINAMI Masayo	Fol / -	Geochemical analysis and radiocarbon dating of metal weapons from Mongol invasions to Japan: Towards the establishment of "concretion archaeology"	449	
8	NAKAZAWA Kazuhiro	NAGOYA Univ.	Kobayashi Maskawa Institute	MIYOSHI Yoshizumi	Sta / See	Space-Earth Science fusion on Albedo X/Gamma rays and Neutrons observed from ISS	451	
9	FUKUDA Tsutomu	NAGOYA Univ.	Institute for Advanced Research	KATO Takenori	Sta / See	Measurement of the spatial distribution of radioactive elements in rocks using ultra-high-resolution elementary particle microscopy technology	453	
10	KANNO Satomi	NAGOYA Univ.	Institute for Advanced Research	TAJIMA Hiroyasu	Sta / See	Application of CMOS image sensors to element imaging systems in living cells	455	
11	ICHIHARA Hiroshi	NAGOYA Univ.	Earthquake and Volcano Research Center	ISHII Mamoru	Sta / Str	Utilization of space weather information in underground exploration using magnetotelluric method	457	
12	MURASE Takeru	GIFU Univ.	Faculty of Engineering	Mizuno Akira	Sta / Str	Establishing a cryogenic experiment facility at Gifu University and investigating high-precision millimeter and submillimeter-wave observations	458	
13	HASHIGUCHI Minako	NAGOYA Univ.	Graduate School of Environmental Studies	KATO Takenori	Sta / Str	Understanding of the past and present space environment and solar activity using observation of meteorites and the search for dark matter	459	

※ Phase Sta : Start-up Phase Fol: Follow-up Phase

※ Type Str: Strategy Type See: Seeds Type

(別紙様式-4)

不確かな社会を生き抜くための意思決定能力の育成を志向した気候変動のカリキュラム開発
Development of a climate change curriculum oriented to the development
of decision-making skills to survive in a uncertain society

内海 志典 岐阜大学教育学部

【研究目的】

本研究の目的は、気候変動に関するカリキュラム開発を行い、大学生と中学生を対象として講義/授業の実践を行い、得られた知見から、中学校理科において使用できる気候変動の教材・教具の作成をすることである。

【研究方法】

2024年度は、理科教員養成課程大学生（以下、大学生とする）を対象として、2025年度は、中学校第3学年生徒（以下、中学生とする）を対象としたカリキュラム開発を行い、地球環境を専門とする研究者の講義/授業の実践を含む講義/授業を試行する。講義/授業の中で使用したワークシートを分析し、大学生や中学生が描く未来像とその変容について検討する。2026年度には、カリキュラム開発や、大学生や中学生への講義/授業から得られた知見を基に、中学校の理科教員が使用できる気候変動の教材・教具を作成する。

1. 大学生を対象とした授業実践の分析とその研究成果の発表

【研究内容】

2024年に授業実践した岐阜大学教育学部2年次生を対象とした講義の中で、大学生が記述したワークシートを分析し、その研究成果を2025年9月に日本科学教育学会（於 広島大学）と2025年11月に日本教科教育学会（於 日本福祉大学）で、2件の口頭発表を行った。

【結果と考察】

＜日本科学教育学会での発表＞

- ・大学生が描く未来が「明るい」と考えている開始段階と最終段階での割合の平均値は、それぞれ26.8%、24.3%であり、両者とも必ずしも「明るい」ものではない。
- ・大学生は、気候変動の観点から未来を考えることが容易ではないと認識していると考えられる。
- ・講義の実践の前後で、大学生の未来が「明るい」と考える割合に変化は見られないが、大学生に気候変動の観点から未来について考えさせることで、自分の未来についての考えや自分の現在からの行動について影響を与えることができると考えられる。

＜日本教科教育学会での発表＞

- ・各活動において、未来が「明るい」と回答した割合に有意な差は見られなかった。
- ・活動の進展に伴って、「明るい」と回答した割合について増減が生じていることから、気候変動に対する未来像に対して葛藤があったと考えられる。
- ・課題で気候変動について自分で調べる活動を行うと、未来が「明るい」と回答した割合が減少した。
- ・専門家による講義の聴講後、未来が「明るい」と回答した割合は、大学生により増加する場合と減少する場合があった。
- ・活動の進展に伴って、未来が「明るい」と回答した割合は、一定の値に収束した。

【まとめ】

講義の実践により、気候変動の観点から大学生に「明るい」未来を描かせることは容易ではないが、講義の実践を通して、大学生の意識を変容させることができた。気候変動についての講義を実践することで、大学生に自分の未来について考えさせることができるとともに、自分の現在からの行動について考えさせることができ、よりよい未来にしなければならないといった意識を持たせることができることが示唆される。

【成果発表】

内海志典, 菊地亮太, 檜山哲哉「気候変動の視点から未来を考えるカリキュラム開発」, 日本科学教育学会 第49回年会, 広島大学, 2025年9月6日.

内海志典, 菊地亮太, 檜山哲哉「大学生を対象とした気候変動の視点から未来を考える授業実践－未来に対する態度の変容－」, 日本教科教育学会 第51回全国大会, 日本福祉大学 美浜キャンパス, 2025年11月15日.

【参考文献】

Levrini, et al. (2021): Recognition and operationalization of future-Scaffolding Skills: Results from an empirical study of a teaching-learning module on climate change and futures thinking. *Science Education*, 105, 2, 281-308.

【今後の研究】

現在, 「大学生を対象とした気候変動の視点から未来を考える授業に関する研究－未来像に対する態度の変容－」を論文題名として, 日本理科教育学会に投稿する予定の論文を執筆中である。

2. 中学生を対象とした授業実践の実施

【研究内容】

中学生を対象としたカリキュラム開発を行い, 2026年1月～2月に尾道市立美木中学校第3学年生徒を対象として授業実践を行った。中学生は, 表1の講義の流れに沿って, 各授業実践の終了後に, ワークシートの該当箇所と, その時点での未来について, 「明るい: 暗い」の割合を10%刻みで表し, 「明るい」と「暗い」割合の合計が計100%になるように回答させた。

表1 講義と課題

実践	実践日/提出日	実践者	ワークシート
授業Ⅰ	1月26日(月)	内海 志典	A 現段階の自分が描く未来
授業Ⅱ	2月2日(月)	内海 志典	B 調べたこと C 気候変動の要因(フィッシュボーン図) D 因果関係 E 気候変動の対策についての自分の考え F 気候変動の対策についての他者の考え
授業Ⅲ	2月3日(月)	檜山 哲哉 / 内海 志典	G-1 専門家の講義を聞いて考えたこと
授業Ⅳ	2月3日(月)	菊地 亮太 / 内海 志典	G-2 専門家の講義を聞いて考えたこと
講義Ⅴ	2月4日(火)	内海 志典	H 気候変動の対策についての自分の考え I 気候変動の対策についての他者の考え J 未来の見方 K 最終的に自分が描いた未来

現在, 研究データの整理中である。

【今後の研究】

2026年に授業実践した中学生を対象とした授業実践の中で, 中学生が記述したワークシートを分析し, その研究成果を日本理科教育学会等で口頭発表を行う予定である。

(別紙様式-4)

緑の海仮説における検証：薩南諸島硫黄島海域における光環境と光合成生物分布の計測
Green sea hypothesis: Measurement of light environment and phototrophs
under water around Iwo island

松尾太郎、名古屋大学・理学研究科

研究目的

鹿児島県薩摩硫黄島周辺の海域は熱水由来の鉄を豊富に含み、太古の還元的な海洋環境に類似していると考えられる。本研究はこの海域におけるフィールド調査により、太古の海洋における光環境と光合成生物の集光機構の共進化を理解することを目的とする。

約 30 億年前の太古代の海水中に多量に存在した二価鉄は、シアノバクテリアの酸素発生により水酸化鉄の懸濁粒子へと変化し、水中光の透過スペクトルを変化させた。この結果、光の透過（光の窓）はクロロフィルが吸収しにくい緑色側へとシフトしたと考えられる。このような環境変化が、緑色光を吸収する集光アンテナ（フィコビリソーム）の進化を促し、結果として大酸化イベントにつながったとする「緑の海仮説」を提唱した（Matsuo et al 2025）。

本研究では、鉄濃度が高く実際に「緑の海」を形成している薩摩硫黄島周辺海域における、光環境と光合成生物の関係を観測・比較することで、この仮説を検証することを目的とした。

研究方法

2025 年 5 月 20 日から 23 日にかけて、鹿児島大学附属練習船「南星丸」で海洋観測を実施した。調査は、名古屋大学・大阪大学・京都大学の研究チーム（教員 3 名、研究員 1 名、学生 1 名）に加え、鹿児島大学の安樂和彦教授および中央研究院（台湾）の Yung-Che Tseng 研究員らと共同で行った。

観測では、① 分光放射照度計および CTD を用いた、水深ごとの透過光スペクトルおよび水温の測定、② 採取した海水の化学分析と、光合成色素の分析（名古屋大学共通機器を用いた蛍光スペクトル測定および大阪大学共通機器を用いたフローサイトメトリー解析）を実施した。

これにより、「緑の海（高鉄環境）」と「青の海（低鉄環境）」の比較を行い、光環境とシアノバクテリアの色素特性の関係を解析した。

研究結果および考察

1. 鉄濃度と光環境

緑の海は青の海と比較して、10 倍以上高い鉄濃度を示した（図 1）。また、水中の透過光スペクトルは、海域の色に対応して、緑の海は緑色光、青の海は青色光が卓越していた（図 2）。さらに、同じ水深で比較した場合、緑の海の光量は青の海の約 1/10 と著しく低かった（図 3）。これは、水酸化鉄粒子が高い反射率を持つため、光が散乱・反射されることにより、水中がより暗い光環境となるためと考えられる。



図 1. 鹿児島県薩摩硫黄島の緑の海
☆は調査地点を示す。

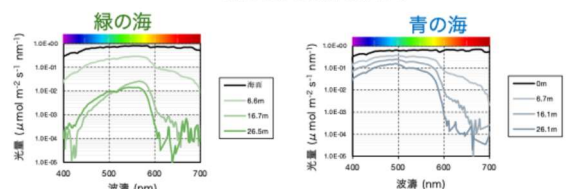


図 2. 水中の透過光スペクトル

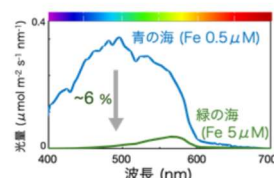


図 3. 緑の海と青の海の水深 11m の透過光スペクトル

2. シアノバクテリアの色素分布

シアノバクテリアの色素分析の結果、光環境に相関して、緑の海では緑色光を吸収する色素を多く持つ種が青の海より優占する傾向を示した（図 4 左）。また、緑の海に分布するシアノバクテリアは、青の海と比較してフィコビリソーム由来の蛍光量が高いことが確認された（図 4 右）。一般に、暗い光環境では光合成生物は光獲得効率を高めるため色素量を増加させる。本結果は、硫黄島周辺の鉄による暗い緑色海域においても同様の適応応答が生じている可能性を示唆する。

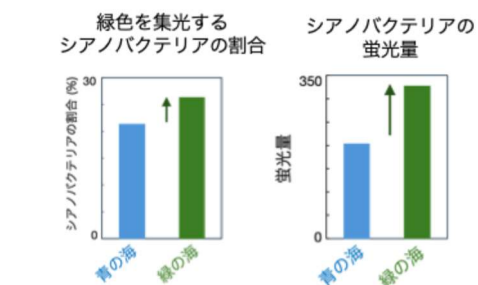


図4. 硫黄島海域のシアノバクテリアの色素分布

まとめと今後の展望

薩摩硫黄島周辺の高鉄環境におけるフィールド観測により、鉄濃度の増加に伴う光環境の変化（緑色化・低照度化）と光環境に対応したシアノバクテリアの色素特性の変化が明らかとなった。これらの結果は、太古代の海洋において、酸素発生により形成された水酸化鉄粒子が光環境を緑色へと変化させ、その環境がフィコビリソームを持つシアノバクテリアの進化・選択を促した可能性を支持する。

今後は、採取した海水試料について ICP-AES による詳細な元素分析を実施し、鉄以外の元素組成や懸濁粒子の化学形態を明らかにする。これにより、光環境と元素環境の相互関係をより統合的に理解し、太古海洋環境の再現と光合成生物の進化の解明を進める予定である。

(別紙様式-4)

持続可能な開発のモニタリングのための衛星データと社会経済データの統合 Integrating Satellite and Socioeconomic Data for Monitoring Sustainable Development

MENDEZ Carlos, 名古屋大学 大学院国際開発研究科

研究目的

本研究プロジェクトの目的は、データに乏しい国々における持続可能な開発の監視・評価のため、衛星データと社会経済データを統合する学際的な枠組みを調査・開発することです。リモートセンシングデータと社会経済指標のギャップを埋めることで、環境変化と経済発展の間の複雑な相互作用の理解を深めることを目指しています。また、本プロジェクトは若手研究者・学生の育成にも貢献し、衛星ベース観測と社会経済データの潜在性を最大限に活用するために必要な多様な専門知識（経済学・地球科学・データサイエンス等）の普及も目指します。

研究方法（使用した共同利用装置・施設等を含む）

2025年9月18日、名古屋大学のアジアサテライトキャンパス研究所（ASCI）、国際開発研究科（GSID）、宇宙地球環境研究所（ISEE）が、カンボジアのプノンペン王立大学（RUPP）および国連開発計画（UNDP）カンボジアと協力して、「Development Studies in the Age of AI: New Data, New Methods, New Insights」と題したハイブリッド形式（現地・オンライン）の研究ワークショップをカンボジア・プノンペンの国立インキュベーションセンター（National Incubation Center of Cambodia, RUPP）にて開催しました。本ワークショップは、持続可能な開発の監視に向けた学際的な研究プラットフォームの構築を目的とし、衛星・地理空間データとAI技術、社会経済調査の統合に焦点を当てました。

研究結果、考察、まとめ

本ワークショップでは、AI・機械学習・地理空間データを活用した持続可能な開発研究の最新動向が多角的に紹介されました。名古屋大学、UNDPカンボジア、RUPP、およびSpatial Informatics Group（米国）など国内外の機関から著名な研究者・専門家を招聘し、カンボジアを中心とするアジア地域における貧困の脆弱性マッピング、都市ヒートアイランド現象、生態系サービスの評価などの応用事例が発表されました。現地・オンライン合わせて67名が参加し、研究者・学生・実務家間の積極的な交流が行われました。

特に注目すべき成果として、「GeoDevelopment Observatory of Cambodia」の設立に向けたパネルディスカッションが開催されました。名古屋大学のMendez CarlosおよびShimizutani Satoshi、UNDPカンボジアのTheara Khoun、RUPPのPenghuy Ngovが登壇し、衛星画像と社会経済データを組み合わせてカンボジアの地域開発を監視する新たな指標構築と観測プラットフォーム実現に向けた協力体制について議論が深まりました。

セミナー後も参加機関間で共同研究の可能性についての議論が継続しており、地理空間データと社会経済研究を融合した長期的な国際研究ネットワーク形成への基盤が整いつつあります。

成果発表

- ・ Mendez Carlos, *Development Studies in the Age of AI*, Development Studies in the Age of AI: New Data, New Methods, New Insights, National Incubation Center of Cambodia, Phnom Penh, Cambodia. 2025-09-18.

- Mendez Carlos, *Panel Discussion: The GeoDevelopment Observatory of Cambodia: Motivation, Opportunities, and Challenges*, Development Studies in the Age of AI: New Data, New Methods, New Insights, National Incubation Center of Cambodia, Phnom Penh, Cambodia. 2025-09-18.
- Shimizutani Satoshi, *Panel Discussion: The GeoDevelopment Observatory of Cambodia: Motivation, Opportunities, and Challenges*, Development Studies in the Age of AI: New Data, New Methods, New Insights, National Incubation Center of Cambodia, Phnom Penh, Cambodia. 2025-09-18.

ワークショップ登録・記録 URL: <https://lu.ma/ebw5y0k4>

天文古記録データレスキューの予備研究
Feasibility Study of Data Rescue for Old Astronomical Records

伊藤早苗、名古屋大学・人文学研究科

【研究目的】

人類文明を取り巻く宇宙地球環境は時に数百年、数千年スケールでのダイナミックな変動を見せることがある。このような長期変動や激甚現象は現代観測データベースの時間幅（概ね過去1世紀弱）では捕捉困難である。しかし、宇宙地球環境研究所のデータレスキュープロジェクト他で、過去のアナログ観測記録や歴史文献を用いればそのような宇宙地球環境の観測的知見が数百年、数千年の時間スケールで延伸し得ることが明らかになりつつある。

このような過去のアナログ記録や歴史文献には、太陽黒点、オーロラ、地磁気など、宇宙地球環境研究所での既存のデータレスキュープロジェクトの研究対象以外にもより広いテーマでの天文記録（日蝕、彗星、変光星など）が記録され、その利用は必ずしも十全には進んでいない。特により古代では中国、エジプト、バビロン、アッシリアなどの歴史文献からこのような天文記録を発掘・検討できる可能性が依然少なからず残っている。そこで、本プロジェクトでは、このようなより広範な天文記録のデータレスキュー、分析活用の可能性についてその実現可能性を究明すべく、特に過去の日蝕記録を中心に分析を行う。このような過去の日蝕記録からは太陽コロナ構造、地球の自転速度、太陽直径など宇宙地球環境の各パラメーターが数百年、数千年スケールでわかる可能性があるだけでなく、過去の文献や民話の年代決定など人文学側への寄与がもたらされる可能性もある。

【研究方法】

本研究ではまず日蝕観測記録の国内外での蒐集を目指す。古代メソポタミアのバビロニアやアッシリアの楔形文字文書については、出版された史料集や所蔵先である大英博物館のウェブページの写真を参照する。19世紀以降、各国が日蝕遠征隊を出すようになってからはその遠征隊の記録が英国王立天文学会、本邦国立天文台はじめ各国のアーカイヴに残っており、外部資金も交えてその調査、蒐集を進める。その中でも特に重要なものについては可能な限り複写経費を確保し、スキャンを取ることで測定、分析の基礎とする。

このような記録に基づき、太陽外縁の描写からコロナやプロミネンスの構造・分布、位置、時間測定、食分他の情報から太陽直径変動や地球自転速度変化に拘束を加えることを目指す。特に地球自転速度変化とコロナ構造については相馬や早川による先駆的研究があり、その手法をより広範なアナログ記録や歴史文献に当てはめることで、過去数千年の時間スケールでの変動を正確に捉えることが期待される。他パラメーターについては検討が進んでおらず、宇宙地球環境の新地平を開拓できる可能性がある。

【研究結果】

本年度、特に中国の日食記録について検討が大きく進んだ。『春秋』及び関連文献に残された皆既日食記録は前8-6世紀の地球の自転速度変化を決める上で極めてユニークな情報源となっている。本研究では原典史料の解読から皆既日食及び日食中の太陽の「上下」に位置するKコロナと伝統的に関連付けられてきた黄色い構造に関する後世の追記を確認した。また、現地踏査と考古学的知見を組み合わせ、観測地である「曲阜」の座標を従来の研究のものから修正した。これにより地球自転速度変化を前8-6世紀の従来研究から改訂し、既存の ΔT 平滑曲線への変更の必要性を提示した。これを踏まえ、曲阜現地での皆既日食時の太陽の傾き角を計算し、上下へのコロナの存在から高緯度へのストリーマーベルトの展開を示唆し、放射性炭素ベースでの最近の太陽周期の再構築を独立に確認できた (Hayakawa et al., 2025)。

中国の地方志についても検討が進んだ。従来研究では中国の日食記録は正史のものばかりが用いられ、地方志のものは閑却されるきらいがあった。本プロジェクトでは台湾での文献調査を踏まえ、1361, 1514, 1542, 1575年の同時代の皆既日食記録を検討し、その各々を満たす ΔT 拘束幅を計算した。同時代の ΔT 拘束幅もすべて再計算し、この当時の地球自転速度の拘束幅をより狭めることに成功した (Hayakawa et al., 2026)。

前1千年紀の古代メソポタミアにおいて、紀元前7世紀のアッシリア占星術報告書と紀元前7世紀から紀元前1世紀にかけ作成されたバビロン天文日誌で言及される日食記録を収集し、明記されていない観測地点や日付について検討を進めている。

【まとめ】

数千年もの間、皆既日食は時折人類の歴史にその痕跡を残し、過去の地球の自転速度や太陽活動の周期変動を示す重要な指標となっている。2025年度の研究は、古代メソポタミアおよび古代中国の日食記録を基に、前8～6世紀、後14～16世紀の ΔT 制約値の変更を可能にし、また最近の放射性炭素ベースでの太陽周期再構築を支持するものとなった。

【成果発表】

- 1) **Hayakawa, H.**, Owens, M. J., Meng, J., Sôma, M., Lockwood, M. 2025, Analyses of the Ancient Chinese Report on the Total Solar Eclipse in 709 BCE: Implications for the Contemporaneous Earth's Rotation Speed and Solar Cycles, *The Astrophysical Journal Letters*, **995**, L1. DOI: 10.3847/2041-8213/ae0461
- 2) **Hayakawa, H.**, Hooper, D., Rodger, C., Ebihara, Y., Nevanlinna, H., Willis, D. M. 2026, Did Alfred Russel Wallace See Aurora near the Equator? *Journal of Space Weather and Space Climate*, DOI: 10.1051/swsc/2026003
- 3) **Hayakawa, H.**, Sôma, M., Li, N. 2026, Variable Earth's Rotation Speed in the 14th to 16th Centuries: New ΔT Constraints from Chinese Eclipse Records, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, accepted on 24 Mar 2026

宇宙開発に伴う大気汚染評価
Investigation of Air Pollution Associated with Space Developments

持田陸宏, 名古屋大学 宇宙地球環境研究所
市原大輔, 九州工業大学 工学研究院

■ 研究の目的

本融合研究では運用終了後の人工衛星など「宇宙ゴミ」を起源としたエアロゾルを研究対象とする(図1参照)。具体的には、衛星コンステレーションの実装に伴う宇宙ゴミの爆発的増加に注目し、高度40–90 kmにて排出される宇宙ゴミ由来のエアロゾルを研究対象とする。エアロゾル粒子の基本特性(粒径分布や形態など)を把握し、その情報を組み込んだ気候モデル計算で宇宙ゴミ起源のエアロゾルの全球大気への影響を推定することを視野に、予備的な成果の獲得や研究指針の具体化を目指している。将来的には、打上げロケット由来の環境影響の議論と組み合わせることによる宇宙開発に係る複合的な環境影響評価への展開や、自然起源の隕石微粒子の影響評価、成層圏エアロゾル注入によるジオエンジニアリングへの波及も期待できる。

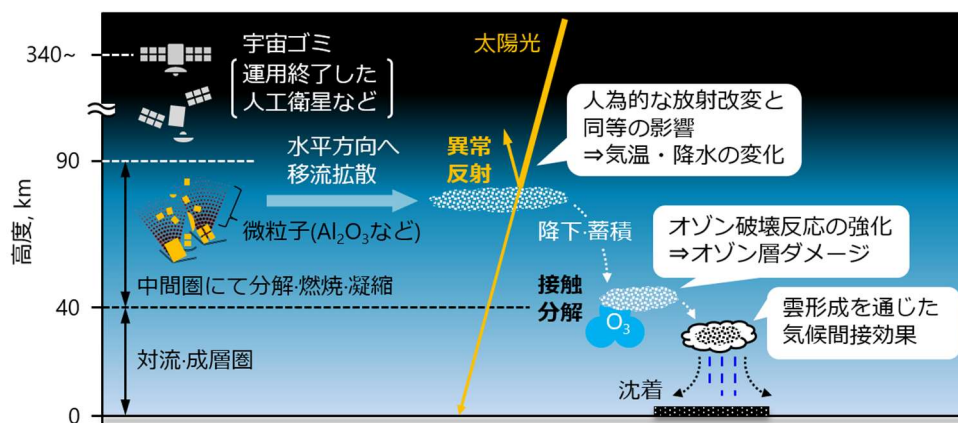


図 1 宇宙ゴミ由来のエアロゾル粒子と地球大気との相互作用

■ 研究会の開催

前年度までに計画した研究の発展について検討するため、本課題に関連する研究に取り組む研究者の話題提供に基づく研究会「宇宙開発時代における大気環境の新視点」を3月19日に宇宙地球環境研究所において開催した。この研究会では、宇宙ゴミ由来の微粒子発生とその影響の解明に向け、共通のメカニズムを持ち得る現象として、自然現象である流星物質の大気突入と、開発が進む観賞用人工流星の生成を取り上げることとした。そして、これらの現象に関わる大気観測や技術開発の取り組みを踏まえ、本融合研究のアプローチや波及について視野を広げること、さらには宇宙開発時代における大気環境に対する新たな視点を見出すことを目的とした。研究会では、本課題のメンバーである持田、市原によりそれぞれ趣旨説明と本課題の概要の紹介がなされた後、気象研究所の足立光司博士による講演「流星物質を起源とする大気微粒子の電子顕微鏡分析」、株式会社ALEの石井宏宗氏による講演「人工流れ星技術と大気観測の取り組み」と、これらの講演に対する質疑が行われた。参加者は16名であった。本研究会の後に、本課題のメンバー(持田、市原、須藤、長濱、上田)、2名の招待講演者、ほか関係者や名古屋大学教員によりクローズドの会合を開き、本課題の取り組み等について情報交換を行った。

■ 地上実験

昨年度に引き続き地上実験1および2に注力した。主要な成果を以下に示す。

九州工業大学内に構築した大気圏再突入環境模擬装置および高エンタルピー気流生成部の概要をそれぞれ図2と図3とにそれぞれ示す。大気圏再突入時に生じる加熱環境を模擬すべく直径1 m、直胴部長さ2.6 mの真空チャンバーにおいて上流端フランジにアークプラズマ源を設置した。コンプレッサーよ

り供給された作動ガス（空気，流量30 slm）はノズル型陽極とハフニウム陰極との間で生じるアーク放電（投入電力1.9 kW）により加熱され，設計Mach数5.7の超音速ノズル（出口直径20 mm）を介して加速・排気される．宇宙ゴミを模した供試体（純アルミ製球体，直径6 mm）はノズル出口から下流5 mmの位置にノズルと同軸上となるよう設置した．アークプラズマ源作動時のチャンパー内圧力および供試体表面温度はピラニ真空計と放射温度計とでそれぞれ測定した．発生した粒子は供試体下流端より10 mmに設置した銅板（実効捕集面積38 mm²，厚さ0.2 mm）にて捕集し，電子顕微鏡観察およびエネルギー分散型X線分光法による元素分析を行った．

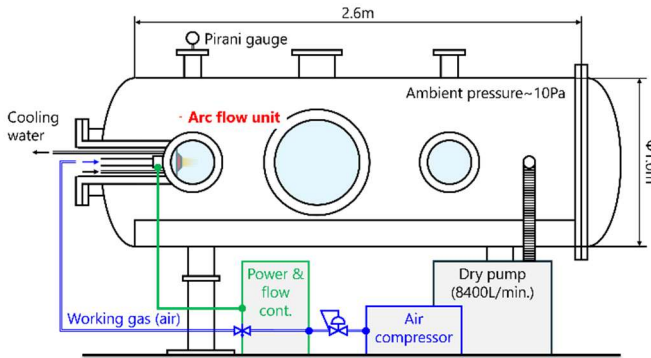


図 2 真空チャンパー及び排気・冷却・供給系の概要図

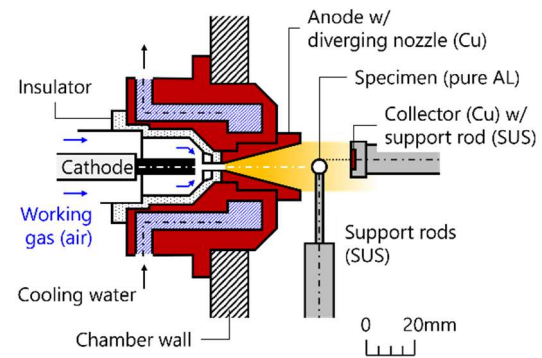


図 3 アーク源及び供試体・捕集板の概要図

アークプラズマ源自身の作動特性を取得すべく，雰囲気気圧～100 Paにおいて作動ガス流量と放電電流とを変化させた際の放電電流を測定し気流の最大比エンタルピーとアーク抵抗値との関係を取得した．その結果を図4に示す．放電電流の増加と共に作動ガスの電離が促進された結果アーク抵抗値も低下し比エンタルピーは最大8.3 MJ/kgまで到達可能であることを確認した．今年度より新たに導入した分光器（PMA-12，浜松ホトニクス株式会社製）によるアーク気流の発光分光結果を図5に示す．低压空気プラズマ特有の窒素・酸素原子および分子が検出される一方でイオン種に対応する発光は微弱であった．これより排気プルームからの発光は励起元素の脱励起反応に起因していることも明らかとなった．

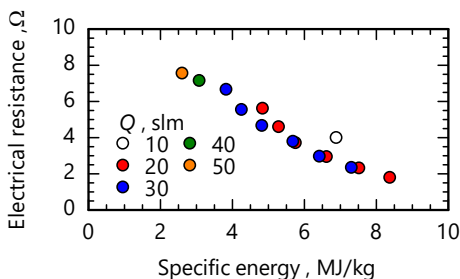


図 4 アーク気流特性

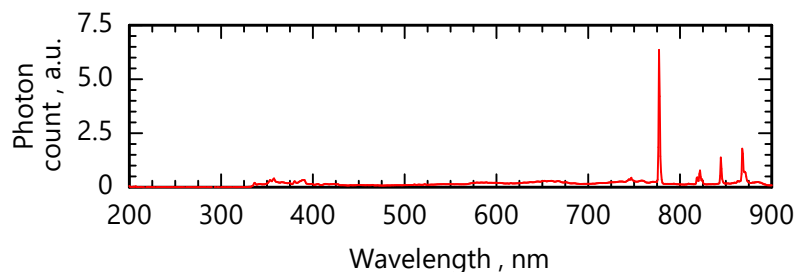


図 5 アーク気流からの発光スペクトル

■ まとめ

研究会の開催により，本課題の発展・波及としての観測研究への展開や，民間企業と連携した研究推進の可能性について，今後の議論の足掛かりを作ることができた．また，地上実験においては，大気圏再突入環境の模擬・気流評価に要する主要な機器の導入をすべて完了することができた．実験では今後，発光分光及び高速度カメラ撮影を通じて超音速流れ場中での金属粒子生成過程を解明するとともに，粒子捕集効率の向上に取り組むたい．その後は各種加熱条件下での粒子特性を反映させた気候シミュレーションを通じて宇宙ゴミ再突入に起因する金属エアロゾル粒子と高層大気，特にオゾン層との相互作用を明らかにすることを目指す．

■ 成果発表

市原大輔，宇宙ゴミ再突入に伴うエミッション粒子測定，日本航空宇宙学会西部支部講演会，KDDI 維新ホール，2025年11月21日

(別紙様式-4)

デジタルデータを活用した文理融合研究の可能性検討

Investigation of the possibility of interdisciplinary research of humanities and sciences
using digital data

田中幸恵, 名古屋大学・附属図書館

1. 背景と目的

東海国立大学機構では、名古屋大学附属図書館（以下、「附属図書館」）を中心として「東海国立大学機構学術デジタルアーカイブ（<https://da.adm.thers.ac.jp/>, 以下、「機構デジタルアーカイブ」）」を構築し、2024年6月24日に一般公開を開始した。機構デジタルアーカイブは、文理を問わずあらゆる分野のコンテンツを収集対象とし、分野を越えた利活用に資するデジタル画像データ公開基盤となることを目指している。その実効性を確保するためには、主に①広報活動による利用者層の拡大、②機能の充実、③利用者の関心を喚起する魅力的かつ高品質なコンテンツの拡充、の三点を並行して推進する必要がある。

本課題は、附属図書館を中核として、名古屋大学宇宙地球環境研究所（以下、「ISEE」）ならびに名古屋大学デジタル人文社会科学研究推進センターと協働し、これら三点の取り組みを通して機構デジタルアーカイブの機能を実効的に整備・運用することを目的とする。三者はいずれも、デジタルデータの積極的な公開と相互活用、学内他部局との連携をミッションとしており、単独の部局では対応が難しい要素に対して、多様な観点から意見を交わしながら相補的に専門的知見を取り込むことで、機構デジタルアーカイブの基盤整備を多面的に推進できること、さらに将来的な異分野間連携の創出にも資することが期待される。

2. 実施内容概要

2-1. 広報活動

2-1-1. 第27回図書館総合展でのポスター発表

日時：2025年10月22日～24日

場所：パシフィコ横浜

報告者：眞野博和, 田中幸恵（附属図書館）

発表タイトル：東海国立大学機構学術デジタルアーカイブの取り組み：文理融合研究を支えるデジタルアーカイブの挑戦

内容：東海国立大学機構 図書館オープンサイエンスプロジェクトチームデータ利活用サブチームとして、機構デジタルアーカイブの概要と本課題における取り組みについてポスター発表を行った。図書館関係者が中心であるが、学外者に対して、広く広報を行うことができる貴重な機会となった。なお、発表に使用したポスターは、名古屋大学学術機関リポジトリにて公開している（<http://hdl.handle.net/2237/0002013552>）。

2-1-2. 名大カフェの開催

日時：2025年11月7日（金）18:00-19:30

場所：名古屋大学Common Nexus

登壇者：加藤弓枝（名古屋大学人文学研究科）、南雅代（ISEE）、田中幸恵（附属図書館）

参加者：33名

内容：2024年度の融合研究戦略課題において実施した、名古屋大学学術研究・産学官連携推進本部 URAとの情報交換会をきっかけに、同部門が展開する「アウトリーチ活動支援制度」の支援を受け、第123回名大カフェ「デジタルアーカイブと旅する和本の宇宙～読んで、さわって、くずし字体験～」を開催した。機構デジタルアーカイブの和古書コンテンツを題材に、文理双方の登壇者が講演を行うことで、一般市民に対してデジタルアーカイブそのものの魅力や、デジタルアーカイブでの古典籍の公開が文理融合研究につながっていくことの面白さを紹介した。

詳細な報告は名古屋大学学術研究・産学官連携推進本部のnoteにて公開されており、当日の投影資料もダウンロード可能である (https://note.com/nagoya_ura/n/n23a2ab741da9)。

2-2. 機能の充実

2-2-1. IIIF対応画像のマニフェスト連携表示機能追加

本機能は、機構デジタルアーカイブ外部で公開されている IIIF 対応画像について、当該画像のIIIF マニフェストURIを機構デジタルアーカイブ内の既存メタデータに登録することで、機構デジタルアーカイブのビューワでその画像を表示できるようにするものである。これにより、機構デジタルアーカイブの所定ストレージに原画像ファイルを格納している場合と同様の操作感で閲覧が可能となる。

機構デジタルアーカイブの現状の課題としてストレージ容量の制約があり、収蔵ファイルの追加にはコスト面・運用面の制限があるが、本機能により、機構デジタルアーカイブのストレージを消費することなく、機構デジタルアーカイブ上で閲覧可能な公開件数を拡大できるようになった。あわせて、将来的に機構デジタルアーカイブがポータルサイトとして機能拡張する可能性を高めることができた。

2-3. コンテンツの拡充

2-3-1. 新規登録希望者との打合せと機構デジタルアーカイブ運用要項の整備

機構デジタルアーカイブは、その運用要項が未整備であり、現時点では新規コンテンツの正式な受入ができない状況にある。その一方で、名古屋大学人文学研究科および名古屋大学法学研究科の教員から、研究的価値の高い資料について、機構デジタルアーカイブでの公開依頼があり、これを受けて資料の性質、権利処理、メタデータ記述方法等を整理した。これらの検討を通じて、新規登録希望への基本的な対応手順と留意点が明確になったため、これらを反映した運用要項の整備を進めており、2026年4月からの適用を目指して準備を進めている。

2-3-2. AI-OCRによる翻刻データ作成

古典籍の利活用促進を目的として、国立国会図書館が提供する「NDL古典籍OCR-Lite」 (<https://lab.ndl.go.jp/news/2024/2024-11-26/>) を用いた AI -OCR翻刻を試行し、くずし字や漢文の知識を有する学生が校正を行うことで精度検証を実施した。作業時間は計74時間（漢文担当4名：計34時間、くずし字担当3名：計40時間）であり、実務レベルでも一定の活用可能性が確認された一方、そのまま提供するには精度が不足するため、注意が必要な部分も明らかになった。

作業が完了した一部ページについては、実際に機構デジタルアーカイブにおいて校正済翻刻データの公開を開始した (<https://da.adm.thers.ac.jp/item/n004-20230901-01580>)。専門家による品質確認済の翻刻データを掲載できたことは、機構デジタルアーカイブにおけるコンテンツの価値と信頼性の向上につながる成果である。

2-4. その他

本課題が目指すデジタルデータの利活用促進に関連する活動として、名古屋大学情報連携推進本部・青木学聡教授を中心とする名古屋大学学術PIDサブワーキンググループに、附属図書館が参画した。学内外の学術関連情報（研究者番号、プロジェクト番号、機関リポジトリや機構デジタルアーカイブのコンテンツ、共用利用装置等）に永続的識別子（PID）を付与し体系的に連携させることが、管理・活用の基盤となるとの視座のもと、今年度は学内の主要ユースケースの実態を把握しPID活用の可能性を探るため、学術関連情報を管理する各部署を対象に意見交換とインタビューを実施した。

3. 今後の課題と展望

今年度の取り組みにより、機構デジタルアーカイブは一定の認知度を獲得したと考えるが、アウトリーチの継続により利用者層の拡大とニーズ把握をさらに推進することが重要である。

また、翻刻データの提供による検索性・活用可能性の向上を引き続き図る。専門家の校正を経たAI-OCR翻刻データの蓄積を継続するとともに、その効果的な提供形式（機械可読テキストやアノテーション等）と必要な機能の実装の検討を行いたい。

さらに、ISEEを中核拠点とする文部科学省 共同利用・共同研究システム形成事業「学際領域展開ハブ形成プログラム」は、歴史文献等のデータアーカイブ化を志向しており本課題との親和性が高い。成果の相互参照等の具体的な連携を視野に、協働の可能性を検討したい。

(別紙様式-4)

元寇金属器の地球化学分析・年代測定：「コンクリーション考古学」の展開に向けて
Geochemical analysis and radiocarbon dating of metal weapons from Mongol invasions
to Japan: Towards the establishment of "concretion archaeology"

門脇誠二、名古屋大学・博物館

研究目的

本研究課題は、考古遺物を内包するコンクリーションを分析対象として、その形成プロセス、及び内包する遺物保存メカニズムの解明を目指す。石器や金属器などの考古遺物がコンクリーションに内包される現象は以前から知られていたものの、考古学者からは単に「埋没後の二次的生成物」と済まされることが多く、詳しい研究はこれまで限られていた。しかし、化石コンクリーション形成に関する近年の研究をふまえると、こうした考古遺物は、コンクリーションの形成プロセスに関する理解を深める貴重な研究素材であることが分かってきた。例えば、コンクリーションに覆われた遺物の年代が歴史記録などから明らかな場合、コンクリーションの形成速度を正確に見積もる情報源となる。また逆に、考古遺物のコンクリーション化過程が詳しく解明されれば、内包されている遺物の年代が未知の場合はコンクリーションの放射性炭素年代を測定することでその年代を推定できる。

研究体制

本研究の基礎となるコンクリーション形成過程に関する研究は、共同研究者の吉田英一教授（名古屋大学博物館）が世界をリードする成果を達成しており、その研究に南雅代教授（宇宙地球環境研究所）も参画してきた。金属器を覆うコンクリーションの形成プロセスを明らかにするために、コンクリーションの年代測定や化学組成測定、元素マッピング、鉱物同定、顕微鏡観察などを行う。放射性炭素年代は名古屋大学宇宙地球環境研究所のタンデトロン加速器質量分析装置で行い、元素マッピングや鉱物同定、顕微鏡観察は名古屋大学博物館に設置されている機器（XGT, SEM, XRD）を使用する。コンクリーション化を応用した史跡・文化遺産等劣化抑制・修復技術開発研究を吉田教授と南教授が開始し、考古学を専門とする門脇誠二（名古屋大学博物館）が文化財への適用という点に関して参画している。また日本の文化財への適用という点において、奈良文化財研究所で保存科学を専門とする脇谷草一郎博士と柳田明進博士も共同研究者として加わっている。そして昨年度から、コンクリーション形成における微生物の関わりを検討するため、その専門家である天野由記博士が加わった。

進捗状況

鎌倉時代の元寇の際に海底に沈んだ金属器を覆うコンクリーションの形成過程を解明するための分析を2023～2025年度の3年にわたり行った。元寇は日本史でも有名な蒙古襲来の出来事で、1274年（文永の役）と1281年（弘安の役）という2回の年代が分かっている。元の船団が沈んだ長崎県鷹島神崎遺跡（たかしまこうざきいせき）は、水中の国史跡として日本初の指定を受けた。本遺跡の海底に沈んだ様々な遺物のうち、金属器の表面がコンクリーションで覆われていることがこれまで知られている。そのCT撮像によると、コンクリーションで覆われた内部は金属が腐食し、金属器の形のみが「鋳型」のように残されている、その形成過程については不明であった。

2023年度は研究メンバーが松浦市立埋蔵文化財センターを訪問し、金属器コンクリーションなどの遺

物を観察すると共に、松浦市教育委員会文化財課の担当者と研究方針や分析資料の取り扱い等に関する打合せを行い、連携協定の締結に至った。この協定の下で金属器コンクリーションを採取・分析することができ、年代測定や元素マッピング、鉱物同定、顕微鏡観察などを開始した。さらに金属器コンクリーションが形成された海底環境を調べるため、2024年10月5～7日に鷹島神崎遺跡の海底発掘調査に参加し、海底に沈んだ元寇船直上の堆積物コアや周辺の海水を採取した。発掘時には研究メンバーも海上に出向き、船上でサンプルを受け取った。堆積物コアは長さが約60cmであり、2cmの間隔でpHや酸化還元電位の測定および連続サンプリングを行った。後者のサンプルから、年代測定や微生物の分析を開始した。

2025年度は、以上の分析結果を報告し議論するための会合を、11月27日に奈良文化財研究所で行った。この会合には研究メンバー6名の他に、名古屋大学大学院環境学研究科博士前期課程の垣内田滉氏も参加した。垣内田氏は南教授の指導の下、本研究課題を修士研究のテーマとし、金属器コンクリーションと海底堆積物の年代測定などの分析とその結果の考察を行うと共に、成果の学会発表も行った。

結果と考察

これまでの分析結果として、鷹島海底遺跡の金属器コンクリーションは鉄コンクリーションであり、釘などの鉄製品の溶解と拡散、析出が連続的に進行して形成されたことが明らかになった。また、元寇船直上の堆積物コアの分析結果として、嫌気性微生物が高い割合で検出された。これらの微生物の代謝により硫化水素などが生成され、それによって鉄の腐食が進行したと考えられた。形成速度に関しては、鉄コンクリーションに取り込まれた貝殻の年代測定の結果や鷹島海底での炭素鋼の腐食実験の結果に基づくと、今回の鉄釘コンクリーションは300年以内のあいだに成長したと見積もられた。

文化財の研究は様々な許可や手続きが必要であり、特に海底遺跡の調査は専門的なスキルや大きな予算が本来は必要であるが、本研究は松浦市と名古屋大学博物館のあいだで連携協定を結んだことにより、これらの条件をクリアし、元寇に関わる金属器コンクリーションの実物とその海底埋没環境に関する堆積物という貴重なサンプルを得ることができた。その地球化学分析と微生物解析を通して、これまで考古学でほとんど研究例のない鉄コンクリーションの形成に関して得られた知見は、ISEE「融合研究戦略課題」から生まれた独自性の高い成果といえる。

成果発表

垣内田 滉、南 雅代、門脇 誠二、吉田 英一、柳田 明進、脇谷 草一郎、天野由紀「長崎県伊万里湾の鷹島神崎遺跡から出土した鉄製遺物内包コンクリーションの炭素14年代測定」、日本地球惑星科学連合2025年大会、幕張メッセ、2025年5月25日

垣内田 滉、南 雅代、門脇 誠二、吉田 英一、柳田 明進、脇谷 草一郎、天野 由記「長崎県鷹島海底遺跡出土鉄コンクリーションの形成速度と形成過程」、日本地球化学会第72回年会、東北大学、2025年9月17日

垣内田 滉、南 雅代、門脇 誠二、吉田 英一、柳田 明進、脇谷 草一郎、天野 由記「長崎県鷹島海底遺跡で出土する鉄コンクリーションの形成過程」、日本質量分析学会同位体比部会、亀の井ホテル 喜連川、2025年12月4日

垣内田 滉 "Alteration of Iron from Mongol Fleet Artifacts and Concretion Formation Mechanisms at the Takashima Underwater Site", 修士(理学)論文、名古屋大学大学院環境学研究科 地球環境科学専攻(地球史学講座)

(別紙様式-4)

アルベドの融合科学～国際宇宙ステーションから探るアルベドX線・ガンマ線・中性子線～ Space-Earth Science fusion on Albedo X/Gamma rays and Neutrons observed from ISS

中澤知洋、名古屋大学素粒子宇宙起源研究所

1：導入

本提案では、国際宇宙ステーション (ISS) 搭載ミッションで、2026年ごろに相次いで打ち上げ予定の、MoMoTaRO-ISSによる軌道上アルベド中性子計測、およびXRPIX-MISSE実験による地球上層大気測定へのチャレンジをきっかけとし、加えて、宇宙線シャワーをきっかけとする大気中のMeV電子加速による雷ガンマ線の研究、人工衛星や大気球によるMeV天文学のアルベドバックグラウンド推定精度向上による感度向上を目的とし、アルベドX線、ガンマ線、中性子線のデータを、ISEEの磁気圏研究と組み合わせる融合研究を行う。

目的の1つ目は、アルベド中性子および電子・陽電子の、エネルギースペクトル、空間・指向依存性、それらの時間変化を磁気圏物理の文脈で理解することである。これらはX線・ガンマ線天文観測を邪魔する一方で、アルベド中性子はバンアレン帯内帯の陽子や電子の起源ともされるなど、それ自身の科学的な価値がある。2つ目は、X線観測を用いた大気吸収観測を、高層大気密度の計測手段として融合することである。既存天文衛星のデータ利用と、XRPIX-MISSE利用、そして次世代装置の概念検討が含まれる。3つ目は、新しいシナジーの探索である。物理的に明確に関係があるはずにもかかわらず、現状でX線・ガンマ線天文衛星の高エネルギーアルベド測定と、高層大気・磁気圏研究とは融合されていない。代表者が参加する2027年打ち上げのMeV天文衛星COSIは、地球や月のアルベドガンマ線、赤道上の雷ガンマ線や高エネルギー電子のデータも得る。新たな観測を磁気圏物理と融合し、双方にとって有益な結果を得るのみならず、新しい研究が立ち上がると期待している。

2：高エネルギーアルベドとその影響

地球大気上層には、宇宙のかなたで加速された陽子などの銀河宇宙線が降り注ぐ。GeVをも超えるこれらの高エネルギー粒子は大気と相互作用して π 粒子などを生成し、 μ 粒子やガンマ線、中性子線を含む宇宙線シャワーを形成する。これらの高エネルギー粒子は分厚い大気に遮られ、地上の平地には μ 粒子以外はほとんど届かないが、宇宙に向かって跳ね返る成分があり、アルベドガンマ線、アルベド中性子線などと呼ばれる。本研究ではこれらを高エネルギーアルベドと総称する。また高山や大気球観測高度(20-50 km)では大気放射線として非常に強いバックグラウンド源となる。

X線天文学(keV帯域の光子)で高感度な観測装置が開発される中で、荷電粒子由来のバックグラウンドはほぼ100%除去される。結果として、研究代表者は開発してきたX線・硬X線の衛星搭載観測機器開発でも、感度を支配する残留バックグラウンドは、アルベドガンマ線と中性子に由来する成分である(Nakazawa et al. JATIS 2018, Hagino et al. JATIS 2018)。実際に天体観測をするときには、このバックグラウンドをモデル化してデータから差し引く必要がある。銀河宇宙線が大気にぶつかる割合は geomagnetic cut off rigidity (COR) に依存し、磁気北極では多く、磁気赤道では少ない。バックグラウンドはこれまでCORの関数としてモデル化されてきたが、その再現性は10%そこそこで、暗い天体に対してはこれが観測限界を決定している。MeV帯域のガンマ線天文観測は、衛星と大気球実験で行われるが、いずれにおいても高エネルギーアルベドがバックグラウンド源となる。京都大学を中心に大気球での観測を進めているSMILE実験では、宇宙背景ガンマ線放射の観測で成果を出しつつあるが、その感度限界は大気ガンマ線のモデル化精度で決まっている(高田ら 2026 科学気

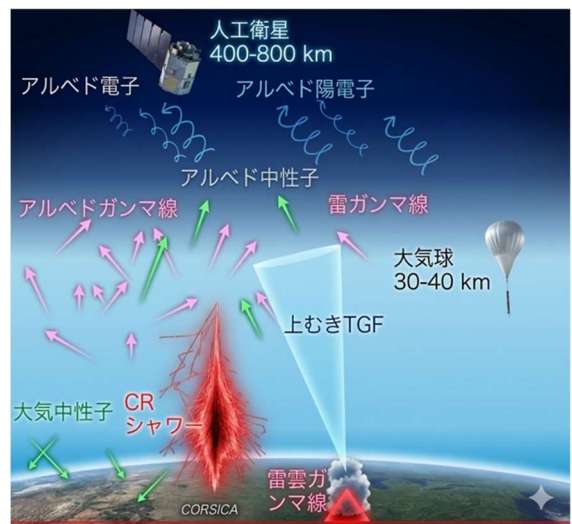


図 1: 高エネルギーアルベドと関連する科学

球コミュニティ研究会)。来年NASAが打ち上げ予定のCOSI MeVガンマ線性では、メインサイエンスの一つ511 keV電子陽電子対消滅線の観測感度はアルベド陽電子が決める(Gallego et al. ApJ 2025)。

高エネルギーアルベド観測に深く関係する分野として、宇宙X線の大気掩蔽を用いた上層大気の密度測定も重要である。トンガ諸島の大規模火山噴火では衝撃波が地球大気を大きく揺らし日本でも潮位が大きく変動したが、この時の大気の揺らぎをX線天文衛星の大気掩蔽から観測できている(Katsuda et al. GRL 2024)。100 kmレベルの高層大気の継続的な観測は難しく、宇宙X線の大気掩蔽は新たな手段として注目されている。これを専門に試みるのがSUIM計画(Nobukawa et al. Proc. SPIE 2024)であり、宇宙ステーションからの継続的な観測の実証を狙っている。

3: 高エネルギーアルベドの科学

高エネルギーアルベドそのものにも新しい科学価値が生まれつつある。MoMoTarOミッションは、月面か火星での中性子測定を目指している。宇宙線が月面を叩くと高速中性子が発生するが、物質との散乱によって熱化する。周辺にH₂Oがあると散乱による熱化が急速に進み、熱中性子が増えるため、水探査の有力な手段である。熱中性子は秒速 ~2 km で月面を飛び出し、その一部は落下してくるが、その数は9分ほどの中性子の寿命に依存する。中性子寿命は素粒子物理学の基礎量であるにも拘らず、測定の実験誤差が残っており、この「惑星法」での独立の測定も重要である。MoMoTarO-ISSは技術実証も兼ねて地球大気上のアルベド中性子を測定するミッションであるが、地球大気中の中性子アルベドのモデル化に寄与するデータをもたらすと期待される。

地球大気の底、対流圏では積乱雲が発達する。強く帯電する雷雲の中では30 MeVエネルギーに達する電子が大量に増幅されるときがあり、ガンマ線を放射する。放電と同期するものは Terrestrial Gamma-ray Flash (TGF)と呼ばれ、高度600 kmの衛星からも観測できるほど明るい。地上向きのTGFも冬季の北陸でよく観測されるため、日本がその観測の最前線に立っている(Enoto et al. Nature 2017, Nakazawa et al. JGRD 2025)。雷雲そのものが10分以上も継続的にガンマ線を放射するglowと呼ばれる現象も知られる。タネとなるのは宇宙線シャワーとされるが、その定量的な解釈はまだできておらず、モデル化の試みが始まったところである(Tsurumi et al. AGU 2025)。自然界における珍しい静電場加速として、最も身近な粒子加速器として、まだまだ謎が多く、研究が進められている。

高エネルギーアルベド陽電子や電子の測定も地球磁気圏の観測と強く関連している。面白いのが、上向TGFが生み出す電子陽電子ビームであり、これが地磁気に沿って伝播して観測衛星に直撃し、強い 511 keV電子陽電子対消滅線観測を発生させることがある(Briggs et al. GRM 2011)。これはCOSI衛星でも観測されるはずであり、そのモデル化の重要性を示している。

3: 融合研究としての位置付け

高エネルギーアルベドの科学はまさに地球磁気圏の科学でもある。この分野では逆に測定データが足りないために正確なモデル化ができていない。天文学者が見ている多くの現象も、地球磁気圏のコミュニティにはまだ見えておらず、大きな分野間融合のチャンスがある。上記のように間接的に、そして直接的に多くのサイエンスで高エネルギーアルベドの科学の進展が期待される状態になっており、しかも2020年ごろからこれに日本の研究グループが深く関わる状況となった。各分野のメンバーが集まってこれを推進することが、いままさに融合研究として大変面白いと考えている。

馬場 萌花, 大口真奈里, 中澤知洋 et al. 「2024年11月29日に金沢で発生した下向きTGFのチェレンコフ指向性検出器による多点観測」, JpGU 2025, 幕張, 2025/5/25-30

Enoto, T.; Tsuji, N. et al. "Moon Moisture Targeting Observatory (MoMoTarO) Project to Combine Exploration of Lunar Water Resources with Astronomy and Particle Physics on the Moon", Lunar Surface Science Workshop, April 9-10, 2025, Virtually.

三輪聖, 馬場萌花, 中澤知洋 et al. 「TGF電子加速域の位置測定のための指向性チェレンコフ検出器開発」 UVSORシンポジウム2025, 岡崎, 2025/10/30

Baba M., Oguchi M., Ando M., Nakazawa K. et al. "Directional Measurements of On-ground TGFs using Simple Cherenkov Detectors", AGU 2025, New Orleans, 2025/12/15-19

Miwa Tsurumi, Teruaki Enoto et al. "Simulation Study on Gamma-Ray Glows Induced by Cosmic-Ray Air Showers in Winter Thunderclouds", AGU 2025, New Orleans, 2025/12/15-19

(別紙様式-4)

超高解像度・素粒子顕微鏡技術による岩石中の放射性元素の空間分布測定
Measurement of the spatial distribution of radioactive elements in rocks
using ultra-high-resolution elementary particle microscopy technology

福田 努、名古屋大学・高等研究院

【研究目的】

地球の地殻及びマントルを構成する岩石中には、ウラン、トリウム、カリウムなどの放射性元素が含まれる。これらの放射性元素は惑星の内部熱源として重要であり、放射性元素の地球内部における分布や、放射性元素の循環および濃縮をもたらす地質学プロセスの解明は、地球の熱的進化を議論する為には不可欠である。この問題に取り組む上で、第一に様々な岩石中の放射性元素濃度および存在形態を理解することが重要である。これらの元素は、特定の鉱物内、鉱物粒界など、多様な形態で岩石中に存在し得る。そこで、岩石内での放射性元素の空間分布を濃度も含めて測定することが必要である。しかしながら、既存の手法では、空間分解能、分析スループットといった制約から、広面積に対する高解像度の空間分布を取得することが困難だった。

原子核乾板検出器と高速光学顕微鏡システムを組み合わせた超高解像度・素粒子顕微鏡技術を用いた岩石表面の α 線および β 線の観測は、放射性元素の詳細な分布および濃度を高精度で観測する方法として極めて有望であり、申請者らによって技術開発が進展しつつある。特に本技術により、これまで捉えることが困難だった粒界に存在する放射性元素の分布を調べることが可能となる。本研究では、原子核乾板を用いた岩石中の放射性元素濃度の空間分布観測の技術を確立すると共に、実際の岩石の観測を行う。そして、将来的には地質試料に基づく本課題の成果を総括し、地球ニュートリノ観測結果との融合を図ることで、地球内部の放射性元素に関して精密な3次元的分布モデルを組み立てることを目指す。

【研究内容】

我々は、ウランなどの放射性元素を含む岩石試料から放射された α 線飛跡を高速自動検出する画像処理と機械学習を統合した手法を開発した。具体的には α 線飛跡を原子核乾板上に記録し、高速光学顕微鏡システムで取得した画像に対して飛跡を抽出・アノテーションすることで機械学習用の教師データを構築した。これにより目視計測と比べて解析の約8,000倍の高速化を実現した。

- ①：ウラン/トリウムの濃度参照物質を用いて本手法の性能評価を実施し、 α 線飛跡の検出効率やS/N比、そして α 線飛跡の長さ・放出角度に対するバイアスの定量評価を行う。
- ②：岩石表面のU・Th分布を直接可視化して岩石における粒内・粒間の濃集を検証するために、 μm レベルでの岩石写真と原子核乾板データの精密位置合わせ手法を開発する。

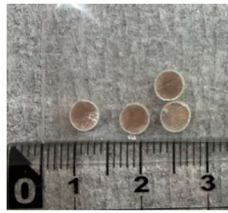
【研究結果と考察】

①：濃度参照物質としてNIST SRM610試料を原子核乾板に20日間接触させ、 α 線を照射した。その後、機械学習を用いて α 線候補24659事象を検出した。また、独立に肉眼による目視観察を行い、16321本の α 線事象を検出した。これらを比較した結果、目視観察で検出した α 線事象のうち97.5%が機械学習でも検出できていることがわかった。さらに、機械学習では検出しているが、目視観察で不検出の事象のうち1000本をランダムに選出して目視観察を行ったところ、79.2%は短い α 線事象であることがわかった。その他の10.2%、2.1%、8.5%はそれぞれ β 線飛跡の停止箇所、宇宙線飛跡、原子核乾板上の傷や表面銀の誤検出であることがわかった。以上から、機械学習による α 線事象の検出効率は92.4%と見積もられ、S/N比は13.6と算出された。今後は飛跡の長さや放出角度に対する依存性を調べ、大面積の岩石測定に適用してゆく。

②： ^{40}K を含む白雲母マーカーを岩石薄片の四隅に設置することで白雲母からの β 線を原子核乾板に記録させるために、白雲母板をレーザー加工して直径5mmの円形にくり抜いた白雲母マーカーを作成した(図1)。これにより、原子核乾板上に β 線で描かれる円の中心を基準として岩石薄片と原子核乾板を

精密に位置合わせすることが可能になる。今後は実際に原子核乾板を設置して位置合わせの精度の測定を行う。

白雲母マーカ-



30 μ m岩石薄片 + 白雲母マーカ-

位置合わせ用
白雲母マーカ-
(β 線源)



花崗岩
薄片

図1：白雲母マーカ-を設置した岩石薄片サンプルの開発

【まとめ】

本研究を通して原子核乾板+機械学習を用いた新手法による岩石表面における α 線飛跡の検出効率やS/N比に対する定量評価を行った。また、新たに白雲母マーカ-を用いる精密位置合わせ手法を開発したことで、岩石中の放射性元素の空間分布の系統的な測定が可能となった。

【成果発表】

・竹下漱一・福田努・他, 「原子核乾板内における β 線飛跡の再構成」, 画像関連学会連合会2025年合同秋季大会, 名古屋大学, 2025/10/27

・T. Nishikiori, T. Fukuda, Y. Kouketsu, S. Niki et al, 「Development of a High-speed Detection Method for Alpha Particle Tracks in Nuclear Emulsion Using Machine Learning」, Neutrino Geoscience 2025, Queen's University, 2025/10/28

・T. Fukuda, Y. Kouketsu, S. Niki et al, 「Pioneering advanced research through α and β ray measurement using nuclear emulsions」, ICMaSS2025, Nagoya University, 2025/12/13

・錦織司・福田努・瀨瀬佑衣・仁木創太・他, 「機械学習を用いた原子核乾板中の α 線飛跡高速検出法の開発」, 日本物理学会2025年度春季大会, オンライン, 2026/3/24

(別紙様式-4)

CMOSイメージセンサーを利用した
生細胞内元素トレーサイメージングシステムの構築
Application of CMOS image sensors
to element imaging systems in living cells.

菅野里美、名古屋大学・高等研究院

【作成要領】

① 研究目的

生物の構成成分である元素は、生体内で適材適所に輸送・蓄積されることで生命活動が維持される。また、元素は生体内のさまざまな反応を引き起こすシグナルでもある。そのため、その局在や挙動を理解することは生命科学分野において重要である。近年の分子生物学的手法の発展により、生きた細胞内の遺伝子、タンパク質の局在や挙動の解析技術の発展は目覚ましい。しかしながら、元素輸送を担う遺伝子やタンパク質の生体内の局在が分かっても、実際の輸送基質（元素）挙動をリアルタイムに検証するためのイメージングツールはなく、元素解析はサンプルを固定、分解して測定する破壊的解析が中心である。そのため、申請者は先行研究において生体での放射性元素トレーサ挙動をイメージングする独自のシステムを立ち上げ、生きた植物での元素輸送解析を進めてきた。システムは、放射線をシンチレータで変換し高感度カメラで検出するもので数分の積算画像を連続取得でき、その空間分解能は、組織間(数細胞の塊間の差異)のトレーサ挙動を検出できる世界で唯一の実験系である。しかしながら、細胞内の挙動を解析できるレベルには達していない。そのため、空間分解能、検出感度を向上させて生細胞内の元素挙動をイメージングできれば、分子生物学ツールと融合したユニークな実験系となり、生物学的に新しい発見に繋がるのが期待できる。そのため、本研究は、CMOSイメージセンサでの細胞内放射線直接検出実験系を立ち上げ、細胞内のトレーサ挙動イメージングへ応用できるか検証することを目的とする。

② 研究方法

これまでの研究は、放射性核種トレーサ（P-32をモデルとする）をCsIシンチレータ（50 μm）による変換後の可視光をレンズにより拡大し、特定の組織（数十細胞）でのトレーサの集積過程をイメージングできている。しかしながらシンチレータを介することでシグナルが拡散すること、レンズによりシグナルの減少および画像の歪みが問題であった。放射線の種類によってはCMOSイメージセンサでの直接検出が可能であり、空間分解能が高められることが考えられた。そこで本研究は、植物一細胞内に取り込ませた放射性核種をCMOSイメージセンサで直接検出することで、サンプルと検出器の距離をより近づけ、かつ1pixelのサイズが小さいイメージセンサを使用することで空間分解能を高めることを考えた。使用するイメージセンサは、β線の検出に十分な半導体の厚みがある浜松ホトニクス社のCMOSエリアイメージセンサS14501（画素サイズ7.4 x 7.4 μm）を基本とし、より小さな画素サイズの製品を展開しているGpixel社のCMOSイメージセンサGSENSE2020BSI（画素サイズ6.5 x 6.5 μm）での検討を進めた。

③ 研究結果、考察

浜松ホトニクス社のCMOSエリアイメージセンサS14501において、 β 線の検出が確認できていたものの、今回検討したセンサーは、センサーと基盤の固定治具の構造上、標準線源をセンサーに密着できないことから明瞭なシグナルを検出することができず、Pixelサイズの影響について比較検討することができなかつた。さらに今回検討したセンサーは、その制御用基盤のサイズが大きく、電流・電圧のコントロールやPC上のプログラム制御が複雑なこともあり、将来的に生物実験用の顕微鏡に搭載することを考えると最適とは言えないことが分かった。そこで、小型で制御の容易さから携帯電話等の小型CMOSカメラに着目した。この場合、シグナルを画像として抽出するためのカメラモジュールが一体となっており、小型で生物実験の他の装置との組み合わせも容易である。現在、カメラモジュールの選抜を終え、SONY社のカメラモジュール（画素サイズ $2.74 \times 2.74 \mu\text{m}$ ）を入手した。今後はカメラモジュールでの検出を検討し、センサーの保護ガラス等の影響について検証を続けていく。

しかしながら、上記の検出系は2Dでの検出であり、生体サンプルの厚みからのシグナルの重複がある。より高解像度を指すためには、得られたシグナルについて、生体サンプルの厚みや水による影響を考慮し、計算によるデコンボリューション、AIによる画像処理と組み合わせる必要がある。

最後に、本支援により検討したアイデアをもとに科研費挑戦的研究（萌芽）を取得することができ、研究の発展に繋がりましたこと関係者の皆様に感謝申し上げます。

④ 成果発表

（CMOSセンサーとシンチレータを組み合わせた実験系での成果）

原著論文

“Rhizoid-mediated Phosphate Uptake and Internal Transport in the Non-Vascular Plant *Marchantia polymorpha*” Satomi Kanno, Hinatamaru Fukumura, Shiori Sato, Kenta C. Moriya, Yuuki Sakai, Kimitsune Ishizaki, *New phytologist*, 2026,250,p708-716

口頭発表

“Phosphate transport and response mechanisms revealed by micro-regional tracer imaging,”
Satomi Kanno, IRN France-Japan Frontiers in Plant Biology Symposium 2025 2025年11月 20日

"Beta-ray imaging in vivo is a good tool for elucidating nutrient element (phosphate) absorption mechanisms in plant roots, Satomi Kanno, Pascale David, Laurent Nussaume
7th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry 2025年9月15日"

(別紙様式-4)

Magnetotelluric法による地下探査への宇宙天気情報の活用
Utilization of space weather information in underground exploration using
magnetotelluric method

市原 寛、名古屋大学・大学院環境学研究所

宇宙天気現象の一つである地磁気擾乱は、地球内部に誘導電流 (GIC) を生じさせる。Magnetotelluric (MT) 法は、このような地磁気擾乱やそれに伴う誘導電流をシグナルとして利用し、地下の電気伝導度分布を明らかにする物理探査手法である。MT法は、資源探査に加え、地震や火山噴火の発生域における地下構造の解明にも有効な手法として重要な役割を果たしている。特に、人工ノイズの多い都市域や、シグナルが減衰しやすい海底においては、地磁気擾乱時に質の高いデータを取得することが観測成功の鍵となる。そのため、観測計画に宇宙天気情報を取り入れることは極めて重要である。

一方で、地下探査と宇宙天気の研究者が密接に連携した事例はこれまで多くなく、両分野の融合は十分に進んでいるとは言い難い。そこで本課題では、ISEEの宇宙天気現象の専門家からなる宇宙天気チームと、地下探査の専門家からなる探査チームが連携し、宇宙天気予測技術を活用して良質なMT観測データを効率的に取得する体制の構築を目指した。さらに、このような宇宙天気情報活用型MT観測が、地熱資源をはじめとする地下探査の高効率化に寄与し、将来的な社会実装につながる可能性についても検討した。

本課題では、まずMT法観測における宇宙天気情報の具体的な活用方法について検討を行った。探査チームが実施した海底MT観測では、宇宙天気チームから随時提供される宇宙天気予報を参考にしながら、特に電力消費の大きい高周波サンプリングの実施期間を適切に設定した。その結果、精度の高いMTレスポンスを取得することに成功した。これらの成果の一部はシンポジウムにおいて発表しており（業績1）、あわせて宇宙天気情報の重要性についても講演会等で発信した（業績2、3）。さらに、他の観測計画においても、宇宙天気チームから適宜助言を受けながら観測を実施した（業績4）。加えて、MT観測データを宇宙天気研究へ活用する可能性についても検討を進め、両分野の相互発展につながる研究の方向性を議論した。

また、本融合研究体制をさらに発展させる取り組みとして、大学発新産業創出基金事業GAPファンドプログラムへの応募等も行った。これらの活動を通じて、スタートアップ創出を含む研究成果の社会実装を視野に入れつつ、事業化可能性の評価も進めた。

本課題の実施にあたっては、課題参加者全員が出席する会合を名古屋大学内で定期的に行われ、全体で8回程度の打ち合わせを行った。初期の会合では、地下探査分野と宇宙天気分野の研究者がそれぞれの知見や課題を共有し、相互理解を深めた。中期には、前述の宇宙天気情報活用型MT観測の実施体制の構築を中心に議論を進め、後期には、進捗状況の確認に加え、GAPファンドへの応募に向けた具体的な打ち合わせを行った。これらの会合を通じて、研究の進展に応じた知見の共有と連携体制の強化を継続的に図った。

研究業績

1. 市原 寛・黒田真奈加・中村捷人ほか、海熊野灘・日向灘における比抵抗構造の解明、海と地球のシンポジウム2025,東京, 2026年3月
2. H. Ichihara, H. Nakamura, M. Kuroda, et al., Electrical Resistivity Distributions in Megathrust Earthquake Zones of the Japanese Island Arcs, AGU2025 Fall Meeting, New Orleans, Dec. 2025 (Invited)
3. 黒田真奈加, 市原寛, 後藤忠徳ほか, 新規および既存データを用いた熊野灘海域の海底電磁場解析, CA研究会2025年度研究集会, 郡山, 2026年3月
4. 藤雄介, 市原寛, 江尻智香ほか, 3次元インバージョンコードを用いた2004年新潟県中越地震震源域の地下比抵抗構造の再解析, CA研究会2025年度研究集会, 郡山, 2026年3月

(別紙様式-4)

岐阜大学における冷却実験拠点の構築とミリ波・サブミリ波帯における高精度観測の実現

Establishing a cryogenic experiment facility at Gifu University and investigating high-precision millimeter and submillimeter-wave observations.

村瀬 建、岐阜大学・工学部

■ 概要

本研究課題では、岐阜大学においてミリ波・サブミリ波帯観測装置の開発を推進するための冷却実験開発拠点を整備し、将来的な高感度受信機開発および高精度な受信温度較正手法の確立に向けた基盤を構築することを目的とした。特に、超伝導デバイスや低雑音増幅器を用いる観測装置開発には極低温環境での性能評価が不可欠であることから、岐阜大学内で継続的に実験・評価を実施できる体制の整備を進めた。併せて、名古屋大学宇宙地球環境研究所および大阪公立大学との連携のもと、観測装置開発に関する技術的知見の共有と実機評価を行い、次年度以降の本格的な冷却黒体実験へと接続する準備を進めた。

■ 実施内容

本年度は、まず岐阜大学における冷却実験開発拠点の立ち上げに向け、基礎的な工具・物品の整備を行った。これにより、受信機開発や低温環境下での評価試験を学内で実施するための基盤を構築した。次に、大阪公立大学の協力のもと、岐阜大学にて開発中の受信機にて使用する冷却HEMT増幅器および常温増幅器の性能評価を実施した。評価試験では、利得や雑音特性などの基本性能を確認し、いずれもデータシートと整合的な結果を得ることができた。これにより、今後受信機システムへ組み込む要素技術の健全性が確認された。また、共同研究機関との連携を通じて、冷却系の構成、受信機評価手法、黒体較正に関する技術的議論を進め、次年度に予定している機械式冷却黒体を用いた本格的な冷却実験の設計指針を整理した。これらの成果は、岐阜大学における観測装置開発を進めるうえでの初期段階として重要な意味を持つ。

■ 研究成果

本年度の主な成果は以下の通りである。第一に、岐阜大学における観測装置開発のための実験基盤整備を進め、冷却実験開発拠点の構築に向けた初期環境を整備した。これにより、これまで主として他機関に依存していた低温実験・評価の一部を、岐阜大学内で段階的に実施できる体制が整いつつある。第二に、冷却HEMT増幅器および常温増幅器の性能評価を行い、所期の性能が得られることを確認した。これは、今後の受信機開発や温度較正実験を進めるうえで、用いる素子および評価系の信頼性を担保する成果である。第三に、これらの評価結果を岐阜大学の卒業論文として取りまとめた。研究成果を教育活動へ接続できたことは、単なる装置整備にとどまらず、若手人材育成の観点からも意義が大きい。第四に、名古屋大学宇宙地球環境研究所および大阪公立大学との共同研究体制を維持・発展させ、受信機開発・低温評価・較正実験に関する知見共有を進めた。これにより、次年度以降のより高度な共同実験を遂行するための準備が整った。

■ 次年度への接続

本年度は、冷却実験そのものを本格実施する前段階として、実験拠点整備および受信系要素の性能確認を中心に進めた。これにより、次年度には、整備した冷却実験環境を実際に用いて、機械式冷却黒体を受信機冷却系に組み込んだ本格的な冷却実験へと進むことが可能となった。次年度は、主として以下の点を重点的に進める予定である。第一に、冷却開始から定常運転に至る温度到達特性、温度安定性、長時間運転時の温度揺らぎやドリフトを定量評価する。第二に、冷凍機由来の振動や外乱が較正精度に与える影響を検証する。第三に、冷却デューワー内の真空度を継続監視し、温度安定性や冷却性能との相関を評価する。さらに、名古屋大学側で蓄積されているミリ波帯受信装置における機械式冷却黒体評価の知見と、岐阜大学側で進めるセンチ波帯装置での実験結果を比較することで、幅広い周波数帯における汎用的な較正手法の確立を目指す。このように、本年度の成果は、次年度採択課題である機械式冷却黒体を用いた高精度な受信電波温度較正法の評価を実施するための直接的な準備段階として位置づけられ、研究計画は連続性をもって発展している。

(別紙様式-4)

隕石観察による過去～現在の宇宙環境および太陽活動の変動の理解と暗黒物質の探索
Understanding of the past and present space environment and solar activity using observation of meteorites
and the search for dark matter.

橋口 未奈子、東海国立大学機構名古屋大学大学院・環境学研究所

本研究は、隕石試料中に記録された宇宙線の痕跡から、①太陽系進化および過去～現在の宇宙環境および太陽活動の変動を理解すること、②未知宇宙線事象の頻度と地球環境への影響を明らかにするため、隕石試料中の宇宙線の飛跡を利用し、過去数百万年間の宇宙線照射環境について、年代学的制約を与えることを試みる。

【研究手法】本研究では、フィッシュトラック年代法・宇宙線トラックの観察が主に行われてきた石鉄隕石 (パラサイト隕石)を購入し、次の(1)~(3)を進める。

(1) 宇宙線トラックの観察手順、試料前処理方法、さらに、得られるデータの精度・バックグラウンド、解釈法について検討する。

(2) 暗黒物質・未知粒子の探索に用いる隕石中の鉱物や観察法、試料前処理法の最適化を行う。

(3) (1)(2)を踏まえ、隕石試料の鉱物中に残る宇宙線の飛跡の長さ・密度から、過去数百万年間の宇宙線照射環境および太陽活動について、年代学的制約を与えることを試みる。また、太陽系の同位体三分性と年代学理解に向けてダストの熱進化および移動と微惑星形成の統一シミュレーションを行う。さらに、地質学的記録から太陽・銀河由来の宇宙線環境が地球環境に与える影響を明らかにする。

また、関連研究を進めている外部の研究者 (同位体地球惑星科学、鉱物学など)を招待した研究会を行い、本研究で得られた結果や今後の展望についてさらに吟味していく。

【研究成果】

今年度では、研究会・ワークショップの実施、隕石試料の宇宙線トラック観察・手法の検討により、(1)(2)を進めた。さらに、これらをとおして、融合研究として、異分野連携体制の構築および隕石試料を用いた宇宙線トラック研究の実施基盤を確立し、今後の具体的な研究展開、研究戦略の構築につながる成果を得ることができた。2025年度の成果の詳細は以下の通りである。

1. 隕石試料の宇宙線トラック観察・手法検討

東邦大 中氏、および東邦大、名古屋理学部の学部・修士学生と連携し、これまで、フィッシュトラック年代法・宇宙線トラックの観察が行われてきた石鉄隕石について、試料粉碎・内部のケイ酸塩粒子をピックアップし、研磨試料を作製した。試料は、日高洋氏保有のパラサイト隕石 (Imilac隕石)を使用した。まず、エッチング処理 (アルカリ溶液で鉱物の格子欠陥を溶解させトラックを可視化する化学処理)を行う前に、光学顕微鏡観察を行ったところ、エッチング未処理にも関わらずトラックに似た数10~100ミクロン長の構造が複数観察されることが分かった。先行研究論文 (e.g., Stevens et al. 2010, M APS)より、これらは、隕石母天体における衝撃変成・転移により形成されるインクルージョンの可能性はある。宇宙線トラックの観察・同定の精度に影響する可能性があるため、現在、東邦大中氏、加藤丈典氏によりエッチング処理・観察を進め、その影響を検証している。また、今後は、このようなインクルージョンを含まない別の隕石試料でも同様の作業を進める予定である。これにより、本現象が特定試料に依存するものかどうか、ひいては、本研究課題の目的: 宇宙線トラックの観察手順・試料前処理方法、暗黒物質・未知粒子の探索に適した隕石試料の検証も可能となることが期待される。

さらに、異なる年代の宇宙線照射・放射線環境の記録を得ることも目的とし、Imilac隕石 (宇宙線照射年代 65 Ma: Herzog et al., 2015)のほか、普通/炭素質コンドライト (宇宙線照射年代 数 Maの試料; Heck et al., 1994; Graf & Marti, 1995)を入手した。今後、各試料に含まれる鉱物について、Inclusionのようなトラック観察に影響する可能性のある構造の有無を調べたうえ、エッチング処理により鉱物に記録された宇宙線の電荷の情報を得る。将来的には、太古の宇宙線トラックの痕跡を残していると期待される月隕石 (照射年代 >100 Ma)のトラック観察を進め、試料の宇宙線照射年代、推測される母天体の特徴・変質過程などをもとに、太陽系進化および過去～現在の宇宙環境および太陽活動の変動、さらに、未知宇宙線事象の頻度についての理解へ繋げたい。

2. 研究会・ワークショップ

- 2025/5/12: キックオフミーティング@名大ISEE

本研究メンバー間で、今年度の研究計画、使用する隕石試料や試料の化学処理や観察手順などについて、先行研究内容をもとに議論した。

- 2025/7/18: 第一回研究会「宇宙線トラック分析を通じた太陽系年代学・太陽圏放射線環境・未知粒子の理解に向けて」@名大ISEE

本研究課題を進めるにあたり、鉱物試料の宇宙線トラック観察、パレオディテクター研究がご専門の、東邦大学 中竜大氏によるご講演（講演名：「鉱物に記録された億年スケールの宇宙線トラックの分析と未知粒子の探索」）をいただいた。名古屋大学、東邦大学、ペンシルベニア州立大などからの参加があり、隕石鉱物の宇宙線トラックを利用したダークマターの研究について、また、鉱物宇宙線トラックの化学処理や観察の問題点、精度について議論した。研究会において、研究課題の発展性を踏まえ、国内の関連研究者で組織的に研究を進めていくことが提案された。

- 2025/12/25-26: 第一回TAICOワークショップ (Tracking Ancient Imprints of Cosmic Origins) @名大ISEE (主催: ISEE, JAMSTEC, 世話人: 加藤丈典 (名大) 中竜大 (東邦大) 廣瀬重信 (JAMSTEC) 村瀬孔大 (ペンシルベニア大&京大) 橋口未奈子 (名古屋大学))

“地中や海底の深部にある鉱物、隕石や月の試料などに刻まれた「太古の粒子の痕跡」を読み解くことで、宇宙線や重元素合成の起源、地球を含めた惑星の歴史、そしてダークマターの手掛かりを統合的に探る学際型ワークショップ”として、国内外の地球科学、宇宙化学、材料科学、素粒子・宇宙線物理の研究者たちによるワークショップを実施した。講演者23名で、参加者現地38名、オンライン25名であった。本研究課題メンバーでは、日高洋氏 (環境学)、渡邊誠一郎氏 (環境学)の講演があった。元素合成、ダークマター、パレオディテクター、太陽風、地球外試料、地球試料、などについての幅広いテーマの講演をもとに、パレオディテクターとして候補となりそうな鉱物、地球外試料中の鉱物に残るトラックから引き出せる・引き出したい情報について、また、現状・今後の課題などについて議論を交わした。第一回ワークショップでは、異分野間のネットワークの形成や意見交換、目標とするサイエンスについての議論を目的とし、今後、参加者・講演者と今後も連携してより具体的な研究戦略を立てていくこととした。このワークショップにより、本研究課題を含め、国内外の研究者を横断した議論の場・研究発展の基盤を構築することができた。

- 2026/2/12: 第二回研究会@名大ISEE

融合研究戦略課題メンバー間で、今年度に進めた内容についての情報共有・議論、および、TAICOワークショップの内容もふまえて新たに入手する隕石試料などについての検討や、惑星形成、太陽風測定などの側面からどのような研究に繋がれそうか (例: 中性子捕獲による同位体変動、宇宙線トラック密度と隕石の化学的種類との比較をもとにした、隕石の軌道、惑星形成プロセスへの制約)など、今後の展望・計画について議論した。

3. 機関内外の研究者間ネットワーク、研究基盤の形成

上記、研究会、TAICOワークショップをもとに、東邦大 中氏、JAMSTEC 廣瀬重信氏、ペンシルベニア州立大 村瀬孔大氏との連携が生まれた。また、同ワークショップにおける講演者でもある東北大学 吉田純也氏とは、放射光分析を用いた石鉄隕石鉱物中のインクルージョンの組成分析、トラック観察について、検討を進めている。そのテストとして、名大環境学の道林克禎氏とも協力し、地球の鉱物試料を用いた放射光での化学組成分析の計画が進んでいる。

隕石鉱物のトラック観察、実際の作業は、東邦大 中竜大氏と東邦大の学部・修士学生、パレオディテクター研究・鉱物中のトラック自動検出ソフトウェア開発で、名大理学部物理学科の学生とも連携して進めた。

以上、名古屋大学内にとどまらず、外部の研究者とも連携し、計画段階の内容も含め、研究が進められた。さらに、第一回TAICOワークショップでは他分野における研究者間の意見交換、コミュニティ形成の基盤が作られた。今年度では、2023-2024年度 融合研究戦略課題「太陽系年代学の進展と放射線環境変動研究との融合」(課題代表: 渡邊誠一郎氏)において作られた、名古屋大学内の研究者間ネットワーク (本課題研究メンバー)をさらに発展させ、将来的な融合研究コミュニティの形成に大きく貢献した。