

2024年度 融合研究戦略課題 目次詳細

13 件

*所属は2025年3月現在

*Affiliation displayed are current as of March 2025.

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	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
1	門脇 誠二	名古屋大学	博物館	南 雅代	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	378	
2	松尾 太郎	名古屋大学	理学研究科	三野義尚	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	380	
3	田中 幸恵	名古屋大学	附属図書館	三好 由純	デジタルデータを活用した文理融合研究の可能性検討	382	
4	中澤 知洋	名古屋大学	素粒子宇宙起源研究所	三好 由純	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～	384	
5	富田 英生	名古屋大学	工学研究科	南 雅代	レーザー分光による放射性炭素同位体分析の定量性評価に関する研究	386	
6	持田 陸宏	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	持田 陸宏	宇宙開発に伴う大気汚染評価	387	
7	菅野 里美	名古屋大学	高等研究院	伊藤好孝 →田島宏康	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	389	
8	内海 志典	岐阜大学	教育学部	檜山哲哉	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	390	
9	MENDEZ Carlos	名古屋大学	国際開発研究科	高橋 暢宏	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	392	
10	渡邊 誠一郎	名古屋大学	環境学研究科	加藤 丈典	太陽系年代学の進展と放射線環境変動研究との融合	394	
11	渡邊 智彦	名古屋大学	理学研究科	三好 由純	核融合理論と磁気圏プラズマの高性能計算モデリングの融合研究	396	
12	村岡裕由	岐阜大学	流域圏科学研究センター	檜山哲哉	アジアアグリーンベルトにおける環境一社会共生体化の実現に向けたフューチャー・アース研究ニーズの分析・課題の抽出	398	
13	砂田 茂	名古屋大学	工学研究科	菊地 亮太	観測業務におけるヘリコプタ利用の可能性検討	400	

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

本申請課題は、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「埋没後の二次的形成物」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。例えば、鉄器中の炭素から汚染炭素を完全に除去することは難しく、鉄器から得られる放射性炭素年代は信頼性に欠ける場合が多いと言わってきた。しかし、コンクリーション部分の年代を測定することにより、内包された鉄器遺物の年代を正確に決定できる可能性がある。

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、その研究プロジェクトに南雅代教授（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。そして今年度から、コンクリーション形成における微生物の関りを検討するため、その専門家である天野由記博士が研究メンバーとして加わった。

進捗状況

上記の目的の下、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2023～2024年度の2年にわたり行ってきた。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回の年代が歴史記録から分かっている。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ことで有名である。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ことが分かっているが、その形成過程については不明であった（文化庁文化財第二課 2022, p. 167）。

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面会し、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。また、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の環境を調べるため、2024年度の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。これらのサンプリングの目的と方法についてダイバーの方と事前に打ち合わせを行い、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（図1）。その後、松浦市立埋蔵文化財センターにて堆積物コアや海水サンプルの処理を行った。堆積物コアは長さが約60cm程であり、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（図2）。後者のサンプルから、年代測定や微生物調査などを現在進めており、コンクリーションの形成プロセスや環境の解明を期待している。

今後の予定と本研究の意義

今後は、1年目の分析（金属器コンクリーション）と2年目の分析（海底遺跡環境）の結果をふまえ、金属器コンクリーションの形成プロセスの観点から総括する予定である。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。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、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海水サンプルを得ることができた。現在進めている分析の結果を今後総括して得られる知見は、ISEE「融合研究戦略課題」から生まれたオリジナルの学術貢献になることが期待される。



図1 長崎県鷹島神崎遺跡の海底発掘にて、元寇船直上の堆積物コアを受け取った様子。



図2 元寇船直上の堆積物コアを分割し、年代測定や微生物調査のために 2cm ごとのサンプリングをする様子。

引用文献

文化庁文化財第二課（2022）『水中遺跡ハンドブック』、文化庁文化財第二課。

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

本研究は2025年に発表した、24億年前の大酸化イベント以前における光合成生物と地球表層の共進化を記述した「緑の海仮説」（文献1）を検証すべく、太古代の海洋と類似環境にある鹿児島県薩南諸島硫黄島の周辺海域においてフィールド調査を実施するものである。大酸化イベント以前に水中で誕生したシアノバクテリアによって水中での酸化が始まり、当時、水中に豊富に含まれていた還元的な鉄も酸化された。その後、酸化鉄の青色光の吸収によって光環境が緑に変化し、それに伴って緑の光が自然選択圧となって緑の光を利用する現在のシアノバクテリアが太古代の海で優勢になった、というものである。本仮説の検証において鍵となるのが、水中の酸化鉄によって形成される緑の光環境である。当時の光環境が再現されている場所が薩南諸島の硫黄島海域である。この海域では、浅瀬に熱水噴出孔が発見され、そこに水酸化鉄が降り積もっていることが確認されている。そこで、水中の透過光の光スペクトルと光合成生物の色素を水深ごとに計測し、光環境と色素の関係を検討する。現代の古環境と類似した光環境と光合成生物の分布に基づいて、大酸化イベント以前の光合成生物の進化に対して重要な示唆を与え、緑の海仮説を検証することを目指す。

・研究方法：

鹿児島大学との協力に基づいて、鹿児島大学の調査船および地元の漁船を利用して、薩南諸島の硫黄島周辺海域の複数地点において、水深ごとの透過光スペクトルを計測した。この複数地点は、水酸化鉄が含まれる緑の海域だけでなく、近傍の青の海域も含む。同時に採水を行い、酸化鉄の濃度分布と水に含まれる光合成生物の色素の種類を測定した。青と緑の海域における光合成色素の分布を比較することによって、光スペクトルと色素の相関の有無を調べた。

・研究結果：

2024年9月17日から20日の予定でフィールド調査を実施したが、台風接近に伴う天候不順のため日程を2日間に短縮して実施した。調査時間は非常に限られていたものの、水酸化鉄が非常に濃い茶色の海域における水深ごとのスペクトルと、青・青緑・茶色の海域における表層水を採取することに成功した。この表層水を濾過して、フローサイトメトリーを実施することで緑の光を吸収する色素タンパク質（フィコエリスリン）の割合を明らかにすることに一部成功した。その結果、青→緑→茶色の順に緑の光を吸収するフィコエリスリンの割合が増加することが確認され、光環境と相関していることが明らかになった。特に、青色の海域にはフィコエリスリンを保有するシアノバクテリアの割合は全体の数%しかいないのでに対し、茶色の海域では90%以上を占めており、その差が顕著であった（図1）。これらの海域は百メートルしか離れておらず、これが正しい場合には光環境によって種の選択が顕著に起こっていることを示す初めての例になり得るだろう。2025年度にはより網羅的なデータを取得して、論文として報告することを目指す。なお、フローサイトメトリーでは龍谷大学の協力を得て実施した。

・成果発表

文献1:

T. Matsuo, K. Ito-Miwa, Y. Hoshino, Y. I. Fujii, S. Kanno, K. J. Fujimoto, R. Tsuji, S. Take da, C. Onami, C. Arai, Y. Yoshiyama, Y. Mino, Y. Kato, T. Yanai, Y. Fujita, S. Masuda, T.

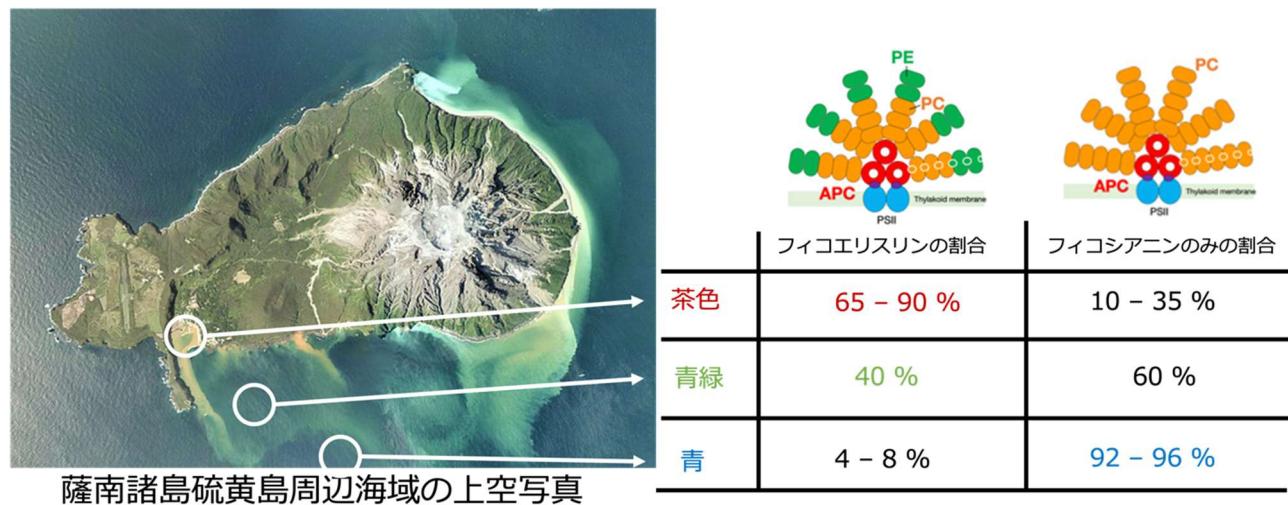


図1. 青・青緑・茶色の海域における、緑から橙の光を吸収する色素タンパク質を持つシアノバクテリアの割合と橙の光のみを吸収する色素タンパク質を持つシアノバクテリアの割合。

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 fusion 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（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。



図1. 機構デジタルアーカイブのトップ画面
(URL: <https://da.adm.thers.ac.jp/>)

機構デジタルアーカイブ構築は、東海国立大学機構デジタルユニバーシティ構想基本計画ならびに名古屋大学学術データ基盤整備基本計画における取組みの一つである。機構の構成員が収集・作成した画像や動画のデータセットを共有・公開し、研究者や一般市民の利活用に供するためのプラットフォームとして位置づけられている。

収載するコンテンツは、古文書など紙資料をデジタル化したものや標本画像、種々の写真や動画など、あらゆる分野のデータが対象となる。それらのコンテンツを元の研究領域に捉われず幅広く利用してもらう

ことで新たな研究が生み出されることが期待されている。

また、2024年4月1日に、名古屋大学において、「デジタル人文社会科学研究推進センター（以下、「DHSSセンター」）」が設立された。そのミッションの1つであるデジタルデータの積極的な公開と相互利活用に関しては、附属図書館も連携・協力予定である。また、学内他部局との連携も視野に入れており、この点で宇宙地球環境研究所融合研究戦略課題・DHSSセンター・機構デジタルアーカイブは文理融合研究を志向している。そこで、デジタルデータの利活用について立場の異なる三者間で意見交換等を実施し、新たな研究テーマの創出やデータ利活用のアイディアや学術基盤としての機構デジタルアーカイブの発展につながる種々の活動を行うこととした。

2. 実施内容概要

2-1. DHSSセンター教員会議での説明

日時：2024年9月6日（金）9:00-9:15

場所：Microsoft Teamsによるオンライン会議

内容：附属図書館より、「宇宙地球環境研究所「融合研究戦略課題」ご協力のお願い」と題し、機構デジタルアーカイブの宣伝を行うとともに、融合研究戦略課題遂行にあたり、協力をお願いする可能性がある旨説明を行い、質疑応答・意見交換を行った。主に次のような意見があった。

- ・デジタルコンテンツを研究素材として提供するだけでなく、資料の現物を美術館等に貸し出すなど、まずはシンプルに親しむ・楽しむ機会を設けられるとよいと思う。

2-2. DHSSセンター教員との意見交換会

日 時：2024年9月27日（金）16:00-17:00

場 所：DHSSセンター

参加者：日比嘉高教授（DHSSセンター/人文学研究科兼任）、岩田直也准教授（DHSSセンター）、田中幸恵、富岡達治、小嶋悦子、眞野博和、我喜屋累（附属図書館）

内 容：附属図書館から、融合研究戦略課題の概要と現在の構想、機構デジタルアーカイブについて簡単に説明した後、意見交換を行った。意見交換では、主に次のような意見があった。

- ・テキスト化されていない画像データはその資料の専門外の人間には扱いづらいため、利用対象を広げるためにはまずはテキスト化に取り組むことが必要である。

- ・テキスト化の際にAIを活用できるとよいユースケースになるのではないか。
- ・人文社会系の最近の傾向として、電子化したいデータや公開したいデータベースの公開場所やメタデータの付け方、整理方法に悩みを抱えている人が多い。この点を、データ共有の知識が豊富な宇宙地球環境研究所教員と考えてみることも興味深く思う。

2-3. Joint Symposium of Space Climate 9 Symposium and ISEE Symposiumでの発表

日 時：2024年10月2日（水）12:25-12:40

場 所：名古屋大学理学南館 坂田・平田ホール

報告者：田中幸恵、我喜屋累（附属図書館）、三好由純教授、森康則学術主任専門職（宇宙地球環境研究所）

発表タイトル：Exploring the potential uses of digital archive for the development of interdisciplinary research : based on the Tokai National Higher Education and Research System (THERS) Academic Digital Archive

内 容：「データレスキー」を取り扱うセッションに登壇し、機構デジタルアーカイブと融合研究戦略課題について、英語で紹介した。

2-4. 学術研究・产学官連携推進本部URAとの意見交換会

日 時：2024年10月23日（水）14:30-15:30

場 所：TOIC NAGOYA (Tokai Open Innovation Complex)

参加者：沖原理沙、堤良恵、坂口菜朋子（学術研究・产学官連携推進本部）、三好由純教授、森康則学術主任専門職（宇宙地球環境研究所）、田中幸恵、富岡達治、小嶋悦子、眞野博和、我喜屋累（附属図書館）

内 容：機構デジタルアーカイブを今後、学内外に宣伝しつつ、学内の学術資産を研究基盤として利用できるようにするための広報企画について、情報交換を行った。

2-5. 機構デジタルアーカイブ利用者アンケート

機構デジタルアーカイブの利用のされ方・今後の改善点の抽出などを主な目的とし、以下の要領でアンケート調査を実施した。

実施期間：2025年1月15日（水）～2025年3月2日（日）

対 象：機構デジタルアーカイブの全利用者

方 法：Microsoft FormsによるWebアンケート

総回答数：28件

主な回答内容：調査や研究に利用する教員・研究者からの回答が最も多いかった。サイトそのものは見やすいが、検索システムの絞り込み機能等の細かい操作性については改善要望があった。

また、今後の搭載コンテンツの充実に期待する意見もあった。

2-6. 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、以下の取り組みを行った。

- ・情報戦略室の青木学聰教授を中心として、各種デジタルコンテンツ等の管理・流通のためのDOI利活用に関する意見交換を、情報戦略室・宇宙地球環境研究所・機構統括技術センター（コアファシリティプログラム）・附属図書館で不定期に実施した。
- ・名古屋市立大学の能勢正仁教授を中心として、研究データの被検索性の向上のため、太陽地球物理学分野の専門スキーマ（SPASEスキーマ）で記述されたメタデータを汎用メタデータスキーマ（JPC OARスキーマ）に変換して名古屋大学学術機関リポジトリに登録する取組みを宇宙地球環境研究所と附属図書館で実施した。

3. 今後の展望

機構デジタルアーカイブが分野を超えた融合研究に資するために、AIを活用したコンテンツのテキスト化など、具体的な取組みに着手していきたい。また、アンケート結果を精査して機能改善の検討と予算確保に努めるとともに、広報活動についてもURAと連携しながら実施の検討を進め、さらなる利用・活用範囲の拡大につなげていきたい。

また、宇宙地球環境研究所を中核拠点、DHSSセンターなどを参画機関とした、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」が2024年に採択された。同プログラムでは、歴史文献などのデータアーカイブ化を目指すなど本融合研究戦略課題との親和性も高いことから、本課題の発展的展開のために同プログラムとの連携も視野に入れる。

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 : 研究目的

本研究は、2つの国際宇宙ステーション（ISS）搭載ミッションで、2026-2027年に相次いで打ち上げ予定の、「MoMoTar0-ISS実証」および「SUIM（旧名 XRPIX-MISSE）」で計測されるアルベドX線、ガンマ線、中性子線のデータ、さらに天体X線の地球大気吸収を、ISEEの磁気圏データと組み合わせる連携を軸として、高エネルギーアルベドの融合研究を行うことを目的とする。

地球大気の高エネルギーアルベドは、MeVガンマ線と高速中性子および熱中性子が強い。似たエネルギーの荷電粒子と異なり、この2 (or 3)種の粒子の計測、とくに他の粒子との弁別は容易ではないが、それぞれが異なる相互作用を通じて、X線およびMeVガンマ線の天文衛星のバックグラウンド源となる。荷電粒子由来のバックグラウンドを徹底的に除去する技術が進展しており、これらの成分が感度を支配する時代になっているため、高エネルギーアルベドの理解が重要であるが、そのモデル化はシンプルなものに止まり、時間変動なども取り込まれていない。

高エネルギーアルベドは宇宙線と物質の相互作用に起因するが、月面からの放射は銀河宇宙線や太陽フレア高エネルギー粒子の遠隔観測を可能とし、月面で水が多い地域では熱中性子が増えるなど月面探査の鍵も握る。バンアレン帯などの trapped proton/electron の起源ともされる。高エネルギーアルベドの生成は高層大気の状態が関わるはずであるが、高度100 km付近の大気の密度や組成、時間変化は、観測の難しさからよく分かつたいない。これをX線の吸収というリモセンで探る研究が始まったところである。宇宙線と大気の相互作用は、もちろん大気ニュートリノのモデル化とも密接に関わるため、素粒子研究にもつながる。

これとは独立に大気中で30 MeV電子が生まれる雷ガンマ線現象も存在する。これは雷雲中で電子が電場加速されるもので、雲中で継続的にガンマ線が放射されるGlow、雷放電と同期する突発放射 Terrestrial Gamma-ray Flash (TGF) や電子ビーム Terrestrial Electron Beam (TBE)、そして2024年になって発見されたFlickering gamma-ray flashes (FGF) や極めて弱い Weak TGFなど多様な高エネルギー現象が観測される。スプライトやブルージェットなどの上層大気の transient luminous event (TLE) も雷放電に伴って観測される。いずれもその存在は確立したものの物理プロセスの解明には至っていない。

本研究の目的は、低軌道衛星や大気球実験における、大気ガンマ線・中性子計測、軌道上からのX線吸収計測、雷ガンマ線計測などを統合し、地球磁気圏や宇宙天気予報の研究分野と連携することで、今までX線・ガンマ線天文系のミッションで「バックグラウンドとして捨てていた信号」「見えていたけれども、観測目的と関係ないための無視してきた信号」の中から、磁気圏および高層大気研究に寄与するサイエンスを抽出すること、そして後者の知見から天文系のバックグラウンド推定精度の革新的な向上や、上層大気高エネルギー粒子のモデルの高精度化を狙う。

2 : 研究方法

この分野は、「MoMoTar0-ISS実証」、「SUIM」のコラボレーション、「X線天文衛星の地食データを用いた上層大気密度測定」のコラボレーション、そして「雷ガンマ線測定」のコラボレーションを、それぞれISEEを巻き込む形で連携して立ち上げることが最初の一歩である。2024年度はこれらのコラボレーション各々の研究を進めるのと並行し、名古屋大学のGRAINE sub-GeVガンマ線気球実験、京都大学のSMILE MeV気球実験のチームにも積極的に声かけして、12/17にISEEにて最初の小ワークショップを開催した。「月面ガンマ線のMeV衛星COSIおよびGeV衛星Fermiによる遠隔計測の見積もり及び解析」という新しい視点も導入した。この結果が、上記の研究目的にまとめたものである。その内容は1年前よりも進展しており、今後もこの連携を通じて「地球大気の高エネルギーアルベド」の融合研究の定義を進める。

3 : 研究結果と考察

「MoMoTar0-ISS実証」実験は来年の打ち上げへ向けてハードウェアの開発が着々と進められ、すでにフライタ品(FM)の設計を固めたBBM/EMの環境試験、性能試験が精力的に進められている（別予算）。一方で検出器システムの軌道上実証が主目的であることと、開発の忙しさもあり、実際にISS軌道からアルベド中性子（とガンマ線）がどのように見えるのか、そこにどのようなサイエンスが含まれるのかの

具体的な検討は大きくは進展していない。FMの準備が重要な時期でやむを得ないが、打ち上げを迎えて装置の動作実証に成功しデータが出てくれば、熱中性子を含めた軌道上中性子の良いサイエンスが期待できる。2025年度へ向けてその連携を進めることが必要である。

大気中性子のブラックスモデルには大きな不定性があるが、12/17に小ワークショップで、SMILEやGR AINE気球実験のデータの中に大気中性子の信号が含まれることが確認された。これらの信号は今は除去しているためしっかりと解析をしていないが、原理的には大気中性子を地上から大気球高度30-40 kmまでより高精度に連続して計測できる可能性が示された。MoMoTar0実験によるISS軌道からのデータと組み合わせることで、大気中性子モデルが刷新できる可能性がある。

「X線天文衛星の地食データを用いた上層大気密度測定」では、トンガフンガ火山噴火時の上層待機の密度低下が観測された成果が論文となった。論文執筆の中で、噴火などの突発現象に対しては高層大気の運動・時間変動が重要なことが示され、ますますISEEとの連携の必要性が示された。同様のサイエンスを狙う「SUIM」実験は、国際宇宙ステーションから上層大気ごしの宇宙X線背景放射の吸収を測定するもので、これも2027年のフライトへ向けてハードウェア開発に全力をかけているところである（別予算）。

「月面ガンマ線のMeV衛星COSIおよびGeV衛星Fermiによる遠隔計測の見積もり及び解析」では、2027年打ち上げのMeV観測衛星COSIの開発はNASA予算および国内の別予算で進められている。本研究のなかで、赤道軌道上から月面を遠隔観測することで、銀河宇宙線のガンマ線アルベドと、太陽フレア高エネルギー粒子(SEP)によるアルベドが観測できる可能性が高いことが示された。開発中の他の検出器によるSEPその場観測を組み合わせてどのようにサイエンスを得るか、さらなる検討が必要である。

雷ガンマ線関連では、名大のグループがTGFの地上多点観測に成功するなど個別の研究は大きく進展した（別予算）。なおISEEの気象研究者とはすでに連携している。別予算で進めてきた過去データの解析では、「上空向きのマルチパルスTGFの逆行放射（陽電子由来）を捉えた結果」をまとめ論文としたが、これにより「宇宙向きTGFを、地上側から同時に計測できる」ことが実証された。雷ガンマ線関連では、2025年2月ごろに2回目の小ワークショップで議論する予定であったが、日程調整ができず2025/4 or 5月に実施する方向で進めている。宇宙からの観測と組み合せつつ、地上観測でこそ実現する観測と組み合わせて、雷ガンマ線の「物理」に迫るアプローチの重要性が確認された。原理がわかることで、将来的には金星や木星、土星での観測可能性も検討したい。

2024年度の大きな反省として、ISEEの気象分野、磁気圏分野と深く連携するところまで推進できなかった点が挙げられる。一方で本研究の方向性に多様なサイエンスが見えることが確認でき、高層大気や低軌道における高エネルギーアルベド計測の横の連携は立ち上がりつつあることから、2025年度は、本研究の意義と可能性をしっかりと広報・共有し、秋に予定するワークショップをより大きくして融合研究の立ちあげを推進する。天文衛星が検出器バックグラウンドを検討するときに、月面探査計画での被曝や高エネルギーアルベドを研究するときに、宇宙天気予報と絡んで高層大気の理解を深めたいときに、そして雷ガンマ線やTLEと上層大気との関わりを知りたいときに、国内の研究者が情報共有をする場を提供できると良いと考えている。また、オーロラのX線計測を目指すLAMP2実験の関係者とも連携を確認したところであり、今はまだ連携できていない分野との連携を広げてゆきたい。

【成果発表】

- ・査読論文：Satoru Katsuda¹ , Hiroyuki Shinagawa² , Hitoshi Fujiwara³ , Hidekatsu Jin⁴ , Yasunobu Miyoshi⁵ , Yoshizumi Miyoshi⁶ , Yuko Motizuki^{1,7} , Motoki Nakajima⁸ , Kazuhiro Nakazawa⁹ , Kumiko K. Nobukawa¹⁰ , Yuichi Otsuka⁶ , Atsushi Shinbori⁶ , Takuuya Sori⁶ , Chihiro Tao⁴ , Makoto S. Tashiro^{1,11} , Yuuki Wada¹² , and Takaya Yamawaki, “X - Rayng Neutral Density Disturbances in the Mesosphere and Lower Thermosphere Induced by the 2022 Hunga - Tonga Volcano Eruption - Explosion”, GRL Vol. 51, 26 October 2024
- ・学会発表：大口 真奈里ら「2023年11月18日に北陸で発生した TGFのチェレンコフ検出器による 指向性観測」、JpGU 2024, 幕張メッセ, 2024/5/29
- ・学会発表：伊藤耶馬斗（近畿大学）ら「超高層大気を観測する ISS 曝露部搭載 X 線カメラ SUIM の非 X 線バックグラウンドのシミュレーション」、日本天文学会 2025春の年会、水戸市、2025/3/19
- ・学会発表：大熊佳吾（名大理）ら「COSI 衛星による月面 MeV ガンマ線観測: 宇宙線と Solar Energetic Particle イベントの間接観測の検討」、日本天文学会 2025春の年会、水戸市、2025/3/19、など

レーザー一分光による放射性炭素同位体分析の定量性評価に関する研究
Study on quantitative evaluation of radiocarbon analysis based on laser spectroscopy

富田英生、名古屋大学・大学院工学研究科総合エネルギー工学専攻

【本研究の背景と目的】

放射性炭素 (^{14}C) は生体を構成する元素の同位体の中で唯一、長半減期の放射性核種であるため、生体や環境トレーサーとして活用されている。樹木年輪等に記録された過去の大気 ^{14}C 濃度の僅かな変動を解析することで、気候変動や過去の太陽活動を明らかにする研究がなされているが、大気の ^{14}C 濃度はおおよそ一定であるため、現代に育成された植物を用いて作られたバイオマス資源と太古の植物由來の化石燃料（を元に作られた資源）では、 ^{14}C 濃度が大きく異なる。このため、有機資源の ^{14}C 濃度を測定することにより、バイオベース度を評価することができる。また、 ^{14}C は薬物動態評価や農薬挙動の評価などにも応用されている。これまで、これらの分析には加速器質量分析（AMS）が用いられてきたが、その分析コストが普及を妨げる要因の一つとなっている。本課題代表者らは、超高感度レーザー吸収分光（CRDS）に基づく新しい ^{14}C 分析法（ $^{14}\text{C-CRDS}$ ）を開発している。本手法が確立されれば、年代測定などのアバンダンス感度が必要ない試料の分析に適用でき、 ^{14}C を用いた応用の普及を促すブレークスルーになりえる。そこで、本研究では、 $^{14}\text{C-CRDS}$ による定量性を評価することを目的とした。

【実施項目】

$^{14}\text{C-CRDS}$ 分析による定量分析のための分析装置改良

前年度の研究において、定量分析のためには測定ガスの温度制御が必要であることが示唆された。そこで、工学研究科所有の中赤外 CRDS 装置を用いて、システムの温度変化が同位体測定結果へ与える影響の検討を行った。CO₂ サンプルガスを導入し、吸収スペクトルより同位体分子の分子数密度を測定する際、分光セル、試料導入部、室温などの温度変化を同時に取得し、測定結果と温度変化の相関を求めた。その結果、分子数密度の測定結果は、分光セルの温度を安定化すると相関がなくなることが確認できた。一方で、試料導入系の温度と強い相関があることが示された。バッファガスの温度を安定化することで、分光システムとしての安定性が改善され、適切な積分時間を設けた場合、 $4 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ の吸収ピークについて 0.1% の精度で吸収量を測定可能なシステムとなることが示された。また、後述の共同研究先において、 $^{14}\text{C-CRDS}$ と AMS の相互比較に向けた検証用試料の ^{14}C 分析を行った。

【今後の展望】

本研究を発展させた共同研究が開始され、さらなる検討を進めることとなった。今後、本手法を用いた放射性炭素同位体分析の定量性を示すとともに、様々な分野への応用展開が望まれる。

【成果発表】

Kota Tsuge, Erika Takayama, Momo Mukai, Osamu Abe, Ryu Uemura, Hideki Tomita, “Development of cavity ringdown spectrometer using optical feedbacked quantum cascade laser for clumped CO₂ measurement”, FLAIR 2024 (Field Laser Applications in Industry and Research) (イタリア・アッジ、2024年9月) .

柘植紘汰、高山恵理佳、橋本大輝、植村立、阿部理、富田英生、「中赤外キャビティリングダウン分光に基づく多重置換同位体分子分析法の開発」、第22回同位体科学的研究会（芝浦工業大学、2025年3月）.

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

【研究の背景・目的】

運用を終了した人工衛星などの宇宙ゴミは、大気再突入によりエアロゾル粒子を発生する。衛星コンステレーションの構築等にともなう将来の宇宙ゴミの爆発的増加は、エアロゾルの発生・輸送を通して大気環境に影響を及ぼすことが考えられるが（図1），その影響を把握するための科学的知見は乏しい。そこで本融合研究では、

- (1) 大気圏再突入環境模擬装置の構築と評価を行い（市原），アブレーション微粒子捕集装置を作製して微粒子の捕集実験と得られた試料の解析を行う（市原・上田・持田）。
- (2) 化学気候モデルを用いるアプローチで、宇宙ゴミの発生を通じた長期的な宇宙開発が及ぼす気候影響を推定するための基礎的知見を取得する（須藤）。
- (3) 環境影響の抑制が期待できる人工衛星の構造材料や、再突入地点と気候影響との関係など、人工衛星の材料・運用に関わる考察の可能性を議論する（市原・上田・持田・長瀬）。

の3つの取り組みを構想し、この実施のための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。なお、本研究は市原が代表を務めて進めてきたが、所属機関の変更に伴い持田が代表者を引き継いだ。現在までの室内実験に基づく検討は、引き続き市原の主導により進めている。

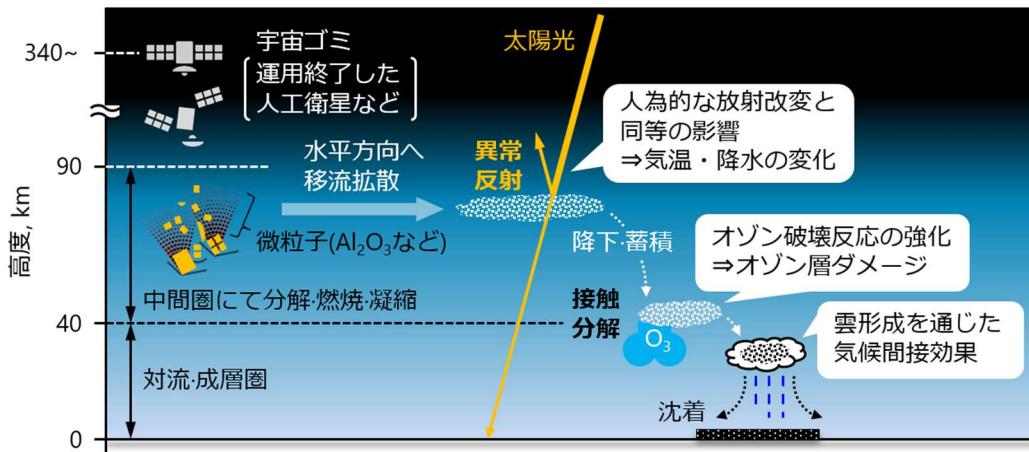


図1. 宇宙ゴミ由来のエアロゾルが地球大気に及ぼす影響

【今年度の活動および成果】

高エンタルピー気流生成部（図2）を有する大気圏再突入環境模擬装置を用いた粒子生成実験を実施した。この実験では、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の真空チャンバーの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バー内圧力および供試体表面温度はビ

ラニ真空計と放射温度計を用いてそれぞれ測定した。発生した粒子は供試体下流端より 10 mm の位置に設置した銅板（実効捕集面積 38 mm², 厚さ 0.2 mm）に捕集し、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。

アークプラズマ源作動時のチャンバー内圧力を 123 Pa とした場合のある時刻におけるサーモカメラによる供試体表面温度測定結果と元素分析を含む捕集粒子の電子顕微鏡画像とをそれぞれ図 3,4 に示す。アークプラズマ源が作動すると同時に供試体表面温度は上昇し、純アルミの融点を上回る最高 1504.4°C となった。捕集されたアルミ粒子は銅や酸素原子と混在して離散的に検出され捕集版上でアルミ粒子が堆積する様子は見られなかった。

【まとめと展望】

これまで、大気圏再突入環境模擬装置の構築からエアロゾル粒子の発生と捕集、形態および組成の解析まで進んでいる。次年度以降は九州工業大学における粒子生成と捕集、名古屋大学での粒子分析とに分担し研究を進める予定である。また、学内外の関連研究者を交えたミーティングによる意見交換等を通して、宇宙ゴミ生成における太陽活動の影響や宇宙開発に係る複合的な環境影響の評価などを対象に発展させるプロジェクトの可能性について検討したい。

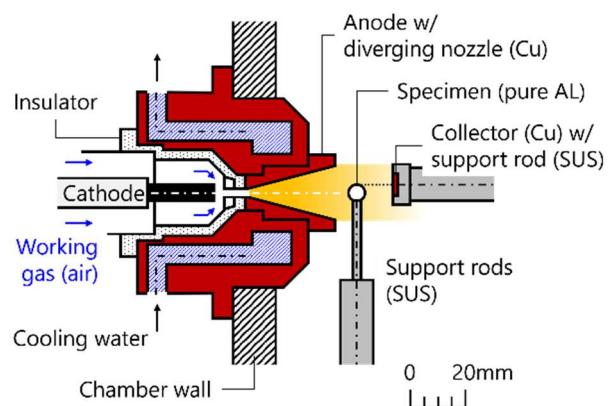


図 2. アーク源及び供試体・捕集板の概要図

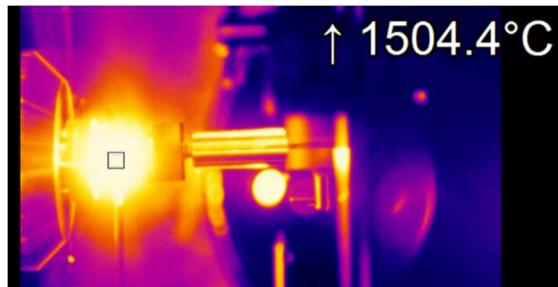


図 3. サーモカメラによる供試体表面温度の測定

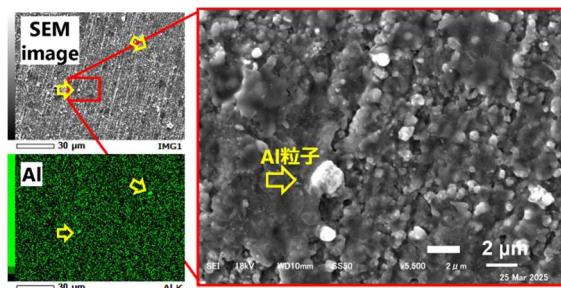


図 4. SEM-EDS による捕集粒子解析

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英文課題名

菅野里美、名古屋大学・高等研究院

【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、私たち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0.5-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し、分子生物学の蛍光ツールと融合できれば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ことが期待できる。これまでの実験ではシンチレータを介することでシグナルがぼやけることが問題であった。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ことから、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。

【方法】

半導体に厚みのあるActive pixel typeのCMOSエリアイメージセンサ、浜松ホトニクスS14501（画素サイズ $7.4 \times 7.4 \mu\text{m}$ ）、小さな画素サイズの製品を展開しているGpxcel社のCMOSイメージセンサGSENS E2020BSI（画素サイズ $6.5 \times 6.5 \mu\text{m}$ ）での β 線の検出を試みる。P-32（1.71MeV、オルトリニン酸溶液）10 kBqをろ紙にスポットしたものを線源とした。

【結果】

本共同研究以前（2020年）に「CMOSイメージセンサーで直接検出することができれば、Pixelサイズが小さなもの（数 μm ）を使うことで生細胞内（約 $20\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ ）の元素分布が観られるのではないか？」というアイディアについて、浜松ホトニクスの協力によりデモ機での検出を試したことがあったが、専門知識の不足から十分な検証ができずに実験を打ち切っていた。そこで本実験では、上記の浜松ホトニクスCMOSイメージセンサーについて2020年当時のデモ評価装置を再度お借りして検出を試み、P-32の放射する β 線のシグナルが取れていることを確認することができた。しかしながら、浜松ホトニクスCMOSイメージセンサー読み取りの回路を独自製作することが容易ではなかったため、同様のCMOSセンサのうち評価ボードが一体となったGpxcel社の製品についても検討し、CMOSイメージセンサGSENSE2020BSI（画素サイズ $6.5 \times 6.5 \mu\text{m}$ ）を購入、納品されたところである。次年度は引き続き検出テストを進め、CMOSセンサ前に設置されているガラスの有無の検証、生体サンプルでの検出検証を行いたい。

【成果発表】

- 1) 菅野里美、Phosphate transport and response mechanisms revealed by micro-regional tracer imaging、第66回日本植物生理学会年会シンポジウム”Toward Elucidating PHYTOCOSM: Multiscale Symbioses Between Photosynthetic and Heterotrophic Organisms on Earth” 2025年3月14日 金沢大学
- 2) 菅野里美、微小領域のベータ線イメージングからわかるリン酸輸送・応答機構、第72回応用物理学学会春季学術講演会シンポジウム「植物RIイメージング技術の開発と農業への応用」 2025年3月17日 東京理科大学
- 3) 特開202501476（2025年1月30日）放射線の画像化器具、画像化装置および画像化方法並びに光学顕微鏡

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、2年後に、中学校理科教員が授業実践できる中学校理科において使用される気候変動の教材・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）を対象としたカリキュラム開発を行い、地球環境の研究者の実践を含む講義を試行する。講義の中で、大学生に気候変動を取り扱った中学校理科の授業の簡易版カリキュラムを作成させることで、中学校理科における授業構想力を育成する。

2025年度は、大学生への実践の成果を基に、中学生を対象として、カリキュラム開発を行い、中学校において、授業実践を行う。2026年度には、カリキュラム開発や大学生の講義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。

【調査/実践内容】

1. I SEE Project（将来への足場かけのスキル開発のカリキュラム）についての調査

内海がイタリアのボローニャ大学 Levrini 教授を訪問し、インタビュー調査を含め、I SEE Projectのカリキュラムについて調査を、2024年7月10日（水）～12日（金）の4日間行った。

2. 講義の実践

大学生を対象としたカリキュラム開発を行い、岐阜大学教育学部2年次生を対象として講義を実践した。大学生は、表1の講義の流れに沿って、各実践の終了後に、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
講義 I	10月7日（月）	内海 志典	A 現段階の自分が描く未来
課題 I	10月13日（日）	内海 志典	B 調べたこと
講義 II	10月15日（火）	内海 志典	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
講義 III	10月28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
講義 IV	11月6日（水）	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	11月11日（月）	内海 志典	H 気候変動の対策についての他者の考え I 気候変動の対策についての自分の考え J 未来の見方 K 最終的に自分が描いた未来
課題 II	11月13日（水）	内海 志典	L 気候変動の要因（フィッシュボーン図） M 因果関係
課題 III	11月16日（土）	内海 志典	N 単元指導計画の作成 O 学習指導案の作成

【研究結果】

1. I SEE Project (将来への足場かけのスキル開発のカリキュラム) についての調査

I SEE Projectは、気候変動の学習を通して、「将来への認識」を深め、将来への足場かけとして機能するスキルの育成を目指していることを明らかにした。このカリキュラムでは、気候変動の学習を通して、「可能性がある未来 (possible futures)」、「もっともらしい未来 (plausible futures)」、「確からしい未来 (probable futures)」といった未来を考える教育を行っていることを明らかにした。

2. 大学生への講義実践

(1) 気候変動の観点から学生が描く未来

講義実践／課題の開始段階と最終段階において、学生が描く未来が「明るい」と考えている割合を図1に示す。

(2) 実践後の学生の意識

講義実践／課題実施後の学生の意識について、肯定的な考えの割合を表2に示す。肯定的な考えの割合は、「全くそうだと思う」と「そうだと思う」の割合の合計とした。

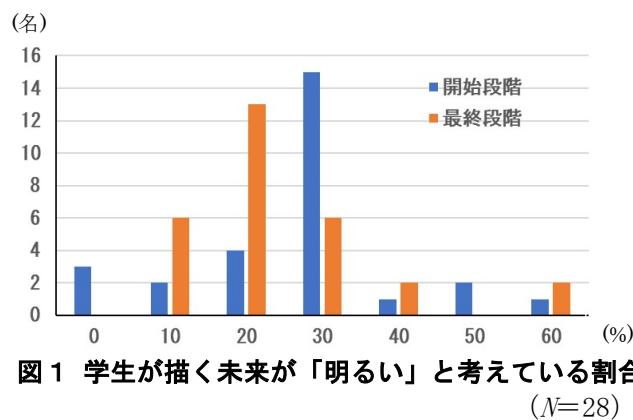


表2 講義実践／課題後の学生の意識 (N=28)

質問	肯定的な考えの割合(%)
Q1. 専門家の講義は、自分の未来についての考えに影響したと思いますか。	96.4
Q2. 講義は、あなたの現在からの行動に影響したと思いますか。	85.7
Q3. 講義は、自分の未来についての考えについて、影響したと思いますか。	75.0
Q4. 答えが1つではない(気候変動の)問題について、どのように考えたらよいか、理解できましたか。	92.9

【考察】

講義の開始段階と最終段階において、学生が描く未来が「明るい」と考えている割合の平均値は、それぞれ26.6%, 26.0%で、必ずしも「明るい」ものではない。学生が描いた未来は、気候変動について考えることで、未来が「明るい」と考える割合は減少している。これは、学生が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たからではないかと考えられる。

専門家の講義は、自分の未来についての考えに影響したと思うと回答した学生の割合は、96.4%でかなり高い。また、講義の効果については、講義が自分の未来についての考えについて影響したと思うと回答した学生の割合は75.0%，講義があなたの現在からの行動に影響したと思うと回答した学生の割合は85.7%であった。今回の実践において、気候変動の観点から未来についての考えことで、自分の未来についての考え方や、現在からの行動について影響を与えたと考えられる。さらに、答えが1つではない(気候変動の)問題についてどのように考えたらよいか理解できたかについての肯定的な考えの割合が92.9%であったことから、答えが1つではない問題についてどのように対応していくべきよいか理解をさせることができた。以上のことから、今回の実践は、一定の効果があったと考えられる。

【まとめ】

実践により、気候変動の観点から学生に「明るい」未来を描かせることは容易ではない。しかしながら、講義実践や課題の実施を行うと、学生に自分の未来についての考え方や、現在からの行動について考えさせることにつながり、より良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】

特になし。

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 data with 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

この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取り組みを監視・評価するために、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的としています。

研究方法（使用した共同利用装置・施設等を含む）

2024年11月2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、カンボジアの国連開発計画（UNDP）および宇宙航空研究開発機構（JAXA）と協力して、「カンボジアにおける持続可能な開発を監視するための衛星データと社会経済データの統合」というテーマで国際的かつ学際的な研究セミナーをカンボジア・プノンペンにて開催しました。

研究結果、考察、まとめ

このセミナーでは、衛星画像、社会経済調査、行政データを統合してカンボジアにおける持続可能な開発を監視する革新的なアプローチが取り上げされました。プログラムでは、名古屋大学、UNDP カンボジア、JAXA（宇宙航空研究開発機構）などのさまざまな機関からの著名な講演者が講演を行い、社会経済的な調査と人工衛星観測を用いた経済モニタリングによる貧困脆弱性マッピングの作成、さらにはこの分野における人工知能の応用に関する研究成果が発表されました。

特に共同研究の機会を促進することに焦点を当て、学際的なパートナーシップを促進するための専用ネットワーキングセッションも開催しました。このセミナーでは、参加者間の積極的な交流を促進し、新しい研究イニシアチブの発展や国際的な長期的な専門的関係の確立を目指しており、このような交流の場が新たな共同研究につながりました。

イベントの最終セッションでは、名古屋大学の Carlos Mendez がモデレーターを務め、「地理空間的・社会経済開発を研究するための学際的ネットワーク構築」に関するパネルディスカッションが行われました。この議論では、UNDP、名古屋大学（GSID および ISEE）、JAXA の専門家が一堂に会し、機関間の協力や持続可能な開発研究における地理空間技術の実際的な応用に重点を置いたセミナーのテーマが強調されました。

これらの活動を通じて、衛星観測と社会経済学調査と行政・国際機関の連携が社会問題の解決に重要な役割を果たせることが共通の認識となり、セミナー後も JAXA からは様々な衛星データのカンボジア

における社会問題解決への利用の検討と提案がなされた。特に、カンボジアでは大きな問題となっている地雷除去とその効果の評価などへの衛星データの利用についての議論へと発展しており、多くのステークホルダーを巻き込んだ大きな研究へと発展する可能性があります。

成果発表

- Mendez Carlos, Monitoring Economic Development from Outer Space, International and interdisciplinary research seminar ASCI-GSID-ISEE-JAXA-UNDP Cambodia 2024: Integrating satellite and socioeconomic data for monitoring sustainable development in Cambodia, Hotel Emion Phnom Penh, Cambodia. 2024-11-02.
- Mendez Carlos, Building an Interdisciplinary Network to Study Geospatial Socioeconomic Development (Panel Discussion), International and interdisciplinary research seminar ASCI-GSID-ISEE-JAXA-UNDP Cambodia 2024: Integrating satellite and socioeconomic data for monitoring sustainable development in Cambodia, Hotel Emion Phnom Penh, Cambodia. 2024-11-02.
- Takahashi Nobuhiro, Building an Interdisciplinary Network to Study Geospatial Socioeconomic Development (Panel Discussion), International and interdisciplinary research seminar ASCI-GSID-ISEE-JAXA-UNDP Cambodia 2024: Integrating satellite and socioeconomic data for monitoring sustainable development in Cambodia, Hotel Emion Phnom Penh, Cambodia. 2024-11-02.

セミナーの記録 URL: <https://lu.ma/78ycejv0>



セミナーの写真



太陽系年代学の進展と放射線環境変動研究との融合
Advances in Solar System Chronology and Integration with Studies of the Radiation
Environmental Changes

(代表者) 渡邊 誠一郎、東海国立大学機構名古屋大学・大学院環境学研究科

【研究メンバー】 渡邊の他、城野 信一、日高 洋、橋口 未奈子、齊藤 天晴（以上、環境学研究科）
三好 由純、加藤 文典、岩井 一正（左記3名、宇宙地球環境研究所）

【研究目的】 太陽系年代学と太陽系放射線環境の変動研究を融合させ、太陽系進化を理解することを大目的とする。「はやぶさ2」が持ち帰った小惑星試料の分析から、太陽系年代学には、いくつか検討すべき課題があることがわかった。太陽系の初期同位体比の空間分布、母天体の水質変成年代の相互矛盾、事後の年代擾乱の可能性、銀河宇宙線生成核種の深度依存性などである。これらの課題は同位体計測の高精度化によって顕在化してきた側面があり、太陽系進化の各種年代をより精密に決定していくためにはその解明が求められる。よって、これらの問題を解決するための新たな年代測定法、年代較正法、年代をリセットする過程などを検討する。さらに、宇宙線生成核種を使った宇宙線照射年代の精確な理解についても検討することで、太陽系における放射線環境の変動などを知る方法論を議論する。

【研究方法】 2024年度は4回（4月21日、8月28日、12月6日、2月28日）研究会を開催し、3人の講師を招聘した。第1回「宇宙線生成核種：月からRyugu」西泉 邦彦（UC Berkeley）、第2回「若い太陽型星の恒星風やCMEから知る太陽圏進化」行方 宏介（京都大学）、第3回「LA-ICP-MSを用いた同位体比分析」仁木 創太（名古屋大学ISEE）。それぞれの講演の後に、議論を行った。さらに研究メンバーのみによる第4回研究会を含めて、既存の太陽系の年代測定法を整理・比較し、その問題点や誤差を再検討するとともに、新たな年代測定法の適用の可能性や宇宙試料での放射線環境変動の検出、さらには45億年にわたる太陽圏の進化などをテーマに幅広く議論を行った。また、日本惑星科学会秋季講演会などの場で、関係する研究者と討議を重ねた[4-9]。

【研究結果】 すでに進めていたリュウグウ試料の鉱物構成を説明する水質変成条件を明らかにする化学平衡計算に、本課題の年代学的成果を加味して、研究をまとめ出版した[1]。また、本課題の議論を踏まえた「はやぶさ2」帰還試料の制約条件を満たす太陽系形成論に関する講演・学会発表を行った[4, 6]。さらにアモルファス氷粒子の焼結による成長を調べ[2, 7, 8]、それを二段階の微惑星形成モデルにつなげる研究も進めている。また、太陽系での同位体比分布に見られる三分性（太陽系物質は、同位対比から、NC, CC, CIと呼ばれる3つのカテゴリーに分けられる）を、ダストから惑星への成長過程から明らかにする研究は、本課題での議論も一つの土台として、渡邊が代表者の科研費基盤研究(B)として2024年度から進めている。今年度の成果としては、サブミクロンサイズのダスト（固体微粒子）から巨大惑星コア（地球質量の10倍程度）までをシームレスに計算できるコードに各領域・時刻の天体が材料物質として初期にどこにあったダストを集めたかを追跡できる機能を付加した。これにより、日心距離と天体質量の二次元図上に天体の材料物質質量平均された初期位置を面密度とともに表示する動画を作成した（Kobayashi & Watanabe 2025, 投稿準備中。図1に動画のスナップショットを示す）。この動画からは、連続的な面密度分布を持つ原始惑星系円盤で、初期ダストが動径方向に同位体比勾配を持っていたなら、集積天体の同位体比は、動径位置よりも、天体質量に強く依存することが明らかになり、太陽系年代学との比較を進めている。他にも、太陽風の三次元構造・時間変動を加味した太陽圏モデルでの銀河宇宙線量を推定手法の検討や、宇宙線照射に伴う中性子捕獲反応による月面試料のYb同位体変動検出のための增幅回路による同位対比測定高感度化、地球外有機物の年代測定法の各種検討、惑星物質の中性子エネルギースペクトルの化学組成依存性の検討などが、今年度、研究メンバーによって行われた。

【今後の展望】 本課題は今年度が2年目のため終了するが、本課題を通じて集約された1つのテーマとして「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」を、橋口を代表者として、2025年度の融合研究戦略課題ストラテジー型として申請を行った。これはパラサイト隕石（石鉄隕石の一種）中のかんらん石中に銀河宇宙線（GCR）トラックを探し、GCRフラックスの変動や太陽活動の変動について制約を与えるという野心的な計画である。トラック検出手法の確立やバックグラウンドの評価など課題は多いが、ぜひとも成果につなげたい。

【成果論文リスト】

- [1] T. Shibuya, Y. Sekine, S. Kikuchi, H. Kurokawa, K. Fukushi, T. Nakamura, S. Watanabe (2024), "Aqueous alteration in icy planetesimals: The effect of outward transport of gaseous hydrogen", *Geochimica et Cosmochimica Acta* **374**, 264–283.
- [2] S. Sirono (2025), "Growth of amorphous ice grains by sintering in a protoplanetary disk", *Icarus* **427**, 116370.
- [3] T. Yuguchi, T. Kato, Y. Ogita, M. Watanabe, H. Yamazaki, A. Kato, D. Itoh, T. Yokoyama, S. Sakata, T. Ohno, "Crystallization processes of quartz in a granitic magma: Implications for the magma chamber processes of Okueyama granite, Kyushu, Japan", *Journal of Asian Earth Sciences*, **265**, 106091.

【学会・ワークショップ・講演会等発表リスト】

- [4] 渡邊 誠一郎, 「はやぶさ2が明らかにした太陽系形成過程」, CPSセミナー, 神戸大学惑星科学研究中心 (神戸市) , 2024/07/24.
- [5] 加藤 丈典, 「電子プローブマイクロアナライザー (EPMA) による極微量元素定量分析の測定条件決定:電流と計数時間」, 一般社団法人日本鉱物科学会2024年年会, 名古屋大学東山キャンパス (名古屋市) , 2024/09/12.
- [6] 渡邊 誠一郎, 「はやぶさ2探査と帰還試料分析から得られた制約条件を満たす太陽系形成論」, 日本惑星科学会秋季講演会, 九州大学医学部百年講堂 (福岡市) , 2024/09/25.
- [7] 城野 信一, 「アモルファス氷粒子の焼結による成長」, 日本惑星科学会秋季講演会, 九州大学医学部百年講堂 (福岡市) , 2024/09/26.
- [8] S. Sirono, "Thermal evolution of icy dust aggregates through the growth of ice particles", Pebbles in planet formation, 国立天文台 (三鷹市) , 2025/02/10.
- [9] 加藤 丈典, 「質量吸収係数の闇」, 変成岩などシンポジウム2025, 東北大青葉山キャンパス (仙台市) , 2025/3/12-14.

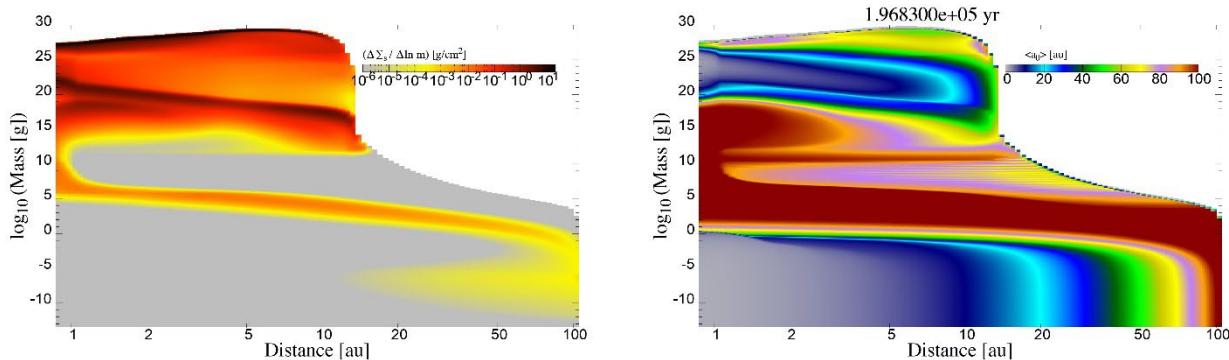


図1: 太陽系同位体比分布を探る惑星成長過程シミュレーション例 (Kobayashi & Watanabe, 2025, in preparation) 固体天体 (ダスト・惑星) の太陽からの距離 r (横軸) と天体質量 m (縦軸) に対する質量毎の固体面密度 $\Delta\Sigma_s / \Delta \ln m$ (左図) と質量平均された材料物質の初期位置 $\langle a_0 \rangle$ (右図) を示す。簡単のため、この例では、原始惑星系円盤ガス面密度は r^{-1} に比例、初期ガス・固体 (氷+岩石) 比は氷蒸発は無視して一定としている。ダスト成長開始から19.7万年後のスナップショット。左図で水平からやや左上がりに伸びた高面密度帯は、下 (低質量側) から (太陽方向へ落下する) ペブル (ダスト集合体) , 微惑星, 原始惑星 (巨大惑星固体コア) に相当する。

【研究目的】

地球や木星などの固有磁場を持つ惑星は磁気圏を形成し、高温プラズマをその内部に閉じ込めるとともに、プラズマ波動や荷電粒子の振り込みを介して惑星電離層との結合系を形成している。一方、磁場閉じ込め核融合装置は、磁場により高温プラズマをその内部に保持する点で、磁場強度やプラズマ温度に数桁の違いはあるが、磁気圏プラズマと多くの共通した物理現象を内包している。磁気核融合研究では、強い非平衡状態にあるプラズマが引き起こす多様な不安定性を回避し安定な閉じ込め状態を実現するために、精緻なプラズマ理論が構築されてきた。その中でも、簡約化磁気流体理論とジャイロ運動論は、プラズマの安定性と緩和現象、微視的乱流輸送などの問題に定量的にアプローチするための有用な手法として幅広く研究が進められてきた。本課題では、高性能計算科学の手法を援用し、核融合プラズマ理論を磁気圏・電離圏プラズマ研究に応用することで、これらの融合研究の推進を目的とする。

【研究方法】

課題2年目である令和6年度には、当初計画に沿ったテーマとして、(1) 非局所簡約化磁気流体モデルを用いた磁気圏-電離圏結合系におけるオーロラ発達の非線形シミュレーション、(2)バルーニングモードを含めた磁気圏-電離圏結合のための局所簡約化磁気流体シミュレーションコードの開発、(3)ジャイロ運動論を用いたオーロラ発達と電子加速の非線形シミュレーション研究、(4)ジャイロ運動論的シミュレーションコードの双極子磁場配位への拡張、の課題に取り組んだ。

上記(1)に挙げたオーロラ発達の非線形シミュレーションについては、本課題で進めてきた研究をもとに、2024年度名古屋大学HPC計算科学連携研究プロジェクトにおいてHPC人材育成枠で課題が採択されており（代表者・榎剛志）、情報基盤センター、ISEE、ならびに物理学教室の協力のもとで実施された。当該プロジェクトについては、2025年度も引き続き採択されており、若手研究者育成の視点からも有意義な成果が得られている。

上記(3)に挙げた課題については、スーパーコンピュータ「富岳」の利用申請が再度採択され、大規模なジャイロ運動論的シミュレーションを用いた解析を継続的に進めている。

項目(4)では、ジャイロ運動論的シミュレーションコードGKVを双極子磁場配位へと拡張し、同時に生じた数値的困難を克服するための新たな数値手法を考案するとともに、コードへの実装とベンチマークテストを実施した。より詳しい内容について次の【研究成果】の項にまとめる。

また、今年度の新たな取り組みとして、(5)磁気圏プラズマやオーロラの衛星観測を専門とする研究者（ISEE・平原、東北大・坂野井）との共同研究として、「れいめい」衛星が観測したオーロラ動画像の解析を開始した。シミュレーションとの比較の上で、興味深い成果が得られつつある。さらに、(6)磁気圏-電離圏結合におけるオーロラ発達の理論モデルから得られる予測と磁気圏観測との比較についても課題メンバーで議論を開始している。

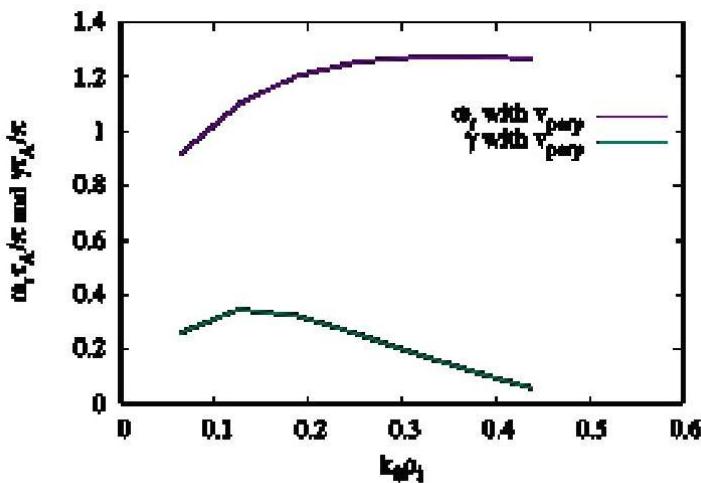
以上の研究テーマについては、本課題終了後も共同研究として継続的に進めていく予定である。

【研究成果】

(4)ジャイロ運動論的シミュレーションコードの双極子磁場配位への拡張

これまでに、開発した電離圏モジュールをジャイロ運動論的シミュレーションコードGKVに組み込むことで、磁気圏-電離圏結合系の運動論的解析を実現してきた。これはオーロラ構造の発達と乱流遷移、

粒子加速を同時に扱うことのできる独自性の高いアプローチであるが、これまでの解析は直線磁場形状の場合に限られていた。磁場ドリフトや磁気ミラー力などを含めて、実際の磁気圏プラズマをより正確に取り扱うには、双極子磁場配位への拡張が必要となる。しかし、従来のコードでは、平行方向速度と磁気モーメントを速度空間座標として採用しているため、双極子磁場のように強い磁場強度不均一性を持つ系においては磁気ミラー力が非常に大きくなり、時間積分を数値的に実行する際に厳しい制約が課されるため、オーロラ領域への適用に大きな困難があった。この問題点を克服するために、速度空間座標として磁気モーメントの代わりに磁場垂直方向速度成分を座標として用いることができるようGK Vコード拡張した。従来の手法とは、入力パラメータひとつで切り替えが可能であり、ベンチマークと保守が容易に実施できるように実装されている。



上図は、新しいコードを用いて行った磁気圏-電離圏結合系におけるフィードバック不安定性の線形解析の結果から、周波数と成長率の波数依存性をプロットしたものである。新しいコードを用いることで、従来は解析不可能であった電離層高度で磁気緯度60度のサブオーロラ領域においても、安定な解析を実行することができた。その結果、直線磁場の場合に比べて成長率の低下が認められるが、強い磁場不均一性とミラー力を伴う双極子磁場配位においても、オーロラ領域に近い磁気緯度でフィードバック不安定性が存在することを確認できた。

本研究の成果については、日本物理学会およびプラズマ・核融合学会で発表した。

【成果発表】

本課題で令和5年度より進めてきた非局所簡約化磁気流体モデルを用いた磁気圏-電離圏結合系におけるオーロラ発達については、その成果の一部をJournal of Geophysical Research誌に発表した。

Sakaki, T., T-H. Watanabe, and S. Maeyama, "Convective growth of auroral arcs through the feedback instability in a dipole geometry", *Journal of Geophysical Research: Space Physics* **129**, 12 (2024): 32 023JA032407.

さらに、従来から進めてきた局所簡約化磁気流体モデルを用いたフィードバック不安定性の非線形発展と乱流遷移についても論文として取りまとめ学術雑誌に投稿中である。

アジアグリーンベルトにおける環境—社会共生体化の実現に向けたフューチャー・アース研究ニーズの分析・課題の抽出

Visioning workshop on Future Earth research challenges for environmental and societal sustainability in the Asian Green Belt

村岡裕由、東海国立大学機構岐阜大学・高等研究院環境社会共生体研究センター

【目的】

本応募課題（継続）は、気候変動が顕在化している「人新世」の日本を含むアジアグリーンベルトにおいて、森林・河川流域からなる自然環境と人間の社会・産業・経済的活動の相互作用系としての「流域圏」の持続可能性を支える姿を『環境と社会の共生体（自然環境と人間社会の相利的関係）』として仮定し、科学と社会による共創を支える学術的課題を検証することにより、地球システム科学、生態学、応用生態工学、水文学、環境経済学、エネルギー工学、建築学などから構成される『総合知』の姿を創出することを目的としている。本応募課題では、東海国立大学機構カーボンニュートラル推進ビジョン『地球温暖化時代の課題解決への貢献に向けて』（2023年7月）の研究戦略の実現に貢献する。

2023年度（1年次）に開催したワークショップにより、①地球温暖化と社会変化のもとで自然環境、自然資本、社会・経済活動がモザイク状に混在する「流域圏」の持続可能性に資する総合知の創出には、curiosity drivenな研究と、解決すべき具体的な課題から想起されるバックキャスト型研究の結合が重要であること、②学術分野や研究対象（自然、都市、社会）によって「将来」が指す時間スケールが異なり、社会の課題や目標設定に応じたデザインが必要であること、③将来の環境と社会の在り方の検討には、データマイニングを通じて過去から学ぶことが有効であること、④環境に関する多様な学問を自然と共生した持続可能な社会に役立てるには、市民社会や行政、産業が必要とするデータ・知見の在り方をアカデミアが理解するとともに、社会・経済活動による自然環境の内部化が不可欠であること、⑤科学と社会を繋ぐ人材の育成が重要であることなどが示唆された。

2024年度（2年次）には、環境に関する多様な科学的アプローチ間の結合による新たな手法・観点の創出、モデル地域を対象とした科学と社会のステークホルダーの協働による具体的課題の抽出、社会による環境科学データ・知見の有効活用を促すオープンサイエンスの在り方、将来の地球温暖化社会に求められる人材像に関する検討を行うことにより、東海国立大学機構における環境—社会分野連携型の研究・人材育成ビジョンの構築を目指す。

【方法】

「気候変動、及び社会・経済が変化する現代・未来における環境と社会の共生体化」の実現には、地域特有の自然環境を背景とした気候変動の影響、社会・経済・文化を支える自然資源の利活用、人口と社会構造の変化、エネルギー需要・供給の変化など、多くの対処すべき問題がある。2023年度の検討では、これらの問題に共通する課題として「グリーンインフラ」としての森林流域の機能と利活用が研究課題として注目された。そこで2024年度には、特に伊勢湾流域圏に着目し、社会の具体的な環境課題の抽出、各分野の研究アプローチの結合による総合知の創出の方法の検討を行う。総合知の創出方法については、機構における異分野間の知見の結合を実現できる「システムダイナミクスモデル」の構築を試みる。これらの検討を、名大・岐阜大の合同ワークショップ（2024年10月22日、岐阜大学）の開催を通じて実施した。

【結果】

本課題では伊勢湾流域圏を想定したワークショップを開催し、特に「システムダイナミクスモデル」の構築を念頭においていた勉強会とディスカッションを実施した。ディスカッションの目標は以下のとおりである。

- ①. システムダイナミクスモデルに関する事例紹介により、基礎・応用・社会の繋がりを再確認、再認識する
- ②. 伊勢湾流域圏における環境を対象に、社会の具体的な環境課題の抽出を行う。
- ③. 国内、他地域での研究活動、国際的な状況を知ることで、地域のエンゲージメントをより明確にすることを目指す。

ワークショップ中の検討会では、流域圏を上流、中流、下流に分けて、水環境や森林、社会の関わりについて課題抽出およびステークホルダーとの関係性の議論を進めた（図1）。その後、流域圏全体の課題およびステークホルダーの関係性を総合的に検討した（図2）。

健全な流域圏の保全と管理、持続可能な資源利用については、地域社会の林業従事者や生態系サービスの受益者の関わりも深く、経済的な便益と自然環境の恵みのバランスを支える科学的知見の創出の必要性、及び、流域圏を構成する多様な要素（森林、河川、炭素、水、サービス、人、気候）の関係性を定性的・定量的に可視化することの必要性が認識された。これらの課題に対応していくためには、分野横断的な研究の推進、ならびにステークホルダーとのコミュニケーションが不可欠である。

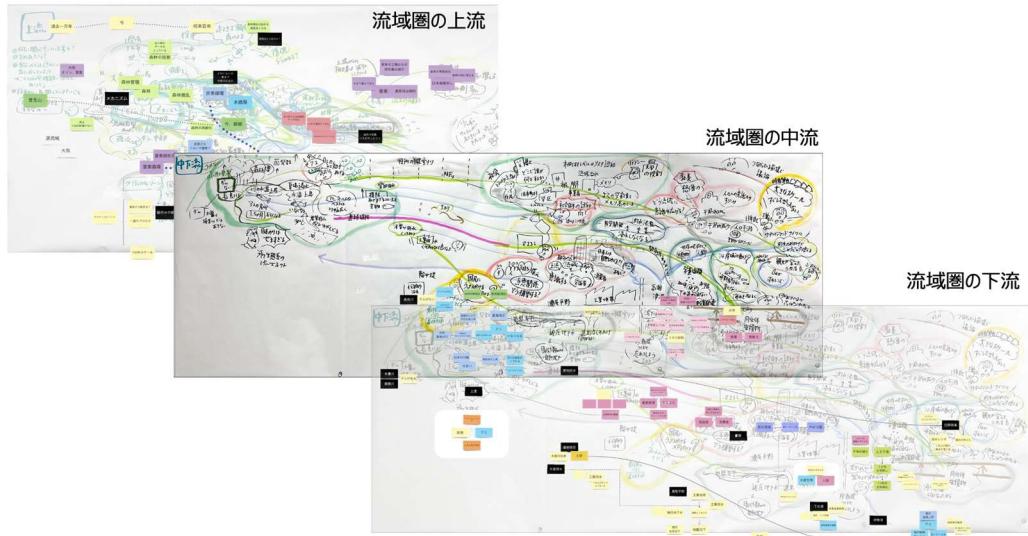


図1 流域圏の上流, 中流, 下流域における課題の抽出

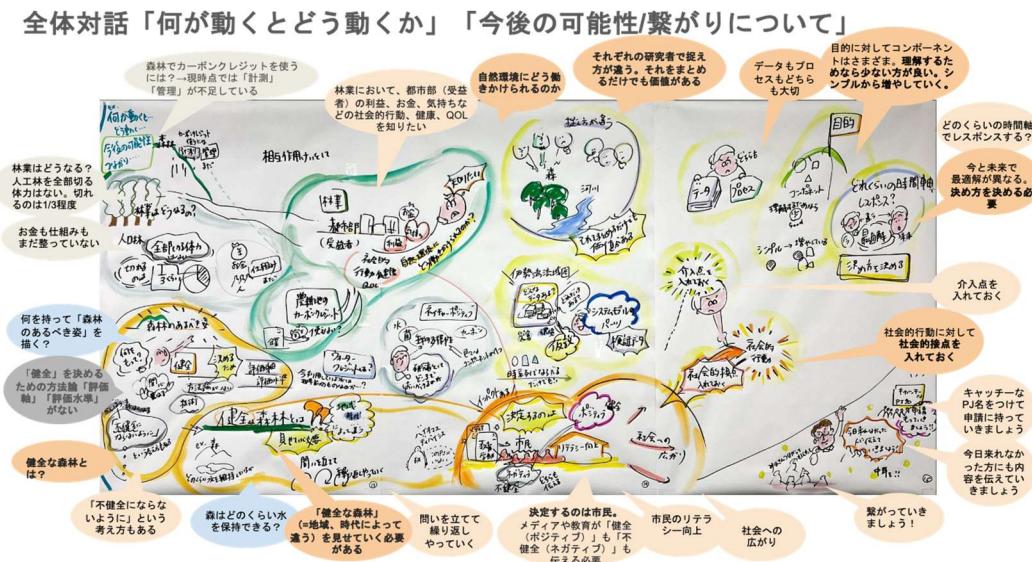


図2 流域圏全体の課題間の関係性、及びステークホルダーとの関係性の整理

観測業務におけるヘリコプタ利用の可能性検討
Investigation of possibility of usage of a helicopter for monitoring

砂田 茂、名古屋大学大学院・工学研究科航空宇宙工学専攻

[研究目的]

本研究はヘリコプタによる大気観測に関する、以下の2つの目的を有する。

ヘリコプタは飛行機と異なりホバリングを含めた低速飛行が可能で、局所的観測に適している。また、研究機関近辺に着陸可能で、サンプリング後、直ちに試料を化学分析できる利点を有する^[1]、^[2]。よって、ヘリコプタをこれまで以上に大気観測に用いることで、航空機による大気観測の有効性を拡大できる可能性がある。そこで本研究では、高度によるエアオゾル濃度の変化を実測し、大気観測業務におけるヘリコプタ利用の有効性を示す実施例を獲得する。

ヘリコプタに気象観測や環境観測などのセンサを搭載し科学技術的なミッションを実施する際、機体の振動を抑制できると高精度でのデータ取得や精密なセンサによる計測が可能となる。よって、ヘリコプタの低振動化は、科学技術ミッションの幅を広げることに貢献できる。本研究では我々の研究グループが提案する重心移動によるシングルロータヘリコプタの低振動化手法の効果を、実機ヘリコプタを用いた飛行試験で確認する。

[飛行試験]

(日時) 2025年3月28日

(機体) 朝日航洋㈱所有: シコルスキーエアクラフト S-76C (JA6901)。4枚ブレードのロータは上方から見て反時計回りに回転 (この回転方向は4P振動を抑える機体重心の左右位置に関係する。)

(搭載機器) 加速度センサ (機体のZ (機体に対して上下) 方向の加速度を測定する。サンプリング周波数=500Hz、測定レンジ=±10g)。図1に示す大気センサ (TSI Optical Particle Sizer Model 3330)

(飛行場所) 東京ヘリポートから10分間程度、北上し、旋回し東京ヘリポートに引き返す。高度1800feet。

(加速度計測時の飛行速度) 120kias、130kias。 (大気計測は飛行中常時、行う。)

(飛行方法)

(飛行1) バランスウェイトを左前方に搭載し、搭乗者は左側の座席に位置し、燃料が少ない状態で飛行し、機体重心が可能な限り機体前方左側に位置する様にする。機体の4P振動が大きくなることが予想される重心位置である。各飛行速度で20秒間の測定を5回行う。

(飛行2) バランスウェイトを右後方に搭載し、搭乗者は右側の座席に位置し、燃料が多い状態で飛行し、機体重心が可能な限り機体後方右側に位置する様にする。機体の4P振動が小さくなることが予想される重心位置である。各飛行速度で20秒間の測定を5回行う。

(取得データ)

- 各飛行での重心位置が運航会社より提供される。
- 加速度センサによる、機体Z方向の振動の時間履歴。
- 大気センサによる、飛行領域における高度1800ftまでのエアロゾル濃度。



図1 大気センサ

[結果]

(振動測定)

加速度の時間変化履歴をFFT処理した結果の1例を、図2に示す。4P振動の周波数は20.9Hzである。

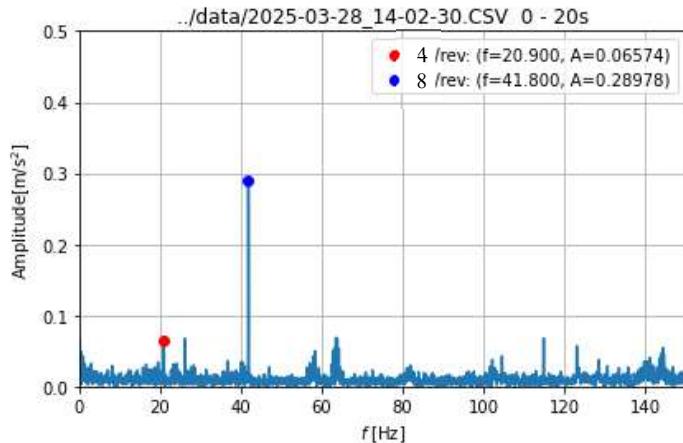


図2 加速度の時間変化履歴をFFT処理した結果の1例

飛行1と飛行2における4P振動加速度に大きな差は見られなかった。しかし、燃料補給によって総重量が飛行1よりも飛行2において約1割増加したことを考慮すると、重心移動による低振動化実現のエビデンスが得られたと判断できる可能性もある。今回の試験では前後に6.5cm、左右に2.5cm程度の重心移動であり、この程度の重心移動距離で有意な4P振動の低減が可能であるかどうか、詳細な分析を継続する。

(大気中粒子濃度測定)

ヘリコプタは機内に外気を取り込むことが可能で、エアロゾル濃度計測が実施できた。データ分析はこれからである。ヘリコプタによる大気観測の1実績とし当該研究分野の研究者に報告し、大気観測におけるヘリコプタの有効性を広く周知する。

[まとめ]

ヘリコプタでのエアロゾル濃度測定、ヘリコプタの提案振動低減手法の有効性確認を、実機ヘリコプタで実施した。実施結果の検討作業で明確化する問題点をクリアし、ヘリコプタの低振動化の実現、及び大気観測でのヘリコプタの利用拡大を目指す。

[参考文献]

- [1] 渡辺幸一、江田奈希紗、青木美貴子、ヘリコプターを利用した富山県上空の微量気体成分の観測、天気、2010、77-82。
- [2] 渡辺幸一、角山沙織、宋笑晶、金美佳、市川夢子、江尻遼介、ヘリコプターを利用した晚秋季の富山県上空における大気中の過酸化水素濃度の測定：山岳域における雪氷化学との比較、日本雪氷学会誌雪氷、80巻6号、2018、531-539。