



(C)JAXA

大阪大学 理学部 物理学科
宇宙地球卒業研究発表会

2026年2月16日(月)

10:00 ~ 16:00

大阪大学大学院理学研究科

D403号室

卒業研究発表会プログラム(発表 7 分、質疑応答 3 分)

午前の部 ※時間は目安です

10:00 ~ 10:30 座長：松本教授

1. 川津 琢音 (波多野研) 4
2. 赤星 秀栄 (近藤研) 4
3. 上田 智大 (住研) 5

10:35 ~ 11:05 座長：波多野教授

4. 大矢 愛恵 (桂木研) 5
5. 平井 柊羽 (松尾研) 6
6. 米倉 玲良 (長峯研) 6

11:10 ~ 11:30 座長：桂木教授

7. 鈴木 朋広 (松本研) 7
8. 岩田 拓弥 (土屋研) 7

11:35 ~ 12:05 座長：土屋教授

9. 後藤 朗天 (寺田研) 8
10. 堀北 はな乃 (近藤研) 8
11. LEE JAESEONG (住研) 9

午後の部 ※時間は目安です

13:00 ~ 13:30 座長：長峯教授

12. 佐田 湧多 (桂木研)	9
13. 高橋 真知花 (松本研)	10
14. 新田 唯奈 (波多野研)	10

13:35 ~ 14:05 座長：松尾教授

15. 庫本 泰岸 (近藤研)	11
16. 深澤 恵莉子 (長峯研)	11
17. 上月 昭慶 (寺田研)	12

14:10 ~ 14:40 座長：住教授

18. 中島 絵麻 (土屋研)	12
19. 藤本 実聡 (桂木研)	13
20. 室 駿介 (松尾研)	13

休憩

14:55 ~ 15:25 座長：寺田教授

21. 横山 大志 (長峯研) 14
22. 野口 晴行 (松本研) 14
23. 小池 陽大 (近藤研) 15

15:30 ~ 16:00 座長：近藤教授

24. 佐伯 晴日 (桂木研) 15
25. 小堀 幹太 (波多野研) 16
26. 大勢 英晃 (住研) 16

1. ブース形式の展示会における群集密度と 滞留効率の相関解析

川津琢音 波多野研究室

Key Words : ソーシャルフォースモデル、群集シミュレーション、
混雑現象

多数のブースが並ぶ展示会場において、来場者の回遊性と各ブースへの集客数を両立させることは重要な課題である。しかし、通路の混雑は移動を妨げるだけでなく、ブースへの接近や滞留そのものを困難にする可能性がある。本研究では、ソーシャルフォースモデル (SFM) を用いて、通路壁面に誘引力を持つブースが配置された空間内の群集流動をシミュレーションした。歩行者がブースに引き寄せられ、一定時間滞留するモデルを構築し、来場者密度を変化させてブースへの到達人数 (試遊人数) を計測した。その結果、低密度時には密度に応じて到達数が増加する一方、ある密度を超えるとブース前の局所的な混雑が壁となり、逆に到達数が減少する現象が確認された。本発表では、この「混雑による効率低下」が起きる臨界密度について考察し、ブース配置や入場制限といった群集制御への応用可能性について議論する。

2. GHz 音速測定法における 後処理ダブルパルス法の開発と応用

赤星秀栄 近藤研究室

Key Words : 音速測定、超音波法

地震波観測の進展により、地球内部における深度依存の P 波・S 波速度分布は解明されつつある。しかし、下部マントルに存在する低せん断波速度領域や、マントル遷移層で観測される速度不連続など、その成因が未解明の現象も多い。下部マントル条件下で主要鉱物の P 波・S 波速度を実験的に決定することは、これら現象の解明に不可欠である。そこで我々は、地球最深部条件まで加圧可能なダイヤモンドアンビルセルに GHz 帯の周波数をもつ短い波長の波を入射する測定手法 (GHz 法) に注目し、その測定実績を伸ばしてきた。この手法では、弾性波が試料間を往復する時間 (トラベルタイム) を求めることができる。従来、このトラベルタイムの決定には、試料上面および下面で反射した波を実験的に重ね合わせ、その干渉強度の変化を解析する必要があった。本研究では、これらの反射波を実験的に重ねることなく、解析上で重ね合わせる新たな手法として、後処理ダブルパルス法を開発した。本発表では、その解析結果を検証するとともに、応用例について紹介する。

3. PRIME 望遠鏡の赤外線観測による重力マイクロレンズ惑星イベント PRIME-2025-BLG-0325 の解析

上田智大 住研究室

Key Words : 重力マイクロレンズ、赤外線天文学、PRIME 望遠鏡

重力マイクロレンズ法は、浮遊惑星や遠方の系外惑星を検出できる有効な手法であるが、従来の可視光観測では銀河中心方向の厚い星間塵による減光が課題であった。これに対し、南アフリカに設置された口径 1.8m の PRIME 望遠鏡は、近赤外線波長での広視野サーベイを行うことで、これまで観測が困難であった領域における惑星探査を可能にしている。

本研究では、2025 年に PRIME 望遠鏡によって発見された惑星候補イベント PRIME-2025-BLG-0325 の解析を行った。光度曲線には惑星由来と考えられるアノマリーが確認された。光度曲線解析のみでは決定できないレンズ系の質量や距離を特定するため、MCMC 法を用いたモデルフィッティングを行い、銀河モデルを用いたベイズ推定を導入した。アインシュタイン半径を横切る時間等の観測量に基づき、レンズ星の物理パラメータの確率分布を算出した。本発表では、これらの解析手法によるレンズ天体の正体および惑星の質量同定の結果について報告する。

4. 氷界面近傍における細胞の挙動解析

大矢愛恵 桂木研究室

Key Words : 凍結アブレーション、方向性凍結、浸透膨張

凍結アブレーション療法は、体内に氷球を形成し、組織を凍結させることでがん細胞を破壊する治療法である。しかし、氷界面近傍における細胞破壊プロセスや細胞死の空間的範囲については解明されておらず、治療現場では、氷球サイズの最適化が課題となっている。

本研究では、凍結による細胞死滅範囲の明確化を目的とし、氷界面近傍においてどのような細胞死を示すのかを検討した。

実験では、氷界面近傍に位置するがん細胞を対象に、凍結中・解凍直後・解凍 1 日後の細胞挙動を観察した。その際、培地の浸透圧を変化させて凍結を行い、その影響を比較した。その結果、解凍 1 日後において、等張液下で凍結した場合は高張液下と比べ、細胞死滅範囲が広いことが明らかになった。また解凍直後には、等張液下で氷界面近傍に低浸透圧ショックによる細胞膨張が認められた一方、高張液下では膨張は観察されなかった。

以上より、氷界面近傍では凍結に加え、低浸透圧ショックが細胞死滅範囲に影響することが示唆された。

5. 冥王星のクレーター形状から推定する 氷殻構造と地下海の有無

平井柊羽 松尾研究室

Key Words: 冥王星、クレーター、氷殻

冥王星の表面は、H₂O 氷の他に窒素やメタンなど多様な氷が偏在しており、それらの物性の差異や不均質性が地質活動や内部熱構造に大きな影響を与え得る。しかし内部の理解はかなり限定的であるため、本研究ではフライバイ観測で得られた地形学的情報から内部構造の推定を試みる。特に衝突クレーターの形状に着目し、撮像データを用いて約 220 個のクレーター形態（直径、深さ、起伏など）を解析し、氷殻の力学的構造や地下海の深さに定量的な制約を与えることを目指す。クレーターは直径の増加に伴い形態が単純なお椀型から中央丘など複雑な地勢へと遷移する。その遷移が生じる直径は氷殻の強度（粘性）を反映するため、表面組成の地域差に従った分類を行い比較し表面氷の組成差と形態差の相関を定量的に評価した。しかし両者に有意な差は見られないことから、非 H₂O 氷の厚さはかなり薄く、その下層にある H₂O 氷殻の性質が本質的であることを示唆している。さらにこの結果より、平均的な氷殻厚さが 29km、そのうちリソスフィアが表層 12km であると推定した。本発表では、解析から得られた知見をもとに、冥王星の氷殻構造と地下海の有無について議論する。

6. 球対称爆発波の自己相似解の検証

米倉玲良 長峯研究室

Key Words : 球対称爆発波、自己相似解

銀河における物質循環や高エネルギー粒子加速を理解するうえで、衝撃波の構造とその時間発展を定量的に把握することは重要である。本研究では、高解像度で衝撃波を捕捉可能な数値流体コード Athena++ を用い、球対称爆発波の進化問題を題材として、数値計算手法の妥当性の検証を行った。まず、一様密度媒質中の爆発波の時間発展を計算し、衝撃波半径 R_{sh} が断熱膨張期において時間 t に対して Sedov-Taylor 解 ($R_{sh} \propto t^{2/5}$) に従うことを確認した。次に、周囲の媒質質量密度が銀河中心領域に存在する星間物質を模した半径 r のべき乗分布 ($\rho \propto r^{-1}$) に従う場合に拡張し、理論的に予測されるスケーリング則 ($R_{sh} \propto t^{2/5-}$) が数値結果と整合することを示した。さらに、特殊相対論効果を考慮した相対論的爆発の計算への拡張にも着手しており、今後は Blandford-McKee 自己相似解との比較を通して、相対論的領域における検証を行う予定である。本研究は球対称衝撃波の基本検証を確立するものであり、将来的にはブラックホール天体周辺の円盤風進化の理解の基盤となる。

7. GRAMS 計画に向けた低温下での ASIC 動作試験

鈴木朋広 松本研究室

Key Words : GRAMS、ASIC、液体アルゴン TPC

GRAMS (Gamma-Ray and AntiMatter Survey) 計画とは、液体アルゴン TPC (Time Projection Chamber) を飛翔体に搭載することで、MeV ガンマ線帯域の観測と暗黒物質の間接探索を目的とした日米共同プロジェクトである。GRAMS では、MeV ガンマ線と液体アルゴンの相互作用によって生じる電離電子および励起したアルゴンから放出されるシンチレーション光を基に、ガンマ線と液体アルゴンの反応位置やガンマ線のエネルギー損失を決定し、ガンマ線の到来方向とそのエネルギーを測定することを目標としている。

その電離電子の読み出しに用いる ASIC (Application Specific Integrated Circuit) は液体アルゴン温度 (-187 度) では動作しない。そのためヒーターで ASIC を温めながら運用しているが、実際に運用している温度でも動作は不安定で、適切に動作する条件も明らかではない。そこで、低温下での ASIC の動作特性を明らかにするため、恒温槽を用いて常温から約-70 度の下で ASIC の動作試験を行った。本研究発表ではその解析結果を報告する。

8. 第一原理経路積分分子動力学計算 (PIMD) を用いた氷高压相の同位体効果の検証

岩田拓弥 土屋研究室

Key Words : 原子核量子効果、同位体効果

H₂O は最も基本的な地球惑星構成物質の 1 つであり、数多くの実験的・理論的研究が行われている。先行研究 (Tsuchiya et al., 2024) では、原子核の量子効果を考慮しない通常の第一原理分子動力学計算 (AIMD) と原子核の量子効果 (トンネル効果) も考慮した第一原理経路積分分子動力学計算 (PIMD) による氷 VII 相の弾性定数を比較し、原子核の量子効果は動的無秩序相の弾性定数の増加に大きく寄与 (300 K・77 GPa 付近で約 20%) していることが判明した。また、中性子回折実験では水素を重水素化し実験を行うことが多い。重水素は質量が軽水素の 2 倍であるため、重水素と軽水素の原子核の量子効果の違いは大きいと考えられる。

そこで、氷高压相における軽水素と重水素の原子核の量子効果の違いを調べることを目的として、本研究では AIMD、PIMD を用いて重水素置換での氷 VII 相の 300 K 状態方程式、300 K 弾性定数を求め、軽水素の結果と比較し同位体効果を検証した。重水素置換では原子核の量子効果により動的無秩序相の弾性定数が 300 K・77 GPa 付近で約 10% 増加することが判明した。

9. 御神渡りから始まる氷の破壊現象

後藤朗天 寺田研究室

Key Words : 御神渡り、Acoustic Emission

御神渡りとは、長野県の諏訪湖で見られる氷の破壊現象で、 -10°C 程度の日が数日間続いて諏訪湖が全面結氷した際に、氷が夜間に収縮し、明け方に膨張することにより、氷が上に押し出される現象である。氷表面の温度差によって破壊が生じることに興味を持ち、氷表面や空気の温度条件を変えて実験を行った。その際に、AE センサを用いて計測を行った。AE (Acoustic Emission) とは、材料が変形あるいは亀裂が発生する際に、材料に蓄えられていたひずみエネルギーを弾性波として放出する現象である。また、ある特定の結晶が、圧力、張力、せん断力を受けてひずみを生じると、誘電分極を発生し、電場が生じるという現象は、圧電効果と呼ばれており、AE センサはこの現象を応用している。さらに本研究では、ある一定圧力を氷にかけ続けて破壊する際の、AE データも計測しており、破壊が発生する以前の先行破壊に着目して、考察している。

10. ダイヤモンド包有物合成実験

堀北はな乃 近藤研究室

Key Words : 超高压実験、ダイヤモンド包有物

CaSiO_3 ペロブスカイト (davemaosite) は下部マンツルの主要鉱物で、高温高压下で安定である。この鉱物は常圧下でその結晶構造を保てず非晶質化するため、回収は困難である。2021年、この CaSiO_3 ペロブスカイトが結晶構造を保持したまま天然ダイヤモンド中の包有物として発見された。このような高压鉱物を包有したダイヤモンドを人工的に合成できれば、高压相の鉱物を回収することができ、ダイヤモンドの透光性を活かした観察・解析も期待できる。そこで本研究では、davemaositeの回収を目下の目的とし、鉱物を包有したダイヤモンドの合成実験を行う。本発表では、GRC(愛媛大学)にてマルチアンビルプレスを用いて行った合成実験や回収試料の分析結果、今後の展望について報告する。

11. PRIME 望遠鏡観測データにおける 単純差分を用いた短時間光度変動探索

LEE JAESEONG、住研究室

Key words: 変光天体、短時間スケール、画像差分

本研究では、近赤外線領域における極短時間スケール（3-10 秒）の変光現象を探索することを目的とする。従来の近赤外変光研究は、重力マイクロレンズ現象に代表されるように、数時間から数十時間の時間スケールを対象とするものが主であり、秒オーダーの変光はほとんど調べられてこなかった。本研究では、PRIME 望遠鏡による銀河系中心方向の高頻度観測データを用い、隣接する短時間露光画像の単純差分に基づく変光探索を行う。短時間間隔では背景変動の影響が小さいため、簡易的な差分手法でも有効な変光検出が可能である。本手法により、恒星フレアや高密度環境特有の突発的な赤外変光など、これまで未報告であった現象の検出が期待される。本研究を通じて、近赤外線領域における未踏の時間領域での新たな変光天体の発見可能性を検討する。

12. モウセンゴケの捕虫運動を駆動する 力発生メカニズムの検証

佐田湧多 桂木研究室

Key Words: 食虫植物、捕虫運動、生体力学

食虫植物アフリカナガバノモウセンゴケは、獲物を捕らえて素早く葉で巻き付ける運動を行う。この運動は成長にかかわる植物ホルモン「オーキシン」が細胞壁を緩めることで起きると考えられてきた。一方で葉の屈曲を引き起こすにはオーキシンだけで説明できるかは不明であった。単に細胞壁が緩むだけで獲物を巻き込む運動を起こす強い力が生じるのかを検証するため、本研究では葉が発生する力の時間推移を測定する独自の装置を構築し、葉の屈曲力のダイナミクスを調査した。実験の結果、オーキシンではなくジャスモン酸を滴下した時に葉の巻き込み運動を起こす力が誘起されることが明らかになった。オーキシンは細胞壁の弛緩を引き起こすが、捕虫運動を引き起こす屈曲力を誘起しないことが示唆され、捕虫運動を引き起こす屈曲力の発生にはジャスモン酸が寄与していることが示唆された。

本研究は、植物が動く仕組みを形態や生化学物質だけでなく、力学的観点から検証した研究である。

13. 硬 X 線偏光観測気球実験 XL-Calibur 搭載望遠鏡の性能評価

高橋真知花 松本研究室

Key Words : X 線、偏光観測、硬 X 線望遠鏡

硬 X 線偏光観測は、放射された光子の持つ偏光情報から高エネルギー天体の磁場構造や幾何学的構造を解明する手がかりとなる強力な観測手法であり、高エネルギー現象の理解において重要である。XL-Calibur は約 15-80keV の帯域における高感度な偏光観測を目的とした、日本・アメリカ・スウェーデンの国際共同気球実験であり、日本は気球に搭載する硬 X 線望遠鏡(HXT)の開発を担当している。2022 年 7 月にファーストフライト、2024 年 7 月にはセカンドフライトが実施された。フライト実験では、着陸の衝撃や回収、輸送時の振動により HXT の性能が変化している可能性がある。そこで、2 回目のフライトを経た HXT の健全性を評価するために、2025 年 10 月に大型放射光施設 SPring-8 の BL20B2 にて 30keV、50keV、70keV の X 線を用いて HXT の性能評価実験を行った。その実験データを用いてフライト後の HXT の光軸や有効面積を求め、フライト前後での性能の変化を評価する。本発表ではその実験データ解析結果について報告する。

14. Valence-Arousal モデルに 基づく感情ダイナミクスの解析

新田唯奈 波多野研究室

Key Words: 非線形動力学、Valence-Arousal モデル

本研究は、感情を一時点の静的な状態ではなく、時間とともに推移する動的システムとして捉える。まず、感情を感情価と覚醒度の 2 軸で表現する J. Russell の VA モデルを導入する。このモデルは本来、感情を平面上の点として記述する静的な分類法だが、本研究では非線形力学系の枠組みへ拡張することで、感情の時間発展と安定性を解析した。これにより、従来の静的手法では記述が困難だった「多安定性」や「状態遷移」を微分方程式に基づき動的に記述することを目指した。さらに、この個人モデルを二者の相互作用系へ発展させ、プロジェクトの進捗状況が各個人の感情にフィードバックを与える機構を導入した。数値解析の結果、相互作用による新たな固定点への収束を確認したほか、非対称性を考慮したケーススタディを通じて、プロジェクトを円滑に進行させる「最適な個人特性の組み合わせ」を数理的観点から考察する。

15. 地球内部での水の役割

庫本泰岸 近藤研究室

Key Words: 含水鉱物、含水メルト

含水鉱物中の水は、沈み込むスラブによってマントル深部へ運ばれる。特に蛇紋岩は地殻から浅部マントルで重要な含水鉱物であり、蛇紋岩化したスラブマントルは深部へ運ばれる水の量を制限する。水は無水鉱物 (NAM) よりも含水鉱物に強く分配され、湿潤スラブ中のカンラン石などの NAM の含水量は限られる。深さ 660km 以深では、含水鉱物の脱水により水が放出され、局所的な含水マグマの生成や地震波散乱体の形成に関与すると考えられている。本研究では、地球内部の水と高圧下での含水メルトの構造研究に関する論文のレビューを行う。

16. シンクロトロン放射におけるピッチ角 および視線方向の影響

深澤恵莉子 長峯研究室

Key word: シンクロトロン放射、ピッチ角分布

相対論的電子が磁場中を運動する際に放射するシンクロトロン放射は、高エネルギー天体の磁場構造や電子分布を診断する基礎放射過程である。観測データをモデル化する際、電子のピッチ角(電子運動量と磁場のなす角)が等方分布であると仮定されることが多いが、相対論的ジェットや降着円盤近傍では揃った磁場構造の存在が期待され、等方分布の仮定が破れる可能性がある。本研究では、ピッチ角分布として等方分布、単一角度、特定のピッチ角(α)にピークをもつ正規分布を仮定し、シンクロトロン放射スペクトルに与える影響を比較した。正規分布を仮定した場合、ピーク周波数が $\sin(\alpha)$ に比例して変化することが確認された。また、ピッチ角を $\pi/4$ と仮定して正規分布と等方分布を比較した場合、ピーク周波数は大きく変化しないものの、ピークフラックスは 100 倍程度の差が生じることがわかった。さらに、視線方向を変化させて相対論的ビーミングも含めた視線角度依存性を調べたところ、ピッチ角分布が等方でない場合は、視線方向に依存してシンクロトロン放射フラックスおよびシンクロトロン臨界周波数が 10 倍以上変化することを確認した。今回の発表ではピッチ角分布および視線方向がスペクトル解釈に与える系統的影響を報告する。

17. あらせ衛星 XEP による 放射線帯外帯相対論的電子の消失過程の解析

上月昭慶 寺田研究室

Key Words: あらせ衛星 磁気嵐 放射線帯

地球磁気圏の中には地球磁場に捉えられた高エネルギー粒子によって構成されている放射線帯と呼ばれるドーナツ状の構造が存在する。特にその中でも外側に位置する放射線帯外帯には、光速に近い速度で運動している相対論的電子と呼ばれる高エネルギー電子が存在し、人工衛星の運用に影響を及ぼすことが知られている。これら相対論的電子のフラックスや密度は太陽活動度により大きく変動することが知られており、地球大気への降下、動径方向輸送によるエネルギー減少などが要因として挙げられる。一方で太陽風動圧増加に伴う磁気圏界面の圧迫による流出過程 (Magnetopause shadowing) については詳細な検討が求められている。本研究では、あらせ衛星 XEP 検出器 (超高エネルギー電子分析器) による観測データに対して、検出器応答を考慮した応答関数を用いることでエネルギースペクトルの再構成を行い、放射線帯外帯における相対論的電子の消失過程を定量的に評価することを目的とする。

第一原理計算による Antigorite ($m=11$) の弾性定数と力学的安定性

中島絵麻 土屋研究室

Key Words : Antigorite、第一原理計算、弾性定数、Born の安定性
基準

地球深部における水輸送に重要な含水鉱物 Antigorite は、沈み込み帯において主要な蛇紋石グループ鉱物の一つである。Antigorite は SiO_4 四面体層と MgO_6 八面体層からなる層状構造を持ち、a 軸方向に波状に屈曲した繰り返し構造を特徴とする。構造周期に含まれる SiO_4 四面体数 (m 値) により構造が分類され、モジュールの連結様式の違いによって構造系列が形成される現象はポリソマティズムと呼ばれる。天然では $m=13-24$ の範囲の構造のみが報告されており、低 m 値構造が存在しない理由は明らかでない。本研究では、天然では一般的でない $m=11$ の Antigorite を対象とし、密度汎関数理論に基づく第一原理計算により、0 ~ 14 GPa の圧力条件下で弾性定数を算出した。得られた弾性定数に対して Born の安定性基準を適用した結果、 $m=11$ 構造は本圧力範囲において力学的に安定であることが示された。この結果は、低 m 値構造の存在条件を検討する上で、力学的安定性以外の要因を考慮する必要性を示唆している。

19. 片栗粉濃厚懸濁液を用いた ダイラタント液滴の衝突挙動

藤本実聡 桂木研究室

Key Words : ダイラタント流体、液滴衝突、跳ね返り挙動

非ニュートン流体の一種であるダイラタント流体（片栗粉濃厚懸濁液）は、急速な変形に対して固体的に振る舞う特性をもつ。しかし、高濃度条件下でのダイラタント流体による液滴（ダイラタント液滴）を用いた研究報告は少ない。特にダイラタント液滴の衝突による「跳ね返り」挙動については、ダイラタント流体が固体的特性を示すと言われているにもかかわらず、先行研究で調べられていなかった。そこで本研究では、ダイラタント液滴の落下条件が衝突挙動に与える影響を明らかにすることを目的とした。

実験では、ハイスピードカメラを用いて側面から衝突の様子を観察した。懸濁液の濃度および落下高さをパラメータとして実験を行い、液滴の衝突による変形や反発の様子、跳ね返った場合の反発係数などの計測・解析を行った。

その結果、特定の濃度および衝突速度の条件下で、ダイラタント液滴が弾性的に反発することを確認した。衝突時の変形や反発の挙動から、ダイラタント液滴の弾性・塑性特性を検討した結果について報告する。

20. 系外惑星生命探査での光学干渉計における 温度環境の構築

室 駿介 松尾研究室

Key Words : 命探査, 恒温室, 実験室作成

次世代の宇宙望遠鏡や宇宙干渉計による太陽系外の地球型惑星の直接撮像観測において、Biosignature と呼ばれる生命の活動を示す信号の検出が重要であると考えられている。Biosignature には大気中の分子吸収や惑星表面の色、それらの時間変化を観測する必要があるが、惑星光に比べて非常に明るい恒星光が観測の妨げとなる。主星と惑星のコントラストは、可視光で10の10乗、中間赤外線では10の7乗に達するため、直接撮像には主星光だけを精密に打ち消すコロナグラフやナール干渉計が求められる。

例えば、ナール干渉計は、主星光に逆位相の波を重ね合わせて打ち消す手法だが、その実現には1波長の1000分の1の精度が求められる。しかし、装置の主要素材であるアルミニウム合金は、1 Kの温度変化で長さが1 mあたり0.02 mm（約10波長分）変化してしまい装置の性能劣化につながる。したがって、観測装置の性能を担保するには、周囲の温度変化を少なくとも数 mK 以内に制御する環境構築が必要となる。

本研究では、この数 mK 以内の安定性を実現する恒温室の開発を目標とし、その試作段階として、熱交換器の原理確認および設計、製作、測定を行うことで熱制御性能の検証を行う。

21. Lyman α forest 観測と CROCODILE シミュレーションの統計的比較

横山大志 長峯グループ

Keywords: Lyman α forest, IGM, CGM, 宇宙論的流体シミュレーション

宇宙の化学進化や網目上の大規模構造を理解する上で、銀河間物質 (Intergalactic Medium; IGM) や銀河周辺物質 (Circumgalactic Medium; CGM) は重要である。これらの観測には Lyman α forest と呼ばれる特徴的な吸収線が用いられ、中性水素の 3 次元マップを作成することで CGM や IGM の宇宙空間における分布を理解することができる。

一方、理論モデルの検証や宇宙論パラメータの精査のためにシミュレーションでこれらの分布を再現することも重要である。本研究では当研究室で開発された、星形成や銀河中心のブラックホールからのエネルギー放出をモデルとして取り入れた宇宙論的流体 CROCODILE シミュレーションを用いて、赤方偏移 $z \sim 2.2$ の 3 次元の中性水素分布を 200Mpc の box サイズで調査した。検証方法としてはフラックスと中性水素柱密度の分布関数を用いる。本発表では、統計的に評価したこれらの中性水素分布 Lyman α forest から得られた観測結果を比較することで、両者が整合的かを議論しシミュレーションモデルの妥当性を検証する。

22. 活動銀河核 NGC4151 における 鉄輝線放射領域の制限

野口晴行 松本研究室

Key Words : 活動銀河核、X 線、鉄輝線

活動銀河核 (AGN) とは、銀河全体の光度を凌駕するほどの強い光を放射する、銀河の中心領域のことである。AGN の中心には太陽の $10^6 - 10^9$ 倍もの質量を持つブラックホール (BH) があり、強重力下の物質は BH 近傍にコロナ (X 線光源となる高温プラズマ) や降着円盤、外縁部にトーラスと呼ばれるドーナツ状のダストを形成する。しかし、これらの位置関係・物質分布は未だよく分かっていない。コロナからの直接 X 線が周囲の鉄原子を電離すると特性 X 線 (輝線) が放射される。そこで直接 X 線に対する輝線の強度変動のタイムラグを測定することで、コロナから鉄輝線放射領域までの距離を推定できる。先行研究からラグは数日程度であることが示唆されるため、解析には数日程度の変化を反映できる密な観測データが必要となる。本研究では、約 2 ヶ月間に渡って XMM-Newton・Swift 衛星によって計 69 回観測されていた、NGC4151 という X 線で最も明るい AGN に着目した。本発表ではタイムラグ解析手法と結果を報告し、鉄輝線放射領域の半径について議論する。

23. 高温高压下における SiO₂-Al₂O₃ 系含水鉱物の放射光 X 線その場観察

小池陽大 近藤研究室

Key Words : 高压、放射光 X 線回折、相転移、相平衡

地球の水は海や大気だけでなく、一部は岩石中の鉱物に取り込まれ、鉱物の結晶構造中で OH (水酸基) として保持される。このような含水鉱物が沈み込むプレートとともに地球深部へ運ばれることで地球内部の水循環に寄与すると考えられるため、マントル地温でも安定に水を保持できる相が重要となる。そこで本研究では、近年の研究により高い温度安定性が報告されている含水鉱物 phase egg (AlSi_{0.5}H) とその相転移に注目した。高温実験後回収試料の分析に基づいて相関係を議論してきた従来の実験に対し、本研究では放射光 X 線を用いることで、高温高压下での相転移挙動の観察を試みている。

実験は、SPring-8 BL04B1 に設置されたマルチアンビル型高温高压発生装置を用いて実施した。SiO₂ (quartz) と α -Al₂O₃ の混合試料を 18-22 GPa、900-1800 K の条件下で加熱し、その場 X 線回折測定によって反応過程を観察した。その結果、昇温に伴う Egg 相の出現および相転移挙動を、高温高压下その場観察として初めて捉えることに成功した。相転移後に形成される鉱物相は、Wang et al. (2025) において報告された無秩序型 phase Egg に対応する可能性が示唆されるが、今後さらなる解析が必要である。

24. 傾斜角のついた面におけるコーヒーリング現象の観測

佐伯晴日 桂木研究室

Key Words : コーヒーリング現象、傾斜、流れ

コーヒーリングとは、コーヒーやインクジェットなどのコロイド流体による液滴が滴下されて乾いたあとに見られるリング形状のことを指す。水平面に液滴が滴下された場合のコーヒーリング現象についての研究は数多くなされているが、傾いた面上での液滴蒸発によるものは、これまであまり研究されてこなかった。また、傾斜面におけるものは先行研究では、液滴は流れずにその場で留まって蒸発する状況に着目しているものが多い。

そこで本研究では、コーヒー液滴を滴下するときの滴下面の傾斜角や液滴の体積(初期体積)を変化させることによって、液滴が傾斜面上を流れてから停止し、リングを形成する状態に注目して実験を行った。特に、本研究の特徴である流れにも着目するため、液滴が流れた距離とコーヒーリングの形状を特徴づけるリング面積、縦横比、対称性などとの関係について調べた。得られた結果から、リングの形状観察からリングが生成した際の条件(傾斜角、初期体積)を導く関係式について検討を進めた結果を報告する。

25. 生体分子モーターkinesin の 4 状態モデルの熱力学的解析

小堀幹太 波多野研究室

Key words : 確率熱力学、分子モーター、生物物理

細胞内を二足歩行で進み、様々な物質の輸送を担う分子モーターkinesin はエネルギー源である ATP 加水分解エネルギーの約 80%を内部で散逸していることが報告されている [1]。これは、kinesin が入力エネルギーの大半を仕事以外のプロセスに使っている可能性を示唆している。また、他の実験では kinesin の一方の足の化学状態が他方の足の反応速度を変調していることが示されており、両足間で情報のやり取りが存在すると考えられる。さらに、その情報伝達過程自体がエネルギー消費と結びついている可能性が指摘されている [2]。そこで本研究では、kinesin の両足間の情報のやり取りを確率熱力学の枠組みで定量化することを最終的な目標とする。ここではそのための第一歩として、kinesin を記述する簡単な 4 状態モデルを構成し、熱力学的性質を解析的に調べた。本発表では、4 状態モデルに対する熱力学的解析の結果を示す。

[1] T. Ariga, M. Tomishige, and D. Mizuno, Phys. Rev. Lett. 121, 218101 (2018).

[2] H. Isojima, K. Matsuzaki, and M. Tomishige, bioRxiv, 2025.06.11.659012 (2025).

26. 重力マイクロレンズ光度曲線解析における再パラメータ化および HMC 法の有効性の検証

大勢英晃 住研究室

Key Words: 重力マイクロレンズ法、再パラメータ化、HMC

重力マイクロレンズ現象は、惑星系やコンパクト天体などのレンズ天体の重力によって、レンズ天体の背景天体が増光する現象である。増光の時間変化（光度曲線）の解析を行うことでレンズ天体の質量や距離を推定することができる。これらの物理量の推定には、多くの場合、Random Walk 型の Markov chain Monte Carlo (MCMC) 法を用いて事後分布をサンプリングするが、推定したいパラメータが多い場合や相関が強い場合サンプリングの効率は低下し、推定が困難になるという課題がある。この課題に対し、本研究では、効率的なサンプリングを行うことを目的とし、再パラメータ化と MCMC アルゴリズムの一種である Hamiltonian Monte Carlo (HMC) 法を導入し、その有効性について定量的な検証を行った。検証の結果、レンズ天体が惑星を伴わないシングルレンズイベントにおいて、結果が収束するためには再パラメータ化が不可欠であることが示された。また、従来の MCMC と比べて、勾配を利用する HMC 法は 10 倍以上効率的であるということが明らかになった。