

埼玉大学 テニュアトラック

令和3年度 研究概要・成果集

Saitama University

Tenure track

巻頭言

テニュアトラック令和3年度研究概要・成果集 発行にあたって



埼玉大学研究機構長
黒川 秀樹

本年4月に研究機構長を拝命しました黒川です。研究機構長として副機構長（研究推進室長）の弥益恭先生をリーダーとするテニュアトラック推進オフィスの皆さんとともに、本学のテニュアトラック制度が一層発展するように微力ながら尽力させていただきます。どうぞよろしくお願い申し上げます。

さて、本学においてはこれまで9名のテニュアトラック教員が無事、テニュア審査に合格してテニュアを獲得、それぞれの所属分野の教員として既に大いに活躍しておられます。また、現在は、下記の2名の教員がテニュアトラック教員として活動しておられます。

- ・江幡修一郎助教（核物理、時間依存密度汎関数理論）
- ・高橋悠樹助教（力学系、スペクトル理論、フラクタル幾何学）

テニュアトラック教員制度は、優秀な若手教員に対して可能な限り研究に専念できる環境を整えることによって難易度の高い研究テーマに積極的に挑戦していただき、埼玉大学ひいては日本の学術研究をリードする人材へと成長していただくことを目指した制度です。日本の研究力の低下、これは単なる論文数の低下だけではなく、各分野において影響力の高い Top10%補正論文数の顕著な低下に表れており、先端分野における日本の研究力の低下は危機的な状況です。この原因は色々あると思いますが、私が実感している点として、教員が集中して研究に打ち込める十分な時間を確保できないことに起因しているものと思います。

本テニュアトラック制度は、研究に対する日本の地位を取り戻すための大切な取り組みです。現在この制度により活躍しておられるテニュアトラック教員はもとより、めでたくテニュアを取得された先生方も含めてますますのご活躍を大いに期待して、私の挨拶とさせていただきます。

大学としましても研究環境を改善するべく継続して鋭意努力を進めてまいります。今後ともどうぞよろしくお願い申し上げます。

埼玉大学のテニュアトラック制度

埼玉大学では、平成 24 年度にテニュアトラック制を導入することを決定し、卓越した若手研究者の育成を目指して『埼玉大学・若手研究リーダー育成』を掲げテニュアトラック制を推進しています。この取組により、自立的に研究できる環境整備等を通じて、新しい研究体制の構築を目指しています。また、新領域の開拓やイノベーションの創出、教員の年代・ジェンダー・国際バランスの是正等の効果をも期待しています。

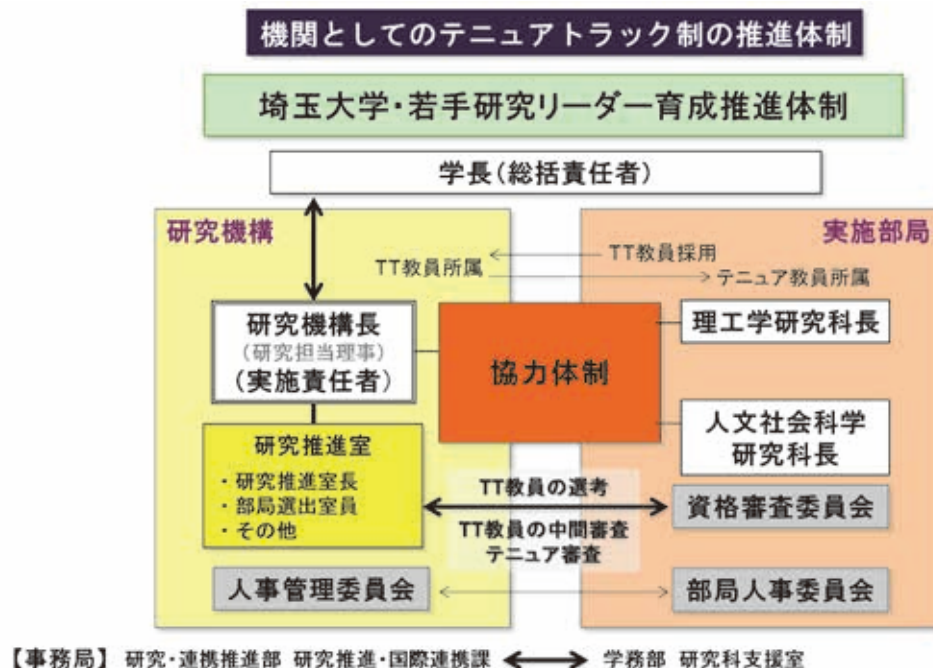
5 年間のテニュアトラック教員ポストは、理工系については理工学研究科教員ポストを流用し、人文・社会系については学長裁量教員ポストを措置しています。また、国際公募・選考は実施部局が行うものの、研究推進室が必ず関与することとしています。採用後は、研究の自主性・独立性確保と異分野融合を目的として、テニュアトラック教員を部局から全学的な組織である研究機構に配置換して集約し、十分な研究費と研究スペースを支援するとともに実施部局と研究推進室からの複数のメンターを充てることとしています。

また、テニュアトラック制の定着及び円滑化を図るため、若手研究者情報交換の場の提供や学内普及活動を実施しています。

推進体制

学長のリーダーシップのもと、研究機構と実施部局（理工学研究科、人文社会科学研究科）が連携してテニュアトラック制を推進しています。具体的には、研究機構内にある研究推進室が主たる役割を担うとともに、研究機構長と各部局長との協力体制のもとで、研究機構と部局との委員会の連携等により実質的なものとして運営しています。

また、事務的な体制として研究機構に対応した研究・連携推進部 研究推進・国際連携課と、各部局に対応した研究科支援室が連携した体制を取っています。さらに、研究推進・国際連携課内にテニュアトラック推進オフィスを設け、事務的なサポートを行うなどの支援をしています。



卓越研究員について

卓越研究員事業は、若手研究者が、安定かつ自立して研究を推進できる環境を実現すること等を目的として文部科学省が実施している事業です。本学では、理工学研究科戦略的研究部門のライフ・ナノバイオ領域及びX線・光赤外線宇宙物理領域で平成 29 年度に 2 名採用、理工学研究科の物質科学部門で令和元年度に 1 名採用、理工学研究科数理電子情報部門で令和 2 年度に 1 名採用しました。卓越研究員には、研究費の支援、メンターの配置、研究スペースの確保等の環境整備を理工学研究科と研究機構が連携して行っています。

目次

巻頭言 テニユアトラック令和3年度研究概要・成果集 発行にあたって	1
---	---

I 令和3年度研究概要

「分子が動くゲル材料ーボトムアップのランダムな揺らぎー」	7
------------------------------------	---

川村 隆三 理工学研究科 助教（戦略的研究部門 ライフ・ナノバイオ領域）
・卓越研究員

「X線天文衛星を用いた超高層大気密度の測定：長期トレンドの調査」	11
--	----

勝田 哲 理工学研究科 助教（戦略的研究部門 X線・光赤外線宇宙物理領域）
・卓越研究員

「時間依存平均場模型による核分裂片の核データの整備」	15
----------------------------------	----

江幡 修一郎 理工学研究科 助教（物質科学部門）
・卓越研究員

「Analyticity of the Lyapunov exponent of meromorphic monotonic cocycles」	19
--	----

高橋 悠樹 理工学研究科 助教（数理電子情報部門）
・卓越研究員

II 令和3年度テニユアトラック教員の研究成果

川村 隆三 理工学研究科 助教（戦略的研究部門 ライフ・ナノバイオ領域）	25
---	----

勝田 哲 理工学研究科 助教（戦略的研究部門 X線・光赤外線宇宙物理領域）	26
--	----

江幡 修一郎 理工学研究科 助教（物質科学部門）	27
-------------------------------------	----

高橋 悠樹 理工学研究科 助教（数理電子情報部門）	28
--------------------------------------	----

III 研究発表会開催の記録	31
----------------------	----

IV メンターからの一言	42
--------------------	----



I

令和3年度 研究概要



分子が動くゲル材料 ―ボトムアップのランダムな揺らぎ―

理工学研究科 戦略的研究部門 ライフ・ナノバイオ領域 (卓越研究員事業)
助教 川村 隆三

■Abstract: Cytoskeletal proteins and motor proteins are powering various movements of living cells such as cell deformation, inner transport, migration, division and so on. Inspired from the cooperative behaviors of these powering molecules in natural system, I have been developing active materials employing kinesin and microtubule which are representative combination of motor protein and the rail. So far, based on a method to reproduce sliding movements of microtubules by kinesins decorated on a glass substrate, methods to scale up the motions by forming network structure of the moving microtubules has been established. Here, attempts to clarify the uniqueness of movements and to measure the forces generated by the networked microtubules driven by kinesins are reported with aim to improve the functionality for future applications.

■研究の背景と目的

生物は、非常に大きな分子の集合体だが単なる塊ではない。主な構成員であるタンパク質や核酸、脂質といった分子の大きさはナノメートル程度だが、無数の分子、多種多様な分子が複雑かつ動的に関与し合って様々な機能が成立している。生理的な化学反応はもちろん、様々な大きさ・形の構造形成で「反応の場」を提供することも重要で、小さいものから大きなものまで階層構造をなして、分子から個体に至るスケールの秩序的構造の形成と維持を実現している（図1）。分子群が形成する集合体には、硬さや弾力などの特徴が重要な働きを示す場合もある。このような、生物の幅広いスケールの構造は、自己組織化によって形成され、また出来上がった細胞や個体を形成する部品となる分子は、代謝によって入れ替わることすら可能である¹。工業製品がロボッ

トによって外部から組み立てられて、壊れたら人の手で部品を交換して修理するのは違って、生物は「機械」としてみると非常に自律的にできていることがわかる。生物体内の自己組織化には、熱揺らぎによる拡散とモータータンパク質の能動的な運動が寄与している。熱揺らぎによる拡散は、コーヒーにミルクを入れるとかき混ぜなくても自然と広がるような普

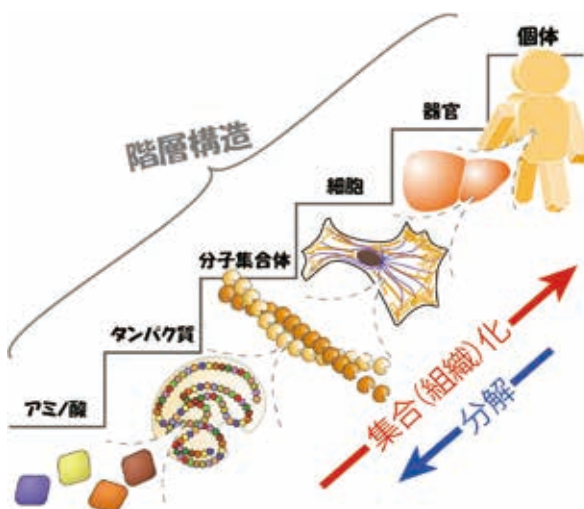


図1: 生物のもつ階層構造

遍的な現象である。一方で、モータータンパク質は、化学エネルギーを消費してナノメートルの歩幅で能動的に運動を作り出す分子で、生物に特有の仕組みである。この小さな「生物らしい」運動は、分子の輸送だけでなく、複数の分子が細胞内での器官（ナノ～マイクロメートル）を輸送したり、細胞（マイクロメートル）や組織（ミリ～センチメートル）を変形させたりして、生物は階層的な構造で微小な駆動力をうまく統合して大きな力を生み出して利用している。このようなモータータンパク質の「小ささ」と「動く」という機能、そして「多数で協調的な動きを生み出す能力」に着目して、人工的な材料開発に活用する研究に取り組んでいる。

■研究方針：

生物の構造形成を支えるモータータンパク質は大きく二種類に分類できる（図2）²。一つは、棒が伸び縮みするように変形するタイプである（図2左下）。塩濃度や温度、化学エネルギーとなる物質の濃度などの条件によって構成分子の

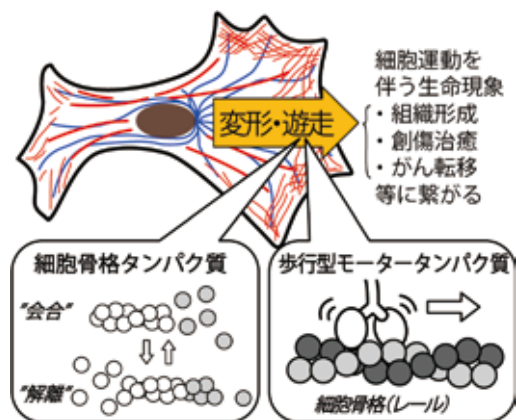


図2：細胞の運動を支える細胞骨格タンパク質と歩行型モータータンパク質の概念図。

会合（自己組織化）／解離が進んで繊維状の集合体によって伸び縮みして見える。この繊維は細胞内ではネットワーク状になって全体の形状を時々刻々と変化させて細胞変形を可能にしているので細胞骨格と呼ばれる。もう一種類のモータータンパク質は歩行型で（図2右下）、一部の細胞骨格をレールとして利用し、直線的な運動を示す。細胞骨格をずらして細胞を変形させたり（図3 A上）、細胞内物質輸送を担ったりする。川村は、細胞骨格と歩行型モータータンパク質の代表的なペ

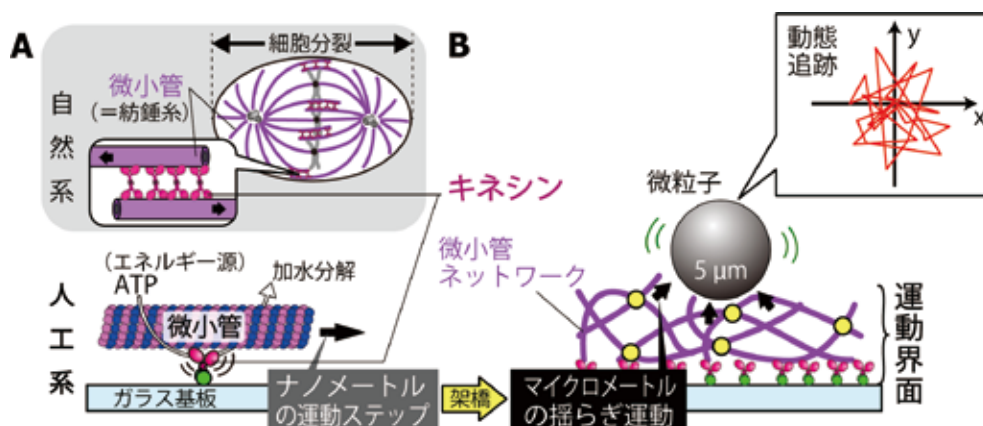


図3：微小管・キネシンの細胞内での働きと人工系での運動再現(A)。微小管を化学架橋でネットワークにしてキネシンで駆動する「運動界面」。ATPの化学エネルギーを消費しながら微粒子をマイクロメートルのスケールで多方向に揺らすことができる。

アである「微小管とキネシン」を用い、再構成系で運動観察する手法を元にして多分子集団の運動を集積化する動くゲル材料を開発している。

■令和3年度までの研究進捗：

～ミクロな揺らぎの解析～

本来、「歩く」役割のキネシン分子をガラス基板上に吸着し、微小管をその上に載せると微小管の方が長軸方向に滑り運動する様子を観察できる（図3A）³。この再現系の運動を集積化する為、微小管を化学的に架橋してネットワーク状にする方法を開発している（図3B）⁴。微小管には繊維の向きがあって、キネシンはこれに沿って一方向に動く。従って、向きがバラバラで架橋した微小管ネットワークを基板上的キネシンで駆動すると「綱引き」状態に陥りそうだが、実際は十マイクロメートル以上の振幅で揺らぎ運動を継続的に発揮する。この現象に着目して、分子の駆動力でマクロな揺らぎを発生する『運動界面』として、運動機能の解明と応用について研究している。

令和3年度は、運動界面が発する揺らぎ運動について（図4A）、他の機械的な振動を与える方法と比較して特徴を解析して論文を発表した⁵。容器の外から電気モーターで振動を与えて、水中の微粒子（直径5マイクロメートル、シリカ製）が揺らぐ様子を観察した（図4B）。この場合、微粒子の群れは一方向的な移動を示し、運動界面上で微粒子が多方向へバラバラに運動する様子（図4A）とは対照的な結果となった。微粒子同士の相対的

な距離の変化を調べると、電気モーターで振動を与える方法では、一方向つまり一次元的な移動であったのに対し、運動界面では二次元的な相対移動の広がりが確認できた。水中の物体に揺らぎを与える道具としてみた時に、外から容器に振動を与えた場合では、微粒子が群れとして同方向に移動し（図4D）で群れの中では衝突する動きが限られる。これに対し、運動界面では微粒子間の相対的な移動が大きく（図4C）、衝突が容易である。これはつまり、新たな「かき混ぜ」ツールに応用できると考えた。熱揺らぎでは動かない大きさの微小部品を自己組織化に向けて動かす「組立て」に利用するという着想を得て、現在は JKA 研究補助（複数年、令和3-4年度） の助成を得て、二次元コロイド結晶（秩序構造）の構築で実証する研究へと発展させている。

微粒子の動態追跡による運動界面の

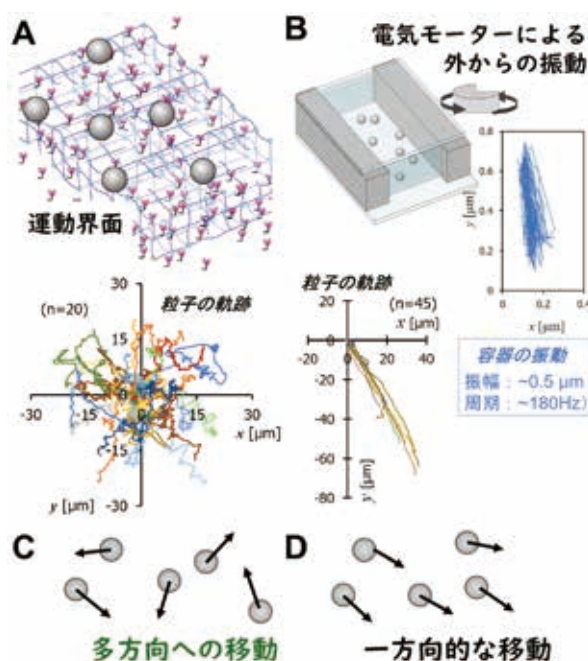


図4：微粒子を揺らす様式の比較⁵

駆動性能解明に加え、直接的な出力の計測についても継続的に取り組んでいる。運動界面のスケールアップした出力について、ガラスマイクロニードルを探針とした直接的な力学計測の実験系を実現している。前年度までの経過では、ナニュートンレベルの出力を観測し、装置の信頼性向上の改良を重ねた。令和3年度は、溶液条件の影響解明に取り組んだ。化学エネルギーであるアデノシン三リン酸(ATP)や塩濃度によって、キネシンの駆動頻度や微小管への相互作用強度を変化させる狙いで、ナニュートンレベルの振動性の出力がその周期性に変化をきたすことを見出した。成果については、第59回生物物理学会年会において発表(口頭)を行った。出力についての振動現象については、多分子集団に独特な、生物らしい分子群のふるまいを捉えていると考えられる。今後、人為的な副作用の可能性を十分に排除する為にデータ収集を重ねて検証し、論文発表を目指す。振動型の出力特性を明らかにすることは、スケールの大きな自己組織化を促す原動力として、運動界面を応用する面においても有意義な知見となることが期待される。

■今後の展望：

分子力学ツールとして微小物体をかき混ぜる道具としての性能と原理を解明する一方で、かき混ぜツールとしての応用では、生細胞も対象にして研究を進めている。中でもがん細胞に焦点を当てて新しい細胞識別法開発による臨床応用を目指した研究を展開してゆく。埼玉医科大学との共同研究を令和3年度から開始

し、臨床由来の細胞試料を用いた検証を実現する研究体制も整えている。

■まとめ：

微小管・キネシンを用いて人工系で作製する多分子モータータンパク質集積体である「運動界面」について、微粒子の動態追跡から運動の特異性を明らかにし、論文に発表した⁵。またガラスマイクロニードルを駆使した出力計測では、生物らしい振動型のマクロな出力変化を捉えて、運動界面の生物らしい一面を新たに見出した。

■謝辞：

本研究では、卓越研究員事業に基づいて研究費、研究環境整備費の支援を文部科学省から頂いております。深く御礼申し上げます。

■参考文献：

1. Lehn, J.-M., Perspectives in Chemistry—Steps towards Complex Matter. *Angew. Rev.* 2013, **52**, 2–17.
2. Howard, J., Mechanics of motor proteins and the cytoskeleton. first ed.; Sinauer Associates, Inc.: Sunderland, MA 2001; p 384.
3. Vale, R. D.; Reese, T. S.; Sheetz, M. P., Identification of a novel force-generating protein, kinesin, involved in microtubule-based motility. *Cell* 1985, **42** (1), 39–50.
4. Kawamura, R.; Sano, K. I.; Ijio, K.; Osada, Y., Chemically cross-linked microtubule assembly shows enhanced dynamic motions on kinesins. *RSC Adv.* 2014, **4** (62), 32953–32959.
5. Meguriya, K.; Yokoyama, T.; Kobayashi, N.; Yoshikawa, H.Y.; Nakabayashi, S.; Kawamura, R., Agitation of non-Brownian particles by active matrix of kinesin-microtubule motor proteins. *ChemRxiv* 2022, DOI: 10.26434/chemrxiv-2022-p5xsl.

X線天文衛星を用いた超高層大気密度の測定：長期トレンドの調査

Measuring Vertical Density Profiles of the Earth's Upper Atmosphere using X-Ray Astronomy Satellites:

Investigation of the Long-Term Trend

勝田 哲 (Satoru KATSUDA)

理工学研究科 助教 (戦略的研究部門 X線・光赤外線宇宙物理領域)

We present long-term density trends of the Earth's upper atmosphere at altitudes between 71 and 113 km, based on atmospheric occultations of the Crab Nebula observed with X-ray astronomy satellites, ASCA, RXTE, Suzaku, NuSTAR, and Hitomi. The combination of the five satellites provides a time period of 28 yr from 1994 to 2022. We obtain four sets (two seasons by two local times) of density trends at each altitude layer. We consider variations due to a linear trend and the 11-yr solar cycle using linear regression techniques. Because we do not see significant differences among the four trends, we combine them to provide a single vertical profile of trend slopes. We find a negative density trend of roughly -5 %/decade at every altitude. This is in reasonable agreement with inferences from settling rate of the upper atmosphere. In the 100-110 km altitude, we found an exceptionally high density decline of about -12 %/decade. This peak may be the first observational evidence for strong cooling due to water vapor and ozone near 110 km, which was first identified in a numerical simulation by Akmaev et al. (2006). Further observations and numerical simulations with suitable input parameters are needed to establish this feature.

1. はじめに

本研究では、超高層大気の下層にあたる高度 70-200 km 領域(中間圏から熱圏下層 = Mesosphere and Lower Thermosphere: MLT)に着目する。ナビゲーション、通信、宇宙旅行、宇宙探索など宇宙利用が活発化する中、この領域を深く理解する必要性が増している。さらに、気候変動を予測する上でも重要である。地表付近の大気の気候変動はよく知られる事実だが、超高層大気も様々な要因で短期・長期的変動を示す。特に、ここ数十年の長期変動は、温室効果ガスの増加に起因すると考えられている。

温室効果ガスは、下層大気中では熱を閉じ込め気温を上げる役割を果たすが、上層大気(20 km 以上)においては宇宙に熱を逃す効果が大きくなり、逆に空気を冷やす働きをする。これを最初に指摘したのは、昨年ノーベル物

理学賞を受賞された真鍋淑郎さんらである[1]。超高層大気の寒冷化は、その後のシミュレーションおよび観測研究の両面から確認、定量化されてきた[e.g., 2, 3]。

大気は昇温すると膨張し、冷えると縮む性質がある。したがって、寒冷化に伴い上層大気は縮む(落下するとも言える)。大気密度は静水圧平衡で記述され、地表からの高度に対して指数関数的に低下する。このため、同じ高度における上層大気密度は、寒冷化とともに低下すると考えられる。実際、人工衛星の大気摩擦を利用した密度測定に基づく長期モニターの結果、密度の低下が確認されてきた[e.g., 4]。しかし高度 300 km 以下では、安定的に飛行する人工衛星がないため、直接的な密度測定データが乏しい。これまで単発的な測定が数例あるのみで、長期トレンドを調査できるデータは皆無であった。

最近我々は、天体からの X 線が地球大気に掩蔽される現象を用い、MLT 領域の大気密度を計測することに成功した[5; Paper I]。X 線にとっては、原子も分子も元素の違いもほとんど区別がつかない。このため、大気の組成を測定することは難しいが、一方でトータル密度を計測できる強みがある。我々はまず、日本の X 線天文衛星「すざく」(稼働期間: 2005.7-2015.6)と「ひとみ」(稼働期間: 2016.3)を用いて大気密度を測った。得られた密度プロファイルは、概ね標準的な大気密度モデルと一致していた。しかし、高度 100 km 付近で測定値が 米国海軍のモデル(NRLMSISE-00)値より数割低いことが判明した。この密度モデル構築に使われた観測データは数十年前に取得されたものであるため、地球温暖化に伴う超高層大気の寒冷化・低密化によって、データ(2010 年頃)とモデル(1970-1980 年頃)に食い違いが生じたのかもしれない。そこで我々は、超高層大気密度の長期変動を調査するため、1993 年打ち上げの「あすか」衛星から、現在も稼働している X 線天文衛星「NuSTAR」まで、合計 5 つの衛星に搭載された 6 つの観測機器のデータを包括的に解析することにした[6; Paper II]。

2. X 線天文衛星によるカニ星雲の観測と解析

Paper I と同様に、観測対象としてカニ星雲(西暦 1054 年に発生した超新星爆発の痕跡)を選定した。理由は、非常に明るく、時間変動がなく、コンパクトで解析しやすいためである。加えて、観測装置の較正用天体として、これまで全ての X 線天文衛星が何度も観測してき

たため、長期トレンド調査には打ってつけの天体であった。

我々が解析対象とした X 線天文衛星は、「あすか」(稼働期間: 1993—2000)、「RXTE」(1995—2012)、「すざく」(2005—2015)、「NuSTAR」(2012—現在)、「ひとみ」(稼働期間: 2016.3)である。それぞれの衛星(観測装置)がカバーする X 線のエネルギー帯域を図 1 に示す。エネルギーが高いほど大気の深い層に感度が高くなり、「あすか」、「RXTE」、「すざく/XIS」、「すざく/PIN」、「NuSTAR」、「ひとみ」それぞれの探査可能な高度範囲は概ね 85—120 km、70—120 km、90—150 km、70—100 km、70—110 km、70—110 km である。

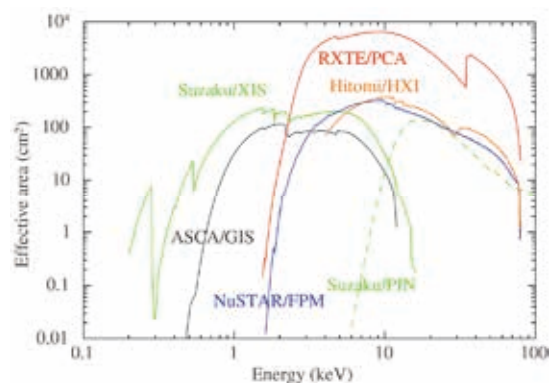


図 1: 本研究で用いた X 線天文衛星(観測装置)の有効面積の比較。

超高層大気密度は長期的な変動だけでなく、短期的(日々)・中期的(季節)変動を示すことが知られている。我々の取得したデータは離散的過ぎてこれらの変動をモデル化できない。そこで、春と秋、正午と深夜に限定することで、最大限に短期・中期的な時間変動を取り除いた。つまり、季節 $\times 2$ 、時間 $\times 2$ の合計 4 通りの長期トレンドデータを取得した。

我々は、大気減光を受けた高度ごとのエネルギースペクトルを基に、大気密度鉛直プロ

ロファイルを導出した。手法の詳細は Paper I & II を参照いただきたい。この方法で得られる直接的な観測量は、高度ごとの N+O の柱密度(密度を視線方向に積分した量)である。これを、球対称を仮定して密度分布に変換する。秋の深夜に取得された密度の推移が図 2 である。高度 71–113 km の範囲を 6 km 間隔で切り出し、高度ごとに長期変動を見ている。このデータを時間と太陽電波フラックスの一時関数でフィットし、長期トレンド(時間に対する傾き)を求めた。

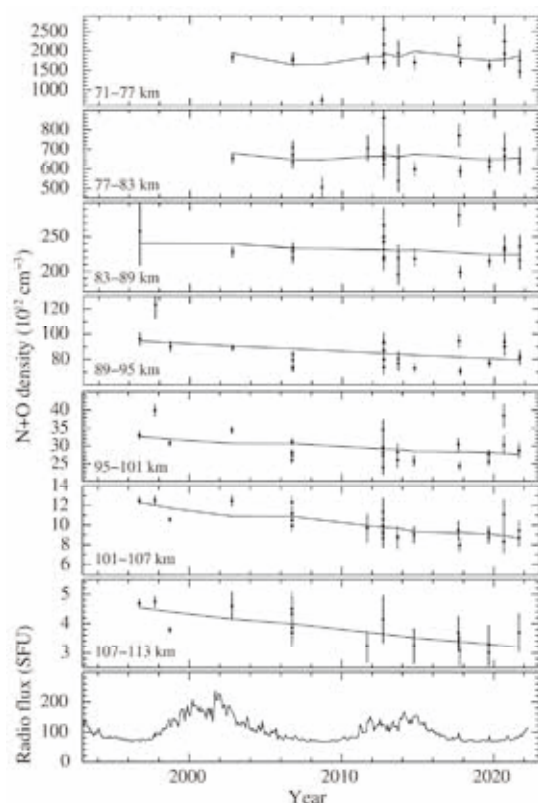


図 2: N+O 密度の時系列プロット。各パネルは高度帯域 6 km ごとに測定した結果を示す。このデータは秋の深夜を選別。一番下のパネルは太陽電波フラックス。

図 2 にはベストフィットモデルを実線で示している。密度が時間とともに徐々に低下する様子が見てとれる。我々は、春の昼・春の夜・秋の昼・秋の夜、4通りのトレンドを独立に

解析した。その結果、統計的に有意な差が見られなかったため、重み付き平均を計算し、その結果を図 3(左)に黒丸で示した。密度は全高度帯域で低下傾向を示し、これは超高層大気の寒冷化に伴う密度低下と少なくとも定性的に一致する。また、図 3(右)には、太陽電波フラックスへの反応(振幅)をプロットした。ほぼ全高度で、太陽フラックスに同期して変動する成分が示唆される。

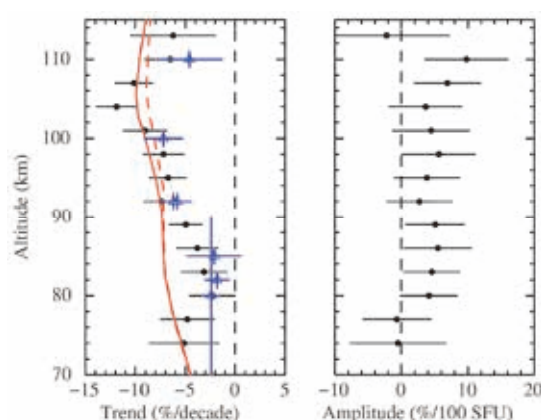


図 3: (左) N+O 密度の時間変動(時間の係数)。赤線は最近のモデル予想曲線を示す。実線は太陽極大、点線は太陽極小に対応する。青データは過去の大気の落下スピードの測定から推定した結果。(右) N+O 密度の太陽電波フラックスに対する反応。

3. 議論

図 3(左)には、比較のために先行研究の観測結果を青でプロットしている[参考文献は Paper II を参照のこと]。これまで、MLT 領域の直接的な密度測定に基づく長期トレンド調査は皆無であった。このため、図には様々な方法で測定された大気の落下速度を基に推測した密度低下率を表示している。我々の結果は、これらの先行研究とよく一致することが分かる。

さらに、最近のモデル計算の結果とも比較した。赤の実線、点線がそれぞれ、太陽極大、

太陽極小で期待される密度変化率である[7]。モデルは両者で差がほとんどなく、我々の測定結果はそれらと概ね一致している。興味深いのは、モデルが予想する高度 100 km 付近の密度減衰率のピーク構造が、観測データにも見られることである。このピーク構造は、[8]らの詳細シミュレーションで初めて見えてきたもので、水蒸気の増加とオゾンの減少による大気冷却に起因すると考えられている。我々の観測により、初めてこの構造が観測的に実証できた可能性がある。

今後の研究に期待するのは、より高頻度な観測データである。これにより、短期・中期的な変動要因を取り除くことが容易で正確になる。また、シミュレーションの際、入力するパラメータ（主に温室効果ガスの時間変化量）を、観測時期に対する適切な数値を用いて実施することも重要である。特にオゾンに関しては、1987 年のモントリオール議定書以降、減少傾向から一定ないし増加傾向に転じている。ところが我々が参照したモデル[7]はオゾン減少を仮定しており、我々の観測データ(1994-2022)にはそぐわない。こうしたパラメータ調整がシミュレーション研究に求められる。

2023 年に打ち上げが迫る日本の次期 X 線天文衛星「X-Ray Imaging Spectroscopy Mission: XRISM [9]」は、「すざく」と同じく地球低軌道(高度 550 km)を周回するため、同じ手法で同じ高度の超高層大気密度が測れる。XRISM の主要観測装置である X 線マイクロカロリメータは高い分光能力を有するため、N, O, Ar の吸収端を捉えることができる。そ

のため、これまで不可能だった元素ごとの密度計測が可能となる。O/N 比の季節変動、太陽活動との関連、電離度(電子密度: total electron content)との関連など、新しい測定が可能となる。XRISM がこの研究を一段と深めてくれるだろう。

4 まとめ

我々は、日米の X 天文衛星 5 機、それらに搭載された観測装置 6 種類を用い、1994 年から 2022 年まで 28 年間の超高層大気密度の長期変動を調査した。その結果、調査したすべての高度帯域(71~113 km)において、密度が低下する傾向が見られた。低下率はどの高度でも概ね -0.5%/年であった。ただし、高度 110 km 付近において、-1.2%/年と密度低下のピーク構造が見られた。これはシミュレーション研究から指摘されていた、水蒸気の増加とオゾンの減少による冷却効果と考えられる。

謝辞

メンターの田代信教授、寺田幸功准教授を始め共同研究者の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Manabe, S. & Wetherald, R.T. 1967, J. Atmos. Sci., 24(3), 241
- [2] Roble, R.G. & Dickinson, R.E. 1989, GRL, 16, 12
- [3] Ogawa, Y., et al. GRL, 2014, 41(15), 5629
- [4] Emmert, J.T. JGR: Space Physics, 2015, 120(4), 2940
- [5] Katsuda, S., et al. 2021, JGR: Space Physics, 126, e28886 (Paper I)
- [6] Katsuda, S., et al. 2022, submitted to JGR: Space Physics (Paper II)
- [7] Solomon, S.C. 2019, JGR: Space Physics, 124(5), 3799
- [8] Akmaev, et al. 2006, J. Atmos. Sol. Terr. Phys. 68, 1879
- [9] Tashiro, M.S., et al. 2020, Proceedings of SPIE, 11444, 22

時間依存平均場模型による核分裂片の核データの整備

Nuclear data for Fission Fragments deduced from Time-dependent Mean-Field Theory

江幡 修一郎 (Shuichiro EBATA)

理工学研究科 助教 (物質科学部門)・卓越研究員

We investigate the initial configuration dependence of the nuclear dynamics forming the charge polarization (CP) of fission fragments (FF). The target fission system is ^{235}U induced thermal neutron, namely, ^{235}U fission reaction. Our previous studies showed that the finite CP around symmetric fission appears in the static mean-field model calculations, although the CP was not enough in light and heavy FFs. The finite CP of light and heavy FF compiled in the evaluated data library (Wahl systematics) is essential to reproduce neutron yield in the nuclear reactor, which indicates a key to describing fission reaction. We consider the initial configuration of the canonical-basis time-dependent Hartree-Fock-Bogoliubov theory. We report that the results with the initial conditions on equal energy show the finite CPs of light and heavy FFs.

1. はじめに

本研究は原子核分裂現象を、原子核物理に基づく非経験的な理論的方法によって記述し、核分裂片の情報(荷電分布)を導出する。そして原子力工学で利用されているデータと比較し、手法の評価を行うものである。

原子核は約数百程度の中性子和陽子(総称して核子)で構成される有限量子多体系である。原子核は量子流体の様相を持つと同時に、原子核中で核子が軌道を運動する様に振る舞う殻構造を有しており、原子系の様な平均場が原子核中で自己無撞着に形成されている。原子核の励起状態には、平均場描像に基づく一粒子状態の励起や核子が集団で振動・回転する様な励起状態も現れる。その中で核融合や核分裂現象の様な系を大きく変化させる運動は大振幅集団運動と呼ばれる。この様な有限量子多体系が示す、多様な状態を記述し理解する事が原子核物理学の目標である。

一方で、原子力発電に代表される様に、原子核反応の応用が社会に貢献している。核分裂現象の微細を理解せずとも応用する事は、生じる核種を徹底的に調べれば可能である。応用分野では核分裂現象で生じる核分裂片の

収量及び元素分布を決定する荷電分布のデータは非常に重要になる。それは核廃棄物の性質や、核分裂片から放出される中性子を含む放射線を見積もる上で不可欠な為である。原子力技術は非常に多くの精緻な測定データを背景に安全性を常に確保しながら発展してきた。しかし、それは測定困難なデータがある時、新技術の開発が難しい事を示している。

任意の核分裂反応で生じる核分裂片に関する核データを整備する為に、原子核物理に基づく非経験的な方法を用いる事は有力なアプローチの一つである。そこで我々は原子核物理で利用されている微視的理論模型の一つである平均場模型を用いて、核分裂現象を記述し、核分裂片の配位を導出する。実際に利用されている既知の核データと比較し、核分裂における核構造と動的効果の影響を調べ、理論模型の予測精度を高めていく。

微視的平均場模型には核超流動性を記述する模型を採用し、ウラン-235が熱中性子を吸収した系($^{235}\text{U}+n$)を想定してウラン-236 (^{236}U)の分裂現象を記述する。この核分裂反応は原子力発電で最も基本的な反応で、精度の高い核データが整備されている。原子炉

内の主な核反応に関する核分裂片の荷電分布は Wahl systematics と呼ばれるライブラリ[1,2]に荷電偏極という物理量で収録されている。原子力分野における荷電偏極とは、核分裂片の陽子と全核子数の比が核分裂する親核(ここでは ^{236}U)と変わらない仮定、不変荷電分布(Unchanged Charge Distribution: UCD)仮定からのズレとして定義される。

これまでに静的な平均場模型及び動的な平均場模型で核分裂片を計算し荷電偏極を導出してきた。Wahl systematics と比較すると、どちらにおいても対称核分裂周辺の荷電偏極の振る舞いは大きく異なる事が分かったが、非対称核分裂片($A_f < 90, A_f > 130$)が持つ ± 0.6 程度の荷電偏極が現れない事が分かった。静的手法で核構造の効果が確認され、動的効果を取り入れて、対相関汎関数の依存性も調べたが、静的手法の結果と殆ど変わらない結果になった。これは時間依存平均場模型の初期状態のエネルギー依存性に起因している事が予想された。この依存性を調べる為に等エネルギー面を初期状態にして調べる事にした。

2. 時間依存平均場模型による核分裂片の核子数の導出

2.1 微視的平均場模型

本研究では原子核の核分裂現象の記述に、拘束条件付き Skyrme Hartree-Fock+ BCS 模型(CSHF+BCS)[3]と正準基底表示時間依存 Hartree-Fock-Bogoliubov 理論(Cb-TDHFB)[4]を採用する。核分裂現象は原子核の大きな変形の末、分裂に至ると考えられているので、核変形を記述する為に原子核の形に拘束条件を課す。分裂に至る変形自由度には、四重極及び八重極変形について課す。核変形は任意に考えられるが、測定されている核分裂片の質

量数分布が非対称である事から、主要な拘束条件を選択している。 ^{236}U の場合、パラジウム-116 が対称核分裂生成物になるが、測定では殆ど現れない。質量数 $A \sim 96$ と、 $A \sim 140$ にピークを持つ非対称な核分裂収率が現れる。この非対称性を核変形から考えた場合、核分裂方向に対して空間非対称である事を示している。この為、核の伸長に対応する四重極変形 $Q_{20} (=r^2 Y_{20})$ 、と質量非対称性を誘因する八重極変形 $Q_{30} (=r^3 Y_{30})$ を拘束条件とした。

本研究では核分裂反応における原子核の動的効果を調べる為に、分裂前の配位を初期状態にし、Cb-TDHFB を用いてクーロン斥力で自然に断裂するまで実時間発展を計算する。初期状態は CSHF+BCS を用いて分裂前の配位でかつ、等エネルギーを持つ Q_{20}, Q_{30} が異なる配位を用意する。エネルギーは CSHF+BCS で得られたポテンシャルエネルギー面に現れた準安定状態のエネルギーを基準にして、初期状態のエネルギー依存性を調べる。

2.2 核分裂片の配位とその核子数

実時間依存平均場模型で核分裂片の配位を求める際に、その初期配位に静的な平均場模型で求めた配位を利用する。CSHF+BCS を用いて原子核が断裂するまで変形させて求めた、ポテンシャルエネルギー面(PES)がある。断裂する前の配位を実時間計算の初期配位として、計算を行う。実時間計算では外場を与えずに時間発展を行い、局在する陽子分布間に働くクーロン斥力によって自然に分裂に至るまで計算を行う。分裂後の密度分布を積分して、から核子数を計算する。

図 1 は ^{236}U の Q_{20} - Q_{30} に関する PES である。各々の格子点は基底状態のエネルギーと各々の配位点のエネルギー差から導出する：

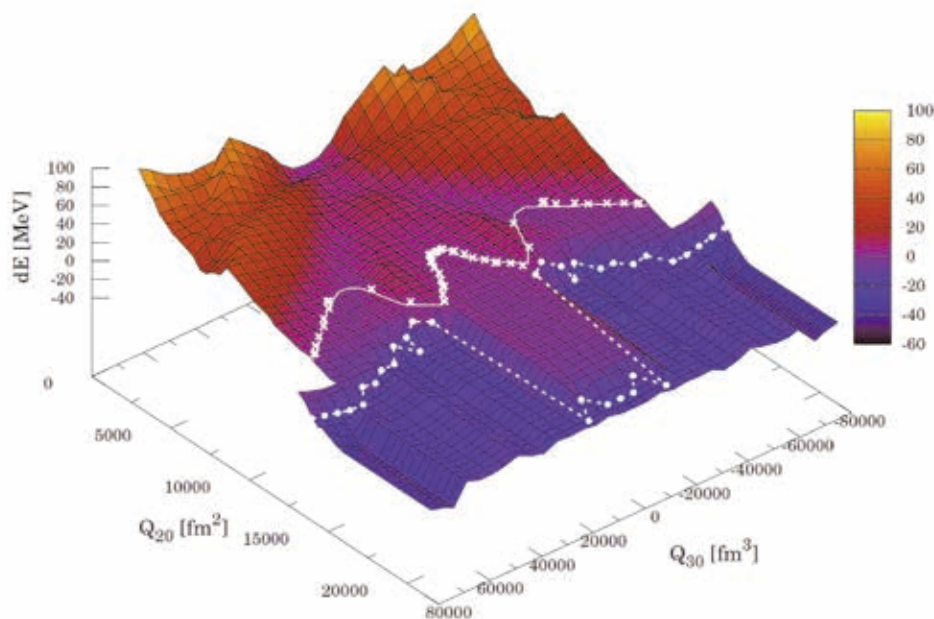


図1： ^{236}U の Q_{20} 、 Q_{30} に関するPES dE (MeV)。計算領域は Q_{20} [435:21,315] fm^2 、 Q_{30} [0:80,000] fm^3 。白いバツ印点は実時間計算の初期配位($E=-1793$ MeV)に相当する点。白い丸点は静的方法で得られた断裂する配位点。

$dE(Q_{20}, Q_{30}) = E_{\text{g.s.}} - E(Q_{20}, Q_{30})$ 。PES上の格子点は配位点を表しており、白い丸(○)で示したのは、静的方法によって得られた断裂する配位点である。また白いバツ(×)で示した点は、 $E=-1793$ MeVを示す配位点であり、実時間計算の初期配位の格子点である。この初期配位には準安定状態とほぼ同じ値を取る等エネルギー面で、かつ分裂障壁の外側である点を取った。また、分裂片のエネルギー依存性を調べる為に、より低いエネルギーの $E=-1800$ MeVの等エネルギー面も初期配位として採用し、実時間発展計算を行った。

3. 結果と比較

核分裂片の荷電偏極 dZ はUCD仮定の陽子数 Z_{UCD} からのズレで定義される： $dZ = Z_f - Z_{\text{UCD}}(A_f)$ 、 $Z_{\text{UCD}}(A_f) = 92/236 A_f$ 、 A_f は核分裂片の質量数。図2は得られた核分裂配位から計算された荷電偏極とWahl systematicsで採録されているデータとの比較を示している。昨年度

までに得られていた静的な方法で得られた結果は丸印(●)で示し、Wahl systematicsの採録データは中抜きの中四角(□)で示してある。 $E=-1793$ MeVの等エネルギー面を初期値にした実時間発展の結果はバツ印(×)、 $E=-1800$ MeVの等エネルギー面の結果は三角印(▲)で示している。

令和元年度に軽いまたは重い分裂片に現れる ± 0.6 程度の荷電偏極が、核分裂後に放出される中性子収量を再現する為に重要である事が、原子力工学で使われるHauser-Feshbachの統計模型[5]による計算により示された。しかしながら、これまでの静的な方法では、この荷電偏極が現れない事も分かった。静的な微視的平均場モデルを適用した場合、核分裂片は最も低いエネルギー状態が準静的に得られる為、原子核構造が十分に反映された結果になる。従って、有限の荷電偏極が静的な方法で得られないのであれば、他に荷電偏極を誘引させる効果はエネルギー依存性を持つ動的効

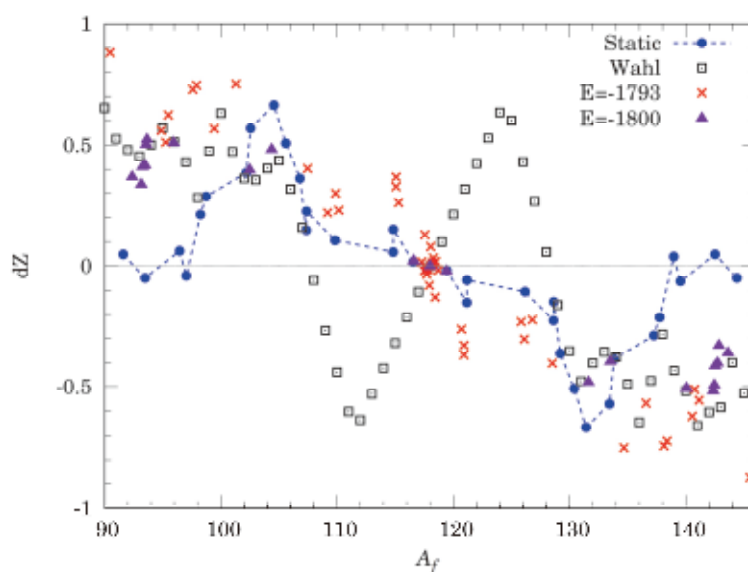


図 2：実時間計算で得られた荷電偏極。四角は Wahl systematics [2]に基づく結果を示す。

果が考えられる。そこで同じ伸長を持つ配位を初期状態とした、実時間計算を行ったが静的な方法の結果と変わらなかった。対相関汎関数の依存性も調べたが、同様の初期配位では有限の荷電偏極を得るには至らなかった。

令和 3 年度の研究では、有効な初期配位を見つける事が中心的な課題であったが、等エネルギー面を初期配位にする事で、有限の荷電偏極が現れる事から、この配位の取り方が核分裂現象を正しく記述する上で重要である事が示唆される。E=-1793 MeV と -1800 MeV の結果を比較すると、本研究で最も軽い・重い分裂片の荷電偏極が減少している様子がある。荷電偏極のエネルギー依存性がある事を示している。

4. まとめと今後の発展

我々は静的な微視的原子核理論に基づく方法で得た核分裂片の荷電偏極を改善する為に時間依存平均場モデルを導入した。本研究で実時間計算の初期配位に等エネルギー面の配位点を採用した事により、有限の荷電偏極が軽

い・重い分裂片で現れる事が示された。またその荷電偏極にエネルギー依存性がある事も示唆された。本研究の結果から、核分裂現象を微視的平均場モデルで記述する為の重要な点が指摘された。今後は原子炉内の核分裂反応へ適用し、未知の核分裂反応に対しても核データを提供できる様に研究を進展させたい。

謝辞

共同研究者の奥村森氏、石塚知香子氏、千葉敏氏に深く感謝する。埼玉大学の吉永教授にはメンターとして多岐に亘りご助言を頂いた。

参考文献

- [1] A. C. Wahl, At. Data Nucl. Data Tables, **39**, 1, 1988.,
- [2] A. C. Wahl, Los Alamos National Laboratory; 2002. LA- 13928.
- [3] S. Ebata and T. Nakatsukasa. Phys. Scr. **92** (2017) 064005.
- [4] S. Ebata, et al. Phys. Rev. C **82** (2010) 034306.
- [5] S. Okumura, et al. J. Nucl. Sci. Technol. **55** (2018) 1009.

Analyticity of the Lyapunov exponent of meromorphic monotonic cocycles

Yuki Takahashi

Assistant Professor, Department of Mathematics

1. Quasiperiodic cocycles

Let $\alpha \in (0, 1) \setminus \mathbb{Q}$ and $X = \mathbb{R}/\mathbb{Z}$. Given a map $A : X \rightarrow SL(2, \mathbb{R})$, the skew product map on $X \times \mathbb{R}^2$ given by $(x, v) \mapsto (x + \alpha, A(x) \cdot v)$ is called a *quasiperiodic cocycle*. Quasiperiodic cocycles appear naturally in the study of quasiperiodic Schrödinger operators. See, e.g., [2] and references therein.

In [1] the authors considered analytic monotonic cocycles, and showed that the Lyapunov exponent is analytic. I extended their result to the case that the monotonic cocycle is meromorphic. For the proof I relied heavily on the techniques in [1].

2. Meromorphic monotonic cocycles

DEFINITION 2.1. Let $\mathcal{P} \subset X$ be a finite set and $A : X \setminus \mathcal{P} \rightarrow SL(2, \mathbb{R})$ be a map such that

- (i) there exists an open set $U \subset \mathbb{C}/\mathbb{Z}$ with $X \subset U$ such that the entries of A have meromorphic extensions to U ;
- (ii) the union of the poles of the entries on U is $\mathcal{P}$.

Then we say that $A(\cdot)$ is *meromorphic* and call $\mathcal{P}$ the *poles* of A .

EXAMPLE 2.1. Any analytic map $A : X \rightarrow SL(2, \mathbb{R})$ is meromorphic.

EXAMPLE 2.2. For $E \in \mathbb{R}$ and $\lambda \in \mathbb{R}$, let

$$A^E(x) = \begin{pmatrix} E - \lambda \tan \pi x & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Then it is easy to see that $A^E(\cdot)$ is meromorphic.

DEFINITION 2.2. Let $A(\cdot)$ be meromorphic and $\mathcal{P}$ be the poles of A . We say that A is *monotonic* if for every $y \in \mathbb{R}^2$ the derivative of the argument of $A(x) \cdot y$ has positive derivative with respect to x at all $x \in X \setminus \mathcal{P}$.

EXAMPLE 2.3. It is easy to see that for any $E \in \mathbb{R}$, the quasiperiodic cocycle

$$(x, v) \mapsto (x + 2\alpha, A^E(x + \alpha)A^E(x) \cdot v)$$

is monotonic.

EXAMPLE 2.4. Assume that

$$A(x) = \begin{pmatrix} \cos x & -\sin x \\ \sin x & \cos x \end{pmatrix}.$$

Then $A(\cdot)$ is analytic (and hence meromorphic) and apparently monotonic.

3. Lyapunov exponent

Let μ be the Lebesgue measure on X . For a measurable map $A : X \rightarrow SL(2, \mathbb{R})$ with

$$\int_X \log \|A(x)\| d\mu(x) < \infty,$$

we denote

$$A_n(x) = A(x + (n-1)\alpha) \cdots A(x + \alpha)A(x).$$

The *Lyapunov exponent* is defined by

$$L(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \int_X \log \|A_n(x)\| d\mu(x).$$

EXAMPLE 3.1. Assume that

$$A(x) = \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 1/2 \end{pmatrix}$$

for all $x \in X$. Then since

$$A_n(x) = \begin{pmatrix} 2^n & 0 \\ 0 & 1/2^n \end{pmatrix},$$

we have that $\|A_n(x)\| = 2^n$. Therefore, $L(A) = \log 2$.

EXAMPLE 3.2. Assume that

$$A(x) = \begin{pmatrix} \cos x & -\sin x \\ \sin x & \cos x \end{pmatrix}.$$

Then it is easy to see that $\|A_n(x)\| = 1$. Therefore, $L(A) = 0$.

In fact, it is well known that if $A(x) = M$ for all $x \in X$, then the Lyapunov exponent corresponds with the spectral radius of M .

4. Main result

I obtained the following result:

THEOREM 4.1. *Let $J \subset \mathbb{R}$ be a compact interval and $\mathcal{P} \subset X$ be a finite set. Assume that for all $s \in J$, $A_s(\cdot)$ is monotonic and meromorphic with poles $\mathcal{P}$. Assume further that $s \mapsto A_s(x)$ is analytic on J for all $x \in X \setminus \mathcal{P}$. Then $s \mapsto L(A_s)$ is analytic.*

5. Application to the quasiperiodic operators with meromorphic monotone potentials

The motivation of our problem is the quasiperiodic Schrödinger operators that have meromorphic monotone potentials. Let $\mathcal{P} \subset X$ be a finite set and $f : X \setminus \mathcal{P} \rightarrow \mathbb{R}$ be a monotonic map such that

- (i) there exists an open set $U \subset \mathbb{C}/\mathbb{Z}$ with $X \subset U$ such that f has meromorphic extensions to U ;
- (ii) the union of the poles of f on U is $\mathcal{P}$.

Let

$$A^E(x) = \begin{pmatrix} E - f(x) & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix},$$

where $E \in \mathbb{R}$. The quasiperiodic Schrödinger operator $H : l^2(\mathbb{Z}) \rightarrow l^2(\mathbb{Z})$ with potential f is given by the following:

$$(H\psi)(n) = \psi(n+1) + \psi(n-1) + f(n)\psi(n).$$

The associated (time-independent) Schrödinger equation is given by

$$\psi(n+1) + \psi(n-1) + f(n)\psi(n) = E\psi(n),$$

which is equivalent to

$$\begin{pmatrix} \psi(n+1) \\ \psi(n) \end{pmatrix} = A^E(x) \begin{pmatrix} \psi(n) \\ \psi(n-1) \end{pmatrix}.$$

Therefore, the study of the quasiperiodic Schrödinger operator is intimately related to the study of the quasiperiodic cocycle $(x, v) \mapsto (x + \alpha, A^E(x) \cdot v)$, which is called the *Schrödinger cocycle*. Let $L(E)$ be the Lyapunov exponent.

When the map f is given by $f(x) = \lambda \tan \pi x$, the associated Schrödinger operator is called the *Maryland model*. See e.g., [4]. For the recent developments of quasiperiodic Schrödinger operators with unbounded monotone potentials, see e.g., [3] and references therein.

It is easy to see that the quasiperiodic cocycle

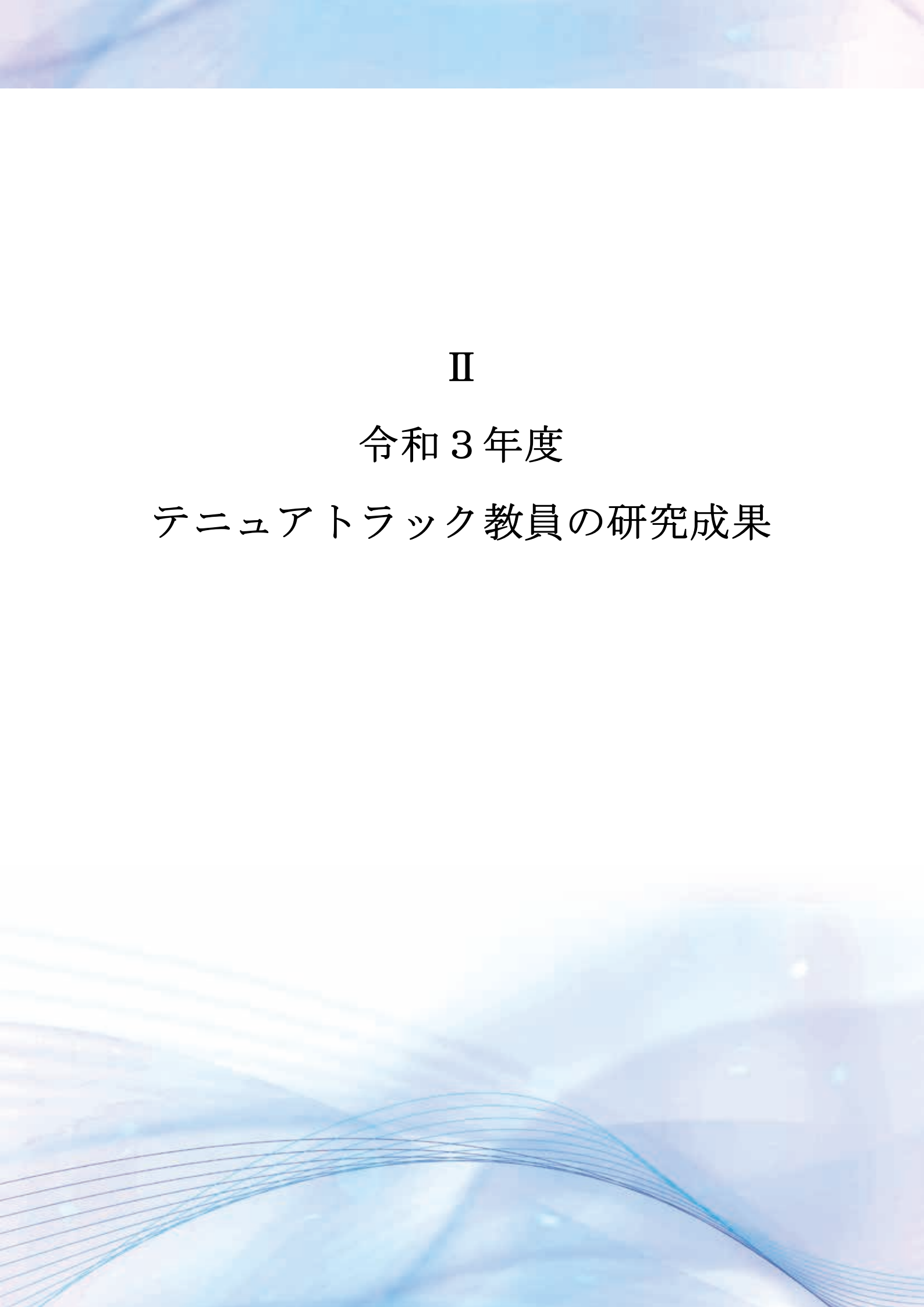
$$(x, v) \mapsto (x + 2\alpha, A^E(x + \alpha)A^E(x) \cdot v)$$

is monotonic. Therefore, the following is a direct consequence of Theorem 4.1.

THEOREM 5.1. *The Lyapunov exponent $L(E)$ is analytic.*

References

- [1] A. Avila, R. Krikorian, Monotonic cocycles, *Invent. Math.* **202** (2015), 271–331.
- [2] D. Damanik, M. Embree, A. Gorodetski, Spectral properties of Schrödinger operators arising in the study of quasicrystals, *Progr. Math.* **309** (2015), 307–370.
- [3] I. Kachkovskiy, Localization for quasiperiodic operators with unbounded monotone potentials, *J. Funct. Anal.* **277** (2019), 3467–3490.
- [4] B. Simon, Almost periodic Schrödinger operators IV. The Maryland model, *Ann. Physics* **159** (1985), 157–183.



Ⅱ

令和 3 年度

テニユアトラック教員の研究成果



川村隆三 理工学研究科 助教

(戦略的研究部門 ライフ・ナノバイオ領域
平成29年10月1日着任)



[学位]

2008年12月：博士(理学)、北海道大学
「キネシンによる微小管の動的自己組織化」

[研究分野]

生物物理化学、高分子化学(モータータンパク質、細胞運動、ゲル)

[研究の内容]

生物の運動機能の根幹的な動力源であるモータータンパク質、細胞骨格タンパク質が分子の集団として発揮する機能の探索・解明、および工学的応用について研究している。生物の運動に特有な、「集団が協調的に作用することやしなやかさ、エネルギー効率の良さなど、生物らしい特徴を再現するにはどうすればよいか」、また「どうすれば材料として有効活用できるのか」、という問いを念頭に研究を展開している。

令和3年度の研究成果：

[学術論文]

- [1] K Sano, R Kawamura, Y Osada. Intelligent gels-artificial soft tissue for the next era. *Polym. Int.*, DOI 10.1002/pi.6305 (2021). (査読有)
- [2] K Meguriya, T Yokoyama, N Kobayashi, HY Yoshikawa, S Nakabayashi, R Kawamura. Agitation of non-Brownian particles by active matrix of kinesin-microtubule motor proteins. *ChemRxiv*, DOI 10.26434/chemrxiv-2022-p5xsl (2022).

[学会発表(一般公演)]

- [1] 第59回 日本生物物理学会 年会(2021年11月) N Tsuji, N Kobayashi, S Nakabayashi, HY Yoshikawa, R Kawamura. "Measurement on integrated forces of multiple kinesin motors through cross-linked microtubules with a glass microneedle.", (口頭発表、オンライン)
- [2] 第11回 日本生物物理学会 関東支部会(2022年3月) 山崎 祐, Alexandre Loukanov, 松崎賢寿, 吉川洋史, 中林誠一郎, 川村隆三. "多光子励起によるカーボンドット架橋ゲルの蛍光増大", (口頭発表、オンライン)

(他4件)

[共同研究]

- [1] 「TLSの相分離・沈殿形成の電子顕微鏡的解析と機能性沈殿の探索」, 埼玉医科大学(黒川理樹教授、ゲノム医学) 2021/9/1~2026/8/31.
- [2] 「物理化学的不均一共培養系による細菌とがん細胞の関係解明」, 埼玉医科大学(中村彰宏助教、微生物学) 2021/9/1~2026/8/31.
- [3] 「運動界面による新規細胞分類法確立に向けたスクリーニングとその臨床応用」, 埼玉医科大学(川崎朋範教授、病理診断科)

[その他の活動]

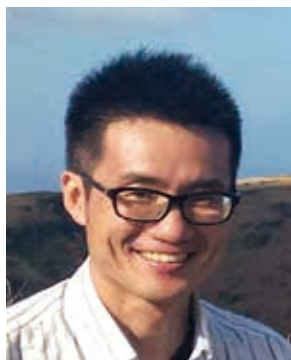
- [1] 34th International Microprocesses and Nanotechnology Conference(国際学会)論文委員

[外部資金]

- [1] 科研費 基盤(C)「運動界面によるがん細胞の転移性評価指標の導出」 R1-3年度 4,290千円(代表)
- [2] 科研費 基盤(B)「超高速分子ディスプレイを用いた分子知能機械の研究 (代表: 星野隆行)」 R1-4年度(分担)
- [3] 科研費 国際共同研究強化(B)「レーザー技術による機能性分子の秩序構造形成制御 (代表: 吉川洋史)」 R1-5年度(分担)
- [4] 科研費 挑戦的研究(萌芽)「光物理的アプローチによる細胞骨格形成の自在制御技術の開発(代表: 吉川洋史)」 R2-4年度(分担)
- [5] JKA研究補助(複数年)「モータータンパク質駆動型揺らぎプロセッサの創成」 R3-4年度 10,000千円(代表)

勝田 哲 理工学研究科 助教

(戦略的研究部門 X線・光赤外線宇宙物理領域
平成29年10月1日着任)



[学位]

2008年3月: 博士(理学)(大阪大学)

「古い超新星残骸のX線による観測的研究」

[研究分野]

天文学

[研究の内容]

大学院時から一貫して宇宙物理学、とりわけ「超新星残骸」という天体の観測的研究を進めています。

超新星残骸とは、星が一生の最期に起こす大爆発

「超新星爆発」の痕跡で、電波からガンマ線まで様々な波長で明るく輝く花火のような天体です。

私は日々これらの詳細な観測を通じ、超新星爆発の仕組みの解明、恒星内部および超新星爆発時に進む元素合成理論の直接検証、超高エネルギー粒子「宇宙線」の加速メカニズムの解明など、様々な研究課題に取り組んでいます。最近、X線天文衛星を用いた太陽および地球大気の観測にも手を広げています。

令和3年度の研究成果

[論文(査読付き)]

- [1] Kasuga, T., Vink, J., Katsuda, S., Uchida, H., Bamba, A., Sato, T., & Hughes, J.P., The Astrophysical Journal, 915, 42, 2021 (11 pages)
- [2] Terada, Y., et al. (including Katsuda, S. as an

18th author), Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems, 7(3), 037001, 2021 (25 pages)

[3] Tateishi, D., Katsuda, S., Terada, Y., Acero, F., Yoshida, T., Fujimoto, S., & Sano, H., The Astrophysical Journal, 923(2), 187, 2021 (9 pages)

[4] Coffin, S.C., Williams, B.J., & Katsuda, S., The Astrophysical Journal, 926(1), 477, 2022 (6 pages)

[5] Kawai, H., Tsuboi, Y., Iwakiri, W., Maeda, Y., Katsuda, S., Sasaki, R., & Kouhara, J., Publications of the Astronomical Society of Japan, 74(2), 477, 2022 (11 pages)

[6] Hayakawa, R., Yamada, S., Suda, H., Ichinohe, Y., Higurashi, R., Sakemi, H., Machida, M., Ohmura, T., Katsuda, S., Uchiyama, H., Sato, T., Akamatsu, H., & Axelsson, M., Publications of the Astronomical Society of Japan, 74(3), 510, 2022 (11 pages)

[7] Sunada, Y., Morimoto, A., Tashiro, M. S., Terada, Y., Katsuda, S., Sato, K., Tateishi, D., & Sasaki, N., Publications of the Astronomical Society of Japan, 74(3), 602, 2022 (10 pages)

[国際学会発表]

[1] “Thermal Aspects of Supernova Remnants”, Katsuda, S., Japan-Netherlands joint workshop: high-resolution X-ray spectroscopy of cosmic plasmas, online, Dec.13–Dec.17, 2021 (招待講演)

[国内学会発表]

[1] “超新星残骸の特徴から探る中性子星の多様性の起源”, 勝田 哲, 第4回 中性子星の観測と理論研究活性化ワークショップ, online, 2021年8月 (招待講演)

[2] “Solar Flare and Earth’s Upper Atmosphere”, Katsuda, S., GEO-X計画と太陽X線天文学に向けて, online, 2022年2月 (招待講演)

[外部資金獲得]

[1] 令和2年度科学研究費助成事業 挑戦的研究(萌芽), “X線天文衛星 Suzaku と XRISM による太陽コロナと地球超高層大気研究の新展開”, 5,000,000円(直接経費総額), 令和2～4年度

[2] 令和2年度科学研究費助成事業 基盤研究 A, “超新星爆発直後の超早期分光観測と理論モデルで迫る、大質量星最期の10年間”, 33,700,000円(直接経費総額), 令和2～5年度(代表: 前田啓一、分担: 勝田哲ほか)

[3] 令和3年度科学研究費助成事業 基盤研究 B, “重力崩壊型超新星残骸と中性子星の観測および数値計算の融合で迫る親星と爆発機構”, 13,100,000円(直接経費総額), 令和3～7年度

江幡修一郎 理工学研究科 助教

(物質科学部門 令和元年12月1日着任)



【学位】

2011年3月: 博士(理学)(筑波大学)

「Canonical-basis Time-Dependent Hartree-Fock-Bogoliubov Theory and Linear-Response Calculation for Light to Heavy Nuclei」

【研究分野】

原子核物理学, 核データ

【研究の内容】

原子の中心にある原子核の性質を理論的な方法を用いて主に研究しています。原子核は原子の10万分の1のサイズと非常に小さい系です。この系は数百程度の核子(中性子と陽子の総称)という粒子で構成されています。一般にこのような系を有限量子多体系と呼び、量子力学が支配しています。構成粒子数と同数のシュレディンガー方程式またはディラック方程式を同時に解く事は一般的に困難な為、多くの模型が提案されています。私はその理論模型の一つである平均場模型に基づく方法を使って原子核を研究しています。

有限量子多体系の問題とは、平たく言えば物がたくさん集まった時に現れる秩序を理解する事です。原子核には様々な秩序が現れます。例えば、原子核は核子の集まりなので一見、液滴の様な量子流体として理解できる部分があります。同時に核子が独立して運動している様相もあります。さらに凝縮系物理で扱われる超伝導と同じような性質を示す事もあります。原子核には様々な様相があり、これらが複雑に絡み合い、現象の多様性が現れます。その中でも原子核を大きく変質させる核分裂や核融合は社会ではよく知られています。原子力発電、放射線治療などは核崩壊を利用して

います。ニホニウム(陽子数113)が話題になりましたが、人工的に元素を合成する為に、核融合が利用されています。私は多様な原子核のダイナミクスのメカニズム解明の為に、高速計算機を用いた理論的方法で研究を進めています。

最近では核子だけでなく、ラムダ粒子と呼ばれる少し重いバリオン(3つのクォークから成る粒子)が含まれるハイパー核の研究を進めています。巨大な原子核と捉えられる中性子星内部にはハイパー核が安定に存在するとされていることから、バリオン数が大きいラムダ・ハイパー核に注目し、その構造を研究もしています。

また、核物理を応用する為の核データ研究にも興味があり、実験的手法(放射化法)を用いた研究も進めています。将来、医療に用いられる可能性がある放射性核種の生成断面積の測定を、理化学研究所の方々との共同研究で行っています。

令和3年度の研究成果

【論文(査読付き)】

- [1] C.Watanabe, N.Yoshinaga, **S.Ebata**, Universe **2022**, 8 48
- [2] M. Aikawa, T. Maehashi, D. Ichinkhorloo, **S.Ebata**, Y.Komori, H.Haba, Nucl. Instr. Meth. B **498** (2021) 23.

【国内学会発表】

- [1] 吉永尚孝, 梅谷篤史, 野嶋翼, **江幡修一郎**, 伊東駿, 他, “中重核領域 Λ ハイパー核の簡単な模型”, 日本物理学会 第77回年次大会, 2022年3月(リモート)
- [2] 伊東駿, **江幡修一郎**, 吉永尚孝, 梅谷篤史, “Skyrme 型有効相互作用を用いた Λ ハイパー核の密度分布の平均場計算”, 日本物理学会 第77回年次大会, 2022年3月(リモート)
- [3] **江幡修一郎**, 他, “核分裂片の荷電偏極に対する時間依存平均場模型の初期エネルギー依存性”, 日本物理学会 2021年秋季大会, 神戸大学, 2021年9月(リモート)
- [4] **江幡修一郎**, 他, “時間依存平均場模型で導出した核分裂片の荷電偏極のエネルギー依存性”, 日本原子力学会 2021年秋の大会, 北海道大学, 2021年9月(リモート)

【外部資金獲得】

令和2年度科学研究費助成事業 基盤研究C, “核分裂片の荷電偏極が繋ぐ微視的理論研究と応用研究” 3,200,000円(直接経費総額), 令和2~4年度獲得。

高橋悠樹 理工学研究科 助教

(数理電子情報部門・数学 令和2年10月1日着任)



[学位]

2017年5月: Ph.D. in Mathematics (University of California, Irvine)

「Sums and products of Cantor sets and separable two-dimensional quasicrystal models」

[研究分野]

Spectral theory, dynamical systems and fractal geometry

[研究の内容]

The previous year I conducted research on quasiperiodic cocycles, especially on the Lyapunov exponent of meromorphic cocycles. Let $0 < \alpha < 1$ be irrational and let $X = \mathbb{R}/\mathbb{Z}$. Given a map $A : X \rightarrow SL(2, \mathbb{R})$, the skew product map on $X \times \mathbb{R}^2$ given by $(x, v) \mapsto (x + \alpha, A(x) \cdot v)$ is called a *quasiperiodic cocycle*. Quasiperiodic cocycles appear naturally in the study of quasiperiodic Schrödinger operators.

It is well-known that for any $x \in X$ the limit

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \log \|A(x + (n-1)\alpha) \cdots A(x + \alpha)A(x)\|$$

exists and is independent of $x \in X$. We call the limit the *Lyapunov exponent* of $A(\cdot)$. For example, if we have that

$$A(x) = \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 1/2 \end{pmatrix}$$

for all $x \in X$, then the Lyapunov exponent is equal to $\log 2$. Roughly speaking, the Lyapunov exponent measures how much the system grows under the iteration.

I considered one-parameter family of meromorphic monotonic cocycles. One example of meromorphic monotonic cocycle is

$$A^E(x) = \begin{pmatrix} E - f(x) & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix},$$

where f is monotonic and meromorphic. In 2015, Avila and Krikorian showed that the Lyapunov exponent of one-parameter family of analytic monotonic cocycles is analytic. I applied their techniques and showed that the Lyapunov exponent of one-parameter family of meromorphic monotonic cocycles is analytic.

The motivation of the above question is the quasiperiodic Schrödinger operators that have meromorphic monotonic potentials. Let $f : X \rightarrow \mathbb{R}$ be a monotonic map that has meromorphic extensions. The time-independent Schrödinger equation is given by

$$\psi(n+1) + \psi(n-1) + f(n)\psi(n) = E\psi(n),$$

which is equivalent to

$$\begin{pmatrix} \psi(n+1) \\ \psi(n) \end{pmatrix} = A^E(x) \begin{pmatrix} \psi(n) \\ \psi(n-1) \end{pmatrix}.$$

Therefore, the study of the quasiperiodic Schrödinger operator is intimately related to the study of the quasiperiodic cocycle $(x, v) \mapsto (x + \alpha, A^E(x) \cdot v)$, which is called the *Schrödinger cocycle*.

令和3年度の研究成果

[論文 (査読付)]

[1] Y. Takahashi, Analyticity of the Lyapunov exponent of meromorphic monotonic cocycles, to appear in *Dynamical Systems*.

[外部資金獲得]

令和3年度科学研究費助成事業 若手研究「パラメータに依存する Furstenberg measure の絶対連続性」
3,500,000 円 (直接経費総額)、令和3年度～令和7年度

Ⅲ

研究発表会開催の記録



第1回 テニュアトラック 研究発表会

日時：2015年4月17日(金)

場所：総合研究棟1階 シアター教室

【プログラム】

13:00-13:05

「学長挨拶」

山口 宏樹 埼玉大学 学長

13:05-13:20

「新入のテニュアトラック教員自己紹介」

Sung-Chul Noh 助教(経営学)

乙須 拓洋 助教(応用化学)

13:20-13:50

「埼玉大学のテニュアトラック普及・定着
事業の現状と課題ーテニュアトラック
制度を新時代の要請に応える教員採用
制度とするためにはー」

小田 匡寛 特任教授

13:50-14:20

「気体デトネーション(爆轟)で生成され
る高圧・高温環境を利用した新しい飛翔
体加速装置」

前田 慎市 助教(機械)

14:20-14:50

「調和解析と偏微分方程式及び幾何計算
との相互作用」

Neal Bez 准教授(数学)

14:50-15:20

「神経回路の構築機構

ー光を用いて脳の形と機能を観るー」

津田 佐知子 助教(生体制御)

15:50-16:20

「テニュアトラック教員を経験して」

遠山 忠 山梨大学 准教授

16:20-16:50

「音響情報を利用した非侵襲的診断法」

坂井 建宣 准教授(機械)

16:50-17:20

「相対性海面上昇評価とリージョナル予測」

李 漢洙 准教授(社会基盤)

17:20-17:50

「「ロシア・ユダヤ人」と「ユダヤ人」のあ
いだー帝国崩壊後のシオニズムとユダ
ヤ・ナショナリズムー」

鶴見 太郎 准教授(社会学)

17:50-18:00

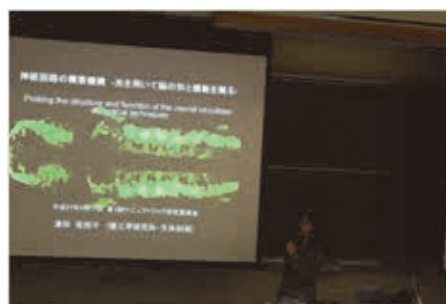
「挨拶と研究発表会の総括」

坂井 貴文 教授(理工学研究科長)

第1回テニユアトラック研究発表会の様子



学長挨拶 山口宏樹 埼玉大学学長



講演中の津田佐知子助教



講演中の Sung-Chul Noh 助教



講演中の坂井建宣准教授



講演中の乙須拓洋助教



講演中の李漢洙准教授



講演中の前田慎市助教



講演中の鶴見太郎准教授



講演中の Neal Bez 准教授



閉会挨拶 坂井貴文 理工学研究科教授

第2回 テニュアトラック 研究発表会

日時：2016年4月15日（金）

場所：総合研究棟1階 シアター教室

【プログラム】

13:00-13:05

「開会挨拶」

佐藤 勇一 埼玉大学 研究機構長

13:05-13:20

「気体デトネーション（爆轟）の
「抑止」と「応用」

前田 慎市 助教（機械）

13:20-13:35

「分子動力学シミュレーションを用いた
フィジカルエージング現象の再現」

坂井 建宣 准教授（機械）

13:40-13:55

「Structural and functional
compartmentalization in the cerebellar
circuitry development」

津田 佐知子 助教（生体制御）

13:55-14:10

「新規蛍光相関分光法の開発に基づく
生体膜中分子の並進拡散測定」

乙須 拓洋 助教（応用化学）

14:30-15:10

「信州大学テニュアトラック制度の歩み」

伊藤 建夫 信州大学テニュアトラック事業
コーディネーター特任教授

15:10-15:25

「Application of harmonic analysis
techniques to dispersive partial
differential equations」

Neal Bez 准教授（数学）

15:25-15:40

「Impacts of tides on tsunami propagation
in the Seto Inland Sea, Japan」

李 漢洙 准教授（広島大学大学院）

15:45-16:00

「The Transformation of Jewish Identity
behind the Militarization of Zionism」

鶴見 太郎 准教授（東京大学大学院）

16:00-16:15

「A Pacified Labour? The Transformation
of Labour Conflict」

Sung-Chul Noh 助教（経営学）

16:20-16:25

「閉会挨拶」

桐谷 正信 研究機構研究企画推進室 室長

第2回テニユアトラック研究発表会の様子



開会挨拶 佐藤勇一研究機構長



講演中の Neal Bez 准教授



講演中の前田慎市助教



講演中の李漢洙広島大学大学院准教授



講演中の坂井建宣准教授



講演中の鶴見太郎東京大学大学院准教授



講演中の津田佐知子助教



講演中の Sung-Chul Noh 助教



講演中の乙須拓洋助教



閉会挨拶 桐谷正信研究企画推進室 室長

第3回 テニュアトラック 研究発表会

日時：2017年7月28日（金）

場所：総合研究棟1階 シアター教室

【プログラム】

14：25－14：30

「開会挨拶」

佐藤 勇一 埼玉大学 研究機構長

14：30－14：50

「デトネーション燃焼を応用したエンジン」

前田 慎市 助教（機械）

14：50－15：10

「CFRP 積層板の接着不良評価」

坂井 建宣 准教授（機械）

15：10－15：30

「高次元における立方体の切断面」

Neal Bez 准教授（数学）

15：30－15：50

「Managing PhDs:専門家たちの人的資源
管理（サムスン電子のケース）」

Sung-Chul Noh 助教（経営学）

16：05－16：25

「細胞膜研究のための新規分光法の開発と
応用」

乙須 拓洋 助教（応用化学）

16：25－16：45

「小脳の形と機能の形成」

津田 佐知子 助教（生体制御）

16：45－17：05

「植物の長距離・高速シグナル」

豊田 正嗣 准教授（分子生物）

17：05－17：10

「閉会挨拶」

桐谷 正信 研究機構研究企画推進室 室長

第3回テニユアトラック研究発表会の様子



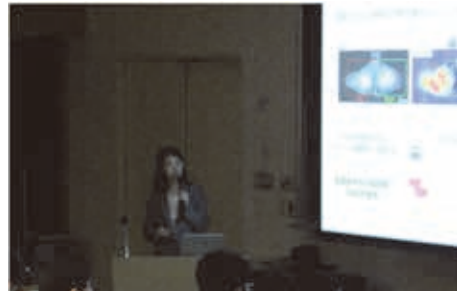
開会挨拶 佐藤勇一研究機構長



講演中の乙須拓洋助教



講演中の前田慎市助教



講演中の津田佐知子助教



講演中の坂井建宣准教授



講演中の豊田正嗣准教授



講演中の Neal Bez 准教授



閉会挨拶 桐谷正信研究企画推進室 室長



講演中の Sung-Chul Noh 助教



会場の様子

第4回 テニュアトラック 研究発表会

日時：2018年7月27日（金）

場所：総合研究棟1階 シアター教室

【プログラム】

14:05-14:10

「開会挨拶」

伊藤 修 埼玉大学 研究機構長

14:10-14:30

「オジギソウは、何のためにお辞儀をするのか？」

豊田 正嗣 准教授（分子生物）

14:30-14:50

「Brascamp-Lied の不等式:掛谷予想と
Vinogradov 予想の架け橋」

Neal Bez 准教授（数学）

14:50-15:10

「Professionals in the hierarchical order:
Balancing control and autonomy」

Sung-Chul Noh 助教（経営学）

15:10-15:30

「運動界面を用いた細胞の動的力学環境
構築と変形性評価」

川村 隆三 助教（ライフ・ナノバイオ領域）

15:45-16:05

「超新星残骸の X 線観測から迫る超新星爆
発の仕組み」

勝田 哲 助教（X 線・光赤外線宇宙物理領域）

16:05-16:25

「細胞膜研究のための新規分光法の開発と
応用」

乙須 拓洋 助教（応用化学）

16:25-16:45

「高分子材料の粘弾性変形機構」

坂井 建宣 准教授（機械）

16:45-17:05

「新たな手法として気体デトネーションを
用いた爆風シミュレータ」

前田 慎市 准教授（機械）

17:05-17:10

「閉会挨拶」

石井 昭彦 研究機構研究企画推進室 室長

第4回テニユアトラック研究発表会の様子



開会挨拶 伊藤修研究機構長



講演中の勝田哲助教



講演中の豊田正嗣准教授



講演中の乙須拓洋助教



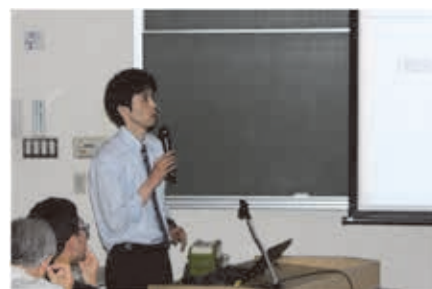
講演中の Neal Bez 准教授



講演中の坂井建宣准教授



講演中の Sung-Chul Noh 助教



講演中の前田慎市准教授



講演中の川村隆三助教



閉会挨拶 石井昭彦研究企画推進室 室長

第5回 テニュアトラック 研究発表会

日時：2019年7月26日（金）

場所：総合研究棟1階 シアター教室

【プログラム】

14:00-14:05

「開会挨拶」

伊藤 修 埼玉大学 研究機構長

14:05-14:30

「炭素繊維強化ポリアミドの結晶化が
曲げ特性に及ぼす影響」

坂井 建宣 准教授（機械）

14:30-14:55

「分散型クラウド労働プラットフォーム
（Cloud-Crowd labor Platform）」

Sung-Chul Noh 助教（経営学）

14:55-15:20

「天の川銀河とマゼラン銀河の
重力崩壊型超新星の親星質量分布」

勝田 哲 助教（X線・光赤外線宇宙物理領域）

15:30-15:55

「細胞膜研究のための新規分光法の
開発と応用」

乙須 拓洋 助教（応用化学）

15:55-16:20

「グルタミン酸はカルシウムシグナルを介
した植物の全身性防御応答を引き起こす」

豊田 正嗣 准教授（分子生物）

16:20-16:45

「分子が動くゲル材料
ー細胞のゆりかごとしてー」

川村 隆三 助教（ライフ・ナノバイオ領域）

16:45-16:50

「閉会挨拶」

石井 昭彦 研究機構研究企画推進室 室長

第5回テニユアトラック研究発表会の様子



開会挨拶 伊藤修研究機構長



講演中の乙須拓洋助教



講演中の坂井建宣准教授



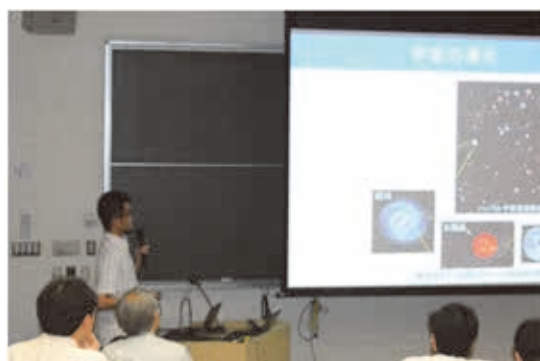
講演中の豊田正嗣准教授



講演中の Sung-Chul Noh 助教



講演中の川村隆三助教



講演中の勝田哲助教



閉会挨拶 石井昭彦研究企画推進室 室長

IV

メンターからの一言

若狭 雅信 理工学研究科教授（基礎化学 PG）

（川村 隆三 助教のメンター）

社会における大学の役割は、研究の大きな潮流・発展の基盤を醸成することが重要である。特に国立大学は、公的な立場から短期的な成果や営利追求ではダメで、長期的で波及効果の大きい科学技術ならびに学術発展に寄与することで、社会に還元する立場にある。そこで育った研究者が、将来、振り返った時に有用だったと言える基礎学問を構築するには、若い力で分野横断的な挑戦を応援し、「独創性」を生み出しやすくする環境が必要である。テニュアトラック制度はその実現に向けた手段であり、最適な方式を探りながら事業を推進しており、また大学の多面的な活性化にも役立っている。最先端の本質的な研究をテニュアトラック教員が展開し、大学生・大学院生がこれに関わり・体験をすることは、代え難い教育的な価値がある。制度自体も進化してゆくことで、テニュアトラック教員の今後の更なる飛躍と相乗的な埼玉大学の発展が可能になると期待している。

寺田 幸功 理工学研究科准教授（物理学 PG）

（勝田 哲 助教メンター）

去る5年前、高エネルギー宇宙物理学の分野では、世界中の期待を背負った国際天文衛星「ひとみ」を喪失する事故があり、埼玉大学を中心に再挑戦ミッションを立ち上げようと必死でした。勝田哲助教には、この分野の命運を決めるきわめて重要な時期に卓越研究員として埼玉大学に来ていただき、非常に強力な戦友となっていただきました。単なるPDや任期制助教ではなくテニュアトラック制度があることで、より魅力ある公募となりました。中でも、当制度の「研究に集中できる時期を設けること」は極めて有効で、我々の研究グループとしても研究の幅が広がり、学生にとってもより魅力ある分野となったと自負します。さらに、大学では教育と研究は表裏一体である事を理解され、学生指導にも力を入れていただいたことに感謝いたします。このように、「(将来の) 職名が人を育てる」側面があるのも大事な要素だと感じます。最後に埼玉大学のテニュアトラック研究成果を拝見するに、どなたも研究の最前線で活躍されていることに驚かされます。今後の皆さんのさらなるご活躍を期待いたします。



- 編 集 テニユアトラック推進オフィス
- 住 所 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255
- T E L 048-858-3010
- ホームページ <http://www.saitama-u.ac.jp/iron/tt/>