

埼玉大学 テニュアトラック

令和5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5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
石井 昭彦

令和6年4月に研究機構長に就任しました石井です。研究機構長として、副機構長（研究推進室長）の松岡浩司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ひ申し上げます。

さて、本学においては、平成25年度に埼玉大学・若手研究リーダー育成プロジェクトとして本制度が始まって以来、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、それぞれの担当分野の教員として既に大いに活躍されています。現在は、下記の4名の教員がテニュアトラック教員として日々研究に取り組んでいます。

- ・米山香織 准教授（植物ホルモン、ストリゴラクトン、根寄生雑草）
- ・金谷萌子 助教（痛み、性差、ステロイドホルモン、神経回路）
- ・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、短期的には成果が得られにくいような高難易度の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。昨今、日本の研究力が低下していると言われていています。これは単なる論文数のシェア低下だけではなく、各分野において影響力が高いとされる Top10%補正論文数のシェアの顕著な低下にも表れており、先端分野における日本の相対的な研究力低下は深刻な状況です。これは、おそらく多くの先生方が実感されているとおり、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、研究費の不足、研究スペースの不足など、研究環境が向上していないことに起因していると考えられます。

本テニュアトラック制度は、研究における日本の地位を取り戻すための大切な取り組みの一つです。現在この制度により研究活動されているテニュアトラック教員はもとより、既にテニュアを取得された先生方も含めて益々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ひ申し上げます。

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。

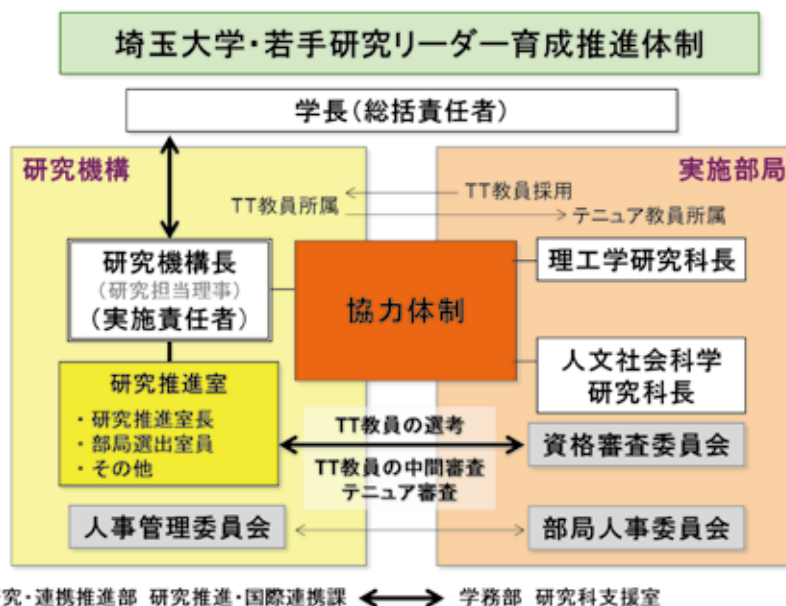
また、テニュアトラック制の定着及び円滑化を図るため、若手研究者情報交換の場の提供や学内普及活動を実施しています。

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。

機関としてのテニュアトラック制の推進体制



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 テニュアトラック令和5年度研究概要・成果集 発行にあたって	1
I 令和5年度研究概要	
「多様な骨格を持つストリゴラクトン生合成経路の解明へ向けて」	7
米山 香織 理工学研究科 准教授 (生命科学部門)	
「痛みの修飾因子の作用メカニズムの解明に向けて」	11
金谷 萌子 理工学研究科 助教 (生命科学部門)	
「時間依存平均場模型を用いた原子核励起状態への応用」	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	
「Generalized invariant measures for Non-autonomous Conformal Iterated Function Systems」	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5年度テニュアトラック教員の研究成果	
米山 香織 理工学研究科 准教授 (生命科学部門)	25
金谷 萌子 理工学研究科 助教 (生命科学部門)	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	46

I

令和5年度 研究概要



多様な骨格を持つストリゴラクトン生合成経路の解明へ向けて

Biosynthetic pathway of structurally diverse strigolactones

米山 香織 (Kaori YONEYAMA)

理工学研究科 准教授 (分子生物学プログラム)

Strigolactones (SLs) are multifunctional plant metabolites working not only as allelochemicals in the rhizosphere, but also as a novel class of hormones regulating growth and development in plants. To date, more than 30 SLs have been characterized, but the reason why plants produce structurally diverse SLs and the details of their biosynthetic pathway remain elusive. Recent studies using transcriptomics and reverse genetic techniques have paved the way to clarify the entire biosynthetic pathway of structurally diverse SLs. In this review, we discuss how various SLs are synthesized and what SL structural diversity means for plant growth and development.

1. はじめに

ストリゴラクトンは、1966年、アメリカのUSDAのグループによって、根寄生雑草 *Striga* の発芽を誘導する発芽刺激物質としてワタの根浸出液から始めて単離構造決定されたアレロケミカルである [1]。植物が寄生されるリスクを冒してまで発芽刺激物質ストリゴラクトンを分泌する理由は長い間不明であったが、2005年にミヤコグサの根浸出液から、絶対共生菌であるアーバスキュラー菌根(AM)菌の菌糸分岐誘導物質としてストリゴラクトンが単離され、ストリゴラクトンの根圏シグナルとしての重要性が明らかとなった [2]。AM菌は、宿主植物にリン酸や窒素などの無機養分を供給する役割をもち、陸上植物の9割近くがAM菌と共生している。また、AM菌の宿主植物は共通してリン酸欠乏条件下でストリゴラクトンの分泌を顕著に促進する [3]。すなわち植物は、リン酸欠乏になるとAM菌からのリン酸供給を期待し、AM菌との共生を促進するためにストリゴラクトンの分泌を行うと考えられる。一方、シロイヌナズナなどのようなAM共生しない植物も、ストリゴラクトンを生産していることが明らかとなり、ストリゴラクトンの新しい機能の存在が示唆さ

れた [3]。そして2008年、過剰な地上部枝分かれの表現型が見られる変異体を用いた実験により、ストリゴラクトンは植物の地上部枝分かれを抑制する新奇植物ホルモンであることが報告された [4,5]。その後、ストリゴラクトン欠損変異体と合成ストリゴラクトン (GR24) を利用した実験により、地上部だけでなく地下部の形態形成制御に、AM菌だけでなく根粒菌共生に、ストリゴラクトンが関与していることが次々に報告された(図1)。

2. ストリゴラクトンの生合成経路

過剰な地上部枝分かれの原因遺伝子が、シロイヌナズナ、エンドウ、イネ、ペチュニアから同定され、それぞれ、*MORE AXILLARY GROWTH (MAX)*、*RMOSUS (RMS)*、*DWARF (D)*、*DECREASED APICAL DOMINANCE (DAD)* と名付けられ、機能解析が行われた。その結果、ストリゴラクトンは共通した主要合成経路をもっており、カロテノイド異性化酵素、2つのカロテノイド酸化開裂酵素の連続的な反応により、カロテノイドから非典型的ストリゴラクトンである carlactone (CL) が生成される (図2) [6, 7]。

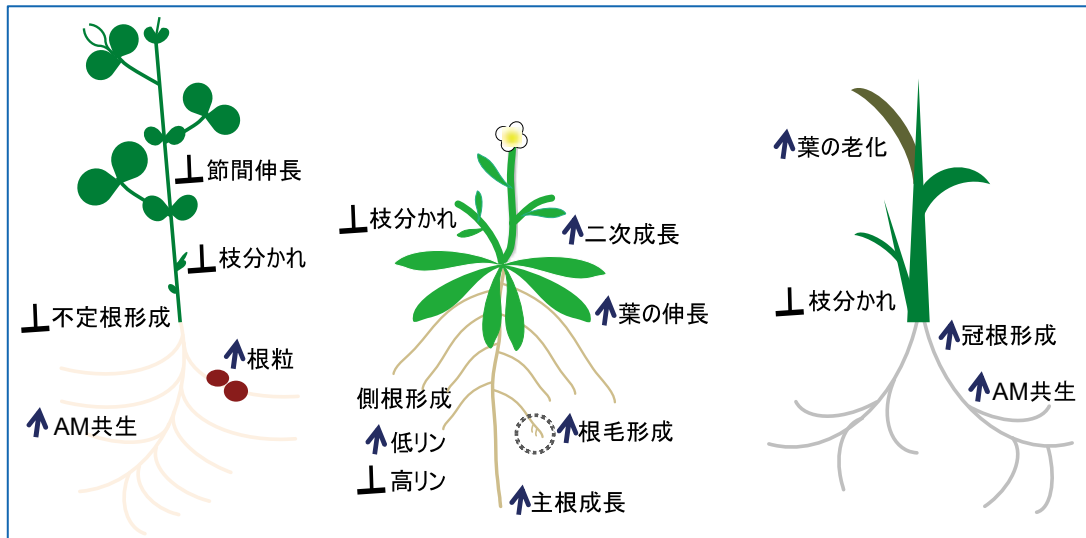


図1 植物成長におけるストリゴラク톤の機能
青の矢印は促進、黒のバーは抑制を示している。エンドウ、シロイヌナズナ、イネのストリゴラク
トン生合成・受容シグナル伝達欠損変異体の表現型や、合成ストリゴラク톤を与えることによる
表現型の回復を詳細に調べることで、これらの機能は明らかにされてきた[6]。

CLは、大腸菌を用いた *in vitro* 系により同定されたが、その後、イネやシロイヌナズナに内生物質として存在することが確認された。

シトクロム P450 をコードする CYP711A は、CL から carlactonoic acid (CLA) への変換を触媒する。この CL から CLA への変換は、既述の植物 4 種だけでなく、ソルガム、トウモロコシ、トマトなどの主要作物、下等植物のイヌカタヒバ、モデル樹木のポプラの CP711A も全て触媒することが明らかにされており、植物界に高く保存されていることがわかる。興味深いことに、植物種によっては、CYP711A が、CLA からさらに典型的ストリゴラク톤への変換を触媒する。例えば、シロイヌナズナは、CYP711A1 の 1 つしか持っていないが、イネ (*Oryza sativa*) は 5 つの CYP711A を持っている。そのうちの 1 つ、CYP711A2 は、CL を、イネの主要なストリゴラク톤の 1 つである 4-deoxyorobanchol (4DO) へと変換する。さらにもう 1 つの CYP711A3 は、4DO を orobanchol へと変換する。CYP711A の機能を調べた植物種の中で、4DO を生産・分泌する

事が確認されている植物の CYP711A は、CL から CLA を経て 4DO を生成する。しかし、orobanchol を生産しているが、4DO を生産していない植物の CYP711A は、4DO を基質として与えても、イネの CYP711A3 のように orobanchol を生成しない事がわかった。しかし、トウモロコシは、4DO も orobanchol も生産・分泌する事が確認できないにも関わらず、3 つの CYP711A のうち、CYP711A18 が、4DO から orobanchol へと変換する能力を持っている事がわかった。これらのことから、植物のストリゴラク톤生産能力は、本来備わっている特性だけでなく、基質の有無によっても決定されることが示唆された。

最近では、逆遺伝学的手法により、CLA 以降の合成経路の解明が急激に進んでいる。シロイヌナズナでは、メチルトランスフェラーゼにより、CLA から methyl carlactonoate (MeCLA) へ、2-オキシグルタル酸/鉄依存性ジオキシゲナーゼにより、MeCLA から hydroxymethyl carlactonoate (1'-OH-MeCLA) へと変換される。さらに、CYP711A 以外のシト

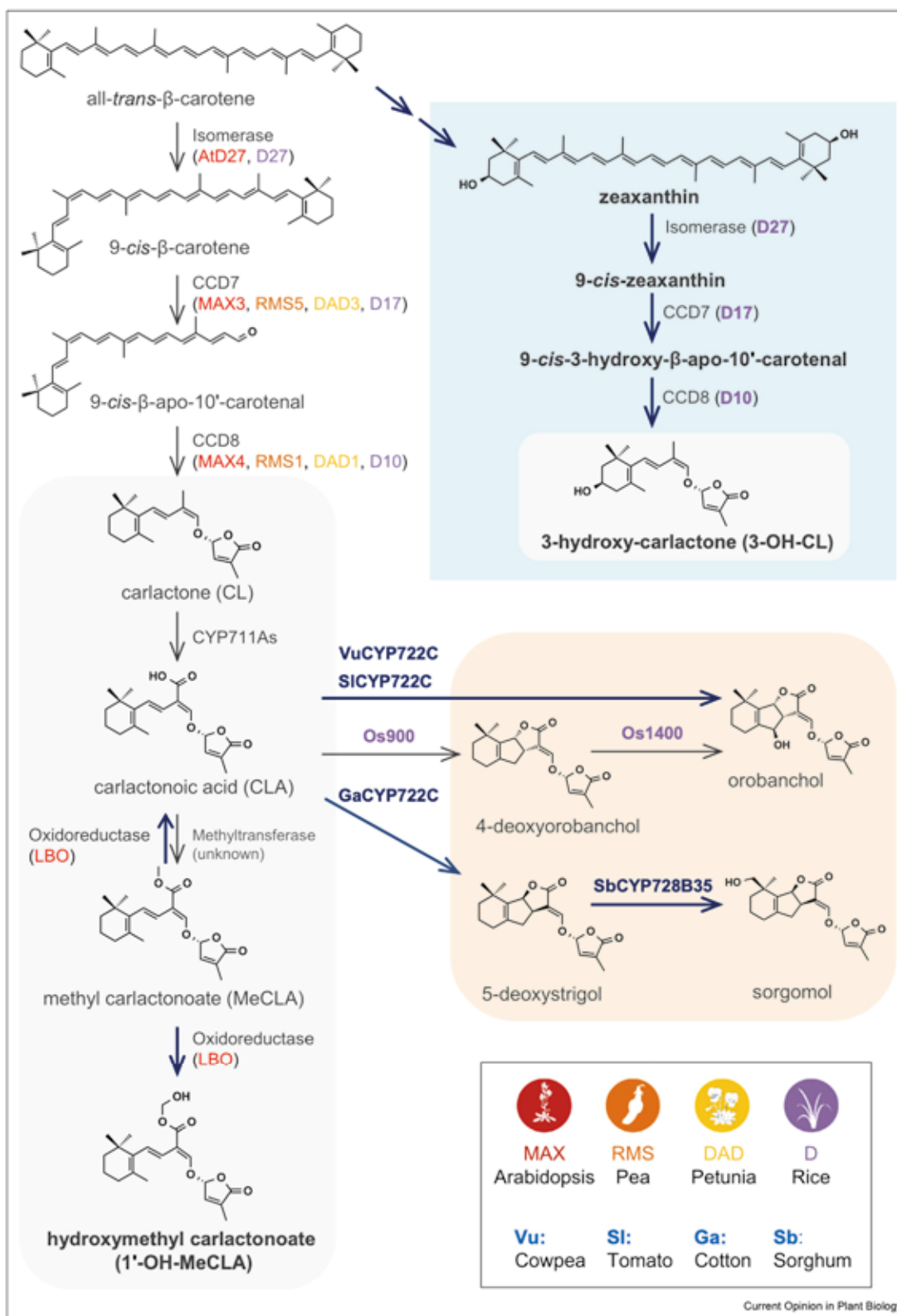


図2 ストリゴラクトンの生合成経路 [6]

クロム P450 の関与も次々に報告されている。

CYP722C は、CYP711A とは全く異なるクレイドに位置するが、ササゲやトマトの CYP722C は、CLA を直接 orobanchol へと変換する事が明らかにされた。一方、ワタの CYP722C は、CLA から 5-deoxystrigol への変換を触媒した。別のクレイドに位置するソルガムの CYP728B35 は、リン酸欠乏によって発現が上昇することにより選抜され、5-deoxystrigol から sorgomol への変換に関与する。さらに、多様なストリゴラクトン生成には、CL の下流だけでなく、カロテノイドから枝分かれした上流も重要であることが示唆されている。

私たちは、オーストラリアなどのグループとの共同研究 [8, 9]により、モデル植物であるシロイヌナズナだけでなく、各国で重要な作物であるオオムギやトマトなどのストリゴラクトン生合成経路の解明および枝分かれ抑制活性ホルモンの同定を目指して研究を行っている。

3. 今後の展望

多種多様なストリゴラクトンがどのように生合成され、分泌されるのか、その仕組みを解明することにより、なぜ、植物は多種多様なストリゴラクトンを生産・分泌するのか、その理由解明につながることを期待される。また、枝分かれ抑制活性ホルモンの同定後はその構造を元に、植物の形態制御のための新たな農業資材の開発へ繋げたい。さらに本課題は、AM 共生を最大限に利用した持続可能な農業技術開発、有効な防除法のない世界最大強害雑草である根寄生雑草の被害を回避するための新たな戦略の提供を可能とすると信じている。

謝辞

本研究課題は、JSPS の国際共同研究加速基金 (国際共同研究強化 (A)) (19KK0395)、基盤 B (21H02125, 22H02270) および JST 創発 (JPMJFR220F)の支援を頂いております。深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Cook CE, Whichard LP, Turner B, Wall ME, Egley GH: Germination of witchweed (*Striga lutea* Lour.): isolation and properties of a potent stimulant. *Science* **1966**, 154:1189-1190.
- [2] Akiyama K, Matsuzaki K, Hayashi H: Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature* **2005**, 435:824-827.
- [3] Yoneyama K: How Do Strigolactones Ameliorate Nutrient Deficiencies in Plants? *Cold Spring Harb Perspect Biol* **2019**, 11.
- [4] Gomez-Roldan V, Fermas S, Brewer PB, Puech-Pages V, Dun EA, Pillot JP, Letisse F, Matusova R, Danoun S, Portais JC, et al.: Strigolactone inhibition of shoot branching. *Nature* **2008**, 455:189-194.
- [5] Umehara M, Hanada A, Yoshida S, Akiyama K, Arite T, Takeda-Kamiya N, Magome H, Kamiya Y, Shirasu K, Yoneyama K, et al.: Inhibition of shoot branching by new terpenoid plant hormones. *Nature* **2008**, 455:195-200.
- [6] Yoneyama K, Brewer PB: Strigolactones, how are they synthesized to regulate plant growth and development? *Curr Opin Plant Biol* **2021**, 63:102072.
- [7] 米山香織: 多様な骨格を持つストリゴラクトンの生合成経路. *植物科学最前線* **2022**, 13:79
- [8] Brewer PB, Yoneyama K, Filardo F, Meyers E, Scaffidi A, Frickey T, Akiyama K, Seto Y, Dun EA, Cremer JE, et al.: LATERAL BRANCHING OXIDOREDUCTASE acts in the final stages of strigolactone biosynthesis in *Arabidopsis*. *Proc Natl Acad Sci U S A* **2016**, 113:6301-6306.
- [9] Yoneyama K, Akiyama K, Brewer PB, Mori N, Kawano-Kawada M, Haruta S, Nishiwaki H, Yamauchi S, Xie X, Umehara M, et al.: Hydroxyl carlactone derivatives are predominant strigolactones in *Arabidopsis*. *Plant Direct* **2020**, 4:e00219.

痛みの修飾因子の作用メカニズムの解明に向けて

金谷 萌子 (Moecko KANAYA)

理工学研究科 助教 (生体制御学プログラム)

痛みは感覚成分と情動成分によって構成されており、様々な要因によって修飾される。修飾因子の一つに性ホルモンがあげられ、ヒトを含めた動物で認められる痛みの性差に関与する。また、近年のマウスを用いた基礎研究では、雄ではミクログリアが、雌ではT細胞が痛みを引き起こすという、脊髄レベルにおいて雌雄で異なるメカニズムが存在することが報告されている。令和5年度では、一つ目の実験として、①慢性疼痛モデルマウスにおける性ステロイドの影響と免疫細胞の関与を明らかにする実験を行った。

また、ストレスを感じると視床下部-下垂体-副腎皮質 (HPA) 軸が活性化し、副腎皮質からストレスホルモンとして知られるコルチコステロンが分泌される。慢性的にストレス状態に曝されると HPA 軸の恒常性が失われ、ストレス関連疾患として内臓痛の閾値が低下することが知られている。そこで、②ストレスによって誘起される内臓痛の閾値低下のメカニズムを明らかにする、という最終目的のために、令和5年度は、本研究室におけるストレスモデルの確立、および内臓痛測定の確立を行った。

痛みが様々な因子に影響を及ぼすと同様に、痛み自体が他の脳機能に影響を及ぼしている。そこで脳機能の一つである生殖機能に着目し、③痛みが生殖機能に及ぼすメカニズムを明らかにする、を最終目的として、令和5年度は前提条件の検証を行った。ラットでは、雌はロードーシスと呼ばれる生殖行動を示すが、その発現は排卵周期のエストロゲンによって

制御される。前脳の中隔から中脳水道周囲灰白質に神経投射する神経回路が、エストロゲンによって脱抑制することが必須であると考えられているが、当該経路がマウスにおいても存在するか、また当該経路を脱抑制するエストロゲンの作用はエストロゲン受容体 α と β のどちらを介しているのかを明らかにする実験を行った。

1. 慢性疼痛モデルにおける性ホルモンの影響

1.1 方法

雌マウスに対して、エストラジオールが慢性疼痛に及ぼす影響を調べた。卵巣除去と同時にエストラジオール含有チューブを皮下に留置した後、末梢神経部分結紮手術を行った群 (OVX-E2-SNI 群, n=2)、卵巣除去後にコレステロール含有チューブを皮下に留置して SNI を行った群 (OVX-Cho-SNI 群, n=3) と、それぞれの性ステロイド状態に対する偽手術群 (OVX-E2-Sham 群, n=3、OVX-Cho-Sham 群, n=3) を作製した。雄マウスに対しては、テストステロンが慢性疼痛に及ぼす影響を調べた。精巣除去と同時にテストステロン含有チューブを皮下に留置し、その後末梢神経部分結紮手術を行った群 (OCX-T-SNI 群, n=3)、卵巣除去後にコレステロール含有チューブを皮下に留置して SNI を行った群 (OCX-Cho-SNI 群, n=3) と、それぞれの性ステロイド状態に対する偽手術群 (OCX-T-Sham 群, n=3、OCX-Cho-Sham 群, n=3) を作製した。雌雄マウスに対し

て、SNI 当日、SNI 後 3、7、14、21、28 日において、疼痛閾値 (PWT 値) を調べるために von Frey test を実施した。行動観察後、雌雄マウスの脳と脊髄を摘出し、脳の前帯状皮質、側坐核、分界条床核、後外側腹側核、中脳中心灰白質をパンチアウトにより回収した。

1.2 結果と課題

雌マウスの von Frey test の結果、OVX-E2-SNI 群のサンプル数不足のため統計的解析が難しいが、OVX-Cho-SNI 群と比較して SNI 後 3 日から PWT 値が高い傾向が見られた。また、OVX-E2-SNI 群と OVX-Cho-SNI 群よりも、OVX-E2-Sham 群と OVX-Cho-Sham 群ではいずれの von Frey test の日数においても PWT 値が高い値を示した (図 1)。雄マウスの von Frey test の結果では、OCX-T-SNI 群と OCX-Cho-SNI 群は、共に SNI 後 3 日から PWT 値が減少し、アロディニアを発症した。また、OCX-T-Sham 群の PWT 値は SNI 当日と変動しなかったが、OCX-T-Sham 群と比較して低い傾向を示した (図 2)。現在、採取した脳領域において免疫細胞関連遺伝子の発現量を qPCR で解析中である。慢性疼痛の雌マウスの分界条床核で、細胞移動を制御するケモカインの一種である CCL5 mRNA の上昇傾向が認められた。中脳中心灰白質から分界条床核への神経回路は、痛みの制御における機能的性差が報告されているため、引き続き雌雄差と性ステロイドによる変動を定量する予定である。

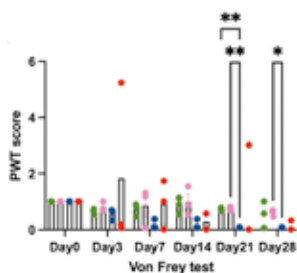


図 1

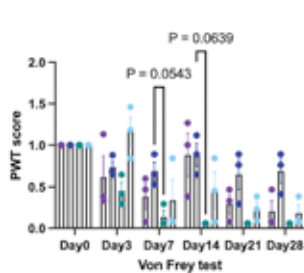


図 2

2. ストレスモデルと内臓痛測定の検討

2.1 方法

成熟雄マウスを 10 日間連続でハンドリングを行った後、カプサイシンによる内臓痛行動を観察した。具体的には、マウスの直腸にカニューラを挿入し、0.25 mg/kg カプサイシン、0.75 mg/kg カプサイシン、または溶媒のいずれかを 50 μ L 投与し、痛み行動 (dragging、stretching、licking、freezing) を評価した。その後、同マウスを用いて 10 日間連続で水回避ストレスを与え、再びカプサイシンによる内臓痛測定を行った。

ストレスモデルとして機能しているか否かについては妥当性を検討する必要がある。評価項目として、ストレスホルモンとして知られるコルチコステロンの上昇、視床下部室傍核における CRH の上昇、不安様行動の増加を想定している。そこで不安様行動の増加を検出するために、DeepLabCut を用いて Open Field test の結果を解析した。

2.2 結果と課題

水回避ストレスを受ける前と受けたあとでは、カプサイシン濃度に関わらず溶媒と比較して、いずれの内臓痛行動にも変化はなかった。水回避ストレスは比較的穏やかなストレスであるため、与えるストレスの種類や時間を変更し、カプサイシンのような化学的刺激による内臓痛測定だけでなく、消化管の収縮と拡張によって引き起こされる内臓痛を想定し、バルーンの拡張による内臓痛行動の変動を観察することを考えている。

DeepLabCut による Open Field test の解析として、マウスの移動軌跡 (図 3)、移動速度の

推移 (図 4)、移動距離の推移、フィールド上の区画別の滞在時間などを検出することが可能となった。現在は、DeepLabCut による姿勢推定を行い、各フレームの特徴量を算出し、分類器を用いて行動分類を行っている。これにより、Open Field test 時における、rearing 行動や grooming 行動なども同時に検出可能であると考える。

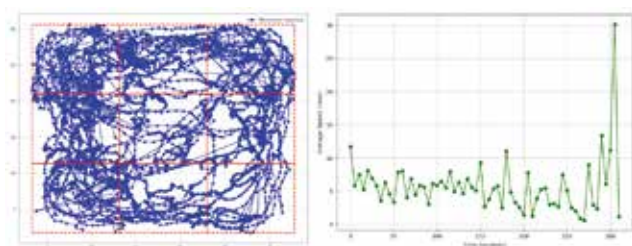


図 3

図 4

3. 雌マウスにおける生殖行動抑制回路の同定

3.1 方法

卵巣摘出を行った群、卵巣摘出後に外因的にエストラジオールを投与した群を作製した。それらの個体全てに雌マウスの中脳水道周囲灰白質に逆行性の神経トレーサーを注入した。雌マウスの中隔において、エストロゲン受容体 α と神経トレーサーは免疫組織化学染色によって検出し、エストロゲン受容体 β は in situ hybridization 法によって検出し、「中隔から中脳水道周囲灰白質に投射する神経細胞かつエストロゲンによって発現変動する受容体は α か β か」を検討した。エストロゲン受容体 β の検出法として Dig を用いた従来の in situ hybridization 法ではなく、短鎖ヘアピン DNA を用いた in situ HCR 法による検出を試みた。

また、行動学的な解析として、そもそも当該経路がロードーシスを抑制しているか否かを調べるため、卵巣除去を行った雌マウスの

中隔を電氣的に破壊し、ロードーシス行動を観察した。

3.2 結果と課題

神経トレーサーとエストロゲン受容体 α の免疫染色においては成功し、その分布を明らかにした (図 5)。興味深いことに、ラットとは異なり、エストロゲン投与によって中隔に局在するエストロゲン受容体 α の発現量が顕著に減少した。エストロゲン受容体 β の検出法として in situ HCR 法を選択したが、本研究室においては新規の手法のため、条件検討を行っている。現状、他の遺伝子においても成功しておらず、プローブ設計から見直す予定である。

中隔を破壊した卵巣除去雌マウスはロードーシス行動を示さなかった。行動観察後、破壊部位を確認したところ、中隔は全体的に破壊されており、破壊が不十分であったとは考えにくい。そのため、本実験の結果は、マウスにおいてはラットと異なり当該経路がロードーシス抑制という機能を有していない可能性と、雌マウスのロードーシス発現の誘起には、エストロゲンによるロードーシス促進系の惹起も必要である可能性である。後者の可能性を検討するために、今後は、卵巣を摘出した雌マウスに外因的にエストラジオールを投与し、ロードーシス促進系を動かした上で、中隔にエストロゲン受容体 α および β のアンタゴニストを注入し、ロードーシス行動を観察することを考えている。

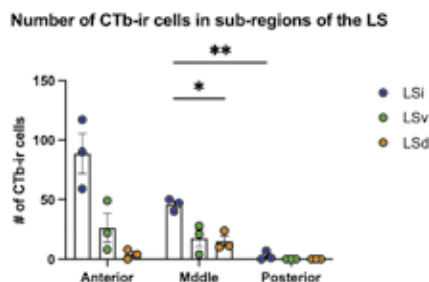


図 5

謝辞

同研究室の坂田一郎教授には、メンターとして研究内容はもとより、学生の指導方法や大学運営に至る様々なことに関してご助言を頂き、加えて普段から温かいお言葉をかけて頂きました。

時間依存平均場模型を用いた原子核励起状態への応用

Application to the nuclear excitation states using the time-dependent mean field model

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 excitation states for nuclear systems, which include not only nucleons but also hyperons. Protons and neutrons are called nucleons and are components of a normal nucleus. Nucleon composes three quarks (uud or udd), and hyperon includes s -quark or has a strangeness degree of freedom in the quark model. The hyperon, such as a neutron star, will appear in a high-density nuclear matter system. To investigate the properties of many-body systems, including hyperons, is also an important task of nuclear physics. Using the mean-field models, we study their properties through the ground and excited states. We report the developments of the microscopic method and properties of hyper-nuclei.

1. はじめに

本研究では微視的平均場模型に基づく方法を用いて、ハイパー核の励起状態を研究している。陽子と中性子を自由度とする通常原子核と共通の手法を用いて、核力が働く多体系の性質を調べる事が目的である。

地上に存在する原子核は数百程度の核子(陽子と中性子の総称)で構成される有限量子多体系である。原子核は流体の様相を持ち、その中で構成粒子が自由に運動する様に振る舞う性質がある。これは原子中の電子と同様な殻構造もつ事を示唆しており、自己無撞着に形成される平均場に核子が束縛されている描像が成立している。この平均場描像に基づく原子核の励起状態は、時間依存平均場模型を用いてその動性を調べる事で記述する事が出来る。

一方で、核子自身は内部構造を持つ複合的な系であると考えられている。クォークという更に小さい自由度で記述する模型では陽子や中性子は三つのクォーク(uud や udd)から構成されるバリオンと呼ばれるものである。クォーク模型は現在知られている自然界の四つの力のうち強い力を記述する模型と知られており、核子間に働く核力も強い力の一部として理解されている。クォークは現在 6 種類が

あるとされ u と d が最も軽いクォークであり、次にストレンジ(s)クォークが挙げられる。 s クォークを含むバリオンはハイペロンと呼ばれており、ハイペロンを含む原子核はハイパー核と呼ばれている。この様な u と d よりも重いクォークを含むバリオンは加速器を用いて生成される高エネルギーの原子核である。バリオンの性質を理解する事は、強い力が働く系を理解する事であり、自然界の最も基礎的な力の一つを解明する為に重要である。

ハイパー核は地上において加速器を用いて、高エネルギー高密度な条件下でしか生成されないが、一部の天体の中では存在していると考えられている。それは中性子星である。中性子星は巨大な原子核や、核子の無限系、核物質として研究されている。原子核の密度は地上に存在する物質では最も高密度(2.5×10^{14} g/cm³)であるが、中性子星内部はその 5 倍程度の高密度と考えられている。そのため、物質の化学ポテンシャル的にストレンジクォークが出現していると予想される系である。

中性子星が原子核研究で対象となる理由は、無限系の研究対象である事と元素合成が生じる過程で重要な環境を持っている事が挙げられる。殆ど核子のみで出来た物質は中性子星以外になく、核の無限系における極限的な性

質は超新星爆発や中性子星の情報にしか含まれていない。宇宙にある元素は原子核反応で生成されてきた。太陽などの恒星において水素やヘリウムなどの軽い元素が自重と熱によって核融合反応し、より重い元素が生成される。しかしながら、鉄やニッケルなどの元素よりも重い元素が生成される事は、原子核の基本的な性質からエネルギー的に難しいが分かっている。一方で地球を含む太陽系には金や鉛、ウランなど重い元素がある事が分かっている。この基本的な問いに答える為に、宇宙における原子核反応が関係する天体現象を考えなければならない。

現在、重い元素が生成されるシナリオは、中性子過剰な不安定核が、ベータ崩壊を通して安定核になる経路(高速中性子捕獲経路: *r-process*)が最も有力とされている。この環境は通常の天体現象では生じないが、非常に重い恒星の最後に起きる超新星爆発では、原子核が電子を捕獲し、大量の中性子過剰核が生じる環境になるとされる。また、中性子星連星合体においても、中性子過剰な核種が生成される環境が出来ると考えられている。これら二つの天体現象において *r-process* が生じて重い元素が生成されると考えられている。*r-process* は原子核の中性子捕獲の確率やベータ崩壊の確率などによって、どの様な元素が生成されるか決定される。この確率は核物質の密度とエネルギーの関係式(状態方程式)によって決まる為、世界中で核物質の状態方程式の研究が進められている。

正しい核物質の状態方程式が記述出来れば、太陽系の元素組成比が分かり、超新星爆発のシミュレーションも理解される。更には中性子星の組成も解明されるため、核物質の状態方程式の研究は、学際的にもインパクトが非

常に大きい。宇宙と原子核を結ぶトピックスであるが、同時にハイパー核との関係性も強い。高密度の中性子星内部でハイパー核が存在していると考えられているが、2010年に太陽質量の約2倍程度の中性子星が見つかったことにより問題が生じてしまった。これはハイペロンパズルとして知られている。

ハイペロンパズルとは、ハイペロンの存在によって中性子星が存在しなくなる矛盾の事である。核物質の状態方程式にハイペロンの自由度を入れると、引力が優位になり、結果的に中性子星内部の圧力は低下し2倍の質量が支えられなくなる。一方で2倍の中性子星であればその中心密度はこれまでの中性子星よりも高く、ハイペロンの自由度は発生していると自然に予想される。ハイペロンは密度とエネルギーから中性子星内部での存在が予想されても、存在すると星が潰れてしまう矛盾が生じる。これは現在最も解決すべき核物理の課題の一つとされている。

ハイペロンを含む核物質の課題を根本的に解決する為には、核子とハイペロン間またはハイペロン間の相互作用を十分に記述する必要があり、加えて多体系における相互作用の取り扱いを正確にしなければならない。核子間相互作用は核子が安定である為、比較的よく記述されている。一方でハイペロンは非常に不安定であり核子間相互作用と同程度に実験で調べる事は困難である。従って、反応系から相互作用の情報を取り出すほかない。近年、日本の J-PARC にて高強度高分解能測定によるハイパー核の実験が計画されており、より重いハイパー核の励起状態が明らかになってくる事が予想される。

我々はこれまでに静的な平均場模型及び動的な平均場模型で通常原子核の基底状態及び励

起状態を研究してきた。同様の方法を用いてハイパー核の性質を調べる事を計画するに至った。実験的な制限もあって、系統的にハイパー核を調べる事はあまりなされていなかった。同様に通常核では核物質の状態方程式に関わるパラメータを励起状態から研究する事があるが、ハイパー核では調べられていない。今後、実験結果が出てくる事を予想し、理論研究の準備をしておく必要があるだろう。

本年度は、通常原子核を調べる為に用いられた方法を拡張し、最も軽いハイペロンであるラムダ粒子を含むハイパー核を対象にその励起状態を調べる方法を開発する事にした。

2. 時間依存平均場模型による励起状態の記述

2.1 微視的平均場模型

原子核の基底状態を記述する為に、Skyrme Hartree-Fock+BCS (SHF+BCS) [1] 模型を採用し、励起状態の為に正準基底表示時間依存 Hartree-Fock-Bogoliubov 理論(Cb-TDHFB) [2] を採用した。原子核はフェルミオンである核子の多体系であり、特別な中心を持たないが平均場を形成し殻構造を持つ系である。この性質から自己無撞着に核子が感じる相互作用が取り入れられる Hartree-Fock 模型が適しており、さらに核子間には対相関が働く事が知られているので、凝縮系で知られている BCS 理論模型でこの相関を取り入れている。この模型では有効相互作用が採用されるが、デルタ関数形で表現された Skyrme 型相互作用を採用している。また原子核は有限系である為、形状の自由度が考えられる。多くの原子核は球形だけでなく変形している。この自由度を取り入れる為、計算領域を三次元空間座標で表示し、自己無撞着な計算を通して自発的な

空間回転対称性を破る事を許す。

励起状態の為に採用する Cb-TDHFB もまた三次元座標空間表示で表現した計算空間で実行した。初期状態には SHF+BCS で得られた多体の波動関数を使って、実時間発展を Cb-TDHFB に基づいて計算を行う。

核子とラムダ粒子間相互作用には近年調整された Skyrme 型の有効相互作用(SLy4+LY5r) [3]を採用した。原子核の殻構造を説明する為に、スピン軌道力が重要であるが、核子とラムダ粒子間相互作用にも同じ項が導入されており、ラムダ粒子の p 状態の $1/2$ と $3/2$ 状態の分岐を再現する様に調整されている[3]。

図1は炭素のラムダ・ハイパー核のアイソトープの結果を示しており、ラムダ粒子の束縛エネルギーが再現されている事が分かる。

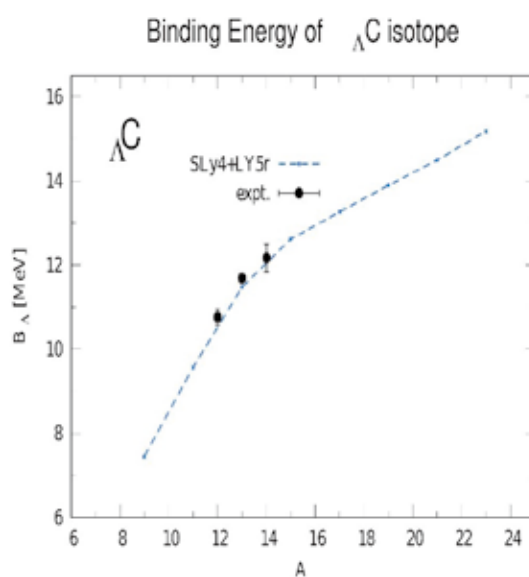


図1：炭素ラムダ・ハイパー核のラムダ粒子の束縛エネルギー

2.2 原子核の励起状態

励起状態は実時間法による線形応答を計算し記述する。基底状態に時間的に瞬間的な外

場を与え、線形変化として扱える微小振幅を与える。この方法によって時間的にデルタ関数である為、フーリエ変換すると原理的に無限のエネルギー状態を誘起している事に相当する。実際は有限の時間で計算する為、エネルギーの分解能は全体の時間に依存する。

与える外場の演算子の期待値を実時間発展中も計算し続け、基底状態の期待値の差を取りフーリエ変換を行う事で、与える外場に対する遷移強度分布を得る事が出来る[2]。

本研究では最も基本的な電気双極子(E1)励起の演算子を準備して計算する事にした。ラムダ粒子の質量は核子よりも約 180MeV 程度重い事に注意して、演算子をかけたことによって重心が動かない様に準備した。

3. 結果と比較

図 2 は ^{12}C 及び $^{13}_{\Lambda}\text{C}$ の E1 の遷移強度分布を示している。ラムダ粒子を一つ持つ $^{13}_{\Lambda}\text{C}$ の遷移強度分布(実線)には明らかに低エネルギーに ^{12}C の結果(破線)にはない励起状態が現れている。新しく現れた励起状態のピーク位置はラムダ粒子の s 状態と p 状態のエネルギー差に対応している。また 20 MeV あたりに現れている巨大共鳴状態のエネルギー位置が 1 MeV 程度高い方向にシフトしている事が分かる。これは中性子数を変えたアイソトープすべてで大きさも含めて同様に見られる傾向で、ラムダ粒子の束縛エネルギーや核子の化学ポテンシャルを確認したが、巨大共鳴のエネルギーシフトを説明できそうになかった。一方で同様に变化した物理量が原子核の半径が小さくなるであることから、系の大きさが変化する事で説明できる事を示唆している。また変形も小さくなっている事から、この説明を支持している。

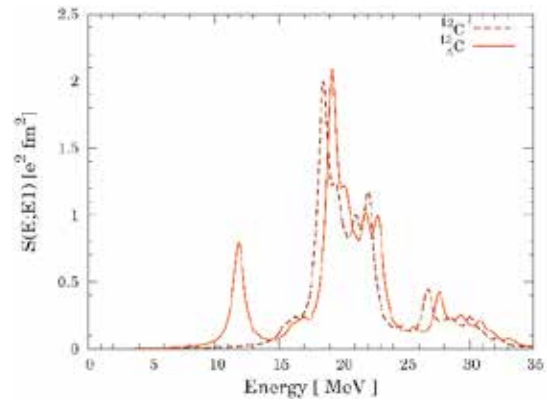


図 2: ^{12}C 及び $^{13}_{\Lambda}\text{C}$ の E1 の遷移強度分布

4. まとめと今後の発展

我々は微視的平均場模型に基づく方法で新しくハイパー核の励起状態を計算する方法を開発した。E1 遷移強度分布についてラムダ・ハイパー核と通常核と比較したところ、ラムダ粒子由来と考えられる励起状態を確認した。更に高いエネルギーにある巨大共鳴は集団励起状態であるが、系が小さくなる効果を反映して、励起状態が高エネルギーにシフトしたと考えられる。

今後は別の核種、特に質量数が大きい核種に適用し、それらの性質を系統的に調査したい。また、核物質の状態方程式のパラメータに関連する励起状態を調べたい。

謝辞

共同研究者の梅谷篤史氏に深く感謝する。埼玉大学の田代教授と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] S. Ebata and T. Nakatsukasa. Phys. Scr. **92** (2017) 064005.
- [2] S. Ebata, et al. Phys. Rev. **C82** (2010) 034306.
- [3] Y. Zhang, H. Sagawa, and E. Hiyama, Phys. Rev. C **103** (2021) 034321

Generalized invariant measures for Non-autonomous Conformal Iterated Function Systems

Yuki Takahashi

Assistant Professor, Department of Mathematics

1. Iterated Function Systems

1.1. Attractors. A finite collection of strictly contractive maps on \mathbb{R} is called an *Iterated Function System* (IFS). Let $\Phi = \{\phi_i\}_{i \in I}$ be an IFS. It is well-known that there exists a unique non-empty compact set $A \subset \mathbb{R}$ such that

$$A = \bigcup_{i \in I} \phi_i(A).$$

The set A is called the *attractor* or the *limit set*.

EXAMPLE 1.1. Let

$$\phi_0 = \frac{1}{3}x, \quad \phi_1(x) = \frac{1}{3}x + \frac{2}{3}.$$

Then the attractor is the middle-1/3 Cantor set.

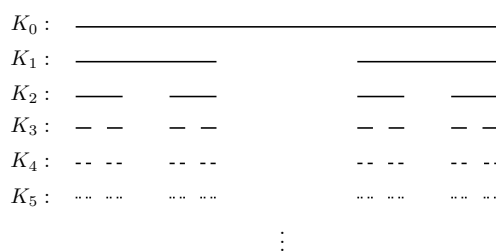


FIGURE 1. The set $K := \bigcap_{n=0}^{\infty} K_n$ is the middle-1/3 Cantor set.

When the construction does not involve complicated overlaps (say, under the open set condition) the limit set is relatively easy to understand. For example, if the open set condition holds then the dimension of the limit set of an IFS is given by the *Bowen dimension* (unique zero of the *pressure function*).

1.2. Invariant measures. Let $p = (p_i)_{i \in I}$ be a probability vector. It is well-known that there exists a unique Borel probability measure ν on \mathbb{R} , called the *invariant measure*, such that

$$\nu = \sum_{i \in I} p_i \cdot \phi_i \nu,$$

where $\phi_i \nu$ is the push-forward of ν under the map $\phi_i : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$. If the open set condition holds then

$$\dim \nu = \frac{h}{\chi},$$

where $h = h(p)$ is the *entropy* and $\chi = \chi(\Phi, p)$ is the *Lyapunov exponent*.

1.3. IFS in the overlapping case. The situation is dramatically more difficult in the overlapping case. Using the so-called transversality method, in [5] the authors considered one-parameter family of CIFS with overlaps and showed that under the transversality condition the Hausdorff dimension of the limit set is given by the minimum of 1 and the Bowen dimension for a.e. parameter, and the limit set has positive Lebesgue measure for a.e. t in

$$\{t : s(t) > 1\},$$

where $s(t)$ is the Bowen dimension and t is the parameter. In [4], the same authors showed that under the transversality condition the invariant measure ν_t satisfies

$$\dim \nu_t = \min \left\{ m, \frac{h}{\chi t} \right\}$$

for a.e. t , and is absolutely continuous for a.e. t in

$$\left\{ t : \frac{h}{\chi t} > 1 \right\}.$$

1.4. Non-autonomous Iterated Function Systems. Non-autonomous Iterated Function Systems (NIFS) are generalization of IFS. In the case of NIFS, the collection of contracting maps is allowed to change at each step. In [3] the authors considered Non-autonomous Conformal Iterated Function Systems (NCIFS) under a separation condition, and showed that the Hausdorff dimension of the limit set is given by the Bowen dimension (in the case of NIFS the Bowen dimension is determined by the *lower pressure function*).

For any NIFS, one can naturally define an associated measure, which we call a *generalized invariant measure*. Generalized invariant measure is a generalization of invariant measure.

One-parameter family of NIFS was first considered in [1]. By relying on the techniques in [5], Nakajima considered a one-parameter family of NCIFS under the transversality condition, and showed that the Hausdorff dimension of the limit set is given by the minimum of m and the Bowen dimension for a.e. parameter, and the limit set has positive Lebesgue measure for a.e. t in

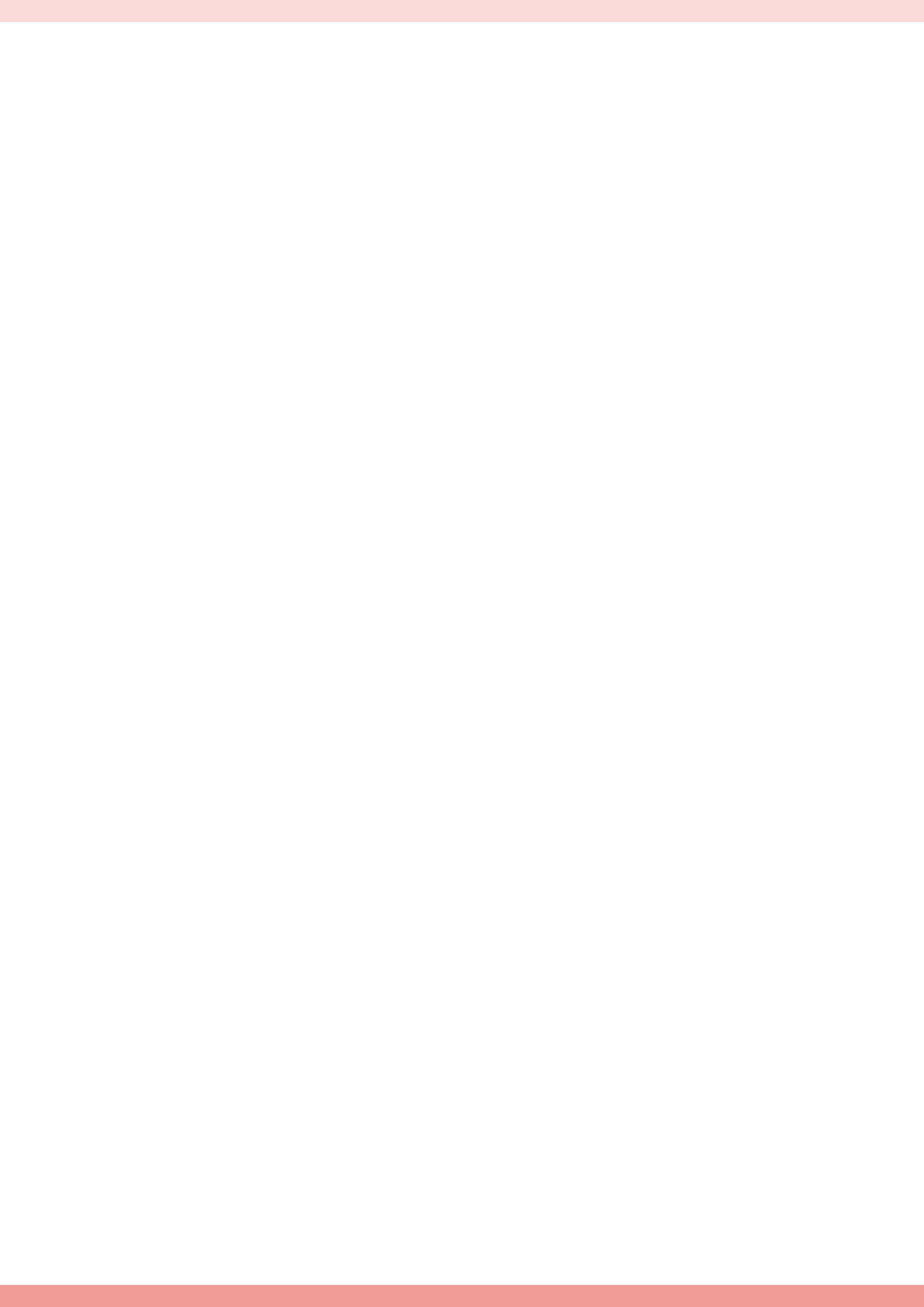
$$\{t : s(t) > m\},$$

where $s(t)$ is the Bowen dimension and t is the parameter.

1.5. Main results. Together with Y. Nakajima I extended the results in [4] to the non-autonomous case. Namely, we considered a one-parameter family of NIFS under the transversality condition, and give a dimension formula for generalized invariant measure for a.e. parameter. We also obtained a sufficient condition that the generalized invariant measure is absolutely continuous for a.e. parameter.

References

- [1] Y. Nakajima, Transversal family of Non-autonomous Conformal Iterated Function Systems, arXiv:2308.13213.
- [2] Y. Nakajima, Y. Takahashi, Generalized invariant measures for Non-autonomous Conformal Iterated Function Systems, preprint.
- [3] L. Rempe-Gillen, M. Urbański, Non-autonomous conformal iterated function systems and Moran-set constructions, *Trans. Amer. Math. Soc.* **368** (2016), 1979–2017.
- [4] K. Simon, B. Solomyak, M. Urbański, Invariant measures for parabolic IFS with overlaps and random continued fractions, *Trans. Amer. Math. Soc.* **353** (2001), 5145–5164.
- [5] K. Simon, B. Solomyak, M. Urbański, Hausdorff dimension of limit sets for parabolic IFS with overlaps, *Pacific J. Math.* **201** (2001), 441–478.



Ⅱ

令和5年度

テニユアトラック教員の研究成果



米山香織 理工学研究科 准教授

(生命科学部門 令和5年4月1日着任)



【学位】

2007年3月：博士（農学）（東京農工大学）

「宿主植物根における根寄生植物およびAM菌の宿主認識シグナル-ストリゴラクトン-の分泌とその植物栄養による制御」

【研究分野】

植物制御化学

【研究の内容】

土壌根圏では共生菌であるアーバスキュラー菌根菌（AM菌）および根寄生雑草の宿主認識シグナルとして作用し、植物体内では地上部枝分かれ抑制ホルモンとして機能するストリゴラクトンに関する研究をメインに行っています。AM菌は宿主植物に無機養分を供給する重要な役割を持っており、陸上植物の9割近くがAM菌と共生しています。一方、根寄生雑草は日本では問題になっていませんが、アフリカやヨーロッパでは強害雑草として深刻な農業被害を起こしています。そして地上部枝分かれは収量や作物の質に直接的な影響を与える重要な現象です。このようにストリゴラクトンはマルチプレイヤーであり、私たちの研究室でも、根寄生雑草、微生物、植物ホルモンなどの専門家と共同研究を行なっています。特に、LC-MS/MSを用いた機器分析を得意としており、モデル植物であるシロイヌナズナやイネだけでなく、共同研究者の各国で重要な作物と位置付けられるオオムギ、ニンジン、トマトなどから、構造的に不安定で壊れやすく、植物体内には微量にしか存在しないストリゴラクトンの同定・定量を担

っています。

令和5年度の研究成果：

【論文(査読付き)】

- [1] A. Yoda, X. Xie, **K. Yoneyama**, K. Miura, McErlean C, T. Nomura. *Plant Cell Physiology*. 6: 1034-1045 (2023)
- [2] **K. Yoneyama** and T. Bennett. *Curr Opin Plant Biol*. 7:102456 (2024)

【論文(査読なし)】

- [1]米山香織. 植物の生長調節. 5: 100-104 (2023)

【学会発表】

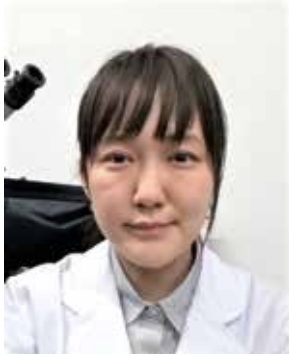
- [1] **K. Yoneyama**. "Regulation of strigolactone biosynthesis/exudation", The 24th International Conference on Plant Growth Substances, 2023年7月
- [2] **米山香織**. "ストリゴラクトンを介した植物間の根圏コミュニケーション", 日本植物学会第87回大会, 2023年9月
- [3] 下田萌乃, Tom Bennett, **米山香織**. "ストリゴラクトンを介したポット容量認識." 植物化学調節学会第58回大会, 2023年11月
- [4] 崎岡莉子, 黒瀬凌, **米山香織**. "養分条件がシロイヌナズナのストリゴラクトン生合成に与える影響." 植物化学調節学会第58回大会, 2023年11月
- [5]井上舞子, Philip Brewer, 謝肖男, 黒岩風, 戸澤謙, **米山香織**. "ストリゴラクトン生合成に関与するオオムギLBOの機能解析." 植物化学調節学会第58回大会, 2023年11月
- [6] **米山香織**. "植物-植物コミュニケーションを利用した作物の耐性強化を目指して." 日本学術会議公開シンポジウム, 2023年12月

【外部資金獲得】

- [1]令和5年度 科学技術振興機構(JST 創発)「植物-植物コミュニケーションにおけるストリゴラクトンの機能解析」, 20,000千円(直接経費総額), 令和5~7年度
- [2] 科研費 国際共同研究加速基金(国際共同研究強化(A))「植物におけるストリゴラクトン生合成及びその調節機構の解明」, 10,700千円(直接経費総額), 令和2~5年度, 代表
- [3] 松籟科学技術財団研究助成「強害根寄生雑草の自殺発芽誘導活性物質に関する研究」, 1,600千円(直接経費総額), 令和5~6年度
- [4] 科研費 基盤(B)「未知ストリゴラクトン代謝経路におけるHIS1/HSLファミリーの機能的役割の解明(代表:戸澤謙)」, 13,400千円(直接経費総額), 令和4~6年度(分担)
- [5] 科研費 基盤(B)「真の枝分かれ抑制ホルモンの化学構造、生理機能、生合成経路の解明(代表:謝肖男)」, 12,900千円(直接経費総額), 令和3~7年度(分担)
- [6] 科研費 基盤(B)「トリプトファン類縁体による根寄生植物発芽制御メカニズムの解明(代表:瀬戸義哉)」, 13,600千円(直接経費総額), 令和4~6年度(分担)

金谷萌子 理工学研究科 助教

(生命科学部門 令和5年4月1日着任)



【学位】

2015年3月：博士（理学）（埼玉大学）

【研究分野】

神経内分泌学、神経科学

【研究の内容】

【背景】痛みの制御には、ヒトを含めた動物で性差があることが知られています。近年のマウスを用いた基礎研究では、雄ではミクログリアが、雌ではT細胞が痛みを引き起こすという、脊髄レベルで異なるメカニズムが存在することが報告されています。また、痛みの性差の要因としてエストロゲンやアンドロゲンが知られていますが、その効果の影響については、先行研究で異なる結果が報告されています。これは、痛みが複数の脳領域で制御されており、経路特異的な性ステロイドの効果が検証されていないことが一因と考えられます。令和5年度では、痛みの伝導路および情動成分を構成する脳領域において、雌雄で免疫細胞の機能的性差が存在するか、また性ステロイドの影響を受けるかを明らかにするための実験を行いました。

【方法】雌マウスに対して、エストラジオールが慢性疼痛に及ぼす影響を調べました。卵巣除去と同時にエストラジオール含有チューブを皮下に留置した後、末梢神経部分結紮手術を行った群（OVX-E2-SNI群, n=2）、卵巣除去後にコレステロール含有チューブを皮下に留置してSNIを行った群（OVX-Cho-SNI群, n=3）と、それぞれの性ステロイド状態に対する偽手術群（OVX-E2-Sham群, n=3、OVX-Cho-Sham群, n=3）を作製しました。雄マウスに対しては、テストステロン

が慢性疼痛に及ぼす影響を調べました。精巣除去と同時にテストステロン含有チューブを皮下に留置し、その後末梢神経部分結紮手術を行った群（OCX-T-SNI群, n=3）、卵巣除去後にコレステロール含有チューブを皮下に留置してSNIを行った群（OCX-Cho-SNI群, n=3）と、それぞれの性ステロイド状態に対する偽手術群（OCX-T-Sham群, n=3、OCX-Cho-Sham群, n=3）を作製しました。雌雄マウスに対して、SNI当日、SNI後3、7、14、21、28日において、疼痛閾値（PWT値）を調べるためにvon Frey testを実施しました。行動観察後、雌雄マウスの脳と脊髄を摘出し、脳の前帯状皮質、側坐核、分界条床核、後外側腹側核、中脳中心灰白質をパンチアウトにより回収しました。

【結果】雌マウスのvon Frey testの結果、OVX-E2-SNI群のサンプル数不足のため統計的解析が難しいですが、OVX-Cho-SNI群と比較してSNI後3日からPWT値が高い傾向が見られました。また、OVX-E2-SNI群とOVX-Cho-SNI群よりも、OVX-E2-Sham群とOVX-Cho-Sham群ではいずれのvon Frey testの日数においてもPWT値が高かったです。雄マウスのvon Frey testの結果では、OCX-T-SNI群とOCX-Cho-SNI群は、共にSNI後3日からPWT値が減少し、アロディニアを発症しました。また、OCX-T-Sham群のPWT値はSNI当日と変動しませんでした。OCX-T-Sham群と比較して低い傾向がありました。現在、採取した脳領域において免疫細胞関連遺伝子の発現量をqPCRで解析中です。慢性疼痛の雌マウスの分界条床核で、細胞移動を制御するケモカインの一種であるCCL5 mRNAの上昇傾向が見られました。中脳中心灰白質から分界条床核への神経回路は、痛みの制御における機能的性差が報告されているため、引き続き雌雄差と性ステロイドによる変動を定量する予定です。

令和5年度の研究成果：

【論文(査読なし)】

肥後心平、金谷萌子、水野友喜、小澤一史、坂本篤裕、石井寛高「In situ hybridization法の高感度化手法と その神経科学未解明領域への応用」、日医大医学会誌 2023; 19 (2)

【外部資金獲得】

[1] 科研費 基盤（若手研究）「痛みの性差をもたらす痛覚の神経回路メカニズムの解明」、3,600千円(直接経費総額)、令和3~5年度、代表

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]

原子核を主に理論的な方法で研究しています。原子核は原子の10万分の1の大きさ程度の極小の系で数百程度の核子(中性子と陽子の総称)という粒子で構成されています。このような系は有限量子多体系と呼ばれ、量子力学で記述されます。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が困難である為、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。

原子核は核子の集まりで、量子流体として理解できる部分がありながら、同時に核子が独立して運動している様相もあります。原子核には様々な様相があり、これらが複雑に絡み合い、多様な現象を示します。これまでに原子核を大きく変質させる核分裂を研究してきました。最近ではハイペロンと呼ばれる少し重い核子に似た粒子が含まれるハイパー核の研究を進めています。超高密度な天体の中性子星の内部にはハイパー核が安定に存在するとされている事から、ハイパー核の基底状態や励起状態に注目し、その構造を研究しています。

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、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を、理化学研究所の方々との共同研究で測定しています。

令和5年度の研究成果

[論文(査読付き)]

- [1] K. Washiyama, **S.Ebata**, K. Yoshida, Phys. Rev. C **109** (2024) 024317,
- [2] T. Furumoto, K. Tsubakihara, **S. Ebata**, W. Horiuchi, Prog. Theor. Exp. Phys. **2023** (2023) 013D01,
- [3] S. Takacs, F. Ditroi, Z. Szucs, M. Aikawa, H. Haba, Y. Toyoeda, D. Gantumur, **S. Ebata**, Nucl. Instr. Meth. B **545** (2023) 165127,
- [4] M. Aikawa, Y. Toyoeda, D. Gantumur, N. Ukon, **S. Ebata**, H. Haba, S. Takacs, F. Ditroi, Z. Szucs, Nucl. Instr. Meth. B **543** (2023) 165093,
- [5] **S. Ebata**, S. Okumura, C. Ishizuka, S. Chiba, Int. J. Mod. Phys. E **32** (2023) 235003,
- [6] N. Yoshinaga, A. Umeya, **S. Ebata**, T. Nojima, S. Ito, Phys. Scr. **98** (2023) 085309

[学会発表]

- [1] 古本猛憲, 椿原康介, **江幡修一郎**, 堀内渉, “ α 弾性散乱の大域的記述”, 日本物理学会 2024年春季大会, 2024年3月
- [2] 金 建希, **江幡修一郎**, 梅谷 篤史, “平均場及び殻模型の結果を用いたハイパー核生成断面積の DWIA 計算”, 日本物理学会 2024年春季大会, 2024年3月
- [3] 吉永 尚孝, **江幡修一郎**, 梅谷 篤史, “中重核でのラムダハイパー核生成断面積の簡単な模型による評価”, 日本物理学会 2024年春季大会, 2024年3月
- [4] 西坂元希, **江幡修一郎**, “ガウス過程回帰を用いた核物質の状態方程式の解析”, 日本物理学会 2024年春季大会, 2024年3月
- [5] 鷲山広平, **江幡修一郎**, 吉田賢市, “非軸対称変形と巨大単極共鳴の進化”, 日本物理学会 2024年春季大会, 2024年3月
- [6] **江幡修一郎**, 奥村 森, 石塚 知香子, 千葉 敏, “微視的平均場模型で計算した電荷分布から推定した核分裂中性子多重度”, 日本原子力学会 2024年春の年会, 2024年3月
- [7] **S. Ebata**, S. Okumura, C. Ishizuka, S. Chiba, “Charge polarization on the fission fragments from U-236 calculated with a time-dependent mean-field model”, Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS) (ARIS2023)
- [8] **S. Ebata**, A. Umeya, N. Yoshinaga, “Electric dipole strength functions of Lambda hypernuclei obtained by the time-dependent mean-field calculation”, 7th International Conference on Collective Motion in Nuclei under Extreme Conditions (COMEX7)

[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。(令和5年度まで延長)

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]

This year I conducted research on generalized invariant measures with Y. Nakajima (“Generalized invariant measures for Non-autonomous Conformal Iterated Function Systems”, preprint), attractors for projective IFS (“Dimension of Attractors for Projective Iterated Function Systems for Non Inverse-Free Generators”, preprint) and exiting measures induced by infinite trees (“Exiting measures for random walks on infinite rooted trees”, preprint).

A finite collection of strictly contractive maps on \mathbb{R} is called an *Iterated Function System* (IFS). Let $\Phi = \{\phi_i\}_{i \in I}$ be an IFS and $p = (p_i)_{i \in I}$ be a probability vector. It is well-known that there exists a unique Borel probability measure ν on \mathbb{R} , called the *invariant measure*, such that

$$\nu = \sum_{i \in I} p_i \cdot \phi_i \nu,$$

where $\phi_i \nu$ is the push-forward of ν under the map $\phi_i : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$. If the open set condition holds then

$$\dim \nu = \frac{h}{\chi},$$

where $h = h(p)$ is the *entropy* and $\chi = \chi(\Phi, p)$ is the *Lyapunov exponent*.

Simon, Solomyak and Urbanski considered one-parameter family of IFS, and showed that under the transversality condition the invariant measure ν_t satisfies

$$\dim \nu_t = \min \left\{ m, \frac{h}{\chi_t} \right\}$$

for a.e. t , and is absolutely continuous for a.e. t in

$$\left\{ t : \frac{h}{\chi_t} > 1 \right\}.$$

Non-autonomous Iterated Function Systems (NIFS) are generalization of IFS. In the case of NIFS, the collection of contracting maps is allowed to change at each step. Rempe and Urbanski considered Non-autonomous Conformal Iterated Function Systems (NCIFS) under a separation condition, and showed that the Hausdorff dimension of the limit set is given by the Bowen dimension (in the case of NIFS the Bowen dimension is determined by the *lower pressure function*).

Together with Y. Nakajima I extended the above results to the non-autonomous case. Namely, we considered a one-parameter family of NIFS under the transversality condition, and give a dimension formula for generalized invariant measure for a.e. parameter. We also obtained a sufficient condition that the generalized invariant measure is absolutely continuous for a.e. parameter.

令和5年度の研究成果

[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

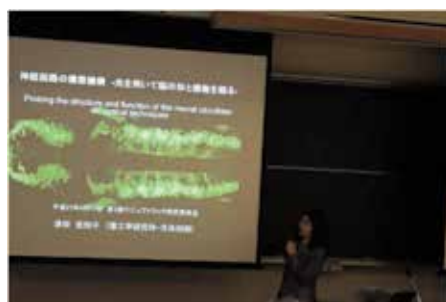
「挨拶と研究発表会の総括」

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



津田佐知子助教



Sung-Chul Noh 助教



坂井建宣准教授



乙須拓洋助教



李漢洙准教授



前田慎市助教



鶴見太郎准教授



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 detonation (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



Neal Bez 准教授



前田慎市助教



李漢洙広島大学大学院准教授



坂井建宣准教授



鶴見太郎東京大学大学院准教授



津田佐知子助教



Sung-Chul Noh 助教



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



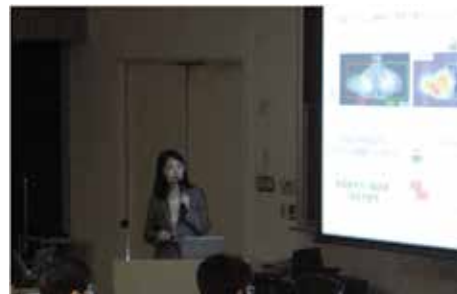
開会挨拶 佐藤勇一研究機構長



乙須拓洋助教



前田慎市助教



津田佐知子助教



坂井建宣准教授



豊田正嗣准教授



Neal Bez 准教授



閉会挨拶 桐谷正信研究企画推進室 室長



Sung-Chul Noh 助教



会場の様子

第4回 テニユアトラック 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



勝田哲助教



豊田正嗣准教授



乙須拓洋助教



Neal Bez 准教授



坂井建宣准教授



Sung-Chul Noh 助教



前田慎市准教授



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
－細胞のゆりかごとして－」

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



乙須拓洋助教



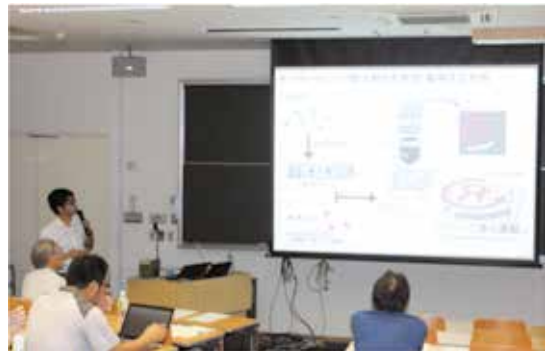
坂井建宣准教授



豊田正嗣准教授



Sung-Chul Noh 助教



川村隆三助教



勝田哲助教



閉会挨拶 石井昭彦研究企画推進室 室長

第6回 テニュアトラック 研究発表会

日時：2023年7月20日（木）
場所：研究機構棟7階 大会議室

【プログラム】

14:00-14:05

「開会挨拶」

黒川 秀樹 埼玉大学 研究機構長

14:05-14:25

「痛みの性差を生み出すメカニズムの解明に向けて」

金谷 萌子 助教（生体制御）

14:30-14:50

「ストログラクトン分泌調節メカニズムの解明」

米山 香織 准教授（分子生物）

15:10-15:30

「行列のランダム積の Lyapunov 指数について」

高橋 悠樹 助教（数理電子情報部門）

15:35-15:55

「時間依存平均場模型で記述する原子核の多様な状態」

江幡 修一郎 助教（物質科学部門）

16:00-16:05

「閉会挨拶」

弥益 恭 研究機構研究推進室長

第6回テニュアトラック研究発表会の様子



開会挨拶 黒川秀樹研究機構長



金谷萌子助教



米山香織准教授



高橋悠樹助教



江幡修一郎助教



閉会挨拶 弥益恭研究推進室長

第7回 テニユアトラック 研究発表会

日時：2024年7月22日（月）

場所：総合研究棟1号館1階 シアター教室

【プログラム】

14:00-14:05

「開会挨拶」

石井 昭彦 埼玉大学 研究機構長

14:05-14:25

「痛みの修飾におけるステロイドホルモンの影響」

金谷 萌子 助教（生体制御）

14:30-14:50

「ストリゴラクトンは一般的な植物のコミュニケーションにも関与しているのか？」

米山 香織 准教授（分子生物）

15:10-15:30

「Iterated Function Systems with inversesの次元公式」

高橋 悠樹 助教（数理電子情報部門）

15:35-15:55

「微視的平均場模型で記述する原子核の静的・動的状態」

江幡 修一郎 助教（物質科学部門）

16:00-16:05

「閉会挨拶」

松岡 浩司 研究機構研究推進室長

第7回テニュアトラック研究発表会の様子



開会挨拶 石井昭彦研究機構長



金谷萌子助教



米山香織准教授



高橋悠樹助教



江幡修一郎助教



閉会挨拶 松岡浩司研究推進室長

IV

メンターからの一言

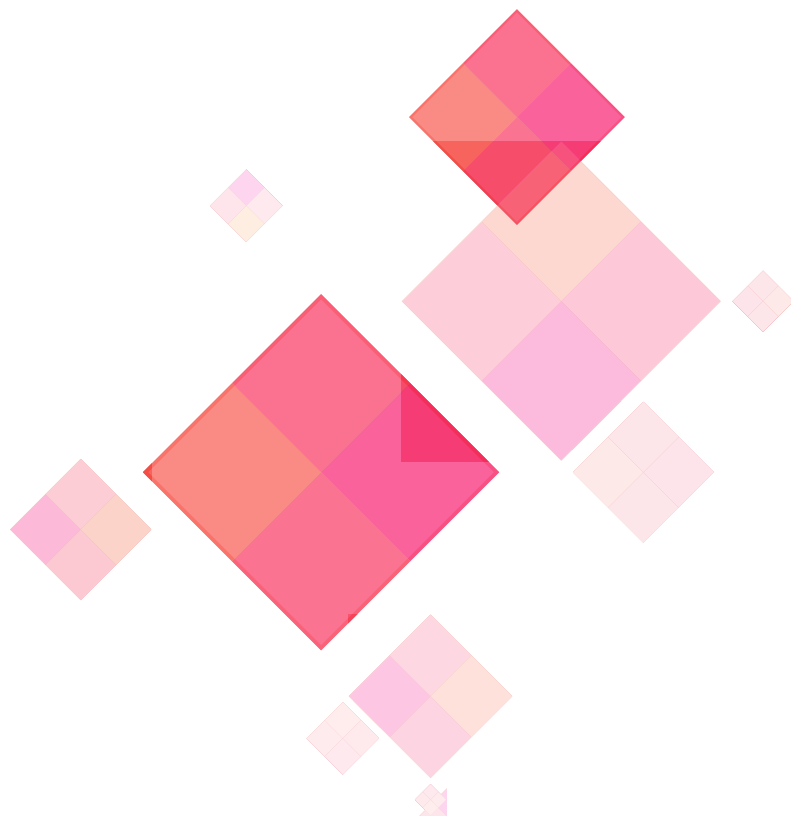
田代 信 理工学研究科教授（物理学プログラム）

（江幡 修一郎 助教のメンター）

「違和感」が研究の発端となることがある。それがデータとモデルとの乖離という明確な場合もあるが、モデルと合ってはいるのだが、釈然としない感じだけが残ることもある。それが隠れた真理のヒントかもしれない。だから、違和感に対する感度と、それに向き合う粘り強さは研究者の重要な資質のひとつだ。

しかし、多くの場合、データのズレは、なんらかの誤差がたまたま意味ありげにみえているだけだ。説明がつくのなら、まずは結論をまとめ成果としたい。違和感にどこまでつきあうかという葛藤は、実験に限らず、研究者におなじみのものかもしれない。

正解はない。だが、このバランスに真摯にむきあうしつこさが、よい研究につながる。それには、個人の資質だけでなく、研究にむきあえる環境、とくに時間が必要だ。将来につながる環境と、比較的長い時間を得られるテニュアトラックプログラムは、研究と研究者が育つ有効なしくみになっていると感じる。





Saitama University

埼玉大学

- 編集 テニュ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
- TEL 048-858-3010
- ホームページ <https://tt.iron.saitama-u.ac.jp>