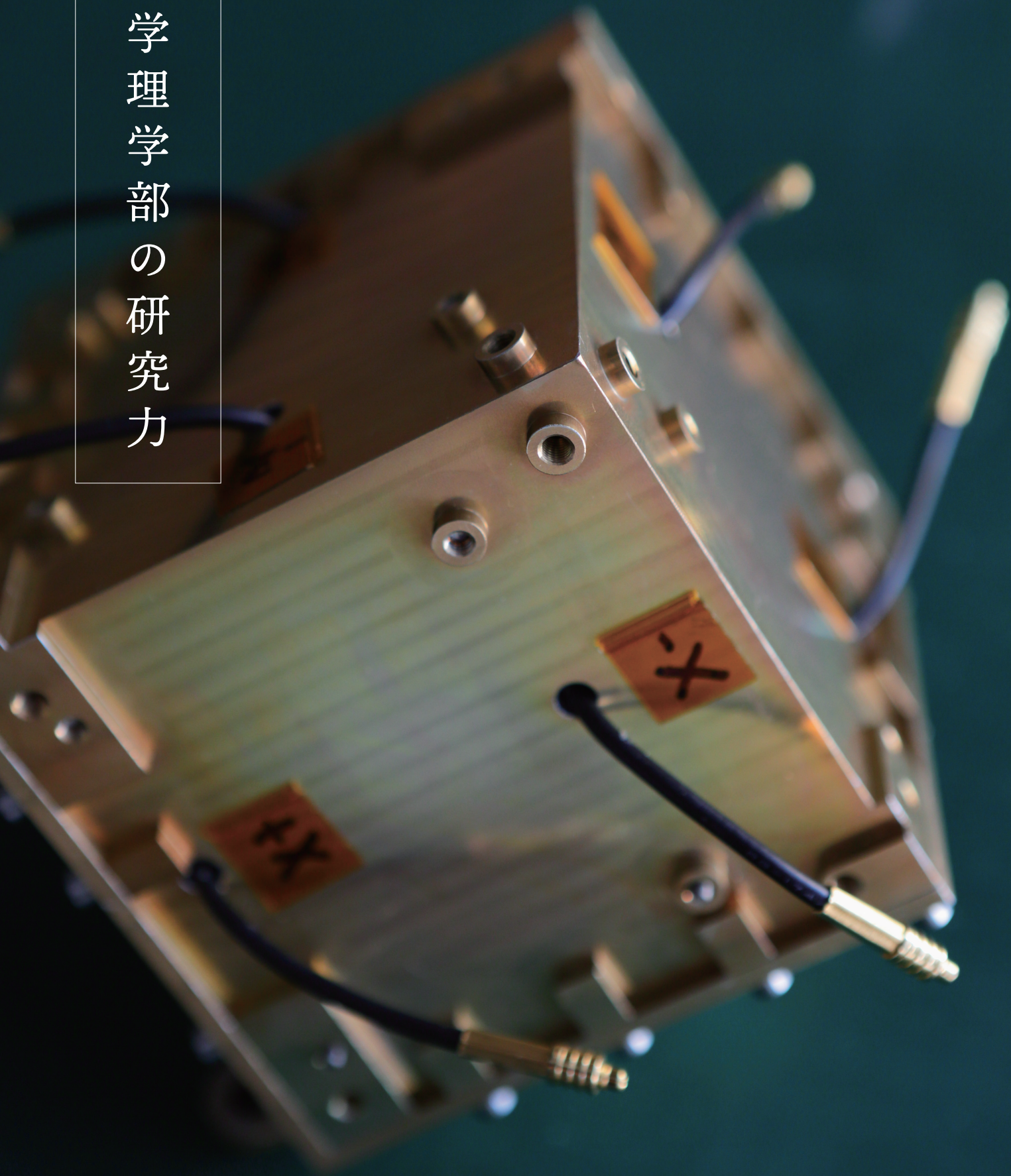


東北大学理学部の研究力



CONTENTS

はじめに	3
数学専攻	
金融時系列データの高速分析を可能にする数学的知見 ーランダム行列理論と相関行列の固有値の極限分布ー	4
動く曲線を追いかけて 勾配流による等周不等式の証明	5
物理学専攻	
クォーク間の「芯」をとらえた ー物質が安定して存在できる理由の理解に貢献ー	6
スピン流を光で完全に制御する新原理を開拓 超高速・高性能な光スピントロニクスデバイスの実現に期待	7
カゴメ格子超伝導を担う電子軌道を解明 ー放射光を用いた先端電子計測で照らし出すー	8
天文学専攻	
中性子星の合体で合成されたレアアースを初めて特定 貴金属に富んだ星々は 100 億歳 世界最高解像度天の川銀河シミュレーションに成功	9 10
宇宙の塵の塊の「跳ね返り」が衝突合体による微惑星形成を阻害する ー大きくなるとくっつきにくくなる粉状体の衝突挙動を発見ー	11
地球物理学専攻	
ラニーニャの冬は寒くない？ ー2 年間続くラニーニャから迫る気候予測の新視点ー	12
ソフトバンク独自基準点のデータを利活用するコンソーシアムを設立 ー高密度な GNSS 観測網による新しい地球科学の創成と、研究成果の事業化を目指してー	13
化学専攻	
A 型インフルエンザウイルス RNA と結合して蛍光検出する分子プローブを開発 混ぜて測るウイルス診断を目指して	14
抗マラリア薬キニーネの超効率的な合成に成功 わずか 5 つの反応容器で医薬品を合成する	15
地学専攻	
小惑星リュウグウの石から太陽系最初期にできた可能性のある物質を発見 ー原始太陽系星雲内側で形成し、太陽から遠いリュウグウ母天体まで運ばれたかー	16
巨大地震後の地盤変動を解析する新手法を開発 GNSS 観測データから東北地方太平洋沖地震後 10 年後の地盤変動を従来技術の約 10 分の 1 の高精度で予測	17
生物学科／生命科学研究科	
オスメダカは初めての性的パートナーと「相思相愛」の関係を築く クライマーと生態学者が連携し全国 90 地点の環境 DNA 調査を実施 ー「山の人×科学者」で山岳域の健康状態を見守るプロジェクトの始動ー	18 19

本誌では、2022 年 4 月から 2023 年 8 月までの研究成果を抜粋して掲載しています。

はじめに



東北大学理学部長・理学研究科長
都築 暢夫

皆さんは、自然現象や数理現象に不思議や面白さを感じ、その根本的な原理を知りたいと思うことはありませんか？

どのような自然現象や数理現象に興味を持っていますか？

理学は、私たちが持っている純粋な好奇心や探究心に発する「自然の理（ことわり）」の解明と、その体系化を通して、人類共通の知的財産を未来へと継承していく学問分野です。理学研究では、先人達が明らかにしてきた自然の理を理解し、その上に新たな解明を加えていきます。

理学研究の道のりは決して平坦ではありません。自由な発想のもとに研究を進める過程は楽しくもありますが、思い描いた通りに進まずに悶々とした日々を過ごすことも少なくありません。知力はもちろんのこと、気概をも求められる険しい道でもあります。だからこそ、自然の理の一端を解き明かしたときの達成感と喜びは格別です。そして、次なる自然界の不思議が私たちによる解明

を待ち受けています。

東北大学理学研究科では、素粒子、原子核、原子、分子等のミクロな世界、生命、地球、宇宙等のマクロな世界、数学および数理現象など理学の幅広い分野を対象にして自然の理の探究を行なっています。本冊子は、プレスリリース等を行なった理学研究科の研究の中から、皆さんに向けてピックアップしたものです。詳しく知りたい方や他の研究を知りたい方は、理学研究科の Web ページをご覧ください。

東北大学理学部では、学部 4 年（学科によっては 3 年後期）になると研究室に配属され、大学院に進学すると一段と本格的な研究を行います。皆さんの先輩達がそうであったように、社会の様々な分野で活躍するための基盤となる科学的思考力と実践力が理学研究を通して身に付きます。緑あふれる青葉山のキャンパスで、若き皆さんとともに新たな「自然の理」の解明に向け挑戦する日を楽しみにしています。

金融時系列データの高速分析を可能にする数学的知見

ー ランダム行列理論と相関行列の固有値の極限分布 ー



詳細はこちら

数学専攻 准教授 赤間 陽二

現代はデータサイエンスの時代であり、高次元のデータを高速・高精度で分析する手法の開発がますます重要になってきています。日経平均株価^(注1)などの金融時系列データは多種多様な事象から影響を受けており、経済政策や金融取引のために重要です。こうした株価などの複数の変数で構成されたデータを分析する数学的モデルの一つが因子分析モデル^(注2)です。因子分析では少数の要因（因子）によって簡潔に説明でき、精度の高い経済政策や金融取引をタイミングよく実施することにつながります。

因子の特定に際しては、変数の間の相関係数を網羅的に算出して相関行列^(注3)を作成した上で、相関行列を効率よく説明するための「軸」（固有ベクトル）を計算します。固有ベクトルの計

算は、取り扱う変数が増えれば増えるほど難しくなります。赤間陽二准教授は、大規模高次元データから作られるサンプル相関行列の固有値^(注4)の極限分布^(注5)をランダム行列理論^(注6)により明示化しました。因子分析モデルにおいて、重要な因子、つまり、大きな固有値を持つ因子を容易に選択できるようになり、因子分析の速度の向上に資するものです。因子分析は経済学のみならず、心理学、医学など実験や定量的な分析を重視する様々な分野でも利用されており、本研究が寄与する領域やトピックは広範に及ぶと期待されます。本研究成果は2023年4月19日に経済理論の専門誌 *International Journal of Theoretical and Applied Finance* に掲載されました。

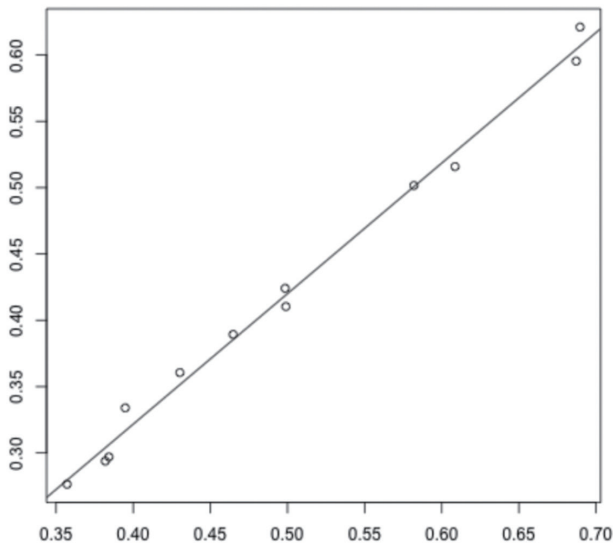


図 S&P500のセクターごとの、株価リターンの相関係数の系列の時間平均（縦軸）と、 λ / N （横軸）

用語解説

（注1）日経平均株価

日経平均、日経 225 と呼ばれる日本の株式市場を代表する株価指数。各構成銘柄の株価に「株価換算係数」を乗じて「採用株価」とし、それらを合計したものを指数の連続性を維持するために調整された「除数」で割って求める。

（注2）因子分析モデル

一連の変数の振る舞いを、より少数の基礎因子によって説明しようとする統計モデル。因子分析モデルは、心理学をはじめ金融分野などで利用される。金融分野において、金利や経済成長率、市場の変動などの少数の因子によって、ポートフォリオや資産のパフォーマンスを説明するためによく用いられる。

（注3）相関行列

複数の変数間の相関係数を行列の形式でまとめたもので、統計学の分野で広く使われている。相関行列は、各変数のペア間の相関係数を表した正方形の行列で、対角線には1が並ぶ。相関係数は、2つの変数間の線形関係の強さを表し、-1から1までの値をとる。相関係数が1に近い場合は、正の相関があり、二つの変数の一方が大きくなれば他方も大きくなるという傾向がある。

（注4）固有値

線形代数学において、正方行列がベクトルに作用する際に、そのベクトルをスカラー倍する数のことを指す。具体的に言うと、N次の正方行列Aに対して、ベクトルvが $Av = \lambda v$ を満たすとき、数 λ をvの固有値と呼ぶ。ここで、vは非ゼロベクトルで、AはN次の正方行列である。固有値は、行列の性質を表す重要な指標の一つである。

（注5）極限分布

サンプルの大きさと次元の比があらかじめ決まった定数に収束するように、両者を無限大にした極限における分布。

（注6）ランダム行列理論

数学や物理学などの分野で用いられる、ランダムな行列の統計的な性質を研究する理論。ランダム行列とは、行列の要素が確率的に選ばれる行列のことである。ランダム行列理論は、確率論、統計学、数学物理学などの分野で研究されており、多くの数学者や物理学者によって貢献されている。

動く曲線を追いかけて

勾配流による等周不等式の証明



詳細はこちら

数学専攻 准教授 岡部 真也

「長さ」が一定の単純閉曲線^(注1)の中で囲む面積が最大となる曲線はどのようなものか？」等周問題と呼ばれるこの問題は「ディドの問題」とも呼ばれます。それは、祖国を追われた王女が、漂流先の先住民との「牛一頭の皮で覆るだけの土地を与える」という約束のもと、牛の皮を細い紐状にして広大な土地を囲い、その土地の獲得が古代都市国家カルタゴの建国に繋がったと言われる伝説になぞらえたためです。等周問題の答えは円であり、その証明は既に様々に与えられていますが、本記事は、ある一般化された等周不等式の証明に関するものです。どのように証明するのか、ということに焦点を当てていきます。例えば、高いところから水を流すと水はより低いところへと流れ

ていきます。つまり、一番低いところを探したいならば、高いところから水を流してみればよい、ということになります。特に、水は傾きが最も急に下がっている方向へと流れていくでしょう。一般に、傾きが最も急な方向へと流れていく様子を最急降下流や勾配流と呼びます。本記事で紹介する方法は、曲線に対して定まるある量に対して、それが適当な意味で最も効率よく減少する様子を記述する勾配流を構成し、その勾配流で曲線を動かしていくことで、曲線が行き着く先として等周不等式を証明しよう、というものです。ここで、曲線に対するどんな量を考えるのか、どういった意味の勾配流を考えるのか、というところが重要であり、この研究の本質とも言えます。

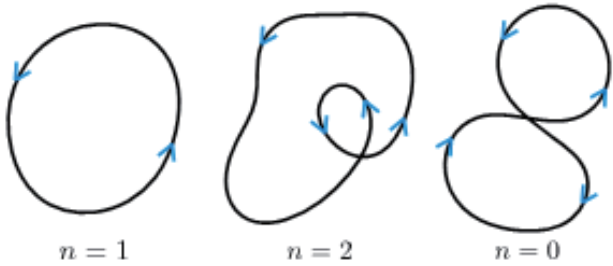


図 どちら向きに何周したかを数えます。

まず、等周不等式をもう少し具体的に説明しましょう。 γ を閉曲線とし、その長さを $L(\gamma)$ 、囲む面積を $A(\gamma)$ と表せば、等周不等式は $L(\gamma)^2 \geq 4\pi A(\gamma)$ と書くことができます。ディドの問題としては長さ $L(\gamma)$ を与えたときに面積 $A(\gamma)$ が最大となる γ を求めよという問題と見るわけですが、面積 $A(\gamma)$ を与えたときに長さ $L(\gamma)$ が最小となる γ を求めよ、と見ることもできます。その答えは円であり、様々な証明法が今では知られています（実際、半径 r の円の周長と面積を求めてみると等周不等式の等号が成り立つことがわかります）。本記事で扱う等周不等式は、これを回転数という概念を使って一般化したものです。回転数とは、非常に大雑把なことを言えば、反時計回りに1回りしたら1、時計回りに1回りしたら-1と数えて決まる整数のことです。例えば、反時計回りに向きを入れた円ならば回転数1、8の字は0、といった具合です。

用語解説

（注1）単純閉曲線

自己交差しない閉曲線のこと。ジョルダン閉曲線という呼び方もある。

クォーク間の「芯」をとらえた

－物質が安定して存在できる理由の理解に貢献－



詳細はこちら

物理学専攻 准教授 三輪 浩司

原子核を構成する源の力である核力は、陽子と中性子が比較的離れたときには引力ですが、陽子と中性子が重なり合うような近い距離では大きな反発力（斥力^{（注1）}）へと変化します。この神秘的とも言える引力と斥力のバランスのおかげで原子核は自身の引力で潰れることなく安定に存在することができます。しかし、この斥力を生み出すメカニズムの理解は長年の課題でした。

このような短距離では、陽子・中性子の中に閉じ込められた物質の最小単位であるクォークのペアがパウリの排他原理^{（注2）}があるため、同じ量子状態をとるクォーク間に強い斥力が生じると予想されます。このときにクォーク間に強い斥力が生じると予想され、核力の短距離での強い斥力の一因と考えられています。しかし、このクォークのパウリ原理による斥力の強さは現在まで全く不明でした。ストレンジクォークを含む粒子である Σ^+ と陽子との散乱では、2粒子内のアップクォークのスピンの向きをそろえパウリ原理の禁止状態を作ること、このクォークのパウリ原

理による斥力を調べるのが可能となります。

三輪浩司准教授らの研究グループは、大強度陽子加速器施設 J-PARC のハドロン実験施設^{（注3）}で、この Σ^+ と陽子の散乱の微分断面積^{（注4）}を高精度で測定しました。微分断面積は、どの角度にどれくらい粒子が散乱されやすいかを示す量であり、これは粒子間にはたらく力を敏感に反映します。散乱する2つの粒子が3割程度重なり合うような場合に、核力はまだ引力であるのに対して、 Σ^+ 陽子間の力はすでに核力の2倍程度も強い斥力になっていることが、得られた微分断面積を解析することで分かりました。今まで未知であったクォーク間のパウリ斥力の強さを決定したことで、核力の短距離での斥力の理解が一層進むと考えられます。本研究成果は基礎物理の学術論文誌 *Progress of Theoretical and Experimental Physics* の注目論文 (Editors' Choice) に選ばれ、2022 年 9 月 4 日 16 時（英国時間）にオンライン公開されました。

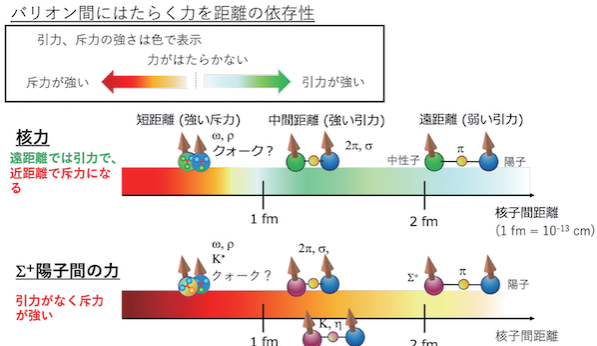


図 バリオン間にはたらく力として、核力と Σ^+ 陽子間の力を比べたもの。引力、斥力の強さは色で示している。核力では遠方では引力であったものが、1 fm（f＝フェムトは1 000 兆分の1）以下の近距離において強い斥力へと変化する。一方で、 Σ^+ 陽子間力ではほとんど引力がなく、斥力が核力に比べ非常に強いことが予想されている。

用語解説

（注1）斥力、斥力芯

2つの核子が1～2fm程度離れた遠距離では、 π 中間子などを交換することで核力は引力となる。しかし、核子間の距離がおおよそ1fmよりも短くなると、核力は斥力（反発力）へと変化する。そして、核子間の距離が短くなるほど、この斥力は急激に強くなる。この2核子間の芯に生じる強い斥力を斥力芯と呼ぶ。遠距離での引力と短距離での斥力のバランスのおかげで原子核は安定に存在することができる。

（注2）パウリの排他原理

陽子・中性子や電子のように1/2の大きさのスピンを持つ粒子はフェルミ粒子と呼ばれる。2つの同種類のフェルミ粒子は同じ量子状態をとることが許されず、これをパウリの排他原理やパウリ原理と呼ぶ。クォークもフェルミ粒子であるため、このパウリ排他原理に従う。

（注3）J-PARC ハドロン実験施設

茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設 J-PARC は、世界最高強度の陽子ビームで生成する多彩な2次粒子を用いて、さまざまな素粒子・原子核物理の研究や物質科学・生命科学の研究が行われている。その中にあるハドロン実験施設では、30 ギガ電子ボルトの陽子ビームを金の標的に当てて K 中間子やパイ中間子などの「ハドロンビーム」を作り、これを用いて原子核や素粒子の研究が行われている。今回のシ

グマ粒子は、このパイ中間子のビームをもとに作られる3次粒子のビームと言える。実験の精度を向上させるためには、出来るだけ大量のシグマ粒子を生成することが重要となる。そのためパルス当たり約107個（5.2秒毎に約2秒間ビームがでる）の世界最大強度のパイ中間子ビームを供給することができるハドロン実験施設は、本研究を行う上で最適な実験施設と言える。

（注4）散乱の微分断面積

粒子の間に力がはたらくことで、散乱現象が起きる。この散乱の起きる頻度は、単純に考えると粒子同士が覆う断面積に対応するため、散乱断面積と呼ばれる。特に、散乱断面積の散乱角度による違いは、散乱の微分断面積と呼ばれる。実際には、散乱は、粒子間にはたらく力によって、散乱の頻度（断面積）や角度依存性（微分断面積）が大きく異なる。実験で微分断面積を測定することによって、粒子間にはたらく力を調べるのが可能となる。実際に、核子の間にはたらく核力は、加速器で加速された陽子や中性子（中性子は2次的に生成されていた）を、標的となる陽子に照射し、散乱の微分断面積を詳細に測定することによって調べられてきた。ハイベロンと陽子との間でも同様に散乱実験を行うことが重要だと言われていたが、ハイベロンがすぐに崩壊してしまうという実験的な困難さから、これまで高精度の断面積測定は実現できなかった。

スピン流を光で完全に制御する新原理を開拓

超高速・高性能な光スピントロニクスデバイスの

実現に期待



詳細はこちら

物理学専攻 准教授 松原 正和

近年、電子が持つ小さな磁気の性質（スピン^{（注1）}）を積極的に利用するスピントロニクス技術が、低消費電力・高密度なデバイス実現の観点から注目を集めています。スピントロニクス^{（注2）}機能の多くは、電流（電荷の流れ）のスピン版であるスピン流^{（注3）}（スピンの流れ）によって駆動されるため、スピン流の革新的な生成・制御手法の開拓が求められていました。

松原正和准教授らは、ナノ空間の対称性を人工操作した磁性メタマテリアル^{（注4）}を新たに開発し、室温かつ超高速で、スピン

流の伝搬方向や大きさを光パルス^{（注5）}の偏光^{（注6）}状態により完全制御する新原理を開拓しました（図）。この成果は、次世代のスピントロニクスデバイス設計の自由度を飛躍的に向上させるだけでなく、従来の光科学技術・スピントロニクス技術をナノテクノロジーにより横断的かつ重層的に集積・発展させる超高速光スピントロニクスへの応用が期待されます。

本研究成果は、2022 年 11 月 7 日（英国時間）発行の英国科学雑誌 *Nature Communication* に掲載されました。

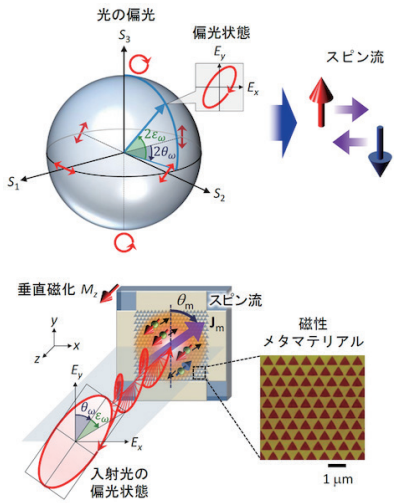


図 研究の概念図

上段:光の偏光状態を表すポアンカレ球。光の任意の偏光状態は、ポアンカレ球上のある1点に対応する。赤道上の点はすべて直線偏光、北極と南極は左右円偏光、それ以外の点は楕円偏光に対応する。緯度によって偏光方向 θ を表し、経度によって楕円率角 ε を表すことで、光の任意の偏光状態を表すことができる。

下段:ナノ空間の対称性を人工操作した磁性メタマテリアルを用い、非接触かつバイアス印加無しで、光の偏光自由度（偏光方向 θ 、楕円率角 ε ）の利用によりスピン流（スピン偏極電流） J_m の伝搬方向 θ_m や大きさ $|J_m|$ を超高速で完全制御する。

用語解説

（注1）（電子）スピン

電子が持つ自転のような性質で、電子スピンは磁気（微小な磁石）を帯びている。電子スピンは物質の磁性の源である。

（注2）スピントロニクス

従来のエレクトロニクス（電子の電荷としての性質を利用する技術）に、電子が持つ磁石の性質（スピン）を取り入れる技術のこと。既存エレクトロニクスデバイスの限界打破と新機能の実現が期待されている。

（注3）スピン流

電荷の流れである電流と対比して、電子スピンの流れをスピン流と呼ぶ。特に、電荷とスピンの両者が流れる場合はスピン偏極電流と呼ばれ、電荷の流れを伴わない純粋なスピンの流れは純スピン流と呼ばれる。

（注4）（磁性）メタマテリアル

自然界の物質では不可能な光応答を可能とする、光（電磁波）の波長よりも小さな構造を持つサブ波長人工物質のこと。メタマテリアルを使うと、例えば、負の屈折、完全レンズ、クロウキング（透明マント）など、これまで不可能だった新しい技術の開発が期待されている。メタマテリアルを磁性体で作製したものは磁性メタマテリアルと呼ばれる。

（注5）光パルス

短時間のみONとなる光。通常の光（連続光）は時間的に一定の強度を持つのに対して、パルス光の強度は短い時間に集中している。特に、パルス幅（時間幅）が極めて短く、数百フェムト～数フェムト秒（フェムトは1000兆分の1）のパルス幅を持つ光パルスは超短光パルスと呼ばれる。

（注6）偏光

光は電場と磁場（電磁場）の振動が空間を伝わる波であり、この振動方向が揃ったものを偏光と呼ぶ。光の伝搬方向と垂直面内での電磁場の振動を見ると、振動方向の軌跡が直線的な場合を直線偏光、振動方向の軌跡が円を描く場合を円偏光と呼ぶ。

カゴメ格子超伝導を担う電子軌道を解明

－放射光を用いた先端電子計測で照らし出す－



詳細はこちら

物理学専攻 助教 中山 耕輔

カゴメ格子^(注1)の「カゴメ」とは「籠目」のことで、三角形や六角形からできる結晶格子で伏見康治博士が命名したことで知られています。このカゴメ格子を持つ物質は、特殊な電子構造や強い幾何学的フラストレーション^(注2)を示します。フラストレーションはパリージ博士が昨年のノーベル物理学賞を受賞するきっかけにもなった興味深い性質で、様々な新規物性を引き起こす源として期待されます。特に、最近発見されたカゴメ格子金属CsV₃Sb₅(セシウムバナジウムアンチモンド)^(注3)において、カゴメ格子では稀有な超伝導^(注4)をはじめ、高温超伝導体と類似する対称性の低下など、特異な性質が次々と明らかになっています。しかしながら、これらの性質が

生じる仕組みは未解明でした。加藤剛臣大学院生、中山耕輔助教、材料科学高等研究所(WPI-AIMR)の佐藤宇史教授ら研究グループは、CsV₃Sb₅の電子構造について放射光を用いた先端分光測定によって調べました。その結果、これまで提案されている超伝導機構のモデルはVの電子だけを考慮したものがほとんどであったのに対して、V電子とSb電子が協力しながら超伝導を実現していることが明らかになりました。この成果は、超伝導機構の解明とより高い温度で超伝導になる物質の設計に重要な指針を与えるものです。本研究成果は、米国物理学会誌Physical Review Lettersのオンライン版2022年11月10日号で公開されました。

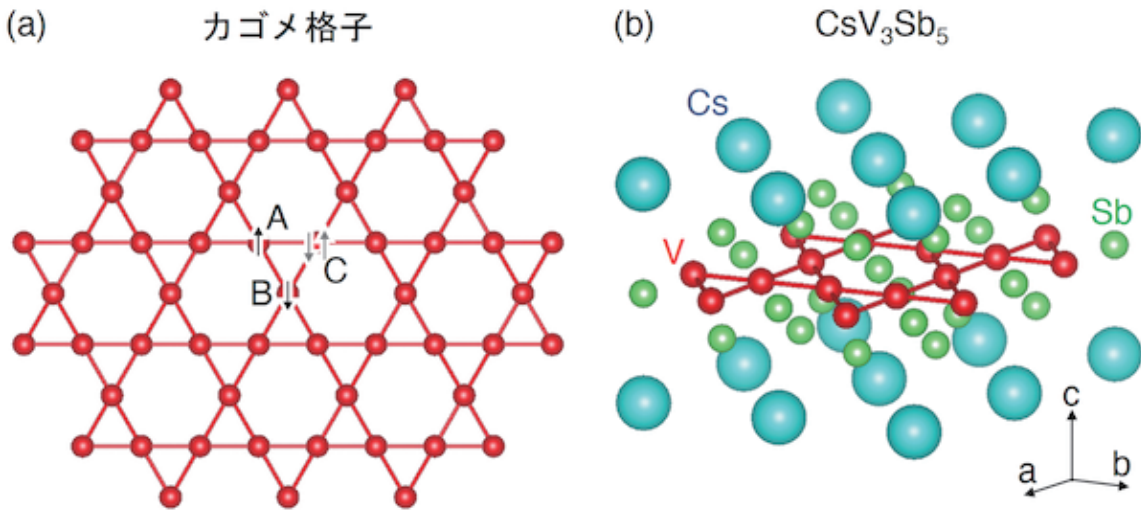


図 (a) カゴメ格子と (b) CsV₃Sb₅の構造の模式図。(a) 中の矢印は、位置A、B、Cにおける電子スピンの向きを表しており、Cでは上向きと下向きのどちらにも定まらない、不安定な状態となる(注2*参照)。

用語解説

(注1) カゴメ格子

竹籠の編み目状に原子が配列した結晶構造のことを指す。カゴメ格子は70年以上前に理論的に提案された構造で、幾何学的対称性と物性の関係が注目されてきた。近年、カゴメ格子を持つ現実の物質がいくつか発見され、特異な物性について実験と理論の両面から盛んに研究が進められている。

(注2) フラストレーション

電子間のスピンを逆向きに揃える相互作用が働くと、正三角形に整列した電子同士のスピンを全て逆向きに揃えることはできない。具体的には、図(a)でA、Bと記した位置にある電子がそれぞれ上向きと下向きのスピンを持つ場合、Cの位置にある電子のスピンは、上向きか下向きのどちらになってもAまたはBの電子スピンの同じ向きになってしまう。このように幾何学的な配置によって不安定な状態が生じることをフラストレーションと呼ぶ。カゴメ格子は正三角形を構成要素としているため、幾何学的フラストレーションの効果が強く現れる。

(注3) CsV₃Sb₅

図(b)に示すように、カゴメ格子を組むV(バナジウム)原子の間にSb(アンチモン)原子が埋め込まれた二次元シートと、Sb原子あるいはCs(セシウム)原子が蜂の巣状に配列した二次元シートが積み重なった層状構造を持つ物質。超伝導に加えて、電荷の秩序や液晶と類似する電子秩序など、興味深い性質が次々と発見されている。

(注4) 超伝導

電気抵抗が低温でゼロになる現象のこと。多くの物質で超伝導が発見されており、そのほとんどは、BCS理論と呼ばれる、電子と格子の相互作用を基礎にしたモデルで理解できる。しかし、高温超伝導などの一部の例外と同様に、カゴメ格子における超伝導は、電子と格子の相互作用だけでは説明できない可能性が指摘されており、詳細なメカニズムの解明が重要な課題となっている。

中性子星の合体で合成されたレアアースを初めて特定



詳細はこちら

天文学専攻 大学院生 土本 菜々恵

宇宙における金やプラチナ、レアアース^(注1)などの起源は天文学・宇宙物理学の長年の未解決問題です。起源天体としては中性子星^(注2)の合体現象が有力視されていましたが、そのような現象で実際にどのような元素が合成されたかは明らかになっていませんでした。土本菜々恵大学院生(日本学術振興会特別研究員)らの研究グループは、中性子星合体からの光のスペクトル^(注3)を解読するため、全ての重元素の性質を網羅的に調べ、国立天文台のスーパー

コンピュータ「アテルイII」^(注4)を用いて詳細な数値シミュレーションを行った結果、ランタンとセリウムという一部のレアアースが、中性子星の合体で実際に観測された赤外線スペクトルの特徴を説明できることを明らかにしました。これは個々のレアアースが中性子星の合体で作られた初めての直接的な証拠であり、宇宙における元素の起源の理解を大きく進めるものです。本研究成果は、2022年10月26日にThe Astrophysical Journal 電子版に掲載されました。

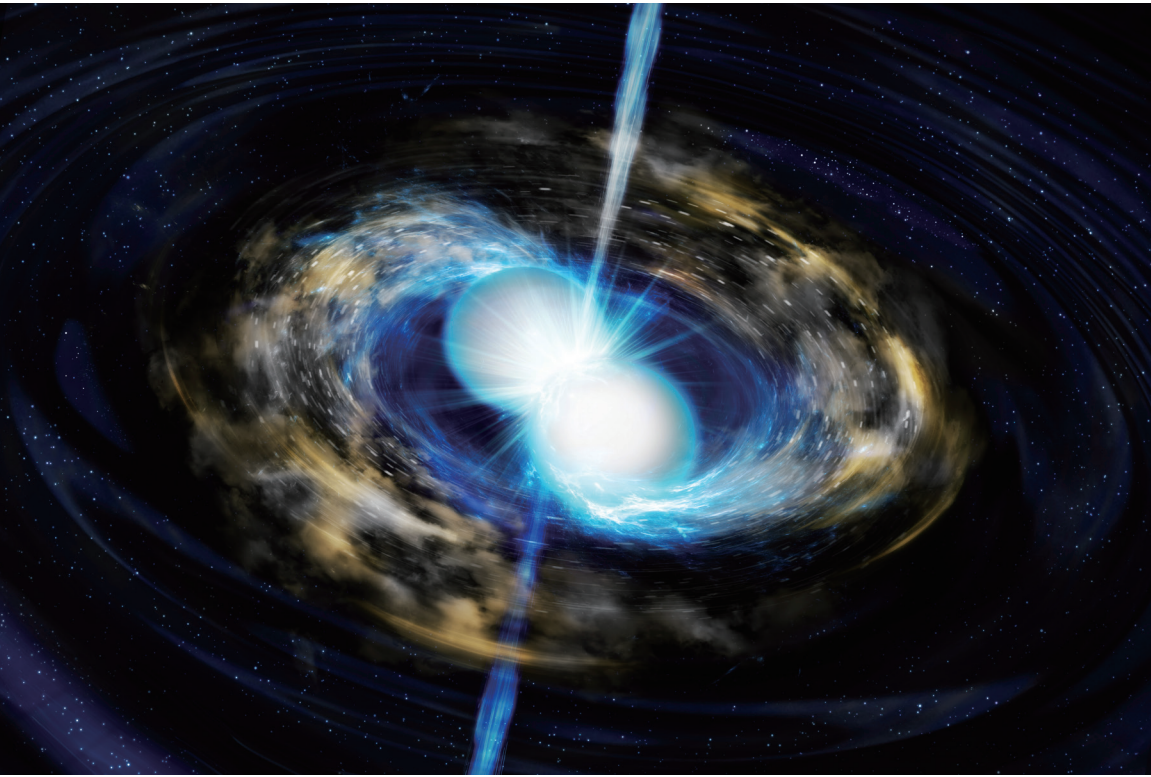


図 中性子星合体と「キロノバ」の想像図。©Tohoku University

宇宙には中性子ばかりでできた中性子星という天体が存在しており、二つの中性子星が組になっていると、重力波^(注5)を放って合体することが知られています。このとき中性子星の一部が宇宙空間に吹き飛ばされると、金やプラチナ、レアアースなどの重元素が作られ、可視光から赤外線にかけて輝く現象「キロノバ」が見られると考えられていました。

用語解説

(注1) レアアース

ランタノイド元素(原子番号57～71番)とスカンジウム(原子番号21番)、イットリウム(原子番号39番)の17元素の総称。希土類元素とも言う。工業的に重要で、例えばランタンやセリウムは光学レンズ、ガラス研磨剤、蛍光体などに用いられている。

(注2) 中性子星

質量の大きい恒星が進化した後に残る天体の一種。半径10 km程度の大きさに地球の約50万倍の質量が詰まっており、非常に密度が高い。

(注3) スペクトル

光の波長ごとの強度分布。元素が特定の波長の光を吸収すると、その波長での光の強度が弱まり、吸収線として観測される。

(注4) アテルイII

国立天文台が運用する、シミュレーション天文学専用のスーパーコンピュータ。岩手県奥州市の国立天文台水沢キャンパスに設置され、2018年6月より稼働を続ける。理論演算性能3.087ペタフロップス(1秒間に約3000兆回の計算を行う能力)は、天文学専用としては世界最速をほこる。今回の研究では、アテルイIIの約400コアを用いて、「キロノバ」のスペクトルの細かい特徴を高速にシミュレーションした。

(注5) 重力波

一般相対性理論によると、中性子星のような高密度な天体の周りでは時空(時間と空間)が歪んでいる。そのような天体が運動することで、歪みが波として宇宙空間に伝播する。

貴金属に富んだ星々は 100 億歳 世界最高解像度天の川銀河シミュレーションに成功



詳細はこちら

天文学専攻 日本学術振興会特別研究員 -CPD（国際競争力強化研究員） 平居 悠

私たちが暮らす太陽系を含む天の川銀河は、宇宙が誕生した 138 億年前の数億年後から形成されてきたとみられています。しかし誕生から形成の過程は謎に満ちており、今でも解明されていないことがたくさんあります。

平居悠研究員らは国立天文台、計算基礎科学連携拠点、神戸大学と共同で、国立天文台の天文学専用スーパーコンピュータ「アテルイ II」を用いて、天の川銀河ができる様子を世界最高解像度でシミュレーションすることに成功しました。その結果、金、プラチナなど鉄より重い貴金属の元素を多く含む星は、100 億年

以上前、天の川銀河の元となった小さい銀河で形成されたことを明らかにしました。また、本シミュレーションで形成された星の元素量、運動は天の川銀河の星の観測と一致しました。今後、国立天文台のすばる望遠鏡^(注1)などでの観測が進むと、貴金属に富んだ星を指標として、長年の謎であった 100 億年以上前の天の川銀河形成史を辿れるようになることが期待されます。

本研究成果は、英国の学術誌 *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*（王立天文学会月報）で、2022 年 11 月 14 日（英国時間）にオンライン公開されました。

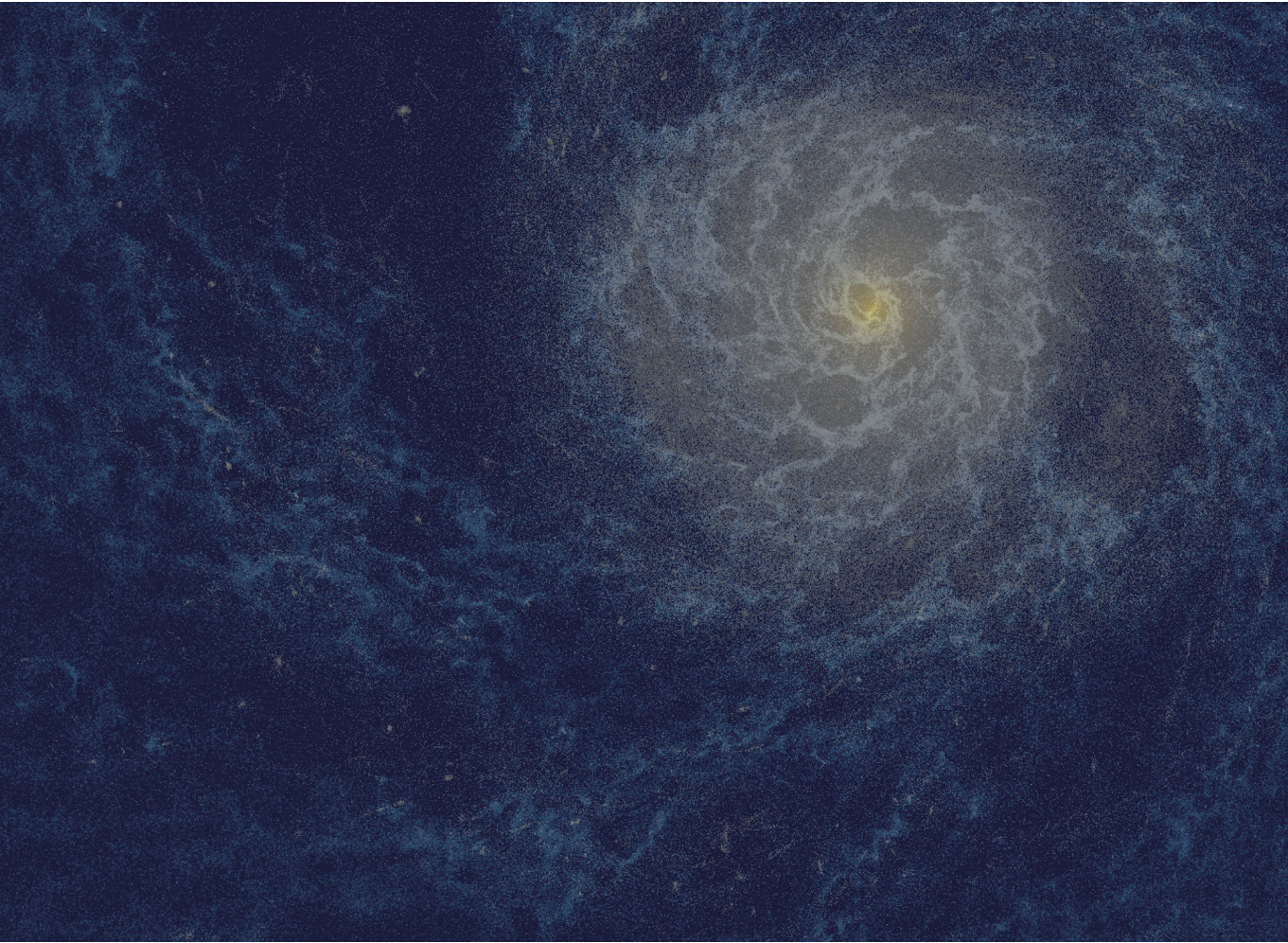


図 本研究で行われた天の川銀河形成シミュレーションによる星とガスの分布。
黄色で描かれているのが星、水色で描かれた粒子がガスを表す。©Yutaka Hirai

用語解説

(注1) すばる望遠鏡
国立天文台がハワイ・マウナケア山頂で運用する、口径 8.2 メートルの光学赤外線望遠鏡。本研究では、すばる望遠鏡に搭載された高分散分光器（High Dispersion Spectrograph, HDS）によって観測された恒星の分光データを用いた。

宇宙の塵の塊の「跳ね返り」が衝突合体による 微惑星形成を阻害する



詳細はこちら

ー 大きくなるとくっつきにくくなる粉状体の衝突挙動を発見 ー

天文学専攻 教授 田中 秀和

国立研究開発法人海洋研究開発機構（理事長 大和 裕幸、以下「JAMSTEC」という。）付加価値情報創生部門 数理科学・先端技術研究開発センターでは、地球・海洋・生命の理解のための大規模数値解析手法の開発を進めており、代表的な数値解析手法である粒子法では、10 億粒子を超える計算を実現するなど、世界最先端レベルの研究開発を行っています。この研究開発の一環として、同センター 計算科学・工学グループの荒川 創太 Young Research Fellow、東北大学大学院理学研究科 田中秀和教授らは、国立天文台の「計算サーバ」^(注1)を用い、惑星の材料物質である固体微粒子の塊について、その衝突挙動を数値シミュレーションによって調べました。様々な大きさの塊について数値シミュレーションを実施した結果、塊が大きい場合に

2 つの塊が衝突合体する確率が低下することを明らかにしました。

「惑星の種」である微惑星^(注2)は、原始惑星系円盤^(注3)において固体微粒子同士が付着による衝突合体を繰り返すことで形成されたと考えられています。しかし、どのような条件の下で 2 つの微粒子の塊が衝突合体するのかという重要な問題が未解明のままでした。本研究の結果は、微粒子の塊が大きくなるにつれて衝突合体しにくくなるため、微粒子同士の衝突合体による成長のみで微惑星を形成することは困難であることを示唆しています。これは惑星形成プロセスを理解する上で重要な知見となります。

本研究成果は、*The Astrophysical Journal Letters* に 2023 年 7 月 6 日付け（日本時間）で掲載されました。

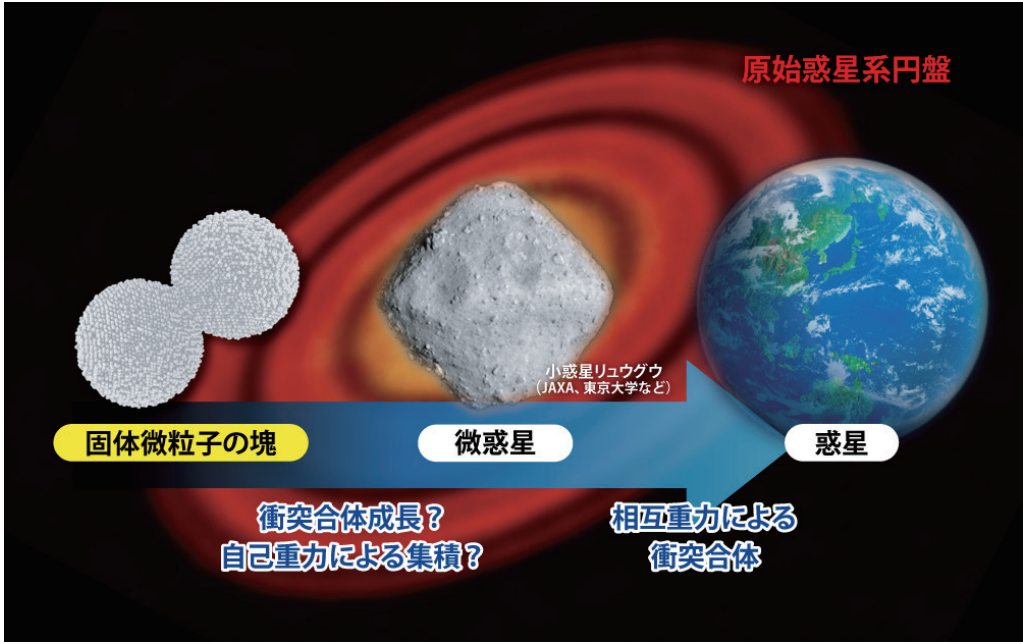


図 原始惑星系円盤中では、マイクロメートルサイズの固体微粒子が衝突合体によって巨視的な塊へと成長し、さらに微惑星と呼ばれる惑星の種の状態を経て惑星へと進化する。微粒子の塊から微惑星へと成長する段階では、衝突合体成長によってそのまま大きくなるという仮説と、原始惑星系円盤中での自己重力による微惑星形成という仮説の 2 つの可能性がある。（クレジット：JAMSTEC）

用語解説

(注1) 計算サーバ
国立天文台天文シミュレーションプロジェクトが運用するコンピュータ・クラスター。小規模・長時間の数値シミュレーションによる研究を支援する目的で運用され、総コア数 2160 で構成される（2023 年 7 月現在）。
<https://www.cfca.nao.ac.jp/about#gppc>

(注2) 微惑星
惑星を形成する材料となったキロメートルサイズの小天体。マイクロメートルサイズの固体微粒子から微惑星が形成され、その後、微惑星が相互重力による衝突合体を繰り返すことで惑星が形成された。

(注3) 原始惑星系円盤
若い恒星の周りに存在する、水素分子等のガスと固体微粒子を含む円盤状の構造。惑星が形成される現場であると考えられている。

ラニーニャの冬は寒くない？

－ 2 年間続くラニーニャから迫る気候予測の新視点－



詳細はこちら

地球物理学専攻 大学院生 西平 楽 / 准教授 杉本 周作

エルニーニョ／ラニーニャ現象^(注1)に代表される熱帯域の大気海洋変動は、地球全体の気候に影響を及ぼすことが知られています。ラニーニャ現象に関してはエルニーニョ現象とは異なり、複数年に渡って継続することがわかってきました。

西平楽大学院生と杉本周作准教授は、観測データと気候シミュレーション実験を駆使し、ラニーニャ現象時における冬季の気候を解析しました。その結果、ラニーニャ現象の1年目の冬では、日本は寒冷化し、2年目では平年並みになることを明らかにしました。しかもこの違いは、熱帯西部太平洋の海面水温に起因することを指摘しました。

本研究の成果は、熱帯西部域の海洋が冬の日本の気候に影響を与えることを表しています。また、従来言われていた「ラニーニャ現象時に日本は寒冬になる」という描像とは異なる発見であり、今後の気候予測の新たな指針を示したといえます。

なお本研究成果は、*Geophysical Research Letters* オンライン版にて 2022 年 4 月 1 日に早期公開されました。

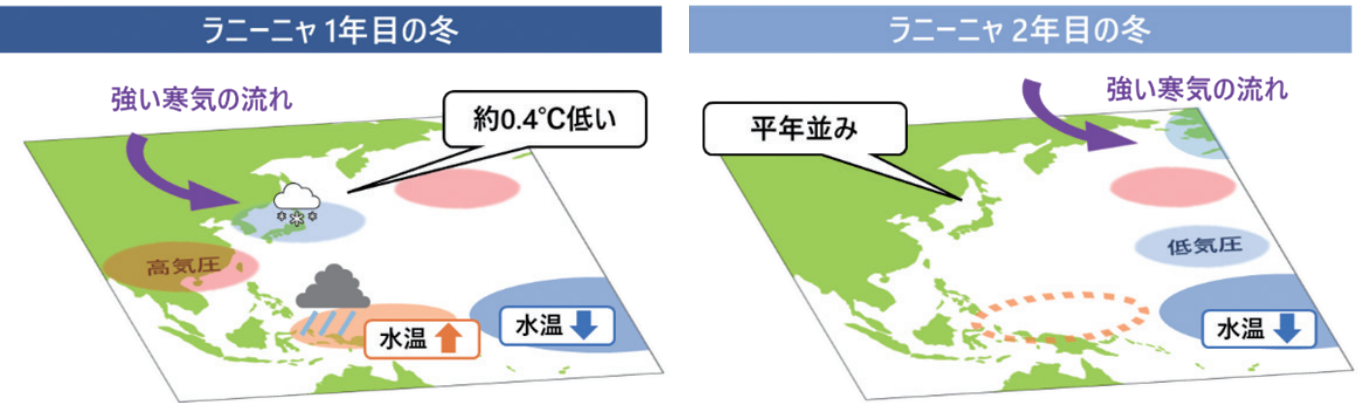


図 ラニーニャ現象の 1 年目と 2 年目の気候パターンの模式図 ©Gaku NISHIHARA

用語解説

(注 1) ラニーニャ現象

熱帯東太平洋で海面水温が平年より低下し、その状態が 1 年程度持続する現象。逆に、海面水温が高い状態が続く現象がエルニーニョ現象で、それぞれ数年おきに発生することが知られている。

ソフトバンク独自基準点のデータを活用する コンソーシアムを設立



詳細はこちら

－ 高密度な GNSS 観測網による新しい地球科学の創成と、研究成果の事業化を目指して－

地球物理学専攻 准教授 太田雄策（地震・噴火予知研究観測センター）

地震や火山活動に伴う地殻変動や、対流圏における水蒸気量などを高い時間・空間分解能^(注1)で把握することは、現象の理解のみならず、それらの現象に関連する自然災害の発生予測を実現する上で非常に重要です。

日本の研究機関では、国土地理院が運用する全国約 1,300 カ所の GNSS^(注2)観測網（電子基準点）のデータを活用し、高い精度で地殻変動場^(注3)や水蒸気量の動態が推定されています。一方、ソフトバンク株式会社（以下、ソフトバンク）は、GNSS の信号を利用した RTK 測位^(注4)により高精度な測位が可能なサービスを提供するための設備として、全国 3,300 カ所以上に独自の GNSS 観測網（独自基準点）を設置しており、ここから得られるデータの地球科学への応用の期待が高まっていました。

こうした背景を受けて、東北大学大学院理学研究科は、ソフトバンクと ALES 株式会社（以下、ALES）の協力の下、2 社およ

び国内の 12 研究機関 18 部局が参画する「ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアム」を設立しました。本コンソーシアムでは、高密度な GNSS 観測網であるソフトバンクの独自基準点から得られるデータを用いて、これまでにない高い時間・空間分解能で地殻変動や水蒸気量、電離圈などの動態を明らかにすることで、地球科学の分野における同社の独自基準点の活用方法を検証します。

本コンソーシアムの活動によって、地球科学に関する幅広い研究が推し進められることで、さまざまな現象の理解が進むだけでなく、自然災害の高精度予測など、防災・減災に大きく貢献することが期待できます。また、ソフトバンクと ALES は、GNSS 観測データや測位技術の提供に加えて、本コンソーシアムでの研究成果に基づき、事業化の検討や産学官連携による防災・減災での利用の提言などを行う予定です。



図 コンソーシアムの構成図

用語解説

(注 1) 時間・空間分解能

現象を観測できる時間・空間方向の能力のこと。

(注 2) GNSS（Global Navigation Satellite System）全地球測位システム

米国の GPS など、上空を周回する人工衛星から送信される電波を利用して、受信点の位置を正確に把握する衛星測位システムの総称。日本政府は国産の QZSS（準天頂衛星）「みちびき」の利用を促進している。地面に固定された受信点であれば、時間間隔をおいて計測することで、その間に生じた地殻変動を 3 次元的に把握することができる。GNSS を使用した研究成果は P17 を参照。

(注 3) 地殻変動場

ある地点や領域の地殻（地面）がどの方向にどの程度動いているかを示したもの。GNSS を用いることで、日ごとやそれよりも短い時間間隔で変動を調べることができる。

(注 4) RTK（Real Time Kinematic）測位

固定局と移動局の二つの受信機を利用し、リアルタイムに 2 点間で情報をやりとりすることで、高精度な測位を可能にする手法のこと。

A型インフルエンザウイルス RNA と結合して 蛍光検出する分子プローブを開発 混ぜて測るウイルス診断を目指して



詳細はこちら

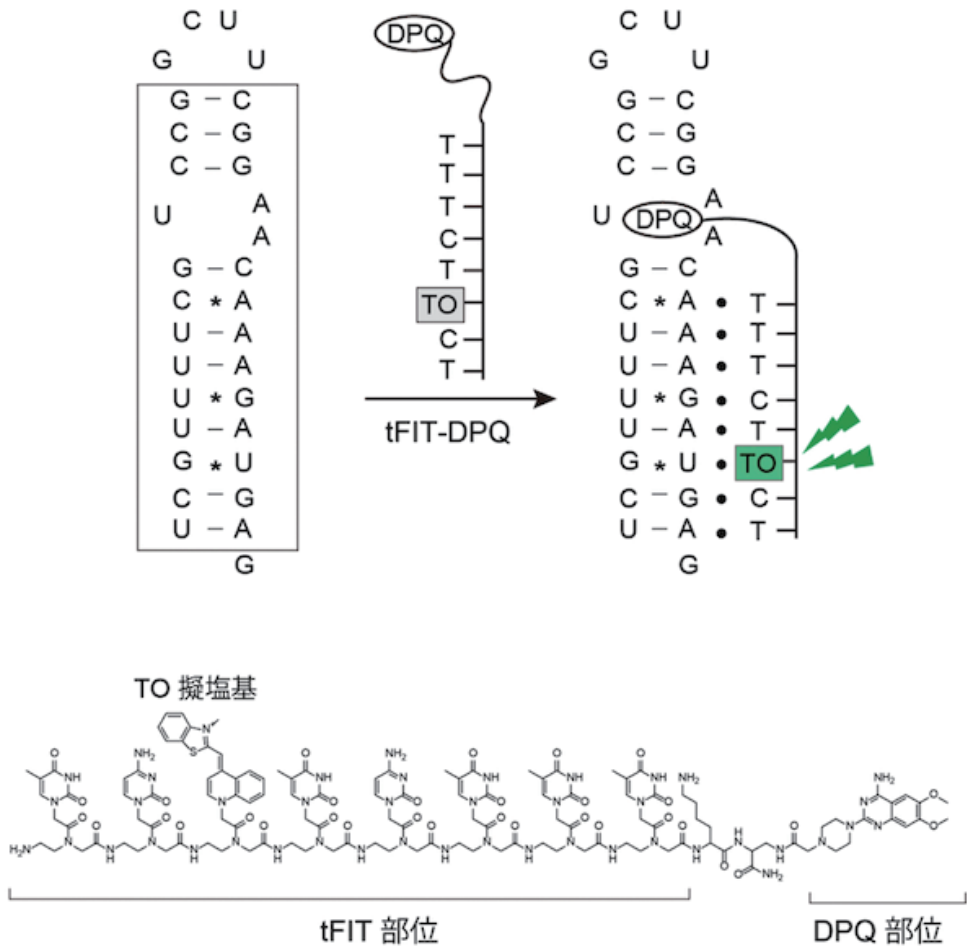
化学専攻 准教授 佐藤 雄介

A型インフルエンザウイルス（以下、IAV）のRNA（注1）プロモーター領域は遺伝子変異による薬剤耐性獲得のリスクが低いため、ウイルス感染診断や抗ウイルス剤開発における重要な標的ですが。

佐藤雄介准教授、西澤精一教授らのグループは、IAV RNA プロモーター領域（注2）に対して、優れた結合能と蛍光応答能を併せ持つ分子プローブ（tFIT-DPQ）の開発に成功しました。tFIT-

DPQ はインフルエンザウイルス感染細胞から抽出した RNA に添加するのみで蛍光応答を示すため、簡便かつ迅速な IAV 診断への応用として期待できます。また、tFIT-DPQ の蛍光応答を利用することで、薬剤探索にも用いることができます。

なお、本研究成果は、2022 年 5 月 23 日（米国東部時間）にアメリカ化学会（ACS）が出版する *Analytical Chemistry* 誌に掲載されました。



図（上）tFIT-DPQ による IAV RNA プロモーター領域への結合・蛍光応答。（下）tFIT-DPQ の構造式。

用語解説

（注1）インフルエンザ RNA

インフルエンザウイルスに含まれる 8 本のゲノム RNA。ウイルスタンパク質をコードする領域を含み、メッセンジャー RNA への転写および相補 RNA への複製のテンプレートとなる。

（注2）プロモーター領域

インフルエンザウイルスが有する RNA 依存 RNA ポリメラーゼが認識する領域。さまざまな変異ウイルスにおいても高度に保存されていることが分かっている。

抗マラリア薬キニーネの超効率的な合成に成功 わずか 5 つの反応容器で医薬品を合成する



詳細はこちら

化学専攻 教授 林 雄二郎

キニーネ（注1）はマラリアの特効薬であり、新規医薬品開発のために効率的かつキニーネ類縁体合成への応用が可能な合成法が望まれています。近年ではキニーネやその誘導体が金属触媒の配位子（注2）や有機触媒（注3）としても注目を集めています。

一方でワンポット反応は一つの反応容器で複数の結合の形成や複雑な分子の合成が可能であり、非常に効率的であると同時に廃棄物を削減する環境調和型合成方法です。林雄二郎教授らの研究グループは 5 つのワンポット反応を用いた、高収率かつ高選択的、最少ポット数でのキニーネの合成を達成しました。

アミノ酸から容易に合成可能な有機触媒を用いることで 5 つの反応をワンポットで行い、良好な収率かつ高い選択性で含窒素六員環化合物を合成しました。その後、4 つのワンポット反応によってキニーネの合成を達成しました。この合成はグラムスケールで行うこともできるため、キニーネ及びその類縁体の合成的供給が可能であり、キニーネの誘導化では合成困難な類縁体を合成することで新規医薬品や有機触媒開発への応用が期待できます。

本研究成果は、*Nature Communications* で、2022 年 12 月 7 日に公開されました。

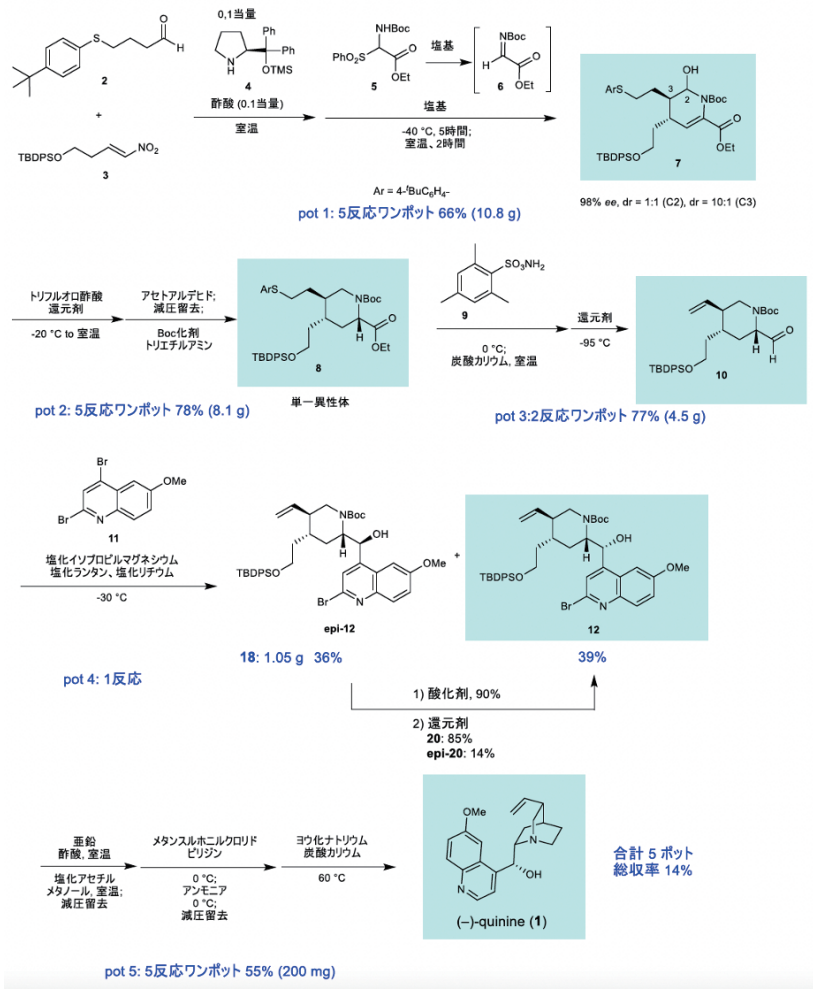


図 有機触媒を用いたキニーネの 5 ポット合成

用語解説

（注1）キニーネ

マラリアの特効薬であり、近年ではキニーネやその誘導体が金属触媒の配位子や有機触媒としても注目を集めている。

（注2）配位子

金属に電子対を供与することで結合し、錯体を形成する化合物のこと。

（注3）有機触媒

金属元素を含まず、炭素、水素、酸素、窒素、硫黄などの元素からなる、反応を促進させる（触媒）効果がある低分子化合物のこと。

小惑星リュウグウの石から太陽系最初期に できた可能性のある物質を発見

—原始太陽系星雲内側で形成し、太陽から遠いリュウグウ母天体まで運ばれたか—

地学専攻 講師 中嶋 大輔

小惑星探査機「はやぶさ2」が地球に持ち帰った近地球軌道小惑星リュウグウ^(注1)の試料にコンドリュール^(注2)様物質とCAI^(注3)が含まれていることが「初期分析チーム」の一つである「石の物質分析チーム」の研究(*)から明らかになっています。本研究はコンドリュール様物質とCAIの詳細な化学組成分析と酸素同位体^(注4)比分析を行いました。

コンドリュール様物質はカンラン石に富む初生コンドリュールと考えられている物質と鉱物学的に類似しており、太陽近傍で形成したものと現在の小惑星帯領域で形成したものに分けられることが分かりました。CAIは、太陽系最古のCAIと同じくらい古く、太陽近傍で形成したと考えられます。コンドリュール様物質とCAIは共に直径30μm以下と小さいことから、原始太陽系星雲^(注5)内側領域で形成したこれらの固体粒子のなかでも特に小さいもの

が選択的に太陽から遠く離れたリュウグウ母天体^(注6)集積領域まで運ばれたと考えられます。コンドリュール様物質やCAIのような固体粒子がどのようにして太陽系遠方まで運ばれたのか、未だ明確な答えは出ていません。これを明らかにすべく、リュウグウ試料中のコンドリュール様物質とCAIの分析を更に進めます。

本研究成果は、英国ネイチャー・パブリッシング・グループ(NPG) 発刊の国際学術雑誌 *Nature Communications* に、2023年2月16日(木)19時(日本時間)のオンライン版で公開されました。また、本研究成果は同誌の天文学・惑星科学分野での featured article に選出されました。

(*) <https://www.sci.tohoku.ac.jp/news/20220926-12281.html>



詳細はこちら

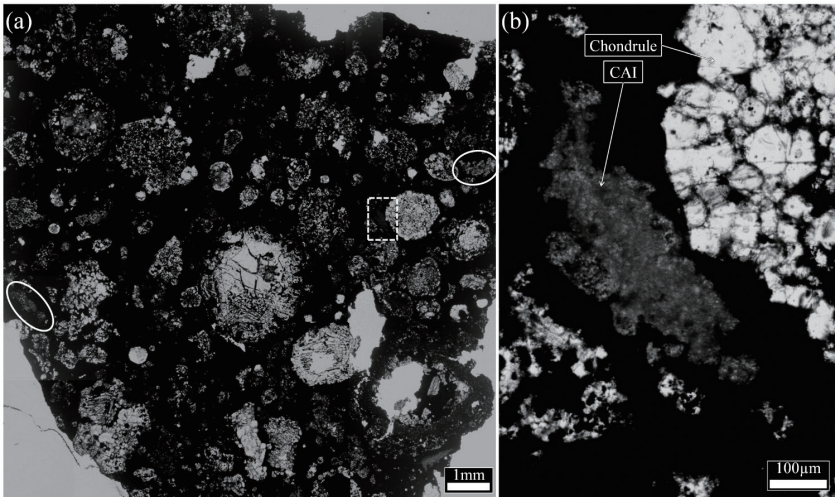


図 (a) 炭素質コンドライト隕石薄片の光学顕微鏡写真。破線の領域の拡大写真を(b)に示す。楕円形を示す明るい物質(破片になったものも含む)がコンドリュール(Chondrule)、実線で囲った不規則形の物質がCAI、暗い領域が細粒の物質からなるマトリックス。

用語解説

(注1) 小惑星リュウグウ

小惑星は、主に火星と木星の間で太陽の周りを公転する天体のうち、惑星と準惑星およびそれらの衛星を除く小天体で、約50万個あると推定されている。リュウグウは「C(炭素質)型小惑星」というグループの分類される小惑星の1つで、小惑星探査機「はやぶさ2」が2020年12月にここの試料を持ち帰った。

(注2) コンドリュール

小惑星起源の隕石に多く含まれている球状、またはそれに近い形態の粒子である。原始太陽系星雲内部で1000℃以上の加熱の後、急速に冷却されたことによってできたと考えられている。カンラン石と金属鉄からなる物質を出発物質とし、細粒な塵が付着して加熱・溶融を繰り返すことで作られたという説がある。

(注3) CaとAlに富む包有物(CAI)

太陽系で最古の難揮発性鉱物からなる固体粒子。太陽系形成期に太陽近くの高温のガスから凝縮してできたと考えられている。

(注4) 酸素同位体比

安定同位体16O、17O、18Oの個数比。16Oを分母に取った比の地球海水の値からのずれを千分率で表したものをδ値と呼ぶ。隕石種とその構成物質ごとに異なる値を取るため、未知の地球外試料の起源を同定することに用いられる。

(注5) 原始太陽系星雲

45億6700万年前に誕生した直後の太陽系に存在していたと考えられる太陽を取り巻くガス円盤。現在の太陽系には存在せず、太陽系形成期の早い段階で消失したと考えられている。

(注6) リュウグウ母天体

誕生時のリュウグウ。直径はおおよそ100km程度であったと考えられる。この母天体が破壊されて現在のリュウグウになった。

巨大地震後の地盤変動を解析する新手法を開発 GNSS観測データから東北地方太平洋沖地震後10年後の 地盤変動を従来技術の約10分の1の高精度で予測

地学専攻 教授 武藤 潤

2011年の東北地方太平洋沖地震(以下、東北沖地震)から10年が経過した現在も、東北地方では活発な地殻変動が続いており、沿岸部の漁港などで実際に生活への影響が出ていることが問題となっています。地殻変動は全地球測位衛星システム(以下GNSS)^(注1)により記録されていますが、従来の解析手法は計算コストが高く、地盤の高さを予測すると実測値と10センチメートル(年平均1センチメートル)程度異なるという不確かさがありました。

ダル サムブダ特任助教と武藤潤教授は、2011年東北沖地震後の複雑な地盤変動を解析する革新的手法を開発しました。従来の複雑な力学モデルに代わり、GNSS観測の時系列データを関数モデルで調整することで、地震発生から10年後の地盤変動に

ついても観測と予測との誤差を1センチメートル(年平均1ミリメートル)以下に抑えた精度で予測することができます。

最低2年間の連続GNSS時系列データを用いて、最小限の計算リソースで地震後の地盤の動きが予測でき、それを引き起こす上部マントルの流動とプレート境界断層の「ゆっくりすべり」を検出できます。

今後、GNSS連続記録が得られる他地域にも適用可能で、巨大地震後の地盤変動解析や津波防災に大きく貢献することが期待されています。

本研究成果は、2023年5月3日に科学誌 *Geophysical Research Letters* に掲載されました。

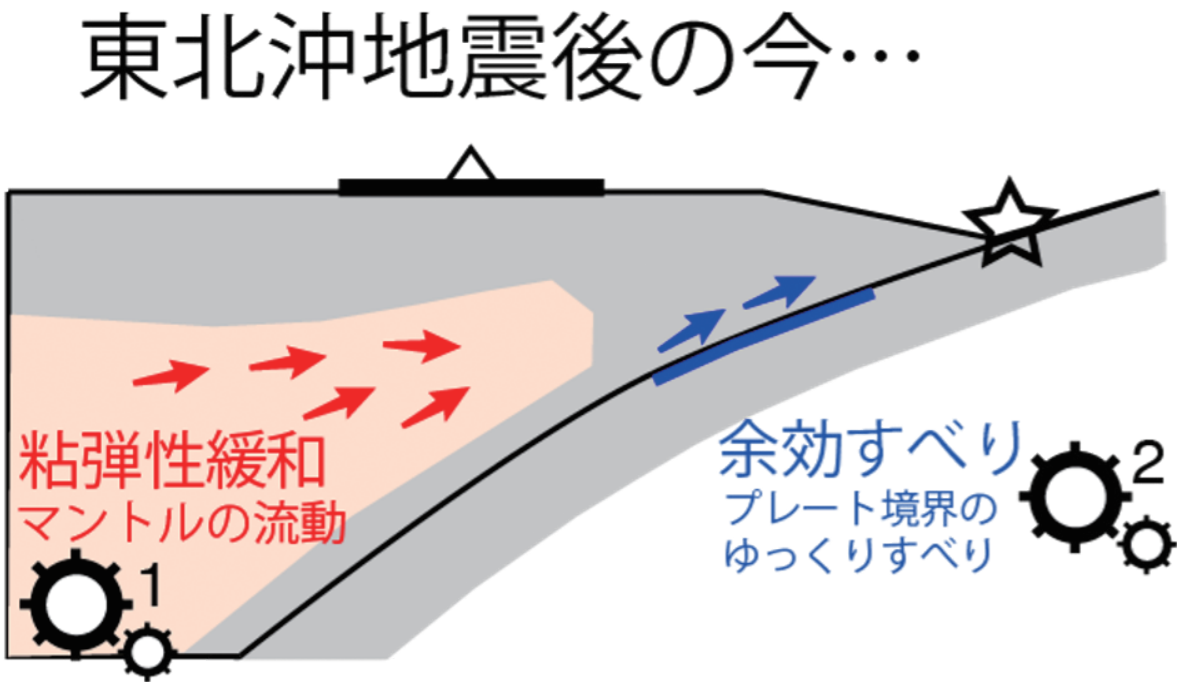


図 余効変動(大地震後の地盤変動)のメカニズムを説明した図
大地震後には、プレート境界面でのゆっくりすべりである余効すべりと周辺のマントルの流動による粘弾性緩和が起こる。

用語解説

(注1) 全地球測位衛星システム(GNSS)

人工衛星を使って地球上のあらゆる場所の位置を正確に知ることのできるシステム。
参考:P13



詳細はこちら

オスメダカは初めての性的パートナーと「相思相愛」の関係を築く



詳細はこちら

大学院生命科学研究科（理学部生物学科） 教授 竹内 秀明

オスメスも複数個体と配偶する乱婚制の動物種においては、オスは過去に配偶した「馴染みのメス」に対して特別な性的好みを持たないと考えられています。メダカにおいてもオスは「馴染みのメス」に対する好みは持っておらず、性経験は異性の好みに影響を与えないと考えられていました。

生命科学研究科の大門将寛（博士後期課程学生）と竹内秀明教授（理学部生物学科兼任）らのグループは、性経験のないオスメ

ダカが同じメスと数回の性経験をすると、オスは初めてのパートナーを記憶し、オスとメスの両者において性的動機が上昇することを発見しました。また、オスの脳では数回の性経験によって甲状腺ホルモン関連遺伝子群の発現が上昇したことから、甲状腺ホルモンが性経験依存の行動変容に関与することが予想されます。

本研究成果は2022年11月16日に *Scientific Reports* 誌に掲載されました。

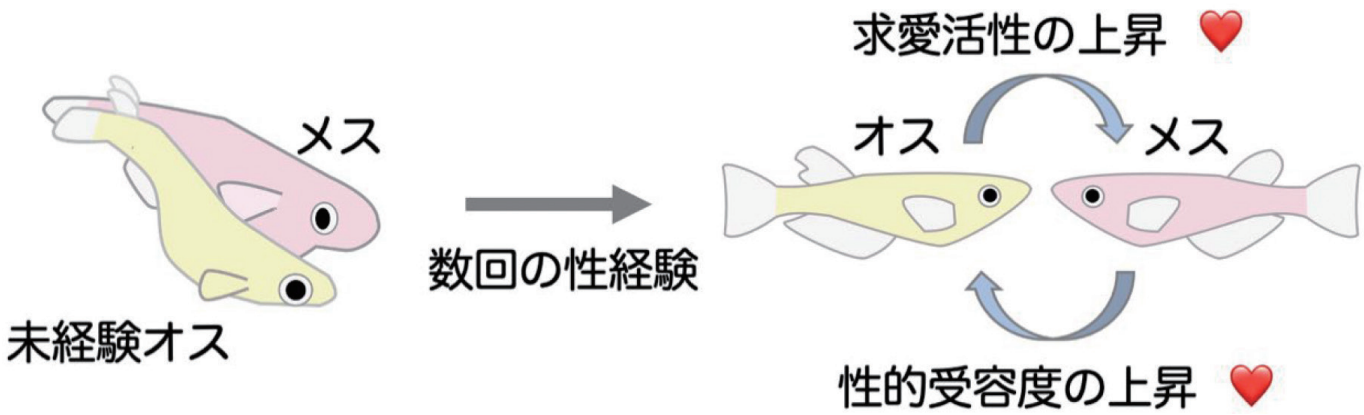


図 未経験オスメダカと初めての性的パートナーとの関係
未経験オスは同じメスと数回、性行動すると、初めての性的パートナーを記憶・識別して素早く求愛をするようになる。一方で、メスも未経験オスの求愛を素早く受け入れるようになる。未経験オスと初めての性的パートナーという「特定のペア間」でのみ観察された。この現象をわかりやすく伝えるためにここでは「相思相愛」と表現した。

クライマーと生態学者が連携し 全国 90 地点の環境 DNA 調査を実施



詳細はこちら

— 「山の人×科学者」で山岳域の健康状態を見守るプロジェクトの始動 —

大学院生命科学研究科（理学部生物学科） 教授 近藤 倫生

環境 DNA ^(注1) を利用した生物多様性観測ネットワーク「ANEMONE（アネモネ）^(注2)」を主催する、東北大学大学院生命科学研究科の近藤倫生教授（理学部生物学科兼任）と宮城県山岳連盟、特定非営利活動法人ファーストアッ

セントジャパン の3者は、2023年5月1日より環境DNAを利用した山岳域での生物多様性調査を実施し調査結果を公開します。山岳域の環境DNA調査ビッグデータの構築、およびオープンデータとしての一般公開は世界初 ^(注3) の試みです。



図 1A:本調査に先立って行われた宮城県加美町の溪流での環境DNA 予備調査の様子。



図 1B:過酷な環境でも調査できることを確認するため、氷渡（しがわたり）探検洞（岩手県下閉伊郡）の地底湖にて予備調査を実施。（写真はむらかみみちこ氏による採水の様子）

用語解説

（注1）環境 DNA

水中や土壌中など環境中に存在する生物由来の DNA（デオキシリボ核酸）を指す。生物はフンや粘液などと一緒になら DNA の痕跡を環境中に残す。野外で採取した水や土壌などから生物由来 DNA を抽出、分析することでそこに住む生物の種類を知る技術（環境 DNA 技術）が近年になって大きく発展した。捕獲や直接観察に頼る従来の生物調査法に比べて、調査現場での作業が圧倒的に少ないことから、従来の調査法では容易ではなかった多地点、高頻度での生物調査を実現する画期的な方法として注目されている。

（注2）ANEMONE（All Nippon eDNA Monitoring Network）

環境 DNA を利用した生物多様性観測のネットワーク。環境 DNA の主要技術を生んだ大型プロジェクト研究「環境 DNA 分析に基づく魚類群集の定量モニタリングと生態系評価手法の開発（近藤倫生 代表；JST CREST 制度による）」において2017年より実施された全国沿岸での環境 DNA 調査を前身とし、2019 年からは東北大学・筑波大学・かずさ DNA 研究所が中心となって、全国の大学や国立研究所、行政機関、市民ボランティアの協力のもと日本全国の沿岸や河川、湖沼等をカバーする環境 DNA 調査を実施している。77 の観測ステーションでの定期観測に加えて、2020 年からは市民ボランティアや民間企業による調査も実施されている。

（注3）近藤教授および ANEMONE 関係者の調査による。

東北大学理学部の研究力

編集・発行

東北大学理学部・理学研究科

〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3

TEL: 022-795-6708

E-mail: sci-pr@mail.sci.tohoku.ac.jp

Web: <https://www.sci.tohoku.ac.jp/>

2023 年 8 月発行

冊子内の職階・所属表記は研究成果発信時のものになります。

東北大学
理学部 Web

