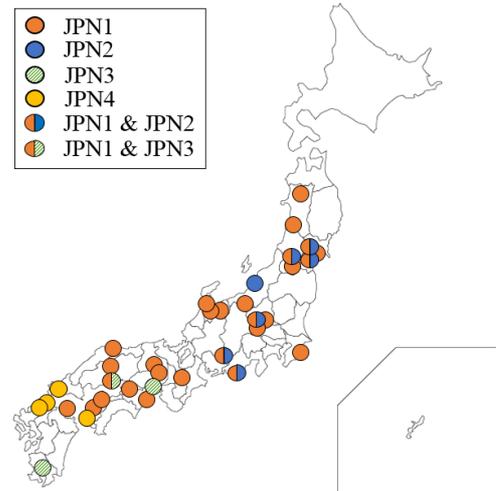


日本産ミジンコ 2 種の種間・種内競争能力と地理的分布

○丸岡 奈津美・占部 城太郎

東北大学大学院生命科学研究科

ミジンコ (*Daphnia*) 属は湖沼生態系における鍵となる生物である。これまで日本では 10 種以上のミジンコ属が記録されているが、そのうち平地湖沼で最もよく見られるのは、北米から侵入した *Daphnia pulex* (和名: ミジンコ) である。一般的にミジンコ属は、単為生殖と有性生殖を使い分ける循環単為生殖型の生活環であるが、So et al. (2015) によると、日本の *D. pulex* は有性生殖を行わない絶対単為生殖型であり、異なる遺伝子型は、交雑しない独立したクローン個体群を維持している。日本の *D. pulex* は、4 クローン系統の集団 (JPN1-4) が確認されており、これらの分布は日本において一様ではない。図に示すように、JPN1 は北海道と沖縄を除く日本列島全体に分布しているが、JPN2 は主に東日本、JPN3,4 は西日本の限られた湖沼のみに分布している。



D. pulex の日本における分布

これに対して、日本の平地湖沼には、*D. pulex* と形態的に近似しているが遺伝的に異なる種も見られる。このうちの 1 種である *Daphnia mitsukuri* はおよそ 120 年前に日本で原記載されているが、現在では日本での出現は極めて稀である。このことから、*D. mitsukuri* はかつて日本の平地湖沼で頻繁に見られたが、現在では侵入種である *D. pulex* に競争的に排除された可能性が考えられる。ミジンコ属は藻類を共通の餌としているため、餌を巡る競争が顕在化しやすい。また、競争能力の指標となる、成長に必要な閾値餌濃度: TFC (Threshold food concentration) は種間のみならず種内でも異なることが報告されている。これらのことから、*D. pulex* の種内及び、*D. pulex* と *D. mitsukuri* の種間では競争能力に差があり、競争能力が優れているほど、広範囲に分布できているとの仮説を立てた。さらに、競争能力の優劣が水温の変化に伴って逆転するとの研究も報告されているため、4 つの異なる温度条件を設定し、競争能力を比較した。

その結果、種間及び種内で競争能力に差があることが示され、一部のクローン系統では競争能力の優劣が水温によって変化した。*D. mitsukuri* は、*D. pulex* のどのクローンよりも競争に劣位であり、いかなる温度でもその優劣は逆転せず、仮説の通り、*D. pulex* に競争的に駆逐された可能性が支持された。しかし、*D. pulex* のクローン系統間の競争能力の違いは、分布の違いを完全に説明することはできず、他の形質の違いや捕食者に対する応答の違いなどが関わっているのではないかと考えられる。

【参考文献】 So et al. (2015) Limnol. Oceanogr. 60: 1129-1138

Scanning tunneling Microscopy study of Electronic and Spin states of Single molecule magnet

○Islam Saiful¹, S.M.F. Shahed², Tadahiro Komeda², Keiichi Katoh¹ and Masahiro Yamashita^{1, 3,4},

¹*Department of Chemistry, Graduate School of Science, Tohoku University, Japan*

²*IMRAM, Tagen, Tohoku University, Japan*

³*School of Materials Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300350, China*

⁴*WPI Research Center, Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, 2-1-1 Katahira, Aoba-Ku, Sendai 980-8577, Japan*

Single molecule magnets (SMM) represent a class of compounds in which a single molecule behaves as a magnet. The reported blocking temperature, below which a single SMM molecule works as a quantum magnet, has been increasing with the development in the molecular design and synthesis techniques of multiple-decker Pc complex. Cerium intermetallics have raised a lot of interest for the past forty years thanks to their very unusual and interesting electronic and magnetic properties. This can be explained by the peculiar electronic configuration of Ce ($4f^1$) that allows different oxidation states leading to singular behavior such as quantum phase transitions, heavy-fermion behavior and the Kondo effect. Scanning tunneling microscopy (STM) and scanning tunneling spectroscopy (STS) have played an important role in the characterization of the molecule film and its interface with the metal surface. In this work, we deposited double decker cerium phthalocyanine molecule (CePc₂) on Au (111) substrate. We clearly found eight lobes and Kondo resonance on center and lobes. It forms two-dimensional lattice.

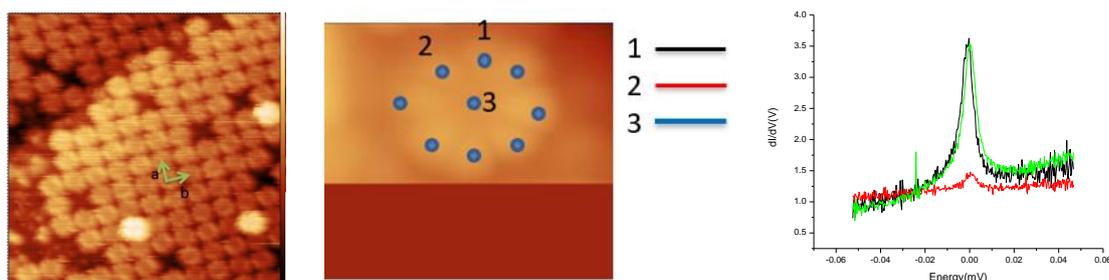


Figure 1: (i) STM image of the double-decker CePc₂ molecule (ii) dI/dV spectra position in a CePc₂ molecule (iii) Corresponding dI/dV spectra.

References

[1] Komeda, T. et al. Progress in surface science, 127 (2014)

格子量子色力学に基づくクォーク間ポテンシャルの研究

○野地和希¹・河内太一²・佐々木勝一¹

¹ 東北大学大学院理学研究科物理学専攻

² ユーリッヒ研究センター

ハドロンと呼ばれる陽子や中性子の仲間が数多く発見されている。その多様性から、素粒子論の見地に基づくハドロンには更なる内部構造が存在すると予測され、実際にハドロンはクォークと呼ばれる素粒子から構成されることが確かめられた。したがって、ハドロン構造の理解や新ハドロンの予言には、クォーク自由度に基づく解析が非常に重要である。

クォークとその相互作用を担うグルーオンの動力学は、量子色力学 (QCD) によって定式化される。しかしながら、クォーク間の相互作用が強いために QCD を解析的に解くことは困難であり、ハドロンの研究では模型計算が幅広く行われてきた。模型計算ではポテンシャルとクォーク質量をインプットとしたシュレディンガー方程式を解くことによって、励起状態までの多様なハドロンを構築することができる。

一方で、近年、格子上で定義された QCD を数値的に解く方法が提唱された。それが QCD 唯一の確立された第一原理計算である格子量子色力学 (格子 QCD) である。格子 QCD はエネルギーが低いハドロンの基底状態の解析に対して比類なき力を発揮するが、ハドロンの励起状態の解析は系統誤差や統計誤差の問題から困難となっている。そのため、励起状態の解析にはまだ模型を介在する余地は残されている。

以上の背景のもとで我々は、構成子として良く確立した重いクォーク間の相互作用を、格子 QCD で得られる二体の分布関数からポテンシャルの形で評価する。先行研究 [1] では、クォーク間ポテンシャルの中で中心力に対応する部分の解析が進められ、ポテンシャルのみならずクォーク質量までも格子 QCD で決定されることが確認された。本研究では非中心力のポテンシャルまで本手法を拡張し、テンソルポテンシャルの導出に成功 (図. 1) した。したがってこの研究は、クォーク自由度での第一原理計算に基づいたハドロン構造ならびに新ハドロンの予言法をより一歩進める研究となっている。

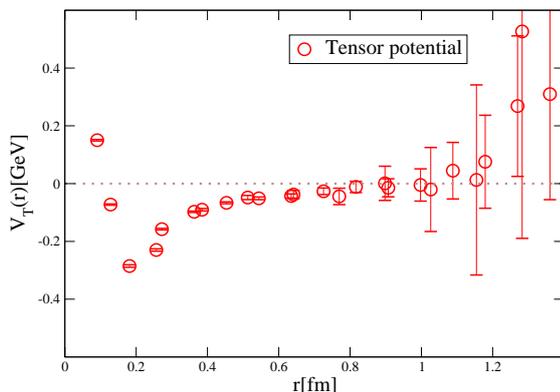


図 1: 格子 QCD 計算から得られたテンソルポテンシャル。相対距離が充分小さい領域では斥力的で、中間的な距離では小さな引力相互作用が見取れる。遠方ではゼロに漸近しており、ポテンシャルとして適切である。

参考文献

- [1] T. Kawanai and S. Sasaki, Potential description of charmonium and charmed-strange mesons from lattice QCD, Phys. Rev. **D92**, 094503 (2015).

青色水平分枝星を用いた銀河系ハロー構造の解明

福島 徹也¹・千葉 柁司¹・田中 幹人²・林 航平³・本間 大輔⁴・岡本 桜子⁴・小宮山 豊^{4,5}・
田中 賢幸⁴・有本 信雄⁷・松野 允郁⁴

¹ 東北大学理学研究科天文学専攻, ² 法政大学理工学部創生科学学科, ³ 東京大学宇宙線研究所, ⁴ 総合研究大学院大学, ⁵ 国立天文台, ⁶ 国立天文台すばる望遠鏡, ⁷ Astronomy Program, Department of Physics and Astronomy, Seoul National University

我々の住む太陽系は、銀河系(または天の川銀河)と呼ばれる銀河に所属している。銀河系は内側からバルジ、円盤、ハローと呼ばれる要素で構成されていると考えられている(図1:左)。この中でもハローには古い星が多く、銀河系形成時の動力学情報を保存していることから、これらの星の空間分布・力学情報を得ることは銀河がどのようにできたかを理解する上で非常に重要である。本研究では、すばる望遠鏡の超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) を用いた戦略枠プログラムのデータを使用する。そこから選択された青色水平分枝星(BHB)を用いて、今まで明らかになっていなかった銀河系の全体に及ぶ広範囲の銀河系ハローの構造を明らかにするのが目標である。BHBは絶対等級が明るいことと距離の評価が容易であることからハローの優れたトレーサーである。しかし、BHBのみを選択することが難しいという欠点がある。本研究では、従来の手法よりも正確にBHBと他の成分を切り分けることができる新しい方法を考えた。さらに、選択されたBHBの空間分布(図1:右)を詳細に調べた。

ハローの構造はよく動径方向にべき乗(べき α)の形を持つ密度分布でフィッティングされる。本研究では1つのべきで表されるsingle power-lawのほかに、ある半径(r_{eb})でべきが変化するbroken power-lawを採用した。先行研究より、これらのパラメータは銀河系の形成と深く関係していることが知られている。今回はこれらのフィッティングの結果に加えて、シミュレーションとの比較により銀河系の形成に関する考察についても述べる予定である。

参考文献

[Deason et al.(2014)] Deason, A. J., Belokurov, V., Koposov, S. E., & Rockosi, C. M. 2014, ApJ, 787, 30

[Fukushima et al.(2018)] Fukushima, T., Chiba, M., Homma, D., et al. 2018, PASJ, 70, 69

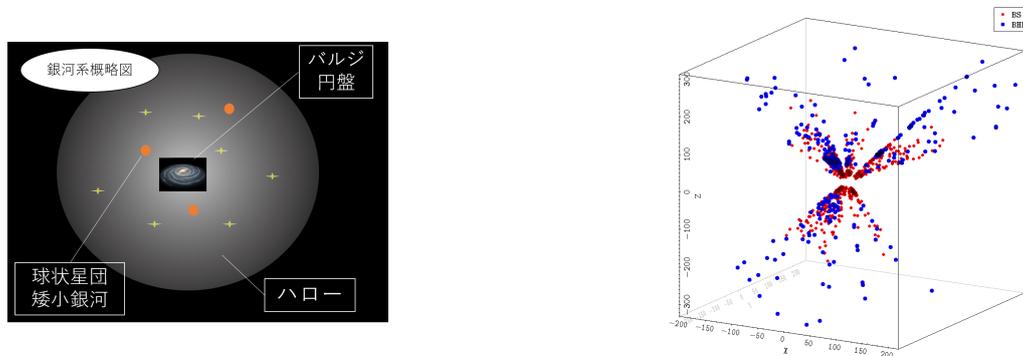
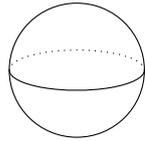


図1: (左図) 銀河系の模式図。(右図) BHBの空間分布。太陽は $(x, y, z) = (8.5, 0, 0)$ に位置し、中心は銀河中心、銀河円盤は $x-y$ 平面となっている。

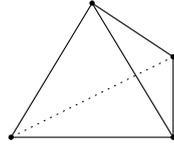
測度距離空間の集中について

数川大輔 (東北大学大学院理学研究科数学専攻)

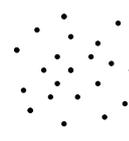
測度距離空間とは、標準的に微分積分ができる滑らかな図形 (リーマン多様体) から、尖った点を持つ空間や離散的な空間を許容するように一般化された空間の概念である。任意の2点間の距離が適切に定まり、任意の (Borel) 部分集合の体積 (= 測度) が適切に定まっていれば、すべて測度距離空間である。近年、この滑らかとは限らない空間の幾何や解析が流行っている。



滑らかな図形 (球面)



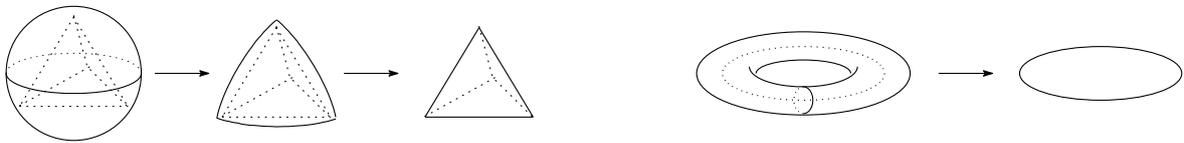
尖った点を持つ図形 (四面体)



離散的な空間 (点データ)

滑らかでない空間では、滑らかな空間で古典的に行われてきた微積分による解析をそのまま行うのは難しい。特に関数の微分を定義すること自体容易なことではない。滑らかとは限らない空間の幾何や解析をどのように調べていけば良いだろうか？1980年代に Gromov や深谷によって考案された1つのアイデアとして、“空間の近さ”を定義して、滑らかとは限らない空間を滑らかなよく分かっている空間で近似することで、滑らかとは限らない空間を調べるといふものがある。この革新的な考え方は、現在では様々な広がりを見せ、空間の収束 (変形) 理論や“空間の社会学”と呼ばれる新たな分野を打ち立てた。

ここで言う“空間の近さ”の代表的な例として Gromov-Hausdorff 距離という距離がある。この距離に関する収束 (変形) を Gromov-Hausdorff 収束という。次のような2つの例がある。



左の例は、四面体を直前まで滑らかな図形で近似している様子である。右の例は、浮き輪 (トーラス) の空気が抜けて真ん中の円までしばむような変形である。右の例は極限も滑らかな図形だが、よく見ると次元が2次元から1次元に突然変わっている“大胆な”変形である。このような変形の下で、空間の曲がり具合 (幾何) や方程式の解 (解析) が保たれるかなどを研究し、空間の性質を調べていくのである。

測度距離空間の集中とは、Gromov-Hausdorff 収束よりも弱い収束の概念である。例えば、 n 次元の単位球面 S^n の次元 n を無限に大きくしていくと、どのような空間にたどり着くだろうか？実は Gromov-Hausdorff 収束では空間列 S^n は収束しない。Gromov は測度集中現象という現象に基づいて、空間の“弱い”変形の仕方 (集中) を定めることで適切にこの極限を定めた。実は、 n 次元の単位球面 S^n の集中という変形での極限は1点からなる空間である。つまり、球面は次元を上げていくとある種の“突然退化する”ような性質を持つことをこの収束は示唆している。

本講演の最後に次の研究結果を紹介する。

定理 1 (数川). 測度距離空間の列 $\{X_n\}_{n=1}^{\infty}$ が測度距離空間 X に集中するとする (集中という変形で $n \rightarrow \infty$ で極限空間 X に収束する). また同様に測度距離空間の列 $\{Y_n\}_{n=1}^{\infty}$ が測度距離空間 Y に集中するとする. このとき、積空間の列 $\{X_n \times Y_n\}_{n=1}^{\infty}$ は極限の積空間 $X \times Y$ に集中する.

参考文献

- [1] M. Gromov, *Metric structures for Riemannian and non-Riemannian spaces*, Reprint of the 2001 English edition, Birkhäuser Boston, Inc., Boston, MA, 2007.
- [2] T. Shioya, *Metric measure geometry*, EMS Publishing House, Zürich, 2016.

炭素質隕石の分光特性に基づく 始原小惑星表層物質の推定と形成進化過程の制約

○天野香菜¹・茂木郁¹・中村智樹¹・松岡萌¹・古川義博¹・奥村聡¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻

太陽系は46億年前に誕生し、原始惑星円盤中の塵やガスが集積し、互いに衝突・合体を繰り返して惑星へ進化したと考えられている [1]。一方で、惑星のような大きな天体へ成長することを免れた小惑星や彗星などの微小天体は、内部の溶融・分化を経験しないまま現在まで生き残り、太陽系の初期進化過程を鉱物学的・化学的に記録しているとされる。特に、太陽系の比較的外側にある水の凝縮温度よりも低い温度領域では、内部に水氷を含む微小天体が形成された。地球上で入手される炭素質隕石は、このような含水微小天体の生き残りであるCおよびD型小惑星や彗星を母天体とすると考えられており、この親子関係は両者の反射スペクトル測定から明らかとなった。この分光学的な類似性を利用して実験室で得られる炭素質隕石の反射スペクトルと小惑星の観測結果を比較し、小惑星の鉱物学的・化学的な情報を読み解く試みがなされている。現在進行中のはやぶさ2、OSIRIS-RExなどのC型小惑星の試料回収計画においても、ターゲット小惑星表層物質の推定に可視・近赤外の反射スペクトルデータが用いられている [2]。たとえば含水鉱物に起因して反射スペクトルにあらわれる3 μ m吸収帯では、その深さやピーク位置から鉱物組成を読み取ることができ、そこから対象の経験加熱温度を見積もることができる。

このように地上で詳細に分析した炭素質隕石の鉱物学的・化学的な証拠と反射スペクトルを紐づけることにより、それらに基づいて小惑星の反射スペクトルを解釈し、その表層物質を明らかにすることが本研究の目的である。そして鉱物組成などに基づいて小惑星の経験加熱温度を見積もること、ひいてはCおよびD型小惑星の表層物質進化過程の解明を計画している。

本研究では、異なる3つの含水炭素質隕石を様々な温度段階で実験的に加熱し、それぞれの鉱物学的・化学的・分光学的な変化を調べた。先行研究における同様の加熱実験例 [3] では、隕石に吸着した地球大気の水の影響が3 μ m吸収帯に強くあらわれており、その影響のない小惑星の観測データと直接比較するには適していなかった。本研究では真空下で加熱した試料を大気にさらすことなく分析することにより、地球大気の水の影響を取り除いた隕石の反射スペクトルと水分量の測定に成功した。その結果、3つの炭素質隕石の3 μ m吸収帯はそれぞれの鉱物組成やそれらの含有量を反映した固有の形状を持つこと、また加熱によって含水鉱物の分解が進み、3 μ m吸収帯が小さくなる変化が確認された。また、3つの炭素質隕石の含水量と3 μ m吸収帯の深さにはひとつの強い相関関係があることが明らかとなった。本実験で用いた隕石はCおよびD型小惑星から飛来したとされる炭素質隕石の異なるサブグループの試料であり、この結果は多くの含水小惑星に適用可能である。

参考文献

- [1] T. Montmerle et al. 2006. EMAS, 98, 1-4, 39-95.
- [2] M. Matsuoka et al. 2018. The 50th DPS meeting, id.411.08.
- [3] T. Hiroi et al. 1996. MAPS, 31, 321-327.

Ga/Al 比が $\text{Ca}_3\text{Ta}(\text{Ga},\text{Al})_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ の融液構造と結晶成長に与える影響

○本田 雄生・新家 寛正・野澤 純・岡田 純平・宇田 聡

東北大学大学院理学研究科化学専攻

【序】 $\text{Ca}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ (CTGS)の結晶は、エンジン内部などの高温環境で利用可能な圧電材料として注目されている。ところが、原料に高価な Ga_2O_3 を使用しているため、実用化が難しい。そこで、高価な Ga を安価な Al に置換する試みが行われている。Al を置換した $\text{Ca}_3\text{Ta}(\text{Ga},\text{Al})_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ (CTGAS)の結晶は、置換する Al の割合が高くなるほど性能が向上し、より有用な圧電材料となる[1]。一方、Al の割合が高くなると結晶にクラックが発生しやすくなり、良質な結晶の育成が難しくなる。この原因の1つは、結晶を育成する間に形成される、CTGAS とは異なった組成を持つ二次相の存在による。クラックは材料の性能に直接影響し、性能が低下するおそれがあるため、クラックの抑制は重要である。ところが、Al の割合とクラックの原因となる二次相の関係を調査した例はほぼない。そこで本研究では、Ga/Al 比による二次相形成の変化に着目し、Ga/Al 比が CTGAS の融液構造や結晶成長に与える影響を考察することを目的として行った。

【結果と考察】 Ga/Al 比がパラメータとなる複数の CTGAS の原料を調製した。原料を加熱して融液状態にした後、急冷して固化させ、どのような二次相が形成されるかを調査した。融液を固化させた物質から、CTGAS と同じ組成を持つ Phase 1、Ca や Ta を多く含む Phase 2、Ga や Al、Si を多く含む Phase 3 の3種類の相が出現した(Figure 1. (a))。このとき、組織中の各相の割合は、Ga/Al 比(組成)と急冷開始時の温度に依存することがわかった。実験結果を踏まえると、1種類の融液からの出現機構では説明できず、液体不混和により2種類以上の融液が存在する必要がある。CTGAS を晶出する融液に加え、Phase 2 + Phase 3 の組成を持つ融液の存在を仮定する(Figure 1. (b))ことにより、各相の割合の変化を説明することができる。

【専門用語】 圧電材料：圧電(圧力を加えると、材料内に分極が発生し電位差が生じる)性を示す結晶性物質の総称。

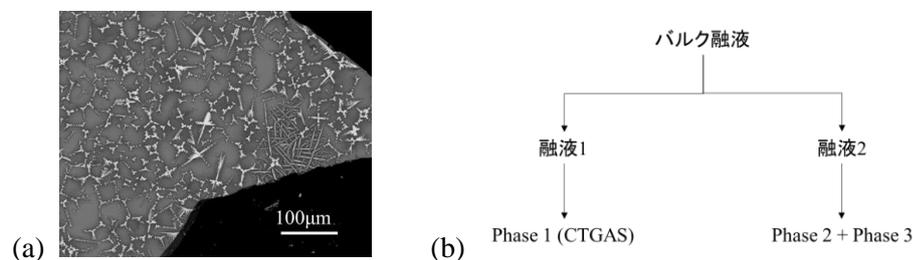


Figure 1. (a) CTGAS(Ga:Al = 4:6)融液の急冷固化を行い、得られた物質の反射電子像。

(b) CTGAS バルク融液の液体不混和。

[1] X. Fu *et al.*, *J. Alloy. Compd.*, **687** (2016) 797-803

高分子結晶化の初期過程における理論的研究

○横田 宏・川勝年洋

東北大学大学院理学研究科物理学専攻

高分子の結晶は低分子の結晶とは異なり、粒子が秩序的に配置した結晶領域と非晶領域とが共存した階層構造を持つことが知られている[1]. 10 nm オーダーでは、高分子鎖が折りたたまれることで、格子構造が作られており、さらに大きいスケールにおいては、結晶領域と非晶領域が積層してできたラメラ晶が放射状に成長することで、球晶と呼ばれる構造が形成される. このような複雑な階層構造が形成される機構は高分子物理学における未解明問題の一つとなっている. このような未解決問題を解決すべく、高分子結晶の結晶化過程における振る舞いが調べられており、その秩序化は段階的に進むことがわかってきた[2]. 初めに高分子の配向が揃った高密度ドメインが現れ、その後にドメイン内に結晶核が現れる. このドメインと結晶核が時間とともに成長していくことで、階層構造が形成される.

結晶化過程の初期に見られる配向の揃った高密度ドメインの生成と結晶核の生成 (核生成)において、未解明問題が残されている. 高密度ドメインは、熱力学的な不安定性によって生じるケースが実験研究で報告されている[3]が、その条件は未解明のままである. さらに、核生成を説明する従来の理論には、高分子のひもとしての特徴を明示的に取り入れておらず、ひもとしての特徴が核生成に及ぼす影響を議論できない. 我々は、高密度ドメインの生成機構を明らかにするモデルと高分子鎖のひもとしての特徴を明示的に取り入れた核生成のモデルを構築した. これらのモデルを構築する際には、棒状のユニット (セグメント)がつながってできた鎖を用いて高分子鎖を表現した.

高密度ドメインの生成機構を明らかにすべく、セグメントの密度と配向に着目し、高分子融液の熱力学的な安定性を調べることで、図 1 に示すような不安定条件を明らかにした.

結晶核生成のモデル化の際には、1 本の高分子鎖で生成される結晶核に対する理論 (Model S)を構築したのちに、Model S を拡張し、複数の鎖で結晶核が生成される場合の理論 (Model M)を構築した. Model S と Model M は、それぞれ、高分子の濃度が低い状況と濃度が高い状況に対応する. 図 2 に Model S と Model M における核生成率と高分子鎖の硬さとの関係をそれぞれ示す. Model M の方が Model S に比べて、核生成率が高いため、高分子の濃度が高い状況の方が結晶核の生成確率が高く、高密度ドメイン内部で、核生成が起こることが正当化される.

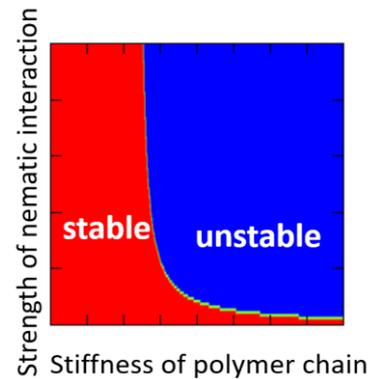


図 1 高分子融液の熱力学的な安定条件.

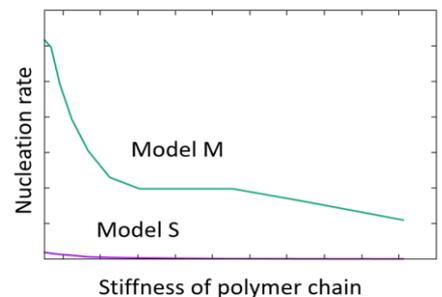


図 2 Model S と Model M における核生成率と高分子鎖の硬さ依存性

専門用語の説明

- ・ 非晶：粒子が空間的に無秩序に配置したまま、固まった状態。アモルファス、ガラスとも呼ぶ。
- ・ 熱力学的安定性：自由エネルギーと秩序変数 (状態を表す変数. 例えば密度)との関係において決定される安定性. 自由エネルギーがある状態まわりで下凸ならば, 熱力学的に安定であるが, ある状態周りで上凸であれば, その状態は不安定である.

参考文献

- [1] S. T. Milner, *Soft Matter*, 2011, **7**, 2909.
- [2] W. T. Chuang et al., *Macromolecules*, 2011, **44**, 1140.
- [3] M. Imai, K. Kaji and T. Kanaya, *Macromolecules*, 1994, **27**, 7103.

有対鰭起源の進化発生学

○梅田哲也・米井小百合・川上浩一^a・阿部玄武・田村宏治

東北大学大学院生命科学研究科生態発生適応科学専攻

国立遺伝学研究所初期発生研究部門^a

生物の進化の過程（系統発生）では、しばしば進化的新機軸と呼ばれる、形態の劇的な変化が現れる。例えば、顎口類の有対鰭や亀の甲羅、鳥の羽毛のような、祖先には相同器官が見られない、全く新しい形態を獲得するような進化がこれに当たる。このような新奇形態が如何にして獲得されるのかという問題は、「種の起源」[1]において進化の概念（ダーウィンははじめ『変化を伴った由来 descent with modification』といった）が提唱されて以来、進化研究の大きな課題になった。新奇形態が現れるような進化では、ダーウィンの言う『変化の蓄積』がどこで起きていたのか、形態という観点からは見つけられなかったからだ。進化が『変化を伴った由来』であるというのなら、新しい形態が現れる過程で、祖先形態のどの部分に変化が起きていたか（つまり形態としての由来）が分からないとすれば、もはやその過程を説明するなど不可能に感じられるというわけだ。この問題に答えたのが発生学だった。個体の形態が作られる過程（個体発生）を調べれば、出来上がった形態を見ては分からなかった由来を見つけることができる。なるほど、亀の甲羅は場所を変えた肋骨[2]で、鳥の羽毛は形を変えた爬虫類の鱗[3]だと分かるのだ。発生過程を調べることで、器官としての由来が見つけれられたのである。

では有対鰭はどうだろうか。顎口類よりも祖先的なグループに、円口類（ヤツメウナギとヌタウナギ）がいる。円口類のからだの側面に鰭はない。しかも、発生過程を覗き込んでみても、ちょっと場所を変え、かたちを変えてみれば、有対鰭になりそうな器官も見当たらないのである。発生学をもってしても、有対鰭の由来は見つけられないということなのだろうか。答えはNOだ。進化発生学では、生物の進化とは発生過程の進化であると考え。形質進化が起きているときには、形質が発現する過程、すなわち発生過程に、必ず変化が起きているはずだからである。そして個体発生は、階層性を持った様々な要素の相互作用である。様々な要素として、遺伝子・細胞・組織・器官などの要素が挙げられる。器官としての由来は見つけられなくとも、あるいは組織や細胞であれば、由来を見つけていることができるかもしれない。そこで私は、有対鰭を作る細胞、側板中胚葉細胞に注目して研究を行った。そして、そのアプローチは、有対鰭の由来や、有対鰭が獲得されたときに起きた変化は何だったのか、つまり有対鰭の起源はどこにあるのか、を説明できるかもしれないという希望をもたらすものだった。本発表では、私の研究を通して、進化発生学が持つ可能性を伝えたい。

専門用語の説明

- ・ 顎口類：脊椎動物のうち、関節した顎を持ったグループ。
- ・ 有対鰭：顎口類が持つ胸鰭と腹鰭を指して有対鰭と呼ぶ。陸に上がった脊椎動物（私たちもその仲間）の手足も、由来を見ればまごうことなき有対鰭。

参考文献

- [1] C. R. Darwin, "On the Origin of Species." 1876.
- [2] H. Nagashima, S. Kuraku, K. Uchida, Y. K. Ohya, Y. Narita, and S. Kuratani, "On the carapacial ridge in turtle embryos: its developmental origin, function and the chelonian body plan," *Development*, vol. 134, no. 12, pp. 2219–2226, 2007.
- [3] R. O. Prum and A. H. Brush, "The evolutionary origin and diversification of feathers.," *Q. Rev. Biol.*, vol. 77, no. 3, pp. 261–95, Sep. 2002.

係留ブイを用いた GNSS-音響測距結合方式による海底地殻変動観測の測位精度評価

○今野美冴^a・木戸元之^{a,b}・太田雄策^a・本荘千枝^a・高橋成実^{c,d}・福田達也^d・越智 寛^d・日野亮太^a

東北大学大学院理学研究科^a; 東北大学災害科学国際研究所^b; 防災科学技術研究所^c; 海洋研究開発機構^d

GNSS 測位と海中音響測距を組み合わせた GNSS-音響結合方式 (GNSS-A 測位) は、沖合の震源域直上で地震発生サイクルに伴う海底地殻変動を計測するのに有効な観測手段である。GNSS-A 測位は船舶によるキャンペーン観測により実現されており、計測頻度が低く、地震発生時などの緊急時に即時観測できないという問題がある。係留ブイを海上プラットフォームとした GNSS-A 測位システム[1]は、衛星通信を経由することで高頻度化・オンデマンド観測を実現し、船舶観測のデメリットを解消しうる。ただし、日本周辺などの強海流域で係留ブイを運用するには水深より十分長い係留索が必要なため、ブイの観測位置が GNSS-A 測位条件が良い海底局アレイ中心から大きく離れてしまい、船舶観測の測位精度 (3–10 cm) に大きく劣った[2]。本研究では、ブイの振れ回り範囲内の任意の観測位置で甚大な津波被害をもたらす M8 クラスの巨大地震に伴う海底地殻変動 (～1 m) を検出可能な GNSS-A 測位システムの実現を目指し、係留ブイ GNSS-A 測位精度の観測位置依存性や指向性を明らかにした上で海底水平変位の推定精度を予測する方法を提案することを目的とした。

本研究では、紀伊半島沖熊野灘における 1 年間の係留ブイ観測で得られたデータから、6 台の海底局が作る海底局アレイの水平位置を 1 測距ごとに推定し、その 2σ の標準偏差を測位精度とした。既往研究[2]で最大の誤差要因と指摘された海底局アレイ形状を精密に推定することで、1 測距毎の水平測位精度は 86 cm となり当初の目標 1 m 以下を達成した。観測位置が海底局アレイの内側のときの測位精度は 46 cm であるのに対し、外側では 97 cm であった。さらに、観測位置から海底局アレイ中心への視線方向に測位誤差が大きいことがわかった。このような観測位置に依存する測位精度の劣化および指向性を定量化するため、受信局と発信局の位置関係で定義される精度劣化指標 DOP を導入し、GNSS-A 測位の観測方程式から任意の観測位置での 2 次元誤差楕円を得た。誤差楕円の長半径・短半径に観測データから推定したデータ誤差 σ を乗ずることで、長軸・短軸方向の測位精度を求めることができる。

本研究で解析的に導出した誤差楕円とその測位精度へのスケールリングにより、観測位置と海底局アレイ形状の情報だけで、任意の観測位置で GNSS-A 測位したときの海底局アレイ位置水平 2 成分の測位精度を各成分独立に得ることが可能になった。これは、地震発生時にある観測位置でごく短時間に測位して得られる海底地殻変動量の信頼性について、成分毎に評価するための極めて有用な指標となる。

参考文献

- [1] Takahashi, N., Y. Ishihara, H. Ochi, T. Fukuda, J. Tahara, Y. Maeda, M. Kido, Y. Ohta, K. Mutoh, G. Hashimoto, and Y. Kaneda (2014): New buoy observation system for tsunami and crustal deformation, *Mar. Geophys. Res.*, **35**(3), 243–253, doi:10.1007/s11001-014-9235-7.
- [2] Imano, M., M. Kido, Y. Ohta, T. Fukuda, H. Ochi, N. Takahashi, and R. Hino (2015): Improvement in the Accuracy of Real-time GPS/Acoustic Measurements Using a Multi-purpose Moored Buoy System by Removal of Acoustic Multipath, *GENAH IAG Symposia*, **145**, 105–114, doi:10.1007/1345_2015_192, 2015.

惑星落下問題の解決に向けて

岡田航平¹ 田中秀和²

¹ 東北大学大学院理学研究科天文学専攻

² 東北大学

近年の観測によって、今日では4000個以上もの太陽系外惑星が発見されている。これらの発見は我々の太陽系のような惑星系が宇宙に普遍的に存在していることを示している。しかし、いまだに惑星の形成過程についての未解決問題がいくつか存在する。その中で最大の問題が惑星落下問題である。

惑星は若い星周りに存在する、原始惑星系円盤と呼ばれる円盤状の天体の内部で形成されると考えられている。惑星落下問題とは、円盤内で形成された惑星が、円盤ガスと重力相互作用することによって中心に存在する若い星（以下、中心星）に向かって落下してしまう問題である。すなわち、新たに惑星が形成されても速やかに中心星へと落下してしまい、惑星系が形成できないという問題である。これは惑星形成理論における深刻な未解決問題の一つである。

惑星落下問題の本質は惑星と円盤ガスとの間の角運動量輸送である。すなわち、惑星が周囲の円盤ガスからどのようなトルクを受けるかが本質的に重要である。惑星に働くトルクは線形計算 [1, 2] と数値流体計算 [3] の二つのアプローチで調べられてきた。数値流体計算では動径方向に非等温な三次元円盤での計算も行われている。しかし三次元線形計算は等温円盤のみに限定されていた。これは円盤の温度勾配を含めた線形計算には発散が含まれるためであり、数値流体計算の結果を線形計算で検証することができていなかった。本研究ではこの発散を近似的に回避することで動径方向に温度勾配を持つ円盤について三次元線形計算を行った。その結果得られたトルクは他の研究で行われた三次元数値流体計算の結果とよく一致した。これにより、この三次元数値流体計算は精度が高いことが確認できた。

参考文献

- [1] Goldreich, P., & Tremaine, S. 1979, ApJ, 233, 857
- [2] Tanaka, H., Takeuchi, T., & Ward, W. R. 2002, ApJ, 565, 1257
- [3] D' Angelo G., & Lubow S. H., 2010, ApJ, 724, 730



図 1: 原始惑星系円盤と惑星

津波堆積物の高確度年代推定に基づく広域年代対比

○石澤堯史^a・後藤和久^b・横山祐典^c・宮入陽介^c

東北大学大学院理学研究科地学専攻^a

東北大学災害科学国際研究所^b

東京大学大気海洋研究所^c

津波堆積物は、津波またはそれから派生する水流によって海底や沿岸の砂泥や礫などが侵食され、それらが別の場所へ運搬されて再堆積した物の総称と定義される。地層中から津波堆積物を見出すことで、その地点に津波が到達し、堆積物を堆積させたという物的証拠を得ることができる。さらに同一地点から複数の津波堆積物を確認することで、その地点における津波の来襲履歴を知ることができる。また、同一の津波によって形成された堆積物を複数地点において認定できれば、その津波による浸水域を推定することができ、それは津波の規模を推定する根拠となる。

本研究対象である津波堆積物の堆積年代は、古津波の発生頻度推定や広域に分布する津波堆積物の年代対比の基礎情報となる。津波堆積物の年代は主に¹⁴C年代測定から推定されるが、原理上の制約から推定される津波堆積物の年代に数百年の誤差が生じていた。本研究では適切な年代測定試料の選定と多点数の¹⁴C年代測定結果の統計処理を基に、津波堆積物の高確度年代推定手法を検討した(e.g., Ishizawa et al., 2017; 2018)。また、その手法を岩手県の沿岸各地に適用し、その結果を踏まえて津波堆積物の客観的な広域年代対比を行った。これらの成果により津波堆積物研究に基づく客観的な古津波履歴の評価が可能となった。

専門用語の説明

- ・¹⁴C年代測定：放射性炭素同位体¹⁴C（半減期：5730年）を用いた年代測定手法。現在～5万年ほど前の試料に適用可能。

参考文献

- [1] Ishizawa, T., Goto, K., Yokoyama, Y., Miyairi, Y., Sawada, C., Nishimura, Y., Sugawara, D., 2017. Sequential radiocarbon measurement of bulk peat for high-precision dating of tsunami deposits. *Quaternary Geochronology*, 41, 202-210.
- [2] Ishizawa, T., Goto, K., Yokoyama, Y., Miyairi, Y., Sawada, C., Takada, K., 2018. Reducing the age range of tsunami deposits by ¹⁴C dating of rip-up clasts. *Sedimentary Geology*, 364, 334-341.

多重対数関数の Landen 型接続公式の拡張について

(On a generalization of the Landen connection formula for the multiple polylogarithms)

伊東 邦大

東北大学大学院理学研究科数学専攻

関数のある点と他の点での値の関係を示す方程式を、関数等式という。特殊関数の関数等式は対応する数の空間の対称性を記述することから、数の性質、並びに数の成す空間の構造を解き明かそうとする数論と呼ばれる数学の一分野において、関数等式の発見は重要な研究手法の一つとなっている。本講演に登場する Landen 型接続公式は、多重ポリログ関数の絶対収束域の内側と外側とを結びつける関数等式である。この式は、奥田と上野によって示され、Mellin 変換を介して多重ゼータ値の大野関係式に対応することが証明されている [1]。また、KZ 方程式というある種の微分方程式の解の接続行列を与えることも示されている [2]。

多重ポリログ関数には多変数関数としての拡張が Goncharov の導入により知られている。そこで自然に、「この多変数多重ポリログ関数に対して Landen 型接続公式の類似が成立するか?」「多重ゼータ値の関係式との対応はあるのか?」という問題が考えられる。上野は、二種類ある多重ポリログ関数の多変数化のうち、ハーモニック・タイプに成り立つ Landen 型接続公式を、二変数まで研究している [3]。講演者は、多重ポリログ関数の多変数化のもう一方、シャッフル・タイプに成り立つ Landen 型接続公式の存在を予想し、実際、これを支持する部分的な結果を得たので、本講演において解説する。

専門用語の説明

- 多重ポリログ関数 (multiple polylogarithm) … 整数の組に対応して定まる一変数複素関数。対数関数の一般化になっており、また極限值として多重ゼータ値を持つ。
- 多重ゼータ値 (multiple zeta value) … Riemann ゼータ関数を、級数表示における和を三角領域にわたる多重和として拡張した多変数関数の、正の格子点での特殊値。すべて無理数であることが期待される一方で、有理数係数の関係式が数多く存在するため、その代数構造の決定が問題となっている。
- 大野関係式 (Ohno relation) … 数ある多重ゼータ値の関係式族のなかでも重要なものの一つ。高い対称性が特徴。

参考文献

- [1] J.-i. Okuda and K. Ueno, *Relations for multiple zeta values and Mellin transforms of multiple polylogarithms*, Publ. Res. Inst. Math. Sci. **40** (2004), no. 2, 537–564.
- [2] ———, *The sum formula for multiple zeta values and connection problem of the formal Knizhnik-Zamolodchikov equation*, Zeta functions, topology and quantum physics, Dev. Math., vol. 14, Springer, New York, 2005, pp. 145–170.
- [3] 上野 喜三雄, 2 変数多重対数関数の接続問題と多重ゼータ値の複シャッフル関係式及び 2 重対数関数の 5 項関係式, 京都大学数理解析研究所講究録 **1549** (2007), 194–209.

地球温暖化による海洋の成層化

○山口凌平・須賀利雄

東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

成層とは鉛直方向に海水の密度が変化する構造を指し、実際の海洋内部にはおもに水温が海面から鉛直方向に減少していくことによる成層構造が存在する。成層は、海洋に重力的な安定を与えることで鉛直方向の海水交換を制限し、比較的暖かく栄養が不足している海面付近の海水と冷たく栄養に富む下層の水とを隔てる。

地球温暖化による海水温の上昇にともなって、その昇温速度が海面付近で下層よりも一般に速いことで海洋成層は強化されると考えられている。強化された成層は海洋をより安定化し“混ざりにくく”することで下層からの栄養塩供給を減少させ、海洋全体の基礎生物生産の低下をもたらすことが懸念されている。実際に、複数の気候モデルを用いた将来気候予測研究は、地球温暖化の進行による今世紀中の成層強化を予想しており、それによって全球平均の海洋基礎生産は低下すると指摘している。その一方で、現時点における成層の長期変化についての観測的見積もりはいまだ不確定性が大きい。これまでに海洋成層は地球温暖化に伴って1970年代以降、強化傾向にあることが示唆されている [1] 一方で、近年の複数の観測研究は、個々の海域や最近十数年に着目すると、成層は必ずしも強化しておらずむしろ弱化していることを示している。これらは、海洋成層の長期変化傾向が海域によって大きく異なる可能性や、その主な要因とされる温暖化昇温の表層強化が必ずしも全ての海域で成り立たず、他の長期変化の要因が存在する可能性を示唆している。そこで本研究では、長期変化傾向の海域による違いおよび温暖化による長期変化傾向以外長期変動の影響も考慮するために、現時点で可能な限り長期間かつ広範囲の観測データを用いて全球海洋成層の長期変化を調べた。

本発表では得られた結果を紹介する。可能な限り多くの観測プロファイルを用いた統計解析の結果、1960年代以降では北極海を除く全球海洋において有意な成層の強化トレンドが検出され、全球平均では気候値の6.6-11.8%に及ぶ急速な成層化が進んでいることがわかった。成層の強化傾向は特徴的な空間パターンを示し、それらが従来考えられていた温暖化昇温が海面近くで大きいことによる成層強化に加え、垂表層水温の低温化や塩分鉛直構造の変化も有意に成層の長期変化に寄与していることがわかった。

参考文献

- [1] Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

CeIrSi₃の反強磁性相内における特異な相転移三関 祐太^A・佐野 大樹^A・飯田 祐巳^A・木村 憲彰^{A,B}東北大学大学院理学研究科物理学専攻^A東北大学極低温科学センター^B

CeIrSi₃は5.0Kで反強磁性に秩序する重い電子系化合物として知られている。この反強磁性相内で複数の相転移とみられる異常が観測されており、その起源について興味を持たれていた[1]。とりわけ、これらの異常は単純な磁気構造の変化では説明できないことから、電子構造の相転移が議論されている。重い電子系では、局在 f 電子がどのように遍歴性を獲得するかが重要な問題とされているが、CeIrSi₃の反強磁性相内の相転移が、この問題と密接に関係している可能性がある。

本研究の目的は、この異常が電子相関と強く結びついた電子構造の変化によるものなのか、それともよく知られた磁気構造の変化に伴う副次的な電子構造の変化によるものなのかを明らかにすることである。そのためにCeIrSi₃の純良単結晶の電気抵抗および比熱を詳細に測定し、電子相関の変化を調べた。

図1に電気抵抗の温度2乗の係数 A および電子比熱係数 γ の磁場依存性を示す。異常のみられる磁場 H_1 及び H_2 で A 係数が大きく変化していることがわかる。また、 γ は H_1 で不連続に変化する。これらの結果は、低磁場相と高磁場相で電子相関の強さが異なっていることを示唆しており、 H_1 で電子相関の大きな変化を伴う電子構造の相転移が起きている可能性がある。

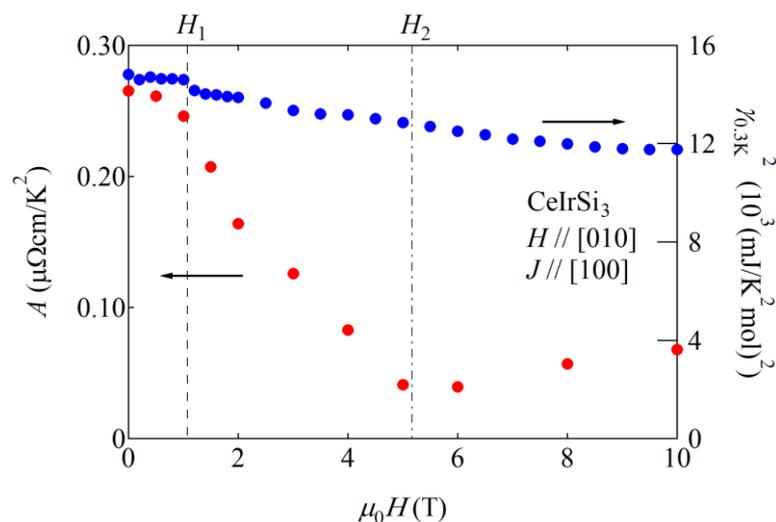


図1. A 係数(赤丸)と電子比熱係数 γ の2乗(青丸)の磁場依存性

参考文献

- [1] 飯田祐巳 博士論文(2014) 東北大学

溶液系の気液界面におけるグランドカノニカル分子動力学法の開発

○内藤暢也^a・田原寛文^a・森田明弘^{a,b}

東北大学大学院理学研究科化学専攻^a, 京都大学 ESICB^b

計算化学の手法のひとつである分子動力学(MD)法は、原子分子の運動を質点の運動とみなして古典的な運動方程式を解くシミュレーション手法であり、求めた全原子の軌跡を統計力学的に処理することで様々な情報を得る。系のミクロな振る舞いが直接見えることや実在しない系をも扱えることから、スペクトルの解釈などにおいて実験との共同研究の例が数多くある。

界面のミクロな構造は実験による観測が難しく、MD計算が有効なアプローチとなる。溶液の気液界面における溶質粒子の濃度分布（界面への吸着や反発）は界面反応機構の解明に重要である。例えば大気化学の分野では、海表面の微視的なイオン分布が海塩粒子の飛散によるエアロゾル生成反応に関わる。こうした濃度分布は実験と計算を巻き込む長年の議論の対象であるが、有限個の粒子しか扱えないMD計算では粒子数一定のもとバルク部分の密度の変動は避けられず、議論の発展には現実的な系の構築が不可欠である。

溶質のバルク濃度を固定したシミュレーションは粒子数の変動を許した系により実現される。しかし液体のような凝集系への粒子挿入は大きな粒子間反発を伴うため一般に困難である。本研究ではこの反発力を避けてなめらかな粒子数増減を可能とする独自の手法の確立とMDソフトウェアへの実装を目的とする。現在はその第一歩としてクーロン相互作用のない希ガス混合流体を対象に開発を行っている。

専門用語の説明

- ・グランドカノニカルアンサンブル：統計力学。化学ポテンシャル μ 、体積 V 、温度 T の等しい微視的状态の集合。粒子数 N の変化が許される。 μVT アンサンブルとも。
- ・Lennard-Jonesポテンシャル：原子間力を記述する関数のひとつ。電子雲の広がりによる引力と斥力を表現。粒子間が離れるときの減衰が早くMDでの扱いが容易。

参考文献

[1] Jungwirth, P. and Tobias, D. J. *J. Phys. Chem. B* **2001**, *105*, 10468-10472.

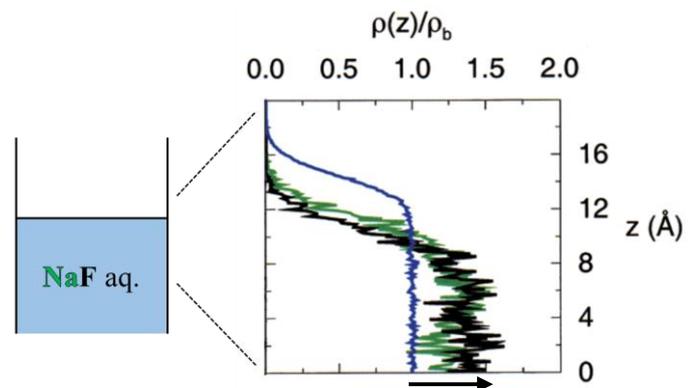


図1 MDによるNaF水溶液界面の濃度分布^[1]。有限の粒子数により、界面から反発するイオンはバルク部分が初期濃度1.0より増大する(矢印)。

指の数から始まる進化発生学 ～手羽先はどうやって3本指になったのか～

○金井大輔、阿部玄武、田村宏治
東北大学大学院 生命科学研究科 生態発生適応科学専攻

生き物がもつ「かたち」は非常に多様である。なかでも脊椎動物が持つ手足（四肢）の「かたち」は動物種間によって多様な形態を持つ。脊椎動物の手足は5本指が基本であるが、ウマやブタなどの有蹄類や鳥類など、5本よりも少ない指を持つ動物はたくさんいる。進化の過程でそれぞれの動物が独立に指を減らすという進化を遂げたため、指の減らし方は動物によって異なっていると考えられる。そこで本研究では、指が少なくなるという現象をモデルとして「**形態の消失**」という進化をもたらす発生メカニズムの**共通性と多様性について理解する**ことを研究目的とした。

手足（四肢）は、**肢芽**と呼ばれる原基が発生し形成される（Fig.1A; 白い楕円）。肢芽には**AER**と**ZPA**という2つの重要なシグナルセンターがある（Fig.1B）。**AER**は肢芽の先端が肥厚してできる構造で、肢芽の基部先端軸方向の発生に重要な役割を持っている。**ZPA**は肢芽の後方の限局した領域で、指のパターン形成を行う。**4,5番の指はZPAの細胞から形成される**ことがわかっている（Fig.2A; 緑の指）[1]。

鳥類の翼は哺乳類が持つ手と相同である。したがって、鳥類にも指がある。鳥類が持つ指も少なくなっており、鳥類の前肢（翼）は3本指を持っている。親指を1番とし順番に番号が付けられているが、**鳥類の前肢が持つ指は1,2,3番**である（Fig.2C）[2]。つまり、鳥類の前肢では**ZPA**の細胞からできる指が形成されなくなっている。ところが、**なぜZPAから指が形成されないのかはいまだにわかっていない**。マウスとニワトリで指の骨格と肢芽の様子を比較した先行研究によると、5本指をもつマウスでは**AER**が**ZPA**の上をほとんど覆っているのに対し（Fig.2B）、ニワトリ前肢では**ZPA**は**AER**に覆われていない（Fig.2D）[2]。そこで、ニワトリ肢芽に対し切除実験やタンパク質添加実験などを行い、**ZPAから指を形成するにはその直上にAERが必要であり、逆にAERの機能があればZPAから指様の構造を形成できることを示した**。

鳥類以外の指が少ない動物でも**AER**が短くなっているという報告がある。このことは、指が少なくなる際には「**AERが短くなる**」という**共通した発生メカニズムの変更**が生じていることを示唆している。したがって、「**形態の消失**」という進化が起きる際には、たとえ系統が異なっても、発生過程における重要なメカニズムの一部に共通した変化が生じうるのかもしれない。

専門用語の解説

AER; Apical Ectodermal Ridge の略称。日本語では「外胚葉性頂堤」。

ZPA; Zone of Polarizing Activity の略称。日本語では「極性化活性帯」。

参考文献

[1] Harfe, B. D., et al. *Cell* 118.4 (2004): 517-528.

[2] Tamura, K., et al. *Science* 331.6018 (2011): 753-757.

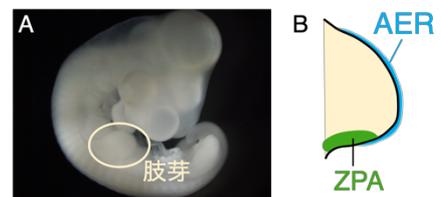


Fig.1 発生中のニワトリと肢芽の模式図

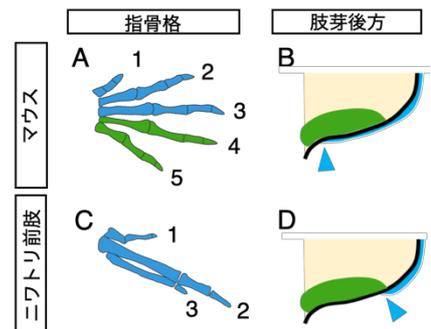


Fig.2 指の本数とAERの位置との比較

Different roles of KDEL receptor isoforms 1/2/3 in client transport on the secretory pathway

○Han Xue, Amagai Yuta ^a, Inaba kenji ^a

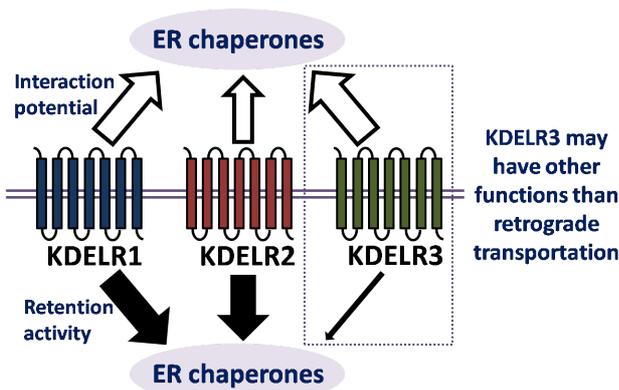
Department of Chemistry, Tohoku University

Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials, Tohoku University ^a

1. Introduction: Secretory proteins are synthesized and folded in the endoplasmic reticulum (ER) with the help of ER-resident chaperones, such as GRp94, BiP, and PDI. Properly folded proteins are transported to the Golgi, where they are subjected to further modification including O-type glycosylation. Meanwhile, ER chaperones are captured by KDEL receptor (KDELR) in the Golgi and retrieved back to the ER. KDELR is a Golgi-localized membrane protein. In human cells, there are three KDELR isoforms, KDELR1, 2, and 3. Despite their important roles in protein transport, distinct physiological function of each isoform remains to be elucidated.

2. Methods: To investigate distinct physiological functions of the KDELR isoforms, biotin labeling assay using BioID2 technology was applied. BioID2 is an enzyme that nonspecifically biotinylates neighboring proteins. BioID2-fused KDELR1, 2, or 3 was transfected in HEK293T cells, so that proteins that approach KDELRs would be labeled. Biotinylated proteins were recovered from the cell lysate and analyzed. To explore abilities of KDELRs to retrieve the ER chaperones, secretion assay was also performed. I reduced the expression level of KDELRs by siRNA and analyzed what levels of the ER chaperones were secreted out of the cells. Next, I reexpressed each of KDELRs in the knockdown cells and analyzed how greatly the ER chaperone secretion was suppressed.

3. Results and Discussion: The biotin labeling assay indicated that all BioID2-fused KDELR isoforms biotinylated BiP to significant extent. BioID2-KDELR1 biotinylated GRp94 and PDI as efficiently as BiP. BioID2-KDELR3 biotinylated GRp94 and BiP more preferentially than PDI. By contrast, BioID2-KDELR2 biotinylated PDI, but to a lesser extent GRp94.



The secretion assay under the condition of triple, double or single knockdown of the KDELR isoforms suggests that KDELR1 and 2 play primary roles in retention of the ER chaperones, whereas KDELR3 has only minor roles. Although KDELR3 has preferential affinity for GRp94 and BiP, the knockdown of KDELR3 had little effect on secretion of either of the ER chaperones. A possible interpretation for this discrepancy is that KDELR3 interacts with GRp94 and BiP for other

purposes than their retrieval. In this context, the global interactome analysis suggests that specific interactors of KDELR3 can be classified into two categories; one is proteins that may bind KDELR3 to control its retrograde transport activity, while the other is secretory or cell membrane proteins that may bind KDELR3 to undergo the KDELR3-mediated anterograde transport.

In conclusion, the present study demonstrates distinct physiological functions of KDELR isoforms 1, 2 and 3, providing new insights into the mechanisms of protein quality control in the early secretory pathway.

Relaxing the Cosmological Moduli Problem by Low-scale Inflation

Shu-Yu Ho,^{1*} Fuminobu Takahashi,^{1,2†} and Wen Yin^{3‡}

¹*Department of Physics, Tohoku University, Sendai, Miyagi 980-8578, Japan*

²*Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (Kavli IPMU),
UTIAS, WPI, The University of Tokyo, Kashiwa, Chiba 277-8568, Japan*

³*Department of Physics, Korea Advanced Institute
of Science and Technology, Daejeon 34141, Korea*

Abstract

We show that the cosmological abundance of **string axions** is much smaller than naive estimates if the Hubble scale of **inflation**, H_{inf} , is sufficiently low (but can still be much higher than the axion masses) and if the inflation lasts sufficiently long. The reason is that the initial misalignment angles of the string axions follow the **Bunch-Davies distribution** peaked at the potential minima. As a result, the **cosmological moduli problem** induced by the string axions can be significantly relaxed by low-scale inflation, and astrophysical and cosmological bounds are satisfied over a wide range of the mass without any fine-tuning of the initial misalignment angles. Specifically, the axion with its decay constant $f_\phi = 10^{16}$ GeV satisfies the bounds over 10^{-18} eV $\lesssim m_\phi \lesssim 10$ TeV for $H_{\text{inf}} \lesssim 10$ keV – 10^6 GeV. We also briefly discuss cases with multiple axions and the QCD axion.

* ho.shu-yu.q5@dc.tohoku.ac.jp

† fumi@tohoku.ac.jp

‡ yinwen@kaist.ac.kr

Hybrid Search for Cluster with HSC

○山本直明・児玉忠恭^a

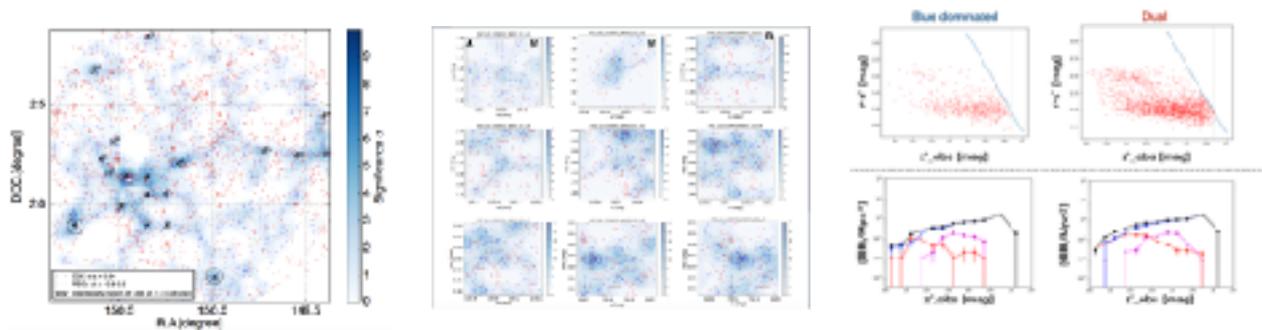
東北大学大学院理学研究科天文学専攻

東北大学大学院理学研究科天文学専攻^a

近傍宇宙の観測により、銀河の色や明るさ、形態などといった様々な性質は銀河の周辺環境に大きく依存していることが知られている。この関係がいつ、そしてどのように生じ発展してきたのかを観測することは銀河の形成と進化の歴史を調べていくのに重要なテーマである。特に $z=1\sim 2$ の時代は、現在知られている銀河の形態や、銀河団をはじめとする銀河の周辺環境が大きく変化していったことが知られており、この時代の銀河自体の性質や環境の依存性を調べるのが非常に重要である。しかしながら、 $z\sim 1$ 以上の遠方銀河団サンプルは少なく銀河自体も暗くなっていくため、統計的に調べられてきた例は少ない。

そこで私たちの研究チームではすばる望遠鏡の広視野の撮像装置であるHSCに着目した。この装置で広視野かつ深い観測がなされるプロジェクトが行われており、そのデータを用いて前人未到の遠方銀河団探索を行い $z=0.5\sim 1.7$ の時代のサンプルを大量に構築した。ここでは星形成を終えた「赤い」銀河と星形成が活発な「青い」銀河を中心にする2つのサーベイを行った。特に後者のサーベイでは、星生成が活発な銀河が非常に支配群れている「青い銀河団」が初めて見つかった。

本研究では、銀河の明るさと色の分布を見る色等級図や、明るさごとに天体の個数がどのように分布しているのかを確認する光度関数をもとに、新しく見つかった銀河団と従来の銀河団の性質の違いについて調べた。その結果、今回新しく見つかった銀河団では赤い銀河が明るい側にのみ分布している可能性が出てきた。先行研究によると、この時代のフィールドやグループ環境と同じような分布していることが分かり、青い銀河団は従来の銀河団に成長する初期の段階ではないかと示唆された。



参考文献

- [1] ・ Hayashi et al. 2017 PASJ 70 17
- [2] ・ Tanaka et al. 2005 PASJ 362 268
- [3] ・ Kodama & Arimoto 1997

曲がった空間における最適輸送問題

小林慎一郎 (東北大学大学院理学研究科数学専攻)

最適輸送問題とは、ものを運ぶのにかかるコストを最小にする方法を求める問題である。最適輸送問題は、距離空間という2点間の距離が適切に定まった空間で考えることができる。Euclid空間や球面などのRiemann多様体は距離空間である。フランスの数学者・工学者であるG. Mongeは1781年に最適輸送問題を次のように定式化した。

問題 (Mongeの問題). (X, d) を距離空間, μ, ν を X 上の Borel 確率測度とする。このとき, Borel 可測写像 $T: X \rightarrow X$ であって任意の Borel 集合 $A \subset X$ に対して

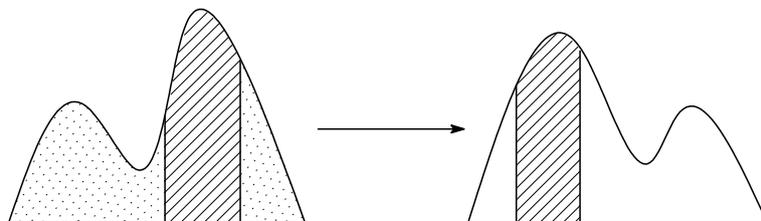
$$\mu(T^{-1}(A)) = \nu(A)$$

を満たすものを μ から ν への輸送写像という。輸送写像全体の中で

$$C(T) := \int_X d(x, T(x)) d\mu(x)$$

を最小化するものを μ から ν への最適輸送写像という。最適輸送写像は存在するか。

Mongeの問題の意味を例え話で説明する。砂山1から砂山2へ砂を移動することを考える。砂山1, 2それぞれの砂の分布 μ, ν は与えられているとする。砂を地域 $T^{-1}(A)$ から地域 A へ運ぶ前後で砂の量は変わらないと仮定する。運ぶ前の砂の量が $\mu(T^{-1}(A))$, 後の砂の量が $\nu(A)$ である。点 x にある砂を点 y に運ぶのにかかる単位当たりのコストを $d(x, y)$ としたとき, 輸送 T でかかる総コストは $C(T)$ で与えられる。総コストを最小にする方法は存在するか?



数学の話に戻る。Mongeの問題は、Riemann多様体などの測地線(曲がった空間における最短線)が途中で分岐しないような空間で肯定的に解決されているが、測地線が分岐するような空間では肯定的に解決された例がノルム空間しかなかった。主結果は、Mongeの問題を肯定的に解くことができ、かつ測地線が分岐する空間の例を見つけたことである。

定理 A. $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ を有界な開凸領域とする。 h_Ω を Ω 上の Hilbert 距離とする。このとき任意のコンパクトな台を持つ Ω 上の Borel 確率測度 μ, ν に対して $\mu \ll \mathcal{L}^n$ ならばある Borel 可測写像 $t: \Omega \rightarrow \Omega$ が存在して、 $t_*\mu = \nu$ かつ任意の Borel 可測写像 $T: \Omega \rightarrow \Omega$ に対して $T_*\mu = \nu$ ならば

$$\int_\Omega h_\Omega(x, t(x)) d\mu(x) \leq \int_\Omega h_\Omega(x, T(x)) d\mu(x)$$

が成り立つ。すなわち Hilbert 幾何 (Ω, h_Ω) における Monge の問題の解は存在する。

脆性破壊による石英に含まれた E_1' 中心の特性変化

○田中桐葉¹・武藤潤¹・矢部康男²・岡壽崇³・長濱裕幸¹

1. 東北大学大学院理学研究科地学専攻、2. 地球物理学専攻、3. 化学専攻

内陸地震は地殻浅部の断層運動が原因で発生し、狭い範囲に大きな被害を及ぼす。しかし、内陸地震発生過程に関する知見は十分でないため、そのような内陸地震の予知やリスク評価は未だ発展途上にある [1 など]。そこで、断層岩中の ESR 信号を用いた新たな断層モデルを構築し、地震予知に重要な断層破壊過程の理解や ESR 断層年代推定法の可否決定モデルの確立を行おうと考えた。

本研究では、まず岩石の変形機構の 1 つである脆性破壊と地殻や断層岩に豊富に含まれている石英中の ESR 信号の関係を明らかにするため、[2]を参考に摩擦発熱を無視できる深さ数十 m での断層運動を模擬した低速剪断試験を模擬石英ガウジに行った (垂直応力 1.0 MPa、すべり速度 0.076 mm/s、変位量 0-1.4 m、平均動摩擦係数 0.81)。そして、変形前後の試料に対し ESR、粉末 X 線回折 (XRD)、走査型電子顕微鏡 (SEM) による構造観察、レーザー回折粒度分析を行った。

結果として、ESR 信号の 1 つである E_1' 中心は剪断変位量に対して線形的に増加し、最大変位量 1.4 m で約 28% の増加を示した。また、その増加量は試料の総表面積の増加量と良い相関を示した。マイクロ波電力に対する E_1' 中心数の関係 (マイクロ波依存性) は、より大きな剪断変位量を受けた試料ほど、結晶表面に形成された E_1' 中心が示すマイクロ波依存性に近づくという結果が得られた (図 1)。

XRD 測定による石英の変形度を評価する結晶化度 (CI 値)

の測定をしたところ、剪断試料の CI 値には大きな変化が見られなかった。

本研究結果の応用には以下のものが考えられる。まず、断層運動の脆性破壊の進行に伴い E_1' 中心数は線形的に増加することが明らかとなったが、ESR 断層年代推定法は、断層運動が岩石中の ESR 信号数を 0 にすることを仮定した手法である。そのため、今後は脆性破壊による E_1' 中心以外の信号数の変化や脆性破壊以外の作用による ESR 信号数の変化を明らかにする必要がある。また、脆性破壊の進行に伴い E_1' 中心のマイクロ波依存性は変化することが明らかとなったが、それは断層面上での脆性破壊の進行の程度または変位量を推定する指標となり得ることを示唆している。

専門用語の説明

- ・ ESR: 電子スピン共鳴 (Electron spin resonance) の略で、外部磁場中の不対電子スピンによるマイクロ波の共鳴吸収現象のことを指す。

参考文献

- [1] Sibson, R.H. 1977. Fault rocks and fault mechanisms. *J. Geol. Soc. London*, **133**, 191–213.
 [2] 田中和広, 1987, 電子スピン共鳴 (ESR) 年代測定法による断層の活動時期の検討—断層活動時における格子欠陥のゼロセットに関する研究—。電中研報告, 我孫子, 東京, U93019, pp. 26.

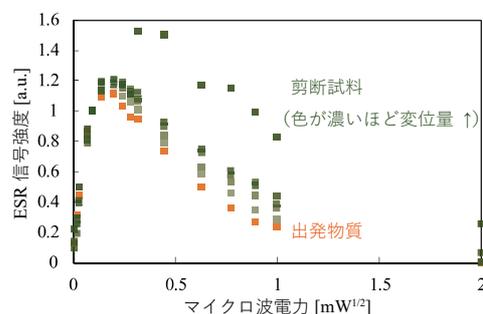


図1. E_1' 中心の ESR 信号強度とマイクロ波電力 [W/cm^2] の関係。

Crustal thickness beneath Central Indonesia by the cross-correlation analysis of seismic ambient noise

○Masyitha Retno Budiati, Genti Toyokuni, Tomomi Okada

Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University

Central Indonesia has complex tectonic structures which is characterized by several subduction zones at northern and eastern part and active faults (e.g., Palu Koro, Matano and Hamilton faults). Our previous study at Central Indonesia (Budiati et al., JpGU, 2018) found the clear discrepancy between observed group velocities and synthetics by CRUST 1.0 (Laske et al., 2013) at period of 25s - 30s. Based on that, this study aims to assess the Moho discontinuity by comparing observed Rayleigh wave group velocities obtained from ambient seismic noise cross-correlations and synthetic group velocities by adjusted CRUST 1.0 at longer periods which are more sensitive to deeper layers. We collected 5 months continuous waveform data from vertical components of 10 broadband stations around Central Indonesia. Firstly, the continuous data were divided into 20 minutes segments with time shift in every 5 minutes. Once the pre-processing steps for each segment were done, we calculated the CCFs between two contemporaneous segments from two stations and stacked the daily-averaged CCFs over 5 months. We further compressed the two-sided signal into one-sided signal by taking the average of positive and negative lag part of the CCFs in order to stabilize the dispersion curves of group velocities. However, for several stations pairs the group velocities at 2-sided CCFs are more stable than at 1-sided CCFs. To fit the synthetic and the observed group velocities, we simply changed the crustal thickness and subtracted 5% of the initial velocity model. We then calculated the minimum RMS at period of 20s - 30s between obs and syn generated by the initial model and 5% slower of the initial model. The estimated depth of Moho discontinuity at eastern part of Central Indonesia is about 27km - 35km which is related to ocean crust, Batui and Sula thrust, while at continent of Sulawesi Island the estimated depth of Moho is about 35km-45km.

References

- [1] Budiati, M.R., Toyokuni, G., Okada, T., 2018. Regional-scale Cross-correlation Analysis of Seismic Ambient Noise in The Central Indonesia (2), at JpGU Meeting, Makuhari Messe, Chiba, Japan, May 20 - 24, 2018.
- [2] Laske, G., et al. 2013. Update on CRUST1.0 – A 1-degree Global model of earth's crust.

電子の永久電気双極子能率探索のための冷却原子を用いた共存磁力計

○内山愛子^{A,B}, 原田健一^{A,B}, 田中香津生^{A,B}, 川村広和^B, 伊藤正俊^{A,B}, 早水友洋^C,
長濱弘季^C, 小澤直也^D, 堤惇^E, 井上壮志^F, 青木貴稔^G, 畠山温^H,
高橋義朗^I, 酒見泰寛^C

東北大学大学院理学研究科物理学専攻^A, 東北大学 CYRIC^B

東京大学 CNS^C, 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻^D, 立教大学理学部物理学科^E,
理化学研究所開拓研究本部^F, 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻^G,

東京農工大学大学院工学府物理システム工学専攻^H,

京都大学大学院理学研究科物理学専攻^I

基本粒子の電気双極子能率(EDM)は、CP 対称性の破れ*を意味する。CP 対称性の破れは、宇宙に存在する物質に比べて、反物質*の量が少ないという物質優勢宇宙を説明するのに非常に重要な現象である。これまでも CP 対称性の破れの現象は探索されてきたが、現在の宇宙の物質と反物質の量の差を説明できるほどの破れは見つかっていない。我々は、電子 EDM の測定を通して、異なる起源をもつ CP 対称性の破れの現象を探索しようとしている。

電子 EDM の影響は、常磁性原子・極性分子に大きく表れる。特に、常磁性原子の場合には、電子 EDM によって原子 EDM が生じる。フランシウム (Fr) 原子は常磁性であり、アルカリ原子の中で最も重く、大きな電子 EDM 増幅率を持つ。Fr 原子は核融合反応を用いて生成することができ、レーザー冷却により低速(極低温)にすることができる。我々は、この Fr 原子を光格子*によって超高真空中で衝突させずに長時間(~数秒)捕獲することで、Fr 原子 EDM を精密に測定することを目指している。

測定においては、光格子中に捕獲された原子に対して、静電場と静磁場を同じ向きに印加し、原子の共鳴周波数を測定する。原子 EDM が存在するときには、静電場の極性を変えたときに、共鳴周波数がわずかに変化する。この微小な変化を測定するためには、共鳴周波数を変化させる静磁場と光格子の変動を観測する必要がある。このために我々は、ルビジウム(Rb)原子を Fr 原子と共に光格子に同時に捕獲し、これらの変動を観測する共存磁力計の開発を進めてきた。本講演では、Rb 原子の二つの同位体の磁気光学トラップ*や[1,2]、極低温 Rb 原子による磁場観測について述べる。

専門用語の説明

- ・ CP 対称性の破れ: 荷電共役変換(C)と空間反転(P)を行った場合に、エネルギーが同じにならないこと。
- ・ 反物質: 物質と質量とスピンが同じで、電荷が逆のもの。
- ・ 光格子: 光の定在波によって形成された卵パックのような形をしたポテンシャル。
- ・ 磁気光学トラップ: 対向するレーザー光と四重極磁場によって真空中に原子を捕獲する手法。

参考文献

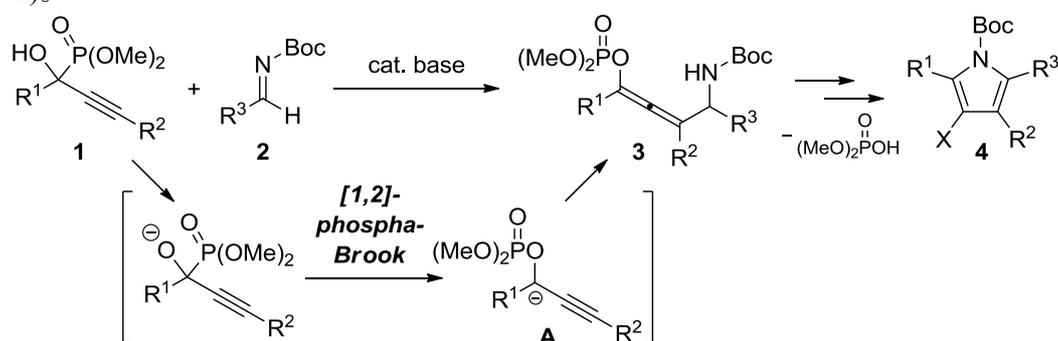
- [1] Uchiyama *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **89**, 123111 (2018).
[2] Uchiyama *et al.*, J. Phys. Conf. Ser.(投稿中).

[1,2]-phospha-Brook 転位を利用した 多置換ピロールの高効率合成

○石川奨・飯野晃生・青木拓磨・近藤梓・寺田眞浩

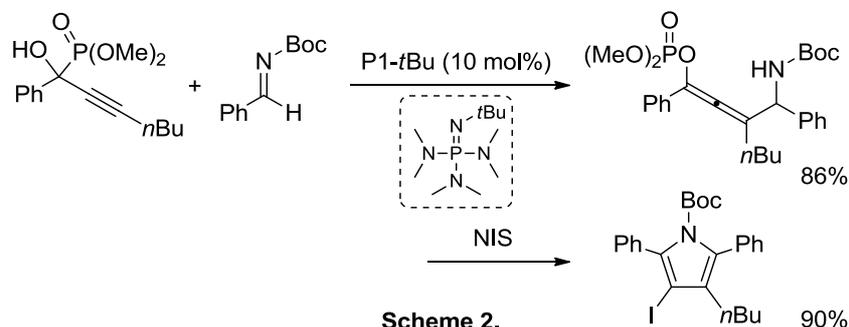
東北大学大学院理学研究科化学専攻

ピロールは生物活性物質や機能性材料の基本骨格に含まれる重要な含窒素芳香族化合物である。そのため、置換基の位置が高度に制御された多置換ピロールの高効率合成法の開発は、有機合成上極めて重要な課題の一つである。今回我々は、入手容易なプロパルギルアルコール **1** とイミン **2** の段階的な[3+2]環化付加反応による多置換ピロールの新たな合成法を設計した[1]。すなわち、プロパルギルアルコール **1** とイミン **2** に対し、ブレンステッド塩基触媒を作用させると、まず **1** の脱プロトン化と[1,2]-phospha-Brook 転位が進行し、プロパルギルアニオン中間体 **A** が発生する。続いて、この中間体が γ 位で位置選択的にイミン **2** に付加することで、ホモアレニルアミン **3** が生成する。この生成物からさらにリン酸の脱離を伴う環化を進行させることで、目的とする多置換ピロールが得られると考えた (Scheme 1)。



Scheme 1. Reaction Design

種々検討を行なった結果、ブレンステッド塩基触媒として P1-*t*Bu を用いることで、プロパルギルアニオン中間体の発生とイミンへの付加が効率よく進行することを見いだした。また、得られたホモアレニルアミン **3** に対し NIS を作用させることで、リン酸の脱離を伴うヨード環化が進行し、目的とする多置換ピロール **4** が良好な収率で得られた (Scheme 2)。



Scheme 2.

参考文献

- [1] Kondoh. A.; Iino. A.; Ishikawa. S.; Aoki. T.; Terada. M., *Chem. Eur. J.* **2018**, *24*, 15246–15253

アラビア湾南岸に分布する下部白亜系炭酸塩岩にみられる ドロマイトの起源と成因

○矢野元康・高柳栄子・廣島英樹^a・佐々木亮^a・浅原良浩^b・山本鋼志^b・井龍康文

東北大学大学院理学研究科地学専攻

アブダビ石油株式会社^a・名古屋大学大学院環境学研究科^b

アラビア湾南岸では、ジュラ紀～白亜紀（約1億4500万年前）に炭酸塩岩が広く堆積していたことが知られている。これら炭酸塩岩は石油の貯留岩となっており、現在同地域で巨大油田を成立させている。その石油貯留能力は炭酸塩岩の孔隙率と浸透率に依存しており、堆積過程とその後の続成作用*により決定される。アラビア地域の炭酸塩岩は、石灰岩（ CaCO_3 ）とドロマイト（ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ）より構成され、後者の大部分は、初生的岩石である石灰岩が間隙水として周囲に存在する溶液（母液）中のMgを取り込み、石灰岩中のCaの一部を置換することで形成されたものである（ドロマイトができる一連の続成作用を“ドロマイト化作用”という）。このような炭酸塩岩の堆積環境ならびに年代を詳細に検討すること、また堆積・続成モデルを構築することは、貯留岩としての性状を評価する上で重要である。そこで我々は、アラビア湾南岸に分布する上部ジュラ系（チトニアン階）～下部白亜系（ベリアシアン階）炭酸塩岩の堆積・続成史を明らかにするため、それらの堆積学的・地球化学的研究を実施している。本研究では、同炭酸塩岩中に含まれるドロマイトの岩石学的（顕微鏡像・BSE像）、鉱物学的（粉末X線回折）、地球化学的（炭素・酸素同位体比、ストロンチウム同位体比、微量金属元素濃度）検討を行い、ドロマイトの形成過程と時期を明らかにすることを目的として行った。

その結果、本研究で検討したドロマイト結晶は、Mg含有量の高い（以下、*stoichiometric* と呼ぶ）ドロマイトとMg含有量の低い（以下、*calcian* と呼ぶ）ドロマイトの2種類に分類できることが明らかとなった。*Stoichiometric* ドロマイトは、ドロマイトが見出された6層準の全てで認められた。これに対し、*calcian* ドロマイトは1層準でのみ認められ、*stoichiometric* ドロマイトに先行して晶出し、ドロマイト結晶の核をなしていた。地球化学的検討結果から、両ドロマイトは海水を母液として形成されたこと、また両ドロマイトのSr同位体比年代が周囲の石灰岩の堆積年代とほぼ等しいことが示された。これは、両ドロマイトは、原岩の堆積直後に海水ドロマイト化作用により形成されたことを意味する。また、堆積シーケンスの検討から、*calcian* ドロマイトの形成時期は低海水準時と特定されたが、低海水準時に*calcian* ドロマイトが形成された要因は、現時点では不明である。

専門用語の説明

- ・ 続成作用：堆積物および堆積岩が物理化学的反応により、鉱物組成や組織に変化を被る作用の総称。

Mira 型変光星の光度曲線のウェーブレット解析

幅崎裕太

東北大学大学院理学研究科天文学専攻

質量が太陽の1～8倍の中小質量星は、進化の最終段階に入ると Mira 型変光星となる。Mira 型変光星とは、100～1000日の周期で明るさが変動する長周期変光星である。Mira 型変光星は星内部で生成した重元素を放出して宇宙の元素組成を変えていくため、宇宙の物質進化を考える上で重要な天体である。Mira 型変光星の変光周期と絶対光度には相関があり、いくつかの系列に分類できることが知られている。しかし内部構造が複雑であるため、変光現象の詳細なメカニズムは未だ説明されていない。

近年、長期間の変光星モニタリング観測が行われるようになり、周期が時間変化する変光星の存在が明らかになってきた。OGLE(Optical Gravitational Lensing Experiment)[1]もその観測プロジェクトの一つで、大マゼラン雲、小マゼラン雲、銀河系バルジの3つの領域を、10年間以上もの間観測し続けている。これにより、Mira 型変光星のような長周期変光星であっても周期の変化が求められるようになった。

そこで本研究では変光星の時間変化を求める方法としてウェーブレット解析 [2] の手法に着目した。ウェーブレット解析は、周期の変化だけでなく、時間平均光度、振幅の変化も一挙に求めることができる強力なツールである。今回は OGLE で観測された Mira 型変光星約 8000 天体の光度曲線についてウェーブレット解析を行った。これにより、周期、光度、振幅について、今までに無かった時間変化の情報を得ることができた。また、大マゼラン雲、小マゼラン雲、銀河系バルジの3つの領域はそれぞれ重元素量が異なるため、3つの領域を比較することで重元素量依存性を見ることができる。これらの多次元の情報を機械学習の方法を取り入れて解析することで、Mira 型変光星の新たな分類方法について考察する。また、前述の周期と光度における複数の系列の説明を試みる。

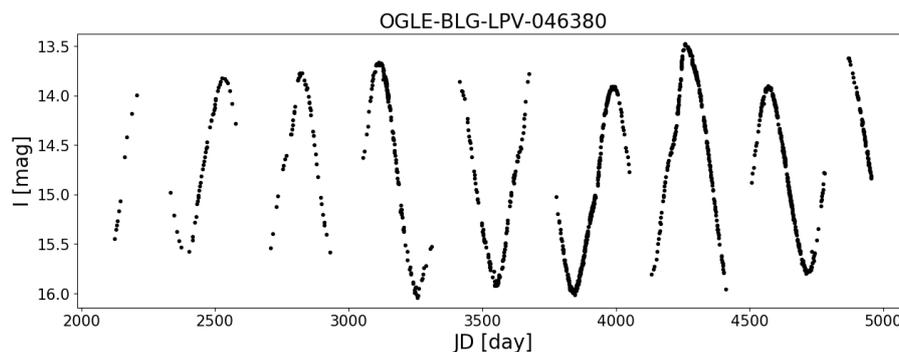


図 1: Mira 型変光星 OGLE-BLG-LPV-046380 の光度曲線

参考文献

[1] <http://ogle.astrouw.edu.pl>

[2] Foster, G. 1996, AJ, 112, 1709

対称マルコフ過程における準定常分布と ヤグロム極限の存在と一意性

東北大学大学院理学研究科数学
岡本 侃智

森羅万象消滅しないものは無い。しかし、必ず消滅するとしてもある時間スケールでは平衡状態を保っている現象は多くある。このような現象を数学的にモデル化する一つの方法として、有限時間で必ず消滅する(生存時間有限な)マルコフ過程が使われる。短時間では平衡状態にあることは、消滅するマルコフ過程が準定常分布をもつこととして捉えられる。準定常分布に収束する(ヤグロム極限とよばれる)速さに比べて、消滅する速度の方がはるかに遅いことを示すことで上で述べた現象は説明される。

数学的には準定常分布の存在と一意性、ヤグロム極限の存在については、出生死滅過程や一次元拡散過程の場合にのみ詳しく分かっているだけで、多次元空間上のマルコフ過程に対して満足できる理論はない。境界の複雑さのため、一次元拡散過程におけるフェラーの境界分類に対応する理論のないことが理由である。

本研究では、既約性、レゾルベント強フェラー性ととも、鍵となる新しい性質、緊密性を持つ対称マルコフ過程のクラスを、一次元拡散過程の次に考察すべき対象として考察する。このクラスに属する生存時間有限な対称マルコフ過程は、フェラーの境界分類で正則または脱出境界条件を有する、すなわち生存時間有限な一次元拡散過程と共通の性質を持ち、その拡張と考えられる。このクラスに属するマルコフ過程の著しい確率論的性質、生成作用素のスペクトル論的性質を調べることで、準定常分布の存在と一意性が竹田により示された。さらに内在的超縮小性が示されればヤグロム極限の存在も示せる。

本研究では、竹田による新しい方法で準定常分布の存在と一意性が確認することを目的とする。また、吸収壁一次元拡散過程に対しては富崎による方法で内在的超縮小性が確認できるため、ヤグロム極限の存在も示される。多次元の α -安定過程に対しては緊密性と内在的超縮小性の確認のために Kwaśnicki[1] により示された定理を用いる。

竹田と富崎による方法は確率微分方程式で定義される一次元拡散過程のみならず、Feller の標準形から生成される一般の一次元拡散過程に対しても応用可能であり準定常分布とヤグロム極限の存在と一意性を証明できるという点で優れている

参考文献

- [1] Kwaśnicki, M.: Intrinsic Ultracontractivity for Stable Semigroups on Unbounded Open Sets, *Potential Anal.* 31, 57-77(2009).
- [2] Takeda, M.: Existence and Uniqueness of Quasi-Stationary Distributions for Symmetric Markov Processes with Tightness Property, to appear in *J.Theoret.Prob.*(2019).
- [3] Tomisaki, M.: Intrinsic ultracontractivity and small perturbation for one-dimensional generalized diffusion operators, *J.Funct.Anal.* 251, 289-324 (2007).

酸素センサーによる浸透圧ストレス応答の調節

○田村遼・安元研一・大橋一正

東北大学大学院理学研究科化学専攻

細胞は様々な外的環境ストレスに対応し恒常性を維持するための応答機構を備えている。低酸素応答機構は血流の低下等に由来する酸素濃度の低下に対応する機構であり、プロリン水酸化酵素 PHDs が中心的な役割を果たしている。PHDs は低酸素誘導因子 HIF-1 α のプロリンを水酸化することによりその量を調節している。低酸素環境では PHDs による水酸化活性の低下により、分解を免れた HIF-1 α は細胞の核へ移行し低酸素応答遺伝子の転写を活性化し、結果として細胞は低酸素環境に適応する。この機構において PHD は酸素センサーとして機能しているが、最近 HIF-1 α 以外の基質をプロリン水酸化してシグナル伝達経路を調節する機構が見出されている。PHDs には PHD1、PHD2、PHD3 の3つのアイソザイムが存在するが、当研究室では PHD3 が浸透圧ストレスに応答するための MAP キナーゼ経路の制御に関与することを見出した。[1-2]

ストレス応答性 MAP キナーゼ経路は細胞が酸化ストレス、UV、浸透圧ストレス²⁾等の環境ストレスを受けた時に、細胞死の誘導、細胞増殖、ストレス適応等を調節している。ストレスを感知すると細胞内では MAP キナーゼキナーゼキナーゼ(MAPKKK)がリン酸化、つまり活性化される。活性型 MAPKKK は MAP キナーゼキナーゼ(MAPKK)をリン酸化し、活性型となった MAPKK は MAP キナーゼ(MAPK)をリン酸化する。活性型 MAPK がそれぞれの標的のタンパク質をリン酸化し、このタンパク質が核に移行して細胞死の誘導やストレス応答遺伝子の転写を活性化する。主に3種類存在している MAPK 経路の中でストレス応答を制御するのが JNK 経路であり、図で示したようにシグナルを順に伝達していく。このシグナル伝達を効率よく行うために3つのキナーゼが結合する足場タンパクとして JIP1 が存在する。通常は血液等の体液中の溶質濃度は一定に保たれているが、様々な要因によりその恒常性が破られ、細胞は高浸透圧にさらされる場合がある。腎臓、脾臓、脳等が特に浸透圧が変動する組織であるが、それらは低酸素環境になりやすいことが報告されている。そこで浸透圧ストレスの制御に対する PHD3 の関与を調べたところ、PHD3 が浸透圧による JNK の活性化に重要であることを見出した。今回は、PHD3 と MAPKKK の一種である DLK の相互作用が PHD3 によるプロリン水酸化活性に依存することを明らかにした。

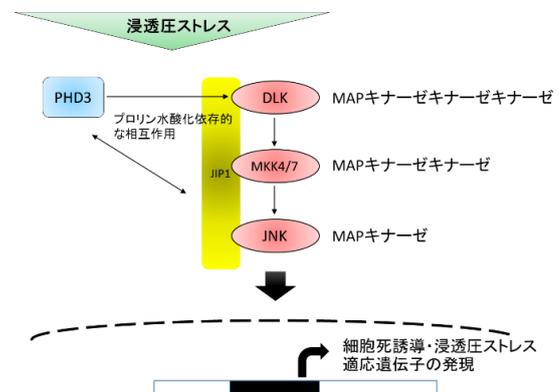


図 浸透圧ストレスに適応する MAPK 経路の略図

[専門用語]

1)MAP キナーゼ経路 環境ストレスなどの細胞外からの刺激に適応するために、この経路を介して細胞の核へシグナル伝達をする。

2)浸透圧ストレス 水分摂取不足や過剰な塩分摂取により血液中の溶質濃度が上がり、高浸透圧がかかる

[参考文献]

[1] 阿部 凜 (2017) 修士論文

[2] Bruick R.K et al (2001) Science **294**, 1337-1340

**ボアホール地震記録を用いた堆積層における
S波速度・減衰構造のMCMC法による推定
(東北大学大学院理学研究科 地球物理学専攻) ○柴田剛・中原恒**

大地震に伴う強い地震動による被害を軽減するためには、地震による各地の揺れを正確に予測することが必要である。地表面の揺れに関わる主な要因としては、マグニチュードのような震源特性や地震波が伝わる地球内部での伝播特性、観測点近傍のサイト特性などがある。その中でもサイト特性は地点によってそれぞれ固有の地盤条件を反映し、各地点の地震動の強さや特性に大きな影響を与える。特に重要な地盤の要素はS波速度構造とS波減衰構造である。これらの構造を推定することでどの周波数の波がどの程度増幅するか推定することが出来る。その推定手法の1つに鉛直アレイの地表・地中記録を用いるものがある。既往研究では2つの記録の振幅スペクトル比のみを用いて位相スペクトルを用いていないものや、初期構造に依存する逆解析手法を用いているものが多い。Fukushima et al. (2016) では地中記録を地表記録でデコンボリューション（逆畳み込み）することで得られる波形の入射波と地表面反射波のスペクトル比から表層地盤の減衰特性を推定している。ただ入射波と地表面反射波以外のフェーズは観測点間の速度境界面で反射されたものと考えられる。そこで本研究では地中/地表デコンボリューション波形の全波形を扱うことで、1次元S波速度構造とS波減衰構造をマルコフ連鎖モンテカルロ法（MCMC法）により推定した。

防災科学技術研究所の基盤強震観測網（KiK-net）で記録されている地表・地中記録に対して、地震波干渉法に基づくデコンボリューション解析を行った。地中記録を地表記録でデコンボリューションすることで震源特性や伝播特性の影響を取り除くことができ、地表を起振点、地中を観測点とみなした波形を得ることができる。そのため地表－地中観測点間のみの情報を抽出することが出来る。このデコンボリューション波形の全フェーズを用いることでS波減衰構造と1次元S波速度構造を同定した。

解析の結果、まず減衰構造 Q_5^{-1} については、1-10Hzにおいて周波数依存性をもつものが推定された（例：CHBH10観測点において周波数 f のべき関数でフィッティングを行うと $Q_5^{-1} = 0.015f^{-0.30}$ ）。MCMC法で得た1次元S波速度構造の各パラメータの多くは1つのピークをもつ分布をしており、それらの平均値から求められる理論波形は十分観測波形を説明できた。CHBH10観測点については、検層構造と比較すると浅層ではS波速度が低下傾向、深層では増加傾向にあることが分かった。減衰構造と速度構造の両者を1つの解析の中で推定できることは本研究の手法の大きな利点であり、より高精度に構造を推定できる可能性があることから、これからの強震動予測の高精度化に活用できる可能性がある。

専門用語の説明

・地震波干渉法：2つの観測点で記録された波動場の相関処理から、観測点間を伝播する波動を抽出する手法

参考文献

[1] Fukushima, R., H. Nakahara, and T. Nishimura, 2016, Estimating s-wave attenuation in sediments by deconvolution analysis of KiK-net borehole seismograms, Bull. Seism. Soc. Am., 106, 552-559.

通勤流動を考慮した東日本大震災の活動地別死亡率

小松謙・磯田弦

東北大学大学院理学研究科地学専攻

本研究では東日本大震災の活動地別死亡率について宮城県を対象に算出した。これまでの東日本大震災の研究において一般に用いられてきた死亡率は死亡者の居住地に基づいて算出された居住地別死亡率(図 1a)である。しかしこの災害は平日昼間に発生したものであり、多くの被災者が自宅を離れ活動中に被災したと考えられるため、居住地別死亡率は沿岸部での被害を内陸居住地での被害として扱ってしまい被害の実態を過小評価している可能性がある。このようなことから実際の被災場所に基づいて計算された活動地別死亡率が求められているが、すべての死亡者の被災場所を把握するのは不可能である。そこで死亡就業者の居住地から就業地への移動を通勤流動を用いてモデル化した。

また、被害の特徴を捉えるには詳細な小地域スケールの利用が望ましいが、小地域レベルの通勤流動データは存在しない。そこで、人や物などの空間的な移動量を説明する空間的相互作用モデル[1]を利用して各小地域間の震災死亡者の居住地から就業地への移動を推計し最尤法によりモデルに最も良く適合する活動地別死亡率を求めた。

図 1b が活動地別死亡率の推計結果である。内陸部で存在した死亡者数の大部分が沿岸部へと移動し、居住地別死亡率が最高の釜谷地区(石巻市)では 34.1%から 60.9%へと二倍以上の死亡率の変化を示し、甚大な被害で知られている地区をより強調して示す結果となった。

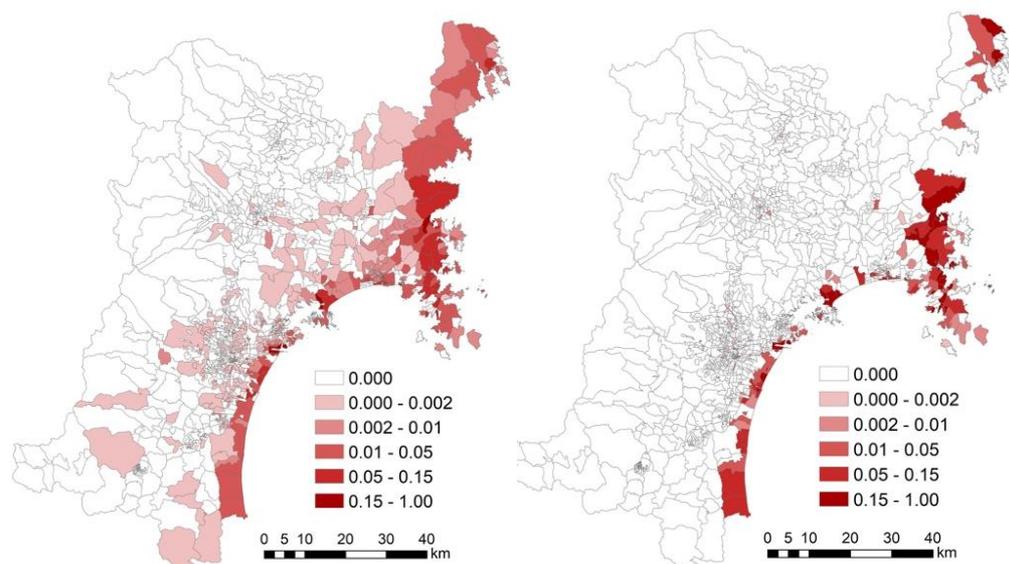


図 1 既知の居住地別死亡率(a)

推計された活動地別死亡率(b)

[1] Wilson, A. (1967). A statistical theory of spatial distribution models. *Transportation Research*, 1(3), 253-269

ガウス基底波束動力学法の電子および核波束動力学への適用

○鈴木和磨・荒井雄太・菅野学・河野裕彦

東北大学大学院理学研究科化学専攻

【序】高強度近赤外レーザー場によって原子・分子のクーロンポテンシャルが歪められるとトンネル効果で電子が飛び出すトンネルイオン化が起こる。レーザーの向きが反転すると、飛び出した電子が親イオンの方へ引き戻されて再結合したり、散乱されたりする（再散乱）。このような束縛状態から連続状態まで関与する電子ダイナミクスの計算法として、座標空間を格子状に分割し、その格子点（グリッド）における波動関数の値を数値的に求めるグリッド法がある。しかしこの方法では、クーロンポテンシャルの特異点付近にグリッドをとると数値的に不安定になるという問題がある。他方、核波束動力学の分野では、空間上に広く配置したガウス基底で波動関数を展開する手法が発展してきた。ガウス基底には時間発展に必要な種々の積分を高速で計算でき、波束の形状に応じて柔軟に基底を配置できるという利点があるため、原子核から離れた位置にも配置すれば、連続状態が関与する電子ダイナミクスにも有効であると考えられる。本研究では、トンネルイオン化のような連続状態が関与する電子ダイナミクスや、分子内のプロトンがトンネル効果でポテンシャル障壁を通過するプロトン移動のような量子効果が顕著に現れる分子ダイナミクスへと適用できるガウス基底波束動力学法の開発を目的としている。そこで、まずクーロンポテンシャルに適した基底配置を開発し、水素原子のトンネルイオン化と再散乱に適用した①。また、ガウス基底自動展開法[2]を用いて水素分子の原子核のダイナミクスに対して on-the-fly 量子力学計算を行った②。

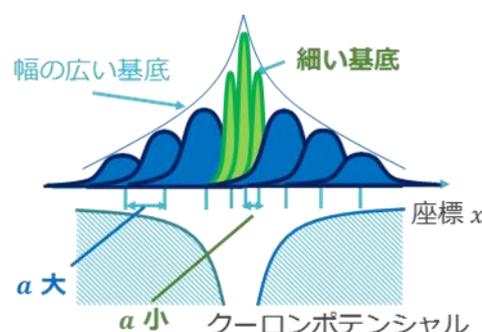


図1 クーロンポテンシャルに適したガウス基底配置の模式図(実際は3次元空間に配置)。

【手法】基底間の重なりを適切に調整して配置することによって、計算精度と安定性を確保する。電子ダイナミクスの場合、それぞれ規則正しく配置した幅の異なる基底の中から、原子核付近では幅の細い基底を選び、原子核から離れるにつれて幅の広い基底を選ぶ(図1)。分子ダイナミクスの場合も、展開に最適な基底を選び、波束の変化に合わせて再展開する。

【結果と考察】①の結果を説明する。本手法で展開した水素原子の1s波動関数に図2(a)のパルスを照射して時間発展を行うと、電場の第2ピーク付近で電場から電子に働く力の向きにイオン化が起きた(図2(c))。電場の向きが変わると反対方向へのイオン化と、先ほど飛び出した波束の再散乱が確認できた(図2(d))。②の結果についても当日発表する。

専門用語の説明

- ・on-the-fly 量子力学計算: 大域的なポテンシャルをあらかじめ求めておらずに、各時間ステップにて「その場で」求める波動関数の時間発展の方法。ポテンシャルを計算するのに時間がかかる分子系で有効。

[1] Y. Arai, K. Suzuki, M. Kanno, H. Kono, *Chem. Phys. Lett.* **708**, 170 (2018).

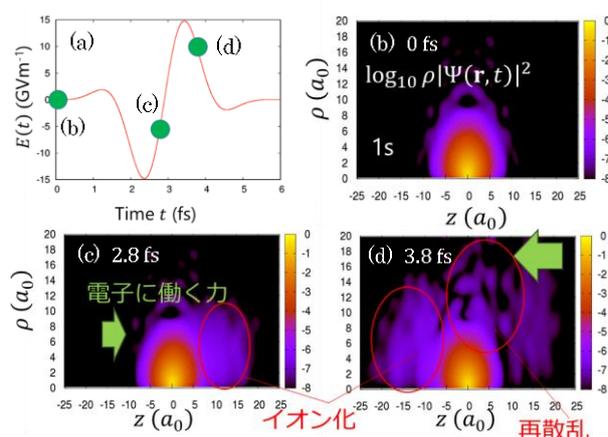


図2 (a) 用いた光電場。(b-d) 波束の時間変化。イオン化と再散乱が起こる様子が確認できる。

電子の多体効果が生み出す隠れた秩序と端状態

○伊藤拓哉・柴田尚和

東北大学大学院理学研究科物理学専攻

二次元平面上に置かれた自由電子に、二次元面に垂直に磁場を印加すると、各電子はサイクロトロン運動と呼ばれる回転運動をすることが知られてる (図 1(a))。このとき、各電子の運動エネルギーは Landau 準位と呼ばれる特定の大きさに離散化される。この離散化が生じると、各電子がどの位置で回転運動をしても系が同じエネルギーを持つようになり、基底状態には電子配置の数だけの膨大な縮退が現れる。この膨大な基底状態の縮退は電子間に働くクーロン相互作用によって解かれ、磁場の大きさや、系に含まれる電子の数によってウィグナー結晶、電荷ストライプ、量子液体といった様々な状態が実現する。

このような多彩な量子状態のうち、物性物理で現在特に盛んに研究されているのが、系を貫く量子磁束の本数 N_ϕ と系に含まれる電子数 N_e の比 $\nu = N_e/N_\phi$ が、 $1/3$ や $2/5$ といった特定の分数になるときに出現する分数量子ホール状態と呼ばれる量子液体状態である。この状態が実現したとき、 x 方向に電流を流したときに y 方向にかかる電圧を測定することで得られるホール抵抗率 ρ_{xy} を調べる (図 1(b)) と、電気素量 e 、プランク定数 h 及び ν を用いた値 $\rho_{xy} = h/e^2\nu$ に量子化されるという著しい性質が得られる [1]。さらに分数量子ホール状態では、電子は平面上に一律に分布して液体のように振る舞うにも関わらず、系のサイズを小さくしてこの液体を圧縮しようとするとき強い反発を示す非圧縮液体としての性質を持ち、これはこの量子液体が隠れた秩序を持つことを示唆している。この特異な量子液体状態の基本的な性質はこれまで行われた数多くの研究によってほぼ解明されているが、一方で現実の試料に必ず存在する”端”の部分においてこの量子液体状態がどのような振る舞いをするのかについてはまだ未解明の部分が多い。本研究では、試料端の存在が分数量子ホール状態にどのような影響を及ぼすかを調べるため、大きなサイズの系の計算をすることが可能な手法である密度行列繰り込み群法と呼ばれる数値解析手法を用いて、端のある二次元電子系の計算を行った。図 2 に本研究で得られた $\nu = 1/3$ における二次元面上の電荷分布を示す。系の中心では $\nu = 1/3$ に対応する密度で一律に電子が分布しているが、系の端付近では、電荷密度の高い状態が端に沿って出現している様子が確認できる。この端に沿った部分は中心部分の非圧縮液体と対照的に、朝永-Luttinger 液体と呼ばれる量子臨界状態を形成することが理論的に予測されており、今回の計算結果は現実の試料で中心部分の非圧縮液体と端に出現する量子臨界状態がどのように共存するのかを理解する手がかりとなると期待される。

専門用語の説明

- 量子磁束: 磁束を量子化した際に現れる磁束の最小単位。
- 朝永-Luttinger 液体: 相関が冪減衰するなどの臨界的な性質を示す一次元量子系特有の状態。

参考文献

- [1] D. C. Tsui, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **48**, 1559 (1982).

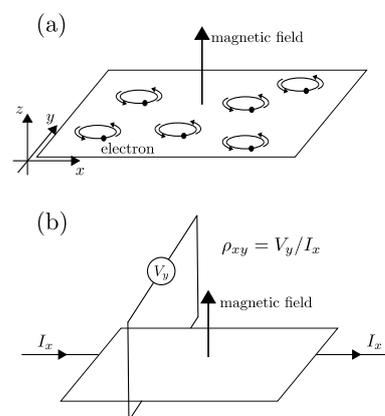


図 1: (a) サイクロトロン運動する電子のイメージ図。(b) ホール抵抗率の測定の概略図。

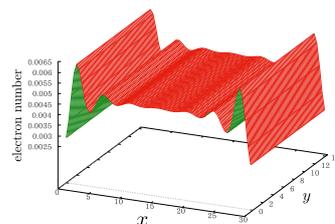


図 2: $\nu = 1/3$ での二次元面上の電子数期待値。 x 方向に端があり、 y 方向には周期境界条件が課されている。

矮小楕円体銀河の動力学進化

三好貴大・千葉証司

東北大学大学院理学研究科天文学専攻

私たちが住む太陽系は、天の川銀河という銀河に属している。天の川銀河は、渦巻銀河とされていて、その形成やどう進化してきたかを理解することは重要である。現在の一般的な銀河形成理論においては、天の川銀河のような銀河は、小さな銀河の合体や降着により形成されたと言われている。形成に関わった銀河の一部は、今も天の川銀河周辺に残っているとされるので、それらの銀河の形成や進化を追うことで、天の川銀河の形成につなげることができる。観測的に、天の川銀河周辺で見つかった衛星銀河の分布を示したのが、図1である。2005年以降に発見された銀河は、ほとんどが矮小楕円体銀河という情報を加えると、天の川銀河周辺の銀河は矮小楕円体銀河が多い。つまり、矮小楕円体銀河の形成・進化の様子に迫ることで、間接的に天の川銀河形成への制限をつけられるはずである。

矮小楕円体銀河の特徴と大きく3つ挙げられる。i)年齢は、120億歳前後のものが多く ii)星をつくる元のガスが現在全く存在しない iii)見えない物質であるダークマターの占める割合が他の種類の銀河よりも多いである。宇宙年齢は、138億歳であるので、比較的宇宙初期に形成されたこと、またダークマターという目に見えない物質の寄与が大きいことから、これらの銀河を調べることは、銀河形成だけでなく、宇宙における物質分布に対しても重要な意味がある。

私は、ある観測的事実を用いた解析的なモデル(Okayasu & Chiba 2016)の結果を再現すると同時に、2018年に公開された最新の Gaia データを用いて、矮小楕円体銀河の動力学進化に迫る。Gaia とは、宇宙に打ち上げられた位置天文衛星であり、星の位置と運動を正確に推定することができる。この最新のデータから導かれる矮小楕円体銀河の運動情報から、天の川周辺に落ちてきた時期の推定を行った。

参考文献

[1] Okayasu, Y., & Chiba, M. 2016, ApJ, 827, 105

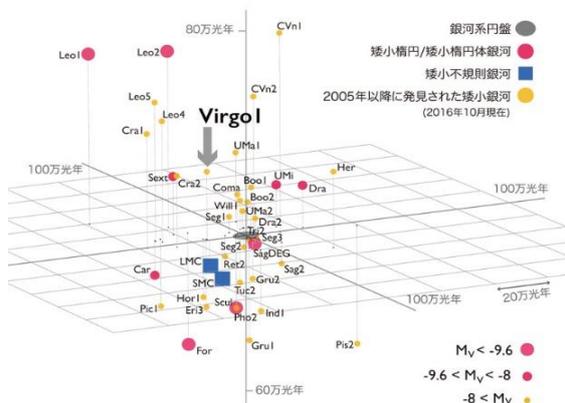


図1：天の川銀河周辺の衛星銀河分布

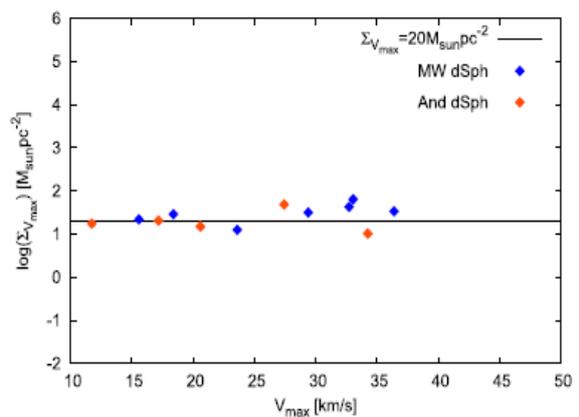


図2：モデルで用いた観測的事実($\Sigma_{V_{max}} \sim \text{const}$)

Resistively detected-NMR in triple-gate quantum point contact: magnetic field dependence

○ A. Noorhidayati^a, M. H. Fauzi^b, S. Maeda^a, K. Sato^a, K. Nagase^a, Y. Hirayama^{a,b,c}

Department of Physics, Tohoku University^a

CSRN, Tohoku University^b

CSIS (Core Research Cluster), Tohoku University^c

NMR (nuclear magnetic resonance) is a powerful tool and widely used in physics studies. However, conventional NMR cannot be applied to a low-dimensional system, such as a quantum point contact (QPC), short and narrow constriction in two-dimensional electron gas (2DEG). To overcome this difficulty, we need a susceptible technique to detect the NMR signal; namely resistively-detected NMR (RD-NMR). In RD-NMR technique interaction between electric and nuclear spins can be observed as an abrupt change in the conductance. We might exploit the QPC ability to electrically probe nuclear spins in the short and narrow channel, allowing physical studies of QPC based on RD-NMR [1-3]. In this study, we test the limits of RD-NMR detection in QPC and its signal dependency to the magnetic field.

Our study is conducted using QPC devices fabricated on high- and low-mobility GaAs heterostructures ($\mu = 147 \text{ m}^2/Vs$ and $\mu = 28 \text{ m}^2/Vs$ at $n_s = 1.8 \times 10^{15} \text{ m}^{-2}$). The QPC is defined electrostatically by applying a negative voltage to a pair of split-gate on top of the heterostructure. In our case, we fabricated triple gate QPC with an additional center gate between the split-gates. We perform our measurement on the simplest condition ($\nu_{bulk} = 2$ and $\nu_{qpc} = 1$) throughout all perpendicular magnetic field (B) variation. Our results suggest when the quality of the $\nu_{qpc} = 1$ conductance plateau is deteriorated the RD-NMR signal is undetectable. We managed to detect the RD-NMR signal down to $B = 1.25 \text{ T}$ (3.5 T) on high-mobility (low-mobility) device. It is natural that the low mobility device shows a higher limiting field. All RD-NMR signal shows threefold spectra due to quadrupolar interaction. The separation between central transition (CT) and its satellites is unaffected by the B variation while the linewidth broadening shows dependency to B . In low magnetic regime the FWHM decrease in proportion to the magnetic field, reflecting the Knight-shift contribution. On contrary FWHM shows saturation in higher magnetic fields, suggesting Coulomb interaction roles.

References

- [1] K. R. Wald, et. al., Phys. Rev. Lett., 73, 1011 (1994).
- [2] M. H. Fauzi, et. al., Phys. Rev. B 97, 201412(R) (2018).
- [3] M. H. Fauzi, et al., arXiv: 1812.08935

人口減少局面における日本の都市構造の変遷

神田兵庫

東北大学大学院理学研究科地学専攻

I 序論

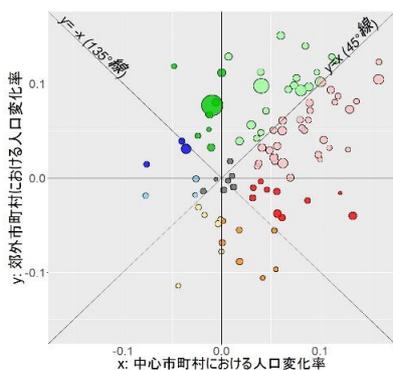
都市の持続可能性の観点から、国や地方自治体の一部では都市の機能を中心部に集約するコンパクトシティの政策を打ち出している。しかしながら今日においても、地方の中小都市などにおいては、依然として商業施設等の郊外立地やそれに伴う中心市街地の衰退の問題が指摘されている。そこで本研究では、クラッセンの都市サイクルモデル[1]の考え方に基づいて、日本の都市が経験してきた都市構造の変遷を把握する。

II 研究方法・結果

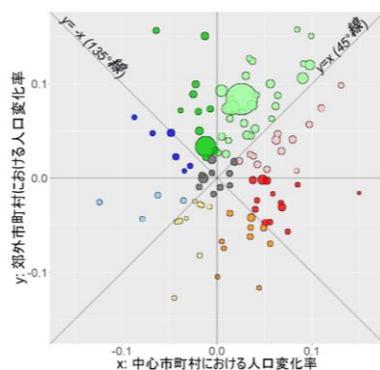
Klaassen et al.(1981)の方法と同様に、日本の109の都市圏について、これを中心都市と郊外に二分し、これらの人口変化率をそれぞれ横軸と縦軸にとってプロットした結果を下図に示した。このとき、 $y=x$ (45°線)の下部に都市がプロットされていれば、都市構造は「集中」化(「コンパクト」化)していることを意味し、これは各種インフラや公共サービスを維持する観点からは好ましい。

以下、結果について概観する。クラッセンの古典的なモデルによると、都市は30年から40年の周期で下図の座標上を反時計回りに回転するといわれているが、日本の都市においてはそのような傾向はみられない。そして2000年以降においては、日本の都市は45°線の下側に位置しているものが多く、都市が「集中」化していることがわかる。

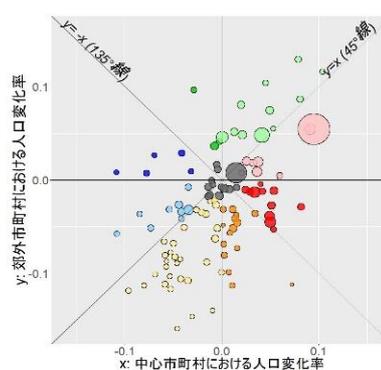
この結果をより詳細に検討するため、より詳細な単位である1kmメッシュ人口分布からも、都市が「集中」しているか「拡散」しているかを判定したが、人口変動の影響を取り除いても、日本の都市は「集中」化していることが示唆された。



【図 1:1980年-1990年】



【図 2:1990年-2000年】



【図 3:1990年-2000年】

※各図において、プロットされた点の大きさが大きいほど、その都市の人口規模が大きいことを意味する。

用語

都市圏：異なる市町村でも機能的に一体であるとみなすのがふさわしいものを、「1つの都市」とみなす考え方(たとえば多賀城市や名取市は、「仙台都市圏」の一部である)

参考文献

- [1] Klaassen,L.H., Bourdrez,J.A. and Volmuller,J. 1981. *Transport and reurbanisation*. Aldershot: Gower, Aldershot.

ある対数型 Sobolev の不等式と不確定性原理への応用

勝呂剛志

東北大学大学院理学研究科数学専攻

Heisenberg の不確定性原理は, 任意の $f \in L_1^2(\mathbb{R}^n) \cap H^1(\mathbb{R}^n)$ に対して,

$$\|f\|_2^2 \leq \frac{2}{n} \left(\int_{\mathbb{R}^n} |x|^2 |f(x)|^2 dx \right)^{\frac{1}{2}} \left(\int_{\mathbb{R}^n} |\xi|^2 |\widehat{f}(\xi)|^2 d\xi \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

が成り立つことである. ここで, \mathbb{R}^n を n 次元 Euclid 空間とし, Lebesgue 空間 $L^2(\mathbb{R}^n)$ を

$$L^2(\mathbb{R}^n) \equiv \{f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R} : \text{可測函数}; \|f\|_2 < \infty\}, \quad \|f\|_2 \equiv \left(\int_{\mathbb{R}^n} |f(x)|^2 dx \right)^{\frac{1}{2}}$$

と定めたとき,

$$L_1^2(\mathbb{R}^n) \equiv \{f \in L^2(\mathbb{R}^n); |x|f \in L^2(\mathbb{R}^n)\}, \quad H^1(\mathbb{R}^n) \equiv \{f \in L^2(\mathbb{R}^n); |\xi|\widehat{f} \in L^2(\mathbb{R}^n)\}$$

とする. ただし, \widehat{f} は f の Fourier 変換とする. 不等式 (1) において, 2つの積分値の積が下から正定数で抑えられることから, Heisenberg の不確定性原理 (1) は一方の積分値が 0 に近づくほど, もう一方の積分値が無限大に発散することを意味する.

この Heisenberg の不確定性原理 (1) は, エントロピー汎函数

$$\int_{\mathbb{R}^n} |f(x)|^2 \log \frac{|f(x)|^2}{\|f\|_2^2} dx$$

に関わる以下 2つの不等式から導出される:

- 対数型 Sobolev の不等式 ([4])

$$\int_{\mathbb{R}^n} |f(x)|^2 \log \frac{|f(x)|^2}{\|f\|_2^2} dx \leq \frac{n}{2} \|f\|_2^2 \log \left(\frac{2}{n\pi e \|f\|_2^2} \int_{\mathbb{R}^n} |\xi|^2 |\widehat{f}(\xi)|^2 d\xi \right). \quad (2)$$

- Shannon の不等式 ([3])

$$\int_{\mathbb{R}^n} |f(x)|^2 \log \frac{|f(x)|^2}{\|f\|_2^2} dx \geq -\frac{n}{2} \|f\|_2^2 \log \left(\frac{2\pi e}{n\|f\|_2^2} \int_{\mathbb{R}^n} |x|^2 |f(x)|^2 dx \right). \quad (3)$$

ここでは, 対数型 Sobolev の不等式 (2) の右辺の積分項において, 重みである $|\xi|^2$ を対数函数 $\log |\xi|^2$ に拡張した Beckner の対数型 Sobolev の不等式に注目する ([1]):

$$\int_{\mathbb{R}^n} |f(x)|^2 \log \frac{|f(x)|^2}{\|f\|_2^2} dx \leq \frac{n}{2} \int_{\mathbb{R}^n} |\widehat{f}(\xi)|^2 \log (B_n |\xi|^2) d\xi - n\psi \left(\frac{n}{2} \right) \|f\|_2^2, \quad (4)$$

ただし,

$$B_n = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{\Gamma(n)}{\Gamma(\frac{n}{2})} \right)^{\frac{2}{n}}$$

であり, $\Gamma(z)$ は Gamma 関数, $\psi(z)$ は digamma 関数 $\psi(z) \equiv (d/dz) \log \Gamma(z)$ である.

主定理として, Beckner の対数型 Sobolev の不等式 (4) に対応する “双対” 不等式を得た (H. Kubo¹-T. Ogawa²-T. Suguro [2]):

定理 1. 任意の $f \in L_1^2(\mathbb{R}^n)$ に対して,

$$-\int_{\mathbb{R}^n} |f(x)|^2 \log \frac{|f(x)|^2}{\|f\|_2^2} dx \leq n \int_{\mathbb{R}^n} |f(x)|^2 \log (C_n(1 + |x|^2)) dx \quad (5)$$

が成り立つ. ここで,

$$C_n = \sqrt{\pi} \left(\frac{\Gamma(\frac{n}{2})}{\Gamma(n)} \right)^{\frac{1}{n}}$$

は最良定数であり, 等号は任意の定数 $C > 0$ に対して,

$$f(x) = C(1 + |x|^2)^{-\frac{n}{2}}$$

のときのみ成り立つ.

この不等式 (5) は Beckner の対数型 Sobolev の不等式 (4) と同様に, Shannon の不等式 (3) の右辺の積分項において, 重みである $|x|^2$ を対数関数 $\log(1 + |x|^2)$ に拡張した不等式である. また, 不等式 (4) と (5) 双方を用いて, Heisenberg の不確定性原理 (1) の拡張である以下の対数型不確定性原理が導出される:

系 2 ([2]). 任意の $f \in L_1^2(\mathbb{R}^n) \cap H^1(\mathbb{R}^n)$ に対して,

$$\psi\left(\frac{n}{2}\right) \|f\|_2^2 \leq \int_{\mathbb{R}^n} |f(x)|^2 \log \frac{1 + |x|^2}{2} dx + \int_{\mathbb{R}^n} |\hat{f}(\xi)|^2 \log |\xi| d\xi \quad (6)$$

が成り立つ. ここで, 左辺の定数は最良定数であり, 等号は任意の定数 $C > 0$ に対して,

$$f(x) = C(1 + |x|^2)^{-\frac{n}{2}}$$

のときのみ成り立つ.

参考文献

- [1] Beckner, W., *Pitt's inequality and the uncertainty principle*, Proc. Amer. Math. Soc. **123** (1995), 1897-1905.
- [2] Kubo, H., Ogawa, T., and Suguro, T., *Beckner type of the logarithmic Sobolev and a new type of Shannon's inequalities and an application to the uncertainty principle*, Proc. Amer. Math. Soc., in press.
- [3] Shannon, C. E., *A mathematical theory of communication*, Bell System Tech. J. **27** (1948), 379-423, 623-656.
- [4] Stam, A. J., *Some inequalities satisfied by the quantities of information of Fisher and Shannon*, Inform. and Control **2** (1959), 102-112.

¹北海道大学大学院理学研究院数学部門数理系

²東北大学数理科学連携研究センター・大学院理学研究科数学専攻

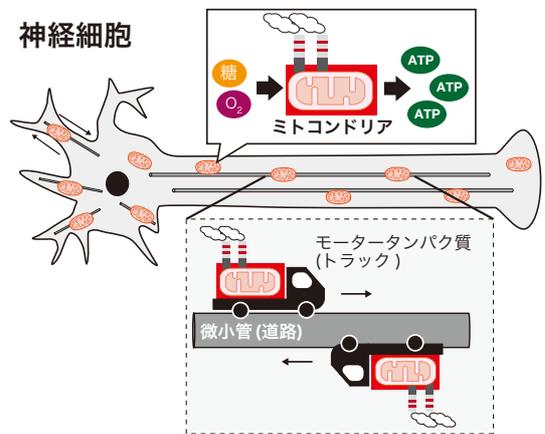
細胞内の発電所はどのように運ばれるのか？

線虫神経系を用いたミトコンドリア輸送機構解明へのアプローチ

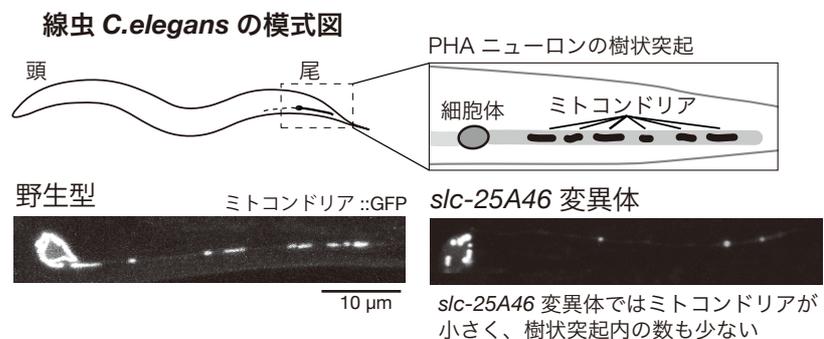
○小日向 寛之・杉本 亜砂子・丹羽 伸介

東北大学大学院生命科学研究所脳生命機能科学専攻

神経細胞は、情報の送受信のために非常に多くのエネルギーを消費している。私たちの細胞に必要なエネルギーのほとんどは、ミトコンドリアという細胞内の小器官で生産される。ミトコンドリアは酸素を使い ATP (アデノシン三リン酸) をいう物質を作り出す。この ATP が細胞内の必要な場所に運ばれエネルギー源として消費されることで生命活動は営まれる。ATP を電気とするならば、それを作り出すミトコンドリアはいわば発電所である。我々の社会では、電気は発電所から電線に乗って運ばれるが、細胞内にはその様な仕組みは存在せず、代わりにミトコンドリア自体を運ぶことでエネルギー需要を満たしている。それゆえ「ミトコンドリア輸送」の異常は多くの神経疾患を引き起こし、パーキンソン病やアルツハイマー病といった神経疾患でも、複数の「ミトコンドリア輸送」関連遺伝子の異常が原因として報告されている。ミトコンドリアは細胞内に張り巡らされている微小管の上を動くモータータンパク質によって運ばれる。しかし、ミトコンドリア輸送機構の詳しいメカニズムについては不明な点が多く残っている。



現在は研究のモデルとして線虫 *C. elegans* の神経系を用いている。線虫は体が透明であるため、蛍光タンパク質でミトコンドリアを可視化し、生きた個体でミトコンドリア輸送を観察することができる。最近我々の研究室で、線虫の遺伝学的解析により神経細胞でのミトコンドリア輸送が低下する変異体を単離し、その原因遺伝子を *slc-25A46* と名付けた。*slc-25A46* 遺伝子を欠損した変異体線虫では軸索、樹状突起共にミトコンドリアの数、大きさが野生型に比べ有意に減少していた。今回の発表では、我々が単離した *slc-25A46* 変異体におけるミトコンドリア輸送の解析を中心に、神経内のミトコンドリアの多様な振る舞いをご紹介します。



Atmospheric synthesis of stoichiometric La-doped SrTiO₃ from bimetallic complexes

○Ebube Evaristus Oyeka^a, Daichi Oka^a, Tomoteru Fukumura^{a,b}

^aDepartment of Chemistry, Graduate School of Science, Tohoku University

^bWPI-Advanced Institute for Materials Research and Core Research Cluster, Tohoku University

Perovskite-type SrTiO₃ is a semiconductor with various electronic functionalities such as high electron mobility [1] and quantum paraelectricity. Recent studies showed that such functionalities are significantly degraded by cation off-stoichiometry [1,2], which is inevitable in conventional synthesis using different precursors for Sr and Ti sources. In this study, we developed new bimetallic complexes with 1:1 cation ratios as precursors to synthesize stoichiometric SrTiO₃ and La-doped SrTiO₃ (La_xSr_{1-x}TiO_{3+δ}) (Fig. 1).

The Sr-Ti and La-Ti complexes were synthesized at room temperature by reactions of Ti(OBu)₄, nitrilotriacetic acid and H₂O₂ with Sr(OH)₂ and La(OAc)₃, respectively. Figure 1 (left) shows the molecular structure of the Sr-Ti complex with composition of C₁₂H₂₀N₂O₂₅Sr₂Ti₂ determined by single crystal X-ray diffraction (XRD). The

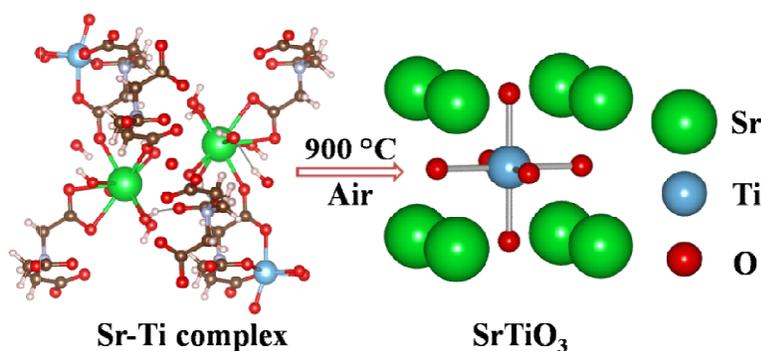


Fig. 1. Synthesis of SrTiO₃(right) using Sr-Ti complex, C₁₂H₂₀N₂O₂₅Sr₂Ti₂ (left).

1:1 cation ratios of the complexes were confirmed by mass spectroscopy. Thermal decomposition of the Sr-Ti and La-Ti complexes at 900 °C in air gave single phase polycrystalline SrTiO₃ and La₂Ti₂O₇, respectively. Lattice parameters determined by XRD agreed well with literature values, indicating cation stoichiometry of the oxides. La doping into SrTiO₃ was performed by atomically homogeneous mixing of the precursor molecules by dissolution in formic acid followed by solvent removal and thermal decomposition at 1300 °C in air. XRD analyses showed that all the powders obtained by mixing the Sr-Ti complex with La-Ti complexes of 1%, 5% and 10% molar ratio were single phase perovskite oxides. The lattice parameter of La_xSr_{1-x}TiO_{3+δ} decreased linearly with increase of La content (Fig. 2). This behaviour is consistent with previous report on La-doped SrTiO₃ prepared in oxidative condition [3], indicating successful doping. The new synthetic route in this study will encourage further synthesis of bimetallic oxide compounds free from cation nonstoichiometry.

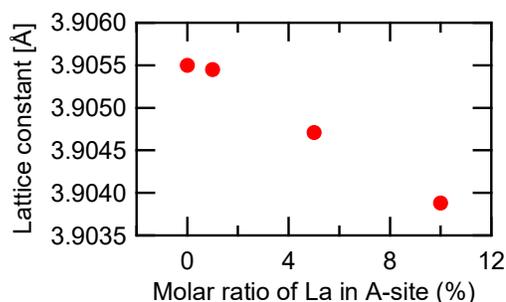


Fig. 2. La content dependence of lattice constant in La_xSr_{1-x}TiO_{3+δ}.

[1] J. Sun *et al.*, *Nat. Mat.* **9**, 482 (2010).

[2] R.C. Haismaier *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **109**, 032901 (2016).

[3] N.G. Eror *et al.*, *J. Solid-State Chem.* **40**, 85 (1981).

高圧下における単斜輝石の水素固溶量に対するアルカリ元素の効果

○村主樹・鈴木昭夫・鹿山雅裕・宮本毅

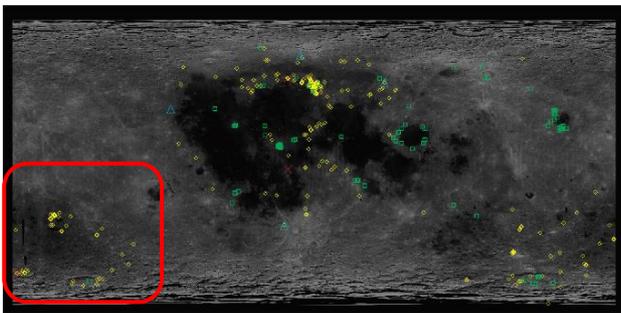
東北大学大学院理学研究科地学専攻

地球内部には水が多量に存在しており、マントル全体で海洋のおよそ 10 倍程度であるとされる。鉱物の集合体である岩石に水が含まれると岩石の密度や音速、熔融温度などを変化させる。よって、地球内部の水は岩石でできたマントルの物性に重大な影響を及ぼすことが予想され、岩石学や地球化学・物理学において長年注目されている。

マントル中で水は、含水鉱物、無水鉱物、ケイ酸塩メルト、液体の水、そしてこれらの中間的な形態として存在する。本研究で対象としている単斜輝石は無水鉱物である。無水鉱物は本来化学式に OH や H₂O を含まないが、水は結晶構造の点欠陥などに OH として含まれる。含水鉱物に比較すると含水量は少ないが、高温高压実験で合成された無水鉱物は含水量が増加することや、マントル起源の試料中の無水鉱物に水の存在が確認されたことから、現在では地球内部の重要な水のリサーバーの一つと考えられている。

近年、月には水の存在を指示する観測事実が数多く得られており、月が水を獲得したプロセスや含水量には非常に関心が寄せられている。ここで、月には含水鉱物は確認されていないため、月に水が存在していた場合、結晶化を経たあとの水の保持相は無水鉱物である可能性が高い。また、月の上部マントルまで掘り返されるような衝突によって形成されたとされる月の裏側のクレーター内に、高 Ca 単斜輝石の存在が確認されている（下図：赤枠線内）。そこで、単斜輝石は地球のみならず月マントルの主要構成鉱物の一つである可能性が高い。よって、単斜輝石の水素固溶量に関する情報は、将来的に月からのサンプルリターンで単斜輝石を得ることができた際などに有用なデータとなり得る。

月の最終固結段階で、水が濃集しアルカリ成分に富むようなマグマから晶出した単斜輝石について、高温高压下での水素固溶量を測定することを目的として本研究を進めている。



含水量を測定するための分光分析には結晶の粒径が非常に重要である。そこで、まず~5 wt. % の含水条件下、1 GPa で様々な温度や冷却速度の熔融実験を行った。本発表では、分析可能な粒径の結晶作成に成功した条件について、今後の方針とともに報告する。

参考文献

[1] Nakamura, R., *et al.* (2012): Compositional evidence for an impact origin of the Moon's Procellarum basin. *Nature Geosci.* 5, 775–778

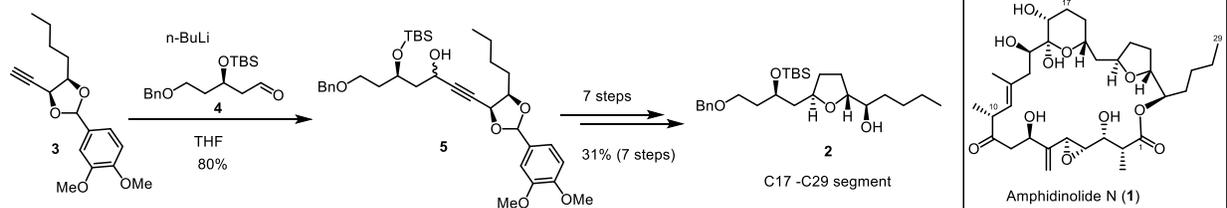
Synthetic Study of Amphidinolide N; Construction of the C17-C29 Segment

○Odoh Amaechi Shedrack, Shigenobu Umemiya, Yujiro Hayashi

Department of Chemistry, Tohoku University

Amphidinolide N **1** is a complex natural product belonging to a group of marine macrolides with a remarkable high potent cytotoxic activity against lymphoma and carcinoma cell. This molecule was only isolated in trace amounts and decomposed during preservation, thus hindering the further exploration of its biochemical potentials [1]. Even though a number of advanced analogues of Amphidinolide N has been made [2], the total synthesis of this molecule has continued to defy synthetic approaches by various research groups around the world due to its very complex molecular architecture and array of contiguously placed stereogenic centers.

In our recent studies, we envisage that Amphidinolide N could synthetically arise from a convergent strategy that hinges on the efficient assembly of its constituent disconnection segments. This work highlights our synthetic approach towards the C17-C29 **2** segment of Amphidinolide N. This fragment **2** was made by the efficient nucleophilic coupling of terminal alkyne **3** and aldehyde **4** to afford the intermediate **5**, subsequent seven steps transformation of the intermediate **5** gave the C17-C29 fragment **2** in 31% cumulative yield from **5** (seven steps yield).



Technical terms

Natural product: A chemical substance produced by a living organism.

Cytotoxicity: refers to the ability of certain chemicals or agents to destroy living cells.

Stereogenic center: A carbon atom connected to four different groups such that interchanging any two groups leads to a stereoisomer.

Convergent Strategy: A synthetic strategy where individual pieces of a complex molecule are synthesized in one stage, and then coupled in another stage to form the final product.

References

1. Kobayashi, J. *et al.*, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.* **1994**, 1455; *J. Antibiot.* **2013**, 66, 277.
2. (a) Trost, B.M. *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* **2018**, 140, 17316. (b) Hayashi, Y. *et al.*, *Chem. Eur. J.* **2016**, 22, 3282; *Chem. Eur. J.* **2016**, 22, 3287. (c) Kuwahara, S. *et al.*, *Tetrahedron Lett.* **2016**, 57, 5240. d) Sasaki, M. *et al.*, *Org. Lett.* **2016**, 18, 2232; *Tetrahedron Lett.* **2016**, 57, 3532.

非線形拡散方程式に対する均質化問題

岡 大将

東北大学大学院理学研究科数学専攻

均質化問題とは、材料工学関連の分野で考案された均質化法に基づいた数学的な問題である。均質化法は、材料全体の力学特性を表すマクロ構造の導出を目的とした解析手法として知られている。材料は硬さや強度の異なるミクロ構造を有しており、これに周期性を仮定し、周期幅を限りなく小さくすることで、均質な等価材が有するマクロ構造が導出される。この過程は、周期パラメータ ε に依存した偏微分方程式から極限方程式を考察することに対応し、これを均質化問題と呼ぶ。そこで、本講演では次の非線形拡散方程式:

$$(P_\varepsilon) \quad \begin{cases} \partial_t u_\varepsilon(x, t) - \operatorname{div} \left(a \left(\frac{x}{\varepsilon}, \frac{t}{\varepsilon^r} \right) \nabla |u_\varepsilon|^{p-1} u_\varepsilon(x, t) \right) = f(x, t) & \text{in } \Omega \times I, \\ |u_\varepsilon|^{p-1} u_\varepsilon(x, t) = 0 & \text{on } \partial\Omega \times I, \\ u_\varepsilon(x, 0) = u^0(x) & \text{in } \Omega, \end{cases}$$

に対する均質化問題を考える。ここで $\Omega \subset \mathbb{R}^N$ は滑らかな境界 $\partial\Omega$ を持つ有界な開集合、次元 N は簡単のため $N \leq 3$, $I = (0, T)$, $0 < p < \infty$, $0 < r < \infty$, $\varepsilon > 0$, $u^0 \in L^2(\Omega)$, $f \in W^{1,2}(I; H^{-1}(\Omega)) \cap L^2(I; L^2(\Omega))$, $\square = (0, 1)^N$, $J = (0, 1)$, $a \in [W_{\text{loc}}^{1,\infty}(\mathbb{R}^{N+1})]^{N \times N}$ は $\square \times J$ 上で周期的な函数係数対称行列とし、さらに一様楕円型条件、すなわち、ある実数 $\lambda > 0$ が存在して

$$\lambda |\xi|^2 \leq a(y, s) \xi \cdot \xi \leq |\xi|^2, \text{ for } y \in \square, s \in J, \xi \in \mathbb{R}^N$$

を満たすとする。 $p = 1$ の場合、 (P_ε) は線形拡散方程式を表し、その均質化問題が [2] で各 $\square \times J$ 周期函数 u_i , $i \in \mathbb{N}$ による漸近展開:

$$u_\varepsilon(x, t) = \varepsilon^0 u_0(x, t, x/\varepsilon, x/\varepsilon^r) + \varepsilon^1 u_1(x, t, x/\varepsilon, x/\varepsilon^r) + \varepsilon^2 u_2(x, t, x/\varepsilon, x/\varepsilon^r) + \dots \quad (1)$$

を前提に考察されている。さらに [1] でこの前提なしに函数解析的手法を用いて厳密に正当化されている。一方、 $p \neq 1$ の場合、(1) による形式計算は u_ε の p 乗展開を行うことで困難が生じ、函数解析的手法が必要になるが、[1] に対応する結果は報告されていない。そこで、以下を考察する。

- (i) $\varepsilon \rightarrow 0$ としたとき (P_ε) の解 u_ε の極限が存在するか。
- (ii) 極限が存在したとき、その極限 u_0 はどのような方程式の解として特徴付けられるか。
- (iii) 特に u_0 が満たす極限方程式に現れる係数行列を具体的に求めることができるか。

本講演では、主に Fast diffusion 方程式を表す $0 < p < 1$ に対する (iii) の考察に焦点を当てる。

参考文献

- [1] A. Holmbom, Homogenization of parabolic equations. An alternative approach and some corrector-type results, *Appl. Math.* **42** (1997), 321–343.
- [2] A. Bensoussan, J.-L. Lions and G. Papanicolaou, *Asymptotic analysis for periodic structures*, Studies in Mathematics and its Applications, North-Holland, Amsterdam, 1978.

In-situ lithium isotope and trace element geochemistry for a veined jadeitite
from the New Idria serpentinite body, California:
Constraints on slab-derived fluid and fluid-rock interaction

○ Naoko Takahashi¹, Tatsuki Tsujimori^{1,2}, Qing Chang³ and Jun-Ichi Kimura³
¹Graduate School of Science, Tohoku Univ., ²CNEAS, Tohoku Univ.,
³Department of Solid Earth Geochemistry, JAMSTEC

Understanding slab-derived fluids is potentially important to solve chemical differentiation in the Earth's interior, because slab-derived fluids with chemical and isotopic variability affect the compositions of arc lavas, mantle wedge peridotites, and metamorphic rocks in the slab-mantle interface. In order to decipher a property of slab-derived fluids, we investigated a veined jadeitite from the New Idria serpentinite diapir, California, which is regarded as direct precipitates from slab-derived fluids and therefore records slab-derived fluid signatures. An integrated study of CL-SEM- μ Raman-EPMA petrography, cryo-FIB-EDS fluid inclusion analyses, and *in-situ* LA-ICPMS trace element and lithium isotope geochemistry constrained jadeitite-forming fluids at serpentinized mantle wedge. Fluid inclusion analyses confirmed that jadeitite-forming fluid was low salinity. The jadeitite-forming fluid compositions estimated from the jadeite precipitates have enriched in some LILEs and HFSEs with the variable elevated Nb/Ta ratios of 10-115 and Zr/Hf ratios of 38-164. These observations revealed that the jadeitite was formed from metasedimentary rocks-derived fluid with complex history such as significant Nb/Ta fractionation. *In-situ* lithium isotope analyses confirmed that multiple-stage jadeite veins and their host rocks showed a wide range of Li concentrations from 4 to 68 $\mu\text{g/g}$ and $\delta^7\text{Li}$ compositions from -11.7 to +6.7‰, with a curvilinear correlation between them. Well-preserved Li zonings of jadeite crystals confirmed by LA-ICPMS map eliminate a possibility that those isotopic variations were produced due to diffusion process. Alternatively, the variations can be readily explained by variable mixing between the matrix and infiltrated fluids. The initial infiltrated fluid compositions were estimated to be between +6.7 and +12.3‰, which provides evidence for the presence of high $\delta^7\text{Li}$ fluids in the mantle wedge at the forearc depth. The New Idria jadeitite give new insights into the slab-derived fluid chemical signatures and the complex evolutions in subduction zones.

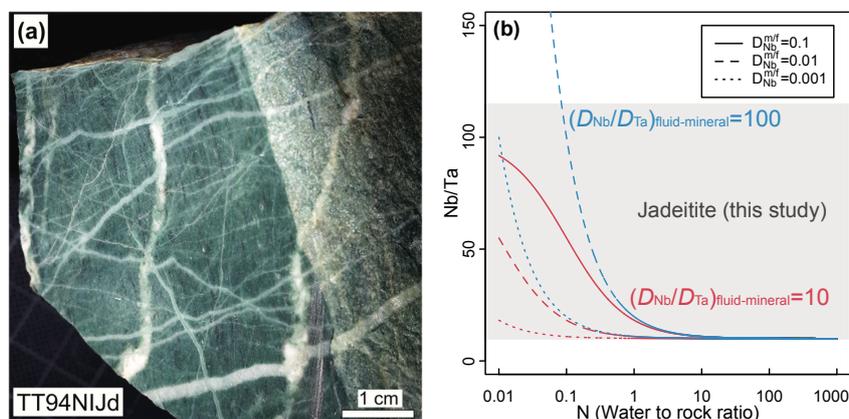


Figure 1: (a) Photograph of the New Idria jadeitite. (b) Evolution Nb/Ta with varying W/R.

Influence of El Niño-Southern Oscillation on Tropical Cyclone Activity in the Southwest Pacific

Terry Atalifo¹, Toshiki Iwasaki¹, Junpei Yamaguchi¹

¹Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

1. Introduction

Many authors have examined the influence of El Niño Southern Oscillation (ENSO) on SWP tropical cyclone (TC) activity. Different indices are used as proxies of TC activity. In this study, a more conservative measure known as the accumulated cyclone energy (ACE) is used to investigate the effect of ENSO on TC activity. It is a measure of TC activity, a quantity that combines TC number, lifetime and intensity. $ACE = 10^4 \sum v_{max}^2$; v_{max} is the estimated sustained wind speed (knots)

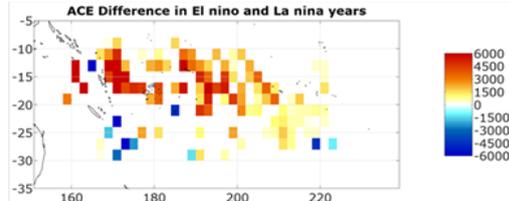


Fig 1. Difference of ACE per year in El Niño and La Niña years. Spatial difference is statistically significant at 90% level.

2. Data

TC best track data used to construct ACE & other TC indices were obtained from the SH TC archive (BoM, Australia) for the period 1981-2016. Monthly Niño indices and SOI are acquired from NOAA website. ENSO events are defined according to Niño-3.4 index averaged over the season of interest.

3. Results

Simultaneous and early significant correlations during and prior to the TC season show that the predictions of Niño indices can be used to predict ACE values in the SWP.

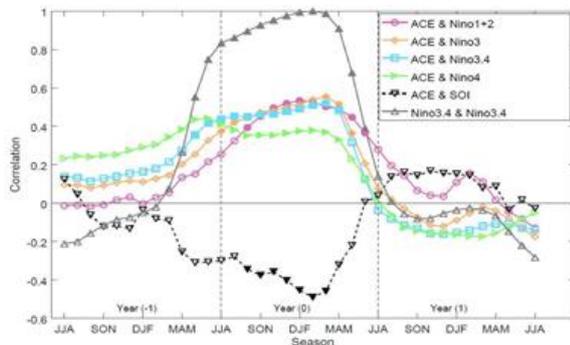


Fig 2. Lag correlation of ACE (JFM) with Niño indices for different seasons and lags and autocorrelation of Niño-3.4 (JFM) for different lags (1981-2016). Significant correlations are indicated by filled symbols.

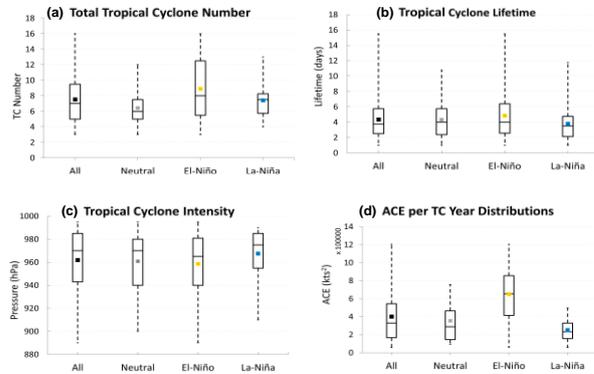


Fig 3. Distribution of total number of TCs (a), lifetime (b), intensity (c) and ACE values (d) in all years, El Niño, La Niña & Neutral years. The boxes show the 25th and 75th percentiles, the lines in the boxes mark the median, the filled small boxes mark the mean, and the dotted lines mark the values below (above) the 25th (75th) percentiles of the distribution.

4. Conclusion

The main conclusions are as follow:

- In El Niño years, there is more TC activity (high ACE) in the Southwest Pacific.
- Prediction of ENSO indices can be used to predict ACE values prior to the TC season.
- The inter-annual variation of seasonal mean intensity, lifetime and number of TCs all contribute to the ENSO signal in ACE. However, the effect of TC number appears to be the most significant of the three (Table 1).

	ACE* ₁ (Intensity)	ACE* ₂ (Lifetime)	ACE* ₃ (Number)
ACE*₁	1	0.32	-0.09
ACE*₂	0.32	1	0.06
ACE*₃	-0.09	0.06	1
ACE	0.06	0.06	-0.04
Niño-3.4	0.11	0.32	0.37

Table 1. Correlation of ACE, ACE*₁, ACE*₂ and ACE*₃ per TC season (kts²) and their correlations with each other including Niño-3.4 (JFM) for the period 1981-2016. Significant correlations are in boldface.

5. Reference

Camargo, S. J., & Sobel, A. H. (2005). Western North Pacific tropical cyclone intensity and ENSO. *Journal of Climate*, 18(15), 2996-30.

細胞間接着形成に関わる新規アクチン骨格制御因子 PLEKHG4B の機能解析

○二宮 小牧・水野 健作・大橋 一正

東北大学大学院 生命科学研究科 分子化学生物学専攻

私たちの身体を構成する器官や組織は、表面を丈夫なシート状の細胞層(=上皮)に覆われている。上皮は、個体内で細胞集団を役割に応じて区画分けする(例:胃や肺)と同時に、器官や組織を保護するバリアとしても作用し、その破綻はガンなどの様々な疾患に関与することが知られている。上皮シート中の細胞は、隣接する細胞間、また細胞と基質間の特別な接着装置により強く結びついている。さらに個々の細胞に焦点を当てると、細胞内には、アクチン骨格と呼ばれる絶えず様々な形に変化する柔軟な骨組みが存在しており、細胞の接着構造においてその形成や維持に密接に関与している(図1)。細胞接着におけるアクチン骨格の再構築メカニズムを理解することは、細胞の秩序立った集団形成にはじまる器官や組織の成り立ちの理解につながる。アクチン骨格は、多くのシグナル分子や結合蛋白質が関与する複雑な回路によって制御されるが、中でも、アクチン骨格制御因子群 Rho-GEF が Rho ファミリー蛋白質を活性化するシグナル経路は、多くの細胞現象への寄与が知られている。本研究では、細胞間接着に関与する新たな Rho-GEF である PLEKHG4B を発見し、その作用メカニズムの一部を明らかにした(図2)。

培養細胞が細胞接着を形成する過程を解析した結果、PLEKHG4B が接着形成における多段階的・時空間的なアクチン骨格の再構築の一部を担っていることが示唆された。加えて、この働きにおける PLEKHG4B の詳細なシグナル経路を解析し、Rho ファミリー分子の中でも Rac1 と Cdc42 が関与していることが明らかとなった。本日は、本研究結果を交えながら、細胞内で起きている精巧な接着構造形成メカニズムについて、アクチン骨格制御を中心に紹介させていただく。

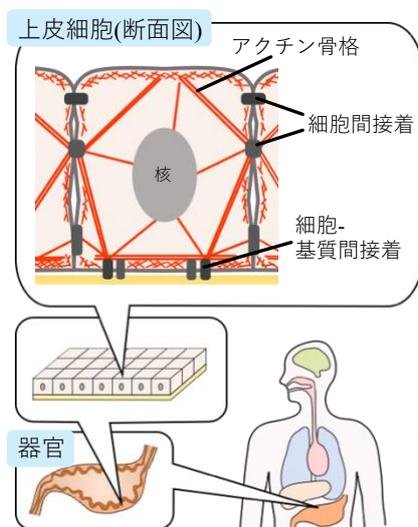


図1. (左)細胞から個体への成り立ちの概念図。(右) イヌの腎臓上皮細胞を、真上から観察した顕微鏡写真。アクチン骨格(赤色)が細胞内に張り巡らされている。

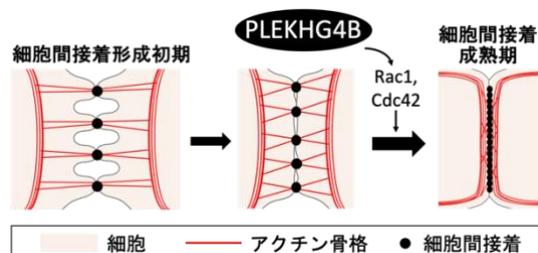


図2. 本研究より考えられるモデル図。Rho-GEF, PLEKHG4B は Rho ファミリーである Rac1 と Cdc42 を特異的に活性化することで、細胞間接着形成のためのアクチン骨格再構築を制御している。この図では二つの細胞の細胞間接着構造の形成過程を真上から示している。

フッ化アルキルシランを用いた共役系高分子薄膜への 表面ドーピングのメカニズム

○二俣開・小野寺恒信・山本俊介^a・三ツ石方也^a・及川英俊

東北大学大学院理学研究科化学専攻

東北大学大学院工学研究科応用化学専攻^a

固体試料表面にフッ化アルキルシラン誘導体(FTS)を蒸着させて導電性を向上させる表面ドーピングは、従来の化学ドーピングとは異なり、分子配列や結晶構造の乱れを抑制するドーピング手法として期待されている[1]。しかし、導電率測定に再現性は乏しく、ドーピング機構には未解明な点が存在する。本研究では、共役系高分子薄膜を対象として、表面ドーピングに伴う導電性と分子配列、電子状態の変化について詳細な解析を行い、薄膜とドーパントの相互作用について考察した。

regioregular poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) (P3HT)薄膜へ FTS を表面ドーピングした結果、FTS の蒸着量の増加に伴い導電率は急激に上昇し、蒸着量が 0.5 μL において導電率は最大となり、その後は徐々に減少していくことが分かった。さらに、Hall 効果測定から導電率の上昇はキャリア密度の増大に起因することが分かった。Hall 移動度自体はむしろ減少傾向にあった。一方、吸収スペクトルには、正のポーラロンとバイポーラロンに起因する新たな吸収ピークが発現しており、P3HT への p 型ドーピングがキャリア密度の増加の要因であると考えられる。そこで、P3HT と FTS との相互作用を想定して P3HT 薄膜の角度分解 X 線光電子分光 (ARXPS) 測定を行った。Fig. 1 に示すように、FTS を表面ドーピングした後は硫黄原子の結合エネルギーは高エネルギー側にシフトし、P3HT の硫黄原子の酸化が確認された。さらに、フッ素原子に対する ARXPS 測定を行った結果、FTS が P3HT 薄膜の表層内部にまで侵入していることが分かった。しかし、P3HT 薄膜中のアルキル側鎖は入れ子状のパッキングを形成しており、硫黄原子近傍に FTS が入り込める空間は十分には存在しないことから、表面ドーピングの進行に伴って侵入した FTS が徐々に分子配列を乱していくと考えられる。実際、ドーピング前の P3HT 薄膜では 100 面に由来する $2\theta = 5^\circ$ 付近の回折ピークが明瞭に観測されるものの、導電率が最大値に達する FTS の蒸着量前後では回折強度が著しく低下した。これらの事実から、FTS が P3HT の非晶質部のナノ細孔を通り内部に侵入し、分子配向ドメインへ収着するとともに分子配向が乱されると考えられる。すなわち、表面ドーピング後の導電率向上に寄与するキャリアの同定と発生機構を明らかにした。また、ドーパントの薄膜表層から内部への拡散・吸着による分子配列の乱れも示唆され、これがキャリア密度と移動度とのトレードオフの関係に反映されたと考えられる。

ドーピング前の P3HT 薄膜では 100 面に由来する $2\theta = 5^\circ$ 付近の回折ピークが明瞭に観測されるものの、導電率が最大値に達する FTS の蒸着量前後では回折強度が著しく低下した。これらの事実から、FTS が P3HT の非晶質部のナノ細孔を通り内部に侵入し、分子配向ドメインへ収着するとともに分子配向が乱されると考えられる。すなわち、表面ドーピング後の導電率向上に寄与するキャリアの同定と発生機構を明らかにした。また、ドーパントの薄膜表層から内部への拡散・吸着による分子配列の乱れも示唆され、これがキャリア密度と移動度とのトレードオフの関係に反映されたと考えられる。

参考文献 [1]C. Y. Kao *et al.*, *Adv. Funct. Mater.*, **2009**, 19, 1906.

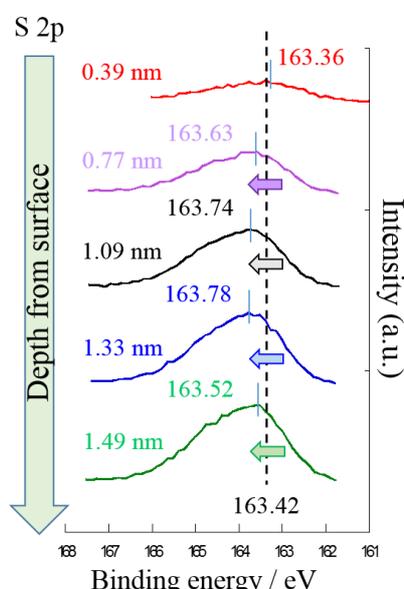


Fig. 1 ARXPS spectra in S 2p region of P3HT thin film after surface doping with 0.5 μL of FTS.

第二高調波発生を用いた梯子型鉄系化合物 BaFe_2Se_3 における 極性構造の探索

今泉 聖司、青山 拓也、富樫 拓也、佐藤 佳史、松原 正和、大串 研也
東北大学大学院理学研究科物理学専攻

鉄系化合物 BaFe_2Se_3 は鉄原子の擬一次元梯子構造を有しており、同様の構造を持つ BaFe_2S_3 と同様に高圧下で超伝導を示す[1, 2]。 BaFe_2Se_3 は常圧化では 240 K 以下でブロック型の反強磁性秩序を示す。これは鉄系超伝導体の母物質 BaFe_2As_2 がストライプ型の反強磁性秩序を示すことと対照的である。これまで報告されている $Pnma$ の結晶構造の下ではブロック型反強磁性構造は単一の既約表現で表すことができないため、逐次的な磁気転移が期待される一方で、実験的には単一の反強磁性転移しか観測されておらず、結晶構造の再考が必要である[3]。

本研究では、空間反転対称性の破れに敏感な非線形光学応答の一種である第二高調波発生 (SHG) を測定することで、 BaFe_2Se_3 における極性構造を調べ、2 つの超伝導物質 BaFe_2Se_3 と BaFe_2S_3 における構造の違いを明らかにすることを目的とした。

今回の測定では徐冷法で育成した BaFe_2Se_3 単結晶の 010 面にレーザー光を入射し、SHG 強度の偏光角度依存性および温度依存性の測定を行った。その結果、400 K 付近において空間反転対称性の破れた結晶構造に由来する SHG 強度の立ち上がりを観測した (図 1)。 BaFe_2Se_3 と BaFe_2S_3 は類似した構造を持つ超伝導体であるにも関わらず、対称性の異なる揺らぎを持つことになるため非常に興味深い。本ポスター発表では、得られた結果の詳細について議論したい。

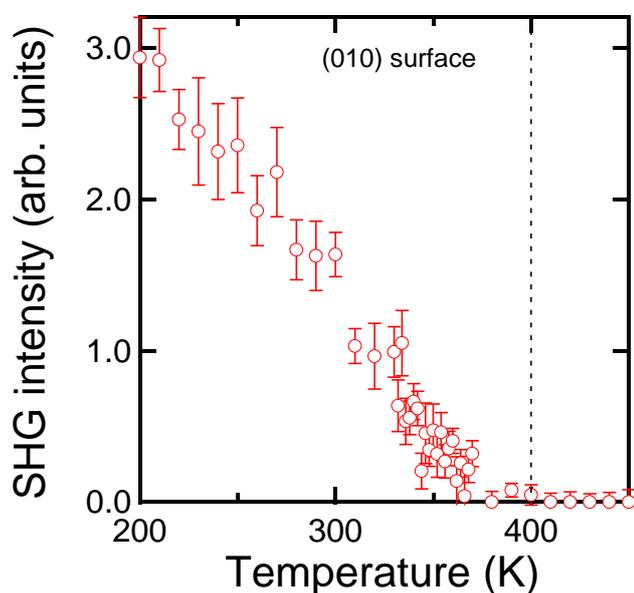


図 1. BaFe_2Se_3 における第二高調波発生 (SHG) 強度の温度依存性。

[1] H. Takahashi, *et al.*, *Nat. Mater.* **14**, 1008 (2015).

[2] J. Ying, *et al.*, *Phys. Rev. B* **95**, 241109(R) (2017).

[3] Y. Nambu, *et al.*, *Phys. Rev. B* **85**, 064413 (2012).

補償光学系を用いた大気シンチレーション測定

大金 原¹・秋山 正幸¹・大屋 真²

¹ 東北大学大学院理学研究科天文学専攻

² 国立天文台

地上の大きな望遠鏡で宇宙を観測するとき、地球の大気が天体の像に及ぼす影響は非常に大きなものである。地球の大気は、暖められた地用によって対流を起こしたり自転や日射量の違いによって地球規模での循環をしたりすることによって乱流構造を持っている。この乱流構造が天体からやってくる光の波面（等位相面）を乱すことによって、天体の像が広がってしまったり、揺らいでしまったりするのである。

この大気の影響を抑えるための技術の一つに補償光学がある。補償光学では、波面センサーと呼ばれる光学系で波面の乱れを測定し、その情報に基づいて可変形鏡と呼ばれる鏡の形状を変形させることで、可変形鏡で反射した光の波面の乱れが小さくなるようにする。このようにして大気の影響を軽減する技術のことである。望遠鏡の大型化が進んでいる現代において、望遠鏡の大口径を生かすためになくてはならない技術の一つになっている。

我々の研究室では、ハワイにあるすばる望遠鏡での可視・近赤外線観測のための新しい補償光学装置を開発している。レーザートモグラフィ補償光学と呼ばれるこの新しいシステムは、観測天体の付近にレーザーガイド星を複数打ち上げ、それらからやってくる光の波面を観測し、大気乱流の3次元的な分布を推定することでより精度の良い補償を実現する。しかし、大気の状態は非常に小さな角度スケールで変化するため複数のレーザーガイド星は観測天体のすぐ近くに打ち上げる必要があり、この角度は10秒角程度である。天体から10秒角離れたレーザーガイド星を複数観測し、そこから大気乱流の3次元的な分布を得るためには悪条件の逆問題を解く必要があり、そのためには事前情報としてある程度の3次元分布を与える必要がある。

大気乱流の高さ分布を求める方法としてはMASS(Multi Aperture Scintillation Sensor)と呼ばれる方法がある。この方法は天体からの光の瞬き（シンチレーション）から大気乱流の強度を推定するものであり、マウナケアでの上空大気の大気乱流強度の測定や新しい望遠鏡の設置サイトの調査などに実際に使われている。我々は、MASSの手法を補償光学の波面測定に用いられるシャックハルトマン波面センサーのスポットの強度揺らぎに適用することで、大気乱流の高さ分布を求める方法を新たに開発している。これまでに、各高さの大気乱流の強度に基づいた様々な開口でのシンチレーション指数を求める手法を確立した。現在は、実際にシャックハルトマン波面センサーを含む光学系を東北大学51cm望遠鏡に取り付けて観測したデータから、大気乱流強度の高さ分布を得るための解析を進めているところである。本ポスター講演では、これまでの解析結果と今後の研究の展望について報告する。

参考文献

- [1] A.Tokovinin et al. (2003) Restoration of turbulence profile from scintillation indices
- [2] A.Tokovinin (2002) Polychromatic scintillation

逆二乗幂ポテンシャルをもつ熱方程式の導関数評価

立石 優二郎

東北大学大学院理学研究科数学専攻

本講演では、逆二乗幂ポテンシャルをもつ熱方程式

$$(E) \quad \partial_t u - \Delta u + V(|x|)u = 0 \quad \text{in } \mathbf{R}^N \times (0, \infty), \quad u(x, 0) = \varphi(x) \in L^2(\mathbf{R}^N)$$

を考察する。ただし、 $N \geq 2$, ポテンシャル $V = V(r)$ はある $\theta > 0$, $\lambda_1, \lambda_2 \in [\lambda_*, \infty)$, $\lambda_* := -(N-2)^2/4$ に対して

$$(V) \quad \lim_{r \rightarrow 0} r^{-\theta} |r^2 V(r) - \lambda_1| = 0, \quad \lim_{r \rightarrow \infty} r^\theta |r^2 V(r) - \lambda_2| = 0, \quad V \in C^1((0, \infty)), \quad \sup_{r > 0} |r^3 V'(r)| < \infty$$

をみたすとする。

線形熱方程式の初期値問題の解 u については $\Omega = \mathbf{R}^N, \mathbf{R}_+^N$ に対して

$$\|(\nabla_x u)(t)\|_{L^\infty(\Omega)} \leq C t^{-\frac{N}{2p} - \frac{1}{2}} \|u(0)\|_{L^p(\Omega)}, \quad t > 0, \quad 1 \leq p \leq \infty$$

が成り立つ。一方で Ω がコンパクト集合の外部領域である場合には、Dirichlet 境界条件下における熱方程式の Green 関数 $G = G(x, y, t)$ に対して

$$C_1 t^{-\frac{N}{2}} \leq \|(\nabla_x G)(\cdot, \cdot, t)\|_{L^\infty(\Omega \times \Omega)} \leq C_2 t^{-\frac{N}{2}}, \quad t \gg 1$$

となることが知られている。これらからわかるように、線形熱方程式であっても解の導関数評価は単純ではなく、問題の状況に応じて減衰率は変化することが明らかにされてきた。

本研究で扱う逆二乗幂ポテンシャル V をもつ熱方程式 (E) に対しては、外部領域において Robin 境界条件下での結果が得られているが、こちらも非常に複雑な様相を呈している ([1])。ところが、最近 Ishige, Mukai らにより (E) の解の漸近挙動解析が行われ、その際に用いられた手法から解のより詳細な情報が得られるようになった ([2])。そこで本研究では、解を微分することで減衰率が改善されるメカニズムの解明を目的とし、Ishige–Mukai の手法を発展させ、領域が \mathbf{R}^N の場合の導関数評価を考察した。

導関数評価を行うにあたり、初期値問題 (E) に付随する楕円型作用素 $H = -\Delta + V(|x|)$ の臨界性および正值調和関数が重要となる。作用素 H が $L^2(\mathbf{R}^N)$ 上非負であるときに、負の方向の微小摂動による非負性の破れに関して臨界性が定義される。さらに (E) に対する球対称定常問題 $U'' + (N-1)r^{-1}U' - V(r)U = 0$ について、解の原点近傍での挙動を制限することで正值解 U が唯一つ定まる。(E) の解 u はその特異性が原因となり、微分しても一般に減衰率の改善は生じないが、この U を用いて解 u の特異性を取り除くことにより導関数の減衰率が改善されることを示した：

定理. 条件 (V) を仮定し、 $H = -\Delta + V(|x|)$ は $L^2(\mathbf{R}^N)$ 上非負であるとする。また H が臨界の場合は $\lambda_2 < \lambda_* + 1$ を仮定する。このとき定数 $C > 0, \alpha > 0$ が存在して (E) の解 u に対して次が成り立つ：

$$t^{N/4} U(t^{1/2}) |(\nabla_x (u/U))(x, t)| \leq C t^{-1/2} + C t^{-\alpha/2} |x|^{\alpha-1} \quad \text{in } D.$$

ここで $D := \{(x, t) \in (\mathbf{R}^N \setminus \{0\}) \times (0, \infty) \mid |x| < t^{1/2}\}$.

参考文献

- [1] K. Ishige and Y. Kabeya, Decay rates of the derivatives of the solutions of the heat equations in the exterior domain of a ball, *J. Math. Soc. Japan*, **59** (2007), 861–898.
- [2] K. Ishige and A. Mukai, Large time behavior of the solutions of the heat equation with inverse square potential, *Discrete Contin. Dyn. Syst.*, **38** (2018), 4041–4069.

H₂O-CO₂ 二成分系揮発性成分を含む定圧マグマ混合での化学発泡

○中尾美紗子・中村美千彦・奥村聡

東北大学大学院理学研究科地学専攻

火山噴火が開始する条件の一つとして、マグマの発泡（揮発性成分の析出）が考えられる。マグマ中の揮発性成分の大部分は H₂O であり、次に CO₂ が多い。一般に苦鉄質のマグマは CO₂ に富み、珪長質のマグマは H₂O に富む。近年、CO₂ に富むガスが、地殻浅部のマグマ溜りにある珪長質マグマに流入してマグマ全体の流体組成を変える現象「CO₂ フラクシング」が起こっていることが提案されている (e.g. Buchmann and Berganz, 2003)。H₂O 端成分の溶解度は CO₂ 端成分の溶解度より 40 倍程度大きいため、フラクシングでの二成分系揮発性成分の挙動は複雑である。H₂O に富むマグマは少量の CO₂ の流入により溶存できる揮発性成分の総量が低下して、多量の H₂O が析出・発泡することが予想され、実験的にも確かめられている (Yoshimura and Nakamura, 2010)。火山下のマグマ溜りでは、組成・密度の異なる二種類のマグマが成層して一時的に定置し、その後混合する現象「マグマ混合」が様々な火山で普遍的に起こっていることが知られている (e.g. Tomiya et al, 2013)。マグマ混合時、一方のマグマが CO₂ に富んでいる場合には、CO₂ フラクシングと同様に、揮発性成分の平衡化によって圧力一定下でも発泡が起こる可能性がある。これまで、マグマ混合の際に、温度変化による溶解度の変化や対流の発生、結晶化によってマグマが発泡し噴火が開始するモデルが提案されてきた (e.g. Huppert et al., 1982)。しかし、二成分系揮発性成分の平衡化による溶解度変化に起因する発泡の効果は検討されていない。そこで本研究では、H₂O-CO₂ 系揮発性成分を含むマグマが定圧下で混合した場合の発泡度の変化を、溶解度モデルを用いて計算した。マグマの熱拡散・揮発性成分の拡散・SiO₂ など主要元素の拡散速度は異なるため、熱平衡・揮発性成分の平衡化・マグマ組成の平衡化は段階的に進行すると仮定して計算を行った。結果、例えば 800°C 発泡度 30% の H₂O に富む流紋岩質マグマと 1200°C 発泡度 30% の CO₂ に富む玄武岩質マグマが混合し、主要元素が平衡化した場合、混合後の発泡度は増加することがわかった。これは、混合後のメルト中の H₂O 濃度が、混合前の流紋岩質マグマと玄武岩質マグマの溶解度の単純な和から予想される H₂O 濃度に比べて小さいためである。また、発泡度などの定量的値は、溶解度モデルに大きく依存することも分かった。このことから、定量的な議論をするためには、今後、H₂O-CO₂ 二成分系の温度依存性と CO₂ の組成依存性を精密に決定する必要がある。

- [1] Bachmann, O., Bergantz, G. W., 2003. Geological Society of America. **31**, 789-792.
- [2] Yoshimura, S., Nakamura, M., 2010. Chemical Geology. **276**, 18-28.
- [3] Tomiya, A., Miyagi, I., Saito, G., Geshi, N., 2013. Bulletin of Volcanology, 75:750
- [4] Huppert, H. E., R. Sparks, S. J., Turner, J. S., 1982. Nature. **297**, 554-557.

ケイ素で活性を向上させた金属触媒を用いて強固な結合を変換する

○東 周論・麻上淳平・小室貴士・飛田博実

東北大学大学院理学研究科化学専攻

触媒は、通常では進行しにくい化学反応を促進する作用を持ち、医薬品やプラスチックなど多くの有機化合物の合成に利用されている。その中でも金属を含む触媒として、金属錯体^[1]が広く活用されている。

我々は、高活性な触媒として働く新しい金属錯体の開発を目指し、金属とケイ素との間に結合を持つ錯体(金属-ケイ素錯体)に着目して研究を行っている。金属-ケイ素錯体では、電気陽性なケイ素から中心金属へと電子が強く供与され、中心金属が電子豊富になる(Figure 1)。その結果、中心金属上で炭素-水素結合をはじめとする化学結合の酸化的付加^[2]による開裂を容易に起こすことが期待される。一般に炭素-水素結合は強固で開裂しにくい、その結合を温和な条件で切ることができれば、炭素上の水素を直接他の基へと変換する有機化合物の新しい合成経路の開発に繋がる可能性がある。

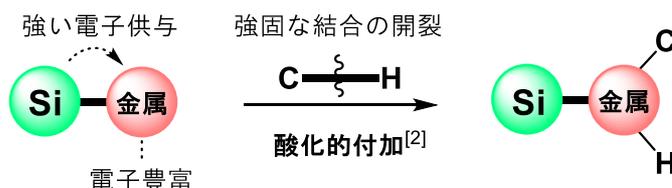
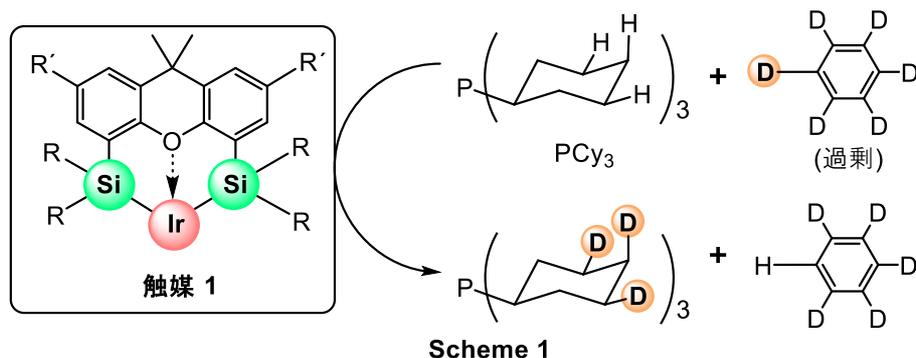


Figure 1. 金属-ケイ素錯体の特徴

本研究では、イリジウム(Ir)に二つのケイ素がキレート環^[3]を形成して結合した錯体 **1** (Scheme 1) を触媒として用いた。錯体 **1** は、トリシクロヘキシルホスフィン(PCy₃)の炭素-水素結合を位置選択的に重水素(D)化する反応の触媒として機能することがわかった。本反応は、Ir 上で PCy₃ の炭素-水素結合が開裂した後、重水素源である重ベンゼン(C₆D₆)の炭素-重水素結合の開裂を経て、炭素と重水素との結合が形成されることで進行すると考えられる。またこの反応は、ホスフィン^[4]に含まれる炭素-水素結合を触媒的に変換する数少ない例である。本発表では、PCy₃とは異なるホスフィンを用いた場合の結果、および触媒 **1** のケイ素上の置換基の違いが触媒の活性に及ぼす影響についても併せて説明する。



Scheme 1

※専門用語の説明

[1] 金属錯体：金属原子の周りに原子、分子、基などの配位子が結合した分子性の化合物。

[2] 酸化的付加：中心金属の 2 電子酸化を伴う付加反応。 $M^{n+} + X-Y \longrightarrow M^{(n+2)+} \begin{matrix} X \\ Y \end{matrix}$

[3] キレート環：一つの配位子が 2 カ所以上で金属に結合することで形成される環構造。

[4] ホスフィン：リン上に 3 つの置換基 R (R = H, ハロゲン, 有機基など) を持つ化合物の総称。

大気中二酸化炭素の放射性炭素同位体比の時空間変動

○山田千夏¹、森本真司¹、青木周司¹、南雅代²、中村俊夫²

¹東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

²名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定部

近年、地球温暖化問題が世界規模の最重要課題の一つとして認識されており、地球温暖化による気象極端現象の増加や農産物の品質低下が懸念されている。温暖化に対応するためには正確な気候変動予測が必要であるが、将来予測には地球表層における温室効果ガスの放出・輸送・消滅過程を定量的に評価する必要がある。

重要な温室効果気体である二酸化炭素 (CO₂) について、これまで同位体をトレーサーとして用いた CO₂ 循環過程に関する研究がなされてきた。炭素には質量数 12、13、14 の同位体が存在するが、質量数 14 の ¹⁴C は炭素の中に 10⁻¹² の割合で存在する放射性同位体であり、その存在量は Δ¹⁴CO₂* で表される。大気中の Δ¹⁴CO₂ は宇宙線・核実験起源の ¹⁴C 生成や、海洋や陸上生物圏との炭素交換により変化する。また ¹⁴C の半減期が 5730 年であるため化石燃料には ¹⁴C が含まれず、化石燃料消費により CO₂ が放出されることで大気中の ¹⁴C は希釈される。このような ¹⁴C の特徴を利用することで地球表層での CO₂ 循環や化石燃料起源 CO₂ の影響に関する情報が得られるが、対流圏における Δ¹⁴CO₂ の時空間分布や対流圏中上部での Δ¹⁴CO₂ の変動に関する観測・研究例は限られている。一方、対流圏での CO₂ 循環の評価には、成層圏において比較的多く生成される宇宙線起源の ¹⁴C 生成量や ¹⁴CO₂ の対流圏への輸送量を知ることが重要であるが、成層圏大気試料の採取が困難であることから成層圏での観測例も非常に少ない。

以上を踏まえ、本研究では南北両極域・日本・赤道域上空の成層圏および南北両極域の地上基地で採取された大気試料の Δ¹⁴CO₂ を分析・解析することにより、その分布と変動を明らかにし、変動原因について考察した。成層圏中部での Δ¹⁴CO₂ の経年変化は単調減少ではなく、時期によって減少期と停滞期が見られ、宇宙線起源 ¹⁴C 生成率の時間変化が影響していることが示唆された。また、対流圏における ¹⁴CO₂ 収支の時間変化を計算したところ、現在は大気-海洋間の ¹⁴CO₂ に関する非平衡状態がほぼ解消され、化石燃料燃焼が Δ¹⁴CO₂ を変化させる最大の要因であることが明らかになった。

$$* \text{放射性炭素同位体比}(\Delta^{14}\text{CO}_2) : \Delta^{14}\text{CO}_2 = \left\{ \frac{\left(\frac{^{14}\text{C}}{\text{C}}\right)_{\text{sa,N}}}{\left(\frac{^{14}\text{C}}{\text{C}}\right)_{\text{std,N}}} - 1 \right\} \times 1000 [\text{‰}]$$

(¹⁴C/C)_{sa,N}、(¹⁴C/C)_{std,N} はそれぞれ試料中及び標準物質の ¹⁴C/C 比である。

アオモンイトトンボにおける雌特異的な色彩多型の遺伝的基盤

○高橋迪彦¹・奥出絃太^{2,3}・二橋亮³・高橋佑磨⁴・河田雅圭¹

1 東北大学大学院生命科学研究所生態発生適応科学専攻 2 東京大学大学院理学研究科

3 産業技術総合研究所 4 千葉大学大学院理学研究科

多様な色彩をもつトンボ目昆虫では、一般に著しい性的二型を示すが一部の種では、同種の雄に体色の似るオス型の雌が出現することで雌に多型のある状態が成立している。トンボ目の雌特異的な色彩多型は目内で独立に複数回起源していて、多くの場合、形態や行動などの複数の形質が関与している。掛け合わせの実験から1遺伝子座の2対立遺伝子が雌の体色を支配していることが知られているため、少数の変異が複数の形質に関与すると予想される。本研究では、雌多型をもつアオモンイトトンボにおいて、RNA-seqを用いた網羅的な遺伝子発現比較による候補遺伝子の推定と候補遺伝子のRNA干渉による機能解析を行うことで、雌特異的な色彩多型の遺伝的基盤を解明することを目的とする。まず、体色が発現している羽化直後の雄とオス型、メス型の胸部からRNAを抽出し、RNA-seqを行った。その結果、雄とオス型の間で発現量に差がなく、雄とメス型の間で差がある7つの転写産物が検出された。これらのうち、シロオビアゲハの雌特異的な種内多型を支配することで知られる *doublesex (dsx)* では、雄では短い転写産物が、メス型では長い転写産物が発現していた一方で、オス型ではその両方が発現していた[1]。次に、*dsx* の2つのタイプの発現パターンが体色に影響を与えるかを確認するために、終齢幼虫で *dsx* の発現抑制をし、成虫での表現型を観察した。その結果、メス型において体色に変化は見られなかったものの、*dsx* の短い(雄特異的な)転写産物をRNA干渉した場合のみ、雄とオス型において体色の一部がメス型に変化した。このことから *dsx* の短い転写産物が雄やオス型の体色を促進していると考えられる。また、*dsx* は複数の遺伝子の発現を制御し、さまざまな形質に影響を及ぼす遺伝子であるため、*dsx* が多面発現することで体色以外の形質への影響が考えられる。

専門用語の説明

- ・ RNA-seq：次世代シーケンサーを用いて発現している全RNAを解読すること
- ・ RNA干渉：特定のRNAの発現を抑制すること

参考文献

[1] Takahashi, M., Y. Takahashi, M. Kawata. (2018) Candidate genes associated with color morphs of female-limited polymorphisms of the damselfly *Ischnura senegalensis*. *Heredity*

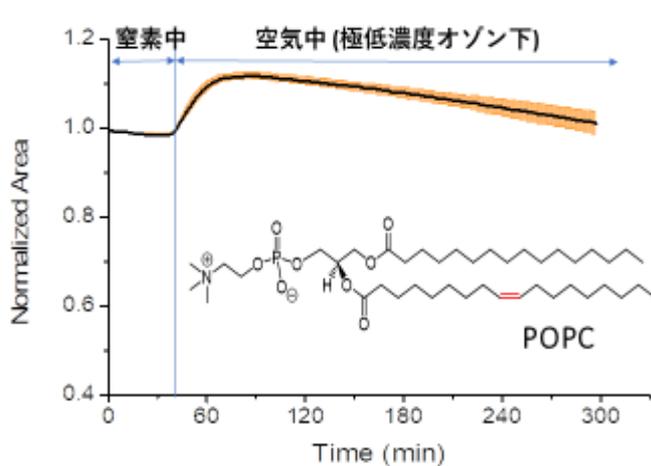
極低濃度オゾンに曝露される不飽和脂質単分子膜の構造安定性

高田俊智¹・喬琳²・井上賢一¹・叶深¹・

東北大学大学院理学研究科化学専攻¹ 北海道大学大学院保健科学研究院²

【序論】 オゾンはオゾン層として太陽光に含まれる紫外線を吸収し、地球上の生命を守っている。その一方でオゾンは地表付近にも微量に存在しており、窒素酸化物(NO_x)や揮発性有機化合物(VOC)による光化学反応でその量は増加している。動物の呼吸において多量の空気が吸入され、空気中の酸化性不純物が肺胞表面を覆う肺サーファクタント(様々なリン脂質分子で構成)と反応し、肺機能への影響を与えることが危惧されている。大気中のオゾン濃度、つまり極低濃度オゾン条件下(40±10ppb)での酸化メカニズムや生体膜の安定性への寄与については不明な点が多い。本研究では水-空気界面に肺胞中にある代表的な肺サーファクタントである 1-palmitoyl-2-oleoyl-glycero-3-phosphocholine (POPC)の単分子膜を作り、表面圧一定・極低濃度オゾン下での単分子膜の時間に対する面積変化の測定と、その変化ごとの膜の構成分子とその物質量の特定を質量分析計で行った。

【結果・考察】 図.1 より、表面圧一定下で不飽和脂質分子である POPC 単分子膜を窒素パージ状態から極低濃度オゾン下へ移すと、単分子膜の面積は一旦増加したのち減少した。一方、二重結合をもたない肺サーファクタントである 1,2-dipalmitoyl-sn-glycero-3-phosphocholine(DPPC)はオゾンによる反応が起こらず、時間に対して面積はほとんど変化せず、二本ある炭素鎖どちらにも二重結合をもつ 1,2-dioleoyl-sn-glycero-3-



phosphocholine(DOPC)はオゾン下では急激に面積が減少することが知られている^[1]。よって POPC のようにオゾン曝露直後の面積上昇は特徴的な挙動であり、ポスター発表では、その面積変化の原因についての考察と各反応時間毎に回収した単分子膜の構成分子やその物質量の分析結果、そこから考えられる膜の安定性について発表します。

図 1.表面圧一定化での時間に対する POPC 単分子膜の面積変化

[1]Lin Qiao , Shen Ye et al , J.Phys.Chem.B 2015 , 119, 14188-14199

軽い暗黒物質探索に向けた超伝導検出器の研究開発

○大野敦¹・石徹白晃治¹・細川佳志¹・鈴木貴士¹・中村公亮¹・美馬寛²

¹ 東北大学ニュートリノ科学研究センター

² 理化学研究所

最近の宇宙背景放射の観測により、我々の宇宙を構成するエネルギーのうち約5パーセントが水素やヘリウムなどといったすでにわかっている物質のエネルギー、残りの約70パーセントは暗黒エネルギー、約25パーセントは暗黒物質と呼ばれる未知の物質のエネルギーであることがわかってきた[1]。暗黒物質とは質量を持ち重力相互作用はするものの、電磁気相互作用はしない物質である。暗黒物質は現時点までに様々な宇宙観測から存在が示唆されるものの、直接的な検出という点では完全な決着がついていない。DAMA/LIBRA 実験[2]では20年以上にわたる観測から季節変動を見ることで直接検出したとされているが、その追証実験では否定的な結果が出ており未だ確実な暗黒物質の発見には至っていない。

現在多くの実験が探索している暗黒物質のモデルとして WIMPs があり、その質量は 10 GeV から 10 TeV を予想している。一方で Hidden-sector Dark Matter というモデルでは keV から TeV までの広い質量領域が予想されている。そのうち質量が keV から MeV の軽い暗黒物質の探索は近年の測定技術の向上や新たな検出器の開発に伴い、様々な実験が計画されている。軽い暗黒物質の探索において重要となるのは低エネルギーの検出であり、低エネルギーまで検出できる Kinetic Inductance Detector(KID)[3]を用いた新しい実験を行うことを我々は目指している。本研究の目的は現在導入中の希釈冷凍機を用いた 10 mK での測定に向けたソーブション冷凍機を用いた 300 mK での KID の測定環境の構築である。そのために検出器のデザイン開発・作製の技術の習得、データ収集のための読み出しシステムの構築、データ解析のシステムの構築と検出器の性能評価を行うことを目標とした。

KID は、金属の極低温下で直流抵抗がゼロであるがインダクタンスはゼロでないという特徴を用いた超伝導検出器の一種である。ほかの検出器と比べ極低温下で低エネルギー閾値が期待できる。KID は電気回路の共振を起こす LC 回路と同等の回路を持ち、KID ごとに固有の共振周波数を持つ。検出器の特徴として時間応答が早い、複数同時読み出しが可能、作製が容易といった点がある。右図に検出器の写真を示す。

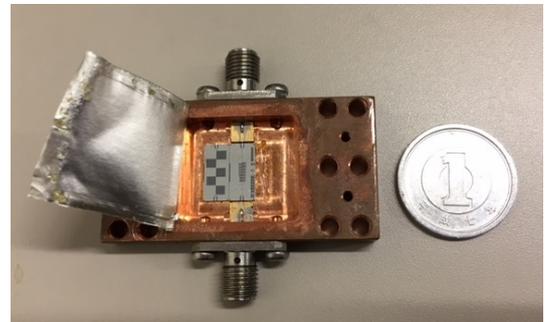


図 1: 治具に実装した検出器

本研究では実際にデザイン開発、検出器作製を行い、作製した検出器でのデータ収集から解析までを行うことができた。また、²⁴¹Am の 60 keV のガンマ線の効果を作製した検出器で確認することができた。

今後は希釈冷凍機を用いることで 10 mK での測定を行う予定である。温度をさらに低温にすることでノイズを低くすることが期待されるほか、検出器の性能についても現状よりさらに低温にすると良くなることを期待されている。また、ほかの研究への応用として KID の読み出しの技術は TES などの他の検出器での読み出しの技術に適用できる可能性がある。

参考文献

- [1] Planck Collaboration, arXiv:1807.06209 (2018)
- [2] R. Bernabei et al., arXiv:1805.10486 (2018)
- [3] B. Mazin, “Microwave kinetic inductance detectors”, Ph.D.thesis, California Institute of Technology. (2005)

グリシン水溶液の蒸発速度が重合に与える影響

○佐藤圭一郎・掛川武・古川善博

東北大学大学院理学研究科地学専攻

タンパク質は酵素として生体内の代謝を支え、遺伝情報を持つ DNA やそれを伝える RNA の生成にも深く関与しているため生命にとって必要不可欠な高分子である。タンパク質は立体構造を持ち、20 種類のアミノ酸が 100 個以上縮合重合することで生成される。アミノ酸同士はペプチド結合で結ばれるが、この結合の形成は脱水反応であるために水溶液中では逆反応である加水分解が卓越してしまう。この問題の解決にはアミノ酸水溶液の加熱による脱水が考えられており、先行研究ではアミノ酸重合の環境を干潟と想定してアミノ酸の飽和水溶液を加熱し、乾燥させることによって重合が確認できていた[1]。このような蒸発実験において、アミノ酸試料の状態は刻々と濃縮されてゆく水溶液の状態と乾燥後の固体の状態があるが、先行研究ではどの状態でアミノ酸の重合が進行したのかは明らかになっていなかった。これを明らかにするために、本研究では刻々と濃縮されてゆくグリシン水溶液の加熱と乾燥後の固体の加熱が重合に及ぼす影響を明らかにする。

実験では、pH を 10 に調整したグリシン水溶液 100 μL を、ガラスバイアルに入れ、一定のサイズの穴が空いた蓋をしてオープンに入れて加熱し、溶液が完全に乾燥するまで温度 60、75、90 $^{\circ}\text{C}$ で各 4 つずつ異なる蒸発温度・蒸発速度でそれぞれ加熱した。それとは別に、蒸発後も固体のまま加熱を続けた試料も作成した。蒸発後の生成物は超高速液体クロマトグラフィ質量分析計で分析を行い、生成物中のグリシン重合物の量を測定した。分析の結果、90 $^{\circ}\text{C}$ の実験と 60 $^{\circ}\text{C}$ の実験では、長時間加熱して水溶液の状態を保ちながら蒸発し続けた試料の方、つまり蒸発速度が小さい方が、蒸発乾燥後に固体状態のまま加熱を続けた試料よりも長い重合体を生成していたことが確認できた。また、長さだけでなく、長い重合体の生成量も蒸発速度が小さい試料の方が多かった。一方で、蒸発後に固体のまま加熱を続けた試料は、加熱後に残っていた単量体の残存率が長時間水溶液を残しつつ蒸発させた試料よりも高い値となっていた。このように、アミノ酸の重合には、水溶液存在下での加熱による蒸発の影響、つまり、蒸発速度が影響を与えているということが考えられる。このことから、初期地球においても干潟のように蒸発速度の小さい条件が再現されうる環境でペプチド結合が形成されたという可能性が高まったことが示唆される。

参考文献

- [1] N. Lahav et al. (1978) Peptide Formation in the Prebiotic Era: Thermal Condensation of Glycine in Fluctuating Clay Environments. *Science* **201** (4350), 67-69. [doi: 10.1126/science.663639]

放射線帯電子が大気へ降下するプロセス

○平井あすか・土屋史紀・小原隆博・笠羽康正・加藤雄人・三澤浩昭・塩川和夫^a・三好由純^a・栗田怜^a・Martin Connors^b

東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

名古屋大学宇宙地球環境研究所^a

Athabasca University^b

宇宙空間は様々なエネルギーをもつ荷電粒子（プラズマ）で満たされており、プラズマ中に存在する電場・磁場の波動をプラズマ波動という。宇宙空間のプラズマ密度は非常に低く、粒子同士はほとんど衝突しないが、粒子の運動はプラズマ波動を介したエネルギーのやり取りによって変化する。高エネルギー粒子が地球の双極子磁場に捕捉されている放射線帯は、宇宙環境の様々なプロセスが複雑に関係しあい変動する。プラズマ波動と粒子の相互作用は、放射線帯に分布する相対論的エネルギーを持つ電子を激しく変動させる要因の一つである。太陽から噴き出すプラズマ流(太陽風)のエネルギーが地球周辺の宇宙空間に侵入することにより生じる磁気嵐時には、数時間から数日の間に、放射線帯の電子フラックスは劇的に変化し、地球大気とその周囲の宇宙空間に様々な影響を及ぼす。大規模なオーロラの出現や通信障害の発生はその一例である。放射線帯の変動の理解は、太陽風に起因する様々な自然現象を予測する「宇宙天気」の重要課題のひとつである。プラズマ波動の一つである電磁イオンサイクロトロン（Electromagnetic ion cyclotron: EMIC）波動は相対論的エネルギーを持つ放射線帯電子と共鳴する場合がある。共鳴の結果、電子の軌道が散乱され地球大気に降下侵入する。この効果は放射線帯から電子を消失させる重要なメカニズムの一つであるが、これが放射線帯全体の消失に及ぼす影響は未解明である。また、大気に降下侵入した電子は、中層大気で電離を起こし、様々な化学反応を経てオゾンの減少を引き起こすことが数値計算から予想されており、これが気候変動に影響を与え得るかが近年注目されている。本研究では、低周波電波が電離大気の下端で反射する性質を利用して、中層大気への降下侵入した電子が引き起こす電離現象を連続的に観測し、EMIC 波動が放射線帯の電子を散乱する条件を明らかにすることを目的として実施している。EMIC 波動により散乱された電子降下領域を同定するために、電子と同時に散乱されたプロトンによって生じるプロトンオーロラを全天カメラで観測し、磁力計を用いて EMIC 波動の磁場変動を観測することで、EMIC 波動による相対論的電子降下現象を実証的に研究した。本発表では、数 10 秒～数分スケールの EMIC 波動強度変動に応じて、バースト的な電子降下が繰り返し引き起こされている事例を紹介する。

分子イオンの構造異性体分離

～イオン集束系の製作によるイオン移動度質量分析計の感度向上～

○宮崎 舜・長谷川 皓平・田井中 創太・矢部 謙太・大下 慶次郎・美齊津 文典
東北大学大学院理学研究科化学専攻

複数の置換基を持つ分子にプロトン(H^+)が付加する際、 H^+ が直接付加する置換基によって、分子イオンに複数の異なる構造異性体が存在する[1]。このプロトン付加分子イオンの構造異性体はその電荷分布や置換基の違いにより、イオン-分子反応において異なる反応性を示すことが期待される。

イオン移動度質量分析はプロトン付加分子イオンの構造異性体を分離する手法として有力な方法である。しかしイオン移動度分析では緩衝ガス分子との衝突によるイオンの拡散が起こるため、検出感度が一般に極めて低いという課題がある。そこで本研究では検出感度の向上を目的として、イオン集束系の一種であるイオンファネルを製作し、自作のイオン移動度質量分析計に組み込んだ。

イオンファネル[2]は径の異なる穴の開いた電極を漏斗状に積層させた構造をもつ(図1)。これらの電極に直流と交流の電圧を印加した結果発生する電場の効果により、真空中で飛行するイオンビームを漏斗の先へ集束させる。シミュレーションの結果、低真空のイオン移動度測定部から高真空の質量分析部へのイオンの透過率が約10倍高くなり、イオンの検出感度が向上することが見出された。実験装置にイオンファネルを組み込んだ結果、先行研究[1]で報告された2種類のプロトン付加分子イオンの構造異性体が分離できることを確認した。

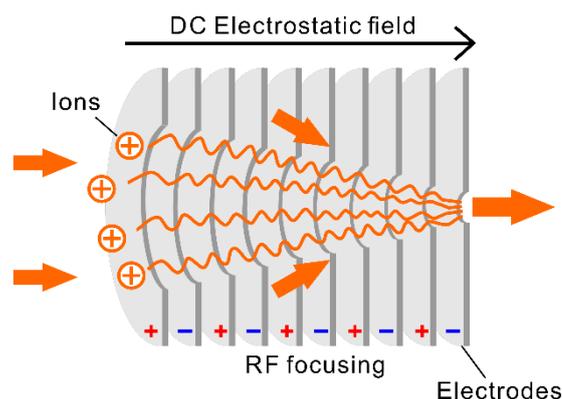


図1 イオンファネルの模式図

専門用語の説明

・イオン移動度質量分析：ヘリウムや窒素などの緩衝ガスが充填されたドリフトセルにイオンを入射し、セル内部の電場による加速と緩衝ガスとの衝突による減速の影響を用いて構造を分離する分析手法をイオン移動度分析という。イオンがセルを通過するのに要する時間からイオンのかさ高さが分かる。ドリフトセルと質量分析計を組み合わせることで、イオンの構造と質量を関連付けることができる。

・イオン集束系：真空中において電場や磁場を用いてイオンを集め、検出器へと効率よく輸送するための機構。

参考文献

[1] S. Warnke et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **137**, 4236, (2015).

[2] S. A. Shaffer et al., *Anal. Chem.*, **70**, 4111(1998).