

東北大学大学院 理学研究科・生命科学研究科
理学・生命科学 2 研究科合同シンポジウム 2018
ー新学術領域における学生・若手研究者の連携ー

発表要旨集

2018年2月16日(金) 9:00-
東北大学理学研究科 合同C棟2階

生育光条件の違いがクロロフィル蛍光・分光反射・光合成の 環境応答に与える影響

○辻本 克斗・彦坂幸毅

東北大学大学院 生命科学研究科 生態システム生命科学専攻

陸上植物の光合成による二酸化炭素の吸収（Gross Primary Production; GPP）は、陸域生態系の中で最大の炭素フラックスであり、それを正確に推定することは炭素評価の観点から非常に重要である。GPP を推定する手法の一つに、人工衛星から地球の反射光スペクトルをモニタリングする衛星リモートセンシング法がある。この方法は唯一、世界中の植生の情報を時系列で取得できるという特徴がある。従来、リモートセンシングでは、地上植生の緑色度指数から GPP を計算してきた。しかし、そのような方法では、乾燥などの環境ストレスによる GPP の動的な変化を捉えることは困難であった。近年、太陽光によって誘起されるクロロフィル蛍光（Solar-Induced Fluorescence; SIF）を人工衛星から観測することが可能であることがわかった。植物の葉緑体は、光を受けると赤～遠赤色の光（クロロフィル蛍光）を放射する。SIF は植物の光合成回路の状態を反映するため、新たな GPP の指標として期待されている。これまで、SIF から GPP を回帰的に推定する研究が近年多く行われてきたが、SIF は葉中の葉緑体に吸収されたエネルギーがたどる 3 経路（光化学反応、熱放散、蛍光）のひとつであり、光合成を正確に推定するには熱放散も用いる必要がある。また、生態系内の葉は様々な光環境に順化しているため、植物群落レベルで観測される SIF を正確に解釈するには様々な光環境に順化した蛍光と光合成、熱放散の特性を調べる必要がある。本研究では、異なる光環境で生育した 1 年生草本シロザを対象に、熱放散の分光反射指数である Photochemical Reflectance Index（PRI）を用いて熱放散のパラメータを組み込んだ蛍光-光合成モデルを用いて葉の光合成速度を推定した。

Recent Progress in Photocatalytic Functions of Organic Hybridized Nanocrystals

○Chanon PORNRUNGROJ • Mamiko OZAWA • Tsunenobu ONODERA • Hidetoshi OIKAWA
(IMRAM, Tohoku Univ.)

In recent years, organic semiconductor materials have obtained much interest in the field of energy, and have been explored for various applications, including solar cells, fuel cells and rechargeable lithium batteries, mainly because of low-cost facile synthesis, excellent electrical and electrochemical activity, high carrier mobility, and mechanical properties. In general, organic materials are cheap, and abundant, easy to process, and easy to modify[1]. The development of the organics photovoltaic is one of the good example for the use of organic semiconductor materials where organic semiconductor has been used to enable a printable, bendable, and cheaper solar panels. The ability to tune the bandgap and emission of organic molecule has made them very attractive for the light emitting diode applications as well. Despite many benefits, organic material until now has gained only little attention as photocatalyst, compared to its inorganic counterparts. In this presentation, we will showcase our original approach employing organic nanocrystal (NCs) as a highly effective photocatalyst for water decontamination and hydrogen generation applications.

Organic NCs have been fabricated by reprecipitation method [2] resulting in a well-defined organic nanostructures. Especially, polydiacetylene (PDA) NCs and [6,6]-phenyl C₆₁ butyric acid methyl ester (PCBM) NCs have been demonstrated as a superior photocatalyst for the photodegradation reaction of an organic dye, even when compared with traditional TiO₂ (Fig. 1). Furthermore, we investigated the relationship between the photocatalytic activity and the morphology of NCs. Recent experiments have indicated good recyclability of PDA NCs as well as the great thermal stability. We confirmed that these material can be used repeatedly without losing their performance over up to 10 cycles. Our finding could help advance the development of photocatalysis using organic material and so on in the near future.

Technical words

- Photocatalyst : catalytic substance functioned under or by photo-irradiation.
- Organic Nanocrystals : crystals consisted of organic molecules with nanometer to submicron in size.

References

- [1] Nunzi, J.-M., *Organic photovoltaic materials and devices*. Comptes Rendus Physique, 2002. **3**(4): p. 523-542.
[2] Kasai, H., et al., *A novel preparation method of organic microcrystals*. Japanese Journal of Applied Physics, 1992. **31**(8A): p. L1132.

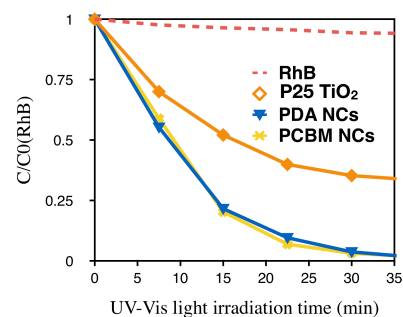


Fig. 1 Comparative photocatalytic activity of PDA NCs, PCBM NCs, and TiO₂ under UV-Vis irradiation for the degradation of Rhodamine B.

量子情報とブラックホール

堀田昌寛¹, 南部保貞², 山口幸司¹

東北大学大学院理学研究科物理学専攻¹

名古屋大学大学院理学研究科素粒子宇宙物理専攻²

重力の古典理論である一般相対論を用いると、物質によって時空が強く曲がることで光すらも外に出ることが出来ないような時空領域 (ブラックホール内部領域) が現れることがわかる。このような時空において量子論を考えると、熱的な輻射 (これはホーキング輻射と呼ばれる) を放出しながらブラックホールは蒸発していく。ブラックホールが完全蒸発してホーキング輻射のみが残るとすると、この熱的輻射はブラックホールを構成した物質の情報の一部しか保持しないため、この蒸発の過程で量子論的な情報が失われてしまうことを意味する。このことは量子論の基本的な原理に反する可能性があるためにブラックホールの情報喪失問題と呼ばれている。この問題を解決することによって、未だ完成されていない量子重力理論の構築に向けた示唆が得られる可能性が高いため、盛んな議論が 40 年以上に渡って続いている。

ブラックホールの情報喪失問題を正確に理解するためにはブラックホールとホーキング輻射の間の量子もつれ (エンタングルメント) の時間発展が重要な役割を果たす。この量子もつれは、ブラックホールとは独立な文脈において様々な研究がなされている。このような研究の過程の中で見つけ出された、系の詳細によらない一般的な性質を用いることで、量子重力理論で起こる現象を予測しようとする試みがいくつかある。そのひとつが、量子もつれの典型性を用いてブラックホール蒸発過程の量子もつれの時間発展を予言した Page 曲線仮説 [1] である。この議論の中では一般的な量子系の性質のみしか用いられていないため、この仮説は正しいとしばしば信じられているが、仮説を導く上で前提となる条件の正当性が曖昧なままであった。

本講演では、これらの先行研究に加えて我々の最近の研究 [2] を説明する。この研究において、我々は量子ビットを用いてブラックホールの蒸発過程のモデルを構成し、4次元の球対称なブラックホールの熱力学的な性質を再現することに成功した。更に時間発展を具体的に計算することで、このモデルで Page 曲線仮説は成り立たないことを具体的に示し、この仮説の前提となる条件のどこが不十分であるかを明らかにした。時間が許せば、ブラックホール蒸発過程に対して提示されている他の仮説とこのモデルの関係性についても説明する。

専門用語の説明

- (a) 量子もつれ: 量子力学系特有の相関。
- (b) 典型性: ある集合の圧倒的多数について成り立つ性質。例えば実数の集合 $[0, 1]$ において、無理数であるというのは典型的な性質である。

参考文献

- [1] D. N. Page, Phys. Rev. Lett. 71, 3743 (1993).
- [2] M. Hotta, Y. Nambu and K. Yamaguchi, arXiv:1706.07520.

宇宙創成期解明に向けた宇宙塵の研究

○梨本 真志・服部 誠

東北大学大学院理学研究科天文学専攻

宇宙はかつて高温・高密度状態であったとするビッグバン宇宙論は、宇宙にあるヘリウム存在量、宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background : CMB) の発見など、観測をよく説明できるため標準理論としての地位を確立した。しかしビッグバン宇宙論では宇宙の初期条件として不自然さが残る。その解消のため、宇宙創成期に指数関数的加速膨張が起こったとするインフレーションモデルが提唱されている。インフレーションによって時空の量子ゆらぎから重力波が生成され、CMB に B モードと呼ばれる特異な偏光パターンが刻印される。この CMB 偏光 B モードを発見して原始重力波の存在を示し、インフレーションモデルの立証を目指した様々な観測実験が世界中で実施・計画中である。

CMB 偏光 B モード観測の成功の鍵を握るのは宇宙塵だ。CMB 偏光 B モードは非常に微弱であり、我々の住む天の川銀河系内に無数に存在する宇宙塵からの放射に覆い被されるため、観測で得られた信号から宇宙塵放射成分を分離する必要がある。銀河系内にある宇宙塵は非結晶 (アモルファス) であると観測結果は示唆するが、アモルファス物質の物性とミリ波帯での偏光放射との関連は明らかとされていない。本研究では、アモルファス物質の物性に基ついた偏光放射モデルを構築し、CMB 偏光観測の精度向上、また CMB 観測実験による高精度な偏光観測データから宇宙塵のアモルファス物性値を得ることを目指す。

アモルファス物質のミリ波帯での電波応答を説明するモデルとして二準位状態モデルが提唱されている^{[1][2]}。Meny et al. (2007)^[3] は二準位状態モデルを銀河系内宇宙塵に適用したが、その取り扱い是不十分であったため、本研究で再計算を行った。その結果、アモルファス物質の放射強度スペクトルは複素誘電率の実部・虚部に依存するが、偏光放射スペクトルは複素誘電率の実部にしか依存しないことを発見した。またスペクトルの形 (周波数依存性) を決めるにはアモルファス物質成分ごとに先行研究で考えられたものよりも多い 8 個のフリーパラメータが必要であり、これらパラメータの値によってスペクトルの形は敏感に反応するという計算結果を得た。これらの結果は宇宙塵の偏光度の周波数依存性を観測することで宇宙塵の物性値が推定でき得ること、また多くの CMB 偏光 B モード実験で適応される単一ベキ乗則では宇宙塵の放射・偏光スペクトルは記述できないことを示唆する。

専門用語の説明

- ・ CMB : プラズマ状態にあった初期宇宙が宇宙膨張とともに冷却し中性化され、光が直進できるようになった際の黒体放射。現在では約 2.7K の黒体放射として全天で観測される。
- ・ 宇宙塵 : 宇宙空間に漂う固体微粒子。典型的なサイズは $0.1 \mu\text{m}$ 程度。

参考文献

- [1] P. W. Anderson, et al. Philosophical Magazine, Vol. 25, pp. 1–9, January 1972.
- [2] W. A. Phillips. Journal of Low Temperature Physics, Vol. 7, pp. 351–360, May 1972.
- [3] C. Meny, et al. A&A, Vol. 468, pp. 171–188, June 2007.

逆二乗型ポテンシャルを持つ熱方程式の解の時間大域挙動

向井 晨人

東北大学大学院理学研究科数学専攻

本講演では、逆二乗型球対称ポテンシャルを持つ熱方程式

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

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、

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

本講演は東北大学石毛和弘教授、大阪府立大学壁谷善継教授との共同研究に基づき、 $L := -\Delta + V(|x|)$ が $L^2(\mathbf{R}^N)$ 上非負であるときの (P) の解の詳細な時間大域挙動の考察を目的とする。まずは L の非負性、臨界性の定義を述べる。定義 (非負性). $L := -\Delta + V(|x|)$ が $L^2(\mathbf{R}^N)$ 上非負とは、任意の $\phi \in C_0^\infty(\mathbf{R}^N \setminus \{0\})$ に対して、

$$(L\phi, \phi)_{L^2(\mathbf{R}^N)} = \int_{\mathbf{R}^N} [|\nabla \phi|^2 + V(|x|)\phi^2] dx \geq 0$$

が成り立つときをいう。ただし、 $(\cdot, \cdot)_{L^2(\mathbf{R}^N)}$ は $L^2(\mathbf{R}^N)$ の内積。定義 (非負性). $p = p(x, y, t)$ を e^{-tL} により生成される基本解とする。

- L が非負且つ $\int_0^\infty p(x, y, t) dt < \infty$ であるとき、 L は劣臨界という；
- L が非負且つ劣臨界ではない、即ち、 $\int_0^\infty p(x, y, t) dt = \infty$ であるとき、 L は臨界という；
- L が非負ではないとき、 L は優臨界という。

次に、常微分方程式、 $U'' + (N-1/r)U' - V(r)U = 0$ in $(0, \infty)$, $U(r) \sim r^{A^+(\lambda_1)}$ as $r \rightarrow 0$ の解 U を考える。 L が非負であるとき、 $U > 0$ in $(0, \infty)$ となり、以下が成り立つ ([3], [4] 参照):

$$U(r) \sim \begin{cases} c_* r^{A^+(\lambda_2)} & (L \text{ が劣臨界且つ } \lambda_2 > \lambda_*), \\ c_* r^{-\frac{N-2}{2}} \log r & (L \text{ が劣臨界且つ } \lambda_2 = \lambda_*), \\ c_* r^{A^-(\lambda_2)} & (L \text{ が臨界}), \end{cases} \quad \text{as } r \rightarrow \infty.$$

ただし、 $c_* > 0$, $A^\pm(\lambda) := \{-(N-2) \pm \sqrt{(N-2)^2 + 4\lambda}\}/2$. $U \notin L^2$ の仮定の下、(P) の解の高次漸近解析を行うことで以下の結果を得る。ただし、 L が劣臨界のとき $A := A^+(\lambda_2)$, L が臨界のとき $A := A^-(\lambda_2)$ とする。定理 1. $N \geq 2$, $\varphi \in L^2(\mathbf{R}^N, e^{|x|^2/4} dx)$, 条件 (V) を仮定し、 $M(\varphi) := (c_* \kappa)^{-1} \int_{\mathbf{R}^N} \varphi(x) U(|x|) dx$, $\kappa > 0$ とする。 L が劣臨界且つ $\lambda_2 > \lambda_*$, もしくは、 L が臨界且つ $A^-(\lambda_2) > -N/2$ の場合、 $\mathbf{R}^N \setminus \{0\}$ 内の任意のコンパクト集合 K に対して、

$$\lim_{t \rightarrow \infty} t^{\frac{N+A}{2}} [e^{-tL} \varphi] (t^{\frac{1}{2}} y) = M(\varphi) |y|^A e^{-|y|^2/4} \quad \text{in } L^2(\mathbf{R}^N, e^{|y|^2/4} dx) \cap L^\infty(K).$$

更に、十分小さい $\epsilon > 0$ に対して、 $\{x \in \mathbf{R}^N \mid |x| \leq \epsilon(1+t)^{\frac{1}{2}}\}$ 上一様に

$$t^{\frac{N+2A}{2}} \frac{[e^{-tL} \varphi](x)}{U(|x|)} = c_*^{-1} M(\varphi) + O(t^{-1}|x|^2) + o(1) \quad \text{as } t \rightarrow \infty.$$

 L が劣臨界且つ $\lambda_2 = \lambda_*$ の場合も \log の補正を掛けた同様の結果が得られる。

参考文献

- [1] B. Simon, Large time behavior of the L^p norm of Schrödinger semigroups, J. Funct. Anal. **40** (1981), 66-83.
- [2] K. Ishige and Y. Kabeya, L^p norms of nonnegative Schrödinger heat semigroup and the large time behavior of Hot spot, J. Funct. Anal. **262** (2012), 2695-2733.
- [3] K. Ishige, Y. Kabeya and E. M. Ouhabaz, The heat kernel of a Schrödinger operator with inverse square potential, Proc. Lond. Math. Soc. **115** (2017), 381-410.
- [4] M. Murata, Structure of positive solutions to $(-\Delta + V)u = 0$ in \mathbf{R}^n , Duke Math. J. **53** (1986), 869-943.

Discovery of Ni-Fe-P bearing minerals from 3.45 Byr Apex basalt
-Implication for the primary source of phosphorus on the early Earth-

Author; *¹Yuya, Tsukamoto, ¹Takeshi Kakegawa and ²Hiroshi Ohmoto

¹ Tohoku Univ., Sendai 981-8576 Japan

(* correspondence: yuya.tsukamoto.q5@dc.tohoku.ac.jp)

² Penn State Univ., University Park, PA 16802 USA

Phosphorylated compounds (e.g., RNA, DNA) are important for the biochemistry. Therefore, the origin of them has been discussed. Pasek and Laurretta (2005) suggested that the meteoritic mineral schreibersite, (Fe, Ni)₃P, was the primary source of phosphorus on the early Earth because of its high solubility with water and reactivity with organic compound in contrast to terrestrial phosphide minerals (e.g., apatite). However, no direct evidence of meteoritic schreibersite has been reported from Archean geological samples.

We focused on the drill core sample (ABDP #1 hole) obtained from the East Pilbara district, Western Australia. This core sample consists of Duffer Fm, Marble Bar Chert/Jasper Member (MBCM) and Apex Basalt from lower geological sequences. The ages of MBCM are 3.46 Byr ago and of Apex Basalt are 3.45 Byr ago. Graham et al., (2018, in preparation) reported the discovery of many meteorite fragments in Apex Basalt with the distinct lamellae resembling widmanstätten patterns on the iron meteorite and distorted/bent lamellae induced by the impact of meteorites. Therefore, we closely focused on the rock chip of 214.4 m depth of the drill core in Apex Basalt. We found many meteorite fragments in this sample as well, suggesting the association with meteorite impacts. Apart from them, we found the minerals bearing Ni, P, Ir by elemental mapping in this sample. Detailed spot analyses by FESEM/EDS revealed their chemical compositions as Ni = 86.1 ± 1.4 wt%, P = 12.3 ± 1.2 wt%, Fe = 1.6 ± 1.1 wt%. The chemical formula for these minerals becomes Ni_{3.74±0.37}Fe_{0.07±0.05}P_{1.0}. (Ni+Fe)/P ratio varied from 2.9 to 4.3, indicating schreibersite to melliniite ((Ni, Fe)₄P) phase which is also typical meteoritic mineral. Compared with the chemical formula of schreibersite on the modern meteorite, Fe_{2.549±0.02}Ni_{0.43±0.03}P_{1.0±0.009} (Pirim et al., 2014), Ni-Fe-P bearing minerals in Apex Basalt have an opposite trend meaning Ni rich and Fe poor. This study shows the direct evidence of Ni-Fe-P bearing minerals from Archean geological sample. In addition to this study, recent studies have reported the impact spherules in various sedimentary

rock formations of ca. 3.47-3.25 Byr in the Barberton district of South Africa and in the Pilbara district, Australia, These studies may indicate that the influx of meteorite has been high even after Late Heavy Bombardment (-3.8 Byr ago).

Epitaxial growth of highly strained RuO₂ thin film by self-buffering method

Dept. of Chem., Grad. Sch. of Sci., Tohoku Univ.¹, WPI-AIMR Tohoku Univ.²

Zainab Fatima¹, Daichi Oka¹, Tomoteru Fukumura^{1,2}

E-mail: fatima.zainab.s8@dc.tohoku.ac.jp

Transition metal oxides have a wide variety of electronic and chemical applications. For example, rutile type RuO₂ (Fig. 1) is applied for electrodes and catalysts because of its low resistivity at room temperature (35 μΩ cm) and high thermal and chemical stability [1]. In such applications, submicrometer thick RuO₂ film is often used. Such thin film is often subjected to the lattice strain from the substrate [2]. However, the strain effect on physical properties of RuO₂ has been rarely studied partly because of uncontrollable degree of the strain. To this end, thin film epitaxy is a promising way to systematically control the lattice strain through the growth condition. In this study, we successfully deposited high quality RuO₂ epitaxial thin films with self-buffering method and investigated their physical properties, where the strain was widely controlled within a range of 0–4%.

We grew RuO₂ (100) epitaxial thin films on yttria-stabilized zirconia (YSZ) (111) and sapphire (0001) substrates by pulsed laser deposition. Ultrathin RuO₂ layers as self-buffer layer were deposited at 450°C prior to main layers deposited at different temperatures in order to vary the strain. The lattice strain was evaluated by reciprocal space mapping of x-ray diffraction. The lattice strains as high as 3.4% and 4.0% were observed in the RuO₂ thin films on YSZ (111) and sapphire (0001) substrates, respectively (Fig. 2). Surface morphology of the RuO₂ thin films observed by atomic force microscope indicated island growth mode, suggesting that the very large strain is caused by the crystal growth mode influenced by the self-buffer layer.

[1] G.V. Samsonov, *The Oxide Handbook*, (IFI/Plenum, New York, 1982).

[2] W. D. Nix *et al.*, *J. Mater. Res.*, **14**, 3467 (1999).

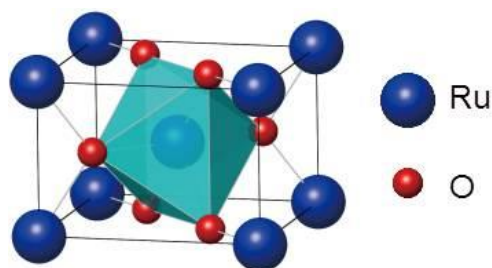


Fig 1. Crystal structure of rutile RuO₂.

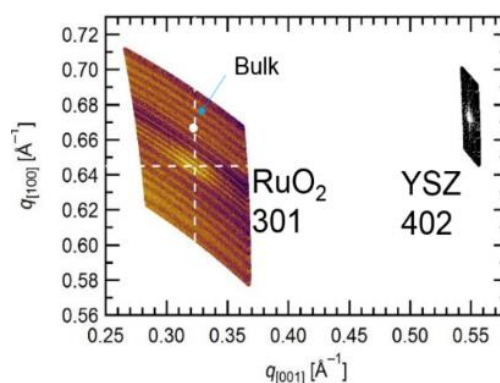


Fig. 2. Reciprocal space mapping around 301 diffraction of RuO₂ thin film epitaxially grown on YSZ (111) surface with self-buffering method.

Influence of tropical rainfall on East Asian weather and climate during winter

Muhammad Rais Abdillah, Yuki Kanno, and Toshiki Iwasaki

Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

In winter (December-February), weather and climate in extratropical regions are dominated by cold air outbreak (CAO) events. CAO is the outflow of cold air mass from polar region to lower latitudes. It is characterized by strong wind and sharp drop of temperature, and sometimes can lead to heavy snowstorms. East Asia, including Japan, is one of the regions where CAOs most frequently occur and thus can cause significant damages to the densely populated areas [1].

CAOs are basically driven by internal synoptic conditions in the extratropics. However, their variations are potentially affected by the tropical atmosphere. The tropics exhibit large formation of deep convective clouds whose abundant condensational heating excites the large-scale disturbances that may remotely control the extratropical atmosphere and thus the CAOs.

Our presentation will show how the tropical convections influence the occurrence of CAOs in East Asia. In short, the connection between CAOs and the tropics is prominent in a sub-seasonal scale [2] and a multi-annual scale [3]. In the sub-seasonal scale, the tropical rainfall experiences a strong oscillation of wet and dry anomalies characterized by planetary wave propagating from the Indian Ocean to the Pacific Ocean. This phenomenon is referred to as the Madden-Julian Oscillation (MJO). CAOs become particularly more active when the passage of MJO appears over Indonesia. In the multi-annual scale, El Niño-Southern Oscillation (ENSO), which is characterized by changes in Pacific sea surface temperature, has large impacts on the distribution of tropical rainfall. Two typical ENSO events, El Niño and La Niña, significantly affect cold air outflow in East Asia. The CAOs become less (more) active during El Niño (La Niña), respectively. The improved understanding of tropical-extratropical interactions enhances predictability of CAO events.

References

- [1] Shoji et al., 2014: *J. Climate*. 27, 9337–9348, doi: 10.1175/JCLI-D-14-00307.1
- [2] Abdillah et al., 2018: *J. Climate*. 31, 473–490, doi: 10.1175/JCLI-D-17-0147.1
- [3] Abdillah et al., 2017: *J. Climate*. 30, 2989–3007, doi: 10.1175/JCLI-D-16-0152.1

がん細胞と生殖細胞におけるがん精巢抗原遺伝子群の共通発現の意義の解明

○青木七菜・松居靖久

東北大学大学院生命科学研究科生命機能科学専攻

生殖細胞は、細胞の中で唯一、受精を経て、次世代の個体を生み出す個体発生全能性を持つ特徴的な細胞である。また、がん細胞は、無限増殖能を持ち、浸潤や転移を行う特殊な細胞である。ヒトにおいて、生殖細胞とがん細胞に共通して発現が見られる遺伝子が存在し、それらはがん精巢抗原 (cancer/testis antigen; CTA) 遺伝子と呼ばれている。CTA は、がんの免疫治療のターゲットとして有望視されている。また、CTA 遺伝子は正常細胞においては生殖細胞で特異的に発現が見られる[1]ことから、生殖細胞の形成や全能性の獲得の一端を担う遺伝子群が含まれている可能性がある。したがって、CTA 遺伝子の機能解析は生殖細胞発生の理解と、がん治療への貢献の一助となりうると考えられる。しかし、現在まで CTA 遺伝子の多くは、ヒトの臨床検体から同定されたため、生殖細胞とがん細胞の両者における機能が報告されている例はほとんどない。そこで、マウス CTA 遺伝子を網羅的に同定し、生殖細胞、がん細胞、双方における機能解析を行うことで、CTA 遺伝子が生殖細胞とがん細胞でのみ共通して発現する意義を明らかにすることを試みている。

網羅的な定量 PCR にてヒト CTA 遺伝子のマウスホモログについて、マウス正常組織とがん細胞株での遺伝子発現を確認した。ヒト CTA 遺伝子は 277 遺伝子が報告されており、そのマウスホモログの 139 遺伝子について解析した結果、87 遺伝子がマウス CTA 遺伝子であると考えられた。これらの遺伝子について、がん細胞で RNAi による遺伝子の機能低下を行い、細胞増殖や生存への関与を調べたところ、45 遺伝子が細胞増殖や生存に関与している可能性を見出した。そのうち、*Oip5*, *Tekt5* はどちらも機能低下によってがん細胞で細胞数の低下が見られ、これらはアポトーシスの亢進、G1 期への蓄積によることを示した。また、既存のアレイデータを利用し、これらの遺伝子について生殖細胞における発現パターンを調べたところ、*Oip5* は精原幹細胞で、*Tekt5* は精子細胞で高発現であることが明らかになった。これらより、がん細胞で細胞増殖や生存に関与する遺伝子は、自己複製能を持つ精原幹細胞のみに高発現するのではなく、生殖細胞での発現パターンは様々であることが示唆された。今後は、これらの遺伝子について、生殖細胞での機能解析を行い、がん細胞と生殖細胞の両者での機能やシグナル経路の共通性について検証する。

専門用語の説明

- ・精原幹細胞：精子の源となる細胞。自己複製と精子への分化を行う。

参考文献

- [1] O. Hofmann *et al.*, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2008

宇宙物質優勢の謎の究明を目指した高機能電子回路の開発

○本田佳己・KamLAND collaborators 東北大学大学院理学研究科物理学専攻

現在の物理学における大きな課題として、宇宙物質優勢の謎^{*1}がある。この解明にあたって重要なのがニュートリノのマヨラナ性^{*2}である。マヨラナ性検証の方法としては、ニュートリノの出ない二重 β 崩壊^{*3}($0\nu\beta\beta$)の観測が現状唯一の手段である。 $0\nu\beta\beta$ 探索実験は世界各地で行われており、中でも現在最高感度を誇るのが我々の行っている KamLAND-Zen 実験である。KamLAND-Zen 実験では約 400 kg の ^{136}Xe を使って $0\nu\beta\beta$ の観測を行う。 ^{136}Xe は液体シンチレータに含有される形でナイロン製ミニバルーンに内包されており、その発光が 1879 本の光電子増倍管(PMT)で取得される。マヨラナ性が真実ならば、PMT 信号から再構成したエネルギー分布は $0\nu\beta\beta$ の影響で 2.46 MeV にピークを持つ。

KamLAND-Zen 実験で深刻なバックグラウンドが、 ^{10}C の β^+ 崩壊である。 ^{10}C は宇宙線由来のミュオンが液体シンチレータ中の ^{12}C の原子核を破碎することで生成される。ただし、原子核破碎では同時に中性子も生成され、その後 210 μs の寿命で液体シンチレータ中の陽子に捕獲される。これを利用して、 ^{10}C 由来の信号はミュオン信号ならびに中性子捕獲の際に放出される γ 線との時間、空間的相関をとることで解析的な排除が可能である。

現行のシステムでは中性子信号の取り逃しが多く ^{10}C 除去率が十分でない[1]。ミュオンによる大信号直後の PMT では、信号ベースラインが上昇するオーバーシュート、大量のノイズ信号を出すアフターパルスという 2 つの現象が起こるのが取り逃しの原因である。

将来的には現在のデータ収集用電子回路を一新する予定である。新たな電子回路には中性子の取り逃しを解決する 2 つの新たなロジックを実装する。1 つ目は高速な判定によってアフターパルスの影響を受けにくいトリガー発行法、2 つ目は PMT 波形信号の微分値に閾値を設定することでオーバーシュートの影響を受けにくいヒット判定法である。

シミュレーションを用いた評価により、新ロジックを用いたデータ収集システムでは ^{10}C 由来のバックグラウンドを現行システムの半分以下に削減できることがわかった。これによって今後の $0\nu\beta\beta$ 探索をより有利に進めることができる。

専門用語の説明

- *1 物質優勢の謎： 宇宙創成時は物質と反物質が同数生成されたと考えられるが、現在残っているのはほぼ物質のみであるという謎。
- *2 マヨラナ性： 粒子と反粒子が同一のものである性質。
- *3 二重 β 崩壊： 原子核内で 2 つの中性子が同時に β 崩壊する現象。通常は 2 つの電子と 2 つの反ニュートリノが放出されるがマヨラナ性を認めると生成されたニュートリノ同士が対消滅して外に出ない反応が許される。

参考文献

- [1] 狩野祐喜(2017)「KamLAND-Zen実験における宇宙線ミュオン起源のバックグラウンド除去効率の改善」修士論文, 東北大学.

活動銀河核ジェットの磁気流体モデルの研究

○荻原大樹^[1]・高橋和也^[2]・當真賢二^[3]

[1]東北大学理学研究科天文学専攻

[2]京都大学基礎物理学研究所

[3]東北大学学際科学フロンティア研究所・理学研究科

活動銀河核ジェットとは、銀河の中心部の明るく光るコア (活動銀河核:Active galactic Nucleus: AGN) から、細く長く伸びる相対論的速度を持つ物質の噴出流である。活動銀河核ジェットの駆動機構・質量注入機構は未だ不明である。ジェットを駆動するエネルギー源として銀河中心ブラックホールもしくはその降着円盤の回転エネルギーが有力視されている。一般相対論的磁気流体シミュレーションでは前者による駆動が示されているが、それには観測的証拠が未だない。シンクロトロン放射をする加速電子がブラックホールへの落下とジェットとしての噴出の狭間でどのように注入されるかも謎である。

M87は中心ブラックホールの視直径がジェット付随銀河の中で最も大きく、ジェット構造が最も詳細に観測されている銀河である。近年の高解像度電波観測はM87 ジェットの詳細な放射強度分布を明らかにしてきた。観測ではジェットの縁が明るい構造が示されており、それは定常軸対称かつ電磁場のエネルギー密度が物質の静止エネルギー密度より十分大きいという条件下でのシンクロトロン放射強度分布計算モデルで再現される (Takahashi et al. (2018), モデルについては Broderick & Loeb (2009)参照)。この研究により磁場は円盤ではなくブラックホールを貫くことが必要であることが明らかになった。M87ジェットの観測はブラックホール駆動ジェットを支持しているということである。最新の高感度電波観測 (Hada (2017)) により、超巨大ブラックホールが存在すると考えられている電波コアから約10ミリ秒角より先で、ジェット縁だけでなく、その内側の軸付近にも明るい領域があることが発見された。電波コアから三本の明るい領域が真っすぐ伸びているので、本研究では triple-ridge 構造と呼ぶ。この特徴的な構造は電子密度分布を強く反映している可能性があり、ジェットの質量注入機構のヒントを与えている。

本研究では、Takahashi et al. (2018) の用いたモデルを拡張し、ブラックホール駆動のもとで放射電子の空間分布を修正することで triple-ridge 構造を再現できることを示した。Takahashi et al. (2018) では任意の場所での質量注入を仮定していたが、本研究では、放射電子の注入場所をブラックホール周辺的一般相対論的效果を考慮して重力と遠心力の釣り合う面とし、放射強度分布計算を行った。面上での質量分布が一様な場合では triple-ridge 構造は再現されず、軸からの距離 R を使って R^6 - R^8 に比例する密度分布で triple-ridge 構造が再現されることがわかった。降着流から光子による対生成で質量注入を行うモデルではほぼ一様な質量注入が予想される。このモデルは本研究の結果に矛盾する。

参考文献

Hada, K. (2017). *Galaxies*, 5(1):2.

Takahashi, K., Toma, K., Kino, M., Nakamura, M., and Hada, K. (2018). (in prep.).

Broderick, A. E. and Loeb, A. (2009). *The Astrophysical Journal*, 697(2):1164

Obstacles to Urban Renewal in Shantytowns: A case of “Villa 21-24” in Buenos Aires

Ogas Mendez A. Federico, Isoda Yuzuru, Onjo Akio

Department of Earth Sciences, Faculty of Science

Tohoku University

The fragmentation of the urban space is one of the deepest problematic on the most of the contemporary cities. The principal causes of this problem, particularly in South America, has signed by the historically existing segregation levels in certain areas of each city.

On face of this problem, an urban renewal process conducts one of the most successful strategies for reducing the levels of segregation in these areas of the city. However, these processes can handle different obstacles that impossibilities the full realization of their objectives.

This study focuses on how the territorial construction and the existing social conflicts can determinate the composition of an urban renewal process in these fragmented areas of the city.

For illustrate this problem, we are going to use the example of the urban renewal plans carried on the shantytown “Villa 21-24” on the south of the Autonomous City of Buenos Aires, one of the most segregated areas as result of an evident lack of infrastructure and services.

The territorial construction on the Villa 21-24 has signed by the proliferation of illegal activities like the existence of an illegal real estate market, drug dealers, and others, which their existence can only exist on an environment of illegality. That is the reason that carries on a process of urban renewal in this area could determinate the end of the end or reduction of these activities.

A result of an exploratory research on the area, which employed questionnaires and interviews on the local community on the Villa 21-24, we conclude that the first step to solve this problem is reaching levels of governability that allow carry out an urban renewal plan that includes the most part of the inhabitants of the Villa 21-24.

By this way, an active participation of the population on the design of future urban renewal projects on the area, can guarantee the support to this kind of strategies, and be the first step to reduce the levels of illegality and segregation on the area.

The objective of this research is a guideline to deal with the contradiction between the urban renewal policies and the territorial construction on the city.

正標数のアフィン代数曲線に対する逆ガロア問題について
(Inverse Galois problem for affine curves in positive characteristic)

小田部秀介

東北大学大学院理学研究科数学専攻

有理数体 \mathbb{Q} 係数の一変数多項式 $f(t) = a_n t^n + \cdots + a_1 t + a_0$ に対し、そのガロア群 $\text{Gal}(f(t)/\mathbb{Q})$ とは、多項式 $f(t)$ の (複素数) 根の入れ替え全体から成る群として定義される。一変数多項式の根は高々有限個なので、それらの入れ替えも高々有限個しかない。よって、ガロア群 $\text{Gal}(f(t)/\mathbb{Q})$ は有限群になる。このように、多項式があるとそのガロア群を考えることで有限群が得られる。この逆が可能かどうかを問う問題、すなわち、「どのような有限群が \mathbb{Q} 係数の一変数多項式のガロア群として実現できるか？」という問題が逆ガロア問題である。この問題は、100 年以上もの歴史を持っており、整数論という代数学の一分野における重要な未解決問題の一つとなっている。

逆ガロア問題は、有理数体 \mathbb{Q} の場合に限らず、ガロア群が定義できる状況であれば考えることができる。講演者は特に代数曲線に対する逆ガロア問題に取り組んでいる。 X を代数曲線とするとき、 X 上の関数を係数とする多項式 $f(t)$ に対して、ガロア群 $\text{Gal}(f(t)/X)$ が定義できる。従って、代数曲線 X に対する逆ガロア問題を考えることができる。1957 年、Abhyankar は正標数のアフィン代数曲線に対する逆ガロア問題の解答を予想として提示した [1]。1994 年、Raynaud と Harbater は Abhyankar 予想を肯定的に解決した [4] [2]。2017 年、講演者は Abhyankar 予想のある種の一般化を提示し、実際、その一般化した予想を支持する部分的な結果を得た [3]。

専門用語の説明

- 体 (field) \cdots 四則演算 (足し算, 引き算, 掛け算, 割り算) を持つ集合。有理数全体の成す集合は、最も基本的な体の例であり、慣例的に \mathbb{Q} と書かれる。
- 群 (group) \cdots 2 項演算と単位元を持つ集合。有限集合の場合、特に、有限群と呼ばれる。対称性を数学的に記述するために用いられる。
- 代数曲線 (algebraic curve) \cdots 1 次元の代数多様体。代数多様体とは、いくつかの代数方程式の解集合として定義される空間のこと。代数曲線の場合、それがアフィン (affine) とは射影的でないことと同値である。
- 正標数 (positive characteristic) \cdots 基本的な概念だが、一言で説明するのは難しい。代数曲線に対する逆ガロア問題は、正標数の場合の方がはるかに難しい。

参考文献

- [1] Abhyankar, S., *Coverings of algebraic curves*, Amer. J. Math., Vol. 79 (1957), 825–856.
- [2] Harbater, D., *Abhyankar's conjecture on Galois groups over curves*, Invent. Math., Vol. 117, No. 1 (1994), 1–25.
- [3] Otabe, S., *On a purely inseparable analogue of the Abhyankar Conjecture for affine curves*, arXiv:1705.05979.v2, to appear in Compositio Math.
- [4] Raynaud, M., *Revêtements de la droite affine en caractéristique $p > 0$ et conjecture d'Abhyankar*, Invent. Math., Vol. 116, No. 1-3 (1994), 425–462.

GPS-A観測に基づく2011年東北沖地震の地震時・地震後変動に関する研究

○富田史章¹・木戸元之²・太田雄策¹・飯沼卓史³・日野亮太¹・内田直希¹

東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻¹

東北大学大学院災害科学国際研究所²

海洋研究開発機構³

2011年東北沖地震をはじめとした海溝型の巨大地震では、地震時のみならず地震後にも顕著な地殻変動が生じる。地震時地殻変動は、プレート境界での断層すべり(地震時すべり)によって生じる一方で、地震後地殻変動は、プレート境界における余効すべり・固着(地震後すべり)、粘弾性緩和といった複数のプロセスによって生じる¹。これらの内、地震時・地震後すべり分布を精密に求めることは、プレート境界の力学的な特性を知ることにつながるため、非常に重要である。

東北沖地震に伴う地震時・地震後すべりは、海底地殻変動観測点が少ないため、その海溝に沿った南北の広がりはいまだよく拘束されていない。本研究では、東北沖地震後の2012年に新しく設置されたGPS音響結合方式による海底地殻変動観測(GPS-A観測)網において繰り返し観測を実施し、東北沖地震後の海底地殻変動場の解明を試みた。更に、この観測結果を用いた地震時・地震後すべり分布の同時推定を行った。地震時すべり分布と地震後すべり分布は、独立して推定される場合が多いが、本研究では粘弾性変形を考慮したグリーン関数を用いることで、同時推定を行い、地震後の地殻変動観測データによる地震時すべり分布の拘束を試みた。

GPS-A観測から、宮城県沖では粘弾性緩和によると考えられる顕著な西向き地震後変動、その北側では小規模な地震後変動、南側では余効すべりによると考えられる顕著な東向き地震後変動が計測された。この観測結果を用いて地震時・地震後すべり分布の同時推定を行ったところ、従来の推定よりも空間分解能の高いすべり分布を得ることができた。特に、本推定結果は、海溝近傍の地震時すべりの広がりが最大でも北緯39.2度までであることを示した。先行研究により津波を引き起こした地震時変形は北緯40.0度まで達していたことがわかっており²、北緯39.2度よりも北の地震時変形は海底地すべりなどの断層すべり以外の要因で発生したと解釈できる。

専門用語の説明

- ・余効すべり：巨大地震後に生じる非地震性のゆっくりとした(地震動を伴わない)断層すべり
- ・粘弾性緩和：地下の粘性によって地震時変動の影響が時間遅れを伴って生じる現象
- ・GPS-A観測：海底に設置した音響送受波器の位置を、海上の観測船におけるGPS測位と海上-海底間の音響測距(Acoustic ranging)の組み合わせによって計測する観測手法

参考文献

- Wang *et al.* (2012). Deformation cycles of subduction earthquakes in a viscoelastic Earth. *Nature*.
 Hossen *et al.* (2015), Tsunami waveform inversion for sea surface displacement following the 2011 Tohoku earthquake: Importance of dispersion and source kinematics. *J. Geophys. Res.*

磁気的な第二高調波発生による 磁性体ナノ構造中のトロイダルモーメントの検出

○佐藤佳史・櫻木俊輔^a・富樫拓也・石原照也・松原正和

東北大学大学院理学研究科物理専攻

慶應大学大学院理工学研究科基礎理工学専攻^a

強誘電性と（強）磁性の両方を有する物質群はマルチフェロイクスと呼ばれ、近年物性物理の興味から盛んに研究されている。マルチフェロイクスにおける秩序変数の1つとして、トロイダルモーメント（図 1(a)）があり、これは空間反転対称性^{*1}と時間反転対称性^{*2}を同時に破る物理量として知られている。このような物質の性質を調べる手法として、光第二高調波発生(SHG)^{*3}がある。SHGとは、2次の非線形光学効果の一種であり、空間反転対称性の破れに敏感な検出手法である。またSHGは、物質の磁気的性質にも依存するので、空間反転対称性の破れだけでなく時間反転対称性の破れにも敏感な検出手法である。よって、SHGはトロイダルモーメントの検出手法としても提唱されている[1]。

我々は、代表的な強磁性体の1つであるパーマロイ(Ni₈₀Fe₂₀)に、人工的な三角形のナノ構造を付与した磁性体ナノ構造を作製した。図 1(b)に、作製した試料の原子間力顕微鏡(AFM)像を示す。この試料は、外部磁場ゼロ付近で電子スピンの渦構造をとることが予想されており、図 1(a)に描かれたような、面直方向にトロイダルモーメントが発生している状態とみなすことができる。我々は、この試料におけるSHGの磁場依存性を測定して、磁気渦によって作られたトロイダルモーメントをSHGで検出することに成功した(図 1(c))。

専門用語の説明

- ・空間反転対称性^{*1}：空間反転操作 $(x, y, z) \rightarrow (-x, -y, -z)$ に対して物理的性質を変えないこと。
- ・時間反転対称性^{*2}：時間反転操作 $t \rightarrow -t$ に対して物理的性質を変えないこと。これらの操作によって物理的性質が変わる時、対称性が「破れる」という。トロイダルモーメントは、空間反転対称性も時間反転対称性も破れている。
- ・光第二高調波発生(SHG)^{*3}：角周波数 ω の光を物質に入射した時に 2ω の光が出てくる現象。角周波数と光の波長は逆数の関係にあるので、例えば波長 800 nm の光を入射すると SHG 波長は 400 nm である。

参考文献

[1] B. B. V. Aken, P. J. Rivera, H. Schmid, and M. Fiebig, *Nature* **449**, 702-705 (2007).

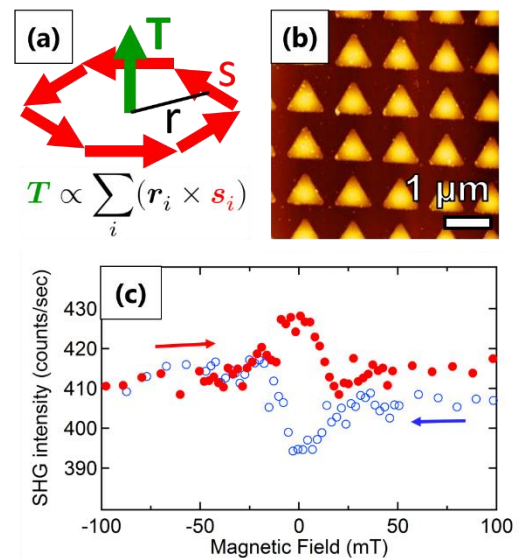


図 1. (a)トロイダルモーメントの模式図。(b)試料の AFM 像。(c)測定された SHG の磁場依存性。磁場ゼロ付近にトロイダルモーメントに由来したピークがある。

キノコ培地から子実体への放射性セシウムの移行機構

○村野井友^a・木野康志^a・板橋康弘^b・中島丈博^b・郡山慎一^b・木村栄一^b・嶋原隆^b東北大学大学院理学研究科化学専攻^a株式会社キノックス^b

【緒言】

福島第一原子力発電所事故により多くの放射性セシウム (^{134}Cs , ^{135}Cs , ^{136}Cs , ^{137}Cs) が放出され、福島県を中心に広範囲が汚染された。放射性セシウムを蓄積しやすいことが知られているキノコ^[1]は放射性セシウムによる汚染が懸念され、栽培キノコの生産は特に影響を受けている。しかしながら、キノコへの放射性セシウムの移行についての詳細な研究例はほとんどない。食品としてのキノコの安全性を確保するため、本研究では、栽培キノコの培地から子実体（キノコ）への移行時の挙動を系統的に調べ、未解明なセシウムの移行機構を解明することを目的とした。

【実験】

放射性セシウム (^{134}Cs , ^{137}Cs) で汚染された福島県産広葉樹オガコについて、伐採時期が異なる原木や、心材と辺材を分離して培地を調整した。キノコ試料はキノックス基本栽培法^[2]に基づき、厳密に管理された条件下で栽培された。培地の洗浄・抽出試験では、振とう式恒温水槽 BT220（ヤマト科学）を用いた。洗浄液は1mm アルミフィルター、0.45 μm メンブレンフィルターを用いて逐次抽出を行った。試料は乾燥後、ミキサーで粉碎・均一化して100 mL(U8型)容器に詰め、高純度 Ge 半導体検出器でガンマ線分光を行い、放射能を定量した。測定時期による放射能の減衰を考慮するため、放射能の値は原子炉の停止した2011年3月11日時点に壊変補正した。アルカリ金属元素は、誘導結合プラズマ質量分析器で定量した。

【結果と考察】

2011年に伐採した培地を用いてキノコを栽培し、放射性セシウム (^{137}Cs) と安定セシウム (^{133}Cs) それぞれについて移行係数を求めると、本来、同位体間では化学的性質が同じであるにも関わらず、安定セシウムの方が大きいことを初めて見出した（右図）。原発事故後、いくつかの植物でも、放射性セシウムと天然に存在する安定セシウムの移動の履歴の違いから同位体間で差があり、放射性セシウムの方が大きな値をとり、栽培キノコとは逆の傾向を示した。本研究では、キノコ栽培における安定セシウムと放射性セシウムの違いについて、原木の伐採時期や、原木中のセシウム濃度分布の観点から検討することで、未解明であった放射性セシウムのキノコへの移行の経時変化や、心材・辺材のセシウムの移行しやすさについて明らかにすることができた。

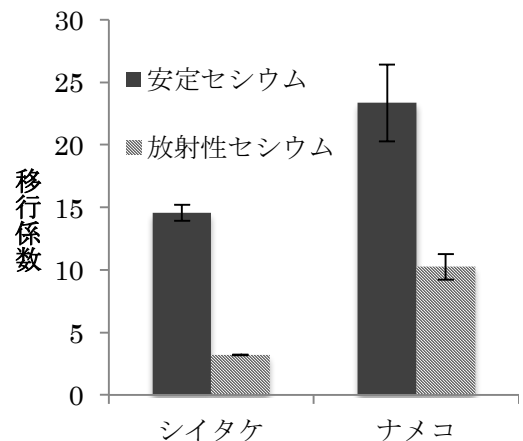


図. 2011年培地を用いて栽培したシイタケとナメコのセシウムの移行係数

[1] Martine C. Duff, Mary L. Ramsey, *J. Environ. Radioactiv.* **99** (2008) 912-932.

[2] 株式会社キノックス HP 「きのこの栽培法」 <http://www.kinokkusu.co.jp/saibai/saibai.html>

次世代中間赤外ヘテロダイン分光器の開発に向けた 中空ファイバーと矩形中空導波路カップラーの最適化と評価

○高見康介^a・中川 広務^a・平原靖大^b・片桐崇史^c・Oleg Benderov^d

笠羽 康正^a・Alexander V. Rodin^d・村田功^a・田村紳^c

東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻^a

名古屋大学大学院環境学研究科地球化学講座^b

東北大学大学院工学研究科通信工学専攻^c

Moscow Institute of Physics and Technology^d

地球近傍の惑星である金星、火星では今までに様々な探査機が精度の高い観測を行い、現在まで多くのことが明らかになってきた。惑星研究において探査機がもたらす成果は重要である。東北大学で開発された中間赤外ヘテロダイン分光器*は、優れた波長分解能を有し、他では観測できない微弱な信号を観測することが可能である。しかし、横 60cm、奥 120cm、高さ 45cm、重さ 80kg と大型になるため、現状では探査機への利用は難しい。本研究は、中間赤外ヘテロダイン分光器に光ファイバーと矩形中空導波路カップラーを用いて鏡やレンズの光学素子を削減し小型軽量化することで探査機への利用を実現することを目的とする。近赤外の光ファイバーは発展しており、すでに近赤外ヘテロダイン分光器は火星着陸機に搭載される計画があった。しかし、現存のファイバーはコアの透過率が中間赤外光に対して低いのが現状であるが、東北大学・工学部で開発された中空光ファイバーはコアが空気であることから中間赤外光に対しても高い透過率が期待できる。この中空光ファイバーをヘテロダインに導入するには、基底モードのみの伝播、観測対象の光を十分に検出できる透過率の高さが必要である。また、観測対象の光とレーザーを合わせるのにはモード伝搬の原理に基づいて設計した矩形中空導波路カップラーを用いる。中空光ファイバーについては、波長 10 μm の CO₂ レーザーを用いて 1db/m の透過率が確認されており、また波長 7 μm の量子カスケードレーザーを F 値 70 で内径 1mm のファイバーに入射することで基底モードのみの伝送ができることが確認された。矩形中空導波路カップラーについては、まだ開発段階であるが、これらを用いた次世代中間赤外ヘテロダイン分光器の構想について発表する。

専門用語の説明

*ヘテロダイン分光器：観測対象の光にレーザーを重ね合わせ、そのうなりを検出することで高波長分解能の実現、弱い信号の検出を可能とする分光器

シロイヌナズナの DWARF14 によるストリゴラクトンの受容と加水分解の経時解析

○安井 令

東北大学大学院生命科学研究科分子生命科学専攻

【背景】植物の枝分かれは、腋芽の形成とその伸長によって生じる現象であり、花や種子の数を決める重要な表現型である。ストリゴラクトン (SL) は、枝分かれを制御する植物ホルモンの一つであり、その他の腋芽の生長を制御する植物ホルモンと比較して、より選択的な枝分かれ制御活性を有する。したがって、SL を利用した枝分かれ制御法の開発が期待されている。SL の受容体である DWARF14 (D14) は加水分解酵素ファミリーに属しており、試験管内で SL を ABC 環と D 環に加水分解する。しかし、D14 が SL を加水分解することの意義や重要性は明らかとなっていなかった。そこで我々は、シロイヌナズナの D14 オルソログである AtD14 の触媒三つ組残基に点変異を導入した変異型 AtD14 を作製し、それらの機能解析に取り組んできた。その結果、いくつかの三つ組残基の変異型 AtD14 は、試験管内における SL 加水分解活性が著しく低下しているにもかかわらず、*atd14* 変異体の表現型を相補可能であった。このことから、AtD14 による SL 加水分解活性は、SL シグナルの伝達には必須ではないことが示唆された。しかし、近年、2つのグループが、SL の加水分解反応の際に生じる D 環由来の中間体が D14 と共有結合し、D14 の立体構造を変化させることで SL シグナルを伝達しているという説を提唱した。このことは、SL のシグナル伝達は、D14 による SL 加水分解反応中に起きていることを意味している。今回、この説を検証するために、AtD14 による SL 加水分解反応の定量分析および AtD14 と SL の相互作用解析について経時的な試験を行った。

【結果と考察】まず、LC-MS/MS を用いて、SL 合成アナログ GR24 の AtD14 による加水分解反応を定量した。その結果、反応溶液中における GR24 の減少に伴い、等しいモル量の ABC 環と D 環が同じ速度で生成された。また、この酵素反応溶液をタンパク質とリガンドとの相互作用を調べる手法である differential scanning fluorimetry (DSF) 法によって解析した。DSF 法では、D14 ファミリーは生物活性を有する SL 添加時に、その熱変性温度が低温側にシフトすることが報告されている。その結果、反応溶液中の GR24 の減少に伴い、AtD14 の熱変性温度は低温側から GR24 非添加時の温度まで回復した。これらの結果は、AtD14 の熱変性温度を低下させている本体は加水分解される前の GR24 であることを示しており、本試験からも AtD14 による SL 加水分解活性は、SL シグナルの伝達には必須ではないことが示唆された。

新しい分子間相互作用の解明

○植杉亮介・松田欣之・藤井朱鳥

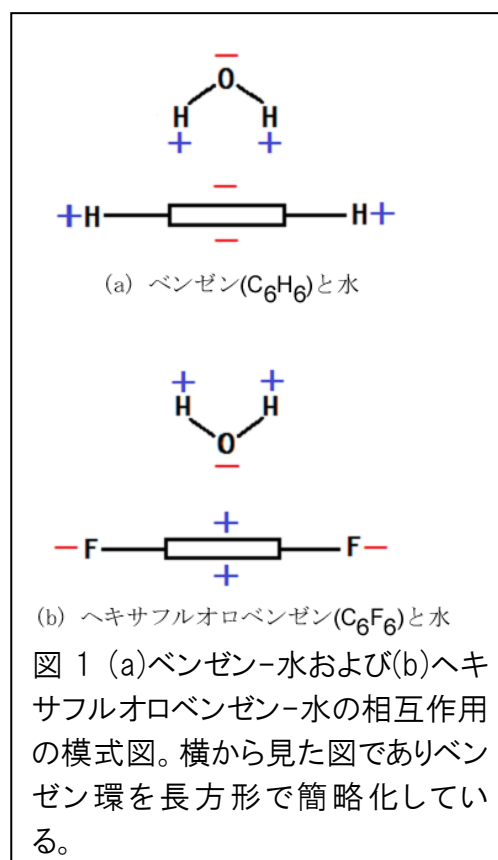
東北大学大学院理学研究科化学専攻

分子同士に働く引力と斥力を分子間相互作用と言い、水素結合などが知られている。分子間相互作用の強さは化学結合より小さいが、分子集合体の形状決定に重要な役割を果たしている。例えば、タンパク質を構成するポリペプチド鎖は、酸素原子と水素原子との間に水素結合が働くことによって安定な高次構造をとっている。このように、分子間相互作用の研究は生体分子をはじめとする様々な物質の構造や機能発現機構の理解に重要な知見を与えてくれる。

ベンゼン C_6H_6 は、6 個の炭素原子が同一平面上に六角形に配置された環状化合物である。炭素原子同士の結合に関わる電子は環平面の上下に均等に存在しており、そのため環の上下は負電荷を帯びている。ここでベンゼンと水 H_2O との相互作用を考える。酸素原子は水素原子よりも電子を強く引き付ける性質があり、そのため酸素原子は負電荷を帯びる。逆に水素原子は電子を奪われ電子不足となり、正電荷を帯びる。この正電荷とベンゼン環上下の負電荷とが引き合い、ベンゼンと水は図 1(a) のような引力的相互作用を示す。

次に、ベンゼンの水素原子をすべてフッ素原子で置き換えたヘキサフルオロベンゼン C_6F_6 を考える。フッ素は電子を強く引き付ける性質があるため、ベンゼン環上下に分布していた電子が奪われる。その結果ベンゼン環上下は正電荷を帯びる。これと水との相互作用を考えると、今度は酸素原子の負電荷とベンゼン環上下の正電荷とが引き合い、図 1(b) のような引力的相互作用を示すと考えられる。しかしこのようなフッ素置換による大きな分子間相互作用の変化は、これまで実験的に検証されていなかった。

物質に赤外光を入射すると物質を構成する分子が光のエネルギーを吸収してより高い振動状態に移る。この遷移に必要なエネルギーは分子の構造や分子間の相互作用の仕方によって異なってくる。したがって、物質に吸収された赤外光を測定することにより構造や相互作用に関する情報を得ることが出来る。今回、我々は C_6F_6 と H_2O が気相中において 1:1 で相互作用した状態（クラスター）に対して赤外光を入射し、その吸収を測定した。その結果を解析し、図 1(b) に示したような引力的相互作用が実際に存在をすることを示した。



顕微テラヘルツ波発生分光による電子強誘電体のドメイン構造の観察

○藤原里菜・村上泰樹・伊藤弘毅・Martin Dressel^a・岩井伸一郎

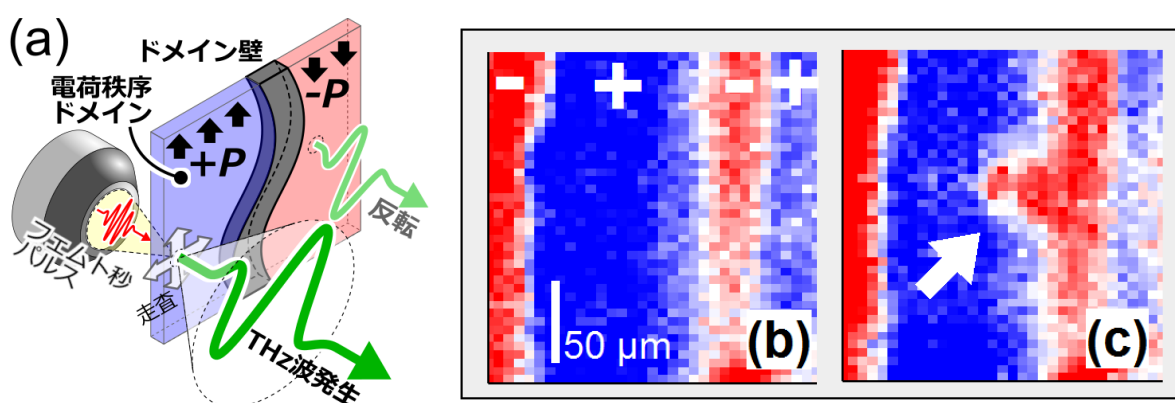
東北大学大学院理学研究科物理学専攻

1. Physikalisches Institut, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, D-70569 Stuttgart, Germany ^a

強相関電子系と呼ばれる固体ではしばしば、電子間にはたらく強いクーロン反発により、電子が規則正しく局在化する電荷秩序が生じる。この電荷秩序に光や圧力、磁場などの刺激を与えることで、絶縁体・金属(超伝導)・強誘電性・強磁性といった多彩な物性を操ることができる[1]。この性質は物性科学として興味深いだけでなく応用上の価値も高い。ここでは、電荷秩序に伴う強誘電体(電子型強誘電体[2])における巨視的な空間構造(ドメイン)の解明に向けた研究について報告する。

本研究では、フェムト秒レーザー・精密ステージなどを組み合わせた顕微テラヘルツ波発生分光装置(図(a))を構築し、電荷秩序-強誘電ドメインのイメージング(空間分解能 $\sim 5 \mu\text{m}$)に成功した。さらに、光照射によるドメイン制御の可能性も検証した。最も歴史ある強相関有機伝導体(TMTTF)₂X (TMTTF: tetramethyl-tetrathiafulvalene 分子, X: AsF₆などのアニオン) [3]を対象物質とし、電荷秩序転移温度($\sim 100 \text{K}$)以下の低温 22K で実験を行った。

図(b)は(TMTTF)₂AsF₆における測定結果である。試料上の各位置において、フェムト秒パルス(1.55eV)照射により発生したテラヘルツ波の電場 E を示している(青: $E > 0$, 赤: $E < 0$)。青および赤で表された領域が、異なる極性を持つ強誘電ドメインに対応しており、これらが数 $100 \mu\text{m}$ の大きさを持つことが解った。また、静電エネルギーの観点からドメイン境界の幅について定量的な解釈を与えた。図(c)は、矢印で示した領域に30分の光照射(0.89eV , 7mJ/cm^2)を行った後に測定したイメージである。光照射領域のドメインは青から赤に転じており、光による分極反転とも解釈できる変化が生じることが解った。



参考文献

- [1] M. Imada, A. Fujimori, and Y. Tokura, *Rev. Mod. Phys.* **70**, 1039 (1998); D. N. Basov, R. D. Averitt, D. van der Marel, M. Dressel, and K. Haule, *Rev. Mod. Phys.* **83**, 471 (2011)
- [2] S. Ishihara, *J. Phys. Soc. Jpn.* **79**, 011010 (2010)
- [3] M. Dressel, M. Dumm, T. Knoblauch, and M. Masino, *Crystals* **2**, 528 (2012)

Extreme Outflows in AKARI-selected ULIRGs at Intermediate Redshifts
Tohoku University Astronomical Institute
Xiaoyang Chen

Ultra- and Hyper-luminous IR galaxies ($L_{\text{IR}} > 10^{12} L_{\text{sun}}$ for ULIRGs and $L_{\text{IR}} > 10^{13} L_{\text{sun}}$ for HyLIRGs) are a population of galaxies with strong IR dust emission, which is associated with a powerful AGN activity. Currently, identifications of ULIRGs and HyLIRGs are dominated by broad-line QSOs, but existence of FIR with an extremely faint optical counterpart suggests that there are significant number of obscured QSOs among the FIR sources. Utilizing the unique sample of bright FIR sources in a wide survey field from AKARI FIS Bright Source Catalogue, we look for luminous type-2 QSOs at $z \sim 0.5-1$ by identifying FIR sources with extremely large FIR to optical flux ratio.

In order to reveal the nature of the optically-faint FIR sources and to kick-off a systematic search for type-2 QSOs at intermediate redshifts, we observed 8 AKARI 90 μm FIR sources with a faint optical counterpart ($i > 20$ mag) using FOCAS on the Subaru telescope. They are identified with emission line galaxies at $z = 0.3-0.6$. Through optical - MIR - FIR SED fitting, their integrated IR luminosity are estimated to be $10^{12}-10^{12.5} L_{\text{sun}}$. The identification of these ULIRGs at intermediate redshifts confirms the effectiveness of our selection method. One of these objects show broad [OIII] 5007 (FWHM of 2200 km/s with blue shifts of 2300 km/s) and [OII] 3726 emission lines (FWHM of 1100 km/s). The co-existence of extreme outflow and high SFR ($\sim 1000 M_{\text{sun}}/\text{yr}$) suggest the galaxy evolves into its most active stage when both of the AGN activity and star formation reach the peak period.

高次 Mahler 測度とゼータ Mahler 測度の解析的性質

B6SM1008 川村悟史

Mahler 測度は, Laurent 多項式の対数を取り, トーラス上で積分して得られる値である. Mahler 測度とその一般化は, 超幾何関数などの値の超越性判定や, Kontsevich–Zagier の周期に関する興味から, 盛んに研究されている.

本研究では, まず 1 変数多項式に対する高次 Mahler 測度 (以下 HMM) の極限公式を示す. さらに任意の 1 変数多項式と, ある種の正則性を満たす多変数多項式に対するゼータ Mahler 測度 (以下 ZMM) が全平面上の有理型関数としての解析接続を持つことを示す.

HMM と ZMM は, 古典的な Mahler 測度の一般化であり, 以下で定義される:

Definition (高次 Mahler 測度, ゼータ Mahler 測度; [1], [3]).

Laurent 多項式 $f \in \mathbb{C}[x_1^\pm, \dots, x_n^\pm] \setminus \{0\}$ を取る. $k \in \mathbb{Z}_{\geq 0}$ に対し, f の k 次 Mahler 測度 $m_k(f)$ を

$$m_k(f) := \frac{1}{(2\pi\sqrt{-1})^n} \int_{T^n} \log^k(|f(x_1, \dots, x_n)|) \frac{dx_1}{x_1} \cdots \frac{dx_n}{x_n} \quad (\in \mathbb{R}).$$

で定義する. また f のゼータ Mahler 測度 $Z(s, f)$ を, 複素変数 s の関数として

$$Z(s, f) := \frac{1}{(2\pi\sqrt{-1})^n} \int_{T^n} |f(x_1, \dots, x_n)|^s \frac{dx_1}{x_1} \cdots \frac{dx_n}{x_n}.$$

で定義する. ただし $T^n = \{(x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{C}^n; |x_1| = \cdots = |x_n| = 1\}$ は複素平坦トーラスである.

Mahler 測度や HMM の理解は難しく, 明示的な計算例は現時点では極めて少ない. そこで ZMM が HMM の母関数であることを活かし, HMM の直接的な計算では把握し難い性質を理解すべく, ZMM を主対象として研究を行う.

2 つの先行研究のうち, 1 つは赤塚 [1] の定理であり, ZMM の右半平面での正則性を保証する:

Theorem. (赤塚 [1])

Laurent 多項式 $f \neq 0$ に対し, $Z(s, f)$ は $\Re[s] > \exists \sigma_0(f)$ における正則関数を定める.

もう 1 つは Biswas と Monico による計算結果 [2] である. 今回は多項式の T^1 上の重複度を計る尺度である T^1 -重複度 $\mu(f)$ を定義し, 彼らの結果を拡張した. この定理の $\mu(f) = 1$ の場合が, Biswas–Monico の結果にあたる:

Main Theorem 1.

1 変数 Laurent 多項式 $f \neq 0$ の T^1 -重複度 $\mu = \mu(f)$ が正のとき次が成立:

$$\Lambda(f) := \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{\mu^k} \frac{|m_k(f)|}{k!} = \frac{1}{\pi} \sum_{a \in V_1(f) \cap T^1, \mu_a(f) = \mu} \left(\frac{\mu!}{|f^{(\mu)}(a)|} \right)^{\frac{1}{\mu}}.$$

2 つ目の主定理では, 1 変数多項式に対する ZMM の左半平面上でのふるまいを明らかにした:

Main Theorem 2.

1 変数 Laurent 多項式 $f \neq 0$ に対して, $Z(s, f)$ は有理型関数として全平面へ解析接続され, 極はすべて 1 位.

3 つ目の主定理では, 多変数多項式に対する ZMM の全平面への解析接続を与えた:

Main Theorem 3.

Laurent 多項式 $f \neq 0$ は, $(0, 0) \in \mathbb{R}^2$ が $(f_{\mathbb{R}}, f_{\mathbb{C}}) : T^n \rightarrow \mathbb{R}^2$ の正則値であると仮定するとき, $Z(s, f)$ は有理型関数として全平面へ解析接続され, 極はすべて 1 位.

参考文献

- [1] H. Akatsuka, “Zeta Mahler measures”, J. Number Theory 129 (2009), 2713–2734.
- [2] A. Biswas, C. Monico, “Limiting Value of Higher Mahler measures”, J. Number Theory 143 (2014), 357–362.
- [3] N. Kurokawa, M. Lalin, H. Ochiai, “Higher Mahler measures and zeta functions”, Acta Arith. 135 (2008), 269–297.

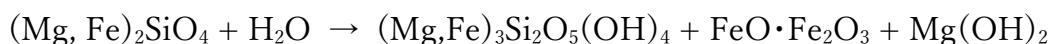
オリビンの水質変質の透過型電子顕微鏡によるその場観察

○佐藤亜州花・木村勇氣^a・中村智樹・鹿山雅裕・中嶋大輔・山崎智也^a

東北大学大学院理学研究科地学専攻

北海道大学大学院低温研究所^a

太陽系形成初期には、原始太陽を取り巻く原始惑星系円盤内で、塵が集積して微惑星を形成した。水の凝縮温度を下回る比較的外側の円盤領域では、氷粒子と岩石粒子が集積することで含水微惑星が形成した。含水微惑星の内部では、主に集積時に獲得した短寿命核種の放射壊変熱で氷が融けて液体の水が発生し、岩石と水との間で水質変質反応が起こった。この反応は、構造に水を含まない無水鉱物が水と 100°C程度[1]の温度で反応することによって含水鉱物が生成するというものである。また、水質変質反応については、地球上でも沈み込み帯において起こるマントルと海水との反応の一つとしても研究が進められている。オリビンは、前述の微惑星の生き残りである小惑星から飛来する隕石の主要構成物であり、地球マントルの主要構成物でもある。オリビンの水質変質による加水反応（蛇紋石化反応）は以下の式の通りである。



Olivine

Water

Serpentine

Magnetite

Brucite

この反応について調べるために、小惑星やマントルの環境を模したオリビンの水質変質実験の研究は多く行われている[2]。しかし、水質変質の初期段階に岩石鉱物表面で起こるナノメートルスケールでの微細な経時変化を、透過型電子顕微鏡（Transmission Electron Microscope; TEM）を用いて”その場”で観察する実験は行われていない。このため、本研究においては、水質変質の初期の過程を解明するために、水質変質の TEM その場観察を通してオリビンの含水化のプロセスを理解することを研究目的とした。

本研究では、溶液の封入と試料の加熱が可能である特殊な TEM 試料ホルダーを用いて、純水とオリビン粉末を水とオリビンの重量比~50 程度として封入し、100°Cに加熱したまま 20 時間程度観察を行った。温度・時間の条件が足りず蛇紋石化反応の観察には至らなかったが、観察した粒子の表面に非晶質物質が沈殿したことが確認された。これは、水質変質の前段階で形成する非晶質物質であると考えられる。今後は、TEM ホルダーをさらに高い温度で加熱できるようにすること、もしくはホルダーへ封入する前に水とオリビンがある程度の時間加熱したのち TEM 観察を始めることで、オリビンが含水鉱物へ変化する場面をその場観察することを目標とする。

参考文献

[1] Brearley A.J. 2006. The Action of Water. *Meteorites and the early solar system II*, 587-624

[2] Jones C.L. and Brearley A.J. 2006. Experimental aqueous alteration of the Allende meteorite under oxidizing conditions: Constraints on asteroidal alteration. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 70, 1040-1058 etc.

Source location determination of volcanic earthquakes at Izu-Oshima volcano based on seismic cross-correlations

○Theodorus Permana, Takeshi Nishimura

Department of Geophysics, Tohoku University

Source of the earthquakes, or the hypocenter, are commonly determined by picking the onset time of P- and S-wave, and minimizing the residual between the observed and predicted onset times. This technique is known to be reliable and widely used for locating the hypocenter of tectonic earthquakes. However, this study concerns about the earthquakes of volcanic origin, where volcanic earthquakes and tremors are often not showing clear onset, and determination of their hypocenter has been a challenge in seismology and volcanology.

We propose a hypocenter determination technique using cross-correlation analysis instead of onset time picking. We adopt the source-scanning algorithm (SSA) that is originally developed for locating tremor sources based on cross-correlation functions (CCFs) of seismic waves recorded for pairs of stations [1], referred to as CCF-based SSA. This method defines the hypocenter at the location where the sum of the amplitude of CCF envelopes at predicted travel time differences is maximized. However, the estimation errors of CCF-based SSA have not been well examined. We apply the method to locate volcanic earthquakes with known hypocenter to quantitatively examine whether the method works for the seismic data recorded at a volcano.

We incorporate a seismic velocity model to compute the predicted travel times and avoid the inaccuracy of travel time estimation in the original method. We analyze volcanic earthquakes occurring at Izu-Oshima volcano, whose hypocenters are also determined by a method based on onset time picking. The modified CCF-based SSA is applied to the observed waveforms at six frequency bands ranging from 0.5 to 16 Hz. Comparison of the estimated hypocenters and the hypocenters based on onset time picking shows that the small errors of about 2 km are obtained at higher frequencies larger than 4 Hz in horizontal distance and shallower depth. We stack the CCFs of a number of earthquakes occurred over a small area to simulate a volcanic tremor and apply similar analysis. Smaller errors are obtained, suggesting that long-duration tremor data should be processed in segments in order to obtain the CCFs to be stacked.

The modified CCF-based SSA may serve as an alternative source location determination method as well as a tool for volcanic monitoring, especially for locating seismic events with no clear onset, such as low-frequency earthquakes and tremors.

References

- [1] Droznin *et al.*, (2015), *Geophys. J. Int.*, 203, 1001-1010, doi:10.1093/gji/ggv342.

Interplay among high-temperature superconductivity, electron doping, and lattice strain in FeSe thin films

G. N. Phan^a, M. Kuno^a, S. Kanayama^a, K. Nakayama^a,
K. Sugawara^b, T. Takahashi^{a,b,c}, and T. Sato^{a,c}

Department of Physics, Tohoku University^a
WPI-AIMR, Tohoku University^b
CSRN, Tohoku University^c

High-temperature superconductivity (HTSC) in heavily-electron-doped single-layer FeSe film on SrTiO₃ (FeSe/SrTiO₃) [1] has attracted intensive attention. Recently, HTSC has been also realized by electron doping via deposition of potassium atoms onto multilayer FeSe thin films [2]. This simple technique to control the carrier concentration has boosted the exploration of HTSC, and consequently HTSC has been discovered for FeSe thick films and bulk crystals [3-5]. To understand the role of electron doping for HTSC and to explore a more functional way to control the doping, we have deposited various alkaline metals (K, Li, Cs) on FeSe/SrTiO₃ and investigated the electronic structure by high-resolution angle-resolved photoemission spectroscopy (ARPES) [6, 7].

A representative electronic structure observed on Cs-deposited multilayer (~20 monolayer) FeSe/SrTiO₃ is shown in Fig. 1. The observation of a large electron Fermi surface around the M point, corner of the first Brillouin zone, indicates successful electron transfer from Cs atoms to FeSe. We also observed an opening of a large superconducting gap, indicative of the emergence of HTSC. In this talk, we discuss the similarities and differences in the electronic structure among K-, Li-, and Cs-deposited FeSe/SrTiO₃, and discuss its relation to the origin of HTSC.

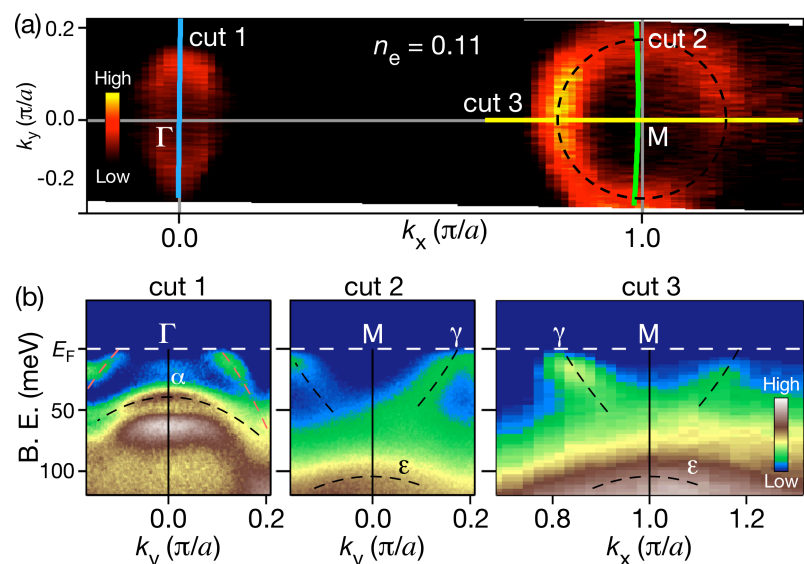


Fig. 1. (a) ARPES-intensity mapping at the Fermi level (E_F) for Cs-coated FeSe/SrTiO₃ measured at $T = 30$ K with He-I α monochromatic light. (b) ARPES intensity plots near E_F as a function of binding energy (B. E.) and wave vector (k_x or k_y) measured along the cuts 1-3 shown in (a).

Technical Terms

- Electronic structure: dispersion of energy states, which electrons are allowed to have, in momentum space.
- Brillouin zone: a particular choice of the unit cell of the reciprocal lattice in momentum space.

References

- [1] Q. Y. Wang *et al.*, Chin. Phys. Lett. **29**, 037402 (2012).
[2] Y. Miyata *et al.*, Nature Mater. **14**, 775-779 (2015).
[3] C. H. P. Wen *et al.*, Nature Commun. **7**, 10840 (2016).
[4] J. J. Seo *et al.*, Nature Commun. **7**, 11116 (2016).

- [5] Z. R. Ye *et al.*, arXiv:1512.02526.
[6] G. N. Phan *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 033706 (2017).
[7] G. N. Phan *et al.*, J. Phys.: Conf. Ser. **871**, 012017 (2017).

熱や光でケイ素骨格が変化する～ケイ素のブタジエンの骨格異性化

○藤枝謙太郎・赤坂直彦・岩本武明（東北大学大学院理学研究科化学専攻）

[序]

1,3-ブタジエンは2つの二重結合が単結合によって連結された化合物であり、合成ゴム(ブタジエンゴム)の原料として一般的に広く用いられている(Chart 1,左)。1,3-ブタジエンの4つの炭素原子がケイ素原子に置き換わったテトラシラ-1,3-ジエン (Chart 1,右)は、光や熱などの刺激によって骨格が変化することが予測されている¹⁾。しかし、実験的にテトラシラ-1,3-ジエンの骨格変化を観測した例は今までなかった。

最近私たちは、新規テトラシラ-1,3-ジエン **1** を合成した(Chart 2)²⁾。今回、私は **1** が光や熱などの刺激により骨格が変化するかどうかを検討した。

Chart 1. 1,3-ブタジエンとテトラシラ-1,3-ジエン

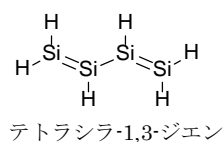
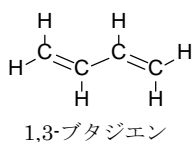
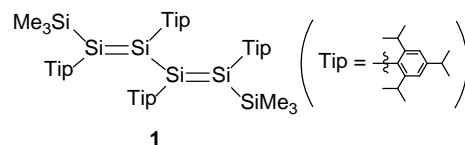


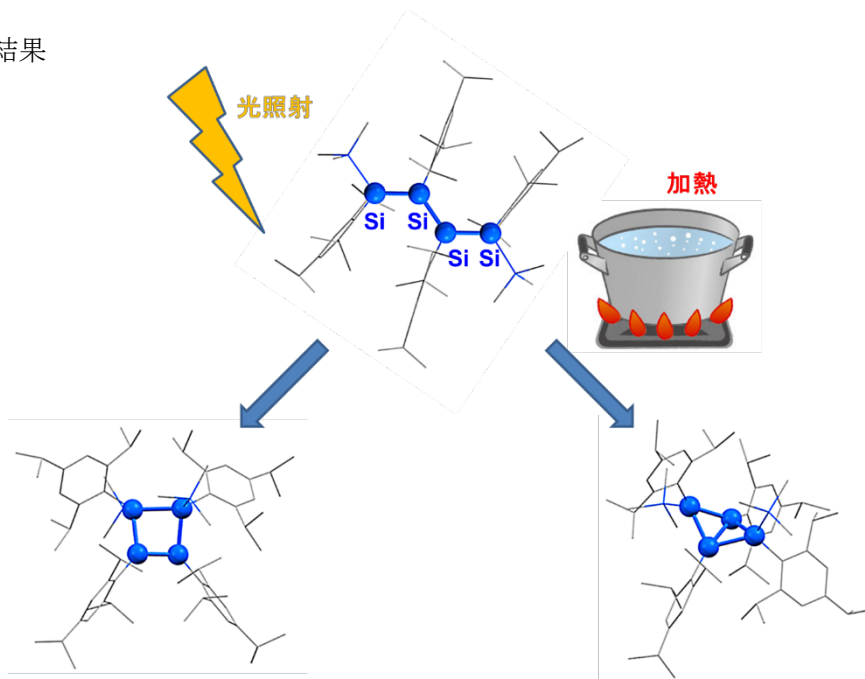
Chart 2. テトラシラ-1,3-ジエン **1**



[結果]

1 が加熱と光照射によって、4員環構造と二重結合を1つもつ化合物へと変化した(Scheme 1,左下)。続けてさらに加熱や光照射を行うことで、2つの環構造をもつ化合物へと変化した (Scheme 1,右下)。ケイ素のブタジエンが、炭素系のブタジエンと同様の反応性を示すことが分かった。

Scheme 1. 実験結果



専門用語の説明

- ・ 4員環構造…環構造を作る原子の数が、4つである構造のこと。

1) Müller, T. in *Organosilicon Chemistry IV: From Molecules to Materials*, Auner, N. Weis, J. Eds. Wiley-VCH, Weinheim.

2) Akasaka, N.; Fujieda, K.; Garoni, E.; Kamada, K.; Matsui, H.; Nakano, M.; Iwamoto, T. *Organometallics*, accepted.

コラーゲン膜の水和状態とプロトン伝導性

○西山伊吹・松尾康光^a・松井広志

東北大学大学院理学研究科物理学専攻

摂南大学理工学部生命科学科^a

生体高分子は、健康食品、化粧品、医療、繊維などの分野に多く利用されているが、最近電気デバイスへの応用も試されている。例えば、カニの甲羅などから抽出されるキチン(多糖類)、そして、キチンを脱アセチル化して合成されるキトサンを利用した FET、ガスセンサーなどが試作され、新たなバイオプロトニクスデバイス開発に向けた研究が海外で精力的に進んでいる。また、機械的強度が強く、比較的高温まで分解しないコラーゲン膜(タンパク質)はプロトン伝導性を示し、燃料電池電解質の機能性をもつ。コラーゲンは、骨、皮、鱗など生体の構造を形成する部位に多量に含まれるため、食品廃棄物を再利用する観点からも極めて魅力的な素材といえる。コラーゲン分子のアミノ酸配列は、 $(\text{Gly-X-Y})_n$ である。ここで、Gly はグリシンであり、X, Y の多くはプロリン(Pro)とヒドロキシプロリン(Hyp)で占められる。こうしたユニットが連なり、ポリペプチド鎖を形成する。コラーゲン分子は、3本のポリペプチド鎖からなる3重らせん構造をとる。コラーゲン膜のプロトン伝導率が、相対湿度に依存することが報告されている。このとき、コラーゲン分子の周りにできる水分子ネットワークの成長が密接に関連するはずである。しかし、水和構造と水分子数、プロトン伝導機構など、基本的特性がほとんど不明である。燃料電池電解質、バイオプロトニクスデバイスの実用化に向け、コラーゲン膜の水和特性を明確にする必要がある。そこで本研究では、魚の鱗由来のI型コラーゲン膜を用いて、水和水分子由来のOH伸縮振動バンドの温度・相対湿度変化を測定し、水分子同士のO-O間距離と、水分子数を見積る。さらに、相対湿度調節下でプロトン伝導率測定を行い、これまでに報告された結果の再現性を確認し、水分子ネットワークの成長とプロトン伝導性との関係を明らかにする。

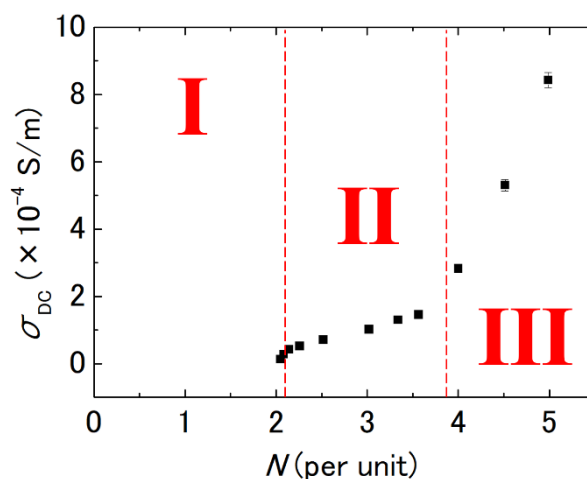


図1 直流プロトン伝導度の水和水分子数依存性.

直流プロトン伝導度の水分子数依存性を図1に示す。直流プロトン伝導度の振る舞いは、3つの領域に分けられる。水分子の増加に伴い、水分子ネットワークが成長する過程を反映していると考えられる。領域1では、水分子が少なく、孤立して水和しているため、プロトンは水分子間を伝えることができない。領域2では、コラーゲン分子内を架橋する水分子ネットワークができ、短距離のプロトン伝導が可能となる。領域3ではコラーゲン分子間を架橋する水分子が増加し、プロトンの伝導経路が増加するため、長距離のプロトン伝導が可能となると考えられる。

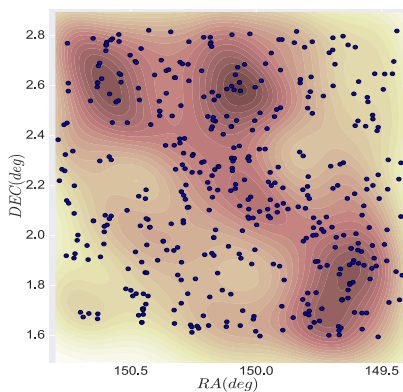
矮小銀河の過去から未来へ 小さな巨人の生きる道

○講演者氏名 西塚拓馬 平野洸

東北大学大学院理学研究科天文専攻

我々の宇宙には、皆さんが想像されるような渦巻き銀河のような大質量の銀河の他に矮小銀河と呼ばれる小さな銀河が多く存在している。これらの天体は過去80年前から現在にかけて急速に星質量を獲得したと考えられている。このような星質量の獲得は、未だ解明されておらず銀河の初期の元素の進化などを含めて非常に重要な解明問題である。

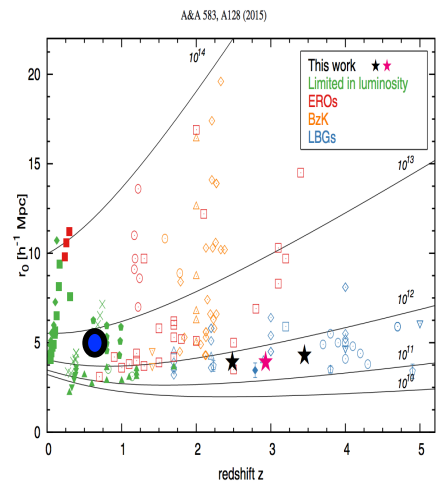
今回我々は、矮小銀河の中でも爆発的な星形成を起こしていると考えられる強い輝線スペクトラムを放つ天体を選別し、幅広い宇宙の時代の中でそのような天体がどのような銀河環境に存在しているのか、またどのようにダークマターと関わり進化してきたのかを解き明かすこと目的し研究を進めてきた。先行研究ではおおよそ80億年前から現在にかけて非常に強いスペクトルを放つ天体に着目し、その天体の金属量、星形成率などが調べられてきている。一方でこのような天体は珍しくサンプル数も限られているために、周辺的环境、また銀河の群れ具合を定量的に評価するクラスタリング解析も現状まだ行われていない。我々は、すばる望遠鏡 Suprime-Cam の 12 枚の中帯域フィルターバンド (IA バンド) を用いた COSMOS 領域中の 3273 個の強輝線天体のサンプルを選別し、詳細の銀河環境を評価することに成功した。これらの天体は、比較的密度領域に存在する一方でクラスタリング強度が強く 10^{12} 太陽質量の大質量のダークマターハローに存在している可能性が示唆されている。これは爆発的な星形成銀河の運命を決定づける重要な要因を示唆している。



強輝線天体の分布図(青点)

強輝線天体の DMH と赤
方偏移の関係を表した図

(青点) →



専門用語の説明

- ・ ダークマター：実際には観測されていない宇宙の質量の大部分を占めるとされている謎の物質。銀河はダークマターの塊の中で作られる。
- ・ [OIII]輝線：銀河中で酸素の元素から放出される輝線スペクトル。星からの光子によって激しく電離された電離ガスから放出される特徴がある。

距離空間上のカレントとその収束

竹内 秀

東北大学大学院理学研究科数学専攻

次の問題から始める.

問題 (Plateau's problem). γ を 3次元ユークリッド空間内の滑らかな閉曲線とする. この時, γ を境界とする曲面 S で, 面積が最小となるものは存在するか? \square

この問題は, 自然科学的には, 空間内にある針金に石鹸膜を張れるか, という問題である. 解法としては, 次の図 1 のように面積が減少する曲面の列を考え, その「極限の曲面」を見つける方法が知られている. この時,

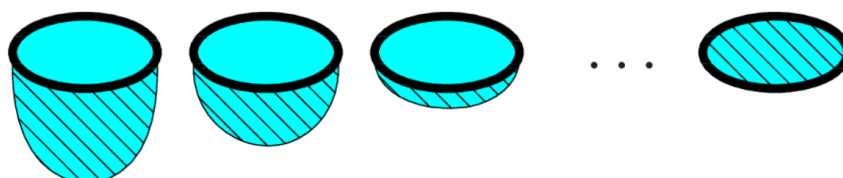


図 1 円を境界とする曲面の列

「極限の曲面」がきちんと存在するのか, という疑問はごく自然なものである. また, 「極限」の意味も曖昧なので, きちんと定義する必要がある. その為には先ず, 「二つの曲面の間の近さ」を定義する必要があるが, これは図 2 のような操作を考えればよい.

曲面 T_1 と曲面 T_2 を新たな曲面 U で繋ぎ, 出来上がった図形を立体 V で埋めた時, U の面積と V の面積の合計値を求め, その合計値が小さいときに二つの図形は「近い」と表現する (正確な定義は [1] を参照されたい). この意味で二つの図形が近いとき, 「 \flat 距離が近い」と表現する.

図 1 のように曲面がある図形に \flat 距離で近づくためには, 曲面の面積が大きくならなければよいことが知られている. より一般には, 次が成り立つことを証明した.

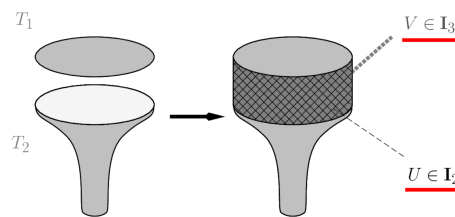


図 2 \flat 距離の定義

定理. 曲面の面積が大きくならず, 曲面の境界が長くならなければ, 曲面の列はある 2次元の図形に \flat 距離に関して近づく. \square

参考文献

- [1] C. Sormani and S. Wenger, *The intrinsic flat distance between Riemannian manifolds and other integral current spaces*, J. Differential Geom. **87** (2011), no. 1, 117–199.

かんらん岩の弾性波速度と地球化学的特徴から見る大陸リソスフェアマントル内部の実像

新堀 希望、辻森 樹^a、平野 直人^a、渡邊 了^b

東北大学大学院理学研究科地学専攻

東北大学東北アジア研究センター^a富山大学理学部地球科学教室^b

太陽系の地球型惑星のなかで、現在の「地球」は二極化（化学組成と年齢の二極化）した地殻を持つことで特徴付けられる。地殻の二極化は、プレートテクトニクスの起動によってプレート収束域で大陸・島弧地殻が形成し、それがプレートの動きで離合集散を繰り返した結果の物質分別である。始生代の陸塊（クラトン）を含むような大陸地殻の直下には、大陸リソスフェアマントル（Subcontinental Lithospheric Mantle: SCLM）と呼ばれ、流動するアセノスフェアに対して剛体として挙動するマントルかんらん岩の層が存在する。地球惑星科学の分野では、これまでに SCLM の化学組成とその不均一性の解明が第一級のテーマであり、主にマントル捕獲岩の膨大な数の岩石学的・地球化学的研究から様々な議論がなされてきた（例えば、[1]）。

今までの自身の研究において、シベリアのウダーチナヤキンバーライトパイプ中に含まれるかんらん岩捕獲岩を対象にリソスフェアマントルの研究を行ってきた。その試料において、二次的に再結晶したかんらん石の変形構造の解析実験から特徴的な結晶方位定向配列（CPO）が得られ、かんらん石中に流体が存在することが示唆された。しかし、得られた CPO が本当に流体の存在を示すファブリックタイプであるかは、不明瞭なままであった。

この問題の解決にあたり、かんらん石のファブリックタイプを決定する際に[2]により示された V_p フリン図を利用できるのではないかと考えた。 V_p フリン図は、かんらん石の CPO と P 波の速度比の関係を示した図である。かんらん石 100% の計算によるデータであるが、自分は実際に封圧化で岩石ブロックの弾性波速度を測定した結果と比較することができるのではないかと考えた。

そこで今回は、かんらん岩捕獲岩のブロックについて、封圧下において弾性波速度測定を行った。比較のため、紅海の変形していない粗粒なかんらん岩捕獲岩についても測定を行った。

参考文献

[1] Griffin. W.L et al., 2013. Continental-root control on the genesis of magmatic ore deposits. *Nature Geoscience*, 6, 905-910.

[2] Michibayashi K et al., 2016. Natural olivine crystal-fabrics in the western Pacific convergence region: A new method to identify fabric type. *EPSL*, 443, 70-80.

地殻内不均質構造が浅発地震発生に及ぼす影響に関する研究

○前田純侖^a・松澤暢^a・吉田圭佑^a・岡田知己^a・吉田武義^a・遠田晋次^b・片尾浩^c

(^a東北大・理, ^b東北大・災害研, ^c京大・防災研)

日本列島は安定した大陸に比べて、非常に不均質な構造をしており、日本列島の地殻浅部において発生する内陸地震は、広域の応力場に支配されるだけではなく、岩石の違いや断層、地下のマグマだまり、水の存在等による地殻内の構造的な不均質性の影響を強く受けていると考えられる。例えば、地下にマグマだまりのような熱源があれば、それによる熱応力は無視できず、また、大地震による断層運動が起これば、その周りの応力場も変化することが期待される。間隙圧が高ければ断層の強度は低下し、地質断層・岩相境界等は他よりも滑りやすくなっていると考えられる。地殻内の構造的な不均質構造に起因する応力と強度の不均質性と地震発生の関係を詳細に明らかにすることができれば、地震の発生しやすい領域や、その領域において発生しやすい地震の断層タイプなどの予測に繋がる。そこで、本研究では、日本列島の中でも地震活動が活発な「西南日本紀伊半島北西部」と「東北日本脊梁中央部」において、微小・小地震の詳細な解析を行い、1) 局所的な応力場の空間的不均質性の推定、2) 地震発生域の強度分布の推定と強度低下の原因の検討を行った。

まず紀伊半島北西部で発生している微小・小地震の発震機構解を求めたところ、様々なタイプの地震が発生していることが明らかになった。統計的検定を行なった結果、南北引張の正断層型の地震が浅部で、東西圧縮の逆断層型の地震が中間の深度で、南北引張・東西圧縮の横ずれ断層型の地震が深部で主に発生していることが判明した。このような断層タイプによって地震の発生深度に有意差が生じる原因を解明するために、応力テンソルインバージョンを行なった結果、浅部の応力場は、南北引張の東西圧縮を示す横ずれ断層型であり、深部は東西圧縮の逆断層型となっていることがわかった[1]。

次に、東北地方脊梁中央部において、2008年岩手・宮城内陸地震の余震分布とその断層タイプを詳細に検討した。余震分布は西傾斜の面と東傾斜の面を構成しているように見えるため、既往研究では共役な断層が滑ったものと考えられていた。本震の発生した西傾斜の震源分布では本震と同じ東西圧縮の逆断層型の地震が卓越しており、これらは本震の断層面を反映していると考えられる。しかしながら、対になっている東傾斜の震源分布を構成する地震には、南北圧縮の逆断層型地震が数多く含まれていることが判明した。東西圧縮の逆断層型の地震が発生した場合、その断層の東と西では南北圧縮の応力場が生じる。しかし、応力場を検討した結果、南北圧縮の余震が生じた場所と同程度の差応力が生じても、南北圧縮の余震が生じていない場所が存在していることが分かった。このような違いが間隙圧の違いに起因する強度の不均質性を反映しているのならば、 V_p/V_s 比に違いが生じることが期待される。そこで、余震域において波形相関を利用して高精度の V_p/V_s 比の推定を行なった。その結果、岩手・宮城内陸地震の余震分布域の広い範囲に渡って、 V_p/V_s 比が 1.50~1.70 といった低い値を示し、南北圧縮の余震が活発な領域は相対的に高い V_p/V_s 比となっていることが判明した。これは、その場所で高間隙圧水が存在しているために強度が下がっていることを示唆する。

専門用語の説明

- ・間隙圧：断層の中の空隙に入っている水の水圧。これが高いと断層を押し広げて断層を滑りやすくするため、間隙圧が高い場所では断層の強度が低くなる。
- ・発震機構解：地震がどのような断層運動で生じたのかを示すダイアグラム。地震波の解析から推定することができる。
- ・共役な断層：地下に圧縮力が加わった場合、それに対して 30~45 度傾斜した面が断層として滑りやすくなるが、それと 120~90 度異なる面も断層として滑りやすくなり、場合によっては両方が滑ることがある。これらを「共役な断層」と呼ぶ。
- ・ V_p/V_s 比：P 波速度と S 波速度の比。岩石に割れ目が入って、そこに水が入ると、P 波速度より S 波速度のほうが速度低下しやすいので、 V_p/V_s 比は一般に大きくなる。

参考文献

- [1] Maeda et al. (2018, EPS)

玄武岩質マグマと Fe-FeS 融体間における硫黄の分配挙動と同位体分析に向けて

堀岡祥生^a・鎌田誠司^{a, b}・小澤信^a・前田郁也^a・Madhusoodhan Satish-Kumar^c・鈴木昭夫^a(^a 東北大学大学院理学研究科地学専攻・^b 東北大学学際科学フロンティア研究所・^c 新潟大学理学部)

地球は主にケイ酸塩で構成される地殻やマントルと、鉄から構成される核から成る。核は鉄の他にも H, C, O, S, Si といった軽元素が含まれることが核の密度欠損などから示唆されている^[1]。このような地球の層構造は初期地球において形成され、その際に起こったとされるマグマオーシャンでは地球深部まで熔融が起こった。マグマオーシャン内部では主に鉄から成る液滴がケイ酸塩マグマよりも重いためにマグマオーシャン中を沈んでいき、最終的に地球中心まで沈降することで金属核を形成する。マグマオーシャン中での鉄メルトとケイ酸塩マグマの反応が現在のマントルや核の組成を決定する大きな要因であるため、地球の核やマントルの組成を議論する上で高温高压実験は欠かすことのできない手法である。

核に存在する軽元素候補のうち、硫黄は親鉄性が高い元素であり、地球マントルでは太陽系の始原物質であるコンドライトよりも枯渇していることが知られているため、核に入り込んでいると考えられる。よって Fe-S 系を用いた実験は核形成やマグマオーシャンを読み解く重要な手掛かりに成り得る。最近では硫黄の安定同位体比に関する研究も行われており、地球のマントルでは ³⁴S が枯渇していることも報告されている^[2, 3]。これらの同位体比は高温高压下での分別の影響を受けているため、高温高压下での同位体分別を調べることで地球のマントル同位体比を理解することが出来る他、地球、火星、コンドライトの異なる硫黄同位体比の解明に繋がることを期待される。

本研究では、高温高压下におけるケイ酸塩マグマと鉄硫黄融体との間における硫黄の分配を調べるためにマルチアンビルプレスで 1~7 GPa, 1400~1800 °C の高温高压実験を行った。出発物質には、玄武岩質ケイ酸塩および Fe-FeS 系金属を用いた^[4]。硫黄の分配係数 D_S は、温度および圧力条件が変化すると全く別の傾向を示した。 D_S の平均値は 76 ± 36 で、酸素フガシィ ΔIW は $-1.16 \sim -1.44$ だった。地球全体の硫黄量が 6350 ppm だった場合^[5]、マントル中の硫黄量は 82 ppm となる。これは推測されるマントル中の硫黄量よりも少ないが、実際のマグマオーシャンは実験条件よりも高温高压環境下で還元的な状態であるため、硫黄の親鉄性が弱くなりマントル中の硫黄量が増えて推測に近づくことが予想される。

同位体分析に向けて、ケイ酸塩と金属それぞれから硫黄を抽出する必要がある。金属からは II 価のクロム溶液を用いたクロム還元で、ケイ酸塩からは塩化スズを用いた kiba reduction で硫黄を Ag_2S として抽出する。最終的には SF_6 にして硫黄同位体比測定を行い、得られた結果と地球の硫黄同位体比を比較して惑星形成で同位体比を説明できるか考察を目指す。

専門用語の説明

- ・ マグマオーシャン 初期太陽系において塵や隕石などが集積して原始惑星を作る過程で衝突などの熱で惑星の表面が溶けていたとされる現象
- ・ 高温高压実験 マルチアンビルプレスやダイヤモンドアンビルセルといった高压発生装置を用いて地球内部の高温高压な環境を再現する実験手法
- ・ 親鉄性 元素の地球化学的分類^[6]を決める際に用いられた4つの性質の中で元素が金属相(鉄)に分配されやすいという性質
- ・ 分配係数 D_s ある元素が異なる2つの相のうち、どちらの相に分配されやすいかを表した数値
- ・ 酸素フガシティ 化学反応式の平衡定数から求められる便宜上の酸素分圧のことで酸化還元状態を示す指標

参考文献

- [1] Poirior (1994) Light elements in the Earth's outer core: A critical review. PEPI, 85, 319-337.
- [2] Labidi *et al.* (2013) Non-chondritic sulphur isotopic composition of the terrestrial mantle. Nature, 1-5.
- [3] Labidi *et al.* (2014) Sulfur isotope budget (^{32}S , ^{33}S , ^{34}S and ^{36}S) in Pacific-Antarctic ridge basalts: a record of mantle source heterogeneity and hydrothermal sulfide assimilation. GCA, 133, 47-67.
- [4] Labidi *et al.* (2016) Experimentally determined sulfur isotope fractionation between metal and silicate and implications for planetary differentiation. GCA, 175, 181-194.
- [5] McDonough (2003) Compositional model for the Earth's core. In: Carlson R.W. (Ed.), Treatise on Geochemistry, vol. 2, Elsevier-Pergamon, Oxford. 547-568.
- [6] Goldschmidt (1937) The principles of distribution of chemical elements in minerals and rocks. J. Chem. Soc., 655-673.

高エネルギーヒドロキシルラジカルの発生と DNA 鎖切断の反応動力学

○岡田朝彦・及川啓太・花崎浩太・菅野学・河野裕彦

東北大学大学院理学研究科化学専攻

生体内で重要な遺伝情報を担う DNA は、光や放射線に晒されると損傷を受ける。DNA の損傷は溶媒などから発生した熱や電子、OH ラジカルなどの活性酸素種によって引き起こされることが知られている。損傷の種類には塩基の脱離や酸化、二量体化、DNA の切断などがあり、中でも相補的な位置で二本の鎖が切れる二本鎖切断は修復が困難な損傷として知られている。高強度フェムト秒短波長赤外パルス水を水溶液中 DNA に照射した実験[1]では、熱や OH ラジカルによって一本鎖切断が引き起こされていることが報告されている。波長 $1.35\ \mu\text{m}$ の光では二本鎖切断は起こらなかったが、高い運動エネルギーをもつ OH ラジカルが発生する波長 $2.2\ \mu\text{m}$ のパルスを照射すると二本鎖切断が確認された。これは、高エネルギーの OH ラジカルが二本鎖切断を引き起こしていることを示唆している。

本研究では OH ラジカルが誘起する DNA 鎖切断の機構を解明することを目的とする。まず、水から生成する OH ラジカルの運動エネルギーを見積もった。次に、一本鎖 DNA および溶媒中二本鎖 DNA に対し OH ラジカルを接近させる反応動力学シミュレーションを行った。OH ラジカルの運動エネルギーと DNA 損傷の関連性を調べ、見出された鎖切断過程に関してポテンシャルエネルギーの観点から解析を行った。

モデル DNA の電子状態計算には、密度汎関数強束縛 (DFTB) 法[2]を用いた。真空中一本鎖 DNA のモデルとして $d(\text{T}4\text{T}4)$ (図 1)、溶媒中二本鎖 DNA のモデルとして $[d(\text{T}4\text{T}4)]_2$ を使い、これらに様々なエネルギーの OH ラジカルを照射するシミュレーションを行った。

OH ラジカルが生成するシミュレーションから、OH ラジカルは最終的に $1.2\ \text{eV}$ 程度の運動エネルギーをもち得ることを見出した。真空中一本鎖 DNA に OH ラジカル 1 個を接近させたところ、最も多かったのは $5'\text{C}$ (図 2) に結合した H が OH ラジカルに引き抜かれ、直後に P-O 結合が解離する協奏反応であった。水存在下の二本鎖 DNA では、OH ラジカルが水分子の水素を引き抜いて数回 OH ラジカルが移り変わったのち、鎖切断が起きることがわかった。また、OH ラジカルのエネルギー高くなるにつれて OH ラジカルの実効的な移動範囲が大きく、鎖切断などの反応が多い傾向が見られた。これは高エネルギーの OH ラジカルを発生させる $2.2\ \mu\text{m}$ の光が二本鎖切断を引き起こしている実験結果[1]の解釈を支持するものである。

専門用語の説明

- ・ DFTB 法：密度汎関数法 (DFT) に近い精度で高速計算が可能な半経験的な計算手法。

参考文献

- [1] A. K. Dharmadhikari et al., Phys. Rev. Lett. 112, 138105 (2014).
 [2] M. Elstner et al., Phys. Rev. B 58, 7260 (1998).

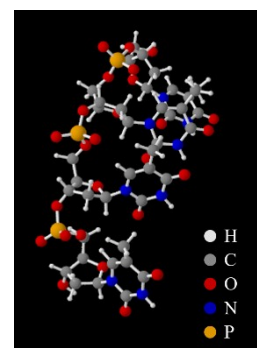


図 1：真空中一本鎖 DNA のモデル

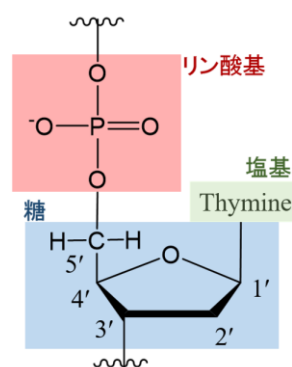


図 2：ヌクレオチドの構成

Optical properties of multilayer dielectric stacks: Hidden symmetries and application

M. Shoufie Ukhtary, Haihao-Liu, Sylvain. A. Nulli, Riichiro Saito
Department of Physics, Tohoku University, Sendai 980-8578, Japan

Abstract: Photonics is a branch of science that studies how the light propagates through the material and how to modify its propagation, such as how to prevent the propagation or to localize the light, which can be useful to amplify the electric field. To achieve this, one can use a system containing N layers of varying dielectric media in one dimension, which is called multilayer dielectric stacks. By manipulating the sequence of dielectric media within the multilayer system, one can control the light propagation through it. In this work, we will show that the number of light transmission probability (T) values for the N layers is not arbitrary, instead there are either $(N/2 + 1)$ or $(N + 1)$ discrete values of T for even or odd number N , respectively. This high degeneracy implies the existence of hidden symmetries within the multilayer, which we will explain in this work [1]. We then apply the multilayer system for calculating the absorption of light in undoped graphene suspended inside the specially designed multi-layer structure. We found that the absorption is enhanced up to 50%, which is much larger than conventional 2.3% graphene absorption without the multi-layer structure. We believe that the enhancement of absorption is due to the enhancement effect of electric field by interference occurring inside the multi-layer structure. We will show that the absorption depends on the number of layer and also the ratio of refractive indices of the dielectric media of the structure.

Technical terms

1. Graphene: atomic layer material consisting of carbon atom arranged in honeycomb like structure.
2. Degeneracy: two or more objects having the same property.

Reference

- [1] *J. Phys.: Condens. Matter* **29** 455303

RAVEN を用いた遠方銀河中の BH の質量決定

東北大学大学院天文学専攻

田中悠太郎

近年、銀河系の周りにはある銀河が大量にサーベイされ、その中心には太陽の質量の100万倍から10億倍以上もの質量をもつ超巨大ブラックホールが存在していることが明らかにされた。さらにその質量は母銀河の質量と相関があり、母銀河と超巨大ブラックホールが何らかの物理的なつながりを持って「共に進化した」と考えられている。

この共進化の謎に切り込むためには、近傍だけでなく、より遠方の宇宙に存在している銀河に対して、質量という観点からブラックホールと母銀河の間に存在する関係を統計的に調べることが要求される。しかし、遠方銀河の観測においては宇宙膨張や地球に届く光子の量の減少によって、観測は非常に困難となる。そこで、ビクトリア大学のチームを中心に、東北大学と国立天文台ハワイ観測所の協力の元、すばる望遠鏡のナスミス焦点に装着したオンスカイ観測を行うことを想定して開発が進められてきた多天体補償光学 (MOAO)実証装置 RAVEN で観測された実際の測定データに基づいて解析を行った。RAVEN は独自の光学設計により先の遠方銀河観測の困難を克服することを目標に設計されている。

今回は赤方偏移 $z=3$ の銀河中心のブラックホールの質量とそれを含んでいる銀河の質量を RAVEN の観測データから評価できるかどうかを計算した結果を示す。

~用語の説明~

赤方偏移: 光の波長が伸びて観測される現象。宇宙膨張の影響を受け地球上で観測されるある天体の波長は、その天体が過去に放った波長に較べて長くなる。

多天体補償光学(MOAO): 広い領域に渡って存在する複数の天体に対して回折限界に迫るような補正性能を実現する技術。

~参考文献~

[1] Conan, R., Bradley, C., Lardire, O., Blain, C., Venn, K., Andersen, D., Simard, L., Vran, J.-P., Herriot, G., Loop, D., Usuda, T., Oya, S., Hayano, Y., Terada, H., and Akiyama, M., 2010. “Raven: a harbinger of multi-object adaptive optics-based instruments at the Subaru Telescope”, Proc. SPIE, 7736.

Quantum tunneling with friction 摩擦がある場合の量子トンネル現象

時枝正明・萩野浩一

東北大学大学院理学研究科物理学専攻

私が専門とする原子核の衝突問題では、一方で量子力学的記述が求められる。原子核という非常に小さなもの同士の衝突を考えているという事もあるが、特に入射エネルギーが低い場合、量子トンネル効果によってのみ原子核反応が起こる事が知られている。他方、原子核は構造を持ち、すなわち内部運動を有する事に起因して、衝突過程におけるそれらの励起を考慮する事もまた重要となる。励起が非常に複雑化する場合、理論的に全てを微視的自由度で記述する事は困難となる。過去の研究では、その打開策として、古典力学で使われていた摩擦という概念により複雑な励起が現象論的に記述された。このようにして、低エネルギーでの原子核の衝突を記述する上では、小さなもの同士の衝突において重要な量子トンネル効果と、複雑な励起を簡便に取り込む事ができる摩擦を同時に取り扱う事が重要となる。

摩擦は高校物理の力学においてもしばしば登場するが、恐らく他の分野においても、ものの輸送を考える際には付きまとう概念である様に思える。日常生活において馴染みがあるせいか、その起源について議論がなされる事は少ないように感じる摩擦。私は原子核衝突における摩擦を研究対象としているが、本ポスターにおいては、広く一般に用いられる摩擦について議論したいと考えている。また、具体的な研究と関連付けて、摩擦が量子トンネル効果に与える影響に関しても議論したい。

数値計算に基づく仙台湾における津波堆積物の侵食・堆積過程

○佐藤 晃

東北大学大学院理学研究科地学専攻

日本の太平洋沿岸地域の平野部、沿岸湖沼においては津波堆積物調査が数多く行われ（後藤ほか, 2012）、各地で過去数千年の古津波履歴の復元が行われている（例えば, Sawai et al., 2008 ; Sawai et al., 2009）。これらは陸上堆積物が主たる対象であるが、一方で地質時代の津波堆積物は、海域の報告例が多い（Fujino et al., 2006）。しかし、海域における津波堆積物の研究は少なく、津波堆積物の特徴や識別基準、堆積過程の理解が乏しい。そのため、現世における海域の津波堆積物の研究を重ね、形成・保存過程に関する知見を増やすことが重要である。

2011年東北地方太平洋沖地震津波に関して、仙台湾内では水深30 m以浅の浅海底に堆積した津波堆積物が報告されている[1]。それらによると、浅海域の津波堆積物は海浜を主な供給源として引き波で堆積し、その層厚は沖合へ向かい薄層化する。一方、仙台湾の水深100 m以深においては、津波および地震に伴い混濁流が発生したことが報告されている[2]。このように、2011年の津波に伴い日本海溝沿いの浅海から深海までの幅広い海域で、津波による侵食・堆積現象が報告されている。しかし、土砂移動過程を数値計算で評価した研究は浅海域にとどまっておき[3]、浅海域から深海域までの広域において評価した研究例はない。

本発表では、仙台湾全域と南部浅海域（山元町沖水深20 m以浅）を対象として土砂移動計算を行い、各地域の堆積・侵食現象を検討することを主目的とする。計算は非線形長波理論の有限差分法による数値モデルに漂砂モデルを連成したTUNAMI-STM（Yamashita et al., 2016）に基づく。今回は、仙台湾底質および津波堆積物の粒径を考慮し、5段階の粒径（極細粒砂、細粒砂、粗粒砂、津波堆積物、海底堆積物）の挙動を解析した。

仙台湾南部浅海域の解析結果は、既往研究の侵食・堆積現象を良く再現し、本地域の津波堆積物は複数回の引き波で形成されたと考えられる。一方、仙台湾全域の解析結果は、既往研究で示唆されていた水深100 m以深における津波性タービダイトの形成を説明出来なかった。そのため本地域の津波が関与する堆積物は津波の効果だけでは無く、重力流などの効果を考慮する必要があると考えられる。このような知見は、古津波堆積物から古津波の情報を復元する上では重要な知見である。

参考文献

- [1] 佐藤晃, 2016, 仙台湾浅海域における津波の堆積・侵食に関する研究. 東北大学理学部地圏環境科学科卒業論文, 78p.
- [2] Usami, K., Ikehara, K., Jenkins, R. G. and Ashi, J., 2017, Benthic foraminiferal evidence of deep-sea sediment transport by the 2011 Tohoku-oki earthquake and tsunami. *Marine Geology*. 384, 1, 214-224.
- [3] Yamashita, K., Sugwara, D., Takahashi, T., Imamura, F., Saito, Y., Imato, Y., Kai, T. and Uehara, H., 2016, Numerical Simulations of Large-Scale Sediment Transport Caused by the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami in Hirota Bay, Southern Sanriku Coast. *Coastal Engineering Journal*, 58, 4, 1-28.

Seasonal variability of Indonesian Rainfall and Ocean-Atmosphere Circulation over Indian-Pacific Ocean with the two epochs of Regime Shift

Murni Ngestu Nur'utami, and Tadahiro Hayasaka

Department of Geophysics, Tohoku University

Indonesian rainfall variability was resulted by the interaction between ocean-atmosphere around it. The interaction not only assigns the variability in interannual time scale, but also in decadal - interdecadal time scale. Based on that, understanding about the Indonesian rainfall variability in response to the influence of temporally varied climate variability caused by oceanic and atmospheric interaction is to be main objective in this research. Recently, it was known that the interannual climate variability can be modulated by interdecadal climate variability. The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) rainfall dataset and the Japanese 55-year Reanalysis (JRA-55) data for horizontal wind, and NOAA's Optimum Interpolation Sea Surface temperature (OISST, also known as Reynolds' SST) are used. The Empirical Orthogonal Function (EOF) is used to find the dominant variability of Indonesian rainfall on each seasons (March-May (MAM), June-August (JJA), September-November (SON), and December-February (DJF)) in time series and spatial. The dominant patterns that appear in each season are different between each other. The results of the correlation coefficient between principal component (PC) 1 in each season with several indices (Nino 3, El Nino Modoki Index (EMI), Dipole Mode Index (DMI), Interdecadal Pacific Oscillation (IPO), and Pacific Decadal Oscillation (PDO)) show the specific phenomenon of climate variability that affect the rainfall.

In DJF and MAM, the central to eastern part of Indonesia has a pattern recorded on their first PC and is influenced by the ENSO, IPO, and PDO which only dominant in MAM season. In JJA and SON, the whole of Indonesian region, except north part of Sumatra in SON, has rainfall variability dominated significantly by the influence of ENSO, DMI, and IPO. The negative correlation results are consistently shown between PC 1 and the indices in spatial and temporal.

The 9-year moving average is applied on the first PC and the indices to understand the fluctuation in decadal time scale. The results show the similar patterns and capture the positive and negative phase in interdecadal time scale with a point of change around the late 1990s. The composite calculation is performed to determine the rainfall anomaly and the ocean-atmosphere condition based on time of phases of PC 1 and interdecadal epochs. The frequency of rainfall decreased is higher in before 1990s and the frequency of rainfall increased is higher started in late 1990s until now. The influenced area and ocean-atmosphere conditions are consistent with the patterns on EOF results in each season, except for DJF (2011). The southern part of Indonesia is dominated by decreased in rainfall while negative phase of El Nino Southern-Oscillation (ENSO; La Nina) was occurred. That is caused by SST over sea in west Australia to be warmed intensively, as known by Ningaloo Nino. The wind motions move to Australia continental from eastern Pacific Ocean and western Indian Ocean.

東アジア産バテイラ科貝類の分子系統解析：同一系統内に生じる対照的な殻形態

○山崎大志¹, 平野尚浩², 内田翔太¹, 三浦収³, 千葉聡^{1,2}

¹東北大院・生命, ²東北大・東北アジア, ³高知大・農林海洋科学



進化生物学において表現型の地理的分化・多様化機構の解明は中心的な主題の一つである。日本沿岸域は岩礁・干潟・海藻群落・藻場・サンゴ礁など多くの環境を内包するだけでなく、変化に富む海岸線は環境に複雑な勾配を与える。そのため本地域では海産無脊椎動物が様々なハビタットに生息・適応しており、また種内・種間で多様な形態変化を示すグループが多い。特に巻貝には広域分布を示す種群が知られ、その域内で殻形態に地理的な変異を生じる場合もある。このような特徴を示す貝類種群は表現型の多様化機構を明らかにする上で有用な材料である。本研究では東アジア地域に広く分布し、殻表面に対照的な2つの形態型（平滑型・縦肋型；上図）が知られている種群を用いて、形態型の地理的パターンと遺伝的背景の関係を比較した。上記の結果に基づき、本種群が示す形態型とその生息地環境との関連性を議論する。

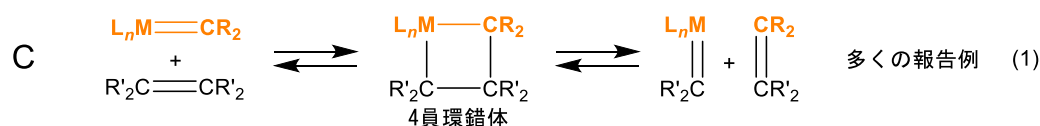
金属-ケイ素二重結合をもつアニオン性錯体のアルデヒドおよびアルキンとの反応

○鈴木ふゆ美・橋本久子・飛田博実

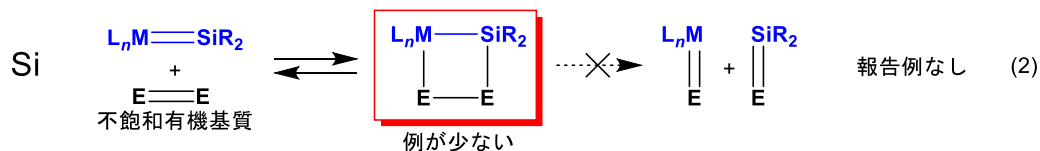
東北大学大学院理学研究科化学専攻

金属錯体^{*1}を用いた有機化合物の変換反応の開発は、今日の化学界における重要な研究対象の1つである。例えば、金属-炭素二重結合をもつカルベン錯体を触媒^{*2}とするオレフィンメタセシス反応^{*3}の開発(式1)は、医薬品や合成樹脂の合成法に革命を起こし、2005年のノーベル化学賞受賞につながった。一方、このカルベン錯体の炭素をケイ素に置き換えたシリレン錯体については、最近、中性およびカチオン性の錯体を中心に合成が行われており、それらを用いた有機ケイ素化合物の触媒的合成の例も幾つか見出されている。しかし、メタセシス反応の例は未だ報告されておらず、鍵となるケイ素を含む4員環錯体の単離例も極めて少ない(式2)。

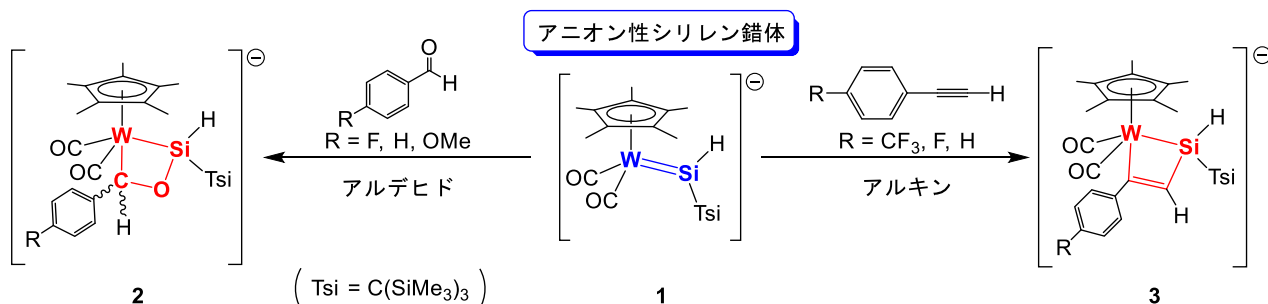
カルベン錯体によるオレフィンメタセシス



シリレン錯体によるメタセシス



今回、私は、最近当研究室で合成されたアニオン性シリレン錯体 **1**¹⁾とアルデヒドおよびアルキンとの反応を検討し、メタセシス反応の鍵中間体に対応する4員環錯体の単離に成功した。アルデヒドとの反応では94-97%の高い収率で**2**が生成し、アルキンとの反応でも67-75%と比較的高い収率で**3**が生成した。特に、**2**は、シリレン錯体とアルデヒドとの反応により生成した4員環錯体の初めての単離例である。本発表では、これらの詳細について述べる。



*専門用語の説明

*1 金属錯体…金属原子の周りに有機分子や無機分子が結合した分子性の化合物。

*2 触媒…化学反応を起こす物質系に共存してその反応速度を増大させるが、その化学反応の化学量論に無関係な、すなわち反応式に現れない物質。

*3 オレフィンメタセシス反応…2分子のオレフィン(アルケン)から炭素-炭素二重結合の切断、生成を経て新しい2分子のオレフィンが生成する反応(上記式1の反応のこと)。

文献 1) T. Fukuda, T. Yoshimoto, H. Hashimoto, H. Tobita, *Organometallics* **2016**, *35*, 921–924.

Belle II 実験におけるペンギン過程

 $B \rightarrow K\pi\gamma$ のシミュレーション研究

～ A simulation study of the penguin process $B \rightarrow K\pi\gamma$ at the Belle II experiment ～

東北大学大学院理学研究科物理学専攻

太田 恭平

現在最も確立されている素粒子理論は標準模型と呼ばれ、殆どの実験結果が標準模型の理論予測と矛盾していない。しかし、消えた反物質の謎、重力の量子論的な記述、相互作用の大統一など、標準模型で説明できない問題は数多く存在している。これまでも標準模型を超える新しい物理理論が探索されているが、新物理の効果は当初考えられていた程小さくなく、十分な新物理模型の選別を行うことができていない。Belle II 実験は SuperKEKB 加速器で電子と陽電子を衝突させ、 B 中間子対を大量に生成し、その崩壊事象を測定することで新物理の探索を行う。SuperKEKB の瞬間ルミノシティは、Belle II の前身である Belle 実験の加速器 KEKB の 40 倍で、Belle II では、積分ルミノシティとして Belle の 50 倍の $50ab^{-1}$ を目指し、統計誤差の削減を行う。

輻射ペンギン過程と呼ばれる $b \rightarrow s\gamma$ という過程は、新物理に感度が高い現象の一つである。標準模型においてツリーレベルの $b \rightarrow s\gamma$ のダイアグラムは禁止され、ダイアグラムにはループレベルの寄与しかないため、標準模型の効果が小さくなり、相対的に新物理の効果を観測しやすい。

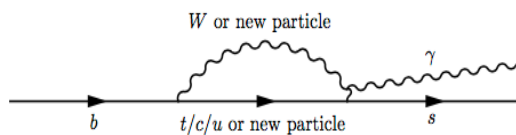


図1 $b \rightarrow s\gamma$ のファイマンダイアグラム。ループ部分において新粒子の寄与が可能。

$b \rightarrow s\gamma$ は、ハドロンレベルでは $B \rightarrow X_s\gamma$ 事象に相当する (X_s は s クォークを含むハドロン)。この X_s が K 中間子と π 中間子に崩壊するのが、 $B \rightarrow K\pi\gamma$ である。 $K\pi$ に崩壊する X_s として現在観測されているのは、 $K^*(892)$ と

$K_2^*(1430)$ である。しかし、現在の測定精度では、 $K^*(892)$ と $K_2^*(1430)$ の測定結果は標準模型と一致しており、Belle II による精密な測定が

必要となる。一方、他の X_s として $K^*(1410)$, $K^*(1680)$ などのレゾナンスの寄与も予測されている。これら未発見のレゾナンスにおいて、大きな新物理の効果を観測できる可能性もある。

本研究では、 $K^*(892)$, $K_2^*(1430)$, $K^*(1410)$, $K^*(1680)$ のレゾナンスを想定し、信号事象として $B^0 \rightarrow K^+\pi^-\gamma$, $B^+ \rightarrow K_s^+\pi^+\gamma$, $B^+ \rightarrow K^+\pi^0\gamma$ を再構成した。それから、レゾナンスを分離して評価し、崩壊分岐比、直接的 CP 対称性の破れ、アイソスピン対称性の破れといった観測量の Belle II 実験における統計誤差を見積もった。レゾナンスの分離には、ヘリシティ角分布と $M_{K\pi}$ 分布を用いた。ヘリシティ角分布は、レゾナンスのスピントに寄与が異なるため、唯一スピン 2 である $K_2^*(1430)$ を他のレゾナンスから分離できる。その他のレゾナンスは、 $M_{K\pi}$ 分布をフィッティングして分離した。

その結果、Belle の全統計と同じ統計量を用いて Belle II で測定を行う場合、 $B \rightarrow K^*(892)\gamma$ については Belle と同程度の統計誤差となる見積もりが得られた。また、Belle II の全統計を用いた場合、仮定した崩壊分岐比に対する統計誤差の割合は、 $B^0 \rightarrow K^{*0}(892)\gamma : 0.24\%$, $B^0 \rightarrow K_2^{*0}(1430)\gamma : 0.73\%$, $B^0 \rightarrow K^{*0}(1410)\gamma : 6.78\%$, $B^0 \rightarrow K^{*0}(1680)\gamma : 7.51\%$, $B^+ \rightarrow K^{*+}(892)\gamma : 0.32\%$, $B^+ \rightarrow K_2^{*+}(1430)\gamma : 1.25\%$, $B^+ \rightarrow K^{*+}(1410)\gamma : 10.77\%$, $B^+ \rightarrow K^{*+}(1680)\gamma : 13.10\%$ と見積もられた。20% 以下の誤差で測定できれば、「発見」となるので、 $B \rightarrow K^*(1410)\gamma$, $B \rightarrow K^*(1680)\gamma$ が、Belle II 実験において実際に測定されることが期待される。

気相 Cu_n^+ クラスタイオン ($n = 13-60$) への酸素吸着反応における電子殻の効果

○岩崎航^a 梶山知孝^b 小川雅人^a 戸名正英^c 山本宏晃^c 塚本恵三^c
 中野元善^a 大下慶次郎^a 美齊津文典^a
 東北大学大学院理学研究科化学専攻^a 東北大学理学部化学科^b 株式会社アヤボ^c

【序】 金属クラスターは数個から数百個の金属原子からなる小集団で、気相と凝縮相の中間に位置する。そのため凝縮相では見られない物理的・化学的性質を持ち、さらに構成原子数（クラスターサイズ）に依存した構造、反応性を持つ。なかでも、その特異的な反応性から触媒、半導体などへの応用が期待されている。例えば銅クラスターにおいては酸素分子を活性化させる酸化触媒としての期待から Cu_n ($n = 15 - 65$) と O_2 との反応実験[1], Cu_n^{+} ($n = 3-25$) と O_2 との反応実験[2]などが行われている。本研究では、さらに大きなサイズを含めて銅クラスター正イオン Cu_n^+ への O_2 の吸着反応実験を行った。生成したイオン種は飛行時間型質量分析計(TOF-MS)を用いて検出し、各サイズの反応性を評価した。

【方法】 実験装置は高出力パルスマグネトロンスパッタリング法(HPPIMS)を用いた金属クラスターイオン源(nanojima®)[3]と TOF-MS からなる。HPPIMS により生成した銅の蒸気は、液体窒素により 100 K に冷却された成長セル内で凝集して銅クラスター正イオンへと成長し、TOF-MS で質量選別して検出される。スパッタガスとして流量 300 – 500 sccm の Ar ガスを用いた。成長セルを通過した Cu_n^+ に、 O_2 を反応させた。各サイズのクラスターイオンと気体分子との相対反応性 R_n を、

$$R_n = k_n[A]t = -\ln\left(\frac{[\text{Cu}_n^+]}{[\text{Cu}_n^+] + [\text{Cu}_n\text{A}^+]}\right)$$

として評価した (A は気体分子、 $[\text{Cu}_n^+]$ は Cu_n^+ のイオン強度を示す)。

【結果・考察】 O_2 を導入することによって Cu_n^+ の強度が減少し Cu_nO_2^+ が観測された(Figure 1b)。他のサイズと比べ、 $\text{Cu}_{41}\text{O}_2^+$, $\text{Cu}_{49}\text{O}_2^+$ のイオンが極端に弱く観測された。この結果から R_n を求めたところ、他のサイズと比較して、 $n = 15, 21, 41, 49$ で顕著に低い反応性を示した。銅原子は価電子数が 1 であり、球形 jellium モデルを仮定した際、 Cu_n^+ の電子構造は $n = 21, 41$ で閉殻となる。電子構造が閉殻となる Cu_{21}^+ , Cu_{41}^+ では O_2 分子との電子授受が生じにくく、低い反応性を示したと考えられる。 $n = 15, 49$ においては構造が球形から歪むために電子構造が変化し、それぞれ電子数 14, 48 が閉殻となり、低い反応性を示していると考察した。

・jellium モデル：クラスターを正電荷が一様に分布している球体と近似するモデル

【参考文献】

- [1] M. Andersson et al., *J. Phys. Chem.*, **100**, 12222 (1996).
 [2] S. Hirabayashi et al., *J. Phys. Chem. A*, **116**, 8799 (2012).
 [3] H. Tsunoyama et al. *Chem. Lett.*, **42**, 857 (2013).

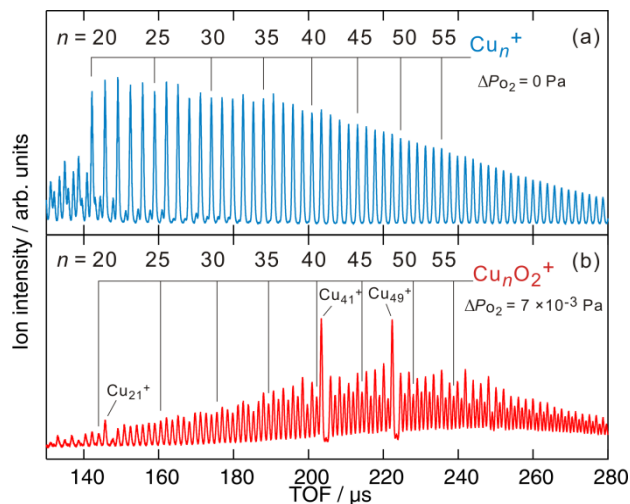


Fig. 1 銅クラスターイオンの質量スペクトル
 (a) 酸素導入前 (b) 酸素導入後

Abresch-Langer 型の平面閉曲線に対する等周不等式とその応用

中山 耕平 · 岡部真也

東北大学大学院理学研究科数学専攻

平面曲線族 $\{\gamma(t)\}_{t \geq 0}$ に対して次の curve diffusion flow の初期値問題を考える:

$$(CDF) \quad \partial_t \gamma = -(\partial_s^2 \kappa) \nu, \quad \gamma(\cdot, 0) = \gamma_0.$$

ただし, κ と ν は, それぞれ γ のスカラー曲率と内向き単位法線ベクトルを表す. 以下, $L(\gamma)$, $A(\gamma)$, $N(\gamma)$ はそれぞれ曲線 γ の長さ, 囲む面積, 回転数を表す. ここで, $N(\gamma_0) = 1$ である場合として Wheeler [2], $N(\gamma_0) \geq 2$ である場合として Chou [1] による次の結果を紹介する:

$N(\gamma_0) = 1$ (Wheeler [2])	$N(\gamma_0) = n \geq 2$ (Chou [1])
γ_0 : 滑らか $L(\gamma_0) \ \kappa - 2\pi/L(\gamma_0)\ _2 \ll 1$, $L(\gamma_0)^2/4\pi A(\gamma_0) \sim 1$. $\Rightarrow \gamma(t)$ は円に収束.	γ_0 : 滑らか, $\kappa_0 > 0$, m 次回転対称, $n/m < 1$ $L_0 \ll 1$, $\ \partial_s \kappa_0\ _2 \ll 1$. $\Rightarrow \gamma(t)$ は n 重円に収束.

Chou [1] の結果では解 γ の曲率 κ が任意の時刻で正であることを仮定しているが, (CDF) の解の曲率が正値性を保つことを確かめることは一般に難しい. Wheeler [2] の結果において注目すべきは, 初期曲線に対して曲率の正値性を仮定していない点であり, その代わりに次の等周不等式が重要な役割を果たしている:

$$(I) \quad L(\gamma)^2 \geq 4\pi A(\gamma), \quad \text{等号成立は } \gamma \text{ が円のときに限る.}$$

回転数を一般とした場合に Wheeler [2] と同様の証明を行おうとすると, 等周不等式 (I) では不十分である. 本発表の目的は, 回転数が一般の場合に (I) を拡張し, その応用として (CDF) の解が時間大域的に存在することを証明することである. また, 本発表では, 曲線短縮流方程式に関する初期値問題に対して次を仮定する:

$$(A_{n,m}) \quad \left\{ \begin{array}{l} C^1 \text{ 級かつ区分的に } C^2 \text{ 級の平面閉曲線で, 回転数が } n \text{ であり, } m \text{ 次回転対称, 更にその} \\ \text{曲率が非負であるような任意の平面閉曲線 } f \text{ に対して, 曲線短縮流方程式の初期値問題} \\ \partial_t \gamma = \kappa \nu, \quad \gamma(\cdot, 0) = f, \\ \text{の解 } \gamma(t) \text{ は特異性を持つことなく一点に収縮する.} \end{array} \right.$$

定理 1. $n \geq 2$, $n/m \leq 1$ とする. このとき, $(A_{n,m})$ が成り立つならば, 回転数が n で m 次回転対称な C^2 級の任意の平面閉曲線 γ に対して次が成り立つ:

$$L(\gamma)^2 \geq 4n\pi A(\gamma).$$

ただし, 等号が成立するのは γ が n -fold circle のときに限る.

定理 2. $n \geq 2$, $n/m \leq 1$ とする. $(A_{n,m})$ が成り立つとし, γ_0 は定理 1 の仮定を満たすとする. 更に, γ_0 にある局所的線対称性を課す. このとき, $L(\gamma_0) \|\kappa - 2\pi/L(\gamma_0)\|_2 \ll 1$, $L(\gamma_0)^2/4n\pi A(\gamma_0) \sim 1$ ならば, γ_0 を初期曲線とする (CDF) の解は時間大域的に存在し, $t \rightarrow \infty$ とするとき n 重円に収束する.

参考文献

[1] K.-S. Chou, *A blow-up criterion for the curve shortening flow by surface diffusion*, Hokkaido Math. J. **32** (2003), no. 1, 1–19.
 [2] G. Wheeler, *On the curve diffusion flow of closed plane curves*, Ann. Mat. Pura Appl. (4) **192** (2013), no. 5, 931–950.

上部白亜系久慈層群における高解像度年代決定

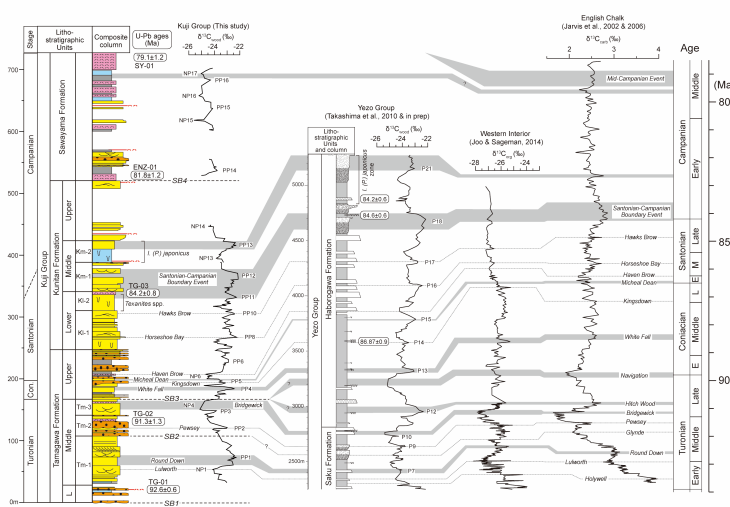
○有元 純^a・高嶋礼詩^b・西 弘嗣^b・山中寿朗^c・折橋裕二^d・條 将太^e・山本鋼志^f・梅津慶太^g

^a東北大院・理・地学, ^b東北大・博物館, ^c東京海洋大, ^d東大・地震研, ^e新日本検定協会, ^f名古屋大, ^g(株)フグロジャパン

浅海域あるいは陸域で形成された地層は、陸域の古環境・生態系などの情報を記録しており、重要な研究対象である。しかしながら、第四紀（259 万年～現在）以前の地質時代における、北西太平洋大陸縁辺の浅海・陸成堆積物は、一般的に国際年代対比に用いられる示準化石^{*1}をほとんど含まないため、十万年オーダー以下の時間解像度での堆積年代の決定が困難である。これに対して、生物源炭酸塩鉱物や有機物の安定炭素同位体比（¹³C と ¹²C の比）の経年変動が、大気-海洋-生物圏の物質循環を通じて汎世界的に同期する[1]ことを利用して、これを層序対比のツールとして用いることにより、高解像度の年代対比を行う手法が発展してきた[2]。

本研究では、岩手県北部に分布する浅海・陸成堆積物である上部白亜系久慈層群を対象として、地質調査を行い、炭化植物片に由来する炭素同位体比層序を樹立した。また、久慈層群に豊富に挟在する凝灰岩^{*2}に含まれるジルコン粒子のウラン鉛放射年代測定を行い、8 層準で約 9260 万年～7910 年前の数値年代を得た。さらに、北西太平洋、北米、北西ヨーロッパ地域の標準層序との対比を行なった。その結果、久慈層群は後期白亜紀の中期チューロニアン期～中期カンパニアン期に形成されたことが明らかとなり、数十万年以下の高時間解像度での年代決定を実現することができた。また、久慈層群から発見されつつある恐竜類を含む大型化石動物群の年代が、前期～中期サントニアンに制約された。

本研究の結果は、後期白亜紀の東アジア大陸縁辺域における陸域動植物化石群の古生物地理学的研究、およびシーケンス層序学的研究に詳細な年代論を提供し、その発展に寄与するものである。



専門用語

^{*1} 示準化石：堆積した時代の推定に利用される化石。（例. アンモナイトなど）

^{*2} 凝灰岩：火山灰が堆積してできた岩石。

参考文献

- [1] Gröcke et al. (1999) *Geology* 27, 155–158.
- [2] Takashima et al. (2010) *Earth and Planetary Science Letters* 289, 570–582.

図 1. 久慈層群と標準層序の国際年代対比

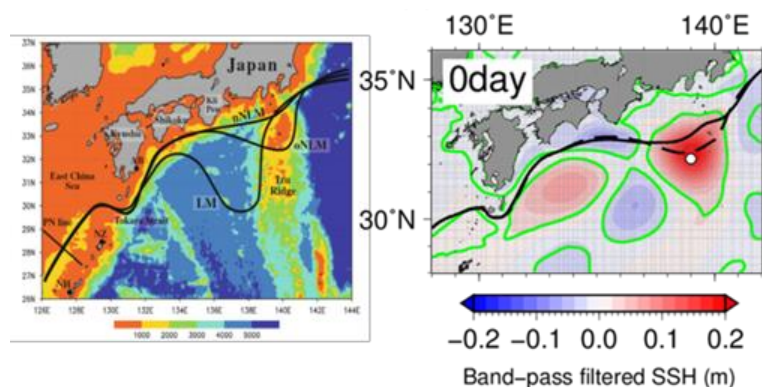
東海沖での黒潮非大蛇行離岸流路の 80–160 日周期変動
 —海洋長期再解析データセットを用いて—

○金久保 雅刀¹・杉本 周作²・須賀 利雄¹
 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻¹
 東北大学学際フロンティア研究所²

黒潮は代表的な西岸境界流であり、本州南方海域を支配する海洋物理現象である。黒潮は本州南方海域において大蛇行流路、非大蛇行離岸流路、非大蛇行接岸流路の 3 種類の典型的流路形態をとり、黒潮流路は様々な時間スケールで変動する。例えば、20–30 日周期で黒潮流軸上を流下方向に伝播する前線波動がある。また、そのほかに 50–70 日変動や約 100 日周期の変動の存在が指摘されている。しかしながら、観測の制約上、海洋内部領域の変動との関係も含めた黒潮流路変動の面的な振る舞いは未だ十分に理解されていない。

近年、数値シミュレーションに観測データを同化した再解析データが海洋分野に登場した。再解析データは観測値と整合した 4 次元データを欠損なく与えるという著しい利点を有する。そこで、本研究では 1982–2014 年の 33 年間にわたる高空間解像度の海洋長期再解析データセットを用いて、黒潮が多様な流路形態をとる東海沖に着目し、流路の卓越変動周期の同定、およびその要因解明を目的とした。

研究は、黒潮流路変動が卓越する東海沖で非大蛇行離岸流路期に 80–160 日周期の流路変動が大きくなることを見出し、その要因が、黒潮再循環域を西方伝播する中規模渦により、四国沖に局所的に分布する高気圧性循環上に SSH 信号が励起されることにあることを示唆した。本研究の成果は、非大蛇行離岸流路の変動機構の理解に貢献するものであり、流路変動の東方伝播性が下流域に及ぼす影響評価や黒潮流域の生物活動や水産資源変動予測に資する知見であるといえる。



左図：本州南方海域における黒潮典型的な流路形態
 右図：80–160 日周期の黒潮流路変動を表す海面高度の変動シグナルの合成図

魚類の尾ヒレ形態の再生機構

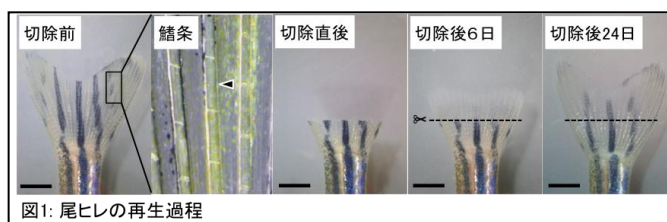
○植本俊明・阿部玄武・田村宏治

東北大学大学院生命科学研究所 生命機能科学専攻

ヒトを含む哺乳類は怪我などで失った手足を再生することは出来ない。一方、魚類は切除されたヒレを元通り再生することが出来る（図1）。そこで、魚類のような“再生できる動物”を用いて再生が起こる仕組みを理解することで、哺乳類の手足の再生に必要な手がかりを得られるかもしれない。

再生した手足が正しく機能するためには、手足の三次元形態の構築（皮膚や筋肉などの体組織を正しく配置すること）が必要であるが、形態の再生に関する知見は非常に少ない。本研究では魚類の尾部にある尾ヒレを用いて形態再生の理解を目指した。

尾ヒレは鰭条（きじょう）と呼ばれる線状の構造を持ち、鰭条の長さの組み合わせによって尾ヒレの形態が作られる（図



1)。尾ヒレの再生過程では、個々の鰭条が再生する長さが適切に制御されることで、尾ヒレの形態が作られる。これに関しては、尾ヒレの細胞が再生前の尾ヒレの形態を記憶しており、その情報をもとに鰭条がどの長さに再生すべきかが決まると考えられているが、そのメカニズムの全容は未解明であった。

一般的に、成長する構造の大きさは二つのパラメータ（成長速度と成長期間）によって決まることから、再生する鰭条の長さも同様であると考えた。そこで、ゼブラフィッシュの尾ヒレ（図1）を用いて、鰭条の長さと二つのパラメータの関係性を調べた。尾ヒレの切除位置を変化させると、どの鰭条でも切り取られた長さに対して速度、期間が同じになることがわかった（図2）。すなわち、同じ長さ切り取られた鰭条は同じ速度と期間で再生することになる。このことから、尾ヒレは、再生前の形態の情報ではなく、切り取られた長さを情報として用いて正常な形態を再生している（鰭条を適切な長さに再生させる）ことが示唆された。

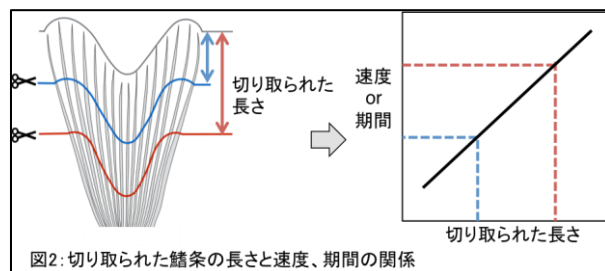


図2: 切り取られた鰭条の長さと速度、期間の関係

Development of novel G-quadruplex alkylating agents

○Madoka Eurika Hazemi, Kazumitsu Onizuka, Tomohito Kobayashi, Akira Usami,

Norihiro Sato, Fumi Nagatsugi*

Department of Chemistry, Tohoku University

[Background] DNA carries genetic information of living organism which recorded in combination of four bases Adenine (A), Thymine (T), Guanine (G), and Cytosine (C). In addition to the arrangement of these four bases, it is known that higher-order structure of DNA is especially important. The sequence containing large repeats of Guanine (G) is found to adopt a 4-stranded DNA structure called G-quadruplex (G-4). G-4 structure is found in biologically significant regions such as in telomere which is located at the of human chromosome. Studies have discovered that the telomeric part of chromosome becoming shorter each time a cell divides, which eventually leads to cell death when it reaches

below a certain length. On the other hand, it is thought that cancer cells can divide infinitely because the shortening of telomere is counteracted by a certain enzyme called telomerase (Fig. 1). It is widely reported that the telomerase activity can be inhibited by stabilizing the G-4 structure in the telomere using small molecule. Consequently, the development of small molecules that stabilize G-4 structure as new potential selective anticancer agent has attracted many attentions.

[Introduction] Our group aim is to create a small molecule that not only can recognize and bind to the G-4 structure but also can perform a chemical reaction (alkylation) to it. We have reported an effective alkylating method for certain type of DNA structure using 2-amino-6-vinylpurine (AVP)¹. We implemented the vinyl reactive moiety to Zimmerman group's designed Triamino-Triazine² molecule to give several 2-vinyl-4,6-diamino-1,3,5-triazine (VDAT)-acridine conjugate compounds, in order to obtain the potent G-4 alkylating agent (Fig 2.).

[Result] We found that our developed VDAT-acridine conjugate compounds show recognition and considerable reactivity with G-4 DNA. We also found interesting alkylation properties of these compounds with G-4 structure.

References

[1] F. Nagatsugi, *et al.*, *Chem. Commun.*, **51**, 14885-14888, (2015).

[2] S.C. Zimmerman, *et al.*, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **106**, 16068–16073, (2009).

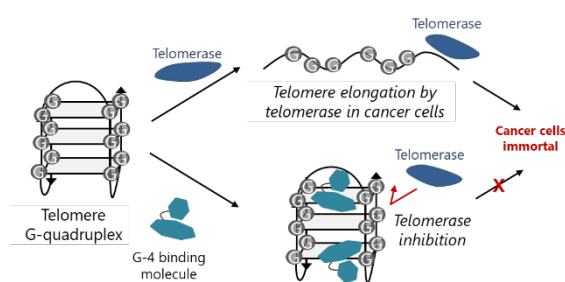


Fig 1. Telomerase inhibition by small molecule stabilizing G-quadruplex structure

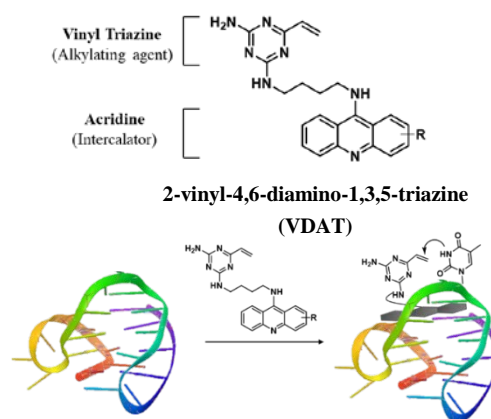


Fig 2. VDAT structure and concept of G-4 alkylation by VDAT derivatives [PDB: 2JSM]

${}^2\text{H}(\gamma, d\pi^+\pi^-)$ 反応によるダイバリオンの探索

室井佑太^A, 相田元気^A, 石川貴嗣^B, 板橋浩介^A, 金田雅司^A, 神田浩樹^C, 木村千草^A, 後神利志^{A,D},
小西由浩^A, 竹内大貴^A, 外山裕一^{A,D}, 永尾翔^A, 中村哲^A, Brian. O. Beckford^A, 藤井隆穂^A,
前田和茂^{A,D}, 山本郁也^A, for the NKS2 collaborations
東北大学大学院理学研究科物理学専攻^A, 東北大学 ELPH^B, 大阪大学 RCNP^C, 東北大学 GPPU^D

原子核は、陽子や中性子から構成されており、陽子や中性子はクォークと呼ばれる素粒子3個で構成されている。クォーク3個で構成された状態をバリオンと呼び、クォーク2個で構成された π 中間子などをメソンと呼んでおり、バリオンとメソンのようにクォークで構成された状態をハドロンと総称している。現在までに、数百を超えるハドロンが発見されてきたが、バリオンやメソン以外のクォークシステムをもつ状態は発見されていない。2004年にノーベル物理学賞を受賞したデイビッド・グロスらによって発展された量子色力学(QCD)では、バリオンやメソン以外のクォークシステムであるエキゾチックハドロンが存在しない理由がない。理論的にクォーク6個で構成されたダイバリオンの存在を予想した報告もある[PRL13(1964)815]。実験的にもダイバリオンの探索が盛んにおこなわれ、その存在を主張する実験結果が報告された例もあるが、追実験ではそれらを検証することはできなかった。そのため、これまでダイバリオンが存在しないことを前提に研究が進んできた。しかし、近年WASAグループによって Δ バリオン2個が結合したダイバリオンの存在を示唆する実験結果が報告された[PRL106(2011)242302]。彼らの結果は、理論計算の予想と矛盾なく、 $\Delta\Delta$ ダイバリオンの可能性が今、活発に議論されている。そこで、我々は東北大学電子光理学研究センター(ELPH)で、 $800 \leq E_\gamma \leq 1100$ MeVの光子ビームを用いて、核子と Δ のダイバリオン探索実験を行った。ダイバリオンの有無を実験的に確立する為に、WASAグループのハドロン衝突実験とは異なる光子プローブによってダイバリオンの探索をすることは非常に重要である。

実験では重陽子標的に光子ビームを照射し、終状態に重陽子と2個の荷電 π 中間子を検出した。図1のように反応の中間状態に核子と Δ の共鳴状態 X が存在すれば終状態の重陽子(d)と荷電 π 中間子(π)の不変質量からダイバリオンの探索が可能である。終状態の重陽子と π 中間子は、我々がELPHに有する大立体角スペクトロメーター(NKS2)を用いて検出した。NKS2は、粒子の運動量を求めるために必要な双極電磁石とドリフトチェンバー、粒子の飛行時間を測定するための2層の検出器によって構成されている。測定した運動量と粒子の速度から粒子の質量を求め、粒子の識別を行った。また $\gamma d \rightarrow d\pi^+\pi^-$ 反応事象を選択するために、運動量とエネルギーがそれぞれの分解能の範囲で保存しているイベントを選択した。結果として低バックグラウンドの下、 $\gamma d \rightarrow d\pi^+\pi^-$ 反応事象を選択することが出来た。ポスターセッションでは、詳細なイベント選択方法と、終状態の $d\pi$ 不変質量分布に見られた構造を考察し、東北大学においてダイバリオンが発見された可能性について報告する。

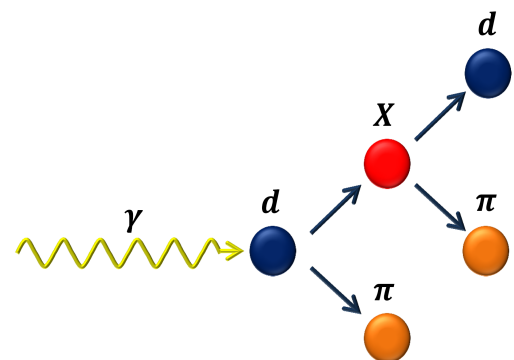


図1: 中間状態に $d\pi$ に崩壊する共鳴状態を仮定した反応過程。重陽子(d)に光子(γ)を照射し、共鳴状態 X と π が生成され、 X が $d\pi$ に崩壊する描像を示している。

専門用語の説明

クォーク：物質を構成する最小単位の粒子

Δ バリオン：陽子や中性子と同じクォーク3個で構成された粒子

核子：陽子と中性子の総称

重陽子：陽子と中性子が結合した状態であり、重水素とも呼ばれる

ドリフトチェンバー：荷電粒子の通過した位置を求めるための検出器

要旨：

銀河の形成・進化を理解することが天文学における一つの大きな目標である。

銀河の多くがその中心に大質量ブラックホール(super massive black hole; SMBH)を持っており、そのうち1割程に活動銀河核(active galactic nuclei; AGN)が存在しているとされている。そのためAGNのクラスタリングを測定しAGNの住環境を調べることは、それと密接に関わる銀河の進化・SMBHの成長の理解に対し重要な意義を持つとして盛んに研究が行われている。

本研究は、すばる望遠鏡 HSC-SSP Wide サーベイの広い領域のデータを用いて、 $z\sim 1$ におけるクェーサーと赤い銀河との相互相関関数 (Cross-correlation function; CCF) を調べることによって、ダークマターハロー内でのクェーサーの位置を見積もり、銀河-AGN の共進化や AGN のトリガー機構に制限をつけることを目標としている。我々の結果からは、 $z\sim 1$ においてクェーサーが赤い銀河と同程度の空間クラスタリング強度を示し、比較的大質量のダークマターハロー内に存在していることが示唆された。本講演では、主にサンプルの選択手法、クラスタリングの評価方法および解析の結果について紹介する。

Branched standard spine 上の S-stable 葉層の構成

B6SM1025 半田 伸

$(2n+1)$ 次元多様体 M 上の完全非可積分な超平面場を接触構造という。このとき、 (M, ξ) を接触多様体と呼ぶ。本稿および本発表では、3次元多様体のみを考える。3次元接触多様体に曲面 S を埋め込むと接触平面と曲面との交わりによって曲面上の特異ベクトル場が定まり、曲面上の葉層 $\mathcal{F}_\xi(S)$ が定義される。このような葉層は特性葉層と呼ばれ、曲面の近傍における接触構造の情報を与えている。



図1 \mathbb{R}^3 上の接触構造と、単位球面 $S^2 \subset \mathbb{R}^3$ 上の特性葉層

具体的な接触構造の挙動を見る手がかりとして、3次元多様体の branched standard spine に注目する。3次元多様体 M の spine とは、 M の境界からの縮約によって得られる多面体のことである。多面体 P の辺と頂点全体の集合を singular set といい、 $S(P)$ と表す。

Branched standard spine P 上の葉層を考える。Benedetti, Petronio([1]) により、branched standard spine 上の S-stable 葉層を定義する 1-形式から、閉 3次元多様体上の接触構造で \mathcal{F} を特性葉層とするようなものを構成できることが知られている。

本発表では、閉 3次元多様体の branched standard spine P 上の S-stable 葉層を、 $S(P)$ に与えられた情報に基づいて構成できることを示す (主定理 1)。また、主定理 1 の証明に用いた P 上の S-stable 葉層の構成方法をもとに、 P の形状と P 上の S-stable 葉層の $S(P)$ に対する接点数との関係が示された (主定理 2)。

用語の解説

多様体：ユークリッド空間の貼り合わせで得られ、各点に座標を与えることができる空間。例えば、球面やトーラス (ドーナツの表面) は座標平面の貼り合わせで構成できるので 2次元多様体である。

参考文献

- [1] R. Benedetti and C. Petronio, *Branched Spines and Contact Structures on 3-manifolds*, Annali di Matematica pura ed applicata (IV) **178** (2000), 81–102.

新潟県西部，鮮新世—更新世堆積岩地域における地すべり地形形成過程

綿貫 静香

東北大学大学院理学研究科地学専攻

地すべり地形を山地の主要な地形形成プロセスととらえ，全国各地の地すべり地を対象に，その地形形成過程を明らかにした研究がこれまでになされてきた。その中で，檜垣（1996）はすべり面形状や地下水挙動を支配する地すべり地の内部構造や現在の地すべり運動の形態は，地すべり斜面の変遷過程を考えることによって合理的に説明されることを示した。すべり面・地下水・運動形態などの把握は，地すべり対策工計画の規模や配置の決定に直接関係するため，地すべり地形形成過程を考察することは斜面防災の観点からも有効な手段であるといえる。また，地質や変動前の地質構造といった地すべりの発生環境や地すべりの規模などは個々の地すべりによって異なるため，様々な地すべり地で研究事例を増やす必要があると考えられる。

全国有数の地すべり多発地域である新潟県下においては，中新世～前期鮮新世の寺泊層～椎谷層分布域において最も多く地すべりが発生している（山野井ほか，1974）。一方その上位の鮮新世～前期更新世の西山層～魚沼層分布域では，大規模な地すべり地形がしばしば見受けられ，過去に大規模な岩盤地すべりが突発的に発生しており，近年では2007年の新潟県中越沖地震による地震動を誘因とした聖ヶ鼻地すべりが発生している（野崎，2008）。しかし，西山層～魚沼層分布域は寺泊層～椎谷層分布域と比較して斜面上の地すべり地形分布密度が低いいためか，現状では地形学的観点からの研究はほぼない。

そこで，本研究は魚沼層が広く分布する魚沼丘陵北西部の地すべり地と，西山層相当層が分布する東頸城丘陵内の地すべり地を対象とし，各々の対象地すべりの地形形成過程を明らかにした。さらに，既存の報告が多数ある寺泊層～椎谷層分布域の地すべり地形と比較を行い，それぞれの地域における地すべり地形形成過程の特徴を明らかにした。

地形的特徴から，新潟県西部の新第三紀堆積岩地域における地質と地すべり地形形成過程の関係を以下のように考察した。鮮新世～前期更新世の堆積岩分布域では，初めに大規模な岩盤地すべりが発生し，その後初生地すべり移動域内で小規模な副次地すべりが発生するパターンが多いと考えられる。他方で，中新世～前期鮮新世の堆積岩分布域においては，初生地すべりの時から比較的小規模ですべり面の浅い地すべりが発生していた，または，初生時は大規模地すべりであったが，その後発生した多数の副次地すべりによって移動体が侵食された結果，過去の大規模地すべり地形を認識することが現在困難になっている場合があると考えられる。

文献

- 檜垣大助（1996）：斜面変遷過程からみた地すべり地の内部構造・運動形態の解釈．中村三郎編：地すべり研究の発展と未来．大明堂，57-73.
- 山野井徹・石黒重実・布施 弘・神田 章（1974）：新潟県の地すべりとその環境．地すべり，11-2, 3-14.
- 野崎 保（2008）：2007年新潟県中越沖地震による初生的岩盤地すべりと層面すべり．日本地すべり学会誌，45, 72-77.

内核半径の異なる回転球殻における 地球ダイナモ維持に必要なレイリー数に関する研究

西田有輝・加藤雄人・松井宏晃^a・熊本篤志
東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻
カリフォルニア大学デービス校^a

地球には固有磁場があり、“棒磁石”で表せるような双極子磁場である。磁場の起源は地球内部にある。地下 2890km から 5150km は外核と呼ばれる領域で、主成分が鉄(+より軽いケイ素、酸素、マグネシウム)である磁気流体で構成されており、これが対流することで運動エネルギーが生まれ、これが磁気エネルギーに変換されることで磁場が生成、維持されている(ダイナモ作用)。古地磁気の研究から、過去約 35 億年間、現在と同程度の強さの磁場が維持されてきたと考えられている [1]。一方、コアの大きさは地質学的年代で見ると変化しており、外核半径 r_o に対する内核半径 r_i の比 r_i/r_o は過去 10 億から 20 億年の間に 0 から 0.35 へ連続的に変化してきた、と熱進化モデル計算から考えられている [2]。以上より、ダイナモ作用に関する半径比 r_i/r_o の依存性を調べることは過去の地球環境を理解する上で重要であると言える。

磁気流体を表すパラメーターは 4 つあるが、ここでは浮力と粘性の比であるレイリー数に着目する。過去のダイナモシミュレーションより、半径比を小さくするとダイナモ維持に必要なレイリー数が大きくなることがわかっている [3]。また、特に現在の半径比において、レイリー数の大きさによって維持される磁場の支配的な成分が双極子かそれより高次の非双極子かが異なることもわかっている [4]。

しかし、半径比が $r_i/r_o < 0.35$ の場合には磁場の支配的な成分に対するレイリー数依存性は明らかになっていない。今回、我々は半径比が 0.25 において、これまでより広い範囲のレイリー数でダイナモシミュレーションを行い、双極子成分が卓越、または非双極子成分が卓越するレイリー数が限定的であること、およびレイリー数が大きくなるに従って流体の磁気エネルギーが減少していくことを明らかにした(図 1)。

参考文献

- [1] Biggin et al. (2015) *Nature*, doi:10.1038/nature15523
 [2] O'Rourke and Stevenson (2016) *Nature*, doi:10.1038/nature16495
 [3] Heimpel et al. (2005) *Earth and Planetary Science Letters*, doi:10.1016/j.epsl.2005.04.032
 [4] Christensen and Aubert (2006) *Geophysical Journal International*, doi:10.1111/j.1365-246X.2006.03009.x

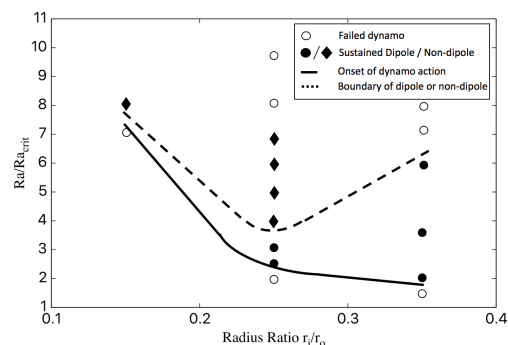


図 1 支配的なダイナモの半径比依存性

低栄養環境に対する従属栄養細菌の新規適応機構の解析

○稲葉慎之介・加藤広海・大坪嘉行・津田雅孝・永田裕二

東北大学大学院 生命科学研究科 生態システム生命科学専攻

[背景・目的]

従属栄養細菌にとって自然環境の多くは極貧栄養状態であり、細菌は、そのような環境では増殖を停止し、増殖に適した環境になるまで「耐え忍ぶ」機構を有している。一方で、従属栄養細菌が極貧栄養状態でも何とか「やりくり」して積極的に増殖する能力も、細菌の環境適応・生存戦略の一つとして存在すると考えられる。実際、我々は、好気性従属栄養細菌で *Alphaproteobacteria* に属する *Sphingobium japonicum* UT26 株のトランスポゾン(Tn) 挿入突然変異株ライブラリーの中から、有機炭素源非添加無機固体培地上で良好に生育する能力 (oligotrophic 表現型) を有する株を見出した。本研究では、Tn 変異株がどのような変異により oligotrophic 表現型を示すのか、その機構解明に取り組んだ。

[結果・考察]

本突然変異株の Tn 挿入位置は、推定 Zn-dependent alcohol dehydrogenase (ADH) 遺伝子 (*adhX*) の直上流に挿入され、Tn 由来のプロモーターによって本遺伝子が高発現していた。そこで、UT26 Δ *adhX* 株を構築し、*adhX* 高発現プラスミドを導入したところ、Tn 変異株と同様に oligotrophic 表現型としての生育能を観察した。また、その生育には大気中の CO₂ 固定を伴うことを明らかとしたが、UT26 株のゲノムには既知の CO₂ 固定の鍵酵素を有していない。次に、C 末端に His タグを付与した AdhX を大腸菌で高発現・精製し、活性の検討を実施したところ、AdhX は、メタノールを始めとする様々なアルコール類を基質とした ADH 活性を有していた。以上の結果は、AdhX の ADH 活性が oligotrophic 表現型に直接関係している可能性を示唆した。

液液界面における Facilitated Ion Transfer の微視的機構

○田原 寛文・森田 明弘

東北大学大学院理学研究科化学専攻

【序】イオンがペアを形成することによって、イオン輸送が促進されることを Facilitated ion transfer (FIT) と呼ぶ^[1]。液液界面における FIT は、化学センサ、分離抽出、相間移動触媒、生体膜などを含む多くの分野で見られる現象であり、大変重要である。一方で、界面輸送を分子レベルで選択的に観測することはいまだ困難であり、FIT の微視的なメカニズムについての理解は不十分であった。この解析に対して、分子動力学(MD)シミュレーションは強力な手法である。本研究では Cl^- - テトラブチルアンモニウム(TBA^+) [水/ジクロロメタン(DCM)界面]の系における FIT を再現し、分子レベルで解析した。また、Laforge らによって、ある種の親水性イオンについては単純な Ion transfer は起こらず、非常に低濃度の疎水性有機対イオンを添加する必要があることが報告されている^[2]。この FIT を説明するために、Laforge らは、イオンペアが界面移動を触媒する”Shuttling mechanism”を提唱している(Fig 1.)^[2]。これについて、我々は先と同じ系を用いて検証を行った。

【結果・考察】電場をかけた Cl^- - TBA^+ の系について、計算した二次元自由エネルギー面を等高線で示したものを Fig 2. に示す。各座標については Fig 3. を参照。油中で r が大きくなる方向に安定な経路が存在することから”Shuttling mechanism”の存在が確かめられた。

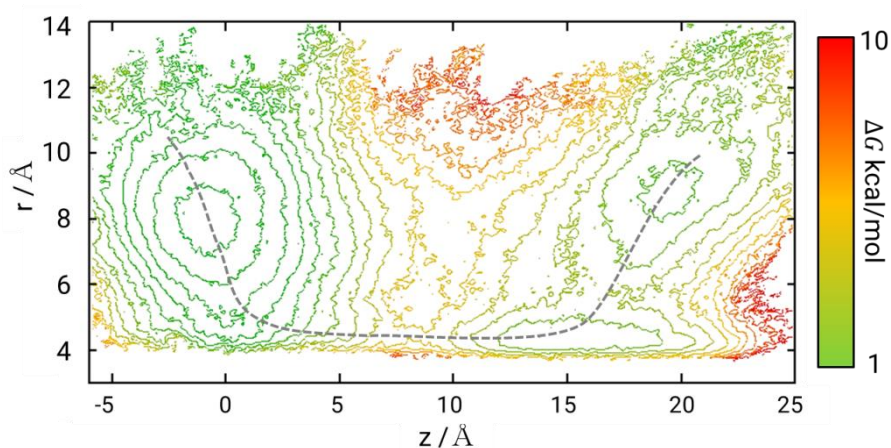


Fig 2.
2-D surface $G(2)(z,r)$ with external field 0.2 V/nm, where the contour values are shown with 0.66667 kcal/mol interval. $z = 0$ is set at the interface.

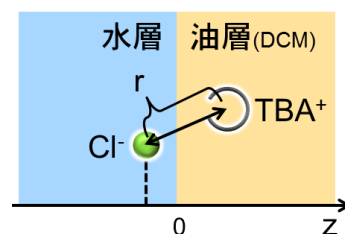


Fig 3. Coordinates

参考文献

[1] Koryta, J., *Electrochim. Acta*, 1979, 24, 293-300

[2] Laforge, F. O. et al. *J. Am. Chem. Soc.* 2006, 128, 15019-15025

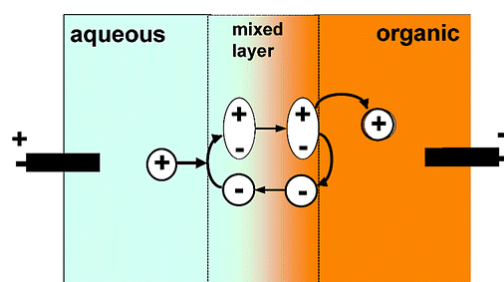


Fig 1.
Scheme of the shuttling mechanism of IT^[2]

65 MeV偏極陽子ビームによる陽子- ^3He 弾性散乱の測定

中居 真之介, 関口 仁子, 三木 謙二郎, 渡邊 跡武, 澁谷 峻, 渡部 盛大, 河原 健太, 酒井 大輔, 迎 智之,
畑中 吉治^A, 民井 淳^A, 小林 信之^A, 井上 梓^A, 中村 翔健^A,
若狭 智嗣^B, 大城 久典^B, 後藤 秀兵^B, 蜜本 晋治^B, 前田 幸重^C, 酒井 英行^D

東北大学大学院理学研究科物理学専攻, 大阪大学核物理研究センター^A,
九州大学大学院理学府物理学専攻^B, 宮崎大学大学院工学部工学基礎教育センター^C, 理研仁科センター^D

我々の周りに存在する物質は原子からできており、原子は原子核と電子から構成される。原子核の中では複数の陽子と中性子(総称して核子と呼ぶ)が、核力と呼ばれる相互作用によって 10^{-14} mという非常に狭い空間に束縛されている。核力に基づき、原子核における諸現象を理解することは、原子核物理における重要な課題の1つである。核力の理論的記述は、湯川秀樹の中間子交換理論に始まる。そこでは、2つの核子の間を中間子と呼ばれる粒子を交換することで核力は説明された(2体核力)。現在では2核子の束縛系である重陽子の性質や3000~4000にも及ぶ核子-核子散乱の実験値を精度よく記述する”現実的な2体核力”が構築されている。

一方、複数の核子が束縛された原子核においては、3つの核子が同時に相互作用する3体核力の存在も示唆されていた。前述した現実的な2体核力の確立、計算機の性能の向上もあいまって、近年、核力に基づいて原子核を記述する試みが行われてきた。なかでも3核子散乱系では中間エネルギー領域($E/A \geq 65$ MeV)の重陽子-陽子弾性散乱において、実験値と2体核力の効果を考慮した理論計算との間に大きな差が見られ、3体核力を考慮することでその差を説明できるということが確認された[1]。この結果を機に、原子核の記述には3体核力が不可欠であることが認識された。さらに今日では、中性子過剰核や中性子星^{*1}においても3つの同種核子間に働く3体核力が重要となってくるとの示唆もされている。

核力の性質を調べるためには、少数核子系での散乱が有効なプローブである。我々のグループでは3体核力の性質を調べるため、中間エネルギー領域における陽子- ^3He の4体系の散乱実験を進めている。本研究では大阪大学核物理研究センター(RCNP)にて偏極^{*2}陽子ビームを用いた陽子- ^3He 弾性散乱の陽子偏極分解能及び微分断面積の測定を行なった。偏極分解能とは、入射陽子がスピン偏極している場合の散乱の非対称度を表す観測量である。

実験の結果、広範囲の散乱角度における陽子- ^3He 弾性散乱の測定に成功した。また実験データの解析から、陽子偏極分解能において得られた実験値と2体核力に基づいた理論計算の間に不一致が見られた。

ポスター講演では、本概要で触れられなかった実験概要及び、測定結果も含め講演を行う。

用語の解説

中性子過剰核、中性子星^{*1} 中性子過剰核とは、通常の原子核とは異なり、電荷を持たない中性子を多く含んだ原子核のこと。中性子星とは超新星爆発によって生成される天体で、その構成要素のほとんどが中性子である。

偏極^{*2} 核子はスピンと呼ばれる量子的な性質を持っており、核子集団のスピン状態に偏りが生じている状態のことをいう。

参考文献

[1] K. Sekiguchi *et al.*, Phys. Rev. C **65**, 034003 (2002).

COSMOS 領域の中間赤方偏移における強輝線天体サーベイ

○平野 洸・西塚 拓馬・村山 卓・谷口 義明^a・小林 正和^b・長尾 透^c・鍛冶澤 賢^c

東北大学大学院理学研究科天文学専攻

放送大学^a・呉工業高等専門学校^b・愛媛大学^c

銀河が誕生してから今に至るまで、どのような進化過程を辿ったか解明することは現代天文学の課題の一つとなっている。銀河の進化過程として有力なものに銀河の階層的構造形成が挙げられる。銀河の階層的構造形成とは初めは小さかった銀河が衝突・合体を繰り返し行いながら進化するという考えであり、階層的構造形成を解明するためには銀河の形成初期である矮小銀河について理解することが必要不可欠である。しかし矮小銀河は質量が小さいため暗く、特に遠方宇宙において矮小銀河を観測することは極めて難しい。

そこで本研究では星形成矮小銀河の特徴の一つである強輝線に注目し、COSMOS 領域の中間赤方偏移に分布する矮小星形成銀河の選出を行った。本研究では COSMOS プロジェクト¹の一環として、すばる望遠鏡 *Suprime-Cam* の中帯域フィルターを用いて強輝線天体サーベイを行った。このサーベイの結果、3097 個の強輝線天体を選出することができた。これらの天体について多波長測光データを用いて *Spectral Energy Distribution (SED) fitting* 解析を行い、強輝線の元素の同定と強輝線天体の物理量の算出を行った。その結果、これらの天体の主な物理量は測光赤方偏移は 0.01-1.22、等価幅の中央値は 181 Å、星質量の中央値は $1.5 \times 10^8 M_{\odot}$ 、星形成率の中央値は $0.8 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ と算出された。またこれらのうち 81 天体については分光観測がされており、このスペクトルデータを用いて今回のサーベイで算出された測光赤方偏移、等価幅、星形成率について評価を行った。評価の結果、測光赤方偏移は精度よく算出されていたことがわかった。また今回得られた強輝線天体は低質量かつ活発な星形成を示すような *Blue Compact Dwarf (BCD)* や非常に大きな等価幅を示す *Extreme Emission-Line Galaxy (EELG)* が多数含まれていることがわかった。本講演では今回得られた強輝線天体の物理量について議論を行う。

専門用語の説明

・ COSMOS プロジェクト¹: 宇宙・銀河の進化の解明を目的としたハッブル宇宙望遠鏡の基幹プログラム。ハッブル宇宙望遠鏡、すばる望遠鏡を始めとする世界中の望遠鏡により特定領域のサーベイ観測が行われている。この領域を COSMOS 領域と呼ぶ。

参考文献

[1] Ilbert, O., Capak, P., Salvato, M., et al. 2009, *ApJ*, 690, 1236

[2] Taniguchi, Y., Kajisawa, M., Kobayashi, M. A. R., et al. 2015, *PASJ*, 67, 104

断層セグメントの細分化に関する研究 -糸魚川-静岡構造線断層帯神城断層を例に-

高橋 直也

東北大学大学院理学研究科地学専攻

・研究背景, 目的

ある程度の長さを持つ活断層帯については、その全体が一度に活動するよりも、一部のみに活動するケースが多いため、複数に分割した上で個々の区間（セグメント）ごとに評価を行う。一般に、活断層によって引き起こされる地震の規模は、活動区間が長いほど大きくなるため [1]、活断層から発生する地震を評価する際、どのようにセグメントを区分するかが非常に重要である。例えば、糸魚川-静岡構造線断層帯の北部は、神城断層と松本盆地東縁断層の2つの断層セグメントからなっている。過去の活動履歴の調査から、これらの断層セグメントは、区分通りに活動しているのではなく、隣接するセグメントと連動して活動したり、セグメントの一部のみが活動したりするなど、複雑であることがわかっている [2]。こうしたケースも考慮すると、セグメント区分を行う上では、単位活動区間よりもさらに短い長さの小セグメント（本研究では、セクション、と呼ぶ）を設定することが望ましい。このように断層セグメントを細分化していくことで、断層の活動区間をより詳細に明らかにできるようになると期待される。本研究では、上記のような背景のもと、糸魚川-静岡構造線断層帯の神城断層を例にしてセクション区分を行い、セクションが生じる要因と、セクション区分をする上で重視すべき要素について検討することを目的とする。

・対象地域概要

神城断層は、長野県小谷村から同大町市の木崎湖南端までに位置する東傾斜の逆断層である。2014年11月22日に発生した長野県北部の地震（Mj 6.7）は、神城断層の一部が活動して発生したものである。この地震に伴って小谷村中土～白馬村青木湖までの約25 kmの区間で地殻変動が生じ、そのうち白馬村塩島～同東佐野にかけての約9 kmの区間で地表地震断層が出現した [3]。本研究では、この地震時に地殻変動が確認された区間（小谷村中土～白馬村青木湖）を対象にセクション区分を行う。

・セクション区分に用いる要素

セクション区分には、(A) 地震発生前でもデータが得られる要素（平均上下変位速度、地形の起伏、断層の地表幾何形状）、(B) 地震が発生して初めてデータが得られる要素（地震時上下変位量分布、余震分布）、の2グループの要素を用いる。Aグループから推定されるセクション区分は、いわば断層セグメントの事前予測的な意味がある。一方で、Bグループは実際に地震が起きた結果であるため、いわばセクション区分の答えのような

意味を持つ。両者の比較によって、セクションの成因やセクション区分の際に重視すべき要素について検討する。

・結果、考察

A グループの要素から、神城断層を数 km～10 数 km の長さの 4 つのセクションに区分した。これらのセクションは、河川の下刻や、断層先端部の埋積に伴う地下浅部の応力状態の変化によって、断層先端部が移動して生じたものであり、セグメント区分を行う上で地形、地質構造の発達過程も重要な要素の 1 つであることを示している。また、区分したセクションと、B グループの要素（地震が発生して初めてデータが得られるもの）との比較から、地震時の活動区間を規制するような、意味のあるセクション区分を行う上では、各セクションの地下構造が、深度方向、断層走向方向についてどの程度異なっているのかを考慮することが重要であることがわかった。

・参考文献

- [1] Wells, D., L. and Coppersmith, K., J. 1994. *Bull. of Seismological Soc. of America* 84:974-1002.
- [2] 丸山 正 ほか 2010. 糸魚川-静岡構造線断層帯における重点的な調査観測平成 17～21 年度成果報告書（第 3 章）：230-254.
- [3] Kobayashi T. et al. 2017. SAR-revealed slip partitioning on a bending fault plane for the 2014 Northern Nagano earthquake at the northern Itoigawa-Shizuoka tectonic line. *Tectonophysics* (in press).

ひさき衛星を用いた木星衛星イオ起源の酸素原子中性雲分布の解明

○古賀亮一・土屋史紀・鍵谷将人・坂野井健^a・米田瑞生^b・吉川一朗・吉岡和夫^c・村上豪・山崎敦^d・木村智樹^e・H. Todd Smith^f

東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻^a,株式会社タダノ技術研究所^b,東京大学^c・宇宙科学研究所^d・理化学研究所^e・Johns Hopkins 大学^f

私たちはひさき衛星を用いてイオ起源の酸素原子発光の動径及び方位角方向の分布を解析し、イオ酸素原子中性雲の分布を明らかにした。木星衛星イオは表面の昇華と火山活動によって薄い大気を形成している。この大気は二酸化硫黄が主成分であり、電子や光と衝突することで解離して、酸素や硫黄原子が生成される。これらの原子は主に外部から飛来するイオンとの衝突によって大気からコロナやイオの重力圏外である中性雲(5.8 イオ半径より外側)の領域まで広がる。この大気散逸プロセスのいずれかで硫黄酸化物または酸素や硫黄原子がイオン化することでイオ軌道付近にイオプラズマトーラスを形成する。酸素や硫黄中性雲の空間分布は木星磁気圏内のプラズマの質量の大部分を担うイオプラズマトーラスの供給源を知る上で重要である。しかし、酸素(130.4 nm, 135.6 nm, 630.0 nm)や硫黄原子発光(129.9 nm, 142.9 nm)が暗いため今まで観測で明らかにされていなかった。

ひさき衛星は紫外線波長(58-140 nm)で木星を中心とした惑星を連続観測することを目的として2013年に打ち上げられた衛星である。火山活動が静穏な2014年11月27日~12月31日のひさき衛星のデータを積分することで、130.4 nmの酸素原子発光の動径及び方位角方向の分布を調べた。その結果酸素原子中性雲の分布は次のように説明できる。イオ付近ではバナナ型の濃い領域がおもにイオの進行方向に広がっている。一方、それ以外の薄い領域が方位各方向に一様に、動径方向にイオ軌道から遠ざかるにしたがって減少しながら分布している。この結果は過去のモデル計算で予測された分布[1]とおおよそ一致している。また、方位各方向に平均された酸素原子の動径分布を解析したところ、酸素原子がイオ軌道より内側に集中していること(最大で 80 cm^{-3})、および酸素原子中性雲からイオプラズマトーラスに供給されるイオンの量が 410 kg s^{-1} であることが分かった。

参考文献

- [1] Smyth, W. H., and Marconi, M. L. (2003). *Icarus*, 166(1), 85–106, doi:10.1016/j.icarus.2005.01.010

極低温顕微分光法を用いて光環境変化に応答した光合成アンテナタンパク質の膜内移動を検証する

○藤田祐輝・柴田穰

東北大学大学院理学研究科化学専攻

光合成は、光化学系 I (PSI) と光化学系 II (PSII) と呼ばれる二つの複合体による直列な光誘起電子伝達で駆動される。PSI はstroma lamella、PSII はgrana と呼ばれる膜領域に多く存在し、空間的に分かれて存在している。効率の良い光合成を行うためには、PSII と PSI の励起バランスを保つ必要があり、そのための生体内の機構としてステート遷移と呼ばれる機構が知られている。ステート遷移は、光捕集アンテナタンパク質 (LHCII) が二つの光化学系間を移動することで起こると考えられており、LHCII が PSII に結合する状態をステート 1、PSI に結合する状態をステート 2 と呼ぶ。しかし、LHCII の光化学系間の移動は実際に観測されておらず、実験的に検証されたとは言えない状態である。本研究では、当研究室で新たに開発された極低温顕微鏡 [1] を用いて、ステート遷移における LHCII の移動を検証することを目指した。極低温顕微鏡では、80 K に保ったサンプルを高い空間分解能をもつ対物レンズ (NA0.9, 100 倍) を用いて観測することができる。サンプルとして単細胞藻類クラミドモナスを使用した。極低温顕微鏡を用いて各ステートにおけるクラミドモナスの 80 K での蛍光スペクトルを各ピクセルごとに取得した。ステート 2 でのスペクトルを 5 つのガウス関数の和でフィッティングしたものが Fig. 1 である。LHCII、PSII、PSI に帰属されるガウス成分の面積を各ピクセルで計算して、画像を再構成した。Fig. 2 には得られた LHCII の蛍光画像と PSII/PSI の強度比画像を載せている。PSII/PSI の強度比画像から明らかのように、今回の実験から PSII と PSI が異なる分布となっていることを観測することができた。この画像と LHCII の画像を解析することにより、各ステートで LHCII はどのように分布しているのか検証を行った。

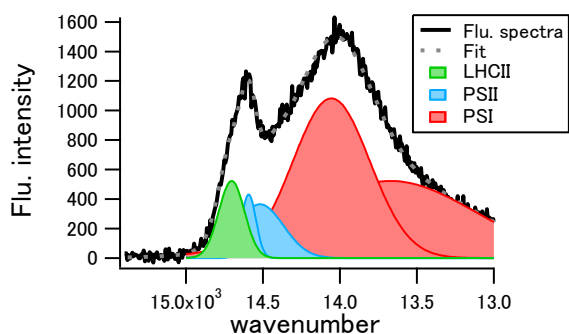


Fig.1 取得した蛍光スペクトルとそのフィッティング

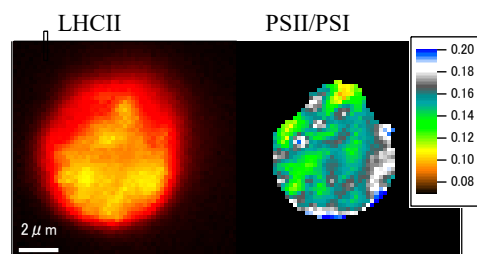


Fig.2 蛍光画像の例

参考文献

- [1] Shibata Y. et al, Biochem. Biophys. Acta, 880-887(2014)