

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 深海調査で迫るプレート境界浅部すべりの謎～その過去・現在

東北大学・災害科学国際研究所・教授 ひの りょうた
日野 亮太

研究課題番号：26000002 研究者番号：00241521

研究分野：数物系科学、地球惑星科学、固体地球惑星物理学

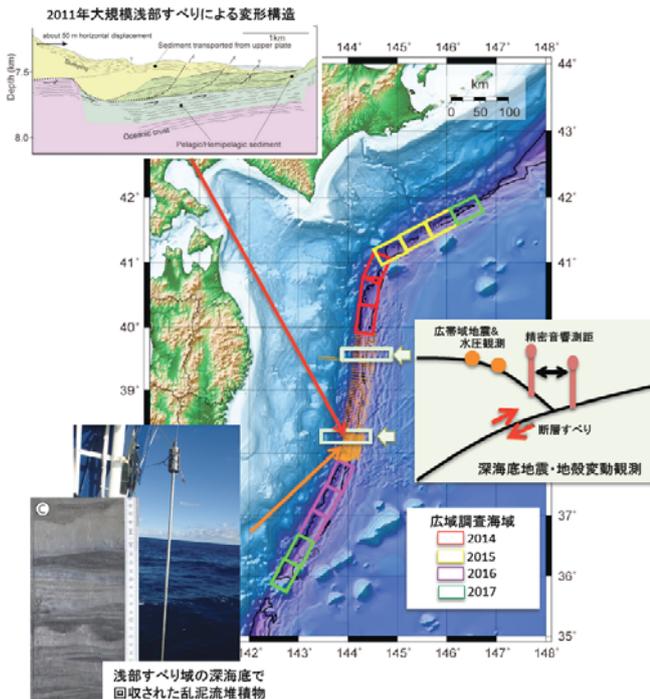
キーワード：地震現象、地殻変動・海底変動、テクトニクス

【研究の背景・目的】

2011年東北地方太平洋沖地震では、プレート境界断層でのすべりが日本海溝の海溝軸にまで至り、その量は50mを超えるような巨大なものであった。これが甚大な被害をもたらした巨大津波の成因となったが、こうしたプレート浅部での大規模すべりの発生は数百年に一度というような低頻度であるために、実態はほとんど未解明である。本研究は、千島海溝・日本海溝を対象として、浅部すべりイベントが①どこで発生したのか？②いつ発生したのか？③発生域でいま何が起きているのか？という根源的な謎に対する答えを、深海における地質・地球物理学的調査観測から提示する。

【研究の方法】

- ① 千島・日本海溝海溝軸沿いの広い海域で地震波探査を行い、浅部すべりイベント発生域に特徴的な地質変形構造の分布範囲のマッピングを行う。
- ② 海溝軸近傍の深海底から浅部すべりイベント起源の乱泥流堆積物を採取しその堆積年代から、浅部すべりイベントの発生履歴を明らかにする。



- ③ 浅部すべりイベント発生域で、海陸プレート間相対運動観測を含む、深海底地震・地殻変動観測を

実施し、浅部すべり発生域における固着・すべり状態を解明する。

【期待される成果と意義】

- ・本研究の構造探査と地質調査から明らかにされる海溝軸近傍における浅部すべりの発生履歴を、現在精力的に進められている海岸域での津波痕跡にもとづく超巨大地震発生履歴と総合することにより、過去の超巨大地震の破壊範囲の推定精度が向上され、千島海溝・日本海溝沿いでの巨大地震発生サイクルの描像が大幅に刷新される。
- ・海底観測の結果からプレート境界断層浅部の摩擦特性に制約を与え、それにもとづく地震サイクルシミュレーションにより超巨大地震の発生履歴を再現することを通して、プレート境界型超巨大地震の発生機構と、その中で断層浅部の固着・すべりが果たす役割が解明される。
- ・本研究により海溝近傍における深海域の探査・調査・観測に基づく浅部すべり発生履歴の評価手法を確立できれば、世界各地の沈み込み帯での浅部すべりとそれに伴う巨大津波発生可能性の評価の信頼度向上に資する。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ Ito, Y., T. Tsuji, Y. Osada, M. Kido, D. Inazu, Y. Hayashi, H. Tsushima, R. Hino, and H. Fujimoto (2011), Frontal wedge deformation near the source region of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L00G05, doi:10.1029/2011GL048355
- ・ Kodaira, S., T. No, Y. Nakamura, T. Fujiwara, Y. Kaiho, S. Miura, N. Takahashi, Y. Kaneda, and A. Taira (2012), Coseismic fault rupture at the trench axis during the 2011 Tohoku-oki earthquake, *Nature Geoscience*, 5(9), 646-650, doi:10.1038/ngeo1547

【研究期間と研究経費】

平成26年度～30年度 426,100千円

【ホームページ等】

<http://www.jdash.org>

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 中性子同時計測を用いた超新星ニュートリノ観測

東京大学・宇宙線研究所・教授 **なかはた まさゆき**
中畑 雅行

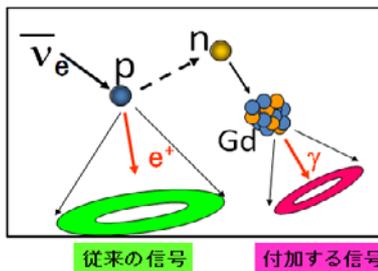
研究課題番号：26000003 研究者番号：70192672
研究分野：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理
キーワード：宇宙線（実験）

【研究の背景・目的】

超新星爆発は、大質量星がその一生の最後におこす現象であり、鉄の中心核が重力崩壊して中性子星やブラックホールになることをきっかけとしておこると考えられている。その際に莫大なエネルギーが約10秒間という短い時間の間に発生し、そのほとんどのエネルギーがニュートリノによって星から放出される。実際、カミオカンデは超新星 SN1987A の爆発においてそうしたニュートリノを捉え、超新星爆発の基本的なシナリオが正しいことを示した。しかし、捉えられたニュートリノの数は高々10事象程度であり、爆発の詳細まで探ることはできなかった。また、これはあくまで「ひとつ」の星の超新星爆発であり、爆発機構を詳しく探るためにはたくさんの超新星爆発事象を対象とした研究が必要である。宇宙には 10^{20} 個の恒星があり、そのうちの0.3%、つまり約 10^{17} 個の星は超新星爆発をおこしてきた。それにとまなうニュートリノ（超新星背景ニュートリノ(Supernova Relic Neutrino(SRN))) が宇宙に満ちていると考えられる。本研究ではまだ未発見のSRNの観測を目指す。また、超新星爆発が我々の銀河で起きた場合には、その星の方向をニュートリノによって正確に捉え、光学観測者へと発信することを目指す。ベテルギウスなどの超近傍星爆発においては、その爆発を事前に予知することを目指す。

【研究の方法】

超新星爆発に際してはすべての種類のニュートリノが放出されるが、もっとも観測しやすいのは反電子ニュートリノである。反電子ニュートリノは陽子と反応し、陽電子と中性子を放出する。本研究では左図のように、反電子ニュートリノが反応した際の陽電子と中性子を同時計測することによって超新星爆発からのニュートリノを捉える。我々に降り注ぐ反電子



ニュートリノのうち、10-30メガ電子ボルトの範囲はSRNが支配的であると予想されている。しかし、このエネルギー範囲では多数の太陽ニュートリノや宇宙線による核破砕物事象などがあるため、反電子ニュートリノの観測のためには中性子の同時計測が必要となる。SRNは非常に強度が弱いので、観測装置のサイズはスーパーカミオカンデ（SK）のような

非常に大きい実験装置を必要とする。本研究ではSKにガドリニウムという物質を溶かし、中性子の同時計測を行う予定である。ガドリニウムは中性子を捕獲する断面積が非常に大きく、かつ捕獲した後にエネルギーが高いガンマ線を放出するため、SKで捉えることができる。

我々の銀河で超新星爆発が起きた場合には数千事象の反電子ニュートリノ反応と数百事象の電子散乱事象が予想される。電子散乱事象は方向性を保持しているため、中性子の反同時計測によって電子散乱事象を選び出し、星の方向決定精度を向上させる。ベテルギウスなどの超近傍星においては爆発直前のケイ素燃焼過程からの反電子ニュートリノを使って爆発を予知する。

【期待される成果と意義】

本研究が実現できれば、SRNの世界初観測となる。その観測によって大質量星の歴史を探ることができる。また、数多くの超新星爆発を平均化したニュートリノエネルギースペクトルを得ることができる。我々の銀河における超新星爆発においては、その方向の情報をいち早く世界の光学観測に向けて発信することが極めて重要である。超新星が光学的に輝き出すのは衝撃波が星の表面まで到達してからであり、ニュートリノの信号から数時間から1日の時間が経過してからである。いち早く超新星の方向を発信できれば、輝き始めるその瞬間から光学観測を始めることができる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ "GADZOOKS! Anti-neutrino spectroscopy with large water Cherenkov detectors", J. F. Beacom, M. R. Vagins, Phys.Rev.Lett. 93 (2004) 171101.
- ・ "Supernova Relic Neutrino Search at Super-Kamiokande", Super-Kamiokande Collaboration (K. Bays et al.), Phys.Rev. D85 (2012) 052007.

【研究期間と研究経費】

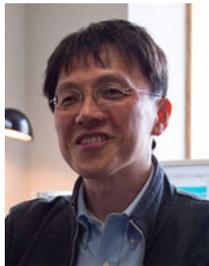
平成26年度-30年度 453,400千円

【ホームページ等】

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/~nakahata/tokusui>
nakahata@suketto.icrr.u-tokyo.ac.jp

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 MEG II 実験-究極感度ミュー粒子稀崩壊探索で大統一理論に迫る

東京大学・素粒子物理国際研究センター・教授 **もり 森** としのり **俊則**

研究課題番号：26000004 研究者番号：90220011
 研究分野：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理
 キーワード：素粒子（実験）

【研究の背景・目的】

本研究グループは、宇宙初期に実現していたと考えられる素粒子と力の大統一（大統一理論）を検証するため、独創的で巧みな実験装置を考案・開発して国際共同実験 MEG をスイス Paul Scherrer Institute (PSI) で実施し、標準理論では起こりえないミュー粒子の崩壊 $\mu \rightarrow e\gamma$ （ミュー粒子がガンマ線を放出して電子に転換する崩壊：ミューイーガンマ崩壊）を $O(10^{-13})$ という世界最高の感度で探索してきた。またそれと並行して探索感度の大幅な改善に向けた研究開発を行い、究極の実験感度を可能とする測定器の改良設計を完成させ、2012 年暮れに MEG 実験のアップグレード実験 MEG II として提案書を PSI に提出した。この MEG II 実験提案は 2013 年 1 月に PSI の研究委員会によって承認された。

本研究では、MEG 実験の残り半分のデータ解析を行って世界最高感度の $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索を続けるのと並行して、プロトタイプによる実証実験を行い、測定器のアップグレードを完成させて、MEG より更に一桁実験感度を上げた究極の $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊探索実験 MEG II を実施して、宇宙誕生の謎を解く鍵である大統一理論の検証を目指すものである。

【研究の方法】

MEG II 実験（図 1）では、新たに開発した様々な粒子検出技術（例えば図 2 に示した液体キセノンガンマ線検出器に使用する光センサー）を用いて測定器の性能を改善してバックグラウンド事象を制御することによって、PSI の世界最高強度のミュー粒子ビームを使い尽くし、 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊を探索する究極の実験感度を実現する。

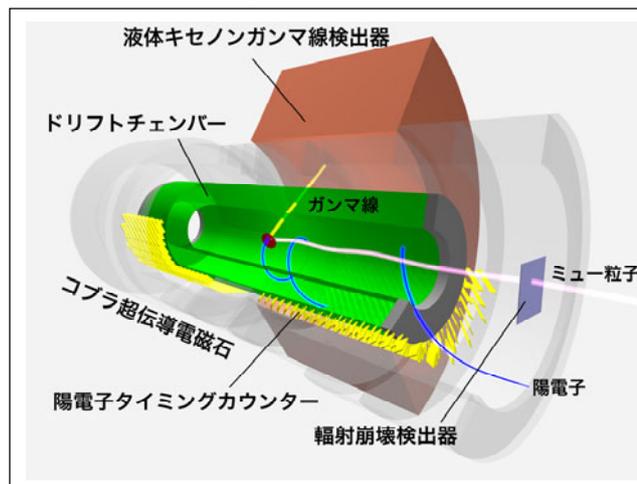


図 1 MEG II 実験概念図



図 2 新開発の光センサー（右）と従来の光電子増倍管

【期待される成果と意義】

本研究において $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊が発見されれば、標準理論を超える大統一理論などの新しい物理の存在の決定的証拠となる。さらにその分岐比・角度分布を精度良く測定することにより、新しい物理のエネルギースケールや対称性について絞り込むことも可能である。一方、もし $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊が発見されなかった場合には、力の大統一ひいては宇宙の始まりに対する我々の標準的な理解が大きく覆され、今後の素粒子物理研究の方向性を決定的に変えることになる。

2012 年に LHC (Large Hadron Collider) においてヒッグス粒子が発見され、さらにその質量が比較的軽かったことにより、ヒッグス粒子は複合粒子でなく基本粒子であり、超対称大統一理論の枠組みが正しい方向であることが示された。また、最近 T2K 実験などで測定された第 3 のニュートリノ振動の混合角 θ_{13} が大きかったことから、 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊の崩壊分岐比もこれまで考えられていたものよりも大きくなると考えられ、 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊発見への期待はこれまで以上に高まっている。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- MEG Collaboration, “New Constraint on the Existence of the $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ Decay,” Phys. Rev. Lett. 110 (2013) 201801
- MEG II Collaboration, “MEG Upgrade Proposal,” arXiv:1301.7225

【研究期間と研究経費】

平成 26 年度－30 年度 425,100 千円

【ホームページ等】

- <http://meg.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/>
- <http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/meg/>

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 極低温干渉計で挑む重力波の初観測

東京大学・宇宙線研究所・教授

かじた たかあき
梶田 隆章

研究課題番号：26000005 研究者番号：40185773

研究分野：数物系科学

キーワード：相対論・重力（実験）

【研究の背景・目的】

アインシュタインの一般相対論によると、重力は時空の歪みとしてあらわされる。巨大な質量の星が激しく運動すると、時空の歪みも時間的に変化し、その影響は重力波となって光速で全方向に広がっていく。宇宙には、膨大なエネルギーを放出する中性子星連星やブラックホール連星の合体、また超新星爆発など、時空の歪みを引き起こして重力波を発生させる現象が存在するが、いまだに重力波は直接観測されていない。

本研究では岐阜県飛騨市神岡町の地下に整備が進む3 kmのレーザー干渉計の基盤設備(KAGRA)をベースに、地下設置と極低温鏡という特徴を最大限に生かして世界に類の無い超高感度の干渉計を実現する。そして本研究期間内に1年以上に亘り観測を行い重力波の初検出を成し遂げ、重力波天文学の創成を目指す。

【研究の方法】

本研究では、基盤的な設備として現在建設が進む重力波測定器 KAGRA を用いる。KAGRA は片腕3 kmのL字型のレーザー干渉計であり、地面振動の影響を抑えるため地下深くに設置されている(図1参照)。

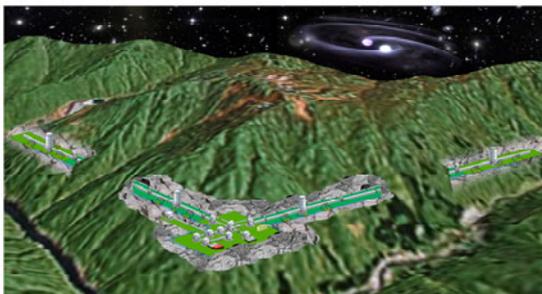


図1 KAGRA 検出器

本研究では、極低温鏡という KAGRA のみを持つ特徴を最大限に生かして重力波の世界初観測を達成するために開発研究を行う。現実には単に鏡を冷やせば高感度が達成できるわけではないので、低温鏡の特徴を最大限に発揮させるために、低温鏡の懸架方法の開発を行う。また冷却時間短縮して一刻も早く観測を開始することをめざして鏡以外の低温部分に放射率の高い特殊なコーティングの技術開発を行

う。更に干渉計精密制御技術を開発・導入して干渉計の高感度化を達成する。これらの開発研究の後に干渉計の運転を行い、本研究期間終了までに一年以上に亘って観測運転を行う。

【期待される成果と意義】

本研究期間内の観測研究によって、以下の天体現象からの重力波の観測が期待される。

- 1) 連星中性子星の合体時の重力波(図2参照)。年間数例以上の観測が予想されるので、この重力波が初観測の第一候補となる。

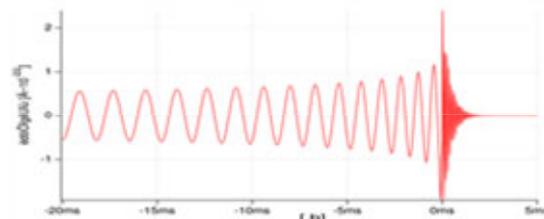


図2 連星中性子星合体時に期待される重力波(横軸時間、縦軸重力波の振幅)

- 2) ブラックホール連星の合体時の重力波。(ただし頻度の予想の不定性は非常に大きい)
- 3) 超新星爆発に伴う重力波。(ただし頻度10年に1度程度である)

これら観測から重力波が観測されれば重力波天文学の創成につながる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・"Reduction of thermal fluctuations in a cryogenic laser interferometric gravitational wave detector" Takashi Uchiyama, Shinji Miyoki *et al.*, Phys. Rev. Lett. 108 (2012) 141101.
- ・「重力波をとらえる -存在の解明から検出へ」中村卓史、三尾典克、大橋正健編著、京都大学出版会(1998年)

【研究期間と研究経費】

平成26年度-30年度 446,800千円

【ホームページ等】

<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/gr/SPR/index.html>

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 超高压力下の新物質科学：メガバールケミストリーの開拓

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授

しみず かつや
清水 克哉

研究課題番号： 26000006 研究者番号： 70283736

研究分野： 物性

キーワード： 高圧力、超伝導体、金属物性、磁性

【研究の背景・目的】

メガバール（100万気圧）を超える圧力領域の物質科学を新展開させると同時に、これまで為し得なかった物質創造に挑戦する。超高压の世界に隠されている新奇物性を解き明かし、新現象や新物質を創成し、革新的な材料開発につながる新しい固体物理の構築を目指す。メガバールの超高压力は、もはや単に原子間距離を縮めるだけの効果ではなく、電子軌道を変化させ、原子のネットワークを組み替え操作する「超高压化学」すなわち、メガバールケミストリーの領域に入ろうとしている。メガバールケミストリーにより、新しい状態と現象を生み出し、物質科学および材料開発における新たな手法を構築する。本研究では超高压力による顕著な効果が期待できる、シンプルなシステムと機能性物質に焦点をあて、必要な技術開発とあわせて以下の3項目を目的とする。A「水素をはじめとしたシンプルなシステムの超高压物性」、B「超高压合成による機能性物質のフロンティア」、C「革新的な高圧力実験技術および理論計算手法の開拓」

【研究の方法】

A：原子番号1の水素は、4メガバールの超高压状態では金属となり室温超伝導を示すと考えられている。水素を高密度に圧縮し、超伝導相の有無、分子構造の情報など元素の究極構造に迫ることを目指す。また高温の超伝導性が軽いハロゲン元素および水素を分子状または原子状に内包する金属水素化物には、金属水素に似た電子状態を生成できる可能性がある。これら軽元素および水素関連物質の超高压物性および超伝導性を明らかにする。

B：熱電材料、マルチフェロイクス材料、高磁気抵抗素子、炭素系ナノ構造体、水素貯蔵物質などの材料は、環境調和をめざした高性能化が求められている。メガバールを経験したことのないこれらの材料の物性を明らかにする。さらに超高压力を用いた合成または化学反応にも注目し、新しい物質機能の開発をめざす。

C：高压実験に用いられるダイヤモンドを用いたダイヤモンドアンビルセルの発生限界とされる4メガバールを超える技術開発を行う。同時にサブミクロンサイズの微細な領域の精密な構造解析と物性測定を広い温度圧力の範囲で同時に実現させ、超高压力下物性測定プラットフォームを確立させる。また、第一原理電子状態計算を用いたコンピュータ・シミュレーションは超高压下における物質の結晶構造・

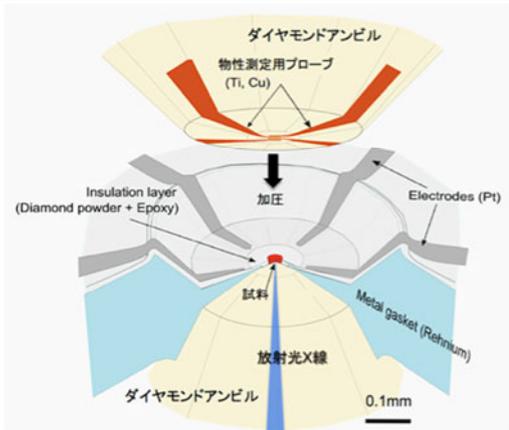


図1. メガバールプラットフォーム

物性の予測や解析において強力な手法となっている。上記のAおよびBにおいて、最新の計算手法を駆使して、圧力誘起相転移、安定構造圧力誘起超伝導転移等の物性において精密理論計算を行う。

【期待される成果と意義】

目標の1つとして挙げている金属水素の実現は、単に科学者の長年の夢をかなえるだけでなく、物質の存在形態に関する新しい科学的知見を与える。室温超伝導が実現できた場合のインパクトは計り知れない。メガバールの高圧力による新超伝導体の発見、機能性材料の創出や合成法の確立は、これまでの元素置換やドーピングなどといった操作による物質開発や機能探索の限界を打破して、超伝導をはじめ発電など省エネルギーにつながる高圧力における先駆的な成果は物質機能開発の基盤をなすと期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ K. Shimizu, "Elemental Superconductors" 100 years of Superconductivity 4-8, 278-282, CRC Press, Taylor & Francis (2011).
- ・ T. Matsuoka and K. Shimizu, Direct observation of a pressure-induced metal-to-semiconductor transition in lithium, Nature 458, 186-189 (2009).

【研究期間と研究経費】

平成26年度～30年度 359,500千円

【ホームページ等】

<http://hpr.stec.es.osaka-u.ac.jp>
shimizu@stec.es.osaka-u.ac.jp

【特別推進研究】

理工系（化学）



研究課題名 リピート結合分子をプローブとしたトリヌクレオチドリピート病の化学生物学研究

大阪大学・産業科学研究所・教授 **なかたに かずひこ**
中谷 和彦

研究課題番号：26000007 研究者番号：70237303

研究分野：ケミカルバイオロジー

キーワード：生体内機能発現、化学プローブ、遺伝子疾患、機能性 RNA

【研究の背景・目的】

脆弱X症候群、筋緊張性ジストロフィー、ハンチントン病などのトリヌクレオチドリピート病は、全ての人を持つ遺伝子中の三塩基が繰り返される配列（リピート配列）の異常な伸長を原因とする神経性遺伝子疾患です。現時点では完治する方法はありません。一方、リピートが伸長する程度と発症年齢・症状の重篤さが直接関連しているため、リピート伸長を抑制して未発症患者の発症を抑制することや、伸長したリピートを短縮することによる発症後の症状緩和等、生活の質（QOL）を改善する治療法開発が期待されています。

特別推進研究では、私たちが開発したトリヌクレオチドリピート配列に結合する低分子 NA、NCD を手掛かり（プローブ）としてこれら疾患の分子機構を再検討し、トリヌクレオチドリピート伸長とリピート RNA の機能を低分子で調節する化学を拓きます。この研究の先には、トリヌクレオチドリピート病の新しい治療法開発に有用な創薬リード化合物の創製を見据えています。

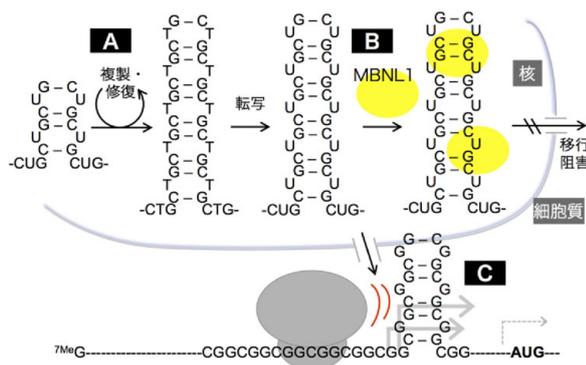


図1 トリヌクレオチドリピート病の発症に関わる3ステージ A) 複製・修復時の不安定化、B) Toxic RNA による核内蛋白質捕捉、C) RAN Translation

【研究の方法】

次に示す4つの課題を詳しく研究します。

1) リピート結合分子の性能向上と創製：広範囲の濃度で細胞系での実験を行えるように、細胞毒性を低減したリピート結合分子を創製します。

2) 結合分子のリピート不安定化誘導と分子機構の解明・短縮分子の探索：DNA リピートの伸長、短縮を誘導する分子機構を、試験管内と細胞内の実験系で詳しく調べます。

3) 結合分子による毒性の RNA (Toxic RNA) の捕

捉：リピート DNA から転写されて生じるリピート RNA が、細胞内でタンパク質 MBNL1 を捕捉することが知られています。細胞内でリピート RNA と MBNL1 の結合を低分子により阻害する可能性について調べます。

4) リピートが誘導する開始コドンに依存しない翻訳開始機構 (RAN Translation) の分子機構解明と低分子による調節原理の導出：プローブ分子を用いて、RAN Translation の分子機構を調べるとともに、低分子での調節が可能かどうかを明らかにします。

【期待される成果と意義】

脆弱 X 症候群による精神遅滞発症率は欧米で 1/4000 人 (男性) で、ダウン症について多い。また、ハンチントン病の有病率は 4~8/10 万人 (日本では 1/10 万人)、筋緊張性ジストロフィーの有病率は 5/10 万人です。いずれも遺伝子疾患であるために、根治療法はありません。本研究では、開発済みの NA や NCD、さらに新たに開発する結合分子をプローブとして、1) リピート伸長・短縮、2) toxic RNA、3) RAN translation などの「RNA 機能獲得」による発症機構を低分子で調節する化学原理を明らかにすることにより、リピート病の化学をさらに深く理解すると同時に、待ち望まれている生活の質を改善する治療法開発の端緒となることを目指しています。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Nakatani, K. et al. Small-molecule ligand induces nucleotide flipping in (CAG)_n trinucleotide repeats, *Nature Chemical Biology* **2005**, *1*, 39-43.
- Hagihara, M.; He, H.; Kimura, M.; Nakatani, K. A Small Molecule Regulates Hairpin Structures in d(CGG) Trinucleotide Repeats. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2012**, *22*, 2000-2003.

【研究期間と研究経費】

平成 26 年度 - 30 年度 303,400 千円

【ホームページ等】

<http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/rbc/>
nakatani@sanken.osaka-u.ac.jp

【特別推進研究】

理工系（化学）


研究課題名 ヒドロゲナーゼと光合成の融合によるエネルギー変換サイクルの創成

 九州大学・大学院工学研究院・教授 **おごう せいじ**
小江 誠司

研究課題番号：26000008 研究者番号：60290904

研究分野：化学

キーワード：ヒドロゲナーゼ、光合成、エネルギー

【研究の背景・目的】

持続可能な環境調和型社会の実現には、化石燃料に依存しないエネルギーシステムの構築が必須である。水素や水は、化石燃料に代わる新しいエネルギー源またはエネルギーキャリアーとしての利用が強く期待されている。自然界では、水素活性化酵素「ヒドロゲナーゼ」が水素からの電子抽出を触媒し、水活性化酵素「光化学系 II」が水からの電子抽出を触媒している。通常このような酵素は温和な環境下でその機能を発現し、過酷な環境下では失活する。しかし、地球上の過酷な環境に順応可能な強靱な菌体も存在し、そのような菌体中で機能する酵素は、強い外部刺激による破損を遺伝子レベルで修復する自己再生機構とともに、合目的化学修復機能も有している。酵素単体は化合物であり、一旦単離されると遺伝子レベルでの再生はできないが、酵素単体でも反応基質や反応生成物を用いて瞬時に活性中心を修復する化学的自己再生機構を有することが最近明らかになりつつある。

本研究では、化学（錯体化学、生化学、電気化学など）と農学（応用微生物学など）を基盤とし、自然界の過酷な条件で機能する酵素が持つ触媒再生・循環機能を分子レベルで解明し、その知見を基に工的手法による実用化に向けた革新的エネルギー変換技術の創成を行う。標的とする酵素は、水素活性化酵素「ヒドロゲナーゼ」と水活性化酵素「光化学系 II」である。これらの酵素の中にも過酷な環境下で機能を発現できるものがあり、優れた自己再生・循環サイクルによって、破損した箇所を瞬時に自己修復し、触媒能を保持している。最終的に目的とするエネルギー変換技術は、水素と水の活性化反応の自在制御であり、生体系を範としこれらの化学反応を連結して実用可能な応用技術へと昇華する。

【研究の方法】

水素と水を活性化する実用触媒の開発を目標とし、生体触媒開発（農学）、分子触媒開発（化学）、および実用触媒開発（電気化学、実用工学）の有機的連携により、本研究を遂行する。

生体触媒開発においては、過酷な環境下で生育する、新規ヒドロゲナーゼと新規光化学系 II を有する新規菌体を探索し、その特異な反応性の解明やゲノム解析を行う。新規菌体のゲノムに書き込まれた情報を読み取り、その設計図を理解することによって、

酵素が持つ触媒再生・循環機能を遺伝子レベルで理解する。

分子触媒開発においては、触媒再生・循環機能を有するヒドロゲナーゼと光化学系 II の特異的な構造と機能を範とし、それらの機能性モデル触媒を構築する。モデル触媒の立体的、電子的効果により、水素と水の活性化反応を熱力学的および速度論的に制御し、その反応メカニズムを分子レベルで精密に解明する。

実用触媒開発では、ヒドロゲナーゼと光化学系 II の機能性モデル触媒の実用化またはその橋渡しを目指し、モデル触媒の電気化学的特性評価やその実用触媒としての実証試験を行う。

【期待される成果と意義】

本研究は、環境調和型の最たる触媒である酵素の反応メカニズムを範とする水素と水の活性化に焦点を当て、生体触媒開発（農学）、分子触媒開発（化学）、実用触媒開発（電気化学、実用工学）の有機的融合で構築されている。この融合から期待される研究成果は、新規酵素の発見、環境負荷のかからない自然のメカニズムの解明、酵素の活性中心の人工モデル化による中心金属とその周辺配位構造の役割の解明、自然の環境調和型触媒を範とする人工実用触媒の開発である。これらの研究成果は、基礎科学として、高いインパクトがあり、さらにその成果を社会に還元することが可能な新しい発想の工業触媒の開発とそれに伴う技術革新を産業界に発信できるという意義がある。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- S. Ogo, K. Ichikawa, T. Kishima, T. Matsumoto, H. Nakai, K. Kusaka, T. Ohhara, *Science* **2013**, *339*, 682–684.
- S. Ogo, R. Kabe, K. Uehara, B. Kure, T. Nishimura, S. C. Menon, R. Harada, S. Fukuzumi, Y. Higuchi, T. Ohhara, T. Tamada, R. Kuroki, *Science* **2007**, *316*, 585–587.

【研究期間と研究経費】

平成 26 年度－30 年度 437,900 千円

【ホームページ等】

<http://web.cstm.kyushu-u.ac.jp/ogo/>
ogolab@mail.cstm.kyushu-u.ac.jp

【特別推進研究】

理工系（工学）



研究課題名 半導体モノリシック光波合成・任意ユニタリ変換光集積回路の創出

東京大学・大学院工学系研究科・教授 なかの よしあき
中野 義昭

研究課題番号：26000010 研究者番号：50183885

研究分野：オプトエレクトロニクス

キーワード：集積フォトニクス、半導体光デバイス、モノリシック光集積回路、インジウム燐

【研究の背景・目的】

光の位相を空間的に制御することで所望の光波面を合成する技術には、従来、空間光学系が用いられてきた。しかし、系全体が大きく、動作速度がミリ秒程度と遅くなってしまっていた。本研究では、代表者らがこれまで培ってきた半導体モノリシック光集積回路技術に依拠して、レーザ、光アンプ、光位相制御器、偏波制御器、光パワーモータなど、数百～数千の能動光素子をインジウムリン(InP)チップ上にモノリシックに集積したアダプティブ光波合成回路を創製する。さらに、より普遍的な多入力任意光ユニタリ変換回路へと拡張し、次世代光通信、光配線、医療／生体イメージング、光量子演算など、広範な応用分野への展開を目指す。

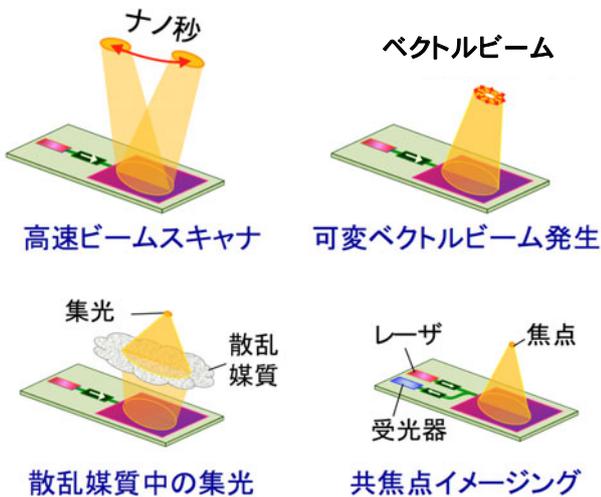


図1 アダプティブ光波合成回路の応用

【研究の方法】

InP系半導体を持つ非常に高効率なキャリア変調効果と電気光学効果を利用することで、ナノ秒以下の高速かつ低消費電力なアダプティブ光波合成を可能にする。また InP系レーザと光アンプをモノリシック集積することで、シリコンや石英ガラスなどのパッシブ材料系では実現困難な高出力化を達成する。さらに、光波合成チップの機能を拡張し、N個の直交した光モードを入力したときに、それぞれを所望の異なる光ビームに同時に変換する、つまり任意

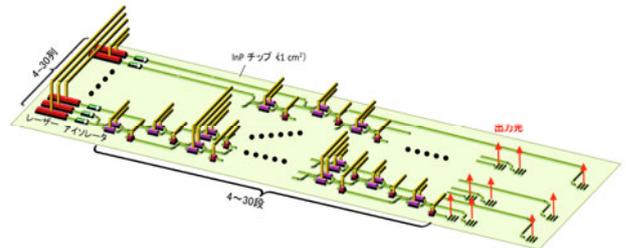


図2 任意光ユニタリ変換回路

のN次元直交基底間のN×Nユニタリ変換を行う光回路チップの開発を行う。集積導波路型2×2光カップラを多段に集積することで、1cm²以下の小さなチップ上でN≥10の大規模なユニタリ変換を実現する。

さらに、InP系小型光パワーモータを多数搭載することで、光カップラの結合比を高速に制御し、アダプティブな多入力任意光ユニタリ変換回路を世界で初めて実現する。

【期待される成果と意義】

光波合成回路は、ナノ秒以下の高速ビームスキャンを可能にするため、大規模サーバやパソコン間、ボード間、チップ間のリコンフィギュラブル光配線に直接応用でき、IT機器の消費電力を大幅に削減する。また、散乱媒質中の3次元光イメージングが安価に実現できるため、医療／バイオ／環境センシング分野においても革新をもたらす。

一方、多入力任意光ユニタリ変換回路は、次世代大容量光通信方式として期待されるモード多重光通信リンクの送受信回路にそのまま適用できる。さらに、究極的な感度を持つ光計測や光量子演算への応用も期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ T. Tanemura, Y. Nakano, et al., “Integrated phased-array switches for large-scale photonic routing on chip,” Laser & Photonics Reviews, Wiley-VCH, vol. 6, no. 4, pp. 549-563, July 2012.

【研究期間と研究経費】

平成26年度～30年度 434,000千円

【ホームページ等】

<http://www.ee.t.u-tokyo.ac.jp/~nakano/lab/nakano@ee.t.u-tokyo.ac.jp>

【特別推進研究】

理工系（工学）

研究課題名 金属ナノ粒子による細胞内分子イメージング



大阪大学・大学院工学研究科・教授 **かわた さとし**
河田 聡

研究課題番号：2600011 研究者番号：30144439

研究分野：ナノフォトニクス

キーワード：ナノフォトニクス、プラズモニクス、ナノイメージング、バイオイメージング

【研究の背景・目的】

マテリアルサイエンス、バイオサイエンス、有機化学、電子デバイスなどの分野において、物質をナノレベルで画像観察し物質識別・分析する技術の重要度は増えています。

電子顕微鏡を用いて原子レベルで構造を観察することが可能となりましたが、生体観察においては、試料を真空中に入れる必要があること、試料をスライスする必要があること、電子ビームによる試料へのダメージが大きいことなどの弱点があります。走査トンネル顕微鏡や原子間力顕微鏡は、試料の表面の高さを測定に限られ、物質分析が困難であることなど、試料に対して制約があります。一方、光学顕微鏡、特にレーザー走査顕微鏡は、3次元試料の内部構造を観察できること、光のエネルギーが低いため試料へのダメージが少ないこと、大気中、水中で観察できることなどの利点があり、広く使われています。しかしながら、光学顕微鏡は光の波長が長いためナノレベルの構造を観察できませんでした。

研究代表者は、光学顕微鏡の空間分解能の限界を破る方法として、表面プラズモンポラリトンを活用した近接場顕微鏡を発明しました。この顕微鏡は、物質分析が行えるという光の利点を生かしたまま、ナノレベルでのイメージングを行えます。しかし、近接場顕微鏡は金属探針を使うため、試料の表面しか観察できず、生きた細胞のような試料の内部構造を観察することはできませんでした。また、近年、超解像顕微鏡と呼ばれる高解像度の光学顕微鏡が登場していますが、観察対象は蛍光物質に限られ、試料の分光分析は不可能です。

本研究では、最先端光学顕微鏡における上記2点の欠点を解決する「3次元・ナノ・分析・光学」顕微鏡を開発することを目的としています。

【研究の方法】

本研究では、細胞の表面ではなく内部をナノスケールの空間分解能で観察できる顕微鏡を開発します。原理的には金属ナノ粒子をプローブとして用い、それを細胞内に導入し、走査します。細胞内部に導入した金属ナノ粒子を、細胞内の分子分析や環境モニタリングを行う、ナノ内視鏡として活用します。

研究代表者らがこれまで培ってきた、プラズモニクス、非線形分光光学、一分子計測の発想を加え、細胞内を高い空間分解能かつ、分光分析する手法の確立を目指します。

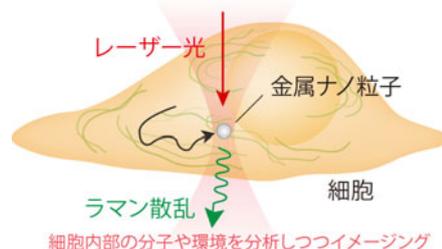


図1 金属ナノ粒子を用いた細胞内分析イメージング

【期待される成果と意義】

本研究を通して、金属ナノ構造と光との相互作用、および金属表面での分子の振る舞いのより深い理解が進み、それを利用した新しい光計測技術の開発が期待されます。

開発する技術は、細胞内部の3次元構造を非常に細かく把握しつつ、その物理的、または化学的変化も同時に捉えることを可能とします。それにより、ダイナミックな細胞内の構造変化や運動を、周囲の物理的、化学的な環境変化とともに捉えることが可能になり、外部からの刺激（例えば、薬剤投与）が細胞内に与える影響をより詳細に計測することができます。これらの情報は、疾患機序や薬効の理解を助け、また、それらを試験管内で再現するための条件を与え、治療や創薬に大きく貢献すると期待しています。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Yano et al., Nat. Commun., **4**, 2592 (2013).
- Palonpon et al., Nat. Protoc., **8**, 677 (2013).
- Okada et al., PNAS, **109**, 28 (2012).
- Ando et al., Nano Lett., **11**, 5344 (2011).
- Yano et al., Nat. Photon., **3**, 473 (2009).

【研究期間と研究経費】

平成26年度－30年度 401,600千円

【ホームページ等】

<http://lasie.ap.eng.osaka-u.ac.jp/>