

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 高エネルギーガンマ線による極限宇宙の研究

てしま まさひろ
手嶋 政廣
東京大学・宇宙線研究所・教授

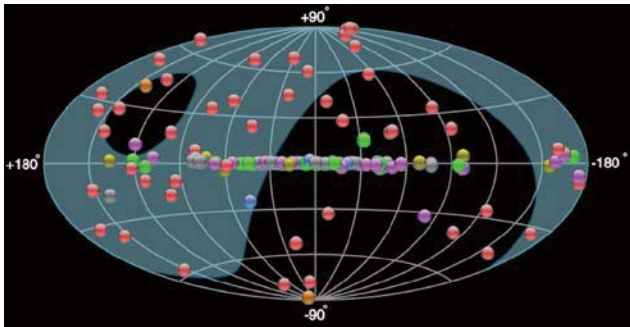
研究分野：宇宙・素粒子物理、ガンマ線天文学

キーワード：宇宙線（実験）、宇宙物理（実験）

【研究の背景・目的】

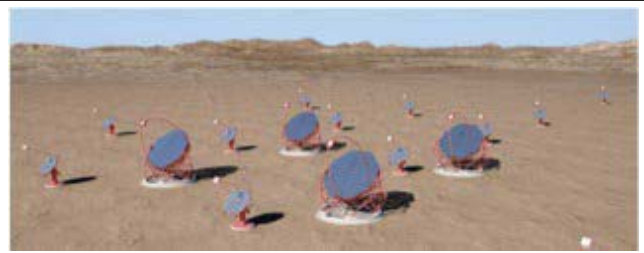
宇宙は様々な高エネルギー現象に満ちている。それらの中には短時間の激しい時間変動を示すものやバースト的な爆発現象もある。近年、宇宙を見る人類の目は、衛星による GeV 領域ガンマ線、さらに地上望遠鏡による TeV 領域ガンマ線へと拡がり、激しく極限状態にある宇宙の姿が明らかになってきた。TeV ガンマ線は現在、電波からガンマ線に至る電磁波を用いた人類の宇宙観測の高エネルギー側のフロンティアであり、天文学、宇宙物理学にとって欠くことのできない重要な分野として成長してきた。

近年、地上でチェレンコフ望遠鏡を使い TeV 領域ガンマ線を観測する技術が確立し、新しい世代のチェレンコフ望遠鏡 MAGIC, HESS, VERITAS により、多種、多様な高エネルギーガンマ線源が銀河系内、銀河系外に 150 以上発見され（下図参照）、宇宙線の起源、宇宙での非熱的過程、活動銀河の相対論的ジェット、銀河間空間を満たす可視・赤外領域背景放射等の問題等が徐々に解き明かされつつある。



【研究の方法】

本研究計画では、MAGIC チェレンコフ望遠鏡 (50GeV-10TeV) と Fermi ガンマ線衛星 (100MeV-100GeV) を使い、5 桁にわたる広帯域 (100MeV-10TeV) で、銀河系内外の多くの極限的な天体を観測し、宇宙線加速、ガンマ線放射の現場を今までに無い精度で捉える。宇宙線の起源を解明し、そのグローバルピクチャーを得ることを目的とする。さらに、高エネルギーガンマ線天文学の将来へむけ、CTA 計画 (大規模チェレンコフ望遠鏡計画、右上図を参照) の準備研究として、CTA 23m 大口径チェレンコフ望遠鏡プロトタイプを欧州グループと共同で建設し、高エネルギーガンマ線による観測領域を深宇宙 ($z < 3$) まで拡げる。



【期待される成果と意義】

銀河内の主要な超新星残骸、銀河中心領域の大規模構造を観測し、銀河宇宙線の起源を明らかにする。また、銀河系外の活動銀河核の観測例を格段と増やすとともに、ガンマ線バーストの超高エネルギー領域での初観測を行い、最高エネルギー領域まで延びる宇宙線の起源を明らかにする。

また、遠方の活動銀河核、ガンマ線バーストから飛来するガンマ線の吸収を精密に測定し、可視・赤外背景放射のエネルギー密度を求め、宇宙初期における星形成史、宇宙の構造形成史に関して重要な情報をえる。さらには、銀河中心、我々の天の川銀河周辺の矮小楕円銀河を深く観測し宇宙に存在する暗黒物質の対消滅からのガンマ線放射を探索する。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Very high energy gamma rays from a distant Quasar: How transparent is the Universe?, MAGIC Collaboration (J.Albert, M.Teshima et al.), Science 320 (2008) 1752.
- Design Concepts for the Cherenkov Telescope Array, CTA Consortium (M.Actis, M.Teshima et al.), Exp. Astronomy 32 (2011) 193-316.
- 超高エネルギーガンマ線天文学の現状と将来、手嶋政廣著、天文月報、2011年7月号

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度 - 28 年度
405,000 千円

【ホームページ等】

<http://www.cta-observatory.jp>
<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/~mteshima/>
mteshima@icrr.u-tokyo.ac.jp

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 地球中心核の物質と進化の解明

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

ひろせ けい
廣瀬 敬

研究分野：数物系科学

キーワード：内部変動・物性、元素分別濃集過程、鉱物物理

【研究の背景・目的】

本研究は、地球の中心部を構成する金属コアに関する高圧実験に主眼を置き、その構造、起源や進化を解明しようとしている。地球コア物質の理解は、マントル物質のそれに比べ、大きく遅れている。その理由として、コアの超高压・超高温状態を実験室で実現することがこれまで不可能だったこと、コアの大部分が液体であり実験が比較的困難であることが挙げられる。

そこで本研究では、研究代表者らがこれまで培って来た、世界をリードする超高压・超高温発生技術と高压下の物性測定技術を用いて、液体/固体の鉄と鉄化合物に関する実験を行い、音速、密度、結晶構造、元素分配、融解温度、熱伝導率などを測定する。これらの測定結果を地震学的な観測結果と比較することにより、コアの化学組成を強く制約する。また、コアのダイナミクス、熱的・化学的進化、マントルとの相互作用などを明らかにする。

【研究の方法】

本研究では、レーザー加熱式のダイヤモンドアンビルセル(DAC) (図1)を用いた高圧実験が主となる。同装置を用いた静的圧縮実験によって、現在すでに地球中心の圧力温度(365万気圧、~6000ケルビン)を上回る極限環境での物性測定が可能である。測定は主に大型放射光施設 SPring-8 にて行う。ビームライン BL35XU ではX線非弾性散乱法により、液体鉄合金の縦波速度を高圧高温下で決定する。また BL10XU ではX線回折法やX線透過率法を用いて、結晶構造や密度を測定する。さらに、X線をナノビーム化することによって、状態図、融解温度、状態方程式などを高精度で決定する。状態図の作成には、電子顕微鏡による回収試料の化学組成分析も必要である。



図1 DAC 超高压発生装置

【期待される成果と意義】

地球コアの状態や進化を明らかにするには、コア物質の音速、結晶構造、状態図、熱伝導率、マントル物質との元素分配などの物性を知る必要がある。

しかしこれらの多くは、コアの圧力よりもずっと低い圧力下で行われた実験結果から推定されてきたに過ぎない。本研究でコア物質の有力候補とされる鉄合金の物性測定を超高压下で行うことにより、コアに関する理解が大きく進むと期待される。また、特に外核(液体コア)については、その化学組成をはじめとして不明な点が多い(図2)。本研究では高压下における液体鉄合金の物性測定にチャレンジし、コアに含まれる軽元素の特定を目指す。これは60年間も議論が続いているテーマであり、深部地球科学の最も重要な課題のひとつである。コアの化学組成は地球の成り立ちやコアの形成プロセスを強く反映しているため、それが解明されれば、惑星形成論にも大きな影響を及ぼすだろう。

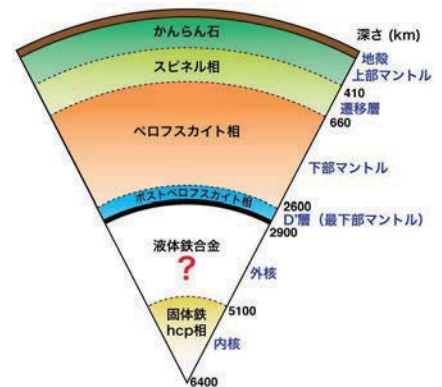


図2 地球内部の層構造と主要鉱物の変化

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Tateno, S., Hirose, K., Ohishi, Y., Tatsumi, Y., The structure of iron in Earth's inner core, Science, 330, 359-361 (2010).
- Ozawa, H., Takahashi, F., Hirose, K., Ohishi, Y., Hirao, N., Phase transition in FeO and stratification in Earth's outer core, Science, 334, 792-794 (2011).

【研究期間と研究経費】

平成24年度-28年度
375,000千円

【ホームページ等】

<http://www.geo.titech.ac.jp/lab/hirose/home.html>

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 物質構造科学の新展開：
フェムト秒時間分解原子イメージング

大阪大学・産業科学研究所・教授 たにむら かつみ
谷村 克己

研究分野：固体物理学、物質構造科学

キーワード：光物性、光誘起相転移、超短時間分光

【研究の背景・目的】

分子、生体物質、凝縮系を問わず、物質の機能はその構造と密接不可分の関係にあり、構造制御を通じた新規機能の開拓と創製は、物質科学研究の最大の目的の一つである。20世紀において物質構造科学研究は大きく発展した。平衡状態における分子・固体の構造（核配置）が顕微鏡手法によって原子レベルの分解能で解明される一方、分光学的手法を駆使して物質の非平衡過程における物性解明が大きく進展し、構造変化現象が原子移動の限界時間領域（ $>10^{-13}$ 秒）で獲得できるまでに至っている。

今世紀に入り、構造科学研究は更に大きな飛躍への幕を開けた。物質機能の根源的理解の基礎を提供する構造決定が「平衡条件下でのみ実現可能」という20世紀の限界が打破され、超高速で変化する非平衡過程における物質構造が時間分解的に決定可能な段階に突入しつつある。人類の物質認識のレベルが大きく革新されようとしている。本研究は、この物質構造科学の一大転換期に、世界に先駆けて、非可逆過程にも適応可能な 10^{-13} 秒の時間分解能を有する時間分解原子イメージング手法を開発し、それを駆使した研究を推進して、物質構造科学の展開に新たなブレークスルーを切り拓く。

【研究の方法】

非平衡過程における物質構造とその変化の超高速原子イメージングを実現する為に、図1に示す我々が開発した 10^{-13} 秒の時間分解能を有する世界最高性能の透過電子回折装置を、原子レベル（1Å）の空間分解能を併せ持つ、単一パルスで原子イメージングが可能な時間分解電子顕微鏡に転生させる。



図1 フェムト秒時間分解電子回折装置

そして、この装置を駆使して、固体の光励起下で発生する、①空間的に非一様な協力的相互作用が顕在化する光誘起構造相転移における核形成・ドメイン動力学・新規秩序形成過程、②電子系高密度励起物質（warm dense matter）における超高速構造秩序変遷過程、③フォトクロミック有機結晶における分子異性化反応過程、等に対して研究を展開し、多体系の構造動力学を直接的知見に基づいて微視的に解明する。

更に、これらの実験的研究とともに、非平衡・非断熱的な構造変遷過程に対して、先端的手法を用いた理論的研究を推進し、統一的理解を確立する。

【期待される成果と意義】

本装置の実現と研究の展開によって、回折像から得られる周期的格子情報（運動量空間情報）とともに、個々の原子の実空間での変位に関する知見が時間分解的に直接獲得され、構造変化の動力的知見が革新する。本装置の single-shot 測定能力は、非可逆相転移過程や固体分子化学反応の構造動力学に対する超高速原子イメージングを可能にすると共に、物質との強い相互作用という電子の特徴を最大限に生かして、気相における単一分子のイメージングの実現をはじめ、気相中分子の光化学反応過程の時間・空間分解直接観察の実現に大きく道を拓くなど、励起物質系の超高速構造動力学研究を、質的に新たな段階に突入させる。本研究を徹底して推し進め、分子科学・生物学・材料科学などの広い学問領域を横断する超高速構造科学研究における新たなブレークスルーを切り拓く。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Y. Murooka et al., Appl. Phys. Lett. **98**, 251903 (2011)
- J. Kanasaki et al., Phys. Rev. Lett. **102**, 087402 (2009).
- A. H. Zewail, Science, **328**, 187 (2010).

【研究期間と研究経費】

平成24年度～28年度
302,500千円

【ホームページ等】

<http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/aem/Projects.html>

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 ヘリウム表面における新奇量子現象 —マヨラナ状態の検証

理化学研究所・基幹研究所・主任研究員 **河野 公俊** (こうの きみとし)

研究分野：数物系科学

キーワード：超低温・量子凝縮系

【研究の背景・目的】

2次元電子系やイオンなどを用いて、ヘリウム自由表面に生じるユニークな量子現象について、独創的な研究を行ってきた。この成果をもとに、研究をより一層深化させ、ヘリウム表面における真に新しい量子現象を探求する。

とりわけ、超流動ヘリウム 3 自由表面に存在することが理論的に予言された表面束縛状態のマヨラナ性を、理想的な条件のもとで検証することと、ヘリウム表面上 2 次元電子系で発見した、表面準位間マイクロ波吸収励起に伴う磁気抵抗消失現象の機構解明とその単電子量子ビットへの応用を具体的な目的とする。ここで、「マヨラナ」は粒子と反粒子が区別できない理論上のフェルミ粒子の呼称に由来する。

【研究の方法】

超流動³Heの表面束縛状態がマヨラナであるための前提条件は³He原子が境界で鏡面的に反射されることであり、自由表面で最も理想的に満足される。その存在の決定的証拠は、顕著な磁気異方性であり、磁気共鳴（電子スピン共鳴(ESR)）によって、スピン緩和率の異方性を測定することが提案された。

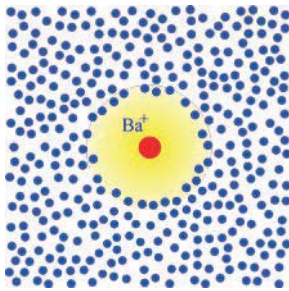


図1 He中のBaイオン

本計画では、スピン緩和率の測定に、ヘリウム中のBaイオンの光ポンピングという実験手法を提案する。BaイオンはHe中で空洞を作り、高い光学活性を維持する（図1）。表面近傍に制御して導入することができ、表面状態の高感度な検出が期待される。

一方、マイクロ波誘起磁気抵抗消失現象の研究では、100~200GHz周波数帯のマイクロ波を希釈冷凍機に導入し、同時にヘリウム液面電子の伝導度測定を行うという、我々が独自に開発した方法を用いる。

さらに、ヘリウム表面近傍に束縛したイオンの伝導度測定から、超流動³Heの表面近傍での顕著な異方性効果を探求する。

【期待される成果と意義】

マヨラナ粒子は理論的に予言されているが、いまだ発見されていない、謎めいた素粒子である。それと物理的に等価な現象が超流動³Heで発見されれば、学界に大きな衝撃を与える。

マイクロ波励起磁気抵抗消失現象（図2）は非平衡・非線形現象の典型である可能性が高まり、いわゆる散逸構造と深く関連していることが期待される。極めて清浄で単純な量子多体系における現象を解明することによって、普遍的な理解が進むものと期待される。

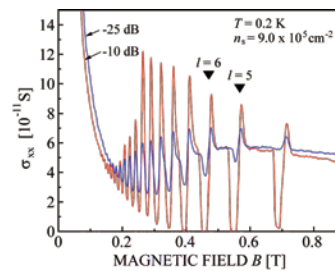


図2 マイクロ波誘起磁気抵抗消失

超流動³Heは、相転移に伴う自発的な対称性の破れの典型であり、これを理解することは、我々の宇宙の成り立ちを理解することにつながる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- S. B. Chung and S.-C. Zhang: “Detecting the Majorana Fermion Surface State of ³He-B through Spin Relaxation”, Phys. Rev. Lett. **103**, 235301 (2009).
- D. Konstantinov and K. Kono: “Detecting the Majorana Fermion Surface State of ³He-B through Spin Relaxation”, Phys. Rev. Lett. **105**, 226801 (2010).

【研究期間と研究経費】

平成24年度—28年度
203,000千円

【ホームページ等】

<http://lt.riken.jp>
kkono@riken.jp

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 反水素の超微細遷移と反陽子の磁気モーメント

理化学研究所・基幹研究所・上席研究員
 やまざきやすのり
 山崎 泰規

研究分野：物理学（原子・分子・量子エレクトロニクス）

キーワード：CPT 対称性、反水素、反陽子、磁気モーメント

【研究の背景・目的】

CPT 対称性（C:荷電共役変換、P:空間反転、T:時間反転）は、現代物理学において最も基本的だと考えられている対称性である。ところで、P や CP は、それぞれ保存すると信じられていたにもかかわらず、いずれも破れていることが順次明らかになり、現在に至っている。その意味で、CPT 対称性は最後に残された対称性の砦となっている。さらに、137 億年前のビッグバンでは物質と反物質が同じ数生成されたと考えられているが、我々の宇宙は物質のみからなっており、反物質は残されていないように見える。このようなアンバランスがなぜ起こったかという根元的な問題は未だ謎のままである。本研究では、反物質の代表格である反水素原子（陽子の反粒子である反陽子と電子の反粒子である陽電子が結合したものを）を合成し、その性質を水素原子と比較することで、最も基本的な物理法則である CPT 対称性をテストすることを目的とする。

【研究の方法】

CPT 対称であると、物質とそれに対応する反物質は、質量、電荷の絶対値、磁気モーメントの絶対値、寿命等様々な物理量が正確に一致する。そこでこれらの物理量を反物質について測定し、これを対応する物質と高い精度で比較する。我々は特に、反陽子の磁気モーメントに注目している。これは、磁気モーメントが、(1)これまで三桁の精度でしか知られておらず、質量、電荷などに比べて百万倍ほど精度が悪いこと、(2)CPT 対称性の破れに対する感度の高いことが拡張標準理論と呼ばれる枠組みから予想されていること、などの理由による。

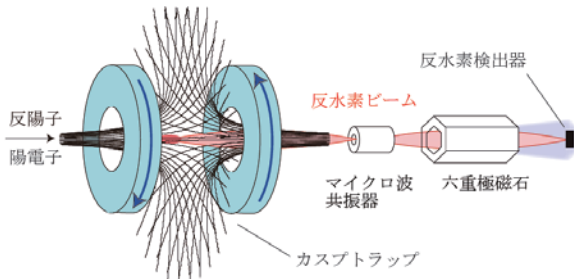


図1 偏極冷反水素ビーム合成装置とマイクロ波分光

そこで、極低温のspin偏極した反水素ビームを生成し、マイクロ波分光することで、その超微細遷

移周波数を六桁程度以上の高精度で決定する。同時併行して一様高磁場中に裸の反陽子を一個捕捉し、そのスピントリップ周波数をやはり六桁以上の精度で決定する。両者を比較することで磁気モーメントばかりでなく、反陽子内部の磁化分布に関する情報を世界ではじめて得る。

【期待される成果と意義】

偏極冷反水素ビームの生成は、既にそれ自体で反物質研究におけるエポックメイキングな成果である。反水素のマイクロ波分光、超微細遷移周波数の高精度決定、単一反陽子の一様磁場中でのスピントリップ周波数の高精度測定と磁気モーメントの決定、いずれも、これまで実現されたことがなく、各ステップが社会的にもインパクトの大きな研究成果になると考えている。以上の研究を通じ、磁気モーメントに関わる CPT 対称性がこれまでより千倍から百万倍高い精度でテストされる。さらに、反陽子内磁化分布についての情報もはじめて得られる。もし僅かでも反陽子（反水素）と陽子（水素）の間に違いが確認されれば、これは CPT 対称性の破れを実験的に示すはじめての例となり、物理学の基礎理論を大幅に書き換える必要がでてくる。我々の世界理解にも根元的な認識の変更を迫るものとなる。その影響は計り知れない。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Y. Enomoto, et al., “Synthesis of Cold Antihydrogen in a Cusp Trap”, Phys.Rev.Lett. 105 (2010) 243401(1-4).
- S. Ulmer, et al., ”Direct Measurement of the Free Cyclotron Frequency of a Single Particle in a Penning Trap”, Phys. Rev. Lett. 107, 103002 (2011)

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
 269,000 千円

【ホームページ等】

<http://www.riken.jp/ap/indexj.html>
<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/>
<http://www.riken.jp/lab/ulmeriru/yasunori@riken.jp>

【特別推進研究】

理工系（化学）



研究課題名 自己組織化による単結晶性空間の構築と擬似溶液反応

東京大学・大学院工学系研究科・教授
ふじた まこと
藤田 誠

研究分野：錯体化学、有機化学

キーワード：自己組織化、細孔性単結晶

【研究の背景・目的】

溶液化学では、自己組織化を駆動力として組み上がる中空錯体が分子認識を始めとした特異反応の誘起や不安定化学種の安定包接など様々な機能を発現することが見出されている。このような性質は、一般に分子が自由に動き回ることができる溶液中だけのものとして考えられてきた。しかし、中空錯体分子をネットワーク化し、単結晶の中に溶液と同じ流動性を持った分子空間を構築すると、結晶の中でさえも高度な分子認識が起こることが最近の研究から分かってきた。固相（結晶）での化学は、溶液化学に比して反応の多様性や分子デザインの柔軟性において劣る部分が多かったが、分子が構築する空間を介して溶液化学をそのまま転写できれば、溶液系で蓄積された知見をもとに、これまでに類を見ない精密に分子設計された固相の化学が実現できると考えられる。

本研究では、溶液系で開発した中空ホスト錯体を無限配列させ高度な分子認識空間を有する配位結合ネットワーク単結晶を構築し、この結晶内空間の化学を通して溶液化学と固相化学を統合することを目的とする。

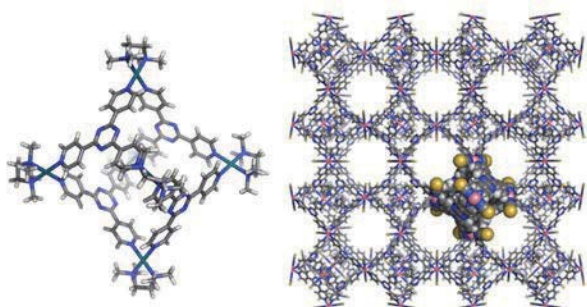


図1 溶液ケージ(左)と結晶ケージ(右)の構造。相が違って空間が示す性質は保持されている。

【研究の方法】

これまでに溶液化学で開発してきた自己組織化中空錯体を金属イオンでネットワーク化することで、強い分子認識能を持った細孔性単結晶(結晶ホスト)を構築する。この結晶ホスト内の反応開発は、まず同様の分子空間を有する溶液ホストを用いて均一系で行う。溶液化学のメリットである精密な分子設計を活かして反応場の最適化をしたところで、その反応を単結晶内へと転写する。この”急がば回れ”の戦略

で、固相(不均一系)でありながら、均一系を凌ぐほどの反応の精密設計を可能にする。

また、単結晶中の反応の解析には最も優れた構造決定手段であるX線単結晶構造解析を用いることで、反応中間体の決定や未知の反応メカニズムの解明に挑戦する。この固相で得られる詳細な構造情報を再び溶液反応へとフィードバックすることで液から固、固から液への情報転写を行い、さらなる性能向上へ展開する。

【期待される成果と意義】

本研究では、結晶内の流動的な擬似溶液空間(マクロには固相、ミクロでは液相)という新しい反応媒体を活用することで、これまでにない科学技術の新しい流れを生み出すと期待される。この固相と液相の統合により生まれる新しい研究分野は、実用化に極めて有利な不均一系の反応を溶液化学の柔軟性を持って開拓することができるという他にはない特徴を有している。ここで得られる研究成果は、溶液(均一系)から固相(不均一系)へのパラダイムシフトをもたらすと期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- [1] "Crystalline molecular flasks" Y. Inokuma, M. Kawano, M. Fujita, *Nat. Chem.* **2011**, 3, 349-358.
- [2] "Networked molecular cages as crystalline sponges for fullerenes and other guests" Y. Inokuma, T. Arai, M. Fujita, *Nat. Chem.* **2010**, 2, 780-783.
- [3] "X-ray observation of a transient hemiaminal trapped in a porous network" T. Kawamichi, T. Haneda, M. Kawano, M. Fujita, *Nature* **2009**, 461, 633-635.

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度 - 28 年度
304,500 千円

【ホームページ等】

<http://fujitalab.t.u-tokyo.ac.jp/>
mfujita@appchem.t.u-tokyo.ac.jp

【特別推進研究】

理工系（化学）



研究課題名 細胞外電子移動を基軸とした生体電子移動論の開拓

東京大学・大学院工学系研究科・教授 はしもとかずひと
橋本 和仁

研究分野：物理化学

キーワード：細胞外電子移動、代謝経路制御、微生物エネルギー変換

【研究の背景・目的】

生体電子移動は呼吸や光合成など生体系におけるエネルギー変換において本質的な役割を果たしている。このエネルギー変換の舞台である生体電子移動においては数多くの酸化還元タンパク質が活躍している。これまでその重要性から、人工的に構築した2分子系、3分子系や単離したタンパク質を用いて、数多くの生体電子移動に関する研究がなされているが、人工分子系や単離タンパク質と生体内電子伝達系は、理解・制御・効率の観点から大きく乖離している。また、これらをそのまま模倣しようとした研究は多いが、これまでのところ成功していない。

我々は、これらとは全く違った発想、つまり生命活動を営んでいる生物そのものを観測・制御・効率化することでエネルギー変換を可能にする「自然界のアプローチ」が必要となると考えるに至った。そのような発想を具現化するのが鉄還元細菌の一種である *Shewanella* であり、*Shewanella* が示す細胞外電子移動である。すなわち、「微生物の呼吸活動の結果として排出される電子を、効率よく外部に取り出す手法を追究すれば、微生物が持つ優れた機能を取り込んだ新しい機能性材料の開発につながる」という考え方である。その実現に向けては、細胞外電子移動を分子レベルで深く理解すること、さらには「生物固有のフレキシブルな外部環境応答」を物理化学的、特に生体電子移動論の視点より解明することが不可欠であるとの認識に至り、本研究領域課題を提案するに至った。

【研究の方法】

微生物/電極間の細胞外電子伝達を切り口とすることで、複雑系生体電子の観測・制御・効率化を行う。特に、その鍵プロセスとなる代謝電子伝達経路ならびに遺伝子発現様式の切り替えに代表される生物固有のフレキシブルな外部環境応答を物理化学的、特に生体（光）電子移動論の視点より明らかにする。

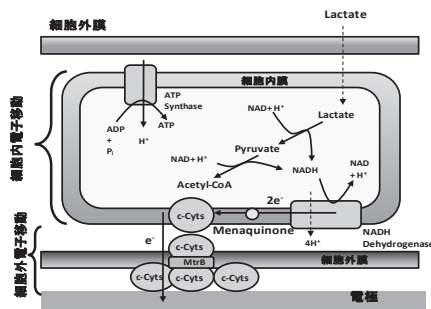


図1. 細胞外電子移動の模式図

【期待される成果と意義】

本課題を遂行することにより、「細胞外電子移動学」とも呼ぶべき新たな学理が構築されるであろう。その結果、生命活動の本質である呼吸に関与する電子伝達ダイナミクスが明らかになるであろう。さらには、生体固有のフレキシブルな外部認識・外部適応メカニズムを電子移動論という新たな切り口で捉えることが可能となり、それらの物理化学的な理解が飛躍的に深まることが期待される。一方で、細胞外電子移動は、微生物を介した化学-電気エネルギー変換系の本質である。また自然界においては、微生物は酸化鉄や硫化鉄などの鉱物材料を利用して細胞外電子移動を行い、グローバルな物質・エネルギー循環においても重要な役割を果たしており、自然界における共生生態系の理解や生命起源の神秘にも繋がる概念でもある。したがって、細胞外電子移動の本質を物理化学的観点から深く理解することは、複雑系生体電子論とも呼ぶべき新たな学術領域の開拓だけに止まらず、微生物学、環境工学、そして地球科学分野においても本質となる研究課題であるといえるであろう。

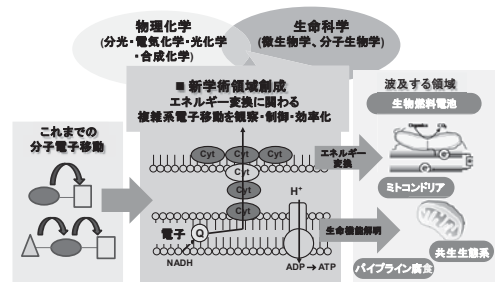


図2. 本提案課題の方向性を示す概念図

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Angew.Chem.Int.Ed, 2011, 50, 9137.
- Chem.Commun. 2011, 47, 3870.
- Angew.Chem.Int.Ed, 2010, 49, 6596.
- Angew.Chem.Int.Ed, 2010, 49, 7692.
- ChemBioChem. 2010, 11, 643.
- Angew.Chem.Int.Ed, 2009, 48, 1606.
- Angew.Chem.Int.Ed, 2009, 48, 508.

【研究期間と研究経費】

平成24年度-28年度
394,500千円

【特別推進研究】

理工系（工学）



研究課題名 ナノ空間インターフェイスのバイオデザイン

東北大学・大学院工学研究科・教授 くまがい いずみ
熊谷 泉

研究分野：生物機能、バイオプロセス

キーワード：生物機能工学

【研究の背景・目的】

近年におけるナノ・分子レベルでのマニピュレーションの達成は、正確な生体分子間・細胞間接合やナノ素材からのボトムアップ構造化を期待させる。その中で我々は、ナノ領域での接合設計にはバイオ分子の特異的分子認識の利用が最も有効であると考え、細胞表面、タンパク質表面、有機分子表面、無機材料表面を特異的な分子認識場としてとらえ、バイオ分子の人工選択を通じて、その相互作用の精密解析に成功してきた。

本研究では、バイオ分子の中で機能デザインが進んでいるタンパク質の抗体分子に着目し、その機能抗体断片を構成要素として接合対象素材によらず素材間をナノレベルで正確に接合・アセンブリ制御できるバイオインターフェイス分子を創出するプラットフォーム技術を開発する。そして、分子立体構造解析と詳細な物理化学的機能解析から裏付けされた、架橋分子の立体構造と接合による機能発現の相関を知識構造化することによって、細胞・工学ナノ材料が提供する様々なソフト・ハード界面に応じた接合設計を迅速に適応・進化できるナノ空間インターフェイス分子をバイオデザインする。

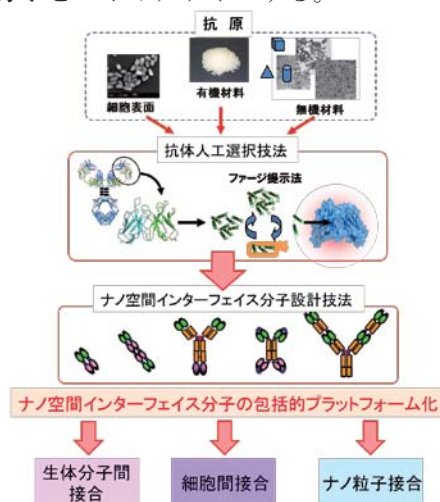


図 1. 抗体分子を利用したナノ空間インターフェイス分子のバイオデザイン

【研究の方法】

本研究では、抗体分子のがん免疫療法とナノ工学材料への高度利用を目標として、ソフト界面のがん細胞とリンパ球表面に特異的な抗体断片やハード界

面のナノ工学材料に高親和な抗体断片の取得を人工選択系により取得する。そして、ドメイン組換え融合による人工分子形態を設計し、目的素材間をナノレベルで効果的に接合できるナノ空間インターフェイス分子を作製する。作製したインターフェイス分子は構造・機能を解析し、分子の架橋構造・機能データから細胞・ナノ素材の機能発現を誘発する要因を見出し、接合対象素材によらず目的素材間をナノレベルで効果的に接合できるナノ空間インターフェイス分子を作製する技術を開発する。

【期待される成果と意義】

タンパク質・細胞・ナノ工学材料を正確にトラップし接合できる分子は医薬・再生医療・ナノテク開発分野において重要であるが、各々の分野で独自の開発研究が行われている。その中で、我々は、有機低分子から細胞表面抗原や無機ナノ材料表面まで幅広い抗原に対応したファージ選択技術を世界に先駆けて開発した。本研究では、抗体分子はあらゆる素材間を架橋する分野横断的なナノ世界の「糊」として活躍し得る接合素子であることを立証する。この立証は、この接合素子開発プロセスがあらゆる分野で利用できるプラットフォーム技術となることを意味し、今後の細胞・ナノテクノロジーにおいて重要な単位操作の開発時間・コストが大幅に合理化されることが期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- 1) R. Asano, M. Umetsu, I. Kumagai et al., Cytotoxic enhancement of a bispecific diabody by format conversion to tandem single-chain variable fragment (taFv), *J. Biol. Chem.*, **286**, 1812 (2011).
- 2) T. Hattori, M. Umetsu, Izumi Kumagai et al., High affinity anti-inorganic material antibody generation by integrating graft and evolution technologies, *J. Biol. Chem.*, **285**, 7784 (2010)

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
400,000 千円

【ホームページ等】

<http://www.che.tohoku.ac.jp/~kuma/index.htm>

【特別推進研究】

理工系（工学）



研究課題名 神経ダイナミクスから社会的相互作用に至る過程の理解と構築による構成的発達科学

大阪大学・大学院工学研究科・教授 あさだ みのる
浅田 稔

研究分野：総合領域

キーワード：脳身体発達の大規模シミュレーション、筋骨格ロボット、脳イメージング、心理実験

【研究の背景・目的】

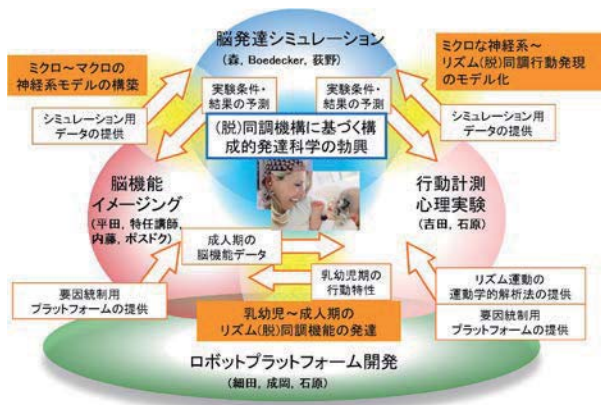
ニューロンレベルのミクロな活動がいかに人間レベルのマクロな行動に反映されるかは分野を超えたビッグミステリーだが、理解の程度が既存分野の域に留まっている現状がある。すなわち、医学や神経科学では微細な構造の説明に終始しがちで他者とのやりとりのようなマクロな構造に関する知見は少なく、また逆に認知科学や発達心理では行動観察が主であり、内部のメカニズムの説明に至りにくい。全体像を把握するには、学際融合が必須である。

代表者はこれまで、脳神経科学や心理学などで蓄積された知見に基づき、様々なレベルの構造を有した計算機シミュレーションやロボットを実際に作ることを通じて、メカニズムの詳細部分から実際の挙動までの系全体を見ながら新たな理解を得ようとする試みを行ってきた。

本研究では、人間の認知発達の大基本問題である「自他認知」の課題に特に焦点をあて、(1) リアルな身体を備えた脳の発達の大規模計算機シミュレーション、(2) ニューロンの集団活動を脳波や脳領域の賦活として捉えるイメージング研究、(3) 人間に酷似した筋骨格系ロボットの構築、(4) ロボットを持ち込んだ二者間の相互作用の心理／社会実験を融合的に行いながら、(5) 自他認知に関わる一連の発達過程の構成的理解を得、神経ダイナミクスから社会的相互作用に至る過程の理解と構築による構成的発達科学を確立することを目的とする。

【研究の方法】

図1 各グループの連携イメージ



(1) の計算モデル構築グループでは、EEG、MEG等で観測されるマクロな脳波レベルの反応が現れる

神経系モデルを構築し、イメージング研究グループで行うタスクに合わせたものにする。(2) イメージング研究グループでは、ミラーニューロンシステムや身体表象を中心にした MEG や fMRI などのイメージング研究を進め、自他認知の発達に絡む脳内機序のモデルを構築し、計算モデルにフィードバックする。(3) のロボット開発グループでは、イメージング機器内に入れられるロボットや、より実際の乳幼児に近いロボットを開発し、実験に持ち込む。(4) の心理社会実験グループでは、乳幼児のリズム運動の行動学的解析や養育者との情緒的相互作用のモデル化と実験的検証を進める。乳幼児の代わりに脳の計算モデルを実装したロボットを用いることで、そのモデルの動作も検証する。

【期待される成果と意義】

人間の認知発達の大きなミステリーの一つである、自己や他者の概念がどのように構築されていくかの初期発達の構成的理解を得、神経科学に対してこれに関与する脳内ネットワークを示唆し、また心理分野には、養育者と乳幼児の間の相互作用の発達過程の説明が可能になると期待できる。また、このような新たな理解と同時に、将来人間社会に導入されると想定されるロボットの新たな設計原理をも生み出す可能性がある。

これらの分野との強力な連携により新しいサイエンスの構築、すなわち、工学と科学の協働・融合による新たな学術領域「構成的発達科学」の確たる基盤を築き上げることが、学術上の最も大きな意義・インパクトである。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・ Minoru Asada et al., "Cognitive developmental robotics: a survey" IEEE Transactions on Autonomous Mental Development, Vol.1, No.1, pp. 12--34, 2009.

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度～28 年度
382,000 千円

【ホームページ等】

<http://www.er.ams.eng.osaka-u.ac.jp/asadalab/project.html>

【特別推進研究】

理工系（工学）



研究課題名 ナノ結晶効果によるエネルギー・環境適合デバイスの革新

上智大学・理工学部・教授

きしの かつみ
岸野 克巳

研究分野：応用光学・量子光工学

キーワード：光エレクトロニクス、半導体、光物性、レーザー

【研究の背景・目的】

窒化物半導体(InGaN系)では、緑、さらに赤色域になると急激に発光効率が減少し、赤色域LEDは全く光らない。半導体レーザーの動作電流も緑色域では長波長化とともに急増する。GaNナノコラムは、研究代表者らが最初に発見し、先導的に研究を進めてきた一次元ナノ結晶である。本研究では、図2(a)に示す規則配列GaNナノコラム結晶を用いて、コラム細線化で発現されるナノ結晶効果を学術的に解明し、ナノ結晶効果によってInGaN系デバイスが直面する材料的課題を克服して、革新的なエネルギー・環境適合デバイスの基盤技術を開拓することを目的とする。

【研究の方法】

GaNナノコラムは貫通転位フリーで、自立性結晶であり、基板によらずに高品質結晶が得られ、コラム細線化とともに、In組成揺らぎの抑制、格子歪の低減化、結晶欠陥発生の抑制、光取り出し効率の向上が期待される。これらのナノ結晶効果はInGaN系材料の発光効率向上に寄与し得る。本研究では、GaNナノコラム内にInGaN量子井戸層を内在化させ(図1挿入図)、コラム径Dを未踏破の100-10nm域まで細線化させながら、ナノ結晶効果の学術的な解明を目指す。さらに電子のド・ブロイ波長程度(~30nm)のコラム径で顕在化する一次元量子輸送現象、量子ドット効果などのナノコラム物性を探求する。規則配列InGaN系ナノコラムでは、フォトニック結晶効果、コラム径による発光色制御が得られる。本研究では、ナノ結晶効果とナノコラム効果を活用して、InGaN系デバイスの課題解決に挑戦する。

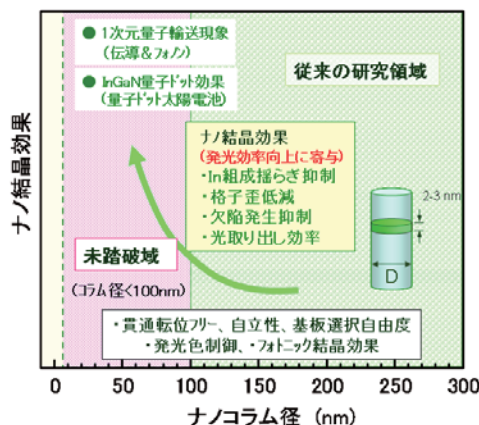


図1 ナノ結晶効果

【期待される成果と意義】

ナノコラム細線化によってナノ結晶効果の系統的探索が進み、ナノコラム物性の解明が本格的に進展しよう。ナノコラムLED(図2(b))によって赤色域LEDの高効率化が進めば、三原色発光のすべてがInGaN系で得られる。ナノコラムの発光色制御性は、三原色ナノコラムLEDの一体集積化をもたらし、フォトニック結晶効果によって、面発光型緑色半導体レーザーが開拓されよう。これらはフルカラー映像装置の低消費電力化に貢献する。一方、超細線InGaNナノコラム内に作られるInN量子ドット多段構造は、量子ドット太陽電池材料として期待される。

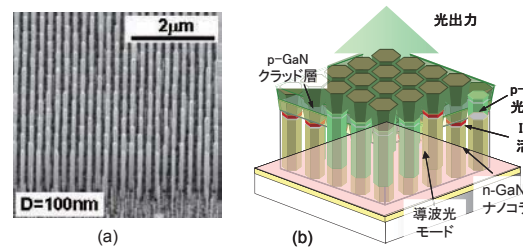


図2 (a)規則配列ナノコラム、(b)ナノコラムLED/LD

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・H. Sekiguchi, K. Kishino et al., "Emission color control from blue to red with nanocolumn diameter of InGaN/GaN nanocolumn arrays grown on same substrate", Appl. Phys. Lett. **96**, 231104 (2010).
- ・K. Kishino, H. Sekiguchi et al., "Improved Ti-mask selective-area growth (SAG) by rf-plasma-assisted molecular beam epitaxy demonstrating extremely uniform GaN nanocolumn arrays", J. Cryst. Growth **311**, 2063-2068 (2009).

【研究期間と研究経費】

平成24年度-28年度
414,500千円

【ホームページ等】

<http://www.ee.sophia.ac.jp/kishino/>