

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 超高精度光格子時計による新たな工学・基礎物理学的
応用の開拓

かとり ひでとし
香取 秀俊
東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究課題番号：16H06284 研究者番号：30233836

研究分野：数物系科学

キーワード：量子エレクトロニクス

【研究の背景・目的】

精密な時間標準は、相対性理論の検証や物理定数の恒常性の研究など基礎科学として重要である一方、GNSSによる測位や大容量高速通信ネットワークの同期など、その応用においても大きなインパクトをもつ現代社会の基幹技術です。

2001年に提案された光格子時計は、本邦発の時計技術です。国際単位系の秒を定義するセシウム原子時計を2桁凌駕する精度を実現し、今後10年程度で期待される「秒の再定義」の有力候補の一つになっています。本研究では、さらに1桁の精度向上を達成し、前人未達の 10^{-19} の相対不確かさをもつ原子時計の実現を目指し、超精密計測による基礎物理学と工学応用に関する先駆的研究を展開します。

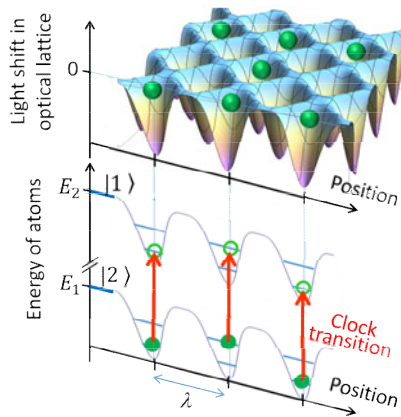


図1：光格子時計の概念図。光格子が作る光シフトで原子を閉じ込める。魔法周波数のプロトコルは、時計遷移の2状態で光シフトの摂動を一致させ、相殺する。

【研究の方法】

「魔法周波数」のプロトコルによる「光格子」の摂動の除去（図1）は、 10^{-18} の相対不確かさの光格子時計の実現を可能にしました。ところが、これ以上の精度の達成には、光格子の高次効果—トラップ光と原子の多重極相互作用と、原子の超分極効果—の詳細な検討が必要です。本研究では、これらの高次効果を取り入れ、光シフトの不確かさを 10^{-19} に抑える動作点が存在することを実証します。

光格子時計の手法を適用可能な複数の原子種（Sr、Yb、Hg、Cd）で、このような高次の分極効果を含む詳細な物理パラメータを決定します。これによって、光格子時計の最適原子種を実験的に決定し、その周波数比の高精度計測によって、物理定数の恒常性を議論します。

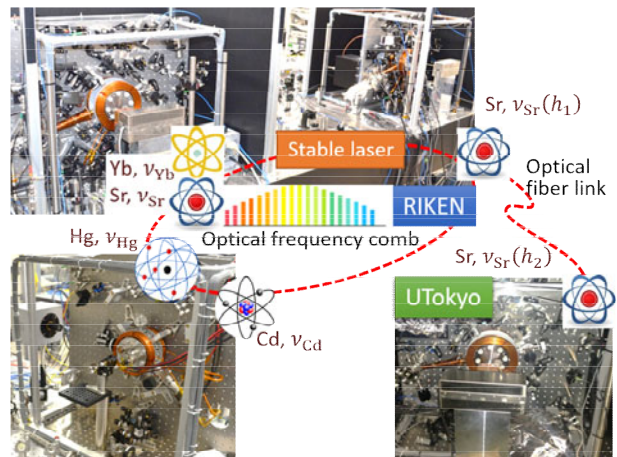


図2：Sr、Yb、Hg、Cd原子からなる、異種原子・光格子時計群を構築する。これらの周波数比較は、物理定数の安定性の検証や、相対論的測地のプローブとして機能する。

【期待される成果と意義】

光格子時計は、今後、国際度量衡総会で議論される「秒の再定義」の有力候補の一つです。本邦発の時計技術で科学技術の根幹を支える「秒」が再定義されれば、本邦の基礎科学への大きな国際貢献となります。

これらの超高精度・光格子時計の比較は、物理定数の恒常性や空間の異方性を検証し、標準理論を超える新しい物理学の構築に向けた重要なプローブとして期待されています。一方で、 10^{-19} の相対精度での時計の比較は、重力による時間遅れの効果から、地上の2台の時計の標高差をmmの精度で決定することを可能にします。これにより「相対論的測地」と呼ばれる、学術領域の創出が期待されます。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- H. Katori, Optical lattice clocks and quantum metrology, Nature Photon. 5, 203 (2011).
- H. Katori, et al., Strategies for reducing the light shift in atomic clocks, Phys. Rev. A 91, 052503 (2015).

【研究期間と研究経費】

平成28年度—32年度
452,600千円

【ホームページ等】

<http://www.amo.t.u-tokyo.ac.jp/index.html>
katori@amo.t.u-tokyo.ac.jp

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）

研究課題名 高圧液体の挙動と初期地球進化



東京工業大学・地球生命研究所・所長/教授

ひろせ けい
廣瀬 敬

研究課題番号：16H06285 研究者番号：50270921

研究分野：数物系科学

キーワード：初期地球、高圧、液体

【研究の背景・目的】

研究代表者らはレーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセルを用いて、地球深部に相当する超高压・高温の環境を実験室で実現し、下部マントルや金属コアの物質やダイナミクスの解明に取り組んできた。

これら現在の地球に関する研究実績を踏まえ、本研究では「初期地球」にフォーカスした実験を行う。初期地球の主演である「液体」の挙動（結晶化・元素分配・密度・価数・音速・熱伝導率）を明らかにすることによって、地球内部の初期進化を理解することを主な目的とする。具体的には、マグマオーシャンの結晶化とマントルの初期成層構造、コアとマントルの分離、コアの結晶化と地球磁場の3つのテーマに取り組む。

【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（図1）を用いた高圧実験が主となる。同

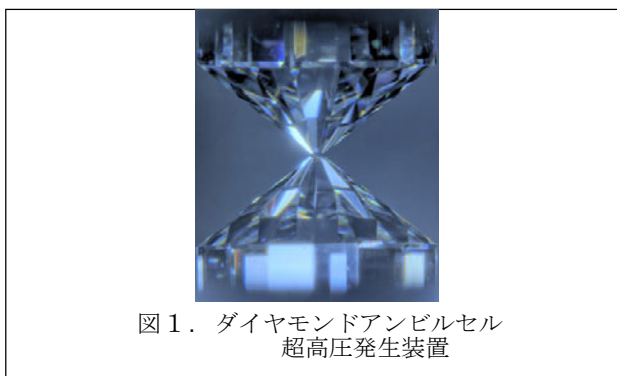


図1. ダイヤモンドアンビルセル
超高压発生装置

装置を用いた静的圧縮実験によって、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となっている。結晶化実験では、収束イオンビーム装置を用いて、融解させた微小な試料を正確に切り出し、電子顕微鏡観察を行う。元素分配実験では、大型放射光施設SPring-8のビームラインBL10XUにX線吸収微細構造（XAFS）測定システムを導入し、元素の物理化学的特性を決定することが鍵になる。また同じくBL10XUに高解像度イメージングシステムを構築し、密度・伝導度などの測定を精度良く行う。伝導度などの測定を精度良く行う。

【期待される成果と意義】

地球形成時に地球はマグマオーシャンに覆われていたとされる。マグマオーシャン固結時こそ、固体地球の出発点である。その出発点を知ることは現在の地球の理解にもつながる。コアとマントルの分離（コアの形成）は初期地球における最大のイベントである。それを理解することは、**コアの出発点**と現在のコアへの進化を理解することにつながる。また本研究では、**内核誕生以前のコアの化学進化**を詳細に解明して、地球磁場形成メカニズムをも明らかにしようとしている。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Nomura, R., Hirose, K., Uesugi, K., Ohishi, Y., Tsuchiyama, A., Miyake, A., Low core-mantle boundary temperature inferred from the solidus of pyrolite, *Science*, 343, 522-525, DOI: 10.1126/science.1248186, 2014.
- Ohta, K., Kuwayama, Y., Hirose, K., Shimizu, K., Ohishi, Y., Experimental determination of the electrical resistivity of iron at Earth's core conditions, *Nature*, 534, 95-98, doi: 10.1038/nature17957, 2016.
- 「できたての地球」廣瀬敬、岩波科学ライブラリー 238

【研究期間と研究経費】

平成28年度－32年度
387,500千円

【ホームページ等】

<https://members.elsi.jp/~kei/ja/director@elsi.jp>

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 地上多点ネットワーク観測による内部磁気圏の粒子・波動の変動メカニズムの研究

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・教授 しおかわ かずお
塩川 和夫

研究課題番号：16H06286 研究者番号：80226092

研究分野：超高層大気物理学

キーワード：磁気圏・電離圏、超高層物理学、宇宙科学、超高層大気環境、宇宙空間

【研究の背景・目的】

地球周辺の宇宙空間のうち、特に地球半径の4倍付近を中心とした内部磁気圏は、磁気圏の最高エネルギーである MeV エネルギーのプラズマで構成される放射線帯から、1eV 以下の低エネルギーのプラズマで構成されるプラズマ圏まで、6桁以上の広いエネルギー範囲のプラズマ粒子（電子・イオン）が混在し、周波数が 0.1Hz-10kHz の ULF/ELF/VLF 帯の電磁波動と相互作用しながら、粒子の加速・消失が起きている興味深い領域である。内部磁気圏では、地球磁場の勾配と曲率のために、プラズマ粒子は数十分から数時間の周期で地球周辺を経度方向に回りながら加速・消失していく。このため、特定の経度のみに偏在する変動場を地球規模でグローバルに把握していくことが、粒子・電磁場変動の定量的な理解には必須である。

本研究では、この内部磁気圏におけるプラズマ粒子と電磁波動の変動過程をグローバルに把握するとともに、その変動機構を定量的に明らかにすることを目的としている。

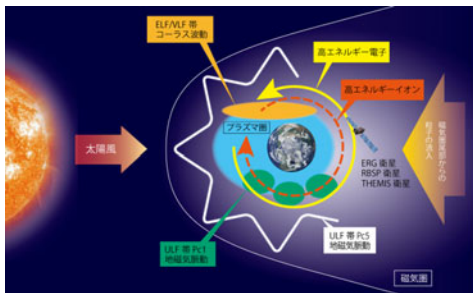


図1 地球を北極上空から見たときの、内部磁気圏の波動と粒子の分布。

【研究の方法】

本研究では、磁気緯度（地磁気の極を90度とした緯度）で60度付近の緯度帯（サブオーロラ帯）に、北半球で地球を一周するように経度方向に8カ所の観測点を国際協力によって開設し、地球周辺の宇宙空間で地球のまわりを経度方向に周回しているプラズマ粒子の地球大気への降り込みや、これと相互作用する周波数が0.1Hz-10kHzの電磁波動を観測する。これらの観測を、新しい人工衛星による宇宙空間での粒子・波動の直接観測や波動粒子相互作用のモデリングと組み合わせることにより、内部磁気圏におけるプラズマ粒子と電磁波動の変動過程をグローバ

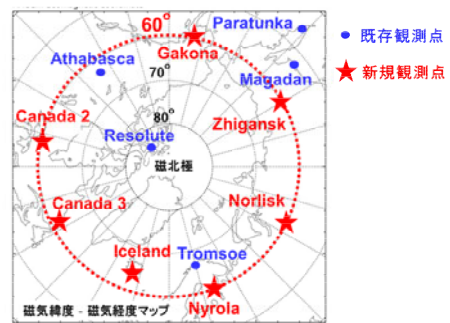


図2 本研究で展開される地上観測点

ルに把握するとともに、その変動のメカニズムを定量的に明らかにする。

【期待される成果と意義】

本研究では、連続した定常観測が可能な地上観測点を地球規模で経度方向に戦略的に配置することにより、プラズマ変動や波動のグローバルな状況を24時間モニターすることを可能にする。この地上ネットワーク観測と、2016年度に打ちあがる我が国の新しいERG衛星による磁気圏の直接観測、さらにモデリングを組み合わせ、内部磁気圏におけるプラズマ粒子と電磁場の変動のメカニズムの定量的な評価を与えることができると期待される。放射線帯粒子を含めた内部磁気圏の高エネルギープラズマは、人工衛星の内部帯電やメモリー反転、太陽電池パネルの劣化や衛星-地上間通信の障害などの問題を引き起こすことが知られている。本研究によって得られる成果は、これらの衛星機器の障害の予測や評価にも活用できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・「総説 宇宙天気」、柴田一成・上出洋介（編著）、京大出版会、2011年。

【研究期間と研究経費】

平成28年度-32年度
376,100千円

【ホームページ等】

<http://www.isee.nagoya-u.ac.jp/dimr/PWING/>

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 近赤外線重力マイクロレンズ観測による冷たい系外惑星及び 浮遊惑星の探索

大阪大学・大学院理学研究科・准教授 **すみ たかひろ**
住 貴宏

研究課題番号： 16H06287 研究者番号： 30432214

研究分野： 天文学

キーワード： 系外惑星、重力マイクロレンズ、赤外線

【研究の背景・目的】

太陽以外の恒星を回る惑星、“系外惑星”は、1995年に初めて発見されてから、視線速度法、トランジット法、直接撮像法等により、今迄に3千個以上発見されている。これらの惑星の多くは木星質量-海王星質量程度で、最近見つかри始めた数倍地球質量の「スーパーアース」や地球半径の惑星も小軌道半径に限られ、惑星形成の全体像はまだ十分理解されていない。重力マイクロレンズ法は、主星から比較的離れた冷たく軽い惑星や、主星の周りを回っていない浮遊惑星にも感度があり、他の方法とは相補的である。

我々MOAグループはニュージーランドのMt. John天文台に1.8m広視野望遠鏡を建設し、重力マイクロレンズによる系外惑星探索を行っている。これまでに、世界で初めてマイクロレンズを使って系外惑星を発見し、さらに当時最小の5.5倍地球質量惑星を発見した。そして、海王星質量惑星が木星質量惑星の3倍以上多い事を見つけた。しかし、まだ地球質量の2倍程度の惑星までしか検出できておらず、地球質量の惑星がどれくらい存在するか分かっていない。より軽い惑星まで、より多く発見するには、銀河系中心部の星が密集した領域を観測する必要があるが、従来の可視光観測では、星間ダストによる吸収で観測できない。これには近赤外線での観測が必要だが、近赤外線検出器が高価なため、広視野化が困難で実現していない。

【研究の方法】

背景天体の前を他の星（レンズ天体）が通過すると、その重力がレンズの様な働きをして背景天体からの光を一時的に増光し、マイクロレンズイベント

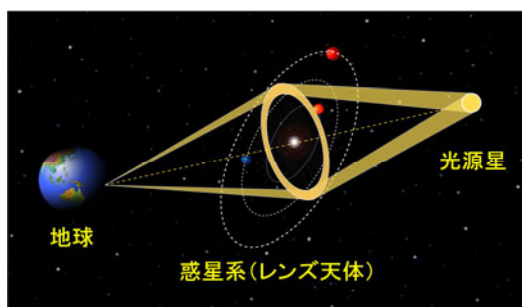


図1：重力マイクロレンズの模式図。光源星の光がレンズ天体の重力で曲げられ増光して見える。惑星の重力により、さらに短く増加する。

として観測される。この時レンズ天体の周りに惑星があると、この惑星の重力によりさらにレンズを受けさらに増光する(図1)。多くの星の明るさを継続的に、しかも高頻度でモニターすることで、この惑星による増光を検出する。本研究は、南アフリカ共和国に1.8m広視野望遠鏡を建設し、世界最大級の近赤外線カメラを搭載して、世界で初めて近赤外線での重力マイクロレンズ系外惑星探索を行う。これは、NASAの将来計画WFIRST宇宙望遠鏡のチームが所有する最先端の大型近赤外線検出器を借りる事で初めて実現可能となった。

【期待される成果と意義】

世界で初めて近赤外線(JH-band)で銀河系中心部の領域でマイクロレンズ系外惑星探索を行い、系外惑星の検出数を飛躍的に上げて、地球質量を含む系外惑星、浮遊惑星をそれぞれ数十個検出し、地球質量惑星を含む惑星形成、進化の過程を解明する。銀河系中心付近の星が非常に密集した領域での惑星頻度を世界で初めて見積もり、環境による惑星頻度の違いを検証する。また、このデータは、これら我々のサイエンスゴールを達成すると同時に、NASAのWFIRST宇宙望遠鏡によるマイクロレンズ系外惑星探索の観測領域をあらかじめ最適化するという重要な貢献を行う事ができる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

“Unbound or distant planetary mass population detected by gravitational microlensing”, Sumi, T. et al., Nature, 473, 7347, 349-352, 2011

“A Cold Neptune-Mass Planet OGLE-2007-BLG-368Lb: Cold Neptunes Are Common”, Sumi, T., et al., The Astrophysical Journal, 710, 1641-1653, 2010

【研究期間と研究経費】

平成28年度-32年度
450,400千円

【ホームページ等】

<http://www.phys.canterbury.ac.nz/moa/>

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 T2K実験の高度化によるニュートリノのCP対称性の測定

高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授

こばやし たかし
小林 隆

研究課題番号：16H06288 研究者番号：70291317

研究分野：素粒子物理実験

キーワード：ニュートリノ振動、CP対称性、J-PARC、T2K実験、スーパーカミオカンデ

【研究の背景・目的】

T2K実験は、茨城県東海村にある大強度陽子加速器 J-PARC の陽子ビームを使って、人工的にニュートリノという素粒子を大量に作り出し、そのビームを地中を素通りさせ、295km離れた岐阜県神岡のスーパーカミオカンデ検出器で検出し、ニュートリノ振動現象という、飛行中にニュートリノの種類が変化する現象を調べる長基線ニュートリノ振動実験です。2010年に実験を開始し、2011年～2013年にかけて、ミュー型と呼ばれる種類のニュートリノが飛行中に電子型という別の種類に変化することを世界に先駆けて発見しました。本課題研究では、T2K実験のビームの増強や検出器の高性能化により、感度をさらに高め、同様な変化がニュートリノの反粒子である反ニュートリノでも生じるか、またその変化の割合はニュートリノと反ニュートリノで異なるか（CP対称性の破れ）、を精密に測定することによって、ニュートリノの未知の性質を明らかにし、さらに宇宙になぜ物質が存在するかという根源的な謎を解くヒントを探る研究です。



図1 T2K実験の概要

【研究の方法】

この研究では、T2K実験の感度向上のため、統計精度と系統精度双方の向上を図ります。統計精度はスーパーカミオカンデで検出するニュートリノの数を増やすことで高めます。そのためにはJ-PARCの陽子ビームをさらに強く安定にし、神岡に送るニュートリノの数を増やします。大強度陽子ビームの安定運転のために、陽子ビームの位置や太さなどの性質を常に精密に測定して、ビーム制御に反映させる必要があります。本研究ではそのための陽子ビーム測定器を製作、設置します。さらにニュートリノビームを強くするため、陽子ビームからニュートリノを生成するための装置の一部である「電磁ホーン」と呼ばれる装置の性能を高めます。また系統誤差向

上のためには、生成直後のニュートリノビームの個数や、エネルギー分布、ミュー型ニュートリノと電子型ニュートリノの割合などをより高い精度で求める必要があります。本研究では、J-PARC敷地内に設置されているニュートリノ測定器の一部を新たなアイデアに基づく新型検出器で置き換えることによって測定精度向上を図ります。

【期待される成果と意義】

これらの性能向上によって、研究開始後1,2年後には、反ミュー型ニュートリノから反電子型ニュートリノへの変化を世界に先駆けて発見できると期待されます。さらに、ニュートリノと反ニュートリノの間のCP対称性が最大限に破れている場合には、本研究期間中に、「95~99%の確率でCP対称性が最大に破れている」ということを言えます。研究期間終了後も測定を続けることで、2026年ころには、ニュートリノにおけるCP対称性の破れを世界で初めて発見できると期待されます。宇宙の物質の起源はニュートリノにおけるCP対称性の破れがかかわっている可能性が指摘されています。本研究によってCP対称性の破れが発見されれば、宇宙の成り立ちを理解する大きなステップになることが期待されます。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・“Indication of Electron Neutrino Appearance from an Accelerator-produced Off-axis Muon Neutrino Beam”, T2K Collaboration (K. Abe (Tokyo U., ICRR) et al.), Phys.Rev.Lett. 107 (2011) 041801
- ・“Expression of Interest for an Extended Run at T2K to 20×10^{21} POT”, T2K Collaboration, Jan. 6, 2016, http://j-parc.jp/researcher/Hadron/en/pac_1601/pdf/EoI_2016-10.pdf

【研究期間と研究経費】

平成28年度～32年度
418,600千円

【ホームページ等】

<http://t2k-experiment.org/>



研究課題名 アト秒精度の超高速コヒーレント制御を用いた量子多体ダイナミクスの探求

自然科学研究機構・分子科学研究所・教授

おおもり けんじ
大森 賢治

研究課題番号：16H06289 研究者番号：10241580

研究分野：物理化学、原子・分子・量子エレクトロニクス

キーワード：超高速コヒーレント制御、アト秒、量子多体問題、量子シミュレーター、極低温原子

【研究の背景・目的】

超伝導・磁性材料から薬剤分子に至るまで、多くの重要な物理的・化学的機能性は、多数の原子や分子が相互作用する量子多体問題によって支配されている。しかし、2020年頃完成予定の「ポスト京」コンピューターを使ったとしても、30粒子以上の量子多体系の定常状態を厳密に計算することは不可能であることが知られている。非定常な時間発展であれば、それよりもさらに難しい。

本研究は、1000粒子以上の量子多体系の非定常な時間発展を近似無しに10億分の1秒以下でシミュレートすることの出来る世界唯一の「超高速量子シミュレーター」を、「アト秒精度のコヒーレント制御技術」と「絶対零度付近までレーザー冷却した強相関リュードベリ原子集団」という二つの極限ツールを組み合わせて開発することを目的とする。

【研究の方法】

実在の固体材料や液体中では、多数の原子や分子に渡って広がった多体波動関数は熱的な擾乱によって一瞬のうちに局在化してしまうので、私たちが開発したアト秒精度の超高速コヒーレント制御技術を用いても、その途中の状態を観測することは極めて難しいと予想される。

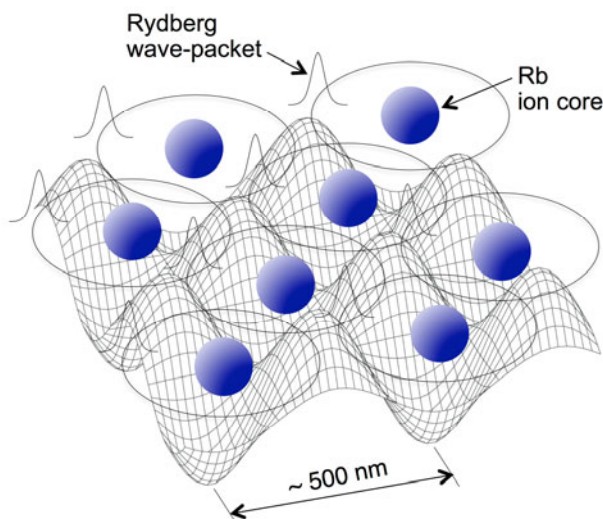


図1 超高速量子シミュレーターの概念図 (K. Ohmori, Found. Phys. **44**, 813 (2014))

そこで本研究では、次世代フォトニック技術（浜松ホトニクス社と共同開発）を用いて真空中に空間捕捉した高密度の極低温ルビジウム(Rb)・リュードベリ原子集団の強相関状態（図1）を固体や液体のモデル系として用い、そこでの波動関数の時空間発展を追求する。真空・極低温状態なので熱的な擾乱が無視でき、リュードベリ原子の大きな双極子モーメントが強相関状態を創るのに適している。

【期待される成果と意義】

本研究で開発する超高速量子シミュレーターは、極めて複雑な量子-古典境界付近での量子多体ダイナミクスを1000粒子以上について近似無しにシミュレートすることを可能にするだろう。これによって、量子-古典境界に対する理解が飛躍的に高まるとともに、冒頭で述べたような超伝導性、磁性、薬理効果などの巨視的な物理的・化学的機能性の発現のメカニズムをより良く理解し、それらの機能性をボトムアップ的な手法で積極的に制御するための指針が得られると期待される。将来的には、新しい超伝導材料・磁性材料あるいは薬剤分子等を開発する上で、超高速量子シミュレーターが、量子多体問題の新しい大規模シミュレーションプラットフォームとして発展する事が期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- “Ultrafast Fourier transform with a femtosecond laser driven molecule,” K. Hosaka and K. Ohmori *et al.*, Phys. Rev. Lett. **104**, 180501 (2010).
- “Strong-laser-induced quantum interference,” H. Goto and K. Ohmori *et al.*, Nature Phys. **7**, 383-385 (2011).
- “All-optical control and visualization of ultrafast two-dimensional atomic motions in a single crystal of bismuth,” H. Katsuki and K. Ohmori *et al.*, Nature Commun. **4**, 2801 (2013).

【研究期間と研究経費】

平成28年度-32年度
426,400千円

【ホームページ等】

https://groups.ims.ac.jp/organization/ohmori_g/ohmori@ims.ac.jp

【特別推進研究】

理工系（化学）



研究課題名 小胞体糖修飾の統合的ケミカルバイオロジー

理化学研究所・伊藤細胞制御化学研究室・主任研究員

いとう ゆきしげ
伊藤 幸成

研究課題番号：16H06290 研究者番号：80168385

研究分野：生体関連化学

キーワード：糖質関連化学・糖鎖工学、糖タンパク質、糖脂質、小胞体

【研究の背景・目的】

小胞体は翻訳時・翻訳後修飾として特に重要な N-グリコシル化の場でもあるが、これ以外にも様々な糖修飾が知られている。最近になり C-マンノシル化という特異な構造の存在が明らかにされ、その生物機能の解明に興味を持たれる。小胞体において、N-グリコシル化はタンパク質のフォールディングを促進し、その度合いを反映するタグとして働いている。そこにおいて、様々なレクチン、酵素が密接に連携し総合的に働く糖タンパク質「品質管理」機構が存在し、フォールディング中のタンパク質に付加されている多様な構造の「高マンノース型」糖鎖がシグナル分子として機能している。一方、トリプトファン側鎖 C-マンノシル化の生物機能、特にタンパク質における役割は謎に包まれていたが、最近になり、自然免疫シグナル制御に加えてタンパク質の品質管理機構への関与が示唆されている。

小胞体は脂質の合成を司る場でもある。最近、コレステリルグルコシド、ホスファチジルグルコシド (PtdGlc) など新たなタイプのグルコース含有脂質が脳組織中に見いだされ、その機能に興味を持たれている。ごく最近になり、PtdGlc のリゾ体 (LPG) が G タンパク質共役受容体 (GPR55) を活性化し、神経細胞軸索ガイダンスにおけるシグナルとなっていることが明らかにされた。

本課題は、小胞体において生み出され機能する様々な糖修飾（タンパク質 N-グリコシル化、C-マンノシル化、脂質のグルコシル化）を対象に、共通原理を探る。これらが小胞体において担うシグナリング機能を解明すると共に創薬基盤研究に展開させる。研究を遂行する上で独自性の高い手法が確立されており、これらが本研究の基盤となる。

具体的には以下を主な実施項目として研究を行う。

1. 小胞体内タンパク質フォールディング制御機構における糖鎖の役割
2. 小胞体内グルコシル化の機能解析
3. 新規なリゾホスファチジルグルコシド関連分子の創製による細胞機能調節
4. C-マンノシル化糖修飾の生物機能とタンパク質品質管理機構との関連

【研究の方法】

主たる要素技術として 1) 小胞体型糖鎖の網羅的合成、2) 糖タンパク質の化学的全合成、3) 小胞体タンパク質の発現系、3) 小胞体内糖鎖プロセッシング・相互作用の解析系、4) C-結合型マンノース含有ペプチドの合成法、5) 抗 C-マンノシルトリプトファン抗体、6) PtdGlc、リゾ体 (LPG) 及びそ

れらの類縁体の合成、7) PtdGlc 特異的抗体を活用し、研究を推進する。

それに加えて新たな手法開発の試みを行い、より精密な機能解析にフィードバックさせる。例えば、合成糖タンパク質の擬鏡像体結晶化、新規な糖鎖-タンパク質相互作用検出系等について検討を行う。また、糖鎖の合成については、組織内の連携によって安定的に試料を供給する体制を作る。

【期待される成果と意義】

本課題は、小胞体において生み出され機能する様々な糖質シグナルを解明するものである。本組織でこれまで築き上げた複合糖質合成化学の実績を基に、糖タンパク質・糖脂質横断的な新しい領域を創成するとともに、新たな細胞機能制御分子を創製する。

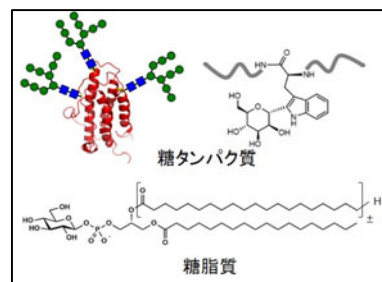


図1. 小胞体における糖修飾

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ Y. Ito, Y. Takeda, A. Seko, M. Izumi, Y. Kajihara “Functional analysis of endoplasmic reticulum glucosyltransferase (UGGT): Synthetic chemistry’s initiative in glycobiology”, *Semin. Cell Dev. Biol.*, **41**, 90-98 (2015)
- ・ A. T. Guy, Y. Nagatsuka, N. Ooashi, M. Inoue, A. Nakata, P. Greimel, A. Inoue, T. Nabetani, A. Murayama, K. Ohta, Y. Ito, J. Aoki, Y. Hirabayashi, H. Kamiguchi “Glycerophospholipid regulation of modality-specific sensory axon guidance in the spinal cord”, *Science*, **349**, 974-977 (2015)

【研究期間と研究経費】

平成 28 年度－32 年度
319,400 千円

【ホームページ等】

http://www.riken.jp/research/labs/chief/synth_cell_chem/ (yukito@riken.jp)



研究課題名 グローバル水文学の新展開

東京大学・生産技術研究所・教授

おき たいかん
沖 大幹

研究課題番号：16H06291 研究者番号：50221148

研究分野：グローバル水文学

キーワード：水文学、統合型水循環・水資源モデル

【研究の背景・目的】

大気水収支法による現代的なグローバルな水循環の研究の開闢、陸面モデルと河川モデルによる水循環推計の枠組みを用いたグローバルな水循環推計と世界の水資源アセスメントや気候変動影響への応用、そして水循環モデルへの人間活動の考慮など、代表者をはじめとする研究者らの先駆的な取り組みによってグローバルな水循環研究はここ20年で大きく発展した。

近未来にぜひとも実現したい全大陸1km空間解像度での過去から将来にわたる1000年間の水・エネルギー循環の推計に向けて、今後20年以上にわたって世界のグローバル水文学をリードできる次世代陸域モデル(Terrestrial Model in the Next Generation; TiMiNG)の数値シミュレーションシステムの基盤を本研究では構築する。

【研究の方法】

数値天気予報や将来の気候変動予測などに用いられる大気大循環モデルの陸面境界条件を与えるために大気モデルに従属して開発されてきた陸面モデルの研究蓄積と、斜面や河道における水動態に関する水文学的知見を組み合わせ、土地利用や植生の変化、湖沼や河川さらにはその氾濫などを陽に表現する陸域水・エネルギー循環モデルを、動的河川モデル(CaMa-Flod; Yamazaki et al., 2011)を軸として新たに構築する。さらに、貯水や取水、運河輸送や地下水汲み上げなどの人間活動を全球水循環モデルH08(Hanasaki et al., 2008)から取り込む。

また、グローバル水文学では、外力と呼ばれる降水量や地上気温、風速、下向き放射量などの気象情報や、土地利用・土地被覆、植生量、土壌タイプ、地形など陸面情報、河道や湖沼の位置・面積割合といった情報が算定精度に対して大きな影響を及ぼす。そのため、これらのデータの収集・推計・整備、さらには公開を通じて当該分野の発展に寄与する。

これらと並行し、グローバル水文学における現代的な4つの課題に挑戦する。

- 1)日本域における1km解像度での実時間計算
- 2)アラル海流域の1km解像度での50年分計算
- 3)全大陸1km解像度での1年間計算
- 4)全大陸50km解像度での250年陸域モデル計算(第3期全球土壌水分プロジェクトの一貫として、世界をリードする)

【期待される成果と意義】

本研究は、近未来に全大陸1km解像度で1000年分の水・エネルギー循環を推計しようという大きな目標に向けた基礎的研究開発である。

全世界の大学・研究機関等50グループ以上で利用されるようになった先端的な動的河川モデルを核とした次世代陸域モデルが新たに構築されれば、地球システムモデルの中で枝葉末節として取り扱われてきた植生や湖沼、河川、陸面における水・エネルギー循環だけではなく、土砂や栄養素などの物質循環とその長期変動を齊一的に扱う枠組が構築され、川幅など次世代陸域モデルに必要な境界条件のデータベース整備も含め、日本の陸域モデリング学術コミュニティが将来にわたって世界をリードできる基盤が構築されると大いに期待される。

また、次世代陸域モデル開発と並行して取り組む4つの研究課題はいずれもグローバル水文学において高い関心が寄せられているものの実現されていない課題であり、次世代陸域モデルの適用と検証、改良のいずれにも資すると共に、それぞれの課題解決は社会的貢献としても意義深い。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Oki, T., and S. Kanae, 2006: Global Hydrological Cycles and World Water Resources, *Science*, **313**(5790), 1068-1072.
- Hanasaki, N., S. Kanae, T. Oki, K. Masuda, K. Motoya, N. Shirakawa, Y. Shen, and K. Tanaka, 2008: An integrated model for the assessment of global water resources - Part 1: Model description and input meteorological forcing, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **12**, 1007-1025.
- Yamazaki, D., S. Kanae, H. Kim, T. Oki, 2011: A physically based description of floodplain inundation dynamics in a global river routing model, *Water Resour. Res.*, **47**(4), W04501.

【研究期間と研究経費】

平成28年度－32年度
340,700千円

【ホームページ等】

<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/>

【特別推進研究】

理工系（工学）



研究課題名 電子の走行と遷移が融合したテラヘルツ放射の解明によるデバイス限界の打破

東京工業大学・科学技術創成研究院・教授

あさだ まさひろ
浅田 雅洋

研究課題番号：16H06292 研究者番号：30167887

研究分野：工学

キーワード：電子デバイス、量子デバイス、テラヘルツ波

【研究の背景・目的】

未開拓のテラヘルツ周波数帯では様々な応用が期待されている。これらの応用には小型・高出力・室温動作などの性能を持つ半導体光源デバイスが必要不可欠である。我々は半導体電子デバイスのひとつである共鳴トンネルダイオード（RTD）を用いて、これまでに単体の室温電子デバイスでは初めて1THzを超える発振を実現するとともに、発振周波数上昇や高出力化の研究を行ってきた。テラヘルツ帯は電波と光の中間にあって光子エネルギーが無視できない周波数帯であり、デバイスの高性能化のためには電子の走行と量子論的な遷移の両面からテラヘルツデバイス固有の学術基盤を確立する必要がある。

本研究はこのような背景のもと、RTD 発振素子を基にして、光と電波を繋ぐテラヘルツデバイス物理の解明と学術基盤の確立、これに基づいた高性能半導体テラヘルツ光源の実現、および、この光源を用いた応用展開の可能性を示すことを目的とする。

【研究の方法】

1. 電子デバイスと光デバイスを繋ぐテラヘルツデバイス物理の開拓：RTD の出力やコヒーレンスなどの発振特性の温度依存性測定から、電子デバイスから光デバイス動作への推移を実験的・理論的に明らかにし、テラヘルツデバイス物理の基盤を構築する。

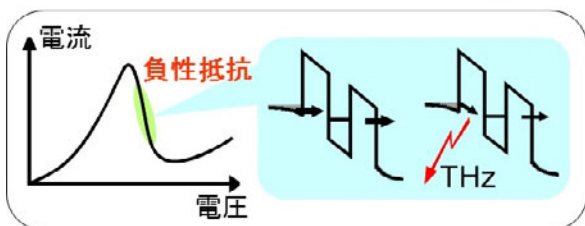
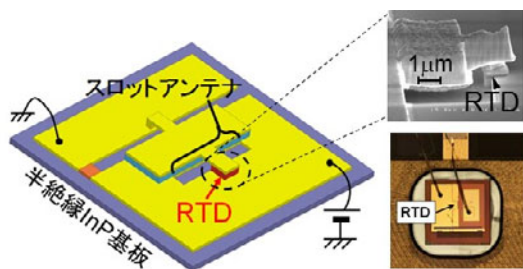


図 1 共鳴トンネルダイオード(RTD)によるテラヘルツ発振器と電流電圧特性中に生じる負性抵抗特性

2. テラヘルツデバイスの高性能化：1 の結果に基づき RTD に光デバイス動作を取り込み、それに適した共振器やアンテナ構造の考案により高出力化・高周波化を狙う。また、広域の周波数掃引と発振狭線化などの機能化を行う。
3. 高性能テラヘルツデバイスによる応用展開：高性能化した発振デバイスで可能になる高感度リアルタイムイメージング、高精度分光分析、大容量無線通信など、応用の基本となる実験を展開し、テラヘルツ分野の発展に資する。

【期待される成果と意義】

本研究により、光デバイスと電子デバイスを繋ぐテラヘルツデバイス特有の新たな学術的基盤が確立されることが期待できる。それを基にして、これまで室温動作でありながら小出力が問題であった RTD 発振素子の高出力化など、テラヘルツ光源の高性能化が可能になれば、電波と光の中間にある未開拓のテラヘルツギャップを周波数と出力の両面から完全に埋めることにより、この周波数帯の開拓を大きく牽引できる。テラヘルツ波は、この周波数帯特有のイメージングや物質分析、それらの医療・セキュリティへの応用、超高速無線通信など、様々な応用が強く期待されており、十分な性能の小型半導体光源の実現がブレークスルーとなって、これらの応用分野の飛躍的な進展も期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- T. Maekawa, H. Kanaya, S. Suzuki, and M. Asada, "Oscillation up to 1.92 THz in resonant tunneling diode by reduced conduction loss," Appl. Phys. Express **9**, 024101 (2016).
- S. Kitagawa, S. Suzuki and M. Asada, "Wide frequency-tunable resonant tunnelling diode terahertz oscillators using varactor diodes," Electron. Lett. **52**, pp.479–481 (2016).

【研究期間と研究経費】

平成 28 年度－32 年度
413,700 千円

【ホームページ等】

<http://www.pe.titech.ac.jp/AsadaLab/asada@pe.titech.ac.jp>



研究課題名 化学機械応力に立脚する革新的な高性能触媒の創生

九州大学・大学院工学研究院・教授 いしはら たつみ
石原 達己

研究課題番号：16H06293 研究者番号：80184555

研究分野：工学

キーワード：触媒、化学機械応力、ナノサイズ効果、イオン伝導

【研究の背景・目的】

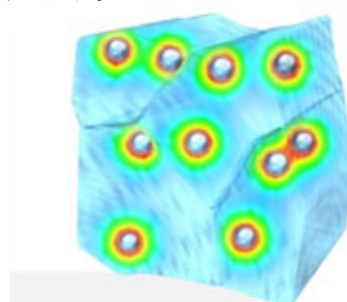
材料に種々の方式で、引っ張り応力を発生させると、化学的に応力を緩和しようとして、通常では安定でない異常原子価が安定になったり、不安定な結晶構造が安定化する。そこで、このような現象を用いると、従来の物性からは大きく異なる物性の発現が期待される。このような異常原子価状態の表面や界面は、従来とは異なる電子状態なので、酸素の活性化能や各種の触媒性能が異なり、非常に高い活性を示したり、表面相分離などが抑制され、安定性が向上するなど、新しい性質の発現が期待できる。

種々の分野で化学機械応力は、物性に大きな影響を及ぼすことが指摘されているが、現在までにこのような化学機械応力と表面物性、触媒反応との関係はまったく解明されていない。本研究では、申請者が従来の研究で明らかにしてきた化学機械応力を利用して、現在、種々の分野で要望されている高活性、高安定性の酸素活性化触媒や環境関連触媒への展開を行い、燃料電池、NO 分解、低温酸化触媒、光触媒など各種触媒反応の性能の大幅な向上を図ることを目的とする。また、表面組成とサブ表面組成の変化を、低エネルギーイオン散乱法を用いて解析し、化学機械応力の発生が表面組成の変化の抑制に有効であることを明らかにすることを目的とする。

【研究の方法】

本研究では、結晶格子定数が異なる酸化物の nm レベルの薄膜の積層またはバルク内への熱膨張係数の異なる金属または酸化物、窒化物などのナノ粒子の分散による引っ張り応力の発生と化学的な緩和過程を利用して、異常原子価を発生した種々の複合材料を合成する。発生する応力を、ラマン分光法など種々の機器分析で、観測するとともに、表面組成の変化、吸着特性の変化、バルクのイオン伝導の変化との関係を明確に示す。一方、これらの基礎物性の変化に立脚した新奇な触媒性能として、酸素還元触媒能、ディーゼル排ガスからの黒煙状粒子（PM）酸化触媒、窒素酸化物(NO_x)の直接分解、光触媒などとの関係を検討し、新概念触媒への展開を検討する。以上のように本研究では化学機械応力に立脚する高性能酸素活性化触媒の開発を行い、従来、ほとんど明確になっていない、原子レベルでの応力と、異常原子価状態およびその分子活性化との関係を明確にする。また、得られた物性に基づいて、電極材料や各

種触媒への応用を行い、従来とは異なる設計指針で得られた高性能な触媒の安定性や吸着特性の変化などの検討を行う。



図ナノ粒子分散で3次元の化学応力発生イメージ

【期待される成果と意義】

本研究計画では化学機械応力の主に触媒作用への応用を行うものである。従来の研究では、おもにナノサイズのイオン伝導に及ぼす効果とその燃料電池の触媒や電解質への応用を検討し、大きなナノサイズ効果があることを明らかにしてきた。ナノサイズ効果の発現する機構について、さらに検討したところ、化学機械応力の影響が大きいことを明らかにした。一方、本研究ではこのような成果に立脚して、いくつかの触媒反応への展開を行うものである。とくに NO の直接分解や PM の酸化触媒のように、格子酸素または酸素欠陥が反応に強く関与していると考えられる反応へ、成果を展開することで従来になく高活性な触媒を開発できると期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- J. Druce, H. Tellez, M. Burriel, M. Sharp, L. Fawcett, S. N Cook, D. McPhail, T. Ishihara, H. H. Brongersma and J. A Kilner, *Energy & Environmental Science*, 7(11), 3993-3599, (2014)

【研究期間と研究経費】

平成 28 年度－32 年度
380,700 千円

【ホームページ等】

<http://www.cstf.kyushu-u.ac.jp/~ishihara-lab/>
ishihara@cstf.kyushu-u.ac.jp