【基盤研究（S）】

総合・新領域系（総合領域）

研究課題名　アーキテクチャ指向形式手法に基づく高品質ソフトウェア開発法の提案と実用化

九州大学・大学院システム情報科学研究院・教授　荒木（あらき）　啓二郎（けいじろう）

研　究　分　野：情報学、ソフトウェア

キ ー ワ ー ド：仕様記述・仕様検証、ソフトウェア工学、ソフトウェアライフサイクル、アーキテクチャ

【研究の背景・目的】

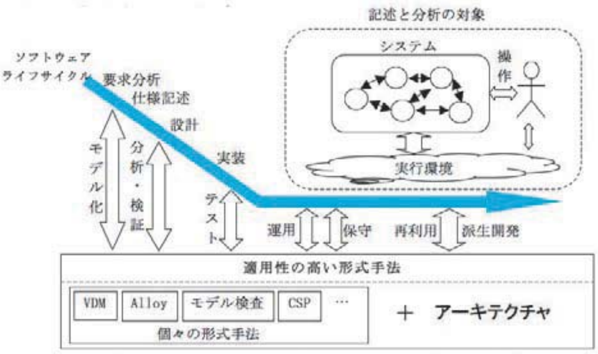
最近、IT システムの障害が大きな社会問題に発展する事故や事件を報道などでしばしば目にする。システムそのものに存在する不具合が原因である場合もあれば、運用操作上のミスが原因である場合もある。システムの大規模複雑化によってシステムの品質を保証することが困難になるとともに、ネットワークによって多種多様なシステムが相互に接続されることによって、一つのシステムの障害による影響が波及する範囲と速さが人知の及ばぬ状況になってきた。人間の日常社会生活における社会基盤を支える IT システムが果たす役割は、今後ますます大きくなる。それに伴って、IT システムの品質に対する要求は、機能や効率のみならず、安心安全という面でも、より高く、より強くなってきている。

IT システムの重要な構成要素であるソフトウェアの機能や安全性を保証する方法として、近年、形式手法（formal methods）に対する関心と期待が高まっている。本研究は、アーキテクチャ指向の概念に基づいて、多様な形式手法を適材適所でソフトウェアライフサイクルの各段階において活用する方法を提案するもので、ソフトウェア・リスク分析への応用も視野に入れたより広範で高度なソフトウェア開発方法論の確立を目指す。

【研究の方法】

本研究では、研究代表者および分担者の形式手法における種々の要素技術、形式手法の実用化および普及活動の実績、品質保証法、アーキテクチャ指向システム開発などに関する従来の研究成果に基づいて、運用・保守の段階も含むソフトウェアライフサイクル全般に亘って、アーキテクチャ指向形式手法に基づくソフトウェアの品質特性の確認と検証に有効な方法を提案し、その実用化を図る。産学連携のもとに実践的に研究を推進することにより、従来の開発プロセスにおいても形式手法を組入れて有効に活用する事例を蓄積して再利用可能とし、併せて、開発支援ツールを開発し公開する。

このために以下の四つの課題に取組む。(1) 形式手法を適用したソフトウェア開発のための要素技術の提案ならびに開発事例研究、(2) 形式手法を組入れた開発プロセス参照モデルの提示と活用、(3) アーキテクチャ指向形式手法の提案、(4) 開発支援ツールの開発。



図：ソフトウェアライフサイクルの各所で有効な形式手法

【期待される成果と意義】

本研究は、ソフトウェア開発の現場で有効に活用できるアーキテクチャ指向形式手法を提案する実用性の高い実践的研究であり、以下の成果が期待できる。(1) 実際のソフトウェア開発の事例研究に基づいて、開発現場において有効な知見を蓄積し、その共有と再利用を図る。(2) 上記の実践的経験知見に基づく教材を作成するとともに、セミナーや講習会を開催して、提案手法の公開と普及を推進して、人材育成にも貢献する。(3) アーキテクチャの概念に基づいて実行環境や操作も対象とした系統的なシステム記述と分析により、安心安全も含むソフトウェア品質と開発効率の向上に貢献する。(4) 上記の研究成果を具現化したツールを通して、我が国のソフトウェア開発現場において、自らの開発プロセスの見直しと改善に寄与する。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・荒木啓二郎：ソフトウェア開発現場への形式手法導入 − 形式手法適用の実経験から得られた知見 −, SEC journal, Vol.6, No.2, pp.104-107, 2010 年 6 月.

・大森洋一, 荒木啓二郎：自然言語による仕様記述の形式モデルへの変換を利用した品質向上に向けて, 情報処理学会論文誌 プログラミング, Vol.3, No.5, pp.18-28, 2010 年 12 月.

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度

122,200 千円

【ホームページ等】

http://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K000218/index.html

研究課題名　マルチエージェントモデルに基づく持続可能な言語サービス基盤の世界展開

京都大学・大学院情報学研究科・教授　石田　亨（いしだ　とおる）

研　究　分　野：総合領域
キ ー ワ ー ド：ウェブインテリジェンス

【研究の背景・目的】

「言語の壁」は、世界がそして特に日本が典型的に持つ問題である。我々は2006年から5年をかけて、言語資源をサービスとして共有し連携させる多言語サービス基盤「言語グリッド」の運用を進めてきた。現在、17カ国144組織が参加し、140を超える言語サービスが、翻訳、対訳辞書、用例対訳、形態素解析、音声読み上げなど20種のサービスタイプに分類され共有されている。この間、「言語資源から言語サービスへ」という言語グリッドの方向性は、世界中の言語資源研究者の間で共有された。

今後、持続可能な言語サービス基盤の確立には、言語サービスが持続的に集積されるよう、①言語サービス提供のためのインセンティブ設計が必要である。また、各地で開設される運営組織が、独立に集積した言語サービスを連携できるよう、②言語サービス基盤連邦制運営の制度設計が必要である。そこで本研究では、本研究課題担当者らのマルチエージェントシステム分野での研究蓄積を生かし、サービス基盤のステイクホルダーである「サービス提供者」、「サービス利用者」、「サービス基盤運営者」を自律的なエージェントとみなしインセンティブ設計と制度設計を行う。

さらに、③言語サービスのオントロジー設計を行い、欧米の主要大学・研究機関・研究プロジェクトと連携することによって、汎用的な言語サービス標準化体系を設計し、世界規模の互換性を持つ言語サービス基盤を実現する。

【研究の方法】

本研究は、新規のアイデアを科学的に検証する統制実験（ラボ）と実世界での継続した実証システム（フィールド）とを並行して行い、フィールドでの問題をラボで理論的に解明し、ラボで得られた研究成果を随時フィールドに適用していく。インセンティブ設計、制度設計の双方でこの方法を可能とするため、フィールドとしては、実運用されている言語グリッドを用いると共に、企業と連携して継続的な実証サイトを開設し維持する。一方、ラボとしては、Amazon Mechanical Turk（AMT）を統制実験環境として活用すると共に、マルチエージェントシミュレーション環境を新たに構築する。研究成果は、言語資源、サービスコンピューティング、マルチエージェントシステムの各分野で発表し、世界と連携して技術蓄積を図る。

本研究課題の目標は、言語サービス基盤を世界規模で構築することである。欧米では言語グリッドを出発点として新たな方式が模索されているため、世界規模の言語サービス基盤の構築には、欧米との連携が必要となる。そこで、言語サービスのインタフェースを体系的に規定するオントロジーや、耐障害性や信頼性などを考慮した連邦制運営メカニズムを検討することで、欧米の方式と言語グリッドを相互運用可能な環境構築を目指す。

【期待される成果と意義】

本研究課題はサービスコンピューティングとマルチエージェントシステムの2分野に跨る研究である。サービスコンピューティングは、Webサービスなどの実装技術が中心の分野であったが、最近ではサービスの信頼性やインセンティブ設計などの上流にも広がっている。また、マルチエージェントシステムは、協調的評価や自己組織化を理論的な課題として取り上げてきたが、本研究課題のように実証の場を持つことによって、特徴ある貢献が行えると考えている。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・ Toru Ishida Ed. The Language Grid: Service-Oriented Collective Intelligence for Language Resource Interoperability. Springer, 2011.
・ 石田 亨, 村上 陽平. サービス指向集合知のための制度設計. 電子情報通信学会論文誌 D Vol.J93-D, No.6, pp.675-682, 2010.
・ 石田 亨, 村上 陽平, 稲葉 利江子, 林 冬惠, 田仲 正弘. 言語グリッド：サービス指向の多言語基盤. 電子情報通信学会論文誌 D Vol.J95-D, No.1, pp.2-10, 2012.

【研究期間と研究経費】

平成24年度－28年度
167,600千円

【ホームページ等】

http://langrid.org/

【基盤研究（Ｓ）】
総合・新領域系（総合領域）

研究課題名　持続可能な発展のための資源配分メカニズム設計理論の構築

九州大学・大学院システム情報科学研究院・教授　横尾（よこお）　真（まこと）

研 究 分 野：計算機科学、ミクロ経済学
キ ー ワ ー ド：ゲーム理論、組合せ最適化

【研究の背景・目的】

東日本大震災、エネルギー／環境問題、少子高齢化等により、労働力も含めた希少な資源をどのように配分するかは、我が国の持続可能な発展のための喫緊の課題である。

計算機科学分野では、最適な資源配分を決定する問題は、伝統的に組合せ最適化問題として扱われている。近年、組合せ最適化の要素技術が著しい発展をとげており、大規模な実問題を現実的な時間内で解くことが可能となっている。しかしながら、従来研究の問題点として、意思決定を行う主体は一人であることが前提であり、異なる目的を持つ複数の主体の間での資源配分は考慮されていないことがある。

一方、ミクロ経済学分野では、希少な資源とそれを利用して生産された生産物がどのように配分されるか、どのような配分が社会にとって望ましいかを考察することが中心的課題であり、異なる目的を持つ複数の主体が存在することを前提としている。特に、ミクロ経済学の一分野であるメカニズムデザインでは、ジョン・フォンノイマンを始祖とするゲーム理論を用いて資源配分メカニズムの解析を行っており、現実の複雑な資源配分状況を扱うことが可能になっているが、従来研究は理論的性質を満たすメカニズムの存在可能性等の議論に重点がおかれ、大規模な問題におけるメカニズムの実現可能性に関する検討が不十分であるという問題点がある。

本研究課題では計算機科学とミクロ経済学の技術を統合／発展させ、経済的、社会的、環境的な観点からの要求をバランスした、希少な資源の望ましい配分を実現するメカニズムの設計理論を構築する。

【研究の方法】

以下の３つの柱について並行して研究を進める。

(1) ゲーム理論／メカニズムデザイン分野の知見と組合せ最適化の技術を統合／発展させ、多様な価値観や様々な制約を満足しつつ、現実的な時間内で計算可能なメカニズムを構築する、実現可能な資源配分メカニズムの設計技術を確立する。

(2) メカニズム間の相互作用も含めたメカニズムの安定性を、人手によらず解析する資源配分メカニズムの解析技術を確立する。

(3) 人工知能分野の知識表現技術を利用／発展させ、メカニズム／最適化問題の入力となるパラメータや参加者の戦略を簡潔に表現することを可能にする資源配分メカニズムにおける表現技術を確立する。

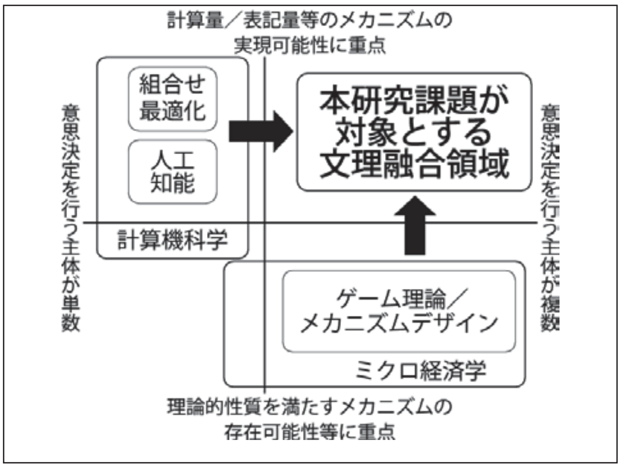


図１ 本研究の対象領域

【期待される成果と意義】

本研究課題は文科系と理科系の最先端の知恵を出し合って喫緊の社会問題の解決に貢献する、真の意味での文理融合を達成する希有な事例となる。理論的成果として実現可能性を保証する資源配分メカニズムの設計理論を構築すると共に、様々な応用分野を対象とし、非専門家が利用可能なソフトウェアパッケージを提供する。これらの成果により、希少な資源の効率的な配分が可能となり、我が国の持続可能な発展に貢献することが予想される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・横尾 真，オークション理論の基礎", 東京電機大学出版局, 2006.
・Makoto Yokoo, Yuko Sakurai, and Shigeo Matsubara, The Effect of False-name Bids in Combinatorial Auctions: New Fraud in Internet Auctions, Games and Economic Behavior, vol. 46, No. 1, 174-188, 2004.

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度−28 年度
163,500 千円

【ホームページ等】

http://agent.inf.kyushu-u.ac.jp/~yokoo/

【基盤研究（S）】

総合・新領域系（総合領域）

研究課題名　複合現実型情報空間の表現力基盤強化と体系化

立命館大学・情報理工学部・教授　田村　秀行（たむら　ひでゆき）

研　究　分　野：知覚情報処理

キ　ー　ワ　ー　ド：人工現実感、複合現実感、三次元音場、全天周映像、隠消現実感

【研究の背景・目的】

複合現実感（Mixed Reality; MR）技術は、人工現実感（VR）の発展形であるが、実世界を対象とした「新しい情報提示技術」としての期待が大きい。これまで限られた対象や環境下でのみ威力を発揮してきた従来技術を一般化し、豊かな表現力をもつ MR 空間を実現するため、我々は次の２つのアプローチで技術基盤を強化する。

１つは視覚的 MR と聴覚的 MR を同時に達成する視聴覚併用 MR 空間の高度化であり、もう１つは、現実世界に実在する物体を視覚的に隠蔽・消去する「隠消現実感(Diminished Reality; DR)」に取り組むことで、MR 技術自体の質的向上を図る。

【研究の方法】

■テーマ A「没入型映像＆音像空間での高臨場感複合現実体験」：独自の「音像プラネタリウム方式」[1]による 3D 音像定位を発展させ、視聴覚併用 MR システムでの高臨場感体験を可能にする。全天周型映像＆音像空間（図１）を構成し、音響的には、音像定位位置の距離制御、残響感の向上、移動音の実現、複数人同時体験等の諸問題を解決する。映像的には、ドーム壁面での背景映像表示とビデオシースルー型 HMD による MR 表示併用の新方式に挑戦する。

図１　全天周型視聴覚 MR 空間の予想図

■テーマ B「隠消現実感の要素技術開発と技術体系構築」：DR は MR の発展形であり、より困難な達成課題である。視覚的な DR を対象物体の隠背景映像重畳問題（図 2）として扱い[2]、各種要素技術開発と系統的実験によって当該技術の体系化を行う。本テーマは、さらに（B-1）静的な隠背景が対象の場合、(B-2) 動的な隠背景が対象の場合、に大別して研究を行う。様々な状況での隠背景情報を得て、系統的実験が行えるよう、照明制御機構とカメラ移動機構を有する実験スタジオを設ける。

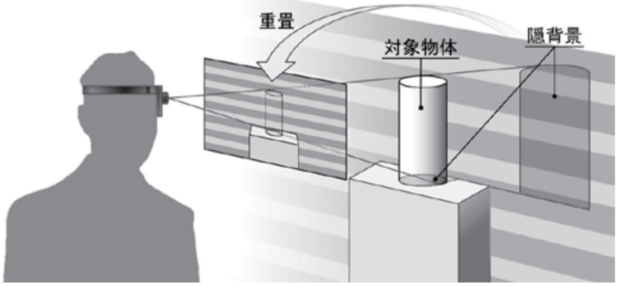


図２　隠背景映像重畳による実物体の消去

【期待される成果と意義】

世界でも他に類のない「視聴覚併用 MR」及び「音像プラネタリウム方式」の研究は、本研究の実施によって高音質化が達成でき、実用域に達することが期待できる。自作する超音波スピーカの用法は斬新であるので、業界の注目を集め、同スピーカの新たな用途開拓に繋がることも期待される。

一方の視覚的 DR 研究は、途中成果や素材データを広く公開し、本研究が当該研究分野を牽引することを前提としている。よって、追随する類似研究も数多く現われ、研究者人口も増加するだろう。DR は誤魔化しが利かない技術であり、DR を含む広義の、MR 技術の未熟な点が浮き彫りになる。本研究終了の頃には、MR 空間の実用性が増し、芸術・教育、都市計画・防災等での広汎な利用が期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

[1] 森勢将雅、杉林裕太郎、栗元総太、西浦敬信：音像プラネタリウム：超音波スピーカを利用した 3 次元音場再生方式、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、Vol. 16, No. 4, pp. 687 - 693 (2011)

[2] 森尚平、一刈良介、柴田史久、木村朝子、田村秀行：隠消現実感の技術的枠組と諸問題～現実世界に実在する物体を視覚的に隠蔽・消去・透視する技術について～、同上、Vol. 16, No. 2, pp. 239 - 250 (2011)

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度

166,500 千円

【ホームページ等】

http://www.rm.is.ritsumei.ac.jp/kiban-s/

基盤研究（S）

【基盤研究（Ｓ）】
総合・新領域系（総合領域）

研究課題名　超高速ビジョンを用いた高速知能ロボットの研究

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授　石川　正俊（いしかわまさとし）

研　究　分　野：総合領域、情報学、知能ロボティクス
キ ー ワ ー ド：知能ロボット、画像情報処理

【研究の背景・目的】

現在、産業用ロボットはプレイバック方式による繰り返し動作の実行は速いが、センサフィードバックに基づく知的動作はセンサの速度に起因して、低速な動作しか実現されていない。一方、ヒューマノイドロボットは人間の運動を再現することを目標としているため、本質的な機械のダイナミクスに比べて動作が遅いという問題がある。現状の知能ロボットは、機械システムとしての速度限界には達しておらず、今まで以上に高速かつ知的に動作する先進的な領域へ達する可能性が残っている。

研究代表者らは、超高速ビジョンに関連する幅広い基盤技術を確立するとともに、実際に超高速時間領域で動作する様々なシステムを構築することで、従来の知能システムの限界を打破してきた。本研究では、新たに、高速３次元形状計測、高速視線制御、高速可変焦点技術を知能ロボットへ統合し、知能ロボットの速度限界へ挑戦する。具体的には、(A) 人間の目では見えない極限の高速性を追求した高速知能ロボットの開発、(B) 人間の目では把握し得ない高速に変動する実環境・対象のダイナミック把握の実現を目的とする。

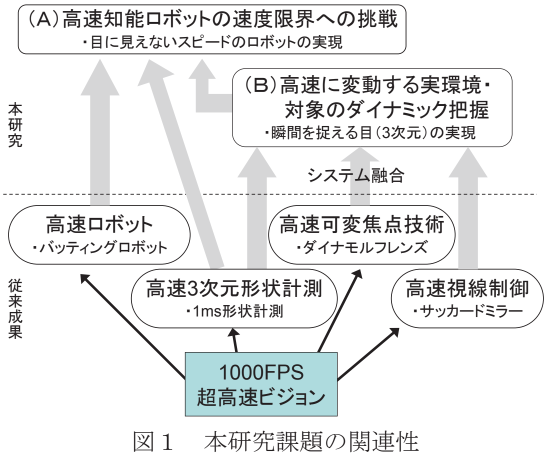


図１　本研究課題の関連性

【研究の方法】

(A) 高速知能ロボットの速度限界への挑戦：人間の目に見えない高速知能ロボットの一般的動作原理、必要条件、設計指針等を体系的に確立し、具体的な高速知能ロボットへの実装を図る。まず環境を理解するために、後述する(B)を開発し、この技術によって得られる行動空間内の全情報把握に基づく知的センサフィードバックを実現する。このことにより、能動的センシングの理論を再構築し、動作速度と精度との関係を明らかにする。さらに、高速アクチュエーション技術をベースに、多指ハンドアームシステムからなる上肢に加えて下肢等の他の身体へ適用すること、および身体動作の位相同期に基づく高速運動理論を実装することで、さらなる運動系の高速化を実現する。

(B) 高速に変動する実環境・対象のダイナミック把握：高速知能ロボットを動かすために必要な、複雑かつダイナミックに変化する実環境・対象に対する高速環境認識技術として、以下の３つを開発する。B-1) 1kHz の時間精度とサブ mm の空間精度で実環境の構造と変動を取り込むことができる高速３次元形状計測，B-2) 高速ミラー（約 17,000 deg/s 以上の走査速度）を用いた高速視線制御，B-3) 光学系の動特性をロボットビジョン用途へ最適化した高速可変焦点技術。

【期待される成果と意義】

本研究は、超高速時間領域で動作する超高速ビジョンを起点として、センシングおよびアクチュエーションの方法論の大幅な改善、およびリアルタイムの実環境情報把握とそのフィードバックによって動作するロボットの限界を打破し、その設計理論を根底から覆すものである。これは、次世代の高速知能システムの基盤となるデザインならびに動作原理を提案すると同時に、その中核をなす要素技術の創出・整備を行い、高速知能ロボット技術の体系的な学術基盤を整備するものとなっている。これにより、FA・製造ラインの高速化・高精度化、高速位置決め、無停止視覚制御、柔軟対象物（布や紐など）の制御、人間機械協調、人間動作支援、ヒューマンロボットインターフェースなど、幅広いロボットサービスへの応用展開が期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・石川正俊，高速ビジョンとその応用，応用物理，Vol.81，No.2，pp.115-120，2012.
・妹尾拓，並木明夫，石川正俊：高速打撃動作における多関節マニピュレータのハイブリッド軌道生成，日本ロボット学会誌，Vol.24，No.4，pp.515-522，2006.

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
167,100 千円

【ホームページ等】

http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/
Masatoshi_Ishikawa@ipc.i.u-tokyo.ac.jp

研究課題名　ロボット聴覚の実環境理解に向けた多面的展開

京都大学・大学院情報学研究科・教授　奥乃(おくの)　博(ひろし)

研　究　分　野：情報学・知能ロボティクス

キ ー ワ ー ド：ロボット聴覚、音環境理解、AV-SLAM、聖徳太子ロボット、空からの音源定位

【研究の背景・目的】

私たちはこれまでに聖徳太子のように音を聞き分け、環境を理解する音環境理解するロボット聴覚の研究開発に従事し、ロボット聴覚ソフトウエア HARK を開発し、三話者同時発話認識や音楽ロボットに応用してきた。ロボット聴覚による音環境理解は、音は画像と比べ拡散性が強く、画像だけでは捉えきれない環境への対応が可能となるものの、その技術はいまだ研究室レベルのものに留まっている。音源が音声中心であり、静止しており、室内にあることを想定しているので、より現実的な環境での音処理方法の確立や得られた情報の活用方法が課題である。

本研究課題では、既開発のロボット聴覚を基に、室内および屋外での音環境理解の基礎技術を確立する（図１）。これを通じて、高齢者や聴覚障害者のために聞き分ける機能を支援するライフイノベーションあるいは実環境・極限環境での音環境理解を支援する安全安心社会に貢献できるロボット聴覚技術の多面的展開を目的とする。

図１　ロボット聴覚の展開

【研究の方法】

本研究課題では、当初三年間は、HARK を基に、室内音環境理解技術の確立を中心に進め、後半二年間は、実環境・極限環境での屋外音環境理解技術に展開する。具体的には、４つのワークパッケージ（WP）に分けて、次のような研究テーマに取り組む。

【WP1】多様なマイクロフォンコンフィグレーションへの展開、特に非同期分散マイクロフォンの同期、性能劣化を抑えたマイクロフォン数削減

【WP2】室内から屋外への展開、特に、無人飛行機による空中からの音の取得と音源定位、ロボットや無人飛行機の騒音抑制技術

【WP3】音声から楽音・環境音を含めた音一般への展開、特にノンパラメトリックベイズ信号処理、音光変換による動物音響学、楽器音実時間分離、環境音の擬音語認識

【WP4】実環境・極限環境への展開、バイバースコープへのマイクロフォン搭載と音環境可視化

４つの WP を通じて、開発したソフトウエアの公開と講習会を通じてロボット聴覚技術の有効性を実証し、「世界のロボットの聖徳太子化」を実現する。

【期待される成果と意義】

本研究課題の遂行により、実環境で機能するロボット聴覚を通じて。複数の音を聞き分ける「聖徳太子ロボット」の基礎技術が確立する。いわばロボットの目に加えて、耳が備わるので、視聴覚情報統合を通じたロボットの知覚能力が向上し、人とロボットとの共生がより自然となると期待される。

具体的な成果は、多様な要求条件に対応可能なロボット聴覚ソフトウエアの開発と公開、聞き分ける技術に基づいた安心安全技術への音情報の利用（「壁に耳あり」の実現）、実環境・極限環境での認識・観測において未使用だった音情報の活用、ロボット聴覚搭載無人飛行機群と地上システム群との統合による音環境理解などである。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・Nakadai, K., Takahashi, T., Okuno, H.G., Nakajima, H., Hasegawa, Y., and Tsujino, H.: Design and Implementation of Robot Audition System "HARK", Advanced Robotics, 24:5-6 (2010) 739-761. doi:10.1163/016918610X493561

・中臺一博・宮下敬宏・奥乃博(編)「ロボット聴覚」特集，日本ロボット学会誌，28:1 (Jan. 2010) p.1~42 doi:10.7210/jrsj.28.6

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
167,800 千円

【ホームページ等】

http://winnie.kuis.kyoto-u.ac.jp/
okuno@i.kyoto-u.ac.jp

【基盤研究（Ｓ）】

総合・新領域系（総合領域）

研究課題名　高次脳領域におけるシナプス伝達制御機構の分子形態学的研究

北海道大学・大学院医学研究科・教授　**渡辺　雅彦**（わたなべまさひこ）

研　究　分　野：総合領域

キ　ー　ワ　ー　ド：分子・細胞神経科学

【研究の背景・目的】

情報処理が高度に発達した高次脳領域の中心的ニューロンは、莫大な数の神経入力をシナプスを介した配線伝達により受取る。樹状突起と細胞体に配置する個々のシナプス伝達の重み（比重）は、入力選択的および標的選択的に異なるように設定され、さらに、それぞれのシナプスの伝達効率は活動依存的および状況依存的に変化する。このシナプス伝達の階層的な制御様式は、多数の入力源から神経情報を処理し統合する中枢神経機能の根幹であるが、その制御機構の多くは不明である。

本研究では、シナプス伝達の入力選択的、標的選択的、活動依存的、状況依存的な制御に関わるシナプス前部、後部およびその周囲の分子構築を、超微細形態学的手法を用いて明らかにする。さらに、その機能的意義を、遺伝子改変動物を用いた神経形態学・神経生理学・神経行動学等の解析を通して解明する。この目的達成のため、これまで申請者が得てきたオリジナルな研究成果や観察結果に基づく、次の３つの作業仮説の検証実験を行う。

【研究の方法】

1. シナプス後部分子による入力および標的選択的シナプス伝達制御に関する研究：過去の小脳解析結果から「TARP を介して GluR サブタイプがシナプス後部の受容体スロットをめぐって競合することで、AMPAR のシナプス後部挿入が入力および標的特

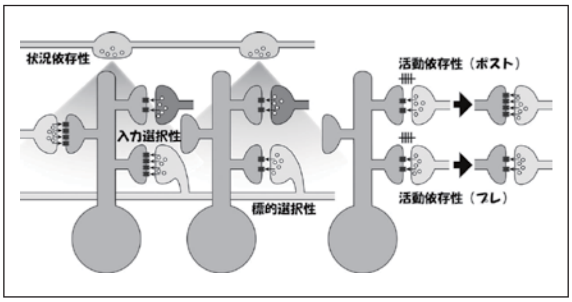


図１階層的伝達制御

異的に制御される」という作業仮説①を立てた。この仮説の普遍性を、小脳とは異なる GluR 発現構成(NMDAR や GluD1)を持つ海馬と線条体において検証する。

2. シナプス前部分子による活動依存的シナプス伝達制御に関する研究：「シナプス前部に発現する VGluT サブクラスがシナプス可塑性の誘発特性に影響を与え、活動依存的なシナプス伝達効率の調節に関わる」という作業仮説②を立てた。この仮説の妥当性を、発達期小脳平行線維シナプス、成体期の扁桃体シナプスと線条体シナプスに焦点を当て、その短期および長期可塑性の誘発特性とともに検証する。
3. シナプス周囲の神経調節物質受容体による状況依存的シナプス伝達制御に関する研究：「接着装置による係留とその周囲へのボリューム伝達を介して、神経調節物質は標的周囲のシナプス伝達を状況依存的に調節する」という作業仮説③を立てた。この仮説の妥当性を、黒質線状体ドーパミン投射系、中隔海馬アセチルコリン投射系、CCK 局所投射系において検証、神経調節系にも標的特異性や入力依存性が存在することを明らかにする。

【期待される成果と意義】

多層的視点からシナプス伝達強度の制御機構の総合的解明を目指す本研究を通して、多様な入力源からの神経情報の統合を通して実行される中枢神経機能の基盤的実体が解明される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・Yoshida T, Uchigashima M, Yamasaki M et al.: Unique inhibitory synapse with particularly rich endocannabinoid signaling machinery on pyramidal neurons in basal amygdaloid nucleus. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**. 108:3059-3064, 2011.

・Ichikawa R, Yamasaki M, Miyazaki T et al.: Developmental switching of perisomatic innervation from climbing fibers to basket cell fibers in cerebellar Purkinje cells. **J. Neurosci.** 31:16916-16927, 2011.

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度

167,800 千円

【ホームページ等】

http://www.hucc.hokudai.ac.jp/~e20704/

watamasa@med.hokudai.ac.jp

研究課題名　光遺伝学と磁気共鳴機能画像法の融合による大脳記憶機構の解明

東京大学・大学院医学系研究科・教授　宮下（みやした）　保司（やすし）

研　究　分　野：総合領域
キ ー ワ ー ド：認知神経科学

【研究の背景・目的】

霊長類の大脳記憶システムの動作様式解明に向けた最近の進歩は、主に電気生理学的アプローチを中心とする局所神経回路に関する知見の蓄積によるところが大きい。しかし一方、大域的大脳ネットワークの動作原理の解明にはそうした方法を直接に適用することが困難であり、磁気共鳴画像法が主な方法となってきたがそれだけではネットワーク動作の因果的側面まで踏み込んだ解析は困難であった。本研究では、磁気共鳴画像法による全脳の大域的解析の利点を生かしながら、最近開発されつつある光遺伝学的方法と組み合わせることによって、記憶生成・想起を協同的に支える大域的大脳ネットワークの動作様式ことに大脳側頭葉と前頭葉を結ぶネットワーク機能の因果的理解を目的とする。

【研究の方法】

<u>（１）サル大脳への神経回路特異的な光遺伝学刺激法／抑制法の確立</u>

まずサル大脳において光遺伝学的に刺激／抑制を可能にする遺伝子の導入法およびオプトロードシステムを確立する。遺伝子導入法としては、レンチウィルスおよびアデノ随伴ウィルス（特に、AAV-5、AAV-8 および AAV-9）を用いる。神経細胞の光刺激および光抑制には、チャネルロドプシン及びハロロドプシン遺伝子を用いる。これらの遺伝子の神経回路特異的導入には、逆行性軸索輸送を利用する。これらの技術は単体としては、当教室でラットを用いて準備が進んでいるが、サル大脳における単体技術の総合的実現が必要である。

<u>（２）サル大脳ネットワークへの因果的攪乱ダイナミクスの fMRI 計測</u>

サル fMRI 法による巨視的脳機能マッピング技術（BOLD 賦活反応を記録する技術）は当教室において既に確立されている。しかし、局所の因果的擾乱が大脳全体にどのような fMRI 上の動的変化を引き起こすか、ことに神経ネットワークの機能結合自体にどのような変化を引き起こすか、を調べる方法の確立が必要である。まず薬理学的擾乱によっておこる神経ネットワーク結合の動的変化解析を行う。Muscimol 等の GABA アゴニストの局所注入と resting state Functional Connectivity（rsFC）解析を組み合わせて、局所的な擾乱がどのように大脳ネットワーク全体のダイナミクス変化として広がっていくかを調べる。もし上記下位目標（１）が実現すれば、その段階においては光遺伝学的擾乱を用いて部位・時間特異性の高い因果的擾乱が実現可能となるので、擾乱部位から離れた遠隔部位との機能結合、遠隔部位同士の機能結合変化の解析を行う。

<u>（３）認知課題遂行中のサル大脳ネットワークの光遺伝学的擾乱ダイナミクスの解析</u>

上記（１）および（２）が実現した段階で、記憶課題遂行中のサル大脳の大域的動作様式を解析する。リスト型再認記憶課題および新近性記憶課題をサルに学習させ、課題遂行中の全脳活動を fMRI 計測する。次に、rsFC によって、BOLD 賦活で同定された機能領域間の機能結合を同定する。更に、BOLD 賦活で同定された機能領域にチャネルロドプシンまたはハロロドプシンを特異的に発現させ、上記課題遂行中に光遺伝学的擾乱を加えて引き起こされる行動学的ならびに機能画像的変化とそのダイナミクスを計測する。

【期待される成果と意義】

本研究の学術的な特色は、光遺伝学的擾乱法と高磁場 4.7T 磁気共鳴画像法とを組み合わせて全脳の大域的ダイナミクスを解析する試みであり、極めて独創性が高い。認知課題遂行中のサル大脳においてこの解析が成功すれば、現代の認知神経科学研究のフロントを大きく拡大することになり、その学術的インパクトは極めて大きいと考える。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・Takeuchi, D., Hirabayashi, T., Tamura, K. and <u>Miyashita, Y.</u>：Reversal of interlaminar signal between sensory and memory processing in monkey temporal cortex. *Science* 331, 1443-1447, 2011.
・Matsui, T., Koyano, K.W., Koyama, M., Nakahara, K., Takeda, M., Ohashi, Y.,Naya,Y. and <u>Miyashita, Y.</u>：MRI-based localization of electrophysiological recording sites within the cerebral cortex at single voxel accuracy. *Nature methods* 4, 161-168, 2007.

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
167,300 千円

【ホームページ等】

http://www.physiol.m.u-tokyo.ac.jp/

【基盤研究（S）】
総合・新領域系（総合領域）

研究課題名　時系列情報の神経回路基盤

わたなべ　だい
京都大学・大学院生命科学研究科・教授　渡邉　大

研　究　分　野：神経科学
キ ー ワ ー ド：神経回路、音声コミュニケーション

【研究の背景・目的】

ヒトの言語は、限られた数の音素から構成されているにも拘らず、文法規則により多様かつ複雑に変化する。このように文法規則のある音声によりコミュニケーションを行うためには、脳は聴覚情報に基づいて文法規則を学習するとともに、さらにこの文法規則に基づいて複雑な音声シーケンスを組み立てなければならない。しかしながら文法規則のような高度な時系列情報処理に関する神経機構について多くは不明である。

スズメ亜目に属する鳥類（ソングバード）は、ヒトと同様に、有限個の音素から構成される音声シーケンス（song：さえずり）を模倣により後天的に獲得することが知られている。研究代表者らは、これらの鳥類が人工的に作成した音声シーケンスの配列規則（文法）を学習し、その規則に基づいて今までに聞いたことがない音声シーケンスを識別することを明らかにした。さらに文法規則をどのように脳がコードしているか明らかにするために、発声中のソングバードの音声制御系の神経活動の計測を行った。その結果、大脳皮質前運動領域HVCから基底核への投射ニューロンが文法情報をコードしていることを見いだした。

本プロジェクトでは、これらの知見に基づき、ソングバードの中枢神経系において聴覚情報の中からどのように文法情報が抽出されるか、そして文法規則に従ってどのように音声制御の神経情報が形成されるかについて明らかにする。さらに進化的にヒトと近い哺乳類モデル動物の聴覚系・音声制御系神経回路における時系列情報処理を解析する。以上により音声コミュニケーションに重要な文法規則の情報処理の根幹となる「時系列情報の神経回路基盤」を明らかにする。

【研究の方法】

音声コミュニケーションに関する脳の文法情報処理を調べるために、自由行動下の動物個体から単一ニューロンの精度で神経活動を計測できる超小型かつ軽量のマイクロドライブ（下図参照）を用いて神経活動計測を行う。これにより、HVCの上位及び下位の神経回路での文法情報処理について明らかにする。次に哺乳類モデル動物での音声制御系神経回路のマッピングを行い、音声コミュニケーション時の神経活動を解析する。また複雑な時系列情報の認識と制御を必要とする音声コミュニケーションが生後の発達と密接に結びついた模倣学習により獲得されることから、発達期における神経回路の機能性獲得プロセスの解析を分子遺伝学的なアプローチにより進める。

図：超小型モーター付マイクロドライブ

【期待される成果と意義】

ヒトと同様に音声を学習する鳥類モデル動物と進化的にヒトと近い哺乳類モデル動物を対象に音声コミュニケーションに関わる時系列情報の認識・制御・獲得の神経回路機構を包括的に研究することにより、ヒトの言語の根幹となる高次の時系列情報処理の脳機能の解明が期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・Abe, K., and Watanabe, D. (2011). Songbirds possess the spontaneous ability to discriminate syntactic rules. Nat Neurosci 14, 1067–1074.

・Fujimoto, H., Hasegawa, T., and Watanabe, D. (2011). Neural coding of syntactic structure in learned vocalizations in the songbird. J Neurosci 31, 10023–10033.

【研究期間と研究経費】

平成24年度－28年度
167,800千円

【ホームページ等】

http://www.phy.med.kyoto-u.ac.jp/
dai@phy.med.kyoto-u.ac.jp

研究課題名　体液恒常性を司る脳内機構の研究

基礎生物学研究所・統合神経生物学研究部門・教授　野田（のだ）　昌晴（まさはる）

研　究　分　野：神経科学一般
キ ー ワ ー ド：分子・細胞神経科学

【研究の背景・目的】

ヒトを含む哺乳動物はその生命維持のために体液（血液、脳脊髄液を始めとする細胞外液の総称）の塩濃度を一定に保つ必要がある（体液恒常性/Na 恒常性と呼ばれる）。そのため、脳において、常に体液中のNa^+レベルと浸透圧の変動を監視するとともに、塩分/水分の経口摂取と腎臓における排泄/再吸収の制御を統合的に行っている。我々はこれまでに、ナトリウムチャンネルの一種であるNa_xが脳内Na^+センサーであることを世界で初めて明らかにするとともに、そのセンシング機構について数多くの知見を明らかにしてきた。また最近、侵害刺激センサーである TRPV1 チャンネルが、浸透圧センサーとしての機能を有していることを初めて明らかにした。本研究はこれらの成果を基盤に、体液恒常性を司る脳内機構の全容の解明を目指す。

【研究の方法】

体液恒常性を担う塩分/水分の経口摂取の制御と腎臓における排泄/再吸収の制御を司る脳内機構の解明を総合的に進める。まず、体液状態監視の中枢である感覚性脳室周囲器官を構成する細胞種を同定するとともに、内在する投射ニューロンとその連絡先をマーカー分子の発現解析、神経活動の指標である Fos の発現と逆行性標識により明らかにする。次に、塩分の経口摂取の制御に関わる Na_x チャンネルについて、エンドセリンによる開口機構を解析すると共に同じく塩分摂取を抑制する作用のあるニューロキニン B との関係を明らかにする。また、光活性化型チャンネルを用いて、Na_x シグナルの塩分摂取行動制御における役割の検証を行う。さらに、水分の経口摂取と排泄の制御機構の解明に向けて、浸透圧センサーTRPV1 の脳室周囲器官内発現細胞の同定を行うと共に、*TRPV1*-KO の解析を通じて、体液浸透圧のセンシングによる飲水行動、並びに VP 産生・分泌の制御機構について解明する。

【期待される成果と意義】

体液恒常性を司る脳内機構は生命維持のための基本的仕組みであり、進化の過程で動物が陸上に進出するに伴い、獲得、発達させてきたものと考えられる。この課題は古くから研究されてきたにも関わらず、その詳細は未だに解明されていない。その原因は、体液センサー分子の実体が長い間不明だったことにある。我々が体液の Na^+濃度（体液中にもっとも多く含まれる陽イオン）と浸透圧（ほとんど Na^+濃度で決定される）をそれぞれ感知する２つのセンサー分子を同定したことにより、体液恒常性の脳内制御機構を分子レベルから個体レベルまでシステムとして研究することが可能となった。本研究は最新の多様な研究手法を動員することによって、センサー分子の同定から、その活性化機構の解析、感覚性脳室周囲器官の構成細胞の解析から局所神経回路の解明、Na_x 陽性グリア細胞—神経細胞間の情報伝達の意義、血圧関連ホルモンによる体液恒常性制御の分子機構、そして塩分/水分の摂取行動と内分泌を制御する回路とその制御機構の解明まで、多段階に亘る制御機構を初めて総合的に研究しようとするものであり、世界的にも極めて独創的である。また、分子レベルから個体レベルまでをカバーする統合性に最大の特色がある。これまで、腎臓など末梢器官における体液調節機能の研究が進む一方、その司令塔である脳の研究は遅れていた。本研究は、脳科学と内分泌学を統合した個体生理学研究として世界レベルの貢献を行うとともに、個体生理に係る脳・神経科学分野において今後の進むべき一つの方向性を示すものとして、大きなインパクトを与えるものである。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・Hiyama TY, Matsuda S, Fujikawa A, Matsumoto M, Watanabe E, Kajiwara H, Niimura F and Noda M. (2010). Autoimmunity to the sodium-level sensor in the brain causes essential hypernatremia. ***Neuron*** 66, 508-522.
・Shimizu H, Watanabe E, Hiyama TY, Nagakura A, Fujikawa A, Okada H, Yanagawa Y, Obata K and Noda M. (2007). Glial Na_x channels control lactate signaling to neurons for brain [Na^+] sensing. ***Neuron*** 54, 59-72.
・Noda M. (2006). The subfornical organ, a specialized sodium channel, and the sensing of sodium levels in the brain. ***The Neuroscientist*** 12, 80-91.

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
172,000 千円

【ホームページ等】

http://niwww3.nibb.ac.jp/

【基盤研究(S)】

総合・新領域系（総合領域）

研究課題名　創薬標的の探索を目指したIL-1関連遺伝子改変マウスライブラリーの作製と解析

東京理科大学・生命医科学研究所・教授　岩倉（いわくら）　洋一郎（よういちろう）

研　究　分　野：実験動物学

キ ー ワ ー ド：遺伝子改変マウス、サイトカイン、C型レクチン受容体

【研究の背景・目的】

細胞間相互作用を媒介するサイトカインと呼ばれる一群のタンパク質の中でIL–1は感染症や自己免疫、肥満、糖尿病などの様々な疾患の病態形成に加えて発熱、ストレス応答などの生体システム維持に重要な役割を果たしている。これらのことは IL–1 欠損（KO）マウスを作ることによって初めてわかってきたことで、遺伝子改変マウスの解析は疾患病態や新しい生命現象の理解を我々にもたらしてくれる。このように遺伝子改変した動物個体を多面的に解析することにより新たな機能が見えてくると共に従来無関係と考えられていた生物現象が結びつくことで創薬の新たな切り口が見えてくることがあり、遺伝子改変マウスを整備することにより病態解明と創薬研究が加速することが期待される。

本研究はIL–1の生体における役割を体系的に明らかにする目的でこれまでに作製したIL–1関連遺伝子改変マウスの解析とともにIL–1下流で誘導されるC型レクチンやC1qTNFファミリー分子に着目し遺伝子改変マウスを新規に作製することにより、その機能を解析する。

【研究の方法】

当研究室が得意とする発生工学の手法を用いて、IL-1 の下流で誘導され関節炎病変部位で発現亢進が見られたC型レクチン受容体、C1qTNF ファミリーやイムノグロブリン受容体などの KO マウスを新たに作製する。これらの遺伝子はいずれも自己免疫やアレルギー応答に関与することが考えられるため動物疾患モデルを利用して疾患発症や病態形成における役割を解明する。また C 型レクチンは感染防御に関与する可能性があるため感染感受性を検討する。C1qTNF ファミリー遺伝子は骨代謝や糖尿病への関与が示唆されているため、骨系や内分泌系での機能を検討する。さらに IL–1 ファミリー遺伝子である IL–1R2 の生理的機能を詳細に解析する。病態関与が認められた場合は抗体などの生物学的製剤への応用を試みる。

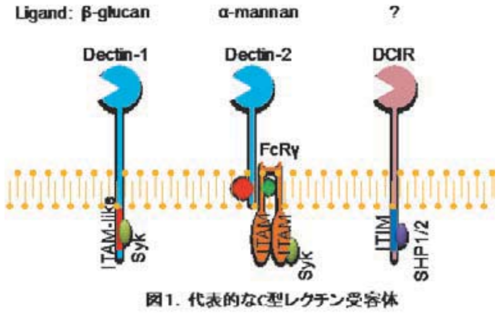
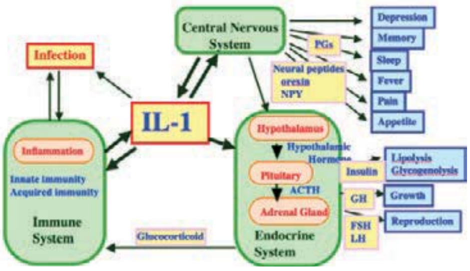


図1. 代表的なC型レクチン受容体

【期待される成果と意義】

関節炎に関連する IL–1 の下流遺伝子に着目し、これまでに作製した KO マウスと新規に作製する KO マウスの解析から、特定遺伝子の生体内機能を理解することで、新たな創薬標的を見いだすことが期待される。また免疫系で炎症性サイトカインとして捉えられてきた IL–1 を、生体の恒常性維持に重要な役割を果たしている因子として捉え直し、IL–1関連遺伝子の機能を包括的に理解し、骨代謝や内分泌系における治療法の手がかりを見つけたい。

さらに本研究によりIL–1関連の疾患動物モデルや病態解析用ツールが作製され当該研究分野の発展に貢献できる。これまでに我々の作製したKOマウスと合わせ新規作製するKOは生体内評価をした後、広く国内外の研究者に配布し研究促進に役立てる予定である。



【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

1. Saijo, S., (14名中1番) and Iwakura, Y.(14名中最後) Dectin-1 is required for host defense against *Pneumocystis carinii* but not against *Candida albicans*. *Nat. Immunol.,* 8, 39-46 (2007).

2. Fujikado, N., Saijo, S., (10 名中 2 番) and Iwakura, Y. (10名中最後) Dcir deficiency causes development of autoimmune diseases in mice due to excess expansion of dendritic cells. *Nat. Med.*, 14, 176-180 (2008).

【研究期間と研究経費】

平成24年度－28年度
167,700千円

【ホームページ等】

http://www.rs.tus.ac.jp/iwakuralab/

研究課題名　国際市場を前提とする服飾造形とテキスタイルの設計提案に関する技術的経営的研究

信州大学・繊維学部・教授　高寺（たかてら）　政行（まさゆき）

研　究　分　野：繊維工学、被服学、服飾デザイン学、感性情報学、経営学
キ　ー　ワ　ー　ド：ファッション、服飾造形、テキスタイル、国際市場

【研究の背景・目的】

我が国ファッションの国際化は長年の課題で国策でもあるが、国際プレゼンスは低く電機や自動車に比しアジア市場でも実績に乏しい。米国に次ぐ豊穣な日本国内市場と製造原価低減要求は超空洞化（衣料消費輸入比率は95%強）を招き、国際化に堪える製造技術や設計・販売ノウハウを喪失させた。この空洞化を踏まえ、我が国ファッション事業国際化に寄与する知見を得るため、技術に偏重しがちな繊維工学に感性認知情報・被服・商経営の諸学見解を導入、国際市場を前提とした技術的かつ経営的研究を推進する。

分野１：国際ファッション市場に対応する、テキスタイルと服飾の設計・製造・販売に関する技術的経営的研究を進める。ファッションテキスタイルの設計過程・製造工程の知見を得、標準化を模索、服飾設計の特徴を整理する。テキスタイル提示に関する服飾設計者の認知的限界を明示する。ファッション製品の製造工程における裁量とその効果を解明する。

分野２：国際ファッション市場に通用する「テキスタイル提案システム（TPS: Textile Proposal System)」構築を目指す。製品の質感とドレープを的確に表現するべく、力学特性の視点から考案し、電子取引を想定し、TPS の要件を解明する。さらに、テキスタイルの動きの表現を工夫し、触覚特性の予測に及ぶ。

【研究の方法】

分野１：国際市場前提の服飾業態にかんする先行研究でのクチュールメゾン(Cm)、ファストファッション(Ff)の知見を基に、両者の服飾デザインにおける国際化手法についてデザイン、パターンと体形の事業者別、市場別調査を実施する。また両業者が選択対象とするテキスタイルについて、繊維工学・服飾設計製造・感性認知情報学・商学経営学の視点からカテゴリ、規格、色彩、視覚テクスチャ、触感、物性、表現言語、設計生産技術、取引・流通等を調査しテキスタイル事業の国際化要件の知見を得る。

テキスタイルの国際分類調査、テキスタイルの属性と言語表現の関係の研究、世界市場に通用するファッション製品の実在試料の収集および分解再生、海外消費者に係るパターン研究（体形・ボディと設計、造形、裁断縫製工程、パターンとテキスタイルの相互作用、着心地の国際比較実験、服飾テキスタイルの採否決定者の認知限界調査を行う。ブランド評価、海外出店のための都市研究を、欧州特定街区を対象に実施する。

分野 ２：服飾設計者のテキスタイル認知と、テキスタイルに関わる情報の標準化調査を実施する。認知に関しテキスタイル単体・衣服設計の素材・新規取引への影響という多面的視点から調査する。また、TPS でのテキスタイル情報表現決定の参考や既存の設計・生産システムとの互換性維持のために、テキスタイル取引情報の表現実態を調査する。テクスチャ・色、静的なドレープやしわ、動的な揺れ、標準試料・尺度の定式化を検討する（設計、触感、色彩)。言語表現の認知科学的調査、触感デバイスの要件整理と可能性検討を行う。2D･3D･ファブリックシミュレータによる伝達、クロスシミュレータによる伝達能力の技術的調査。遠隔地取引業者の提案経験の増加可能性､テキスタイルの製造工程への影響､服飾設計者の創造意欲向上、服飾製造工程への影響を調査し、遠隔多媒体通信取引にかんする展望を示す。

【期待される成果と意義】

繊維工学に異分野知見を交差させ、また、異分野に繊維工学を知っていただき、国際ファッション市場進出を意識し、その解決策と実行可能性を常に念頭に置き、あわせて繊維工学を国際ファッション市場に対応可能な内容に再構築し学問的付加価値を高めていく点に学術的特色と独創性を強調する。本研究は論文を重要とするも、Premiere Vision Paris のような国際大規模展示会に集う実務家から、なんらかの程度にプラス評価を得ることも重要であると考える。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・Youngsook Cho, Masayuki Takatera, Keiichi Tsuchiya, Shigeru Inui, Hyejun Park, Yoshio Shimizu, Computerized pattern making focus on fitting to 3D human body shapes, International Journal of Clothing Science and Technology, Vol.22 No.1, pp.16-24,2010
・大谷毅，梶原莞爾，池田和子，高寺政行，森川英明，ラグジュアリーブランドビジネスの経営感性，感性工学，Vol.7,1,5-30(2007)

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
147,600 千円

【ホームページ等】

http://gtmb.shinshu-u.ac.jp

基盤研究（S）

研究課題名　知の循環型社会における対話型博物館生涯学習システムの構築に関する基礎的研究

国立科学博物館・事業推進部・学習企画調整課長　小川　義和（おがわ　よしかず）

研　究　分　野：博物館学
キ　ー　ワ　ー　ド：博物館教育学、科学リテラシー、生涯学習、科学系博物館

【研究の背景・目的】

本研究は、博物館の館種や地域での連携を通じて、博物館の資源を活用しやすい形態で社会に還元し、人々の地域への参画力を高め、地域の活性化と生涯学習の振興に資する博物館機能の構築を目指している。具体的には、複数の博物館が有する学習プログラムや展示等の学習資源を、人々の科学リテラシーの向上を目的とした共通の枠組みで蓄積する。そして、博物館利用者がそれらを活用して学んだ成果を確認し、さらにその学習方法や成果を社会に還元するシステムを研究開発することにより、知の循環型社会における科学リテラシーの向上に資する博物館活用のモデルを確立し、博物館の新しい機能としての対話型博物館生涯学習システムの構築を目的とする。

【研究の方法】

本研究では、個人の学習成果を明確にするために、「世代別枠組み」（図１参照）に基づいた博物館の学習プログラムのデータベースを構築・運用し、博物館利用者が学習プログラムを体験し、その成果を確認するシステム「科学リテラシーパスポート」を構築する。これは、博物館、利用者双方が活用できる電子的な記録票で、利用者側から自分の学習履歴を把握するとともに、博物館側が複数の利用者の学習傾向を横断的に把握できるシステムである。これによって、利用者は博物館の学習資源を選択する傾向や動機を自己認識し、自分の学びを評価できる。博物館は、博物館活用事例のデータベースとして利用でき、活用傾向を分析して、人々が博物館に求める課題を抽出し、課題、世代、館種の別に博物館活用事例を集積・発信する。

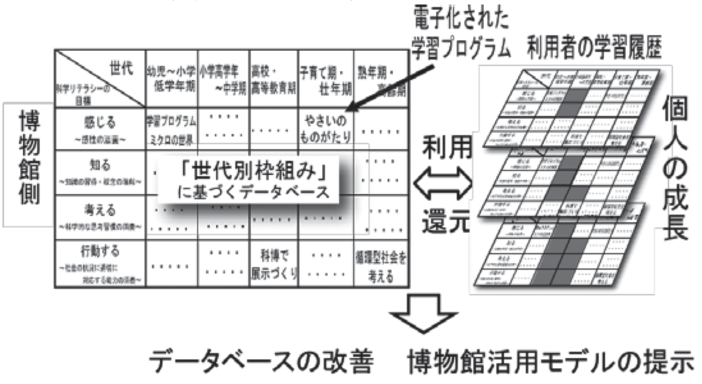


図１　対話型博物館生涯学習システムの概念図

本研究では「科学リテラシーパスポート」を利用して、次のような循環過程を通じて対話型生涯学習システムを構築する。①博物館利用者の活用事例の集積と分析、②利用者の科学リテラシー変容の把握、③科学リテラシー向上に資する課題別・世代別・館種別の博物館活用モデルの確立、④博物館活用モデルの提示による博物館の「世代別枠組み」の改善及び利用者の効果的な博物館活用の促進。

【期待される成果と意義】

1）本研究は課題別・世代別・館種別の博物館活用モデルを提示し、双方向性の博物館活用モデルの提案を行い、資源が限られている地域の博物館における事業戦略に指針を提示する。
2）本研究は、個人の成長の過程で科学リテラシーの向上を評価することで、科学リテラシーの定着を実証的に示すことができ、科学リテラシーの社会への定着という側面から学術的な知見を提起できる。
3）地域の課題解決のための科学コミュニケーションを主体的に担う人材の研修・育成を通じて、知の循環型社会を担うプラットフォームとしての博物館の新たな社会的機能を提案できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

Yoshikazu Ogawa, et al., Development of a Program Framework Responding to Global Issues in the Science Museum Setting, AAAS Annual Meeting Abstracts, p. A193, 2012.
小川義和：社会とつながる科学教育-地域の資源を活用した地学教育から考える-,第四紀研究, 50：S67-S78, 2011.
George Hein 著, 鷹野光行監訳, 小川義和他共訳：博物館で学ぶ, 同成社, 2010.
日本展示学会編, 小川義和他共著：展示論, 雄山閣, 2010.
高橋みどり, 小川義和他：科学系博物館における科学リテラシーの涵養に資する教育活動評価法開発の試み～ 幼児向けプログラムを例として, 科学教育研究, 32(4)：392-404, 2008.

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
96,000 千円

【ホームページ等】

http://www.kahaku.go.jp/learning/researcher/index.html（暫定：関連する研究報告書のサイト）

研究課題名　東アジア・北太平洋における有機エアロゾルの組成・起源・変質と吸湿特性の解明

北海道大学・低温科学研究所・教授　河村　公隆（かわむら きみたか）

研　究　分　野：環境学、環境動態解析
キ ー ワ ー ド：大気環境変動、有機エアロゾル

【研究の背景・目的】

エアロゾルは、太陽光を吸収・散乱するとともに、凝結核(CCN)として雲形成に関与することから、気候システムを構成する重要な要素である。大気中には揮発性有機物(VOC)とともに粒子状有機物が広く存在する。直径 1 μm 以下の微小粒子には有機物が濃集し、そのエアロゾル質量に占める割合は最大で 70%にも達する。これらは、一部が化石燃料の燃焼など一次発生源から直接放出されるが、大部分は人為・自然起源の VOC が大気中で酸化反応を受けることにより二次的に生成する。有機エアロゾルは吸湿性に富むことから高い CCN 活性を示し、雲の形成に重要な役割を果たしている可能性が高い。

本研究では、人間活動の影響を強く受ける東アジアとその風下域である西部北太平洋の大気エアロゾルに着目し、その組成を分子・放射性/安定炭素同位体・イオンレベルで明らかにする。特に有機エアロゾルに焦点をあて、その生成・起源・変質を評価する。また、エアロゾル粒子が持つ吸湿特性に着目し、その吸湿成長・CCN 能の変遷を、父島で取得した 20 年分のエアロゾル試料で評価する。

【研究の方法】

中国の内陸および沿岸域、東京・札幌、海洋などでエアロゾル試料の採取を行い、その無機・有機物組成の解析からエアロゾル化学組成の空間マップを作成する。済州島・父島でのエアロゾル組成の長期変動から、西部北太平洋エアロゾルの10年スケールの組成変動解析をおこなう。GC, GC/MS法を駆使して、水溶性有機物から（低分子ジカルボン酸、イソプレン・モノテルペン酸化生成物など）、ホパノイド炭化水素・多環芳香族炭化水素など非水溶性有機物に至るまで多種類の有機化合物を測定する。また、光化学反応、石炭および石油の燃焼、バイオマス燃焼、および、植生のトレーサーとして有機分子を使い、異なる地域において様々な発生源からの有機エアロゾルへの寄与を評価する。バイオマーカーの安定炭素同位体比($\delta^{13}C$)を測定することにより、C3, C4植物からの寄与、起源域の推定（熱帯にはC4植物が多い）を行い、安定水素同位体比(δD)の測定から植生の起源域の推定（水循環により高緯度の植物ほどδD値は低い）を行う。GC/IRMSによりシュウ酸の$\delta^{13}C$を測定し、大気酸化能力やエアロゾルのエイジングを評価する。

エアロゾル中には未同定の極性有機化合物が数多く存在する。TOF型高分解能質量分析計によりそれらの構造解析を行い、新たな起源・光化学反応トレーサーの開発を行う。エアロゾル中の放射性炭素(^{14}C)の測定を実施する。

【期待される成果と意義】

従来のエアロゾル研究は、無機成分や黒色炭素が中心であったが、本研究では有機物を分子レベルで取り扱うことにより、東アジアとその影響を強く受ける北太平洋におけるエアロゾルの組成、起源、変質過程を詳細に明らかにできる。また、エアロゾルの吸湿特性を測定することにより、エアロゾルが雲形成・気候変動に及ぼす影響を評価できる。これまでの研究では、エアロゾルの化学特性と物理特性の研究は別々に実施されてきたが、本研究では両者を統合することによって、包括的研究を展開できる。

エアロゾルの吸湿成長・水蒸気凝結特性の研究を、人間活動の影響を強く受ける北太平洋域で展開することにより、海洋エアロゾルの雲生成能の過去 20 年間にわたる変遷を検証できる。本研究は、人間活動が東アジア・北太平洋の大気環境をどう変えているか、その大気化学（科学）像を明確に描き出すとともに、有機エアロゾルの組成・吸湿特性情報を放射モデル研究者に提供し、エアロゾルの気候影響に関する将来予測をより確かなものにできる意義がある。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

Kawamura K., H. Kasukabe and L. A. Barrie, Secondary formation of water-soluble organic acids and α-dicarbonyls and their contributions to total carbon and water-soluble organic carbon: Photochemical aging of organic aerosols in the Arctic spring, *J. Geophys. Res.*, 115, D21306, doi: 10.1029/2010D014299, 2010.

Jung J., Y. J. Kim, S, G. Aggarwal, K. Kawamura, Hygroscopic property of water-soluble organic-enriched aerosols in Ulaanbaatar, Mongolia during the cold winter of 2007, *Atmos. Environ.* 45, 2722-2729, 2011.

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
167,900 千円

【ホームページ等】

http://environ.lowtem.hokudai.ac.jp/index.htm
kawamura@hokudai.ac.jp

【基盤研究（S）】
総合・新領域系（複合新領域）

研究課題名　NanoSIMS を用いた超高解像度-海洋古環境復元

東京大学・大気海洋研究所・教授　佐野（さの）　有司（ゆうじ）

研　究　分　野：複合新領域
キ ー ワ ー ド：環境変動

【研究の背景・目的】

サンゴや二枚貝などの海洋生物は、成長する際の周囲の水温や塩分などの環境情報を記録しながら炭酸塩を主成分とする骨格や殻を作る。同様に魚類は日輪や年輪を含む耳石を作る。一度作られた炭酸塩骨格は死後も化石として長い間情報を保持する。生物起源の炭酸カルシウムの微量元素や同位体分析による古環境の復元は、測器による観測点がまばらで樹木年輪や氷床コアによるデータが乏しい熱帯や亜熱帯地域で威力を発揮し、IPCC などの気候変動評価に大きく貢献した。しかしこれまでの分析法での空間分解能はたかだか数十ミクロン、時間分解能に換算すると 1 週間が限界であった。

本研究では、生物起源炭酸カルシウム骨格中の微量元素・同位体組成を従来とくらべ飛躍的に高い空間分解能（1ー5 ミクロン）で分析することにより、海洋生物が成長する際の水温、塩分、日射量など環境情報を世界最高レベルの高時間分解能で復元し、データの解析結果を将来の気候変動予測にも応用する。また、魚類の耳石の超高解像度分析から稚魚の生育環境や回遊など生態学的情報を引き出し、水産資源の評価に役立たせることも併せて目標とする。

【研究の方法】

本研究の最大の特色は、従来の分析手法と比較して非常に高い空間分解能で固体試料が分析可能な二次元高分解能二次イオン質量分析法（NanoSIMS）を炭酸カルシウム試料に応用する事で、飛躍的に高い時間解像度で過去の環境や生態的な情報を復元する事である。二次イオン質量分析法とは、微小に収束させたイオンビームを試料表面に照射し、その衝撃で試料から放出される二次イオンを質量分析することで、固体試料の微量元素・同位体組成を局所・高精度・高感度で分析する手法である。

図 1. NanoSIMS

本研究では NanoSIMS の改造、高度なチューニング、標準試料の開発・作成、新規分析手法の確立を行い、炭酸カルシウム試料に関して世界最高レベルの分析および解析技術を確立する。分析技術の確立と並行して、微小領域の元素・同位体組成と環境因子の関係を明らかにし、有用な指標成分の検討や、有用性の評価などを行う。具体的には、サンゴ・二枚貝・有孔虫などに関して、環境制御下で飼育した試料や、環境が詳細にモニタリングされている場所から採取した試料などの分析を行い、測定結果と環境情報を照合する。

研究期間の前半で分析技術や有用な指標などを確立し、後半ではそれを様々な場所や年代から採取された化石試料に応用する事で、超高解像度海洋古環境復元を行う。

【期待される成果と意義】

従来の古環境復元の空間分解能は、マイクロ・ドリリングによる数百マイクロメートルや、レーザーアブレーション法による数十マイクロメートル程度であった。空間分解能を 1-2 桁向上させることで、従来の手法ではできなかった、全く新しい環境情報を引き出すことが可能になると期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・Sano Y, Kobayashi S, Shirai K, Takahata N, Matsumoto K, Watanabe T, Sowa K, Iwai K (2012)　Past daily light cycle recorded in the strontium/calcium ratios of giant clam shells. *Nature Communications* **3**:761 doi: 10.1038/ncomms1763

・Shirai K, Kawashima T, Sowa K, Watanabe T, Nakamori T, Takahata N, Amakawa H, Sano Y (2008)　Minor and trace element incorporation into branching coral Acropora nobilis skeleton. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **72**:5386-5400.

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
149,700 千円

【ホームページ等】

http://co.aori.u-tokyo.ac.jp/macg/home.html
ysano@aori.u-tokyo.ac.jp

研究課題名　微細形態解析による発達神経毒性メカニズムの解明

東京大学・大学院医学系研究科・教授　遠山（とおやま）　千春（ちはる）

研　究　分　野：放射線・化学物質影響科学

キ　ー　ワ　ー　ド：有害化学物質、環境毒性学、社会医学

【研究の背景・目的】

胎児期の低栄養状態が成人病の疾患リスクを高めるという Barker 仮説「成人病の発達期起源(Developmental Origin of Adult Disease)」を支持する医学生物学分野の知見が集積している。他方、そのような栄養素欠乏とは別に、胎児期の環境化学物質といった環境要因が次世代の子どもの健康の様々な側面に影響を及ぼすことを示唆する知見が得られ始めている。中でも次世代の高次脳機能影響は、他の毒性指標よりも低用量で影響が観察されることが多い。

しかしながら、これまで実験動物を対象とした脳機能影響が耐用摂取量の根拠として用いられた事例は、ほとんどない。その理由は、試験結果の再現性が乏しいことや実験動物の行動の意味付けが困難なことにあると我々は考えた。そこで新たな行動試験の開発を行い、低用量のダイオキシン（TCDD）やビスフェノールA(BPA) によって、仔が成育した後の高次脳機能（学習、固執性など）に異常が生じることが明らかになった。

そこで、本研究では、脳の微細形態変化に着目し、化学物質に対する発達時期の脳細胞の反応が毒性表現型に至るメカニズムの解明を目指す。

【研究の方法】

まず、文献調査、ならびにこれまでの我々の研究報告や行動試験等の成果をもとに曝露動物を作成する。既報の LOAEL とされている曝露量と同等以下であり、母体や仔動物の一般観察所見では何ら影響が確認できないという意味で低用量曝露を基本条件とする。化学物質は、ダイオキシン類のプロトタイプである 2,3,7,8-四塩素化ジベンゾ-p-ダイオキシン(TCDD)、ビスフェノールA(BPA)等を用いる。マウス個体の観察所見や行動データについても適宜収集する。

つぎに、神経細胞に蛍光遺伝子を導入した遺伝子改変マウスを用い、微細形態の発達時系列解析を行う。我々は既に、TCDD あるいは BPA の低用量曝露により、ライフステージの比較的早い時期から微細形態変化が生じているという知見を得ている。本研究ではそれを確定的知見とすることを目的として、発達時系列を追った解析を行う。

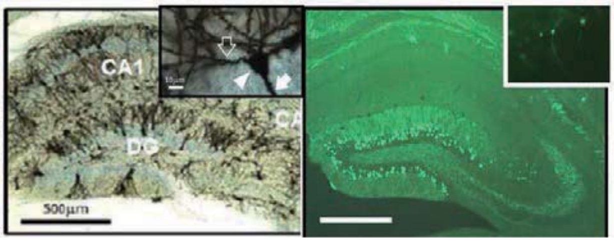


図１．　マウス海馬の微細形態解析例

また、化学物質の曝露を受けている発達期（胎仔期・授乳期）の脳を用い、化学物質に反応して発現変動する遺伝子群の発現解析と探索を行う。化学物質の受容体遺伝子とその関連遺伝子、ならびに下流で変動する分子群について検討する。大きな発現変動を認めた発達時期と脳部位における網羅的発現解析を行う。

【期待される成果と意義】

リスク評価にとって有用な低い用量における曝露を実験動物に対して行い、低用量における影響観察を出発点としてメカニズム解析に取り組む点に、我々の研究の特徴がある。この研究の成果は、毒性学・神経科学のみならず Regulatory Science(政策科学)への貢献も期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

1. Yoshioka W, Peterson RE, Tohyama C. Molecular targets that link dioxin exposure to toxicity phenotypes. J Steroid Biochem Mol Biol. 127:96-101, 2011.
2. Tse D, Takeuchi T, Kakeyama M, Kajii Y, Okuno H, Tohyama C, Bito H, Morris RG. Schema-Dependent Gene Activation and Memory Encoding in Neocortex. Science. 333:891-895, 2011.

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
166,800 千円

【ホームページ等】

http://env-health.m.u-tokyo.ac.jp/

研究課題名　環境汚染物質による性未成熟のインプリンティングと育児破綻の分子機構

九州大学・大学院薬学研究院・教授　山田（やまだ）　英之（ひでゆき）

研　究　分　野：環境系薬学
キ　ー　ワ　ー　ド：ダイオキシン、性未成熟、育児破綻、インプリンティング、脳下垂体ホルモン

【研究の背景・目的】

環境化学物質がヒトを含む生物の種の保存や健全性を障害する可能性が危惧されている。ヒトについては、我が国におけるエコチル調査（環境省 HP: http://www.env.go.jp/chemi/ceh/参照）をはじめ、世界中で環境化学物質と子供の成長に関する因果関係調査（疫学研究）が行われている。

我々は代表的な環境・食品汚染物質であるダイオキシンに注目し、これが次世代に及ぼす影響や機構について、ラットでの研究を行ってきた。これまでの研究により、最強毒性のダイオキシンである 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin（TCDD)は、周産期（=出生前後の一時期）に児・脳下垂体の黄体形成ホルモン（LH)発現を抑制し、これが性ステロイド抑制を介して成長後にまで継続する性未成熟の固着（＝インプリンティング）を惹起することを見い出している（図１)。これに止まらず、TCDD は児の成長ホルモン（GH)や育児母のプロラクチン（PRL)等の他の脳下垂体ホルモンも障害して、児の成長と母の育児力が減退することも突き止めている（図１)。本研究では、これらの機構を解明すると共に、障害回避方法の構築をも目指して研究を展開する。

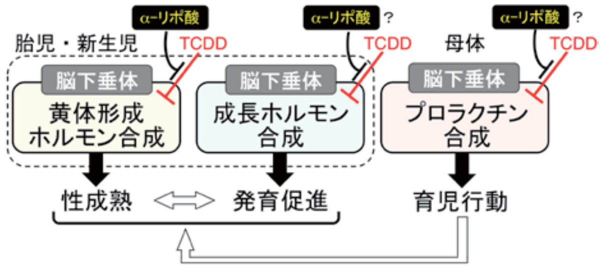


図１. TCDD による性未成熟等の機構と LA による回復

【研究の方法】

1) LH 抑制機構： LH 遺伝子の抑制は、ヒストン脱アセチル化酵素（HDAC)誘導に基づく遺伝子発現の低下によることを見い出している。そこで、TCDD による HDAC 誘導の機構を分子生物学的観点から解明する。2) LH 抑制の保護とその機構：HDAC の誘導にはエネルギー生産に必須な α-リポ酸（LA)の減少も寄与する。何故なら、LA の補給が TCDD による LH 抑制を完全に消去するからである（図１)。そこで、LH 抑制とその回復効果の機構を明らかにするため、LA 低下の分子機構を解明する。3) 性未成熟の機構：周産期の LH 抑制が何故に性未成熟を惹起するかは不明である。TCDD 曝露母から出生した児の成長後の遺伝子変動を解析し、その中から、性未成熟に直結する責任遺伝子を明らかにし、その変動機構を解析する。また、未成熟インプリンティングは脳神経系の未発達を伴うと予想されるので、影響を受ける神経系の探索と同定を行う。4) GH および PRL 抑制の毒性学的意義と機構：抑制される GH/PRL の相補試験によって、成長遅滞や性未成熟が改善されるか否かを数世代に渡って解析する。また、育児力の回復も解析する。更に、GH/PRL ニューロンの形態異常を検討すると共に、抑制機構を分子生物学的に解析する。5) TCDD 以外の食品汚染物質：メチル水銀等について、周産期 LH 等への影響と機構を検討する。

【期待される成果と意義】

ダイオキシンをはじめとする物質が生殖や次世代に及ぼす影響とその理由は明確には理解されていない。本研究ではこれを解決する。LA は体内常成分であり、これの保護効果を食生活指針に反映させることにより、次世代の健全性確保を実現できる可能性がある。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

1. Koga, T., Ishida, T., Takeda, T., Ishii, Y., Uchi, H., Tsukimori, K., Yamamoto, M., Himeno, M., Furue, M., Yamada, H., Restoration of dioxin-induced damage to fetal steroidogenesis and gonadotropin formation by maternal co-treatment with α-lipoic acid. *PLoS ONE*, 7, e40322 (2012).
2. Takeda, T., Fujii, M., Taura, J., Ishii, Y., Yamada, H., Dioxin silences gonadotropin expression in perinatal pups by inducing histone deacetylases: a new insight into the mechanism for the imprinting of sexual immaturity by dioxin. *J. Biol. Chem.*, 287, 18440-18450 (2012).

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
151,100 千円

【ホームページ等】

http://eisei.phar.kyushu-u.ac.jp/

研究課題名　同位体特定による局所状態解明のための先進的メスバウアー分光法開発

京都大学・原子炉実験所・教授　瀬戸（せと）　誠（まこと）

研　究　分　野：複合新領域
キ ー ワ ー ド：メスバウアー分光法、原子核プローブ、放射光、同位体特定

【研究の背景・目的】

メスバウアー分光法（無反跳核共鳴吸収分光法）では、原子核の周りの電子構造および磁性についての情報を、これらが原子核のエネルギー準位へ与える微細な影響から得ることが出来る。メスバウアー分光法は、これまでは主として放射性同位体線源を用いて実施されてきた。これに加えて放射光を用いることで、微小試料測定、超高圧下測定や強磁場下測定などといった自由度の高い多元素選択測定が可能となる。また、放射光のエネルギー可変性は、原子核の共鳴非弾性散乱の測定を可能とし、電子状態だけでなくフォノン等のダイナミクスについても同位体を特定しての測定を実現する。本研究では、このような先進的なメスバウアー・核共鳴散乱分光法の開発・確立を目的とする。そして、これらを用いて局所磁性とマクロスコピックな物性との関連などについて、この分光法の特徴を打ち出した先導的な研究を実施する。

【研究の方法】

多元素メスバウアー分光実現のために、放射光吸収メスバウアー分光法（図 1）を発展・確立させる。同時に、斜入射メスバウアー分光法やメスバウアーイメージング分光法等の開発も実施する。さらに、放射光では測定が困難な同位体も視野に入れて中性子照射等による短寿命メスバウアー分光法を発展させる。また、開発した分光法を用いて、同位体置換を積極的に活用することで表面だけなく内部の任意の部分の状態を 1 原子層レベルで明らかにすべく磁性薄膜の研究などを行う（図 2）。

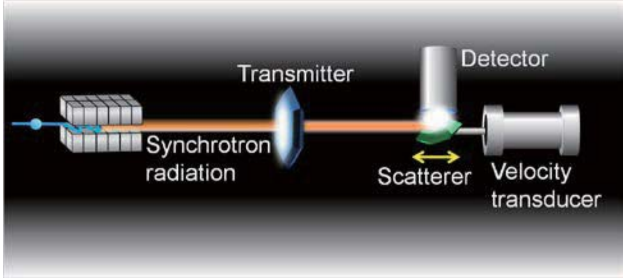


図 1. 放射光吸収メスバウアー分光法の測定概念図

【期待される成果と意義】

本方法では、同位体置換を用いることで、電子系を使った方法では困難な測定が可能であるという特徴がある。また、放射光を利用することで、斜入射

図 2. Fe 層をメスバウアー効果に感度のある ^{57}Fe で同位体置換を行った Fe-Cr 多層膜

測定や集光によるマイクロビームが利用出来るため、超低温・強磁場・超高圧などの極限条件下での測定も可能となる。さらに、金属・半導体中の微量不純物、生体物質中の特定部位のフォノンを分離して測定出来る。よって、本分光法が確立されれば、物性物理および材料開発分野における新しく強力なプローブとなるだけでなく、生命科学、地球物理分野などの分野での研究展開も期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・M. Seto, R. Masuda, S. Higashitaniguchi, S. Kitao, Y. Kobayashi, C. Inaba, T. Mitsui and Y. Yoda, “Synchrotron-Radiation-Based Mössbauer Spectroscopy”, Phys. Rev. Lett., **102** (2009) 217602-1-4.
・M. Seto, S. Kitao, Y. Kobayashi, R. Haruki, Y. Yoda, T. Mitsui and T. Ishikawa, “Site-Specific Phonon Density of States Discerned Using Electronic States”, Phys. Rev. Lett., **91** (2003) 185505-1-4.
・T. Mitsui, R. Masuda, M. Seto, E. Suharyadi, and K. Mibu, “Grazing-Incidence Synchrotron-Radiation ^{57}Fe-Mössbauer Spectroscopy Using Nuclear Bragg Monochromator and its Application to the study of Magnetic Thin Films”, J. Synchrotron Rad., **19** (2012) 198-204.

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
74,000 千円

【ホームページ等】

http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NRP/index.htm

【基盤研究（S）】
総合・新領域系（複合新領域）

研究課題名　ポジトロニウム負イオンの光脱離を利用した ポジトロニウムビーム科学の展開

東京理科大学・理学部・教授　長嶋　泰之（ながしまやすゆき）

研　究　分　野：複合新領域
キ　ー　ワ　ー　ド：電子･陽電子

【研究の背景・目的】

陽子と電子が束縛しあえば水素原子が形成される。水素原子中の陽子を電子の反粒子である陽電子に置き換えると、ポジトロニウムと呼ばれる中性粒子になる。ポジトロニウムを構成する電子と陽電子は、125ps、あるいは 142ns という短い寿命で対消滅するが、消滅までの間、中性原子として振る舞う。つまり、ポジトロニウムは最も軽い「原子」である。ポジトロニウムは電子を中性化した粒子とみなすこともできる。これをエネルギーの揃った、しかもそのエネルギーを自由に変えられるビームにすれば、物質表面の有効な分析手段になり得ることは、古くから予測されていた。しかし実際にそのようなビームを生成するのは容易ではない。これまでに作られているポジトロニウムビームは、低速陽電子ビームを気体標的に入射したときに電荷交換反応によって下流側に生成されるもので、強度が弱くエネルギーが 400eV 以下に限られている。

我々は近年、アルカリ金属を蒸着したタングステンに低速陽電子を入射すれば、ポジトロニウムに、さらにもう 1 個の電子が束縛したポジトロニウム負イオンが表面から大量に放出されることを見出した。ポジトロニウム負イオンは電荷をもつため、電場で容易に加速することが可能である。我々は、このようなポジトロニウム負イオンにレーザー光を照射して光脱離（電子とポジトロニウムに分離すること）させることにも成功している。この技術を用いれば、任意のエネルギーを有するポジトロニウムビームを生成することが可能である。1keV 以上のエネルギーを持ったビームを生成すれば、短い寿命の間にも物質の分析に十分な距離を飛行するようになる。

本研究課題では、この現象を利用して本格的なエネルギー可変ポジトロニウムビームを生成する。得られるビームは高品質でかつ高強度である。これを用いれば、ポジトロニウムビームの科学という人類未踏の分野を切り開くことが可能になる。

【研究の方法】

ポジトロニウム負イオンの寿命は 479ps と短いため、光脱離させるためには、高出力パルスレーザー光を照射する必要がある。本研究課題では、パルスレーザーと同期して使用可能な陽電子源として、次の２つを用いる。１つは、線形加速器を利用して生成される低速陽電子ビーム、もう１つは、密封線源から放出される陽電子を減速して溜め込んだ状態から引き出される、パルス状低速陽電子ビームである。加速器で生成される陽電子源には、高エネルギー加速器研究機構低速陽電子実験施設で得られるパルス状低速陽電子ビームを利用する。もう一方の溜め込み陽電子を用いるパルス状低速陽電子ビームでは、放射性同位元素 ^{22}Na の β^+崩壊で放出される陽電子を用いる。十分に減速して磁場と電子で溜め込み、そこからパルス状ビームとして引き出して利用する。加速器を用いる装置と比べるとコンパクトで、通常の大学の研究室規模でも実現可能である。

【期待される成果と意義】

ポジトロニウムは多くの物質に対して負の親和力をもつため、試料表面第１層の分析に威力を発揮すると考えられる。しかも電気的に中性であるため、表面が帯電しやすい絶縁体に入射しても、入射エネルギーが帯電の影響を受けない。このことを利用して、絶縁体最表面の分析手法の開発を行う。特に、表面すれすれの角度で入射して回折像を得る手法の確立を目指す。

同時に、本研究課題で得られるエネルギー可変ポジトロニウムビームは、未だ十分に研究され尽くされていないポジトロニウムやポジトロニウム負イオンの性質の研究に利用可能である。本研究課題では、このようなレプトンからなるエキゾチックな束縛状態の解明にも迫る。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・Y. Nagashima, T. Hakodate, A. Miyamoto and K. Michishio, New J. Phys. 10 (2008) 123029.
・H. Terabe, K. Michishio, T. Tachibana and Y. Nagashima, New J. Phys. 14 (2012) 015003.
・K. Michishio, T. Tachibana, H. Terabe, A. Igarashi, K. Wada, T. Kuga, A. Yagishita, T. Hyodo and Y. Nagashima, Phys. Rev. Lett. 106 (2011) 153401.
・K. Michishio, T. Tachibana, R. H. Suzuki, K. Wada, A. Yagishita, T. Hyodo and Y. Nagashima, Appl. Phys. Lett. 100 (2012) 254102.

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
167,500 千円

【ホームページ等】

http://www.rs.kagu.tus.ac.jp/ynagahp/

研究課題名　高輝度・高強度陽電子ビーム回折法の開発と表面研究への応用

高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・特別教授　兵頭（ひょうどう）　俊夫（としお）

研　究　分　野：複合新領域
キ　ー　ワ　ー　ド：電子・陽電子、量子ビーム測定手法

【研究の背景・目的】

低速電子回折(LEED)および反射高速電子回折(RHEED)は物質表面の原子配置を観測するための重要な方法として使われている。本研究では、電子をその反粒子である陽電子に置き換えた低速陽電子回折(LEPD, low-energy positron diffraction)および反射高速陽電子回折(RHEPD, reflection high-energy positron diffraction)の実用的装置を開発し、固体表面の研究に応用する。陽電子には、(1)電子との間に交換相互作用が存在しないため、理論的扱いが単純である、(2)非弾性散乱断面積が電子より大きく、また結晶ポテンシャルが正であるため、表面感度が高い、(3)原子核から反発を受けるので、散乱因子が X 線のようになめらかである、等の特徴がある。このため陽電子回折は、重元素が重要な役割を果たしているトポロジカル絶縁体表面、巨大ラシュバ表面などの構造解析を高信頼度で行うことができる。本研究では発展的課題として、表面原子位置の直接決定よる表面構造解析手法も開発する。

【研究の方法】

陽電子は日常の自然界には存在しない反粒子なので、高輝度・高強度のビームを得ることが難しいという課題がある。本研究では、KEK 物質構造科学研究所の高強度低速陽電子ビームを高輝度化して利用する。完成した装置で、電子回折法では困難とされるトポロジカル絶縁体などの表面構造解析を行う。また、巨大ラシュバ効果を発現する表面合金の重元素の原子配置を、原子の垂直位置とスピン分裂の関係に注目しつつ解明する。また、やはり最表面の原子変位が重要な役割を果たすパイエルス転移に伴う電荷密度波形成・金属絶縁体転移のメカニズムの解明を行う。表面原子配置の直接決定は、さまざまな入射条件で RHEPD パターンを測定してパターソン関数で解析する方法と、エネルギーを変えながら LEED パターンを測定し逆変換で原子像を求める陽電子ホログラフィ法を試みる。

【期待される成果と意義】

トポロジカル絶縁体表面や巨大ラシュバ表面は、スピントロニクス、省エネルギー素子、量子コンピュータなどの次世代エレクトロニクスへの応用が大いに期待されている。これらの表面の電子状態の研究は角度分解光電子分光などで広く行われているが、詳細な表面原子配置の研究報告はほとんどない。本研究では、結晶表面の電子状態のデータを陽電子回折法で決定した表面原子配置と関連づけ、エネルギー・バンドのスピン分裂や新しい機能の発現機構を原子配置によって説明する。それはスピン分裂幅の操作（スピンマニピュレーション）の開発にとっても重要である。また、パターソン関数法と陽電子ホログラフィ法による最表面原子構造決定は、構造モデルを仮定したフィッティング法にたよらないため、全く未知の表面構造の簡便かつ信頼性の高い画期的な直接的決定を可能にする。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

[1] I. Mochizuki, et al., Atomic configuration and phase transition of Pt-induced nanowires on a Ge(001) surface studied using scanning tunneling microscopy, reflection high-energy positron diffraction, and angle-resolved photoemission spectroscopy, Phys. Rev. B 85, 245438-1-6 (2012).
[2] Y. Fukaya, et al., Atomic structure of two-dimensional binary surface alloy: Si(111)-√21×√21 superstructure" Surf. Sci. 606, 919-923 (2012).

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
165,700 千円

【ホームページ等】

http://pfwww.kek.jp/slowpos/

【基盤研究（S）】

総合・新領域系（複合新領域）

研究課題名　複合機能プローブシステムによるバイオ・ナノ材料の分子スケール機能可視化

京都大学・大学院工学研究科・准教授　山田　啓文（やまだ　ひろふみ）

研　究　分　野：ナノ・マイクロ科学、ナノ材料・ナノバイオサイエンス
キ　ー　ワ　ー　ド：ナノ計測、原子間力顕微鏡

【研究の背景・目的】

生体試料の評価には、光学顕微鏡や電子顕微鏡による観察が一般的であるが、前者はその面内分解能が光学波長で制限され、また後者ではその動作環境が真空中に限られるという問題があり、現在、こうした問題のない、液中動作可能な原子間力顕微鏡法(AFM)が広く用いられている。しかしながら、AFMによる生体機能可視化技術については、生化学修飾したAFM 探針を用いて、生体分子間の特異的相互作用を検出する手法や、タンパク質分子内部の水素結合を測定するフォース分光法などが開発されたものの、探針修飾による空間分解能の低下や、機能情報と構造情報の明瞭な分離が困難など、高分解能イメージング法としては大幅な改善が求められている。

本研究では、これまで研究代表者らにより開発された、高分解能周波数変調(FM)AFM技術、および液中環境など多環境において動作する、近接位置決め可能なデュアルプローブAFM 技術に基づき、機能情報と構造情報を分子レベルで明確に識別し、生体膜上のさまざまな機能性分子の機能・構造を分子スケールで可視化する、新たな分子機能イメージング法を確立し(図１参照)、これら生体分子の細胞生理機能における微視的役割を解明することを目的とする。さらに、この高分解能可視化法に適した、分子機能計測探針および生体分子刺激探針の作製法を確立する。また、一般的なナノ機能構造体の機能・物性の分子スケール可視化への応用も目指す。

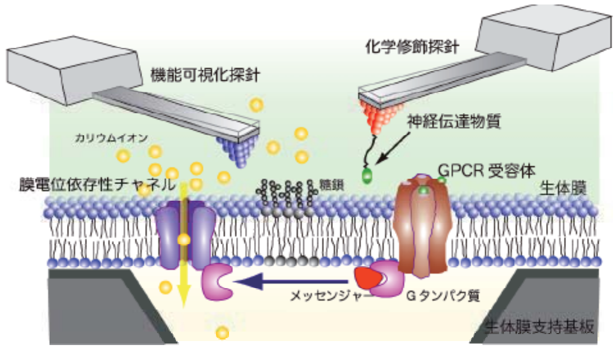


図１ デュアルプローブFM-AFM技術に基づく、生体機能の分子スケール可視化.

【研究の方法】

生体分子の機能・構造を分子スケールで可視化する、新たな分子機能イメージング法を確立し、これら分子の細胞生理機能における微視的役割を解明するため、以下の研究を遂行する。(1) デュアルプローブAFMにおいて、構造観察探針と機能測定用生化学修飾探針を用い、構造／生機能情報を分離して高感度検出する。(2) 生体分子刺激探針により引き起こされた生機能発現を測定用探針で捉える。(3) 親水／疎水処理した探針を用いて、生体分子周辺における水和構造を可視化し、イオンチャネル、DNA-タンパク質分子複合体などの水和構造と生体機能の関係を明らかにする。(4) 生機能に直接関わる、生体分子の活性部位が有する電荷密度情報を、外部電場に対する広帯域静電・誘電応答として検出する。

【期待される成果と意義】

本研究では、高分解能AFM生体機能計測による構造／機能情報の分子レベル識別、フォースマップによる３次元水和構造計測および分子レベル静電相互作用計測による局所電荷分布の評価が、研究の基幹的支柱となるが、これら研究の遂行により、生体機能発現部位の特定､水分子と機能発現との相関解明、分子認識機構の解明が可能となり、細胞レベルでの多様な生機能解明に直接つながることが期待される。

また工学的にも、高性能バイオセンサ開発やナノバイオデバイスの創出など、生体分子材料による高度ナノシステムの構築につながるものであり、さらには、親疎水性制御技術の向上、二次電池・キャパシタの性能向上、電気化学反応の素過程解明など、広範なナノ機能構造材料の創出・解析に発展しうることから、産業的・社会的にも本研究の重要性・波及効果は大きく、また極めて意義深いと考えられる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・E. Tsunemi *et al.* “Development of dual-probe atomic force microscopy system using optical beam deflection sensors with obliquely incident laser beams”, *Rev. Sci. Instrum.*, **82** 033708 (2011).
・K. Kimura *et al*. “Visualizing water molecule distribution by atomic force microscopy”, *J. Chem. Phys.*, **139** 194705 (2010).

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
144,300 千円

【ホームページ等】

http://piezo.kuee.kyoto-u.ac.jp/
h-yamada@kuee.kyoto-u.ac.jp

研究課題名　キラル分子系の一分子科学

大阪大学・大学院工学研究科・教授　桑原（くわはら）　裕司（ゆうじ）

研　究　分　野：複合新領域
キ　ー　ワ　ー　ド：1 分子科学、キラル分子、円偏光発光

【研究の背景・目的】

自然は対掌を好む。地球上での生体分子活性において、アミノ酸や糖などすべての生体分子は片方の対掌性を持つ分子であり、このようなホモキラリティーが、いつの段階で生じたかは生物の進化上の未解決課題の一つである。現在、分子の「構造対掌性（キラリティ）」と「光学活性」は同一の意味で使用されている。これまでに旋光計測や円偏光二色性計測など、マクロスケールの光学活性計測・評価はなされてきたが、単一分子レベルでの光学活性評価は未踏であり、キラル一分子の光学活性発現の起源はいまだ未解明である。

一方、単一分子レベルでの基本物性を探索するため、機能化された各種モードの STM を用いて、原子構造、電子物性、スピン構造などが、様々な系において解明されてきた。しかし、光学物性の中でも単一分子のキラリティに由来する光学活性を直接計測したという例はない。キラリティを有する単一分子においては、対掌性に関与する電子系から発生したフォトンは必ず偏光するはずであり、それを検出できる偏光分析系を STM システムに組み込めれば、単一分子レベルでのキラリティ解析が可能となる（図1）。

本解析の実現により、日本が世界を先導する不斉合成に端を発するキラル分子科学において高いエナンチオマー性を要求する製薬合成等での単分子レベル、超高感度の画期的な評価手法となるとともに、これまでに例のない対掌性・光学活性の評価を取り入れた「単一分子科学」の新しい領域を拓くはずである。

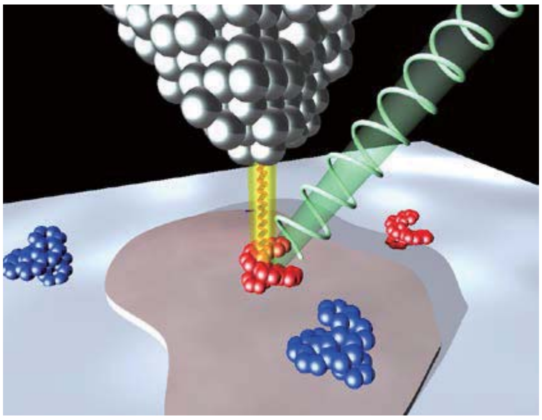


図 1　円偏光フォトン STM の概念図

【研究の方法】

単一キラル分子の対掌性に由来する発光特性を解析するため、以下の項目の研究を行う。

1．円偏光フォトン STM 他複合解析システムの構築
2．単一孤立キラル分子からの円偏光発光計測、円偏光探針誘起ラマン散乱分光計測の実現
3．右回り、左回りのキラリティを選択制御されたモノキラル SWNT からの偏光発光計測を観測・評価
4．第一原理電子状態解析による偏光発光メカニズムの探究

【期待される成果と意義】

本研究手法は、一分子科学を志向し、分子の対掌性に基づく自然円偏光に関して、その発生に起因する電子状態解析を中心に、実験・理論両面から一分子レベルでアプローチする。本手法は先駆的・卓越的かつ唯一の手法であり、本研究において世界に先駆けて最初に着手するものである。本研究を通して、これまで未解明であった分子系のキラリティ発現メカニズムを分子レベルで解明するとともに、キラル分子系の学理構築に貢献する。一方、本研究で得た新たな知見は、新規の有機・偏光発光デバイスの創製、高いエナンチオマー性を要求する製薬等の合成指針の構築等バイオナノフォトニクス分野など様々な分野に対して、大きく寄与する。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

A. Fujiki, Y. Miyake, Y. Oshikane, M. Akai-Kasaya, A. Saito and Y. Kuwahara, “STM-induced light emission from thin films of perylene derivatives on the HOPG and Au substrates”, Nanoscale Research Letters, **6** (2011) 347.

T. Uemura, M. Furumoto, T. Nakano. M. Akai-Kasaya, A. Saito, M. Aono, and Y. Kuwahara, "Local Plasmon Enhanced Up-Conversion Fluorescence from Copper Phthalocyanine", Chemical Physics Letters, **448**, pp.232-236 (2007).

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
146,000 千円

【ホームページ等】

http://www-ss.prec.eng.osaka-u.ac.jp/

【基盤研究（S）】

　　総合・新領域系（複合新領域）

研究課題名　「国難」となる最悪の被災シナリオと減災対策

関西大学・社会安全学部・教授　河田（かわた）　惠昭（よしあき）

研　究　分　野：複合新領域（社会・安全システム科学、自然災害科学）

キ ー ワ ー ド：被害予想・分析・対策

【研究の背景・目的】

東日本大震災を経験した教訓から、これを凌駕する被害となることが確実な東海･東南海･南海地震や首都直下地震のような「国難」に対処するためには、これまでのように予想される地震や津波から“社会を守る”という観点から発想した防災・減災対策では不十分であることが明らかになった。

そこで、本研究では、「逆転の発想」に基づき、加害側である災害の立場から、被害を大規模化するにはどのように“人間社会を攻めればよいのか”を考究して、現代社会の様々な弱点を見出す。そして、その中で被害が極端に増加・拡大する可能性のある「最悪の被災シナリオ」を描き出す。最終的に導かれた最悪の被災シナリオを、その多くに共通する部分と、そこからの変動や独立して現れる部分に峻別し、前者については減災政策によって、後者の部分は減災のアクションプランの提示と実行によって、「国難」とならないように減災対策を構築する。

【研究の方法】

まず、東海・東南海・南海地震と首都直下地震を対象として、人的被害、物的被害、社会機能被害の 3 つの被害形態グループのそれぞれについて、その被害拡大要因を挙げ、重要度を評価するワークショップを実施し、研究組織の状況認識を統一する。

そして、その結果として得られた被害拡大要因が災害時に発現するために必要な条件を、(1)犠牲者、(2)津波はん濫、(3)液状化、(4)首都機能、(5)避難、(6)要援護者、(7)ライフライン、(8)超高層・高層ビル、(9)情報ネットワーク、(10)行政システム、(11)経済システムの 11 項目ごとに明らかにする。それぞれ、外力､社会の防災力､そして対策の 3 要素について、合計 33 の被害拡大条件が見出されることになる。

これらの条件を総合して 3 つのグループごとに最終的に大きな被害を発生させるシナリオから順に並べる。また、それぞれの条件が普遍的か変動的かを評価し、最悪のシナリオを成立させないための減災政策と、減災のアクションプランを提示する。

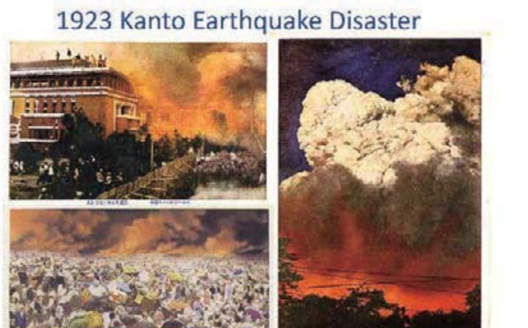


写真 1　1923 年関東大震災は市街地火災で被害拡大。つぎの首都直下地震の最悪の被災シナリオとは？

【期待される成果と意義】

想定が見直される首都直下地震や南海トラフ巨大地震に対する対策の充実・強化は社会的に重要な喫緊の課題である。本研究により、被災過程に関する多様な課題の科学的分析を基に、我が国の現代社会の弱点が見いだされ､「国難」に対処する実効的な政策と､その具体的なアクションプランが提示される。

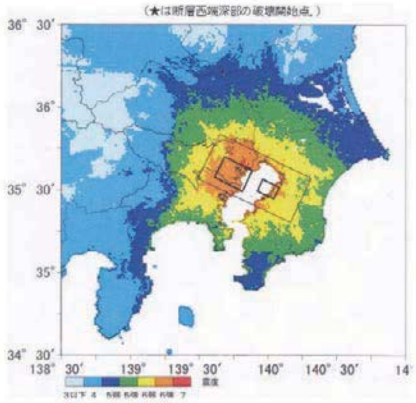


図 1　首都直下地震で予想される震度分布

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

･河田惠昭，津波災害―減災社会を築く，岩波書店，189p., 2010.
・Kawata, Y., Downfall of Tokyo due to Devasting Compound Disaster, Journal of Disaster Research, Vol.6, No.2, pp.176-184, 2011.

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
126,500 千円

【ホームページ等】

http://www.kansai-u.ac.jp/Fc_ss/

研究課題名　統合的ゲノム解析によるがん細胞集団進化の解明

東京大学・先端科学技術研究センター・教授　**油谷　浩幸**（あぶらたにひろゆき）

研　究　分　野：ゲノム科学、医科学
キ ー ワ ー ド：ゲノム、エピゲノム、がん、進化、発現制御

【研究の背景・目的】

次世代シーケンス技術など近年のがんゲノム解析により、癌発生および進展の“ドライバー”となる遺伝子変異が特定されつつある。とりわけクロマチンリモデリングや DNA メチル化に関わる遺伝子変異が種々のがんで同定され、癌幹細胞や上皮間葉移行に関わるクロマチン動態制御の体細胞変異が癌化に関与すること考えられる。かかる変異ががん細胞集団ゲノムに蓄積する状況を時系列で解析することにより、「癌細胞集団の進化（evolution）」にかかわるゲノム・エピゲノム変異を同定する。単一細胞起源と考えられる癌細胞集団のゲノムの異質性（heterogeneity）およびエピゲノムの特性を解明することにより、再発転移の阻害、薬剤耐性の克服をめざす。

【研究の方法】

ヒト腫瘍組織およびゼノグラフトのゲノム変異、クロマチン情報を取得し、がん細胞集団のゲノム異質性、薬剤耐性クローンや癌幹細胞のクロマチン動態の解析を行う。

1 癌細胞集団のゲノム異質性の解析

ヒト腫瘍およびゼノグラフトの原発巣、転移巣病変のゲノム変異解析を行い、転移、再発に関わる遺伝子変異を同定する。

2 がん細胞におけるクロマチン動態異常の解析

遺伝子変異とエピゲノム異常の関連を検討するため、ゲノム変異解析を実施した腫瘍組織あるいは癌幹細胞集団におけるエピゲノム変異を同定する。

3 ゲノム変異、クロマチン情報の統合によるがん細胞集団進化メカニズムの解明

【期待される成果と意義】

癌細胞集団のゲノム異質性およびエピゲノムの特性を解明することにより、癌再発・転移あるいは癌幹細胞維持に関わる経路を抽出し、がん細胞集団が生存さらには進化する際に利用するメカニズムを解明できれば、再発転移の阻害、抗がん剤耐性の克服が期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・ Wang L, Tsutsumi S, Kawaguchi T, Nagasaki K, Tatsuno K, Yamamoto S, Sang F, Sonoda K, Sugawara M, Saiura A, Hirono S, Yamaue H, Miki Y, Isomura M, Totoki Y, Nagae G, Isagawa T, Ueda H, Murayama-Hosokawa S, Shibata T, Sakamoto H, Kanai Y, Kaneda A, Noda T, Aburatani H. Whole-exome sequencing of human pancreatic cancers and characterization of genomic instability caused by MLH1 haploinsufficiency and complete deficiency. **Genome Research** 22(2):208-19. 2012

・ Kaneda A, Fujita T, Anai M, Yamamoto S, Nagae G, Morikawa M, Tsuji S, Oshima M, Miyazono K, Aburatani H. Activation of Bmp2-Smad1 signal and its regulation by coordinated alteration of H3K27 trimethylation in Ras-induced senescence. **PLoS Genetics** 7(11):e1002359. 2011

・ Watanabe A, Ogiwara H, Ehata S, Mukasa A, Ishikawa S, Maeda D, Ueki K, Ino Y, Todo T, Yamada Y, Fukayama M, Saito N, Miyazono K, Aburatani H. Homozygously deleted gene DACH1 regulates tumor-initiating activity of glioma cells. **Proc Natl Acad Sci USA**. 108(30):12384-9. 2011

・ Totoki Y, Tatsuno K, Yamamoto S, Arai Y, Hosoda F, Ishikawa S, Tsutsumi S, Sonoda K, Totsuka H, Shirakihara T, Sakamoto H, Wang L, Ojima H, Shimada K, Kosuge T, Okusaka T, Kato K, Kusuda J, Yoshida T, Aburatani H, Shibata T. High-resolution characterization of a hepatocellular carcinoma genome. **Nat Genet**. 43(5):464-9. 2011

・ International Cancer Genome Consortium. International network of cancer genome projects. **Nature**. 464(7291):993-8. 2010

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
167,500 千円

【ホームページ等】

http://www.genome.rcast.u-tokyo.ac.jp/ja/
haburata-tky@umin.ac.jp