

量子もつれ光子対による原子核-多分子間相互作用プローブを活用した診断治療学の創生  
(光子対診断治療学)



領域代表者	東京大学・大学院工学系研究科・特任准教授 島添 健次 (しまぞえ けんじ)	研究者番号:70589340
研究領域情報	領域番号:22B202 キーワード:放射性同位元素、分子プローブ、レーザー分光、ガンマ線、核・電子ダイナミクス	研究期間:2022年度~2024年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか (研究の背景・目的)

●研究の全体像

再発や転移をとめない体内に広がった進行がんに対する、副作用の少ない治療薬開発は、がん研究における最大の目標である。患者さんごとに最適な治療薬を選定して奏効率を高められるような画期的な診断方法が求められている。本研究では原子核階層から個体階層までの全階層学問領域の専門家を結集し、量子もつれ光子対放出原子核-分子間相互作用プローブによる世界初全身分子間相互作用イメージング手法の創出と実証により革新的光子対診断治療学の創生を行うことを目的とする。光子対診断治療学の創生により生体内化学環境の可視化による悪性腫瘍・アルツハイマー病等の診断・治療高度化, 全身分子間相互作用解析等の診断情報に基づく、最適治療選択・個別化医療による医学革新技術の創成を目指す。

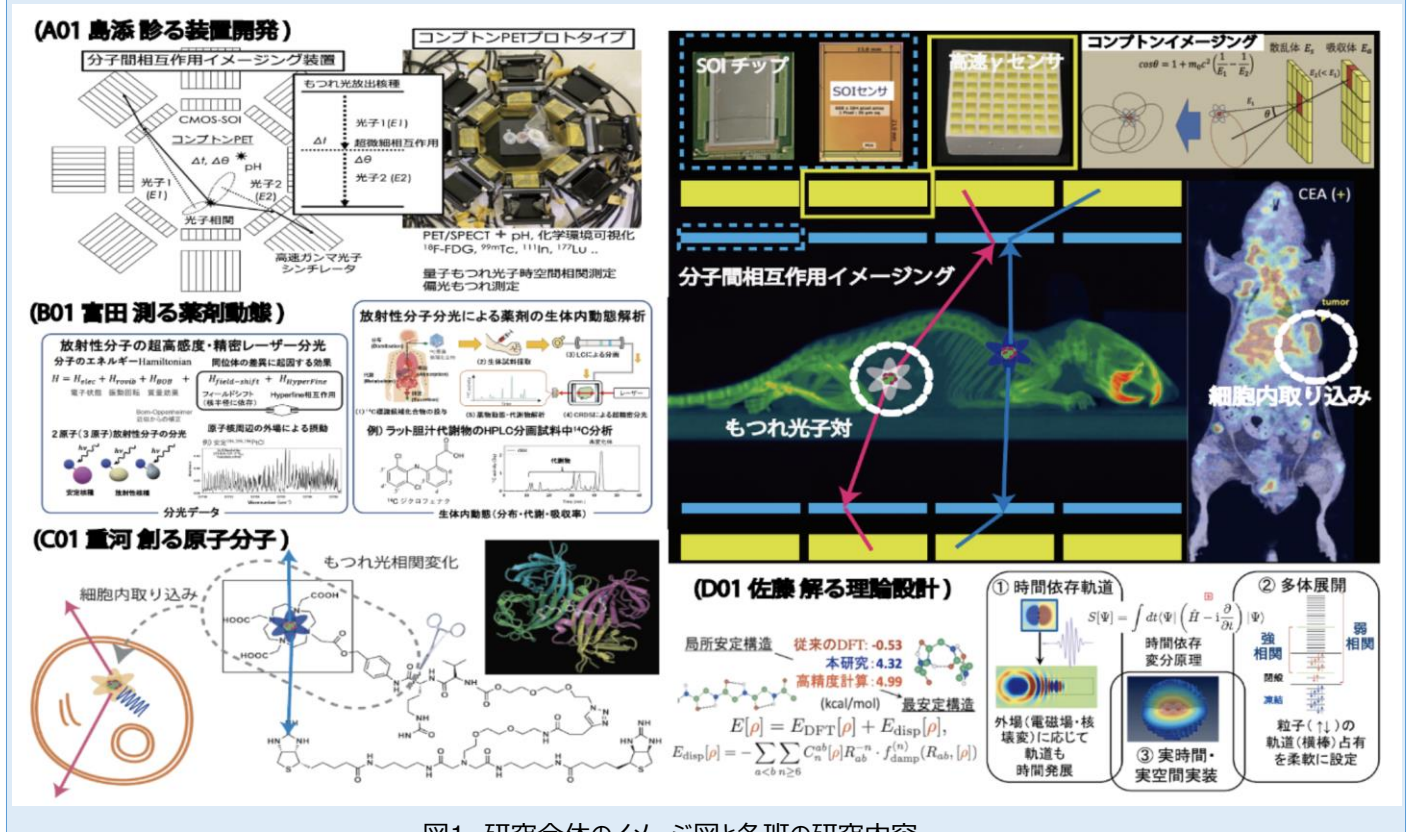


図1 研究全体のイメージ図と各班の研究内容

●各研究班の内容

具体的にはA01診る(工学・医学班)、B01測る(物理・実験班)、C01創る(化学・薬学・医学班)、D01解る(物理・理論班)が連携し、原子核から個体までの階層を横断した研究を実施する。

(A01 診る) 量子もつれ光子対に基づく医用多分子間相互作用イメージングの創出

従来のPET (Positron Emission Tomography) 等の核医学診断装置は放射線同位元素 (RI) の集積の可視化のみが可能であった。JSTさきがけ「量子生体」領域研究で見出したpH等の化学状態をもつれガンマ線を用いて観測する原理を用い、開発してきた広帯域のガンマ線を可視化するコンプトンカメラ技術を高度化し分子間相互作用や生体内の化学状態を体外から非侵襲的に撮像する装置の開発を目指す。

## ●各研究班の内容(続き)

**(B01測る)原子核-多分子間相互作用の解明のための放射性分子の超精密分光と生体内動態解明**  
量子もつれ光子理論計算モデル構築のため、超高感度・精密レーザー分光基盤を確立し、放射性分子のエネルギー状態を超精密分光実験にて明らかにする。またRI診断治療用分子プローブの設計製造のため、放射性分子分光計測に基づく生体内薬物動態評価法の開発を行う。本レーザー分光基盤を用いた同位体分離や放射性核種・安定同位体で多重置換された分子の薬物動態・代謝物評価法を開発する。

**(C01創る)もつれ光子対放出原子核と分子プローブの創成による生体内化学環境の医療診断**  
理化学研究所の加速器を利用して、もつれ光子対放出RIを大量に製造する手法、高効率で化学的に精製する手法を開発する。一方、新規製造RIで標識でき細胞内環境変化感度が高い分子を設計・合成し、細胞内化学的環境 (pH等) や化学結合変化をもつれ光子対時空間相関変化から観測できるか調べる。開発RI標識分子プローブをマウス等の生体に導入、がん細胞に集積させ、生体内化学環境や分子間相互作用を観測する。

**(D01解る) 量子もつれガンマ線放射による分子間相互作用プローブの第一原理計算**  
放射性核種を標識した分子を生体内に導入し、周辺の情報をもつれ光子対放出RIによって体外から非侵襲測定する光子対診断技術を実現するには、生体内の放射性分子の挙動について詳細な理解が欠かせない。特に、(1) 放射性核種の核壊変が引き起こす初期電子ダイナミクスと、(2) 生体分子中の電子状態の変化が核スピンドイナミクスに与える影響の理解が不可欠である。本研究では、量子もつれガンマ線放射による分子間相互作用プローブの第一原理計算手法の開発と応用を行う。

## この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

生体は臓器および細胞、細胞は分子、分子は原子、原子は原子核と電子から構成される複雑な階層構造を有するシステムであり、生命機能の解明、病気の診断においては階層構造の理解が不可欠である (図2)。

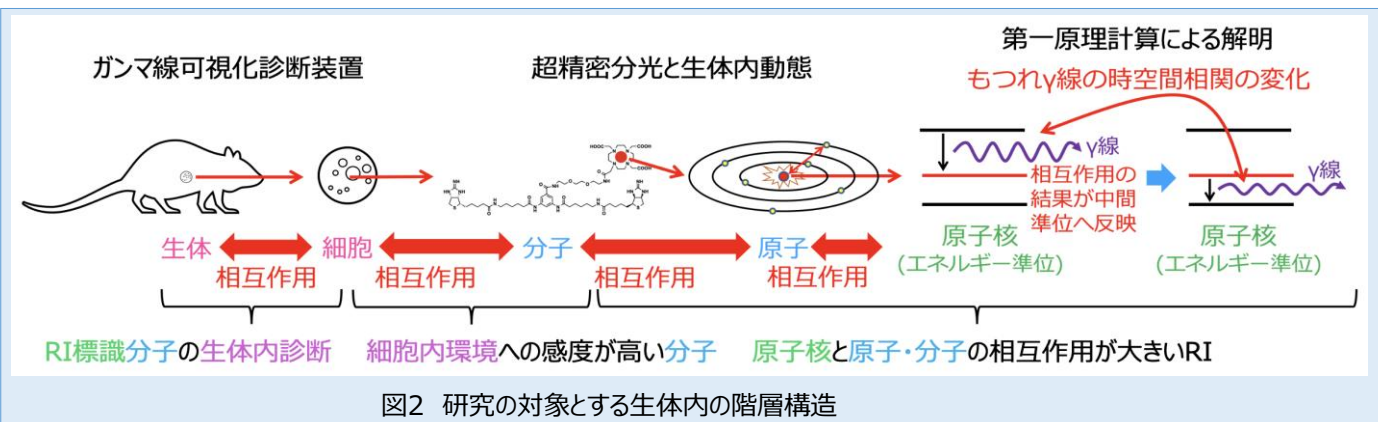


図2 研究の対象とする生体内の階層構造

本研究においては、人の個体サイズより15桁程度(10の15乗)小さいフェムトメートルサイズの原子核から放出される、可視光エネルギーより6桁(10の6乗)大きいガンマ線をもちいて、化学変化によって生じる微弱な局所電磁場を非侵襲的に体外から観測する技術の研究を行う。これにより原子核→生体空間、化学反応→原子核の複数の空間スケールとエネルギースケールの多階層構造をつなぐ新たな診断治療技術 (量子もつれ光子放出原子核-分子間相互作用プローブ) (図3)の適用性を明らかにする。

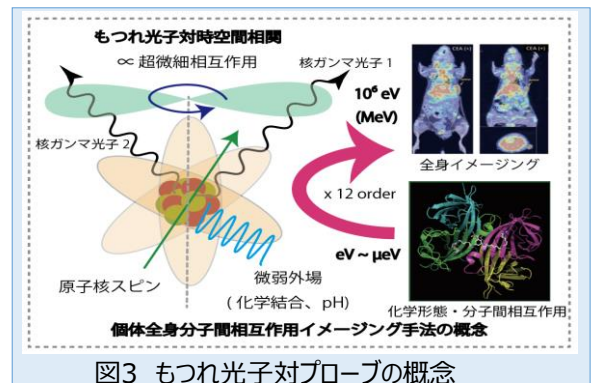


図3 もつれ光子対プローブの概念

本領域の研究者は次世代核医学診断装置開発、分子薬剤送達システム、治療・診断核種製造、薬剤治療効果評価、薬剤動態分子分光、原子核・電子・分子第一原理計算など複数の空間スケールやエネルギースケールの階層学問領域にまたがる専門家であり、協力して新たな融合領域を形成する。

将来的には本研究領域で確立を目指す基盤技術を発展させた新たな原子核制御工学、医学、放射線治療学、原子核物理学、量子生物学、量子生命科学などの学問領域との新興・融合領域形成を目指す。

