

量研に量子生命科学領域が発足

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（量研/QST）では、本年4月から新しい研究組織「量子生命科学領域」を発足させる。本領域は、「量子生命科学会」（5月23日に東京大学弥生講堂にて研究集会が開催される）などの場を通じ、広く開かれた外部連携を積極的に推進し、外部機関研究者をPIとする「連携ラボ」の設置等も行っていく方針であるので、読者諸氏にもぜひご関心をお持ち頂きたい。近年、放射光、中性子ビーム、イオンビーム等の基盤的量子ビーム技術の利用の高度化に加え、量子計測・センシング（後述するダイヤモンドNVセンサー等）、極短パルスレーザー、量子情報処理（量子コンピュータ等）といった領域において数々の新しい量子技術が開発されている。今、こうした量子技術を生命科学の分野に利用することで、従来不可能であった精度や感度での量子レベルの生命現象の計測・モデリング等の実現や、生きたままの細胞・器官・個体における多様な生命現象の観測が可能になりつつある。本領域はこのアプローチにより、量子レベルから分子・細胞・器官・個体・生態系へいたる階層的な生命原理を明らかにし、さらには医療・工業・情報・宇宙・環境・農業・エネルギー等の分野での革新的応用も目指していく。具体的には以下のような研究課題から着手する。

■量子センサーによる細胞計測

量子センサーは、スピン等の量子状態を計測することで、その周辺環境の分子状態や温度、pH等多様な情報を引き出す技術である。ダイヤモンド結晶中のたった一個の窒素・空孔中心（NV中心）の持つ三重項電子スピンの光検出によって容易に計測可能であるという1997年の報告をきっかけに、近年では、細胞内局所温度の精密計測や、単一細胞の発生する微小な磁場や神経細胞の発生する活動電位の可視化等も量子センサーによって可能となった。量研は、ダイヤモンドNV中心作成において最も重要な過程であるイオンビームによるイオン注入や電子線照射の高度な技術を有している。さらにこれを破砕してナノサイズ化したナノ量子センサーは、結晶表面を化学修飾することで生体分子への特異的結合機能やpHや圧力等の計測機能を付与することができ、生きたままの細胞内部に導入してさまざまな用途の局所計測を行うことが可能である。本領域では、ナノ量子センサーのバラエティを拡大し多

様な生命計測を行うことにより、細胞機能や核内現象、脳機能等の複雑な生体システムを定量的に理解する生命科学の新たなアプローチを実現する。

■超偏極-核磁気共鳴法

核磁気共鳴法（NMR/MRI）の本質的な弱点は感度の低さである。本領域では、これを克服するための量子操作技術「動的核偏極」の研究開発を行う。 ^{13}C のような、NMRに活性な核種で標識した分子プローブ（生体の構造や生理機能を調べるために投与する薬剤）とラジカル化合物をガラス性溶媒中で混合し、極低温磁場下でマイクロ波を一定時間照射して、その後瞬時に溶出すると、 ^{13}C のNMR信号が数万倍に増幅された「超偏極」という状態の分子プローブを取得できる。これを速やかに供試すれば、NMR/MRIによる超高感度でのイメージングや生体内代謝反応の非侵襲追跡等が可能となる。今後、さまざまな分子プローブの創製、創薬研究への応用等を進め、本法の新たな可能性を開拓していく。

■量子生物学

生命システムの中に現れる量子的現象を研究する「量子生物学」が注目を集めつつある。その代表例は、光合成系において、光捕集タンパク質が100%という驚くべき効率で光エネルギーを活性中心に転送する過程に「量子コヒーレンス」が関与するという発見である。数十フェムト秒領域の極短パルスレーザーで励起させた分子中の電子を観測し、複数の色素分子間のエネルギー伝達の過程や、吸収による分子励起状態の量子的重ね合わせによる位相の干渉を実測する「2次元フォトンエコー法」の登場が、この分野を進展させた。量子生物学では、この他にヨーロッパコマドリの「渡り」を可能にする地磁気感知に「量子もつれ」が関与すること等が報告されている。本領域では、光合成や磁気受容に加え、ミトコンドリアの電子伝達系やDNA分子上の電荷移動等もテーマとし、極短パルスレーザーや放射光を利用して、生体における量子的現象の役割の解明に向けた研究を進め、さらに将来的には、これらのナノデバイス化による応用も目指す。

■量子構造生物学

タンパク質や DNA 等の生体高分子の立体構造から生命の根本機能を解明しようとする「構造生物学」は、X 線結晶構造解析と NMR 分光法を中心に発展した。近年、クライオ電子顕微鏡による大型分子の構造解析も可能になりつつある。しかし、原子間の距離・角度情報、タンパク質による触媒反応に重要なプロトン、ヒドリドの情報について、十分な精度が得られないという課題がある。また計算コストのかかる量子化学計算は、最先端のコンピュータを用いても数百原子程度のわずか数ナノ秒間しか調べられないため、多くの場合、計算結果は生体分子のある一つの構造（スナップショット）に対する電子状態を表しているに過ぎない。つまり、一般に化学反応を理解するには電子状態の変化の情報が不可欠であるのに、生体高分子に対しては十分に得られない状況にある。本領域では、量研が有する高輝度放射光や中性子結晶構造解析の技術を活用し、前者から得られる外殻電子の情報と、後者から得られる高精度な原子核位置情報により、量子化学計算の信頼性を向上していく。さらに、スナップショットではあるが電子状態までわかる高分解能の構造情報、低解像度ではあるが動的な散乱から得られる X 線・中性子小角・中性子準弾性の構造情報、分子の構造変化と電子状態の変化をシームレスにつなぐマルチスケールシミュレーション計算の開発を行っていく。これらにより、分子が働く仕組みを高精度かつ連続的に理解する「量子構造生物学」の創成を目指す。

■量子放射線生物学

放射線と生体のファーストコンタクトは量子力学的な事象である。そのピコ秒-ナノ秒間に付与された放射線のエネルギーは、数年、数十年も体内に影響を及ぼし、やがて確率的な発がんにいたる。この生命と放射線の関わりを研究する放射線生物学は、量研が前身の時代から半世紀以上にわたり取り組んできた分野であり、本領域では改めてこれに多様な量子技術で切り込んでいく。放射線影響の主因は、複数の DNA 損傷が nm オーダーの範囲に局在する「クラスター DNA 損傷」であると考えられているが、その生成機構や微細構造は明らかでない。生成機構については、超短パルスレーザー駆動放射線と高輝度プローブ光を組み合わせ、放射線照射直後（ピコ秒後）から細胞等をリアルタイム観測する。微細構造については、DNA 損傷を量子ドット等で標識し FRET（蛍光共鳴エネルギー移動）を計測することにより、近接した複数の DNA 損傷の

位置関係を明らかにする計画である。細胞スケールの放射線影響に対しては、陽子線を直径 2 μm にまで集束し、細胞核や細胞質・細胞小器官を“狙い撃ち”できる SPICE-NIRS マイクロビーム細胞照射装置等を活用する。放射線を当てる場所、タイミング、エネルギーの量等を変えながら、多角的に細胞機能を解析し、放射線に対する細胞の生存戦略を解明する。さらに高次のスケールでは、放射線による突然変異を持った細胞や組織幹細胞、分化細胞等の様子を蛍光タンパク質等で検出するモデル動物を作製し、ナノ量子センサー、多光子励起イメージングや MRI 等の量子技術により、その後の過程を「生きたまま」追跡する計画である。これにより、多種の細胞が共存する“細胞社会”のどこに量子エネルギーの痕跡が残されるのか、細胞社会のどのような環境変化ががんを成長させるのか等を明らかにしていく。

■量子論的認知脳科学

思考、知覚、判断等の心の働きを理解しようとする認知科学は、古典確率論の数学的枠組みによって構築されてきたが、これでは説明できない人間の推論や認知判断が多数存在することが徐々に判明してきた。代表例に「リングダ問題」がある。実験参加者は、リングダという女性の記述「リングダは 31 歳、独身、非常に聡明で、はっきりものを言う。大学では哲学を専攻し、学生時代は人種差別や社会正義に関心を持ち、反核デモにも参加していた」を読み、今の彼女を推測し、A) 銀行員、B) 銀行員であり女性運動家、どちらの可能性が高いかを回答する。B は A の部分集合なので B の可能性が A よりも高くなることはないにもかかわらず、多くの実験参加者は B と回答し、しかもこの判断の誤りは非常に頑健である。記憶、知覚、態度、言語等にまたがって存在するこうした認知バイアスが生じる仕組みは、近年、「量子確率論」の数学的枠組みによって包括的に説明できる見通しが立ちつつある。本領域では、これまで理論研究が主であったこの分野に対し、MRI と脳波計を用いた脳イメージング実験による量子認知科学実証研究を行い、量子情報理論も用いて脳活動の時空構造を明らかにする。これにより、心 = 意識の生成メカニズム解明に向けた新しい分野「量子論的認知脳科学」の創出が期待できる。

以上の通り、量子生命科学は非常に幅広い分野にまたがっており、本領域では共に活動する研究者を広く募っていく。読者諸氏との積極的な交流を希望して

■ お 知 ら せ ■

いる。

(本稿は、本領域の五十嵐 龍治, 高草木 洋一, 安達 基泰, 横谷 明德, 玉田 太郎, 河野 秀俊, 鹿園 直哉, 今

岡 達彦, 赤松 憲, 小西 輝昭, 山田 真希子, 八幡 憲明
の各氏の協力の下, 執筆した.)

(量研 量子生命科学領域研究企画グループ 藤巻 秀)

第 62 回放射線化学討論会・2019 放射線化学若手の会夏の学校のご案内

第 62 回放射線化学討論会は、2019 年 9 月に福井大学敦賀キャンパスにて開催予定です。具体的な準備はまだ進んでおりませんが、これから準備を加速させてまいりますので、スケジュール帳へのご記入、ご参加、ご発表をよろしくお願ひいたします。

- 期間：2019 年 9 月 23 日（月）–25 日（水）
- 場所：〒914-0055 福井県敦賀市鉄輪町 1 丁目 3 番 33 号 福井大学附属国際原子力工学研究所 第 1 講義室
Tel. 0770-25-0021（代表）
https://www.u-fukui.ac.jp/cont_about/data/access/
（鉄道）JR 敦賀駅から徒歩で約 5 分
（自家用車）北陸自動車道 敦賀 IC から敦賀バイパス国道 8 号線で約 1 km, 国道 476 号線で西へ約 1 km, 敦賀街道・国道 8 号線で南へ約 3 km
（構内駐車場は台数に限りがありますので、お車でお越しの方はできる限り乗り合わせる等、駐車スペース確保にご協力お願ひいたします。）

3 月中には、第 62 回放射線化学討論会のホームページを開設する予定にいたしておりますので、詳細につきましては、順次ホームページでお知らせいたしますので、ご覧ください。参加登録等の運営面では、昨年

度開催されました第 61 回放射線化学討論会の前例の通りを計画しております。

懇親会につきましては、討論会の 2 日目の夕方に以下の通り開催させていただく予定です。

- 開催日：2019 年 9 月 24 日（火）
- 場所：〒914-0813 福井県敦賀市呉羽町 2 番地 ニューサンピア敦賀
<http://newsunpia-tsuruga.co.jp/>
（討論会会場との間はバスでの送迎を予定）

また、放射線化学討論会の翌日より、放射線化学若手の会夏の学校を開催いたします。

- 期間：2019 年 9 月 26 日（木）–27 日（金）
- 場所：〒919-1123 福井県三方郡美浜町久々子 2-5-2 海のホテル ひろせ
<https://hotel-hirose.jp/>
（JR 美浜駅から車で 10 分）

なお、2019 年の秋には本討論会以外にも多くの学会が福井県内で開催されるようです。宿泊場所の予約と確保をお早めに済まされることをお薦めいたします。

（福井大学 泉佳伸）

APSRC2020 のお知らせ

第 8 回アジア太平洋放射線化学シンポジウム (APSRC2020) が、2020 年 4 月 21 日 (火) -24 日 (金) にかけて、高崎シティギャラリー (群馬県高崎市) において開催されます。

APSRC は、2006 年に中国で第 1 回が開催され、中国、日本、インドの 3 か国が順にホスト国を担当しています。日本での開催は、APSRC2008 (早稲田大学)、APSRC2014 (東京大学) に次いで 3 回目となります。

APSRC2020 ホームページおよび事務局メールアドレスを以下のように開設いたしました。

<http://www.radiation-chemistry.org/apsrc2020>

E-mail: apsrc20@qst.go.jp

詳細については、本誌次号 (2019 年 10 月発行予定の第 108 号) などでもお伝えします。開催に向け、会員諸兄弟の御知恵を拝借したく、なにとぞご協力のほどよろしくお願い申し上げます。

(量子科学技術研究開発機構 前川 康成)