

Symposium | Special Program : Advanced Research at the Intersection of Chemistry, Quantum Science, and Life Science

📅 Fri. Mar 20, 2026 1:00 PM - 3:40 PM JST | Fri. Mar 20, 2026 4:00 AM - 6:40 AM UTC | 🏢 A1422 (1422, Bldg. 14 [2F])

[A1422-4pm] Advanced Research at the Intersection of Chemistry, Quantum Science, and Life Science

Chair, Symposium organizer: Hiroshi Yukawa, Shigeki Kiyonaka

近年のノーベル生理学医学賞にもみられるように、分子生物学の大きな発展は化学と生命科学の接点によるところが多い。また、2025年は量子力学100年の記念年であるが、2023年のノーベル化学賞は「量子ドットの発見と合成」であり、化学と量子科学の接点により生み出されたものである。今後の更なる研究発展に向けて、化学が中心とする量子科学、生命科学との新たな接点を最新の研究成果を基に議論することにより、日本全体の量子科学や生命科学の最新技術の社会実装と国際競争力強化に資する重要な課題を創出するとともに、広く研究者間で議論を促すことで新たなイノベーション創出を目指す企画である。

1:00 PM - 1:05 PM JST | 4:00 AM - 4:05 AM UTC

Opening Remarks

◆ Japanese

1:05 PM - 1:30 PM JST | 4:05 AM - 4:30 AM UTC

[A1422-4pm-01] Solution-Phase Synthesis of Low-Toxicity Multinary Quantum Dots and Control of Their Photoluminescence Properties

○Tsukasa Torimoto¹ (1.Nagoya University)

◆ Japanese

1:30 PM - 1:55 PM JST | 4:30 AM - 4:55 AM UTC

[A1422-4pm-02] Fabrication of Diamond Quantum Sensor by Particle Irradiation and Its Application

○Takeshi Ohshima¹ (1.National Institutes for Quantum Science and Technology)

◆ Japanese

1:55 PM - 2:20 PM JST | 4:55 AM - 5:20 AM UTC

[A1422-4pm-03] Medical and Pharmaceutical Applications of Advanced Imaging Diagnosis and Treatment Technologies Using Nano-Quantum Sensors

○Hiroshi Yukawa^{1,2,3,4} (1.National Institutes for Quantum Science and Technology (QST), 2.Nagoya University, 3.Chiba University, 4.Tohoku University)

◆ Japanese

2:20 PM - 2:45 PM JST | 5:20 AM - 5:45 AM UTC

[A1422-4pm-04] In vivo Quantum Nanosensor Imaging: Development and Applications in Neuroscience

○Hiroyuki Takuwa¹ (1.Institute for Quantum Life Science (iQLS), National Institutes for Quantum Science and Technology (QST))

◆ Japanese

2:45 PM - 3:10 PM JST | 5:45 AM - 6:10 AM UTC

[A1422-4pm-05] Quantum-Bio-Chemistry: Connecting Quantum and Life Sciences Through Chemistry

○Nobuhiro Yanai¹ (1.The University of Tokyo)

◆ Japanese

3:10 PM - 3:35 PM JST | 6:10 AM - 6:35 AM UTC

[A1422-4pm-06] Molecular Control in Deep Biological Tissues through Quantum Optical and Electronic Processes for Biomedical Applications

○Mikako Ogawa^{1,2} (1.Faculty of Pharmaceutical Sciences, Hokkaido University, 2.ICReDD, Hokkaido University)

3:35 PM - 3:40 PM JST | 6:35 AM - 6:40 AM UTC

Closing Remarks

低毒性元素からなる多元量子ドットの液相合成と発光特性の制御

(名古屋大学 未来社会創造機構) ○鳥本 司

Solution-Phase Synthesis of Low-Toxicity Multinary Quantum Dots and Control of Their Photoluminescence Properties

(Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University) Tsukasa Torimoto

Semiconductor quantum dots (QDs) have attracted considerable attention due to their highly tunable light absorption and emission properties. Although most conventional binary QDs contain highly toxic elements such as Cd and Pb, high-quality multinary QDs composed of low-toxicity elements have recently been developed for broader practical applications. The photochemical properties of multinary QDs can be tuned by modifying not only their size but also their chemical composition. In this presentation, we report recent progress in the solution-phase synthesis of low-toxicity QDs composed of multinary metal chalcogenide semiconductors. Their photoluminescence properties can be precisely controlled to render them suitable for bioimaging applications.

Keywords : Quantum Dots; Low Toxicity; Multinary Semiconductors; Photoluminescence, Bioimaging

粒径により変化する光特性をもつ量子ドットは、新規発光材料やエネルギー変換材料への応用が期待される。従来の CdSe や PbS 量子ドットは高品質だが毒性が高く、実用化に課題がある。これを解決するため、低毒性元素からなる多元半導体量子ドットの開発が進んでいる。私たちは、I-III-VI 族や I-IV-VI 族半導体を用いた量子ドットの液相合成法を確立し、粒径・組成による発光波長制御(可視光～近赤外光)とバイオイメージング応用について報告する。

多元金属カルコゲニド半導体は、金属塩とカルコゲン前駆体を高温有機溶媒中で熱分解することで合成でき、粒子表面配位子(例:DDT)の量を制御することでサイズも制御できる⁽¹⁾。例えば、粒径約 5 nm の球状 Ag-In-Ga-S (AIGS) 量子ドットでは、Ga/In 比を変えることでエネルギーギャップ(Eg)を 2.07 eV から 2.83 eV に制御可能である。さらに Eg の大きな GaS_x シェルで被覆することで、シャープなバンド端発光を示すコアシェル量子ドットが得られ、発光波長を広い可視光領域で制御できる^(2,3)。

Ag₈GeS₆ 量子ドットは近赤外領域に Eg をもち、生体窓波長付近(約 900 nm)で強い発光を示す。マウスに静脈注射した結果、深さ約 15 mm の生体深部からも明瞭な発光像が観察され、生体イメージングプローブとして有効であることが示された⁽⁴⁾。

【参考文献】(1) T. Torimoto, *et al.*, *J. Photochem. Photobiol. C-Photochem. Rev.* **2023**, 54, 100569. (2) T. Kameyama, *et al.*, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **2018**, 10, 42844. (3) M. Tozawa *et al.*, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **2024**, 16, 68169. (4) Rismaningsih, *et al.*, *Small*. **2025**, 21, 2411142.

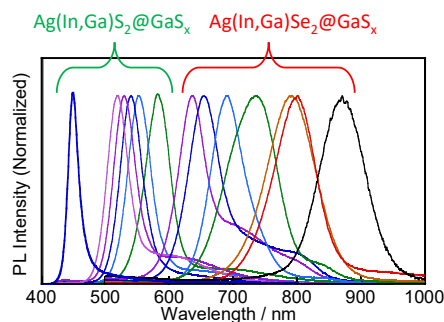


Fig. 1 PL spectra of multinary QDs with different compositions.⁽¹⁻³⁾

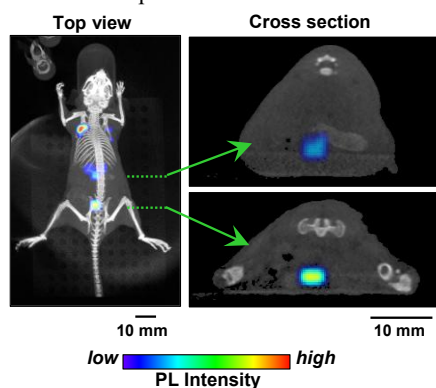


Fig. 2 A 3D PL image overlaid onto the corresponding X-ray CT image of a mouse, taken 4 h after intravenous injection of Ag₈GeS₆@ZnS core-shell QDs into its tail.⁽⁴⁾

粒子線を用いたダイヤモンド量子センサの作製と応用

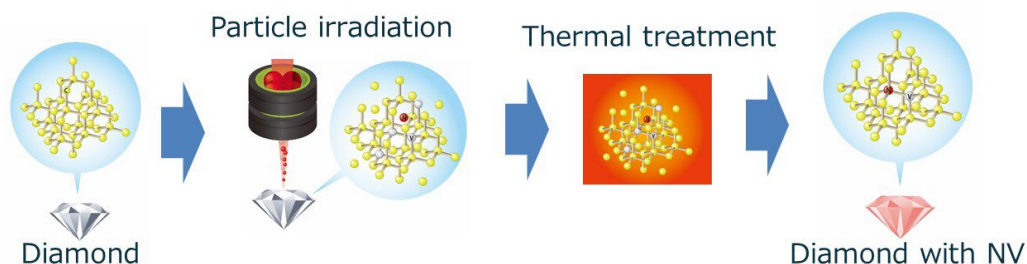
(量研¹・東北大院工²) ○大島 武^{1,2}

Fabrication of diamond quantum sensor by particle irradiation and its application (¹*QST*,
²*Tohoku University*) ○Takeshi Ohshima^{1,2}

Negatively charged Nitrogen-Vacancy (NV) center in diamonds is known as a quantum defect with $S = 1$, and it is expected to be applied to quantum bits and quantum sensors working at room temperature. For quantum sensing, NV centers have excellent features such as high sensitivity, multiple sensing of magnetic field and temperature, and wide dynamic range. Besides, since the fluorescence from single NV center can be observed, diamond nanoparticles with NV act as sensors. We use irradiation of energetic particles such as electrons and ions to create NV centers. For example, NV centers are created in nitrogen-contained diamonds using the irradiation of electrons with energy ranges of MeV and subsequent annealing. For the realization of quantum sensors with high sensitivity, it is important to create NV centers with high luminescence intensity and high spin properties such as long spin coherence time. In this talk, the relationship between NV fabrication conditions and NV properties will be discussed. Also, research toward real applications will be shown.

Keywords : NV center; Diamond; Quantum sensing; Energetic particle irradiation

ダイヤモンド中の負に帯電した窒素－空孔 (NV) センターは、 $S=1$ のスピンを有する量子欠陥として知られ、室温動作の量子ビットや量子センサへの応用が期待される。センシングという観点では、高感度、磁場や温度計測のマルチセンシングが可能、広いダイナミックレンジを有するといった優れた特徴がある。加えて、たった一つの NV センターからのフォトルミネッセンス (PL) が観測できることから、細胞内の温度計測などといったナノサイズのセンサへの応用が可能となる。NV センターの形成には、結晶成長中、及び結晶成長後に導入という二つの方法があるが、本研究では、後者の方法の一つである高エネルギー粒子線を用いた形成方法について着目する。例えば、窒素 (N) を含有しているダイヤモンドであれば、MV 級の加速エネルギーでの電子線照射により空孔 (V) を導入し、その後、熱処理を行うことで NV を形成する。高品質な量子センサには、高輝度、高スピン特性 (長コヒーレンス時間) といった特性が重要となる。本講演では、電子線やイオン照射及び熱処理によるダイヤモンド中への NV 形成プロセスと特性の関係、更に、応用に向けた研究を紹介する。



ナノ量子センサによる最先端イメージング診断・治療技術の開発 と医学・薬学応用

(QST 量子生命¹・名大未来社会²・千葉大院量子生命³・東北大院医⁴)

○湯川 博^{1,2,3,4}

Development of imaging diagnosis and treatment technologies using nano quantum sensors and their medical and pharmaceutical applications (¹ *Institute for Quantum Life Science (iQLS), National Institutes for Quantum Science and Technology (QST)*, ² *Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University*, ³ *Department of Quantum Life Science, Graduate School of Science, Chiba University*, ⁴ *Quantum Life and Molecular Imaging, Graduate School of Medicine, Tohoku University*) ¹Hiroshi Yukawa

I have been developing new imaging diagnostic and therapeutic technologies for cells and living organisms using nano quantum sensors such as Quantum dots (QDs) and Fluorescent Nano-Diamonds (FNDs). QDs exhibit exceptional optical properties based on quantum size effects, including ultra-high resolution, ultra-high sensitivity, ultra-long lifetime, energy efficiency, and low cost. These properties have already been practicalized in the fields of communication and imaging (4K/8K displays), and the technology behind QDs was awarded the 2023 Nobel Prize in Chemistry. On the other hand, FNDs with nitrogen-vacancy center exhibit optically detected magnetic resonance optically detected magnetic resonance properties (**Fig.1**)¹⁻⁵). In this symposium, I will present the latest information on the current situation of nano quantum sensors and their biological applications, particularly for cancer photodynamic immunotherapy and regenerative medicine.

Keywords : *Quantum dots; Fluorescent Nano-Diamonds; Imaging; Regenerative Medicine*

量子サイズ効果に基づく非常に優れた光学特性（超高精細、超高感度、超長寿命、省エネ、低コスト）から通信・映像（4K・8K ディスプレイ）分野において既に実用化されており、2023 年度ノーベル化学賞技術である量子ドット（Quantum Dots: QDs）や窒素－空孔中心（Nitrogen-Vacancy Center : NVC）を有することで光検出磁気共鳴（Optically Detected Magnetic Resonance : ODMR）特性を示す蛍光ナノダイヤモンド（Fluorescent Nanodiamonds : FNDs）などのナノ量子センサに注目し、細胞や生体に対する新規イメージング診断・治療技術の構築に取り組んできた（**図 1**）¹⁻⁵）。本シンポジウムでは、ナノ量子センサの現状と医学・薬学応用、特に、がん光免疫療法と再生医療に関する最新情報を紹介する予定です。

- 1) Theranostics applications of quantum dots in regenerative medicine, cancer medicine, and infectious diseases. H. Yukawa, K. Sato K, Y. Baba, *Adv. Drug. Deliv. Rev.* **2023**, *200*, 114863. **Front Cover.**
- 2) Nano-quantum sensors-based imaging and sensing for target-based drug discovery and development. T. Shimada, Y. Ueda, H. Takemaru, Y. Baba, H. Yukawa, *Trends Analyt. Chem.* **2024**, *171*, 117496.
- 3) Biological Nano Quantum Sensors, Quantum Technology-Based Hyperpolarized MRI/NMR, Quantum Biology, and Quantum Biotechnology. H. Yukawa, H. Kono, H. Ishiwata, R. Igarashi, Y.

Takakusagi, S. Arai, Y. Hirano, T. Suhara, Y. Baba, *Chem. Soc. Rev.* **2025**, *54*, 3293. **RSC Fellows Celebratory Collection, Front Cover**

- 4) Enhancing Near-Infrared Photoluminescence of Ag_8GeS_6 Quantum Dots through Compositional Fine-tuning and ZnS Coating for In Vivo Bioimaging. N. Rismaningsih, J. Kubo, M. Soto, K. Akiyoshi, T. Kameyama, T. Yamamoto, H. Yukawa, Y. Baba, T. Torimoto, *Small*. **2025**, *21*, 2411142. **Frontispiece**
- 5) Quantum Life Science: A Paradigm for Life Science Research. H. Kono, H. Yukawa, T. Hiromoto, R. Igarashi, Y. Takakusagi, M. Adachi, Y. Baba, *ACS Nano*. **2026**, *20(1)*, 5. **Front Cover**

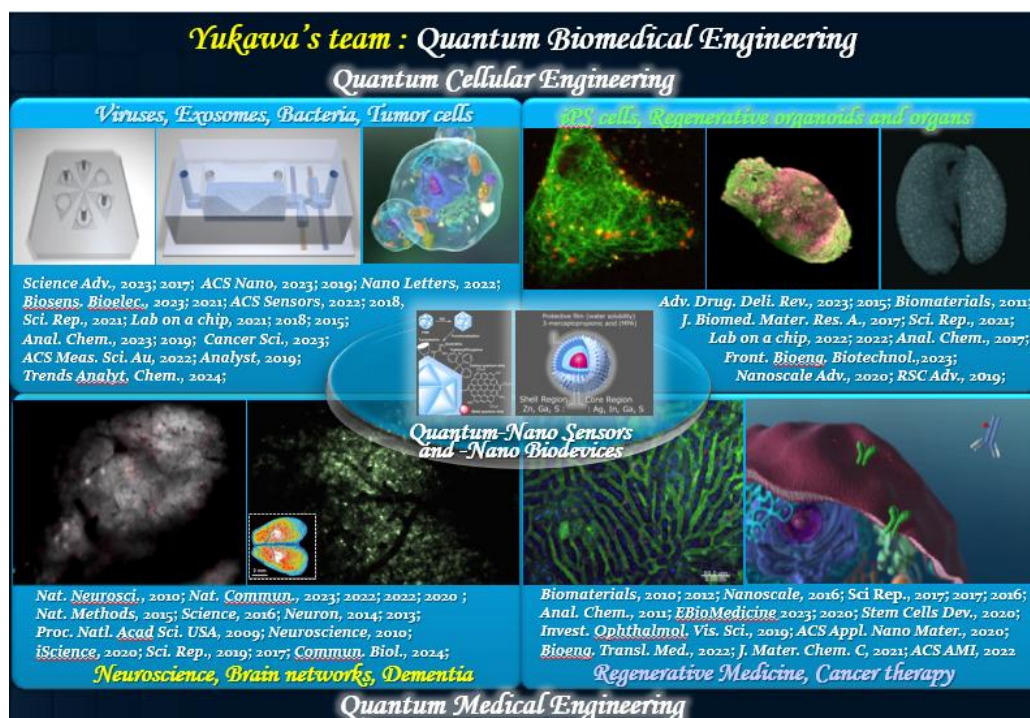


図1 : ナノ量子センサとナノバイオデバイスの開発と最先端生命医学への展開

ナノ量子センサによる *In vivo* イメージング技術開発と脳科学への展開

(QST 量子生命¹) ○田桑 弘之¹

In vivo Quantum Nanosensor Imaging: Development and Applications in Neuroscience
(¹*Institute for Quantum Life Science (iQLS), National Institutes for Quantum Science and Technology (QST)*) ○ Hiroyuki Takuwa,¹

We have developed an *in vivo* imaging platform based on nanodiamond quantum nanosensors that enables long-term and repetitive measurements of intracellular temperature, radical production, and motility in immune cells within and outside the brain. Until now, analyses of immune cell subpopulations have primarily relied on gene expression profiling of excised brain tissue. Although highly informative, postmortem analyses of that type inherently lack spatiotemporal resolution, thereby limiting our understanding of the functional roles of immune cell subpopulations *in vivo*. With the proposed *in vivo* quantum nanosensing approach, we successfully visualized various functional states and subpopulations of immune cells, at single-cell resolution and in real time in animal models of stroke and neurodegenerative diseases. Furthermore, by integrating quantum dots with two-photon microscopy, we elucidated the relationship between deep-brain temperature dynamics and neurovascular responses in mouse models of brain disorders. In this presentation, we provide an overview of how nanosensor technologies—including nanodiamonds and quantum dots—can be translated into biological and medical research, and discuss the potential and future perspectives of next-generation brain science driven by quantum technologies.

Keywords : *Quantum nanosensor, Nanodiamond, Quantum dot, In vivo cell imaging, Brain disorders*

我々は、ナノダイヤモンドを基盤とするナノ量子センサを用い、生体脳内外に存在する免疫細胞から、細胞内温度、ラジカル産生、遊走性を長期間にわたり繰り返し計測可能な *in vivo* イメージング技術を開発してきた (図1)。これまで免疫細胞の亜集団解析は、摘出脳を用いた遺伝子発現解析が中心であり、極めて有効な手法である一方、死後脳解析に基づくため、生体が本来有する時空間的情報がほぼ失われ、各亜集団の機能的役割の理解には限界があった。提案する生体ナノ量子センシング技術により、脳卒中や神経変性疾患などの病態モデル動物において、免疫細胞が示す多様な機能状態や亜集団への分化過程を、単一細胞レベルかつリアルタイムで可視化することが可能となった。さらに、量子ドットと二光子顕微鏡を組み合わせることで、脳疾患モデルマウスの深部組織における脳温度ダイナミクスと神経・血管応答との関係を明らかにしてきた。本講演では、ナノダイヤモンドや量子ドットをはじめとするナノセンサ技術の開発が生物・医学研究へどのように展開され得

るかを概説するとともに、量子科学が切り拓く次世代脳科学研究の可能性と将来展望について議論する。

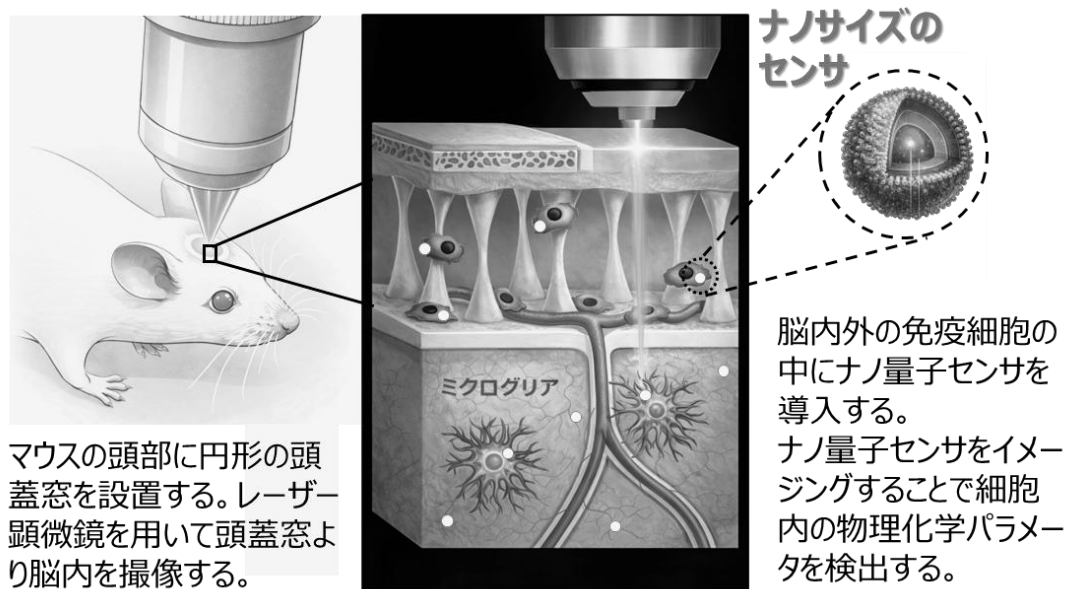


図1：生体ナノ量子センシングによる脳内外の免疫細胞の観察（模式図）。

量子生命化学：化学で量子と生命を繋ぐ

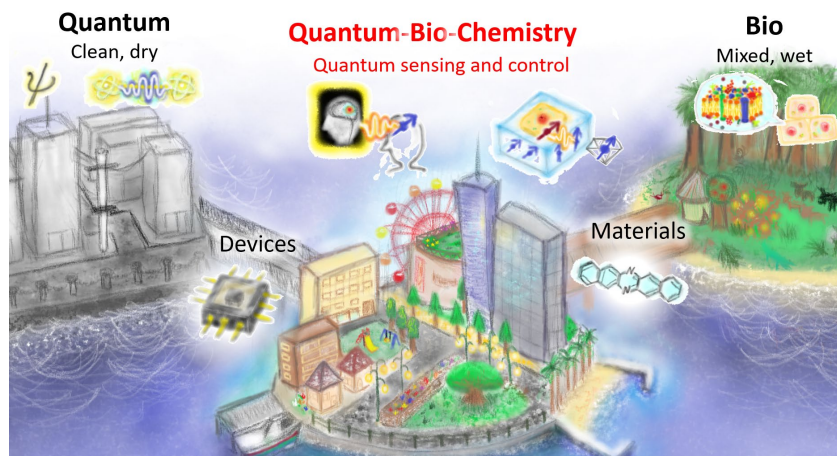
(東大院理) ○楊井 伸浩

Quantum-Bio-Chemistry: Connecting Quantum and Life Sciences Through Chemistry
(Graduate School of Science, The University of Tokyo) ○Nobuhiro Yanai

The Second Quantum Revolution is underway. What should chemists do in this coming quantum era? We seek our own answer to this question at the interface between quantum and life sciences. Many quantum technologies function in clean, dry environments, making their application to the messy, wet biological phenomena challenging. We believe chemistry can bridge this gap. This can be seen as an attempt to expand chemistry's domain, and we propose calling the chemistry active at this quantum-life boundary “quantum-bio-chemistry.” In this context, as materials chemists, we are developing hyperpolarized materials for sensitivity-enhanced NMR/MRI and molecular-based quantum sensors.

Keywords : *Quantum-Bio-Chemistry, Spin Hyperpolarization, Quantum Sensing*

第二量子革命が巻き起こり、量子コンピュータや量子通信といった量子技術への注目が高まっている。これからの量子の時代に、化学者は何をすべきだろうか？この問いに対する自分たちなりの答えを、我々は量子と生命の接点に見出そうとしている。量子技術はクリーンでドライな環境で機能するものが多く、夾雑でウェットな生命現象に適用することが容易ではない。化学の力でこのギャップを埋める、つまり「量子と生命を化学で繋ぐ」ことが可能ではないかと考えている。これは化学が活躍する場を広げる試みと捉えることもでき、この量子と生命の境界において活躍する化学を「量子生命化学」と呼びたい。この文脈において、我々は材料化学者としてNMR・MRIの高感度化に繋がる超核偏極材料や分子性量子センサーの開発を行っており、これらの最近の進捗を紹介したい^{1,2}。



- [1] Akio Yamauchi, Saiya Fujiwara, Nobuo Kimizuka, Mizue Asada, Motoyasu Fujiwara, Toshikazu Nakamura, Nobuhiro Yanai, *Nature Commun.*, **2024**, *15*, 7622.
- [2] Hitoshi Ishiwata, Jiarui Song, Yoko Shigeno, Koki Nishimura, Nobuhiro Yanai, *ChemRxiv*, DOI: 10.26434/chemrxiv-2025-k7db1.

光と電子の量子プロセスに基づく生体深部での分子制御と医薬応用

(北大院薬¹) ○小川 美香子¹

Molecular Control in Deep Biological Tissues through Quantum Optical and Electronic Processes for Biomedical Applications (¹*Faculty of Pharmaceutical Sciences, Hokkaido University*) ○Mikako Ogawa¹

Light has become an indispensable tool in life science research. It is widely used in various applications such as imaging and functional analysis employing caged compounds. Typically, visible light—especially in the ultraviolet to blue region—is used to activate caged compounds. This is because activation relies on changes in the electronic excited state of molecules, and such structural transformations generally require relatively high excitation energy. However, light in this wavelength range cannot penetrate deeply into biological tissues, limiting its applicability.

Expanding the usable wavelength range, particularly toward more tissue-penetrating electromagnetic waves, would enable broader applications, including potential use in humans.

Our group has been developing molecular activation methods using X-rays, which possess high tissue penetration. We have demonstrated that molecular structures can be transformed through processes involving hydrated electrons and Auger electrons. In this presentation, we will introduce these findings and discuss future possibilities of utilizing fluctuations in electron spin states for molecular activation and reaction control.

Keywords : Caged Compound; X-ray; electron

光は今や生命科学研究に欠かせないツールである。イメージングやケージド化合物を用いた機能解析などに汎用されている。一般に、ケージド化合物の活性化のためには可視光が用いられ、なかでも主に紫外～青色光の光が用いられる。分子の化学構造を変え機能させるために、分子の電子励起状態の変化が利用されていること、また励起状態からの化学構造変化にはある程度大きなエネルギーが必要とされることが理由である。しかし、この波長範囲の光は、生体の深部へは届かない。より広い波長範囲を利用できるようになれば、ヒトへの応用も含め、より広範に利用可能な技術になる。

我々はこれまでに、生体透過性の高い光（電磁波）である X 線を利用した分子の活性化技術の構築に取り組んできた。その結果、水和電子やオージェ電子を利用することで化学構造を変換することができることを見出した。本発表ではこれらの結果を紹介し、さらに今後の電子のスピン状態の揺らぎを利用した展開の可能性を議論したい。