

# 教育・研究活動 年次報告書

2024 年度

九州大学大学院理学研究院  
化学部門

2025 年 12 月

## 目 次

はじめに

### 1. 2024 年度における化学専攻の活動

#### 1.1 教員名簿

#### 1.2 人事異動

#### 1.3 非常勤講師

#### 1.4 大学院博士課程・修士課程・研究生・学振（PD）・研究員等 名簿

博士課程

修士課程

研究生・学振（PD）

#### 1.5 2024 年度に授与した大学院学位

課程博士（理学）

課程修士（理学）

#### 1.6 2024 年度関係行事一覧

（1）講演会

（2）談話会・報告会

（3）2024 年度 FD・HD

（4）修士課程論文公開講演会

（5）学士課程卒業研究業績報告会

### 2. 2024 年度における各講座の活動

[無機・分析化学講座]

錯体化学分野

錯体物性化学分野

生体分析化学分野

分光分析化学分野

無機反応化学分野

[物理化学講座]

分散系物理化学分野

量子化学分野

光物理化学分野

構造化学分野

[有機・生物化学講座]

生物有機化学分野

動的生命化学分野

構造機能生化学分野

[複合領域化学講座]

理論化学分野

触媒有機化学分野

量子生物化学分野

はじめに

九州大学大学院理学研究院化学部門 2024 年度教育・研究活動の年次報告書を化学科ホームページにて掲載いたします。近年、年次報告書は電子媒体にて公開しております。また、化学部門教員の論文・学会発表などの研究業績・担当講義・各種委員などの情報については下記サイトをご覧ください。

九州大学研究者情報サイト

[https://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/html/home\\_ja.html](https://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/html/home_ja.html)

九州大学によこそ（研究者プロファイリングツール Elsevier 社 Pure）

<https://kyushu-u.pure.elsevier.com/ja/organisations/departement-of-chemistry-2>

およそ 20 年前の講座再編以降、化学部門では、無機・分析化学講座、物理化学講座、有機・生物化学講座、複合領域化学講座の四大講座を配置し、研究と教育に専心して参りました。2024 年度はこれら四大講座に総計 15 研究室を配置し、独創性と重要性の高い、幅広い先端的研究課題に取り組む体制を調え、優れた成果を収めることができました。人事異動に関しても多数の栄転、退職と新任採用がありました。具体的には、生体分析化学の木下祥尚助教、生物有機化学の保野陽子助教の 2 名の他大学への栄転があったほか、動的生命化学の足立惇弥助教の退職、触媒有機化学の山本英治助教の准教授への昇任、生体分析化学の鳥飼浩平助教と理論化学の渡邊祥弘助教の講師への昇任もありました。また、九州大学ダイバーシティ・スーパーグローバル教員育成研修（SENTAN-Q）制度を利用して、構造機能生化学の松島綾美准教授が教授へ昇任しました。さらに、動物生命化学研究室には九州大学生体防御医学研究所より弓本佳苗准教授が着任しました。国の政策による運営費交付金の減少に伴い、人事ポイントも削減されるなか、人事流動化を進め、時代のニーズに即した新しい研究課題に取り組む新任教員の採用を達成しました。

大学院教育を担当する化学専攻では、先導物質化学研究所、基幹教育院、カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所、アイソトープ統合安全管理センターから協力講座 8 研究室に加わっていただき、幅広い化学教育を展開しています。理学府独自の教育プログラムである「フロントリサーチャー育成プログラム」および「アドバンスサイエンティスト育成プログラム」、工学府との連携による博士課程教育リーディングプログラムを発展させた「分子システムデバイス Ⅱ・ヴィンチコース」、ならびに九州大学次世代研究者挑戦的研究プログラム「未来創造コース」との連携の下、先端学際科学者ならびに高度理学専門家の育成に向けた教育を行っています。

2024 年度は、新型コロナウイルスの感染がおおむね収束し、またコロナウィルス感染症の 5 類移行に伴い、教育研究活動はコロナ禍前の状態にほぼ戻りました。オンライン会議の良

いところも取り入れ、会合の目的に応じて対面開催やハイブリッド開催など形態が多様化しました。講義については基本的に対面形式で行われ、状況に応じてオンラインやオンデマンド方式が併用されました。大学院入試は、自己推薦入試、一般入試とも対面で無事実施することができました。

現場においては、オンラインの活用により、作業の効率化、時間の有効利用はより進みました。講義においても、オンライン教材がより充実し、対面講義にオンライン講義の利点を取り込むことで、より良い学習環境を提供できました。一方、文部科学省が、2023 年度より一定の基準を満たしたインターンシップで企業が得た学生情報を広報活動や採用選考活動に使用できるよう見直したことから、就職活動の一層の早期化が進みました。大学院では修士 1 年に入学直後から就職活動を意識し始める状況になり、研究教育活動に影響が出始めている。

こうした状況のなか、若手教員が中心となり、長年続けてきた化学科談話会を見直し、九大化学フェスタを開催しました。従来の研究発表や研究室紹介のポスター発表を拡張し、また化学系企業にもブースを出展して頂き、学会やシンポジウムに近い形式に変えました。ポスター賞なども創設しました。このため、多数の参加者があり 2025 年度にはより大きな規模に発展しています。

このように、運営費交付金削減の厳しい状況のなか、教員、学生とも一丸となって努力しております。今後とも、化学科・化学専攻・化学部門の教育・研究に皆様のご理解とご支援を賜りますよう、何卒よろしくお願い申し上げます。

2025 年 12 月

2025 年度 化学部門長 徳永 信

# 1. 2024 年度における化学専攻の活動

## 1.1 教員名簿 (2024 年 5 月 1 日現在)

### 教授

酒井 健(無機・分析化学)	大場正昭(無機・分析化学)	松森信明(無機・分析化学)
恩田 健(無機・分析化学)	安中雅彦(物理化学)	寺寄 亨(物理化学)
大石 徹(有機・生物化学)	堀雄一郎(有機・生物化学)	中野晴之(複合領域化学)
徳永 信(複合領域化学)		

### 准教授

小澤弘宜(無機・分析化学)	大谷 亮(無機・分析化学)	川井隆之(無機・分析化学)
宮田潔志(無機・分析化学)	宇都宮聡(無機・分析化学)	槇 靖幸(物理化学)
堀尾琢哉(物理化学)	大橋和彦(物理化学)	平松光太郎(物理化学)
弓本佳苗(有機・生物化学)	松島綾美(有機・生物化学)	渡邊宙志(複合領域化学)
山本英治(複合領域化学)	秋山 良(複合領域化学)	

### 講師

岡上吉広(無機・分析化学)

### 助教

山内幸正(無機・分析化学)	Benjamin LE OUAY(無機・分析化学)	木下祥尚(無機・分析化学)
鳥飼浩平(無機・分析化学)	小川知弘(無機・分析化学)	八島慎太郎(物理化学)
桶谷亮介(物理化学)	保野陽子(有機・生物化学)	足立惇弥(有機・生物化学)
渡邊祥弘(複合領域化学)	鈴木 聡(複合領域化学)	吉澤明菜(複合領域化学)

【協力講座】

先導物質化学研究所

教授

玉田 薫(ナノ物性化学)      佐藤 治(光機能物質化学)      山内美穂(ナノ機能化学)

准教授

有馬祐介(ナノ物性化学)      谷 文都(構造有機化学)      小林浩和(ナノ機能化学)

助教

梶野祐人(ナノ物性化学)      金川慎治(光機能物質化学)      呉 樹旗(光機能物質化学)  
堂ノ下将希 (ナノ機能化学)      五島健太(構造有機化学)

基幹教育院

教授

瀧上隆智(ソフト界面化学)      野瀬 健(生体分子化学)

准教授

内田竜也(有機反応化学)

助教

巢山慶太郎

## 1.2 人事異動

'24. 4.1	動物生命化学	弓本 佳苗	准教授	採用 (九州大学生体防御医学研究所より)
'24. 4.1	触媒有機化学	山本 英治	准教授	昇任
'24. 9.30	生体分析化学	木下 祥尚	助教	転出 (群馬大学)
'25. 2.1	構造機能生化学	松島 綾美	教授	昇任
'25. 2.1	生体分析化学	鳥飼 浩平	講師	昇任
'25. 2.1	理論化学	渡邊 祥弘	講師	昇任
'25. 3.31	生物有機化学	保野 陽子	助教	転出 (大阪公立大学)
'25. 3.31	動的生命化学	足立 惇弥	助教	退職

## 1.3 非常勤講師

野崎 浩一	教授	富山大学学術研究部理学系
石山 達也	准教授	富山大学学術研究部工学系
住吉 孝明	教授	関西大学化学生命工学部
山田 容子	教授	京都大学化学研究所
定金 正洋	教授	広島大学大学院先進理工系科学研究科
大洞 康嗣	教授	関西大学化学生命工学部
四方 俊幸	教授	東京農工大学大学院農学研究院



#### 1.4 大学院博士課程・修士課程・研究生・学振 (PD)・研究員等 名簿

(2024 年 5 月 1 日現在)

##### 博士課程

###### 1 年生 (D1)

李 道寛  
楊 桐颯  
末吉 史佳 \*  
富田 侑樹  
合屋 祐輝  
LEE DONG-SEB  
張 鄭延  
本田 瑛之  
鄭 雨馨  
曹 鈺雪  
大内田 希奈  
新垣 怜央  
劉 嘉浩

###### 2 年生 (D2)

岩井 優大  
江原 巧 \*  
羽座 寛登  
吉岡 拓哉  
田村 徹  
山内 崇弘  
周 子奇  
HUANG YUBO  
田中 尚輝

###### 3 年生 (D3)

廖 晨  
Yan Xin  
管 昌権  
張 奥  
WANGAMNUAYPORN SUPAKORN  
森藤 将之  
笠 僚宏 \*  
胡 祖亮  
上川 拓也  
斉 維昕  
WON SUNGYOUNG  
竹田 宙加  
岩下 智哉  
吉 天馳  
植松 尊  
水 棋鋭  
鄭 文偉

\*...日本学術振興会特別研究員

## 修士課程

### 1 年生 (M1)

鄭 卿恩	宇佐見 駿太	迫水 裕斗
富田 悠也	石田 晃士	樋口 直輝
千綿 晃史郎	田坂 栞	山口 雄大
野間 大暉	久保田 樹	真崎 裕司
澁谷 篤紀	牛木 優太	和嶋 瑠花
中村 拓海	川村 右京	張 英豪
岸本 悠佑	大上 柊介	宮脇 遙大
木村 紗彩	山本 航	松井 信明
時 雨新	西川 智	松鶴 恭弘
邱 昶睿	江嶋 郁人	梅野 磨比流
UKTAMOVA Malokhat	古賀 大晴	岩下 祐也
栄 浩天	大村 匡人	林 裕益華
千 天逸	小松 翔	丸山 初之助
安田 美月	北山 雄貴	MAI ELISSA NGOC
中本 朱音	平嶺 花奈	藤田 瞬
山下 愛斗	熱田 萌子	藤田 涼平
何 甦恩	開 雄大	山下 和洋
光永 龍世	宮崎 蓮	
辰井 謙斗	絹笠 雅門	
山本 真太朗	香西 丈一朗	
大庭 拓也	池田 拓真	
長尾 陸矢		
杉本 侃駿		
宮崎 加奈子		

## 2年生 (M2)

王 冠  
井上 眞子  
國久保 透真  
浦 陸人  
河村 佳央理  
池田 達紀  
姚 自立  
神崎 友理  
周 堯  
山本 直也  
下川 真依  
末田 悠太  
宋 衍慶  
猪狩 世玲菜  
清水 浩太郎  
山根 晃輝  
西村 あおい  
高田 亜美  
屋良 雅也  
石井 優生  
三好 健太  
藤井 貴也  
平川 未歩

能見 倫  
青沼 優奈  
鈴木 悠太  
坂本 涼  
小田 淳生  
矢ヶ部 未歩  
勅使川原 樹弥  
山口 寛史  
御手洗 拓真  
太田 航司郎  
樋口 貴士  
山内 葉月  
小野原 永遠  
荒巻 光汰  
中村 圭太  
中辻 賢人  
吉村 早織  
黒木 博由  
平岡 杏央  
佐藤 一斗  
石井 健  
北 康平  
山本 向洋  
伊藤 宇宙

林 結華  
後藤 彩香  
星野 秀太朗  
坂井 翔太朗  
前田 朱里  
池田 泰輔  
Verner Saeaesk  
平川 朱里  
居倉 稜  
浜重 竜也  
奥迫 茉優  
手島 優希  
草場 智  
多田隈 歩実  
河野 賢亮  
岡崎 浩志

## 研究生等

王天<sup>ツェン</sup>  
甄<sup>ヂェン</sup>緯<sup>ウェイ</sup>楓<sup>フー</sup>  
BARBIER BASTIEN  
BRUNO JEAN

## 学振 (PD) 研究員等

Boruah Kanta Purna  
松尾 美香  
LEE SHI TING  
張 曉鵬  
Maurya Shaylendra Kumar  
木村 要二郎  
Marvin Sarango

## 1.5 2024 年度に授与した大学院学位

### 課程博士（理学）

上川 拓也	Development of bioisostere- conjugated fluorescent probes for live-cell intracellular protein imaging (生細胞内タンパク質イメージングのためのバイ オイソスター結合型蛍光プローブの開発)
吉 天馳	Development of Fe <sup>II</sup> Complexes Exhibiting Intermolecular Proton Transfer Coupled Spin Transition (分子間プロトン移動共役スピン転移を示す Fe <sup>II</sup> 錯体の開発)
水 棋鋭	Tunable Polarization Switching Behaviors in Solid Solution of Spin Crossover Complexes (スピנקロスオーバー錯体固溶体における分極 スイッチング挙動)
WANGAMNUAYPORN SUPAKORN	Development of analytical methods for the facile and rapid determination of membrane protein- specific lipids by gold nanoparticles (金ナノ粒子を用いた迅速な膜タンパク質特異的 脂質スクリーニング法の開発)
YAN XIN	Development of Molecular-Based Photoelectrochemical Cells Promoting Overall Water Splitting via One-Step Photoexcitation (一段階光励起機構によって太陽光水分解を駆動す る分子性光電気化学セルの開発)
管 昌権	Electrochemical Study on Hydrogen Evolution from Water Catalyzed by Bis(NHC)Cobalt Complexes

(ビス(NHC)コバルト錯体を触媒とする水からの  
水素生成反応に対する電気化学的研究)

笠 僚宏

Dual Emission Mechanism in Linearly-Linked  
Donor-Acceptor-Type Molecules Exhibiting  
Thermally Activated Delayed Fluorescence (熱  
活性化遅延蛍光を示す直線状ドナー・アクセプタ  
ー型分子の二重発光機構)

森藤 将之

Development of a Methodology for  
Comprehensive Analysis of Lipid-Membrane  
Protein Interactions Using Lipid-Immobilized  
Beads  
(脂質固定化ビーズを用いた脂質 - 膜タンパク質  
相互作用の網羅的解析法の開発)

鄭 文偉

Polarization Switching in Valence Tautomeric  
Complexes with Enantiopure Ligands  
(エナンチオピュア配位子を有する原子価異性錯体  
の分極スイッチング)

岩下 智哉

Development of Analysis Method for Solvation  
Effects on Brownian Motion of Macromolecule  
Using Molecular Dynamics Studies  
(分子動力学法を用いた巨大分子のブラウン運動へ  
の溶媒効果の解析手法の開発)

竹藤 春菜

Tribological Properties of Hydrogels with  
Hemispherical Surface Dimples  
(表面に半球状くぼみ形状をもつハイドロゲルの  
トライボロジー特性)

## 課程修士（理学）

- |       |   |
|-------|---|
| 池田 達紀 | Preparation of electrodes modified with platinum nanoclusters and their catalytic properties in hydrogen evolution reaction<br>(白金ナノクラスター修飾電極作成と水素生成触媒特性)   |
| 林 結華  | Fabrication of mixed nanoparticle 2D sheets for highly sensitive colorimetric sensors<br>(高感度比色センサーのための混合ナノ粒子二次元膜の作製)   |
| 神崎 友理 | Mixed-Protein Approach for MOP-Enzyme Composites and Their Application in Paper-Based Sensors<br>(混合タンパク質法による MOP-酵素複合体の形成と紙ベースセンサーへの応用)  |
| 池田 泰輔 | Four-Step Magnetic Transition Using Electron Transfer Coupled Spin Transition in a Cyano-Bridged FeCo Complex<br>(シアノ架橋鉄・コバルト錯体の電子移動共役スピントランジションを用いた四段階の磁気転移)   |
| 三好 健太 | Distribution of Mn-oxidizing fungi and mechanism of Mn oxidation in Ningyo-toge uranium mine<br>(人形峠ウラン鉱山に棲息する Mn 酸化真菌の分布と Mn 酸化機構の解明)  |
| 浦 陸人  | Co Phthalocyanine Modified TiO <sub>2</sub> Electrode Promoting Electrocatalytic Conversion of CO <sub>2</sub> to Methanol at Low Overpotential<br>(コバルトフタロシアニン触媒を化学修飾した TiO <sub>2</sub> 電極による CO <sub>2</sub> からの低過電圧メタノール生成) |

- 末田 悠太      Cationic Zr-based Metal-Organic Polyhedra as Porous Photosensitizers for Polyoxometalate Catalysts  
(カチオン性 Zr 金属-有機多面体のポリ酸との集積化と光増感能)
- 星野 秀太郎      Formation of planar membrane using cell-derived vesicles  
(細胞由来ベシクルを用いた平面膜の形成)
- 小田 淳生      Highly Specific and Simple Virus Detection Using a Portable Fluorescence Microscope  
(高特異度かつ簡便なウイルス検出に向けたポータブル蛍光顕微鏡の開発)
- 鈴木 悠太      Discovery of icosahedral silver cage anions encapsulating group 5 elements,  $M@Ag_{12}^-$  ( $M = V, Nb, Ta$ ), and analysis of superatomic orbitals by angular momentum projection  
(5 族元素を添加した正二十面体型銀 12 量体クラスター負イオン  $M@Ag_{12}^-$  の発見及び超原子軌道の軌道角運動量解析)
- 手島 優希      Deformation mechanism of phospholipid bilayers induced by amphiphilic peptides Alamethicin  
(両親媒性ペプチド Alamethicin が誘起するリン脂質二分子膜の変形とそのメカニズム)
- 石井 優生      Analysis of the Photoreaction of Phenothiazine Derivatives Accompanied by Photoluminescence Enhancement  
(発光増強を伴うフェノチアジン誘導体の光反応の分析)

西村 あおい	Local anesthetics reversibly disrupt lipid rafts in neuroblastoma cell membranes (局所麻酔薬による神経芽腫細胞での脂質ラフトの可逆的破壊)
山本 直也	Development of Spin Qubit using Salen Complexes with $S = 1/2$ Spin and Their Spin Relaxation Properties ( $S = 1/2$ Salen 錯体を用いたスピン量子ビットの開発とスピン緩和特性)
YAO ZILI	Preparation and characterization of zeolite-supported Pt nanocluster catalysts for electrochemical hydrogen evolution from water.
下川 真依	Exploration of Different Strategies for the Development of Water-Stable Metal-Organic Polyhedra (水中で安定な金属-有機多面体の開発)
井上 眞子	Synthesis and Single-molecular Photo-hydrogen-evolving Property of New Pyridinium-tethered Platinum Complexes (ピリジニウムを導入した新規白金錯体の合成と単分子光水素生成触媒機能)
屋良 雅也	Elucidation of Electron Transfer Dynamics in Dye-Sensitized Photoelectrochemical Cells Using Ru Complexes (Ru 錯体色素を用いた色素増感型光電気化学セルにおける電子移動ダイナミクスの解明)
河村 佳央理	Controlling the Activity of Bis(NHC)cobalt Catalysts in Photochemical Hydrogen Evolution from Strongly Alkaline Water (強アルカリ水光還元反応を促進するビス(NHC)コバルト錯体触媒の活性制御)



- 周 堯      Development of Multi-Metallic Metal-Organic Frameworks and Their Luminescent Properties  
(多元金属 MOF の開発と発光特性)
- 黒木 博由      Quantum subspace compiling of the time-evolution operators for molecular systems by using sequential optimizers  
(逐次最適化法を用いた分子系の時間発展演算子に対する部分空間上の量子コンパイル)
- 能見 倫      Photoelectron imaging and quantum chemical calculations of silver cluster anions doped with an atom of group 3 and 13 elements  
(3 族および 13 族元素を添加した銀クラスター負イオン  $\text{Ag}_n\text{M}^-$  ( $\text{M} = \text{B}, \text{Al}, \text{Sc}, \text{Y}$ ) の光電子イメージングおよび量子化学計算による研究)
- 坂井 翔太朗      Morphology Control of Silver Nanostructures and Cavity-Length-Dependent Resonance Wavelength Shifts in Plasmonic Nanocavities Using  $\text{CeO}_2$  Nanoparticle Films  
( $\text{CeO}_2$  ナノ粒子膜を用いたプラズモニックナノキャビティ構造における銀ナノ構造の形態制御と共鳴波長シフトのキャビティ長依存性)
- 平川 未歩      Geometric and electronic structures of  $\text{Ag}_n\text{M}^+$  ( $\text{M} = \text{Al}$  and  $\text{Sc}$ ) clusters analyzed by UV-VIS photodissociation spectroscopy and reaction experiment  
(紫外・可視光解離分光および反応実験による  $\text{Ag}_n\text{M}^+$  ( $\text{M} = \text{Al}, \text{Sc}$ ) クラスターの幾何・電子構造の解析)
- 山根 晃輝      Nano- and microscopic analysis of domain forming abilities in sphingomyelin and its dihydro-analog  
(スフィンゴミエリンとそのジヒドロ体の微視的および巨視的ドメイン形成能の比較)

坂本 涼	Enhancing the Bandwidth and Contrast in Raman-Tag Imaging (ラマンタグイメージングの広帯域・高コントラスト化)
清水 浩太郎	The Membrane Behavior of Docosahexaenoic Acid-Containing Phospholipid and Its effects on Phase Separated Membrane (ドコサヘキサエン酸含有リン脂質の膜挙動と相分離膜への影響)
前田 朱里	Valence Tautomeric Behavior in DHBQ Bridged Dinuclear Transition Metal Complexes (DHBQ 架橋二核遷移金属錯体における原子価互変異性挙動)
後藤 彩香	Cell membrane-anchored nucleic acid probes for classification of living cells (生細胞分類のための細胞膜局在型核酸プローブ)
國久保 透真	Diplatinum Single-Molecular Photocatalyst Capable of Driving Hydrogen Production from Water under Low-Energy Light (低エネルギー光で水素生成反応を駆動する白金二核型光触媒の創製)
青沼 優奈	Photodissociation spectroscopy and quantum chemical calculations of silver cluster cations doped with a 3d transition-metal atom: Effects of doping on electronic and geometric structures (3d 遷移金属原子を添加した銀クラスター正イオンの光解離分光と量子化学計算：電子構造・幾何構造における異元素添加の効果)
中辻 賢人	Theoretical study on the chemical bonding of 7p element monofluorides

(第7周期 p ブロック元素フッ化物の結合に関する理論的研究)

- |        |   |
|--------|---|
| 矢ヶ部 未歩 | <b>Capturing Keratinocyte Differentiation Process Using Vibrational Spectroscopic Imaging</b><br>(ケラチノサイト分化過程の振動分光イメージングによる追跡)                              |
| 高田 亜美  | <b>Photoexcited-State Dynamics with Triplet Excited States in Molecular Aggregates</b><br>(分子集積体の三重項励起状態を介した光励起状態ダイナミクスの研究)                                 |
| 藤井 貴也  | <b>Preparation Condition Dependence of Structural Inhomogeneity of Gel Network Formed by Amphiphilic Star-Polymer</b><br>(両親媒性星形高分子ゲルネットワークの構造不均一性の調製条件依存性) |
| 猪狩 世玲菜 | <b>Quantitation of Cell Membrane Permeability of Middle-size Drugs by a Simple Cell Rupture Method</b><br>(細胞破裂に基づく簡便な生体膜透過性評価法の開発)                         |
| 伊藤 宇宙  | <b>Monte Carlo Simulation for Preferential Absorption Caused by Narrow Pore from Binary Mixture</b><br>(二成分混合流体から細孔内へのサイズ選択的吸蔵現象のモンテカルロシミュレーション)            |
| 奥迫 茉優  | <b>The effect of ionic surfactants on morphological changes of multicomponent lipid vesicles</b><br>(多成分脂質ベシクルの形態変化に及ぼすイオン性界面活性剤の影響)                        |
| 山本 向洋  | <b>Aerobic Oxidation of Alcohols with Pt-Bi Catalysts</b><br>(Pt-Bi 系触媒を用いたアルコール類の空気酸化)   |

- 濱重 竜也      Synthesis and Properties of a Tetracene Diimide  
Derivative Fused with a Helicene of 1,1'-Biazulene  
Skelton  
(1,1'-ビアズレン骨格で構成されるヘリセンが縮環した  
テトラセンジイミド誘導体の合成と性質)
- 佐藤 一斗      Investigation of various approaches to improve and  
evaluate the loading, activity and durability of gold  
nanoparticle catalysts  
(各種のアプローチによる金ナノ粒子触媒の担持量、活  
性、耐久性の改善及び評価検討)
- 荒巻 光汰      Effects of novel estrogen receptor antagonists derived  
from endocrine-disrupting chemicals in mammalian  
cells and expression vector construction for  
glutathione-*S*-transferase-fused proteins in insect cells  
(内分泌攪乱物質に由来するエストロゲン受容体阻害薬  
の細胞影響とグルタチオン *S*-トランスフェラーゼ融合タ  
ンパク質の昆虫細胞発現ベクターの作製)
- 御手洗 拓真      Development of Protein-Tag-Based Technique for  
Detecting GLUT4-Interacting Proteins  
(タグタンパク質を利用した GLUT4 相互作用タンパク質  
検出技術の開発研究)
- 小野原 永遠      Expression of full-length estrogen receptor alpha in  
insect cells and analysis of its intrinsically disordered  
region by high-speed atomic force microscopy  
(昆虫細胞を用いた全長エストロゲン受容体  $\alpha$  の発現と  
高速原子間力顕微鏡による天然変性領域の解析)
- 多田隈 歩実      Functionalization of Proteins using Temperature-  
responsive Phe-Containing short Elastin-Like Peptide  
Analog  
(温度応答性 Phe 含有短鎖エラスチン様ペプチドアナロ  
グを用いたタンパク質の機能化)

- 太田 航司郎      **Imaging of Intracellular Protein Degradation Using OFF-ON-OFF Type Fluorescence Probes of PYP-tag**  
(PYP タグと OFF-ON-OFF 型蛍光プローブを用いた細胞内タンパク質分解の可視化)
- 山口 寛史      **Study on Scale-up Synthesis of the STU Ring of Maitotoxin**  
(マイトトキシンの STU 環部のスケールアップ合成に関する研究)
- 居倉 稜      **Formation of Organic Nanoparticles via Colloid-Solid Phase Transition**  
(コロイド-固相転移による有機ナノ粒子の形成)
- 岡崎 浩志      **Study on the Development of Practical Ruthenium Catalysis for C-H Oxygenation**  
(実用的 C-H 酸化を志向した新規ルテニウム触媒の開発に関する研究)
- 石井 健      **Substrate Scope and Mechanistic Investigation of Hydrogen Sulfide-Free Synthesis for Dialkylpolysulfanes Using Heterogeneous Cobalt Catalysts**  
(不均一系コバルト触媒を用いた硫化水素フリーなジアルキルポリスルファン合成法の基質適用範囲と反応機構解析)
- 河野 賢亮      **Study toward the developments of novel oxidation catalysts based on carboxylic acid cooperation**  
(カルボン酸協働作用を志向した新規酸化触媒の開発に関する研究)
- 平岡 杏央      **Development of Analysis Methods for Trace Sulfur Compounds in Alcoholic Beverages**  
(酒類中に含まれる微量硫黄化合物の分析方法の検討と応用)

- 勅使川原 樹弥      Synthetic Study of the ABCDEF Ring of Maitotoxin  
(マイトトキシンの ABCDEF 環部の合成研究)
- 北 康平      Decomposition of Volatile Organic Compounds with  
Heterogeneous Catalysts and the Effect of Atmospheric  
Humidity  
(固体触媒を用いた揮発性有機化合物の分解反応と大気  
中湿度の影響)
- 樋口 貴士      Structural replacement of sphingolipids with the plant-  
type structures in the budding yeast *Saccharomyces*  
*cerevisiae*  
(出芽酵母におけるスフィンゴ脂質の植物型への構造置  
換)
- 中村 圭太      Estrogen receptor-mediated transcription of the  
enkephalin peptide precursor gene  
(エストロゲン受容体による鎮痛エンケファリンペプチ  
ド前駆体遺伝子の転写調節)
- 山内 葉月      Effect of overexpression of sphingolipid hydroxylase on  
phenotype of *Saccharomyces cerevisiae*  
(スフィンゴ脂質水酸化酵素の過剰発現が出芽酵母の表  
現型に及ぼす影響)
- 草場 智      Development of efficient synthetic methods of  
unnatural amino acid derivatives including peptides  
and its application to the discovery of novel  $\alpha$ -  
chymotrypsin inhibitors  
(非天然型アミノ酸誘導体およびそれを含有するペプチ  
ドの効率的合成法の開発と新規  $\alpha$ -キモトリプシン阻害剤  
の創製)

## 1.6 2024年度関係行事一覧

### (1) 講演会

- |         |  |
|---------|--|
| [1] 講演者 | Prof. Joost M. Bakker (Radboud University, Netherlands)  |
| 演 題     | Infrared characterization of laser synthesized metal clusters and metal fullerene complexes                            |
| 開催日     | 2024 年 5 月 10 日  |
| 世話人     | 寺寄 亨   |
| [2] 講演者 | 定金 正洋 教授 (広島大学大学院先進理工系科学研究科)   |
| 演 題     | 揮発性アミンを用いたポリオキソメタレートの固相合成  |
| 開催日     | 2024 年 5 月 22 日  |
| 世話人     | 大場 正昭  |
| [3] 講演者 | 合田 圭介 教授 (東京大学大学院理学系研究科)   |
| 演 題     | 細胞のウォーリーを探せ！   |
| 開催日     | 2024 年 7 月 16 日  |
| 世話人     | 平松 光太郎   |
| [4] 講演者 | Prof. Xiaoguang Lei (Department of Chemical Biology College of Chemistry and Molecular Engineering, Peking University) |
| 演 題     | Translational Chemical Biology   |
| 開催日     | 2024 年 7 月 22 日  |
| 世話人     | 大石 徹   |
| [5] 講演者 | 石山 達也 准教授 (富山大学学術研究部工学系)   |
| 演 題     | 液体表面の分子シミュレーション手法の開発と展開  |
| 開催日     | 2024 年 7 月 24 日  |
| 世話人     | 渡邊 宙志  |
| [6] 講演者 | Prof. Isabelle Kleiner (University of Paris, France)   |
| 演 題     | Spectroscopy of molecules with large amplitude motions: a journey from molecular structure to astrophysics             |
| 開催日     | 2024 年 8 月 5 日   |
| 世話人     | 寺寄 亨   |

- [7] 講演者 住吉 孝明 教授（関西大学化学生命工学部）  
演 題 脳移行性を有するヒストン脱アセチル化酵素阻害剤の探索  
開催日 2024 年 9 月 10 日  
世話人 堀 雄一郎
- [8] 講演者 大洞 康嗣 教授（関西大学化学生命工学部）  
演 題 DMF 保護シングルナノサイズ金属微粒子触媒を用いた高効率有機変換反応  
開催日 2024 年 9 月 12 日  
世話人 徳永 信
- [9]
- ・講演者 華表 友暁 准教授（浜松医科大学 光医学総合研究所）
  - 演 題 イメージング質量分析から得られる空間オミクスデータの多次元解析
  - ・講演者 和泉 自泰 准教授（九州大学生体防御医学研究所）
  - 演 題 ナノ LC/MS を基盤としたシングルセル定量マルチオミクス解析
  - ・講演者 金尾 英佑 助教（京都大学大学院薬学研究科）
  - 演 題 次世代プロテオームシーケンサーへの挑戦
  - ・講演者 水野 初 教授（名城大学薬学部）
  - 演 題 1 細胞質量分析による細胞内オルガネラ代謝物解析
  - ・講演者 高橋 秀典 先生（島津製作所 分析計測事業部）
  - 演 題 新規イオン解離技術（OAD）を用いた生体分子の高精度質量分析法
  - ・講演者 柴田 猛 先生（AB Sciex, Application Support）
  - 演 題 進化を続ける革新的データ非依存型取得：ZT Scan DIA による定量プロテオミクス
  - ・講演者 荒井 大河 先生（Bruker Japan, Daltonics 事業部）
  - 演 題 超高感度トラップド・イオンモビリティが切り開くオミックス解析：シングルセルからイムノペプチドミクスまで
- 開催日 2024 年 9 月 27 日  
世話人 川井 隆之（主催：日本電気泳動学会）
- [10] 講演者 野崎 浩一 教授（富山大学学術研究部理学系）  
演 題 金属錯体の発光物性と光励起緩和ダイナミクス  
開催日 2024 年 10 月 29 日  
世話人 恩田 健



- [11] 講演者 山田 容子 教授 (京都大学化学研究所)  
演 題 前駆体法：ナノカーボン材料の基板上合成への展開  
開催日 2024 年 11 月 15 日  
世話人 谷 文都
- [12] 講演者 四方 俊幸 名誉教授 (東京農工大学大学院農学研究科)  
演 題 化学修飾セルロース, ヒドロキシプロピルセルロース, の水溶液中  
での溶存形態と粘弾性挙動  
開催日 2024 年 12 月 13 日  
世話人 槇 靖幸

## (2) 談話会・報告会

前期特別談話会 (オープンキャンパスと同時開催)

開催日：2024 年 8 月 3 日 (土)

講演会場：九州大学センター2 号館 2303・2304 講義室

ポスター展示：ウエスト 1 号館 C-408・C-409 会議室

講演：

化学で光る生体分子

キューダイリバケで学ぶ“真”の化学

九大理学部化学科ってこんなところ

動的生命化学 堀雄一郎

錯体化学 國久保透真

分光分析化学 高田亜美

後期特別談話会 (九大化学フェスタ 2024)

開催日：2024 年 12 月 14 日 (土)

会 場：九州大学ウエスト 1 号館 B・C 棟 2 階

第一部：口頭発表

固体金属触媒で実現！水素と単体硫黄を原料とする超硫黄化合物の効率的合成

触媒有機化学 山本英治

赤色光水素生成反応を駆動する白金二核錯体の創製

錯体化学 國久保透真

金属錯体と超高速分光

分光分析化学 本田瑛之

機能性錯体化学を探索する

錯体化学 山内幸正

AI 介入型分光法の開発に向けて

光物理化学 平松光太郎

サレン錯体を用いた分子量子ビットのスピン緩和特性

錯体物性化学 山本直也

ポリオール添加微小水液滴の真空中での凍結過程の研究

量子化学 吉岡拓哉

有害環境化学物質が薬になるかも？

受容体シグナル伝達を誘起する新世代ビスフェノール 構造機能生化学 松島綾美

## 第二部：ポスター発表

多成分脂質ベシクルの変形・崩壊に及ぼすドデシルトリメチルアンモニウムブロミドの効果

ソフト界面化学 奥迫茉優

脂質二分子膜と両親媒性ペプチドとの相互作用

ソフト界面化学 瀧上世奈

銅間距離を系統的に制御した銅酸化物による CO<sub>2</sub> 還元生成物制御

ナノ機能化学 松鶴恭弘

細胞由来平面支持膜の形成およびその流動性評価

ナノ物性化学 星野秀太郎

異種ハライドペロブスカイトの単一ナノ粒子膜ヘテロ接合界面におけるハロゲン交換の機構解明

ナノ物性化学 松井信明

A Solvent Free Neutral Cobalt Complex Exhibiting Macroscopic Polarization

Switching Induced by Directional Charge Transfer 光機能物質化学 周 子奇

細胞内ダイナミクスを捉える明滅フリー超解像イメージング

光物理化学 坂本 涼, 江嶋郁人, 原田 亮

アダプティブ分光イメージング法の開発

～視野内の各細胞とその分子変化の追跡に向けて～

光物理化学 山本 航, 佐々木 猛

有害環境化学物質の暴露によるマウス胎仔脳の遺伝子発現変動

構造機能生化学 梶山 尊

1,1'-ビアズレン骨格で構成されるヘリセンが縮環したテトラセンジイミド誘導体の合成と性質

構造有機化学 濱重竜也

コロイドからの固相転移と有機ナノ粒子の電子構造

構造有機化学 居倉 稜

白金ナノクラスター修飾電極の作製及び水素生成触媒反応の観察

錯体化学 池田達紀

アルカリ水からの光水素生成を駆動する Co-NHC 錯体触媒の電子状態制御

錯体化学 河村 佳央理

電子蓄積型新規コバルト二核 NHC 錯体の合成と二酸化炭素還元特性

錯体化学 千綿晃史郎

水溶性トリス(フェニルピリジナト)イリジウム誘導体の合成と光触媒機能

錯体化学 野間大暉

タンパク質/金属有機多面体ネットワークを用いた高性能酵素固定化法

錯体物性化学 神崎友理

カチオン性 Zr 金属有機多面体のポリ酸との集積化と光増感能

錯体化学物性 末田 悠太

チオカルボン酸配位子を用いた耐水性 MOP の合成

錯体物性化学 下川真依

Studies on Coupling of Ferroelectricity and Proton Conductivity in

Na<sub>2</sub>MnN(CN)<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O Powder

錯体物性化学 時 雨新

無湿度条件下にて働く強誘電イオン伝導体の開発

錯体物性化学 木村紗彩

アズラクトンの動的速度論的分割によるアミノ酸ヒドラジドの触媒選択的合成とその優先富化現象

触媒有機化学 山口雄大

マンガン修飾チタニア担持金ナノ粒子触媒を用いた液相空気酸化によるメタクリル酸の合成  
触媒有機化学 真崎裕司

非天然型  $\alpha, \alpha$ -2 置換アミノ酸含有ペプチドの de novo 合成法の開発  
生体分子化学 草場 智

The Effects of Substituting L-Amino Acids with D-Amino Acids on the Self Assembly Ability of Elastin-Like Peptides (FPGVG)  
生体分子化学 MAI ELISSA NGOC

局所麻酔薬の細胞膜および脂質ラフトへの影響  
生体分析化学 西村あおい

核酸医薬品を対象とした超高感度キャピラリー電気泳動-質量分析法の開発  
生体分析化学 山下愛斗

全身麻酔薬が生体膜系に与える影響  
生体分析化学 安田美月

カリウムチャンネル KcsA 固定化金ナノ粒子による特異的脂質のスクリーニング  
生体分析化学 光永龍世

生体内に存在する糖鎖を「マッピングする」ツールの開発  
生体分析化学 何 甦恩

1,2-trans Selective Mannosylation Using 2-O-THP Donors  
生体分析化学 Uktamova Malokhat

マイトトキシンの QRSTU 環部の合成研究  
生物有機化学 山口寛史

マイトトキシンの ABCDEF 環部の合成研究  
生物有機化学 勅使川原樹弥

ミスフォールディングタンパク質の可視化センサーの開発研究  
動的生命化学 熱田 萌子

マルチスイッチ型蛍光プローブによるタンパク質動態と分解の可視化  
動的生命化学 開 雄大

タンパク質分解を可視化する"OFF-ON-OFF"型蛍光プローブの開発

動的生命化学 太田航司郎

グルコース輸送体が「正常にはたらく」ために相互作用するタンパク質を探索する！

動的生命化学 御手洗拓真

超短パルスレーザーを用いた人工光合成デバイス内電子移動機構の解明

分光分析化学 屋良雅也

時間分解発光分光法を用いた希土類添加アップコンバージョンナノ粒子における発光ダイナミクスの研究

分光分析化学 辰井謙斗

ピコ秒時間分解赤外分光を用いた半導体-金属錯体複合系による CO<sub>2</sub> 還元過程の研究

分光分析化学 長尾陸矢

紫外可視フーリエ変換分光法を用いた励起-蛍光マトリックス測定系の構築および不均一発光材料への適用

分光分析化学 山本真太郎

新規ヘキサカルベン鉄(II)錯体の合成と超高速時間分解分光

分光分析化学 若林拓斗

両親媒性星型高分子ゲルネットワークの構造不均一性の調製条件依存性

分散系物理化学 藤井貴也

ハイドロゲルの滑り運動に伴う摩擦と摩耗の解析

分散系物理化学 石田晃士

福島第一原発から放出された"放射性セシウム原子"の可視化

無機反応化学 宮崎加奈子

実用的 C-H 酸化を志向した新規ルテニウム触媒の開発

有機反応化学 岡崎浩志

第7周期p ブロック元素フッ素化物における電子状態及び分子物性解明への理論的研究

理論化学 中辻 賢人

溶媒の量子化学効果を取り込んだ分子動力学法の精度改善

理論化学 池田拓真

紫外・可視光解離分光による Cu クラスター正イオンの幾何構造の探究

量子化学 川村 右京

エントロピー駆動混合溶液分離デバイスによる選択的吸蔵現象のシミュレーション

量子生物化学 伊藤宇宙, 新垣怜央

### (3) 2024 年度 FD・HD

(ファディカルディベロップメント・ヒューマンディベロップメント) 講演会

開 催 日 : 2024 年 12 月 20 日 (火)

会 場 : 九州大学理学部大会議室 (W1-C-408)

講演タイトル:

「学生のこころへの関わり方 (メンタルに課題を抱えた学生への対応)」

講 演 者 : 根岸 和政 講師 (大阪大学大学院工学研究科)

### (4) 2024 年度修士課程論文公開講演会

開 催 日 : 2025 年 2 月 13 日(木)・14 日(金)

会 場 : 講義棟 301 号室・ウエスト 1 号館 B314 号室

### (5) 2024 年度学士課程卒業研究業績報告会

開 催 日 : 2025 年 3 月 3 日(月)・3 月 4 日(火)

会 場 : 講義棟 301 号室・ウエスト 1 号館 B314 号室

## 2. 2024 年度における各講座の活動

### [無機・分析化学講座]

#### 錯体化学分野

酒井 健教授、小澤弘宜准教授、岡上吉広講師、山内幸正助教

#### 教育目標

(酒井・小澤グループ)

学部4年生（2名）、修士1年生（6名）、修士2年生（7名）、博士課程1年生（6名）、博士課程3年生（3名）が本グループに在籍しており、各学生の到達目標に応じた教育を行った。

学部4年生に対しては、錯体化学の基礎的な実験法を修得させ、各自の研究テーマを遂行するための基盤を身に付けさせることを目標とした。学問・研究対象としての錯体化学は、合成化学、分光学、構造学、反応速度論、電気化学、光化学、触媒化学、材料科学、生物化学、環境化学などの境界領域として位置付けられる。そのため、教育においては、常に広い視野を持って研究に取り組むよう促した。また、自立した研究者として将来活躍することのできる人材の輩出を目標とし、常に各自の独習能力を育てることを念頭にすえて教育にあたってきた。一方、大学教育は社会人育成の最終的教育機関であることを踏まえ、社会人として素養を育むよう導いてきた。そのため、研究室においては、学部生であっても企業との連携事業の窓口として機能する機会を設けた。さらに、海外の一流研究者と共同研究する機会を設け、直接生の英語に触れさせるとともに、電子メールによるやり取りを行わせ、国際社会への適用能力を体得させるよう務めてきた。それに加え、学会活動にも積極的に参加させ、学外研究者との交流を図ることにより、各自の研究に対する外部評価を受けるよう努めた。これにより、自らを再認識し、自身の研究をより深く掘り下げるよう促してきた。

修士学生に対しても、上記同様、視野の拡大、研究者としての基礎固め、基礎知識のさらなる向上、社会人としての素養の育成、国際社会での活動体験などを重視した教育を行ってきた。特に、修士学生に対しては、4年生の時には体験したことのない論文の執筆と投稿という大きな課題を与え、研究データのより精密な取り扱い、英語論文の書き方、論理的な思考のあり方などについて教えるよう努めてきた。その結果、修士課程に在籍する学生の多くが論文執筆へ繋がる研究成果を出し、第一著者として論文の執筆、投稿を行った。

博士学生に関しては、自立した研究者へと成長させるために、研究の企画から実施に至るまでの全ての研究活動に責任と能動的な姿勢をもって取り組むように導いてきた。

特に、自立した研究者として最も重要であると考えられる、オリジナリティーの高い着想力を養わせることを目標とし、新規性と独創性の高いテーマの設定を行わせ、在籍期間中に自身の能力を最大限発揮するよう促してきた。また、国際学会での研究発表、及び、海外短期留学を経験させ、国際社会においても即戦力として活躍できる人材の育成に努めた。

また、本講座では、学生のみによる勉強会の実施、学生間の研究討論、後輩指導による教育者としての素養を養うこと、実験補助を行うことを通してやはり教育に携わる人材を育成すること、教員と学生の深い研究討論などを重視し、次世代を担う有能な研究者・教育者の育成にも重点を置き指導を行ってきた。

(岡上グループ)

学部4年生は研究に必要な基礎知識の習得を目標とする。実験計画の立案、実験準備、実験データの収集、考察、報告書作成、研究発表という研究の一連の流れを把握するとともに、試薬管理や廃液処理など、実験を安全に行うために必要な法規制を理解し実践できるように努める。また、卒業研究を進める過程において、自分の研究に対する客観的な評価ができるように、教員との議論を活発に行うとともに、文献調査を行う習慣を身につける。なお、2024年度は配属学生なし。

## 研究目標

(酒井・小澤グループ)

金属多核錯体のもたらす特異的な性質・機能に着目し、その魅力的な特性を生かした高機能金属多核錯体の開発を進めている。具体的には、現代のエネルギー・環境問題を解決に導く技術のひとつとして、水の可視光分解反応を触媒する金属多核錯体の創生を当研究グループのメインテーマに設定している。金属多核錯体を触媒に用いる利点としては、(1) 複数の金属イオンが共存することによる特異的反応サイトを発現することができること(基質活性化)、(2) 複数の金属イオンが共存することによって多電子過程を遂行する電子プールとしての効果を備えることができること、(3) 拡散現象によらない空間配置の制御が可能であることなどが挙げられる。

また、金属多核錯体を触媒とした水の分解反応に関する研究と並行し、二酸化炭素還元反応を促進する金属錯体触媒の開発についても行っている。以下に具体的なテーマを列記する。

- ・ 水からの水素発生触媒機能を有する金属多核錯体の合成と機能評価
- ・ 新規光水素発生デバイスの開発と機能評価
- ・ 水からの酸素発生触媒機能を有する金属錯体の開発
- ・ 二酸化炭素還元を駆動する分子システムの開発
- ・ 電気化学的手法による各種錯体の電極触媒能の評価



- ・ 水の太陽光水分解を駆動する光電気化学セルの作製と機能評価
- ・ DFT 計算による触媒反応機構の探求と分子設計への応用  
(岡上グループ)

ケイ酸誘導体の一つであるかご型構造を有するシルセスキオキサンを配位子とした金属錯体の化学を主な研究テーマとしている。現在は、配位サイトのシッフ塩基の芳香環に異なる置換基を導入した銅(II)錯体を合成し、ESR による銅(II)周りの構造変化について研究を行っている。また ESR を用いた材料物性評価に関する検討も行っている。

## 研究分野

錯体化学、光化学、触媒化学、結晶学、溶液化学、生物無機化学、無機化学、分析化学

## 研究課題

新しい金属多核錯体の合成・構造・性質、多重機能性金属多核錯体の合成と光触媒機能評価、光電気化学セルの作製と触媒機能評価、かご型シルセスキオキサンを配位子とする金属錯体の合成と性質

## 参考 URL :

酒井・小澤グループ Web ページ <https://www.scc.kyushu-u.ac.jp/Sakutai/jp/index.html>

## 錯体物性化学分野

大場正昭 教授、大谷亮 准教授、Benjamin LeOuay 助教

### 教育活動

本研究室では、能動的・主体的に行動できる人材の育成を目指して、専門分野および一般教養の知識はもとより、柔軟な思考、俯瞰力と問題解決力、および研究室生活を通してコミュニケーション力と協調性ならびに自主性を身につける指導を心掛けている。個々の学生の特長を活かして、長所を伸ばしつつ「啐啄同機」を目指して指導に取り組んでいる。

研究室開設 14 年目となる本年度は、学部 4 年生 5 名、修士学生 9 名、博士学生 3 名の合計 17 名が在籍し、主体的に研究を遂行するための基盤構築を目指して、錯体化学、物性化学、光化学、構造化学、生物無機化学に関する基礎の習得に注力した。本研究室の研究分野は、錯体化学、物性化学、生物化学、環境化学、触媒化学、界面化学などの境界領域に位置する。このような境界領域で独創的な研究を展開するために、偏った視点から事象を論じず、常に広い視野を持ち、批判的思考のもとに論理的に物事を捉えることを第一に指導した。毎週開催する研究室セミナーでは、研究報告と論文紹介をプレゼン形式で行い、合成の方法論、物性・機能の基礎的知識を習得させるとともに、研究の進め方、情報収集の方法、データのまとめ方、発表資料の作り方、プレゼンテーションの仕方、ロジック展開の方法等を指導した。セミナーの司会も学生が担当し、積極的な発言を促し、活発なディスカッションが広げられる場の仕切りを学ばせている。実験技術に関しては、有機配位子の合成、金属錯体および配位高分子の合成、クラスター錯体の合成、発光性分子の合成、固溶体の合成など、様々な合成を通して技術を指導した。測定・解析に関しては、SEM や TEM による直接観察から、単結晶および粉末 X 線回折、NMR、磁化率、電気伝導度、気体吸着、誘電特性、各種分光、電気化学などの測定に加え、SPring-8 の高輝度放射光を用いた X 線回折やガス雰囲気下の *in situ* ラマンおよび IR 分光測定等を通して、化合物の精密な評価法を学び、それらのデータの解析法、客観的評価や思考ロジックを指導した。また、吸着装置と磁化率測定装置、粉末 X 線回折装置およびラマン散乱測定装置を連結した独自の *in situ* 測定系の構築し、その作業を通して、測定原理の理解と測定系の設計および作成法を指導した。

所属学生は、基本的に全員最低 1 回は学会で研究成果を発表した。本年度は、研究室全体で 14 件の口頭発表と 12 件のポスター発表を行った。これらの発表でのプレゼンテーションと成果が高く評価されて、修士課程 2 年の学生が「配位子修飾による金属有機多面体の水への安定性の向上」、修士課程 1 年の学生

が「有機カチオンを用いた極性一次元シアノ金属錯体の物性」、のポスター発表で第 61 回化学関連支部合同大会において学生奨励賞を受賞した。また、9 報の論文で研究成果を発表した。

本年度は博士号の授与はなかったが、4 件の博士論文の副査を務めた。

国際性の向上を目指して、中国から研究生 2 名、インドからインターン生 2 名を受け入れた。いずれの学生もセミナーに参加して英語で質疑応答することで、学生の英語力向上に良い効果があった。

ホームページでの論文や研究成果を公開した。ホームページへのアクセス数は年間 10,000 件程度であった。

今後、大学院教育としては、各自が能動的・主体的に研究を遂行できる自立した研究者として成長できるように、積極的な学会活動による異分野の研究者との交流により、自分の現状の立ち位置と力を認識した上で、自ら課題設定して取り組ませる指導を心掛ける。学生だけの自主ゼミの開講、指導教員抜きで共同研究者とディスカッションなど、より自らが能動的に行動する機会を設定し、成長を促す。また、ホームページの英語版を作成するなど、より積極的に海外に情報を発信することで、留学生を増やして、国際性を高めていく。

## 研究目標

本研究室では、金属錯体および配位高分子をベースに新しい機能空間の創製を目指した研究を進めている。個々の分子の空間配列を制御して高次組織化し、それらを動的かつ協同的に機能させることは、分子科学の一つの目標である。無機物の優れた単一性能と有機物の多様性と性質の柔軟さが分子レベルで融合した「金属錯体」では、従来の無機材料・有機材料にはない物性・機能の発現が期待される。このナノメートルサイズの無機-有機複合体分子である金属錯体分子を、規則的に連結して多次元構造に展開した「配位高分子」は、金属錯体の物性・機能を連動させて高度化する高次組織体形成の基盤となる。この配位高分子が形成した「空間」を基盤に、新しい機能や物性を開拓する。配位高分子の空間内にゲスト分子を取り込ませて、分子運動の自由度を組み込むことで、空間内の分子の運動や配列変化、ゲスト分子の吸脱着、熱や光などの害場の変化、などに連動して構造および機能・物性が可逆的に変化するシステムの構築を目指している。また、金属錯体と酵素などの生体分子を複合化することで、新しい高機能な生体複合材料の開発も目指している。

本年度は、これまでの成果を基に（１）多孔性配位高分子に包接した分子の細孔内挙動と骨格の物性の相関の解明、（２）磁気双安定性な多孔性配位高分子の開発とゲスト分子による磁気特性の精密制御、（３）多孔性配位高分子固溶体の開発とゲスト分子との相互作用の制御、（４）発光性多孔性配位高分子のゲスト分子に応答性の制御と機構解明、（５）極性配位高分子の構造制御と

誘電特性、（６）相変化する機能性金属錯体の開発、（７）高イオン伝導性錯体の開発、（８）多核クラスター錯体の集積による機能空間の構築、（９）中空構造と有する金属-有機多面体と酵素の複合体の開発、のテーマを推進し、国内および国際共同研究、ならびに論文発表を積極的に進めた。

## 研究分野

錯体化学、物性化学、光化学、生物無機化学

## 研究課題

- ・ 外場応答性配位高分子の開発
- ・ 細孔内に束縛した小分子の量子的振る舞いの解明
- ・ サイズ制御した金属錯体結晶の物性・機能の研究
- ・ 極性配位高分子の構造制御と物性の研究
- ・ プロトン伝導性強誘電体の開発
- ・ 相変化を起こす金属錯体集積体の開発
- ・ 中空金属錯体と酵素の融合による再生可能触媒システムの創製
- ・ 発光性多孔性金属錯体による選択的分子センシング
- ・ 多色発光性金属錯体の開発と発光特性制御

## 参考 URL :

<http://www.scc.kyushu-u.ac.jp/Sakutaibussei/>

## 生体分析化学分野

松森 信明 教授、川井 隆之 准教授、木下 祥尚 助教（10 月から群馬大准教授に栄転）、鳥飼 浩平 助教（2 月から講師に昇任）

### 教育活動

学部教育において、松森は専攻教育科目「分析化学 III」を担当した。3 年前期の「分析化学 III」では、バイオ分析を志向した各種機器分析（各種クロマトグラフィー、電気泳動、質量分析、NMR、X 線結晶構造解析、各種顕微鏡）について、独自の講義資料により基礎から最先端研究に至るまでの実践的な講義を展開した。また松森は 1 年生が受講する必修科目の化学序説 I および II も担当した。各研究室が最先端の研究をわかりやすく紹介することで、基幹教育科目の多い 1 年生が見失いがちな化学への興味を掻き立てる効果があった。川井は基幹教育科目「自然科学総合実験」、専攻教育科目「分析化学 I」「分析化学実験」「国際科学特論」の一部を担当した。1 年後期に開講の「自然科学総合実験」では、炎色反応やアセチルサリチル酸の合成実験を丁寧に指導し、その原理に関する考察を含むレポートを課すことで、基礎的な化学に関する知識および考察力の向上を図った。2 年前期開講の分析化学 I では、酸塩基、錯形成、沈殿生成などの反応を利用した滴定分析法を中心に講義を行い、理解の定着を図るため演習を頻繁に実施した。2 年後期に開講の「分析化学実験」では、全体の取りまとめおよび「データ解析」「定量分析」を担当した。「データ解析」では、Excel を利用したデータ解析法の基礎について演習形式で授業を実施し、「定量分析」では酸塩基滴定および液体クロマトグラフィーによる定量分析実験を実施し、分析における基本的な考え方を授業した。「国際科学特論」では、科学に関する基礎単語および簡潔な英文の書き方である 3C Writing を演習形式で学び、その後ディスカッションや発表を英語で行ってもらうことで、科学英語の実践力の養成に努めた。鳥飼は、「基本操作法」にてガラス細工を、「有機化学実験」にて Wittig-Horner-Emmons reaction (and Arbuzov reaction)、Grignard reaction（主担当）、Synthesis and chemoluminescence of luminol、および Friedel-Crafts acylation（副担当）を受け持った。現代の有機合成化学における実験研究とのギャップをできる限り埋めるべく、鳥飼が主担当の実験では、TLC による分析などを可能な限り取り入れ、その見方も指導した。

また大学院においては、全教員がリサーチレビューを担当し、学生が提出したレビューに対する審査、添削、指示を行うことで科（化）学的な文章作成における作法を丁寧に指導した。

一方、研究室においては、後述する生体膜に関する分析研究を推進するため、以下の 3 つの教育目標を設定している。

- ① 他分野融合を促進する研究環境（分析化学、有機化学、計算化学、生化学、生物物理学）を実現し、学生には複数の分野を経験させる。それにより幅広い知識と技術、複数の研究分野を組み合わせた発想力を滋養する。
- ② 新しい分析法にチャレンジしていく実行力、生体膜という困難な研究対象の本質を見極める洞察力と論理的思考力を身に着ける。
- ③ 留学生を積極的に受け入れ、研究室内の英語圧力を上げる。

①に関しては、計算化学以外の研究環境は実現し、各学生には複数の分野での実験を実施させている。特に専門の異なるスタッフを配置し、多分野融合、境界領域研究が名実ともに実現可能となった。また②については、各学生に独立した研究テーマを設定し、各自が実行力を発揮し研究を推進している。さらに、研究室セミナーや個別の相談会できめ細かな指導を行い、各学生の成長をサポートしている。③に関しては、中国、タイ、ウズベキスタン、パキスタンからの留学生を受け入れ、学生のおよそ3分の1が外国人となった。研究室内でのセミナーも一部英語で行っているため、本目標はほぼ到達されたが、日本人学生の英語力の向上が思ったほど見られない。今後は日本人学生の英語力の向上が課題となる。

## 研究目標

細胞膜は流動モザイクモデルで提唱された均質な二次元流体ではなく、スフィンゴ脂質とコレステロールに富んだ脂質ラフトと呼ばれる微小領域が存在することが近年明らかとなった。脂質ラフトは、周囲の細胞膜よりも硬い相状態を有し、GPIアンカータンパク質などの膜タンパク質が特異的に集積することで膜輸送やシグナル伝達の“足場”として生理的に重要な機能を果たしていると考えられている。しかし、ラフトがどのように形成され、またタンパク質がどのようにラフトを認識しているのかについての知見は極めて限られている。

一方で、生体膜中には数千種類に及ぶ脂質が存在しているが、単に脂質二重膜やラフトを形成するだけであれば、これほど多様な脂質は必要ない。つまり「なぜ生物は多様な脂質分子を持つのか」、「多様な脂質はどのような機能を持っているのか？」という極めて根源的な問いが解明されずに残されているのである。上述の脂質ラフトの形成機構や脂質－タンパク質間の相互作用が明らかになれば、脂質の生理的機能を明確化することができ、上記の疑問に対する解答が得られると期待される。そこで本研究室では、脂質ラフトを含む生体膜における脂質分子間相互作用や脂質－タンパク質間相互作用、脂質組成について、各種分析手法を駆使して、この解明にあたっている。

現在大きく以下の5つの研究課題について研究を行っている。

- (1) 脂質－膜タンパク質相互作用解析

- (2) 麻酔薬などの膜作用性分子の作用機構解析
- (3) 脂質ラフト形成の分子機構の解明
- (4) 脂質を含む生体分子の超高感度分析技術開発
- (5) 糖脂質の合成を志向した立体選択的グリコシル化反応の開発

各課題について具体的な成果を述べる。(1)の課題については、金ナノ粒子表面を膜で修飾し、そこに膜タンパク質を固定化した膜タンパク質固定金ナノ粒子を開発した。これにより、特異的脂質をアフィニティー精製することが可能となった (*Anal. Biochem.* 2024)。この手法をカリウムチャネル KcsA やその他の膜タンパク質に適用し、特異的脂質の探索研究を進めている。一方、脂質特異的なタンパク質の取得を目指し、脂質固定ビーズの開発も進行している。すでにスフィンゴミエリンやセラミドを固定化したビーズの開発に成功し、特異的タンパク質の同定に成功した (*Analyst* 2024)。

また(2)の課題については、局所麻酔が脂質ラフトを破壊することを見出し、その作用が麻酔強度と関連することを報告したが (*BBA –Gen. Subj.* 2019)、引き続き全身麻酔も含めて麻酔作用機構解明を行っている。また渦鞭毛藻由来の天然物アンフィジノール 3 の膜への細孔形成作用に関して、論文 (*Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2024) および総説 (*Proc. Jpn. Acad. Ser. B Phys. Biol. Sci.* 2025) を執筆した。

(3)の課題に関しては、蛍光スフィンゴミエリンの開発によりラフト形成機構の解明に大きく前進したが (*J. Cell Biol.* 2017)、この標識法を各種脂質に適用し、脂質の挙動解析を行っている。例えばスフィンゴミエリンの二重結合が単結合になったジヒドロスフィンゴミエリンや、多価不飽和脂肪酸のドコサヘキサエン酸 (DHA) をアシル鎖に持つリン脂質に蛍光標識を適用し、細胞膜を含む脂質膜における挙動を精査した。

(4)の課題では、生体膜に存在する脂質や糖鎖の超微量分析法を新たに開発することにより、生体膜の理解を進めるとともに、疾病などの診断や創薬へと応用することを指向している。生体膜の直接評価法として、ガラス製マイクロニードルを用いて細胞の一部を採取し、固相抽出およびナノエレクトロスプレーイオン化を行って質量分析 (MS) によって解析することで、サブセラーで脂質プロファイルを取得することに成功した (論文投稿準備中)。また、超高感度キャピラリー電気泳動 (CE)-MS 分析法を用いた一細胞レベル薬物動態解析や、浸透圧を利用した細胞破裂法を新開発することにより、薬剤の細胞膜透過性を簡便に測定することに成功した (論文投稿中)。糖鎖の解析では、複雑な構造異性体を有する生体由来の糖鎖試料を高感度かつ網羅的に解析するため、液体クロマトグラフィー (LC) と超高感度 CE 糖鎖分析技術を組み合わせた二次元分離法を開発し、複雑な糖鎖混合物からマイナーな

微量糖鎖を分離して超高感度に検出することが可能となった (*Anal. Chim. Acta* 2024)。また、キャピラリー内で糖鎖を簡便に精製する技術の開発や (論文投稿中)、蛍光検出における S/N 比を向上した新光学系を設計することで、一細胞から N 結合糖鎖をプロファイリングすることに成功した (投稿準備中)。

(5)の課題については、アルコキシアルキル (AA) 基を導入した新規糖供与体を合成し、グリコシル化反応に供したところ、一部の AA 基が高い立体選択性、収率、および反応速度に寄与することを見出した。

このように、いずれの課題においても着実に成果が出ており、コロナ禍で研究の進捗が遅れた分を取り戻しつつある。今後は、部門内外や企業などとの共同研究をさらに積極的に行い、医療を含めた周辺分野へ研究を展開していく。

## 研究分野

生体分析化学、ケミカルバイオロジー、生物物理学、有機化学

## 研究課題

分析化学的手法を用いて膜タンパク質を含む生体膜の解析を行い、生体膜そのものを理解するとともに、生体膜に作用する薬剤や生体膜が関与する疾病の機構解明を目指す。

## その他

研究室発足の翌年からスタッフとして参加してくれた木下助教が、10月に群馬大准教授として栄転した。益々の活躍を祈念する。また、2月には鳥飼助教が講師に昇任した。

参考 URL : <https://www.scc.kyushu-u.ac.jp/BioanalChem/>



## 分光分析化学分野

恩田 健 教授、宮田 潔志 准教授、小川知弘 助教

### 教育目標とその到達度

身の回りの世界が限られた種類の原子によって成り立っていること、それらの集まり方により物質の外見、性質が大きく変化することを理解してもらう。特に分析化学的観点から、眼に見えないミクロな原子、分子の世界をどのように観測するか、その理論的背景、具体的な測定技術を身につけ、実際の物質への応用ができるようにする。さらにこれらの知識を元に、エネルギーの生産と利用、人間を含む生物との関わり、人工的な物質の社会的影響などについても理解させる。その上で、身につけた知識、技術を活かし、より良い人間社会の実現を担う人材を育てることを目標とする。

本年度は、4月から昨年度博士の学位を早期取得した宮崎栞博士が、英国 University of Cambridge に博士研究員となった。またやはり4月から吉田龍矢博士が科研費「国際先導研究」による特定プロジェクト助教として加わり、新規超高速分光装置の開発を中心とする研究を行った。さらに同予算で学生の国際学会の派遣も多数行った。6月にドイツで行われた ICSM 2024 に3名、7月にスペインで行われた Ultrafast Phenomena 2024 に2名、8月にアメリカで行われた ICCO 2024 に1名をそれぞれ参加させた。また本年度は、外国人訪問研究者も多くあり、前年度3月から5月にかけてインドの研究者が JSPS 外国人研究者招へい事業によって2ヶ月滞在して共同研究を行った他、10月にアメリカ、11月に韓国、フランス、ドイツ、スイス、3月にスイスから研究者および博士課程学生の訪問があり、それぞれ公開講演会を行ってもらった。一方、学術変革領域「超セラミックス」による共同研究者の受け入れも多くあった。6月に神奈川大学、11月、2月、3月には東京工業大学(東京科学大学)から教員、学生を受け入れ、各種分光測定を行った。この他、10月には富山大学の先生をお呼びし、錯体の光化学に関する集中講義を行ってもらった。

恩田担当の学部教育としては、後期に例年通り化学科2年生向けの分光分析、電気化学の講義「分析化学Ⅱ」を「クリスチャン分析化学Ⅰ,Ⅱ」をテキストにして行った。また冬学期には理学部国際コース学生向けの国際科学特論Ⅳを担当し、英語論文の書き方のワークショップ、英語による分光学入門の講義を行った。

宮田担当の学部教育としては、分析化学実験のスペクトル分析入門を実施した。大きく内容を変え、スペクトルの情報から物性を考えるための手ほどきとして、分光器の原理、吸収スペクトル、発光スペクトル、赤外吸収スペクトルを順に一日ずつかけて実験と解析を行った。また、分析化学Ⅳの授業を今年度から担当し、X線やマイクロ波を含めた広い波長範囲での電磁波を用いた分析の原理と使い方、光化学の基礎についての講義を行った。

小川担当の学部教育としては、分析化学実験の吸光光度法を担当し、吸収スペクトルの吸光度と pH を調整した緩衝液により pKa をとめる実験手法を教えた。また、化学序説を担当し、現代の錬金術として、貴金属に匹敵する非貴金属の機能化に関する最新研究を自身の海外経験を含め学部生に講義した。

研究室に配属された学部 4 年生 5 名、修士課程学生 8 名、博士課程学生 5 名に対しては、一週間に一度の頻度で対面でグループミーティングを行い、研究の進捗や最近の論文の紹介、議論を行った。また、おおむね週一回のペースで学生主体の輪読、また特に B4 に対しては 4 月に光化学に関する連続集中講義、5 月に毎日一本論文の概要を読みこなす会を継続的に開催し、分子科学・光化学に関する知識の底上げを行った。並行して各自与えられたテーマに沿って研究活動を行っており、対外発表や論文執筆の指導も行った。学会も積極的に参加し、研究室全体で合計 30 件以上の発表経験を積ませることができた。最近では、自ら積極的な学会への参加や外国人訪問研究者との議論を行うまでに成長してきている。また、九大の若手教員有志で立ち上げたシンポジウムの企画や Chem-Station 主催のバーチャルシンポジウムに携わり、X を用いた情報発信も功を奏し、分子科学・光化学分野の広い意味での教育・啓蒙に役立てることができた。

## 研究目標とその到達度

身の回りにある化学物質は、まわりの熱や光によりその構造や状態が常に変化している。またその変化を能動的に制御することが、生命活動や人工的な化学物質の生産、分解の基本となっている。そのため時々刻々と変化する物質を実時間で捉え、その構造や状態を明らかにすることは、化学物質の理解だけでなく、その利用の観点からも重要である。しかし、その時間スケールが 1 兆分 1 秒から秒におよぶほど広いことから、これまでは、このような分析を汎用的に行うことは困難であった。そこで当研究室では、多くの実用的な機能性物質に利用可能な時間分解分光装置の開発を行い、物質開発の専門家と共同で、各種機能性物質の原子、分子レベルの動的過程を明らかにすることを目的に研究を行っている。本年度は特に以下のトピックについて研究を推進した。

### 1. 金属錯体、人工光合成

- ・発光性二核三重らせん Al 錯体の光物性の解明
- ・ポルフィリン光増感剤 Re 錯体触媒連結二元系光触媒の光励起初期過程の解析
- ・色素-半導体界面の電子移動ダイナミクス
- ・発光ダイオードへの応用を志向した発光性 Pt 錯体材料の時間分解分光
- ・発光性配位高分子材料の時間分解分光
- ・長寿命発光 Fe 錯体の開拓

## 2. 有機発光体

- ・熱活性化遅延蛍光分子の励起状態ダイナミクスの溶媒依存性
- ・新規発光性ホウ素錯体の光物性解明
- ・有機固体薄膜中の発光ダイナミクス
- ・有機りん光材料チエニルジケトン of 励起状態構造ダイナミクス
- ・化学発光を利用した溶液混合過程の解析
- ・干渉分光を用いた不均一光機能性材料の計測

## 3. 希土類錯体、希土類ナノ粒子

- ・希土類光アップコンバージョンナノ粒子の発光過程の追跡
- ・非発光性励起状態の寿命計測を指向した新規分光法の開拓

以上の研究成果を随時学術論文として発表し、当該年度で 16 件掲載に至った。

## 主催講演会

4 月 International Workshop on Advanced Photofunctional Materials, I2CNER Hall, Kyushu Univ.

## 所属学生の受賞、奨学金

4 月 笠僚宏 学術振興会 特別研究員 DC2 採択

宮崎栞 学術振興会 海外特別研究員 RRA 採択

宮崎栞 山田科学振興財団 海外研究援助 採用

6 月 本田瑛之 錯体化学若手の会夏の学校 2024 ポスター賞

7 月 屋良雅也 ACS Energy Letters (Poster) Awards by American Chemical Society @24th International Conference on Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy (IPS-24) and International Conference on Artificial Photosynthesis 2024 (ICARP2024)

## 訪問、滞在研究者

4, 5 月 Prof. Partha Hazra, Indian Institute of Science Education & Research, Pune, India, 共同研究

6 月 神奈川大学・本橋輝樹教授、浅井祐介(D1)、共同研究

10 月 Prof. Hrvoje Petek, University of Pittsburgh, USA, 講演会  
野崎浩一教授 集中講義

11 月 東京工業大学 前田研究室・高木悠(M2)、共同研究  
Prof. Dongho Kim, Yonsei University, Korea, 講演会(森野レクチャー)  
Dr. Ruben Costa, Technical University of Munich, Germany 講演会

Dr. Maciej Lorenc, CNRS, Université de Rennes, France 講演会

Prof. Peter Hamm, University of Zurich, Switzerland 講演会

2月 東京工業大学 前田研究室・岡崎めぐみ博士、共同研究

3月 東京工業大学 前田研究室・田中寿弥(D2)、共同研究

Joël Wellauer (Ph.D student), Oliver Wenger Group, University of Basel, Switzerland,

講演会

## 研究分野

分光分析化学、時間分解赤外分光、レーザー分光、光化学、光エネルギー変換、有機エレクトロニクス、発光性錯体合成

## 研究課題

フェムト秒からミリ秒領域における各種時間分解分光装置の開発

上記分光装置を用いた有機発光ダイオード材料、人工光合成系、希土類化合物等における励起状態構造と各機能、効率との関係性の解明

## 参考 URL

<http://www.chem.kyushu-univ.jp/Spectrochem/>

## 無機反応化学研究室

宇都宮 聡 准教授

当グループでは地球環境中に存在する天然ナノ物質の生成、反応特性、移行挙動、また生物圏との相互作用に注目して、最先端の顕微鏡観察技術とバルク分析法を駆使しながら環境中における様々な現象の本質的な解明を目指している。特に重要な環境問題となっている重金属元素や放射性核種の挙動を研究対象としている。

### 教育目標

学部4年生については、与えられたテーマの実験をきちんと遂行し、データを整理・吟味し、結論を導き出すプロセスを体験することで研究課題を解決する方法論を修得することを目標とする。当研究室で卒業研究を行うのに必要な最低限のトレーニングを通じて研究室の整理・整頓、掃除、実験計画の立案、実験器具や試薬の管理と記録、化学実験における安全、廃液の処理方法、文献調査法、実験ノートに記載法、データの取り扱い方、報告書の書き方、研究発表の仕方など研究者や化学技術者をめざすのに必須事項を確実に身につける。卒業研究では、得られたデータを客観的に解釈する能力を養うために頻繁に構成員との議論の場を設け、自分の考えの表明や第三者との討論を経験させる。化学教室での業績報告会を終えた後卒業論文を仕上げる。

修士課程の学生については、研究課題の意義や解決の方向性などを理解し、それにそった研究計画を立案、実行する能力を養成することを目標とする。報告書を英語で書くこと、国内学会での発表を経験させる。

さらに、自ら研究課題を探究し、研究者として自立できることを目標とする。国際誌に論文を書き、国際学会での発表を経験させる。指導者になるためのトレーニングとして4年生・修士学生の研究指導を教員と協力して行う。

### 研究目標

地球表層環境中には多様なナノ粒子が普遍的に存在しており、その生成・成長・相互作用・移行挙動はグローバルな元素循環、生命圏、放射性廃棄物貯蔵施設周辺での元素移行に大きな影響を与えている。本グループでは、地圏・生命圏におけるナノ結晶化プロセス、ナノ粒子を媒介とした有害元素（放射性核種等）の状態、移行挙動、環境、生体への影響を定量的に評価することを研究目標としている。特に原子・ナノスケールの視点から現在問題となっている環境汚染の本質的な解明を目指す。

### ＜本年度の研究活動実績＞

- ・ 国内学会、シンポジウム等計 3 件発表。
- ・ 発表論文 2 報

### 研究分野

環境ナノ物質科学

### 研究課題

- [1] 地圏微生物、天然ナノ粒子による有害元素の移行挙動解明
- [2] 高濃度放射性セシウム含有粒子を基軸とした環境、廃炉問題研究
- [3] 最先端高分解能電子顕微鏡法の応用

### 参考 URL:

<http://www.scc.kyushu-u.ac.jp/ircl/utu-j/index-j.html>

## [物理化学講座]

### 分散系物理化学分野

安中 雅彦 教授、榎 靖幸 准教授、八島 慎太郎 助教

#### 教育目標

##### <教育に関する目標、目的、成果について>

教育目標は、自身の研究課題、身近な出来事、社会的諸事象に対して、合理的判断にもとづき対応する能力を育てることにある。学部生卒業研究、大学院における研究課題を進捗させるに当たり、将来どのような研究課題に取り組んでも、それを解決する能力を育てるよう努力している。また、学生との対話を重視している。研究課題およびその周辺分野に関する知識なども、自分の研究に則して勉強するように指導している。数ヶ月に一度の割合で研究発表会を行い、研究進捗状況の報告と研究計画をまとめさせている。結果については、全員で討論することにより、他のメンバーの研究内容を自己のものとするに配慮している。発表に対するコメントを義務づけるなどして、積極的に討論に参加させるよう工夫している。これにより、学生が自己啓発することを期待している。学部4年生と博士後期課程学生では、知識量に大きな差があり、全員対等に討論出来ないが、それぞれの学年に固有の教育効果をあげている。受動的だった学部4年生の研究課題に取り組む姿勢が能動的になった。

##### <研究室セミナーについて>

研究室セミナーでは、学部4年生、大学院生ともに高分子物理化学、および研究を進捗させるために必要な関連分野に関する英語論文の読解力を身につけている。また、自分自身の研究テーマに関連した分野の英語論文を精読し要点をまとめて人前で発表し、内容に関する質疑応答を行っている。この論文紹介では、自分の言葉で説明できる、すなわち漠然と論文をよむのではなく、自分の頭で考えながら読んでいくことを重要視して指導している。その結果、研究テーマの理解を深め、自分の力で研究テーマを発展させる能力がつくようになっている。さらに、定期的に研究の進捗状況について、要点をまとめて発表することを課すことで、研究テーマの動向や国際的位置づけを知ると共に、課題以外の研究テーマについても、理解を深めている。また、研究結果を人前で発言することにより、プレゼンテーションに必要な基本が身に付くよう指導している。

### ＜学生の学外活動＞

国内の主要学会での発表にできるだけ参加するように勧めている。大学院生は全員発表することができた。修士課程および博士課程の学生が、九大外施設である KEK Photon Factory（日本）、J-PARK（日本）等で中性子・X線散乱測定、広島大学放射光化学研究所で放射光真空紫外円二色性分光実験を行い、学外との交流を深めている。さらに博士学生が、University of Copenhagen（デンマーク）、慶応義塾大学との共同研究を実施した。

### 研究目標

研究目標は、生命現象の本質を、高分子集合体、ゲル、高分子-低分子複合体の物性論的立場から解明することによって理解することにある。研究の目的は、水中で起こる様々な生体機能を、水中での諸物質の自己集合・凝集反応と力学応答の関連の諸原理で理解しようとするところにある。現在、両親媒性ブロック高分子、高分子電解質・界面活性剤複合体等が水媒体中で起こす自己集合・凝集反応によって引き起こされるメソ構造・状態相（ゲル相、分散相、液晶相等）転移の現象を明らかにすべく、種々の物理化学的条件下で、光散乱スペクトル、中性子散乱スペクトル、X線散乱スペクトル、蛍光スペクトル、AFM等の観測を行なっている。これらの測定は、国内外の研究者などとも協力しながら行なっている。

### 研究分野

高分子物理化学，生物物理化学（主として水を媒質とする構造形成）  
生体高分子化学，生体機能材料，トライボロジー

### 研究課題

両親媒性高分子のメソスコピック構造形成と物性  
高分子電解質-低分子複合体のメソ構造・物性の解明  
生体由来高分子ゲルの構造・物性・機能  
生体高分子のゲル化ダイナミクス  
ゲル表面摩擦のダイナミクス  
ゲル表面摩耗の科学

参考 URL: <http://www.scc.kyushu-u.ac.jp/softmatter/index.html>



## 量子化学分野

寺寄 亨 教授、堀尾琢哉 准教授、Olga Lushchikova 助教 (大学院イノベーション促進枠)

### 教育目標

物質の成り立ちとその性質を原子スケールのミクロな視点から理解する物理化学の基礎的な素養を身につけて、広く社会で活躍する人材の育成を目標とする。とりわけ、原子・分子を記述する量子化学の考え方に重点を置く。講義では、化学結合の形成、電子状態の記述、振動・回転など分子の運動、原子集合体の形成とその構造・物性など、物質の成り立ちについて理解を深めるとともに、物質の性質を調べる強力な手段である分光学について、光の性質や光と物質との相互作用を扱う。これらを題材に、最先端科学技術の要である量子論の基礎とその発展動向を講義する。学生実験では、講義で扱った事柄を実験・解析を通して体験し、さらに理解を深めることを目標とする。研究室では、さらに実践的な経験を積み、挑戦的な研究課題を成し遂げることを目標に、実験技術の修得、ならびに、問題を解決しながら研究を遂行する実行力の養成を重視した教育を行う。これらと並行して、国際的な活動を通して、広く世界で活躍する人材を育成する。

### 〈教育内容〉

#### 1. 講義

##### 1-1. 基幹教育科目「基礎化学結合論Ⅰ・Ⅱ」 (対象：学部1年、担当：寺寄)

分子の形成について、古典的なルイス構造の考え方から現代的な量子論へと展開し、シュレーディンガー方程式に基づいて原子軌道、分子軌道の理解へと導く化学結合の量子化学的な考え方を講義した。

##### 1-2. 専攻教育科目「量子化学Ⅰ」 (対象：学部2年、担当：堀尾)

20世紀初頭に始まった量子論の展開をたどりながら、光や物質の粒子性と波動性、シュレーディンガーの波動方程式の導入、箱の中の粒子のエネルギーの量子化、分子の回転・振動の量子論など、量子化学の基礎を概観する講義を行った。

##### 1-3. 専攻教育科目「分子構造論」 (対象：学部3年、担当：寺寄)

分子の運動に基づく分子構造の議論をテーマに、特に、分子の振動と回転に関する分光データから構造情報を導き出す過程を講義した。また、群論に基づく考察で、分子の各運動モードの対称性を議論した。演習では、具体的な数値を扱う訓練を重視した。

##### 1-4. 大学院教育科目「構造化学特論Ⅰ・Ⅱ」 (対象：大学院修士課程、担当：堀尾)

「英語で学ぶ量子化学」と題し、James M. Lisy 博士 (University of Illinois at Urbana-Champaign 名誉教授) 製作の Podcast を使用した講義を行った。前期量子論、古典的な波動方程式、シュレーディンガーの波動方程式、量子論的期待値、自由粒子、一次元の箱の中の粒子、円運動する粒子、調和振動子、剛体回転子、角運動量、原子軌

道に至るまで、量子論の基礎を全て英語で講義した。学部時代に学習した量子化学を改めて、かつ英語で学ぶことで、同分野の専門用語を習得するとともに、英語を母国語とする研究者が使う実用的な英語を学ぶ機会を提供した。

#### 1-5. 大学院教育科目「フロンティア科学 II」（対象：大学院修士課程、担当：Lushchikova）

主に留学生を対象に、ナノテクノロジーを題材とした2コマの英語講義を行った。第1回では、量子サイズ効果を基礎とするナノテクノロジーの発展の歴史を概観した後、フラーレン C<sub>60</sub>に代表される構成原子の数を精密に制御した極微小粒子「クラスター」を紹介した。第2回では、これらクラスターについてさらに詳しく掘り下げ、生成法、質量分析法、レーザー分光法、衝突誘起反応法など実験手法の解説に続き、特に金属クラスターに着目して、特徴的な幾何構造、電子構造、化学反応性の研究事例を紹介した。これらを通して、ナノ物質科学のフロンティアを学ぶ機会を提供した。

### 2. 学生実験

「色素の吸収および発光スペクトル」（対象：学部3年、担当：堀尾）

発光ダイオードを光源とする簡易的な分光器を組み立て、市販の分光器の原理を学ぶとともに、ミラー、レンズ、スリット、回折格子などの光学素子の取り扱いを習得することを目的とした。さらに、色素分子の吸収スペクトルおよび発光スペクトルを観測し、Lambert-Beer 則の分子論的な理解、ならびに溶液中の分子の発光機構について議論した。

### 3. 研究指導

研究室では、学部4年（5名）、修士1年（3名）、修士2年（4名）、博士2年（1名）が在籍した。新規配属の学部生には、まず、真空装置と電子機器からなる実験装置の操作を習得させ、実験に取り組めるように訓練した。また、理学部工場の実習に全員が参加して金属加工の実技を体験し、真空部品や装置の設計・製作の基礎を身につけた。学部学生は、銀クラスターの光電子イメージング分光とその異元素添加種の光解離分光、ならびに量子化学計算による構造・スペクトル・波動関数の解析に取り組み、卒業論文をまとめた。修士1年の学生は、銅やアルミニウムの金属クラスターの光解離分光・光電子イメージング分光に取り組んだ。修士2年の学生は、銀クラスターの正・負イオン種と添加する元素種ごとにテーマを設定し、光解離分光と光電子イメージング分光を実験手段として電子構造・幾何構造を特徴づける研究を推進した。正二十面体型など高対称性クラスターの系統的な探索や、超原子軌道の軌道角運動量成分を定量評価する理論解析にも取り組んで、それぞれ修士論文をまとめた。博士2年の学生は真空中の液滴の凍結過程をテーマとし、水-ポリオール混合溶液の凍結時間測定に関する論文発表を行ったとともに、分子動力学シミュレーションによる凍結過程の解析を推進した。

成果の発表では、学生を筆頭著者とする原著論文 2 報、総説 1 報を発表したほか、ナノ学会（5 月）、Mini-Symposium on Liquids（7 月）、分子科学討論会（9 月）にて、学生が延べ 9 件のポスター発表を行った。ナノ学会大会で修士 1 年、分子科学討論会で修士 2 年の学生がポスター賞を受賞したことは、教育の成果として特筆に値する。

これら研究活動による教育と並行して、研究室セミナーでは、研究の進捗状況報告、関連する文献調査とその紹介など、課題の設定と解決、成果発信に向けた訓練を行った。また、英文の Tutorial 論文を輪読して、研究の基礎固めとともに英語力を養った。

## 研究目標

現行のナノ材料よりもさらに小さな物質を扱う次世代のナノ物質科学の開拓を念頭に、原子の数（サイズ）が正確に制御された原子・分子クラスターを対象として、これら極微小な物質に特有の基礎物性を、物理化学の研究手段で探究する。クラスターの特質は、原子 1 個の増減で物性や反応性が不規則かつ劇的に変化し（サイズ効果）、常識を超えた新物質の発見が期待されることであり、元素戦略の手段としても注目される。我々は、原子数をパラメータとして千変万化するこれらクラスターを新たな物質群と捉え、物質科学の本質を掘り起こす新たな学問分野の構築を目指して研究を推進する。具体的には、質量分析技術で原子 1 個の精度でサイズを制御するクラスター発生法、反応生成物の時々刻々の変化を捉える化学反応追跡法、ナノ秒・フェムト秒のレーザー光源を利用した分光法など、最先端の実験手段で特性解明に取り組む。一方で、真空中で液体を扱う技術を開発して気相化学と液相化学との融合に挑むなど、ミクロ（原子・分子・クラスター）からマクロ（液相・固相）までをつなぐ科学の開拓を目指している。

### 〈研究概要〉

金属／金属化合物／合金種のクラスターに着目し、構成原子数が正確に定まったサイズ選別クラスターを研究対象として、その特性解明を推進した。特に、電子構造の観点から原子と類似した特性を示す超原子クラスターは、元素戦略に貢献する新物質としての期待が高い。触媒を代表とする化学反応では、活性点となるナノ構造を切り出したクラスターが反応の本質理解と新規材料の設計指針につながると期待される。また、宇宙空間での化学過程においてクラスターが反応の鍵を握っているとの仮説があり、科学の広い分野への波及が注目されている。具体的には、気相分子との反応が進む様子を捉える化学反応追跡法、レーザー光で電子が占有する軌道のエネルギーや形状を調べる可視－紫外吸収分光・光電子イメージング分光など最先端の実験手段で、構成原子の数と組成で変化するこれらクラスターの特異な物性・反応性の解明に取り組んだ。さらに、これら気相クラスターの液相への展開を狙いとして、真空中に生成した液滴の物性研究に取り組んだ。

これらを推進する研究プロジェクトとして、科学研究費助成事業で前年度までに採択された基盤研究(A)「金属クラスター超原子の量子論構築に向けた電子過程・光学過程の探究」(代表者・寺寄)、基盤研究(B)「超原子軌道イメージング」(代表者・堀尾)、挑戦的研究(萌芽)「微小液滴内還元反応による超原子金属クラスターの合成とその光電子イメージング」(代表者・堀尾)、挑戦的研究(開拓)「気相-液相融合によるナノ物質科学の新開拓: クラスターマテリアルの創製」(代表者・寺寄)を継続した。また、複数の民間助成金(代表者・堀尾)を獲得し、支援を受けた。

成果の発信では、原著論文 5 報と総説 1 報を発表した。また、国際会議招待講演を AsiaNANO 2024 (9 月、インド)、International Conference on Emerging Advanced Nanomaterials (ICEAN 2024) (11 月、オーストラリア)、Symposium on Advances in Cluster Science, Nanobiotechnology, and Energy Materials (11 月、韓国)で行った。このほか、ナノ学会(5 月)、化学反応討論会(6 月)、Mini-Symposium on Liquids (7 月)、分子科学討論会(9 月)、日本化学会春季年会(3 月)で、計 13 件の口頭およびポスター発表を行った。とりわけ、ナノ学会および分子科学討論会で学生がポスター賞を受賞するなど、研究成果が高く評価されたことを特筆する。

#### 〈研究成果〉

##### 課題(1): 光電子イメージング分光による金属クラスターの電子構造研究

独自に開発を進めてきた光電子イメージング分光装置で、サイズ選別された種々のクラスター負イオン種を測定対象として研究を推進した。昨年度、5 族元素を添加種としたクラスター $M@Ag_{12}^-$  ( $M = V, Nb, Ta$ )に着目し、これらいずれもが 18 個の価電子で 1D 軌道が充満した電子配置 $(1S)^2(1P)^6(1D)^{10}$ を取り、13 個の原子で正二十面体型構造を形成することを突き止めた。本年度、まずこの成果に関して、原著論文“Photoelectron imaging signature for selective formation of icosahedral anionic silver cages encapsulating group 5 elements:  $M@Ag_{12}^-$  ( $M = V, Nb, \text{ and } Ta$ )”を発表し [J. Phys. Chem. Lett. **15**, 4327 (2024)]、さらに総説「13 原子かつ 18 価電子で誘発された正二十面体型金属クラスター超原子の選択的気相合成: 光電子イメージングによる同定」を解説記事として寄稿した [ナノ学会会報, 第 23 巻第 2 号, 41 (2025)]。

一方、価電子数 19 のクラスターに関して、 $Ag_{18}^-$ や  $Ag_{15}Sc^-$ の電子配置を従来のモデルでの理解と同様に $(1S)^2(1P)^6(1D)^{10}(2S)^1$ と先行研究で同定したが、この研究を Al クラスターに拡張した。Al 原子は価電子 3 個をもつため、 $Al_6^-$ が価電子数 19 に相当する。光電子イメージを解析した結果、最外殻軌道は 2S とは見なせず、電子配置はむしろ $(1S)^2(1P)^6(1D)^4(2S)^2(1D)^5$ と結論された。定説に基づく予想とは異なるこの成果を報告した学生が、ナノ学会第 22 回大会にて「若手優秀ポスター発表賞」を受賞した。

さらに Ag クラスターへの異元素添加について、昨年度に、同数の価電子を持つ 3 族 Sc と 13 族 Al の添加種を実験して類似点・相違点等の特徴を掴んだが、本年度、それぞ

れ同族の Y, B の添加を試みた。その結果、内包されやすい 3 族元素に対して、13 族元素の原子は表面に結合する傾向があることなど、同族元素に共通した挙動を見出した。

ここまで固定波長のレーザーで光電子イメージングを行ってきたが、特に P 軌道や D 軌道の同定には、励起波長を変えながら光電子画像を取得する実験が求められる。そこで、 $(1S)^2(1P)^2$  の電子配置を持つと考えられる負イオン種  $Ag_3^-$  を対象に、509 から 310 nm までの励起波長で測定を行い、1P 軌道から脱離する光電子の異方性の特徴を捉えた。理論解析で定性的には説明できたが、定量性には課題が残った。さらに 520 nm では、励起状態  $S_1$  経由の光電子脱離が観測され、励起状態分光の一步を踏み出した。これらの成果に関して、まず測定手法について、原著論文“Anion photoelectron velocity-map imaging using a tunable laser at a 100 kHz repetition rate”を発表した [J. Chem. Phys. (Brief Report) **162**, 026101 (2025)]。続いて、解析までの成果を原著論文“Photoelectron imaging spectroscopy of  $Ag_3^-$  in the  $S_0$  and  $S_1$  states”にまとめ、J. Chem. Phys. 誌に投稿した。同様の実験を、さらに  $Ag_n^-$  ( $n=3, 5, 7$ ) へも展開している。

さて、超原子軌道の同定は、S 軌道的、P 軌道的など、これまで定性的な同定にとどまっていたが、1D 軌道や 2S 軌道への各軌道角運動量成分の寄与を定量化する理論手法の構築に取り組み、AMP 法 (Angular Momentum Projection 数値積分法) の開発を昨年度から進めてきた。本年度そのプログラムが完成し、軌道角運動量成分の混合割合を算出して、超原子軌道の S 性や P 性を定量化することが可能となった。この成果を学会発表した学生が、第 18 回分子科学討論会にて「優秀ポスター賞」を受賞した。

## 課題(2)：レーザー吸収分光による金属クラスターの電子構造研究

遷移金属原子を添加した Ag クラスター  $Ag_nM^+$  に着目し、前年度までに行った  $M = Sc, Co, Ni$  に加えて、V, Mn 添加種の紫外-可視スペクトルを光解離法により測定し、電子遷移の帰属と電子構造・幾何構造の解析を行った。特に、原子数を 13 個に揃えた  $Ag_{12}M^+$  と、価電子数を 18 個に揃えた  $Ag_nM^+$  を、それぞれ相互に比較した結果、とりわけ特徴的な Mn 添加種を見出した。即ち、 $Ag_{12}Mn^+$  は極めて鋭い単一の吸収スペクトルを呈し、光電子イメージング実験で見出した  $Ag_{12}V$  など (13 原子かつ 18 価電子の負イオン種) と同様に、正二十面体構造を示唆する結果を得た。

一方で、Sc 添加種  $Ag_nSc^+$  については、3 族 Sc と同様に 3 個の価電子を持つ 13 族 Al を添加した  $Ag_nAl^+$  のスペクトル測定を進め、それらを対比する研究を行った。その結果、課題(1)に記した負イオン種と同様に、内包されやすい 3 族元素に対して、13 族元素の原子は表面に結合する傾向があること、また無添加の  $Ag_n^+$  のスペクトルとの比較において、異元素添加に応じたスペクトルのシフトが超原子軌道の軌道エネルギーの変化に対応することを見出した。

さらに添加原子を他の典型元素にも展開し、Ge 原子を添加した  $Ag_nGe^+$  ( $n=4\sim 9$ ) の光解離分光を行って、Ge 原子が Ag 原子とともに超原子軌道の形成に寄与する様子を

明らかにするとともに、光解離生成物の解析も通して、価電子 8 個を持つ  $\text{Ag}_5\text{Ge}^+$  を電子配置  $(1\text{S})^2(1\text{P})^6$  の安定種と同定するなどの成果を得た。

また、Ag と同族の Cu クラスタについて、昨年度に測定した 8~14 量体の光解離スペクトルの解析を進め、電子遷移の帰属と幾何構造の解析から、原子を一つずつ付加してゆくクラスタの成長過程を議論した。

一方で、昨年度、 $\text{Ag}_n^+$  クラスタの光応答のサイズ依存性に関する研究で、河野聖が博士論文をまとめた。本年度はその論文投稿を進め、まず第一報として、サイズの増加とともに多光子過程が支配的となり、光解離スペクトルが非線形性を帯びること、さらに、光共振器を用いた測定手法で光解離に依らない直接的な吸収測定を実現し、線形な吸収スペクトルを得たことに関して、原著論文“Photoabsorption of silver cluster cations in an ion trap: nonlinear action spectra via multi-photon dissociation vs. directly-measured linear absorption spectra”を発表した [Nanoscale 17, 4408 (2025)]。引き続き、続報に取り組んでいる。

#### 課題(3)：金属／金属化合物クラスタの反応性と電子構造

前年度までに、宇宙空間での分子進化の観点から金属酸化物クラスタを触媒とする C1 化学に着目した研究に取り組み、一例として、 $\text{Fe}_n\text{O}_m^+$  クラスタとメタン分子 ( $\text{CH}_4$  および重水素置換体  $\text{CD}_4$ ) との反応実験を行った。この研究は、火星大気でメタン濃度の急激な減少が観測されたことに注目し、その起源を解明する目的で行ったが、実験の結果、クラスタへのメタン分子吸着と脱水素が観測され、その反応速度で火星表層でのメタン減少の速さを説明できることを見出した。この成果に関して、原著論文“Reaction of size-selected iron-oxide cluster cations with methane: A model study of rapid methane loss in the Mars’ atmosphere”を発表した [Phys. Chem. Chem. Phys. 26, 14684 (2024)]。

一方で、Ag クラスタに Sc もしくは Al 原子を添加したクラスタ  $\text{Ag}_n\text{M}^+$  ( $\text{M} = \text{Sc}, \text{Al}$ ) の反応性を  $\text{O}_2$  分子との反応実験で測定し、そのサイズ依存性を追跡した。その結果、Ag 原子数に応じた偶奇性が反応性に現れ、その偶奇による変化は Sc と Al とで同様だった。このことから Sc, Al 双方の価電子 3 個はいずれも非局在化していると結論した。

#### 課題(4)：真空中に生成した液滴の蒸発冷却・凍結過程

気相金属クラスタの液相化学への展開を狙いとして、真空中の液滴の研究に取り組んでいる。特に蒸気圧の高い水液滴は、真空中で急激な蒸発冷却を受け、短時間のうちに凍結するが、水液滴に不揮発性のエチレングリコールを少量混合すると凍結が遅延する現象を、前年度までに見出してきた。さらに、分子内の OH 基の数が異なるポリオール種として、キシリトール、グリセロールを混合した実験を行い、同じモル分率であれば、分子種にはほとんど依存しない結果を得てきた。本年度、これらの実験結果を整理

して論文執筆を進め、原著論文“Freezing delay of water droplets in a vacuum caused by polyol addition”を発表した [Chem. Lett. **53**, upae222 (2024)]。

この実験では、真空中で液滴発生後、時々刻々のレーザー散乱光を画像観察しながら、凍結で生じる表面の凹凸に起因する画像変化を捉え、凍結した液滴の割合を時間を追って記録して凍結曲線を描く。この凍結曲線は、凍結核生成速度の温度依存性のデータをもとに数値シミュレーションで解析できる。水液滴ではこの数値解析が実験結果を良く再現するが、ポリオールを混合した液滴では凍結核生成速度のデータが不足している。そこで、化学部門・秋山良准教授の協力を得て、分子動力学計算による凍結核生成速度の解析を昨年度に引き続いて推進した。

一方、真空中に生成した水液滴のダイナミクスについて、発生直後の液滴形状変化の超高速カメラによる観察、液滴外周に共鳴するラマン散乱光の **Whispering gallery mode (WGM)** を利用した液滴径の精密測定、レーザー散乱光による凍結判定と凍結核生成速度の解析、超高速カメラによる凍結時の液滴分裂の観察を行い、昨年度、飯田岳史が博士論文で報告した。本年度、その論文投稿に向けた準備を進めた。

## 研究分野

物理化学、クラスター・ナノ物質科学、レーザー・X線・光電子分光、真空中の液体科学

## 研究課題

質量分析法と分光法を主な実験手段とし、少数原子で構成されるオングストロームサイズのクラスターからマイクロメートルサイズの液滴まで、気相から凝縮相への中間領域を狙いとする原子・分子集合体の物性・反応性研究。

## 参考 URL :

量子化学研究室 : [https://www.scc.kyushu-u.ac.jp/quantum/index\\_j.php](https://www.scc.kyushu-u.ac.jp/quantum/index_j.php)

寺寄 亨 : [https://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/html/100018238\\_ja.html](https://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/html/100018238_ja.html)

堀尾琢哉 : [https://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/html/100018253\\_ja.html](https://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/html/100018253_ja.html)

# 光物理化学研究室

平松 光太郎 准教授、桶谷 亮介 助教

## 教育目標

### <概要>

光物理化学研究室では、光と物質の相互作用を理解し、その知見を基盤に新しい計測手法や装置を創出できる人材の育成を教育の柱としている。光は物理・化学・生命科学・情報科学を横断する共通基盤であり、学生が自らの疑問を起点に方法論を構築し、新たな価値を生み出す能力を涵養することが教育目標である。

教育の実践では、アイデア創出から装置開発、原理実証、応用展開、社会実装までを一連の研究サイクルとして経験させ、論理的思考力と創造力を鍛える。最先端の分光・イメージング技術や AI を組み合わせた研究を通じて、独立した研究者として不可欠な実験技術・解析力・発信力を体得させる。また、研究活動を通じて、予期せぬデータや偶発的な発見を楽しみ、異分野との協働を推進する柔軟性を養うことも重視している。光を用いて世界に一つの計測系を築き、未来の学術的・産業的発展に資する人材を輩出することを最終目標とする。

### <実績>

#### ・講義

(平松)

#### 「光生物物理化学」

本講義では、光の基礎的性質から応用に至るまでを幅広く扱い、物理学・化学・生命科学の観点から光を体系的に学ぶことを目的とする。まず、光を電磁気学の枠組みで理解することを出発点とし、反射・屈折・回折といった基本現象を数式を通して説明できる力を養う。さらに、レーザー発振や光通信、プラズモン共鳴など、現代社会を支える光技術について、その原理を定性的に理解する。次に、光と分子の相互作用に注目し、吸収・散乱・発光といった現象を半古典論的な視点から解説することで、光化学反応や分子分光法の基盤を学ぶ。これにより、光を利用した化学的応用の理解を深める。加えて、生物学的な文脈における光の役割にも焦点を当て、視覚や光合成といった生命現象を光物理的に説明し、さらに顕微鏡イメージング法（明視野、蛍光、振動分光、超解像顕微鏡など）の原理を学ぶ。これらを通じて、光が物質科学から生命科学に至るまで幅広い分野で果たす役割を横断的に理解し、将来の研究や応用に活かすための基礎力を身につける。



### 「化学数学」

本講義では、化学や物理学に不可欠な数学的基盤を系統的に学ぶ。まず、微分と積分を復習し、定義や基本法則、微積分の基本定理、さらに級数展開を通じて関数の近似表現を理解する。続いて、複素数やオイラーの公式を導入し、複素関数の微分積分を扱うことで、波動や振動現象を数学的に表現する能力を養う。次に、常微分方程式を取り上げ、一次線形方程式から二次線形方程式、さらには反応速度論に応用する方法を学ぶ。さらに、シュレディンガー方程式を具体例に、量子化学における典型的な偏微分方程式を理解し、箱の中の電子や水素原子のモデルを通じて量子力学的問題を数式で記述する力を培う。また、線形代数の重要概念である逆行列、固有値、固有ベクトル、対角化、ランクなどを習得し、実際に計算できる能力を身につける。加えて、物理現象を固有値問題として定式化する方法を学ぶことで、抽象的な数学と実際の自然現象の結びつきを理解する。これらを通じて、学生は数理的思考力と計算力を養い、化学・物理学の専門的学習や研究を支える堅固な基盤を築くことを目指す。

### 「物理化学実験」

本実験課題では、糖類の変旋光現象を題材に反応速度論を学び、反応速度定数および活性化エネルギーを決定する方法を習得する。変旋光とは、直線偏光の旋光角が時間とともに変化する現象であり、 $\alpha$ -体と  $\beta$ -体のアノマー平衡を反映する。本実験では、キシロース水溶液を用い、光学セルを恒温槽で制御しながら He-Ne レーザーと偏光光学系を組み合わせた測定を行い、時間変化する旋光度をフォトダイオードで記録する。得られたデータを解析し、濃度と光路長から比旋光度の時間変化を導出、さらに指数関数フィッティングにより速度定数を算出する。複数温度での測定結果をアレニウスプロットに整理することで、活性化エネルギーを推定する。加えて、旋光測定の原理や応用、反応速度定数の精度向上の工夫、異性化反応を捉える他手法などについても考察する。本実験を通じて、光学的手法を用いた反応速度解析の流れを実践的に理解するとともに、化学反応の速度論的理解が産業や研究において果たす役割を学ぶ。

(桶谷)

### 「物理化学実験」

物理化学実験全体の取りまとめ、および「偏光を用いた基礎実験」を担当した。

光の偏光とその制御に関する基礎実験（偏光板、 $\lambda/2$  板、 $\lambda/4$  板の利用）を、実際に装置を構築するところから指導し、それぞれの使用方法を確認した。その後、セロハンテープの偏光特性を調べる課題実験を指導した。実験方法・実験装置を学生自ら考案し、セロハンテープの偏光特性を調べさせる内容とした。TA の協力を得ながら、基礎実験および課題実験で偏光に関する基礎と測定方法・実験のデザイン方法を指導した。また、レポートにはページ数制限を設け、分量より内容を重視するように指導した。これによ

り、教科書の丸写しや長文の引用など不必要な記載が減った。レポートに必要な内容についても箇条書きで示し、基礎的なレポート作成方法の指導も行った。

#### ・研究指導

2024 年度は、博士課程 3 年次生 1 名、博士課程 2 年次生 1 名、修士課程 2 年次生 3 名、修士課程 1 年次生 3 名に加え、新たに修士課程 1 年次生 1 名（大学院国際コース）、学部 4 年次生 3 名が配属された。また、フランス・リモージュ大学及びイタリア・ミラノ工科大学からインターン学生を受け入れた。

2024 年 11 月に開催された国際学会（Biomedical Raman imaging）にて、修士課程 2 年次生 1 名がポスター発表を行った。12 月に開催された九大化学フェスタ 2024 では、修士課程 2 年次生 1 名、修士課程 1 年次生 2 名、学部 4 年次生 2 名がポスター発表を行った。修士課程 2 年次生は 2 月に修士論文発表会を、学部 4 年次生は 3 月に業績報告会を行った。

### 研究目標

#### <概要>

光物理化学研究室は、光と物質の相互作用を基盤に、新しい計測手法と光技術を開拓し、科学の未解明領域に迫ることを研究目標とする。分子分光学、ラマン分光、超高速・非線形光学を中心に、顕微鏡開発や光源設計、画像解析、AI 技術との融合に取り組み、複雑なスペクトルから物理化学的情報を抽出する方法論を確立する。研究スタイルは Bottom up による新しい光源や検出技術の創出と、Top down による現象から出発した計測系の構築を両輪とし、疑問の発見から応用展開、社会実装へと至るサイクルを推進する。応用分野は、生細胞・組織イメージング、病理診断、スマートナノ粒子フォトニクス、RNA 検出技術など多岐にわたり、物理化学から生命科学、情報科学までを横断する学際的展開を目指す。さらに、光コンピューティングや分光プラットフォームの開発を通じ、超高速・低消費電力の情報処理や新しい診断・治療法の基盤を築く。光を通じて異なるドメインを結び付け、新しい学理と価値を創出し、未来の科学と社会に貢献することを究極の目標とする。

#### <実績>

2024 年度は研究室立ち上げ初年度であったため、研究体制の構築を目指し研究開発を実施した。特に、以下の 7 プロジェクトを立ち上げた。

##### 1. コグニティブ分光プラットフォームの開発と細胞識別への応用

メンバー：平松光太郎（准教授，責任者），桶谷亮介（助教），大上 柊介（修士 1 年），左神 法秀（学部 4 年）

2. 可視コヒーレントラマン分光法の開発と高速シトクロム検出応用  
メンバー：平松光太郎（准教授, 責任者），桶谷亮介（助教），村上 優介（特別研究派遣学生）
3. 細胞内における広帯域 SHG イメージング法の開発とコラーゲン識別への応用  
メンバー：平松光太郎（准教授, 責任者），桶谷亮介（助教），Bastien Barbier（修士1年）
4. 空間周波数圧縮イメージング法の開発と明滅フリー超解像イメージング応用  
メンバー：平松光太郎（准教授, 責任者），桶谷亮介（助教），坂本涼（修士2年），江嶋郁人（修士1年），原田亮（学部4年）
5. 誘導ラマン光熱 AFM の開発と単一エクソソーム検出への応用  
メンバー：平松光太郎（准教授, 責任者），桶谷亮介（助教），田村 徹（博士2年）
6. アダプティブ分光イメージング法の開発と細胞ダイナミクス計測  
メンバー：桶谷亮介（助教, 責任者），平松光太郎（准教授），山本航（修士1年），佐々木猛（学部4年）
7. ポータブル蛍光顕微鏡の開発と RNA ウイルス検出への応用  
メンバー：平松光太郎（准教授, 責任者），桶谷亮介（助教），小田 淳生（修士2年）

また、主に前年度までの研究成果をまとめる形で、以下の論文を出版した。

1. Murakami Yusuke, Obuchi Mia, Kamizawa Hiroshi, Miyazaki Shinichi, Kishimura Akihiro, Oketani Ryosuke, Hiramatsu Kotaro, Leproux Philippe, Hayashi Yu, Shiraki Kentaro, Kano Hideaki  
“Exploring liquid–liquid phase separation in vitro and in vivo using multimodal nonlinear optical imaging”  
***Analytical Sciences***, 41, 697 (2025)
2. Nishiyama Ryo, Furuya Kei, Tamura Tetsu, Nakao Ryuji, Peterson Walker, Hiramatsu Kotaro, Ding Tianben, Goda Keisuke  
“Fourier Transform Coherent Anti-Stokes Raman Scattering Spectroscopy: A Comprehensive Review”  
***Analytical Chemistry***, 96, 18322 (2024)
3. Hiroshi Kanno, Kotaro Hiramatsu, Hideharu Mikami, Atsushi Nakayashiki, Shota Yamashita, Arata Nagai, Kohki Okabe, Fan Li, Fei Yin, Keita Tominaga, Omer Faruk Bicer, Ryohei Noma, Bahareh Kiani, Olga Efa, Martin Büscher, Tetsuichi Wazawa, Masahiro Sonoshita, Hirofumi Shintaku, Takeharu Nagai, Sigurd Braun, Jessica P. Houston, Sherif Rashad, Kuniyasu Niizuma & Keisuke Goda,

"High-throughput fluorescence lifetime imaging flow cytometry"

**Nat. Commun.** 15, 7376 (2024)

4. T. Tamura, P. C. McCann, R. Nishiyama, K. Hiramatsu\*, and K. Goda,  
"Fluorescence-encoded time-domain coherent Raman spectroscopy in the visible range"

**J. Phys. Chem. Lett.** 15, 4940 (2024)

#### 研究分野

分子分光、コヒーレントラマン分光、超高速分光、非線形光学、超解像イメージング、  
光コンピューティング・光情報処理、ナノ化学、圧縮センシング・AI 解析、光と物質  
の相互作用

参考 URL : <http://www.scc.kyushu-u.ac.jp/PhotoPhysChem/index.html>

## 構造化学分野

大橋 和彦 准教授

### 教育目標

構造化学研究室では、学部4年生に対して、量子化学および分子分光学の基礎理論を理解させ、分光実験および量子化学計算の技術を修得させると共に、研究テーマについてまとめて発表する能力を向上させることを目標とした教育を行っている。修士課程の学生の教育では、論理的な思考力、文章力および発表能力の向上を重視している。博士課程の学生には、ほぼ自立した研究能力を備えることを求めている。

### ■ 指導方針

当研究室では、学生が自主的に研究活動を行うことを重視しているので、教員からの指示は最少となるように努めている。したがって、教育・研究活動はもとより、研究室の行事についても学生が中心になって行う体制をとっている。しかしながら、学部4年生(あるいは修士1年生)に対して、細かい教育的指導が必要であると判断した場合は、教員がマンツーマンで対応している。

### ■ 研究室セミナー

雑誌会においては、最先端の論文を各人が調査して発表した後、全員で討論を行い、新しい知識の吸収およびプレゼンテーション能力の向上に努めている。コロキウムでは、量子化学と分光学の基礎について書かれた教科書を輪読して、分子分光学の研究に不可欠な基礎的事項の理解を深めると共に、英語力の向上にも努めている。本年度は、W. G. Richards, P. R. Scott 著の“Energy Levels in Atoms and Molecules”を使用した。

### ■ 学生の学外活動

学生は例年、分子科学討論会、溶液化学シンポジウム、化学関連支部合同九州大会、九重分子科学セミナーなどの学会、研究集会において研究成果を発表している。しかし、本年度は大学院生が在籍しなかったため、学生による学会発表はなかった。

### 研究目標

分子や分子集合体の物理化学的性質と反応性は、幾何構造、電子構造、分子間相互作用に支配されている。構造化学研究室では、分子クラスターの幾何・電子構造、分子間相互作用と励起状態ダイナミクスとの関係について、分光測定実験および量子化学計算を駆使して明らかにすることを研究目標にしている。この目標を達成するために、現

在以下の項目を研究課題として設定している。

■ 溶液中の芳香族分子の励起状態における動的過程に関する研究

種々の溶媒中におけるアニリン、アミノベンズニトリル等のベンゼン誘導体分子の吸収スペクトル、蛍光スペクトル、蛍光寿命を測定している。また、分子動力学計算により構築した溶存化学種のモデルに対する時間依存密度汎関数理論計算を行っている。アニリン分子の吸収スペクトルの溶媒和シフトについて、非プロトン性溶媒中でのシフト量は溶媒の極性関数に対して直線的に変化するのに対して、ジオキサン、アセトニトリル、水素結合性溶媒中ではシフト量に異常がみられる。本年度は、ジオキサン、ベンゼン、アセトニトリル溶媒の場合にみられる異常の原因について明らかにした。

■ 生体関連分子と金属イオンの間の相互作用に関する研究

種々の金属イオンとホルムアミド(FA)、ジメチルホルムアミド(DMF)などの溶媒分子からなる系に対して、振動分光実験と量子化学計算、分子動力学計算を用いた研究を行っている。過塩素酸 Al(III)/FA の系に対する分子動力学計算により、O 原子での単座配位および O, N 両原子での 2 座配位に加えて、N 原子で単座配位する FA が存在することが分かった。本年度は、N 原子配位の FA を含み、さらには第 2 溶媒和圏の FA 分子まで考慮した溶媒和 Al(III)について量子化学計算を行い、ラマンスペクトルにみられる Al(III)に特徴的なバンドが N 原子配位の FA に起因する可能性を見いだした。

## 研究分野

物理化学、分子分光学、溶液化学、クラスター化学

## 研究課題

有機分子・金属イオンと溶媒分子からなるクラスターの配位・溶媒和構造、水素結合構造、分子間相互作用、励起状態ダイナミックス、分子間エネルギー移動

参考 URL : <https://www.scc.kyushu-u.ac.jp/Kouzou/str3j.html>

## [有機・生物化学講座]

### 生物有機化学分野

大石 徹 教授、保野陽子 助教

#### 教育目標

複雑な構造を有する有機化合物の合成および活性評価の研究を通して、有機合成化学、機器分析、および生物有機化学的手法を習得し、企業やその他の研究機関において活躍できる人材の育成を目的とする。

- (1) 実験技術に関しては、複雑な構造を有する生物活性天然物の多段階合成を通して様々な反応を数多く経験し、数百  $\mu$  g から数百 g スケールの反応を扱う技術を身につける。また、複雑な天然物の立体構造を構築していく過程において、NMR や MS などの機器分析法について訓練を積む。研究の進捗状況を報告する実験報告会を3週間に1度程度の間隔でおこない、資料作成、データのまとめ方などを身に着ける。
- (2) 学術的知識に関しては、グループ全体で行う英語の論文紹介を通して英文の読解能力を養い、さらに有機合成セミナーを通して合成の方法論や反応の基礎的な部分を習得する。
- (3) 研究発表に関しては、卒業論文、修士・博士論文のまとめ方、発表資料の作成の仕方を懇切丁寧に指導する。また、積極的に学会発表を行うことを奨励し、日本化学会年会、有機合成シンポジウム、天然有機化合物討論会などで発表する機会を与える。特に、博士課程の学生には国際学会への積極的な参加を奨励する。

#### 到達度

- (1) 学部 4 年生: 指導されたことを理解し、正しいやり方で安全に研究を遂行できること。ひとつの論文をじっくりと正確に読みこなし、内容を十分に理解すること。正しい用語（日本語）を用い、論理的な文章で卒業論文をまとめること。Supporting Information を英語で書くこと。
- (2) 修士課程学生: 自分で調査して研究を遂行できること。複数の論文を読んで比較検討し、客観的に評価できること。修士論文を英語で書くこと。
- (3) 博士課程学生: 自分でアイデアを出し、工夫して研究を遂行できること。真の問題解決能力を身につけること。下級生の面倒を見ること。文献を網羅的に調査し、レビュー

一としてまとめること。学術論文（英語）を執筆すること（最低2報）。博士論文を英語で書くこと。

### 研究目標

複雑な構造を有する生物活性物質の化学合成および作用メカニズムを分子レベルで解明することに重点を置き研究を行う。すなわち天然から微量しか得られない天然物や、作用機構解明のための分子プローブを化学合成し、生物有機化学的手法と最先端の機器分析を用いることで分子レベルでの活性発現機構解明に取り組む。2024年度は以下のテーマに重点を置く。

### 研究課題

- (1) 生物活性天然物の化学合成・構造決定・生物活性評価
- (2) 生物活性天然物の構造活性相関研究・作用機構の解明
- (3) 生物活性天然物の効率的合成法の開発
- (4) マイクロフローリアクターの天然物合成への応用

### 研究分野

天然物化学、有機合成化学、ケミカルバイオロジー

参考 URL : <http://www.scc.kyushu-u.ac.jp/Seibutsuyuki/index.html>



## 動的生命化学分野

堀 雄一郎 教授、弓本 佳苗 准教授、足立 惇弥 助教

### 教育目標とその到達度

動的生命化学研究室では、学生が化学と生命科学の広範な知識および実験技術を体系的に身につけ、ケミカルバイオロジー分野の研究を主体的に遂行できる研究者へと成長することを教育の根幹としている。化学的発想と手法を駆使して、従来の生命科学では捉えきれなかった生命現象を解き明かし、医学や創薬に資する知見を創出することで社会へ貢献する人材育成を目指している。

この理念のもと、年度内にはさまざまな教育活動を展開した。学部講義では扱いきれない専門分野の内容を補うために、週一回程度の勉強会を実施し、特に、有機合成化学の演習や、蛍光の原理や応用に関する勉強会を行った。これらの勉強会では、教科書や専門書（洋書）を学生に読み解かせ、その内容を発表・討論させるアクティブラーニング形式を採用し、自発的な理解と知識の定着を促進した。

さらに、ケミカルバイオロジーおよび蛍光イメージングに関する専門性を深化させることを目的として、最新の研究論文を読み解き発表する **Journal Club** や、学生自身の研究進捗を報告・議論する研究報告会を定期的に開催した。また、教員と学生が1対1もしくは3~4人の小グループでミーティングする場を設け、より詳細に研究実施に関する議論・指導を行った。これに加え、学会での発表や参加を通して外部研究者との交流の機会を設け、広い視野を持つ研究者の育成を図った。共同研究者とのミーティングにも学生を積極的に参加させることで、実践的なコミュニケーション能力と人的ネットワーク形成を支援した。

研究指導においては、学生が自らの発想で研究を組み立てられるよう、全体の方向性を示しながらも過度な指示は避け、主体性を重視した。一方で、必要に応じて柔軟に助言や技術的支援を行い、研究の質向上を支えた。研究室セミナーでは、学生同士の討論を重視し、教員が先に意見を述べないことで学生の発言意欲を高め、議論する能力と論理的思考力の向上を促した。また、国際的な教育環境の一環として、フィリピンからの留学生を受け入れ、英語での交流や共同研究を通じて国際感覚を育成した。

これらの教育・研究活動を通じて、学生は科学的探究心と自立的研究能力を培い、将来的に化学分野を牽引しうる人材として社会に貢献できる力を身につけた。

### 研究目標とその到達度

本研究室では、独自に設計したタグタンパク質「**PYP タグ**」と、そのタグに選択的に結合する合成蛍光プローブを組み合わせた新しいタンパク質ラベル化技術を確立してきた。この手法では、目的とするタンパク質に **PYP タグ** を融合させて細胞内で発現させ、そこに特異的蛍光プローブを作用させることで、タグを介して標的タンパク質を可視化できる。これにより、生細胞のままの状態でタンパク質の局在変化や動態を追跡することが可能となる。本技術の特徴として、蛍光タンパク質を用いる方法と比較して光退色に強い有機蛍光色素を利用できる点、他の自己標識型タグよりも分子サイズが小さく、融合先タンパク質の構造や機能への影響を抑えられる点が挙げられる。また、細胞内の

特定環境や局在に応じて反応性を制御できる蛍光プローブを設計することで、標的タンパク質の動態をより精密に解析することが可能である。この PYP タグラベル化技術を用いて、生体分子の動態やフォールディング、相互作用を解析する以下の研究を行った。

#### (1) OFF-ON-OFF 型蛍光プローブによりタンパク質分解を可視化するタグタンパク質の開発

細胞内で起こるタンパク質の分解は、細胞周期の進行やシグナル伝達の調節など、細胞の恒常性維持に欠かせない基本的な過程である。近年では、疾患原因タンパク質を標的としてその分解を誘導する PROTAC (Proteolysis Targeting Chimera) に代表される化合物が創薬分野で注目を集めており、タンパク質分解機構を利用した新たな治療戦略の研究が活発化している。そのため、細胞内でのタンパク質分解を簡便にモニタリングできる技術の確立は、生命科学研究および創薬研究の両面から極めて重要である。タンパク質分解の解析には、これまで主としてタンパク質合成阻害剤シクロヘキシミド (CHX) を用いる手法が用いられてきた。この方法では、CHX 存在下でタンパク質合成を阻害し、目的タンパク質の減少をウェスタンブロットや蛍光タンパク質を利用して検出する。しかしながら、この方法では CHX が細胞内の全てのタンパク質合成を一律に阻害してしまうため、細胞機能そのものに影響を与えるという欠点がある。

これまでに我々は、PYP タグラベル化プローブのうち、ラベル化時に蛍光を発する一方、未結合または分解後には非蛍光性となる OFF-ON-OFF 型蛍光プローブを開発し、タンパク質分解の可視化を実現してきた。しかし、従来のプローブは、PYP タグへの反応速度や結合の安定性に課題を抱えていた。そこで、近年開発された PYP タグ用蛍光プローブ「DCCA」に注目した。DCCA は PYP タグと迅速に反応し、既存プローブよりも安定な複合体を形成できる特性を有する。2024 年度の研究では、DCCA がタンパク質分解に伴い非蛍光性となるかを明らかにして、生細胞レベルでの分解検出への応用可能性を評価した。

まず *in vitro* 実験において、PYP タグを DCCA で標識した後、切断特異性の異なる 3 種類のプロテアーゼ (トリプシン、Glu-C、キモトリプシン) を添加し、蛍光変化を観察した。その結果、DCCA はタンパク質分解に伴い顕著な蛍光減衰を示し、分解応答性を有することが確認された。さらに、生細胞イメージングにおいては、半減期の短いマウスオルニチン脱炭酸酵素 (MODC) 由来のプロテアソーム分解誘導ドメインを融合した PYP タグを HEK293T 細胞で発現させ、DCCA により標識を行った。その結果、細胞内でタンパク質分解が進行するにつれて蛍光強度の低下が観察され、生細胞においてもタンパク質分解の動態を可視化できることが明らかとなった。

#### (2) GLUT4 の膜動態の制御機構解明と操作

グルコース輸送体の一種である GLUT4 は、細胞内貯蔵小胞やゴルジ体、エンドソーム膜に多重局在し、インスリン刺激に応答して細胞膜に移行し、血中グルコースを細胞内に取り込むことで、血糖値を低下させる役割を担っている。以前の研究で、GLUT4 の膜外ループに結合している N 型糖鎖が欠損すると、GLUT4 はインスリン刺激時に細胞膜に移行するものの、その局在を維持できずに、迅速に内在化することを示した。このことから、糖鎖は、インスリン刺激時における GLUT4 の細胞膜への局在維持の役割を担うことを明らかにしている。一方、N 型糖鎖がいかんして、GLUT4 の動態を制御

しているかは明らかになっていなかったため、本研究では、近位依存性標識技術とプロテオミクス解析を行うことで、その動態制御機構を解明することを目的とした。

以前の研究で、GLUT4 の糖鎖とタンパク質が細胞膜表層で相互作用し、その動態を制御していると考え、相互作用タンパク質を同定するために近位依存性標識技術の基盤技術を開発した。その際に、前述の PYP タグを挿入した GLUT4 をビオチン化するための化学プローブを合成し、細胞表層の PYP-GLUT4 をビオチン化し、ストレプトアビジン-酵素連結体を利用して、GLUT4 近傍のタンパク質をビオチン化することに成功した。2024 年度では、近位依存性標識の最適な反応基質を決定するために、GLUT4 近傍のタンパク質をビオチン化するとともに、デスチオビオチン化するための酵素基質の合成を行い、近位依存性標識反応と標識タンパク質の捕捉効率を検討した。デスチオビオチン基質は、アビジンとの相互作用がビオチンより弱く、近位依存性標識反応後に補足したタンパク質の回収効率が上がることが期待されたが、標識効率そのものが低かった。このことから、近位依存性標識には、ビオチン化基質を適用した。近位依存性標識により GLUT4 近傍のタンパク質をビオチン化し、ニュートラアビジンビーズで捕捉後、MS/MS を用いて捕捉タンパク質を同定することに成功した。今後は、プロテオミクス解析の結果を精査し、ロックダウン実験等を通して、糖鎖相互作用タンパク質を同定していく予定である。

動態制御機構の解明に関する研究と同時に、GLUT4 動態操作技術の開発に取り組んだ。GLUT4 が細胞膜へ一定時間局在し、グルコースを細胞内に取り込むことは、血糖値の低下において極めて重要である。その細胞膜局在が維持されない場合は、血糖値の上昇に繋がり、2 型糖尿病の原因となる。このことから、GLUT4 の動態を操作し、細胞膜局在を操作することは、糖尿病の強力な治療戦略となりうる。そこで、本研究では、GLUT4 の細胞膜局在とその局在時間をコントロールする技術の開発を行うことを目的とした。これまでの研究において、PYP を挿入した GLUT4 糖鎖欠損変異体を合成糖鎖でラベル化すると、細胞膜局在が維持されることを示してきた。2024 年度の研究では、ある種の膜結合色素でラベル化すると、合成糖鎖と同様に GLUT4 糖鎖欠損変異体の細胞膜局在が維持されることを示した。以上の研究では、PYP-GLUT4 のリコンビナントタンパク質を細胞に発現させて行う技術をベースにしているため、内在性 GLUT4 を標的とすることができなかった。そこで、内在性 GLUT4 を標的化するために、抗 GLUT4 ナノボディを用いることとした。抗 GLUT4 ナノボディを合成糖鎖および上述の膜結合色素でラベル化するために、ナノボディに PYP タグを融合したタンパク質の遺伝子をクローニングし、大腸菌にて発現することを確認した。今後は、PYP タグ融合抗 GLUT4 ナノボディを精製し、合成糖鎖および膜結合色素でラベル化し、内在性 GLUT4 を操作できるかを検証していく。

### (3) ミスフォールドタンパクタンパク質を検出するハイブリッドプローブの開発

膜タンパク質や分泌タンパク質は、小胞体へと輸送されて生合成された後、フォールディング（折り畳み）によって正しい立体構造を形成し、機能を発揮するようになる。一方で、疾患に伴う炎症やウイルス感染、あるいは化学物質への曝露などによって生体にストレスが加わると、正常に構造形成できないミスフォールドタンパク質が生じ、小胞体内に蓄積する。このような異常タンパク質の蓄積は、糖尿病や神経変性疾患、がんをはじめとする多くの疾病の発症要因となることが知られている。したがって、ミス

フォールディングを検出し、小胞体ストレスを可視化する技術の開発は、疾患発症機構の解明や新たな治療法の創出に寄与するものであり、生命科学のみならず医学・薬学分野においても極めて重要な課題である。しかしながら、凝集体を形成する段階まで進行したミスフォールドタンパク質を検出する蛍光プローブは報告されているものの、小胞体ストレス下におけるミスフォールディングの初期段階、すなわち凝集に至らない段階、を定量的に可視化する手法は、重要性が高いにもかかわらず未だ確立されていない。このため、ミスフォールドタンパク質を可視化する新たな技術の創出は、基礎科学の深化のみならず疾病機構の理解においても強く求められている。そこで我々は、細胞内のタンパク質品質管理システムの制御に関与するタンパク質に着目し、独自のタンパク質ラベル化技術を応用して、合成蛍光色素をタンパク質に組み込む化学・生命科学融合型のハイブリッドプローブの開発に取り組んだ。

2024年度の研究では、ハイブリッドプローブを構成するミスフォールドタンパク質のセンサー部位としてフォールディングセンサータンパク質の一種である UGGT を選択し、蛍光アウトプット部位として、SiR または TAMRA という色素を選択した。また、これらの分子を連結するために、PYP タグラベル化技術を応用した。すなわち、UGGT に PYP タグを融合させた UGGT-PYP を、色素に PYP タグリガンドを繋いだ分子でラベル化することで、ハイブリッドプローブを構築しようと考えた。まずは、*in vitro* でハイブリッドプローブによりミスフォールドタンパク質を検出可能か検討するために、UGGT-PYP の遺伝子をサブクローニングし、大腸菌発現系にて発現し精製を行った。その後、ラベル化分子で UGGT-PYP をラベル化しハイブリッドプローブの構築が完了した。また、ミスフォールドタンパク質の基質として、N 末端をプロテアーゼで切断した RNaseB の糖鎖付加体を調整した。今後は、ハイブリッドプローブにより調整した基質と反応させ、蛍光特性が変化し、ミスフォールドタンパク質を検出できるか詳細に検討していく。

#### (4) RNA メチル化を検出するハイブリッドプローブの開発

N6-メチルアデノシン (m6A) は、アデニンの 6 位アミノ基がメチル化されたヌクレオシドであり、真核生物における代表的な RNA の修飾の一つとして広く知られている。m6A 修飾は mRNA の安定性や翻訳効率、局在制御に関与し、その異常はがんをはじめとする多様な疾患と密接に関連することが報告されている。したがって、生細胞内における m6A の空間的分布や動的变化を可視化・定量化する技術の確立は、遺伝子発現制御の理解および病態形成機構の解明において極めて重要である。本研究では、核酸との結合により蛍光を発する核酸結合型色素を活用し、m6A を生細胞内で直接蛍光検出するための合成色素／タンパク質ハイブリッドプローブの開発を目的とした。設計したハイブリッドプローブは、m6A 結合タンパク質と PYP タグからなる融合タンパク質と、これに特異的に結合する核酸結合色素との複合体で構成される。m6A 結合タンパク質が標的 m6A 配列に結合すると、PYP タグを介して色素が RNA 近傍に誘導され、蛍光シグナルが増強されるという原理に基づく。

本研究では、近年開発した高反応性 PYP ラベル化リガンドを基盤として、種々の核酸結合色素を連結した新規ラベル化分子を合成した。また、m6A 結合タンパク質の構造改変と機能最適化を行い、ハイブリッドプローブを構築し、m6A 含有 RNA と反応させた。その結果、m6A 含有 RNA との結合に伴い蛍光強度 (2~7 倍) が上昇し、その上昇

は、非メチル化 RNA に比べてより大きい (1.2~2 倍) ことが示された。今後は、更なる蛍光強度上昇と m6A 選択性の向上を目指して、ラベル化分子の構造最適化を行う。

#### 研究分野

ケミカルバイオロジー、蛍光イメージング、有機合成化学、分光学、生物物理化学、タンパク質化学、細胞生物学、分子生物学、生物化学

#### 研究課題

タンパク質ラベル化技術の開発と応用、蛍光プローブの開発、タンパク質分解の可視化、近位依存性標識技術の開発と応用、膜タンパク質の動態解析、糖鎖による膜動態制御機構の解明、核酸の化学修飾の可視化、蛍光スイッチングプローブの開発

#### 参考 URL

<http://chem.kyushu-univ.jp/horilab/>

## 構造機能生化学研究室

松島 綾美 准教授

### 教育目標

構造機能生化学研究室 (Laboratory of Structure-Function Biochemistry) は、教育目標を「共に学び、共に成長する」、研究目標を「好奇心に従い真理を追究する」ことに置き、教員と学生とで行う先端的な研究の展開を通して、優れた研究者、技術者、教育者を養成することを目指している。すなわち、独創的な研究を推進しつつ、その過程における個人的な、あるいは集団的な人的接触を通じて、社会人として優れた研究者の養成を目指す。また、好奇心に従った真理の追求研究は、最終的には問題解決型の研究展開ではなし得ないような、現実社会における偉大な貢献に繋がると考えている。特に、化学部門にある生物化学系の研究室としては、広範な「生化学」の教育研究分野において「化学」を中核・基盤の分野と位置づけ、「化学」に基礎を置く優れた生化学者の養成、育成を重視している。このように、教育と研究を一体のものとして、教員と学生が強力に協同し、先入観のない学生の頭脳と、新旧の様々な実験経験をもつ教員の間で、相乗効果を発揮しながら進んでいる。

学生に良い教育を行うために、そのツールとなる良い研究が必要である。研究は常に最先端の課題に取り組むことになる。現時点で分かっていないことで、その解明が学問的に重要かつ緊要な課題に取り組むことになるが、「なぜ？」という気付きを重視している。その解決を目指す、論理的な思考を身につけることを求めている。

研究室では、お互いの人格の尊重に十分に配慮した生活空間の創生に努めるようにしてきた。相互の思いやりを大切にする研究室であるように心がけ、その精神は十分に発揮されてきたと思われる。なお、こうした精神をより強く活かす研究室特有の年中行事として、宮崎宮放生会における実験動物供養とその後の研究祈願会等を行ってきている。また、公費による研究活動者の義務として、研究教育活動の客観的な全容は、個人的な感懷を除きつつ、研究室のホームページ <https://www.scc.kyushu-u.ac.jp/biochem/> を通じて、常に最新の情報を発信している。

### (講究・演習)

構造機能生化学研究室 (なお、旧講座名称は生物化学講座であり、時折、通称として使用している) では多様な講究・演習を実施し、学生・院生の啓発に努めてきた。研究室で実施してきた講究は次の3つである。① セミナー：最新の最先端報文を詳読し、構造機能相関を分子レベルで理解する基礎的な力を養う研究論文抄読会 (年5回／4年生、年3回／大学院生、年1回／教員)、② レクチャー：専門分野の時宜相応の1つの研究課題について、ここ数年間の論文を収集して総説にまとめるか、学術誌の総説を講義する総説会 (年1回／大学院生)、そして、③ リサーチプロGRESSミーティング：各自の

研究の進捗状況を、実験内容、解析手法および結果等について解説、討議する研究中間報告会（教員を含めた全員が年4回レジメ提出・年4回発表）。セミナーについては、開催日時と紹介内容・タイトルを研究室のホームページで公表している。

### （学生の研究活動）

修士学生、4年生を含めて、常に真理を探究すべくさまざまな視点から、時宜に即して学術的に意義の高い研究課題について、果敢に挑戦している。従って、萌芽的、挑戦的な課題が多い。学生の研究発表は、第61回化学関連支部合同九州大会（福岡市）で2件、令和6年度日本生化学会九州支部例会（福岡市）で1件、第28回日本環境毒性学会研究発表会（東京都文京区）で1件、第35回DV-X $\alpha$ 研究会（福岡市）で1件、第61回ペプチド討論会（名古屋市）で1件であった。

### 研究目標

構造機能生化学研究室では、レセプター（受容体）について、生体情報伝達の分子機構解析・解明を目標に、独自の研究手法で、独自の研究視点から精力的に取り組んできた。特に、分子情報伝達システムの中核をなす受容体の分子起動メカニズムの解明を研究課題の中心に据え、脳神経情報伝達系の神経ペプチドやタンパク質の受容体、血管系のプロテアーゼ活性化受容体（PAR1）、細胞核内での遺伝情報発に機能する核内受容体（転写因子）などについて、リガンド-受容体分子間相互作用の解析と機構解明に鋭意取り組んできた。

こうした研究において具体的には、「痛み」に関わるGタンパク質連関型受容体の活性化機構、内分泌攪乱化学物質（環境ホルモン）の核内受容体応答機構、概日リズムの分子機構、の3つについて、分子間相互作用の解析に努めてきた。独創的な分子探索子や分子追跡子『トレーサー』を設計・創製し、これを用いた新規で系統的な分析手法を開発しながら進めた。構造機能生化学研究室ではこのように、新しい分子基盤に基づく生体分子間相互作用の多方面からの鋭意な解析研究により、受容体に一般的な分子起動、機能発現の分子機構解明をめざしている。

短期的には、エストロゲン受容体およびエストロゲン関連受容体を取り巻く環境化学物質の影響解析に力を入れている。環境化学物質に由来した構造を持つ、治療薬の開発や、環境化学物質が示す特異な活性の分子機構解明を目指している。環境化学物質が結合する受容体は、細胞核内で遺伝子の転写翻訳を制御する転写因子である。そして、中長期的には、痛みに関わる神経ペプチドであるオピオイドを研究してきた経緯から、これらのオピオイドペプチド前駆体を転写制御することによる、モルヒネなどのオピオイド治療薬で問題となる依存性や耐性のない、これまでにない新しいメカニズムの鎮痛薬の開発を目指している。

## 研究室構成員

准教授：松島綾美

修士：（2年）小野原永遠、荒巻光汰、中村圭太、（1年）香西丈一郎、絹笠雅門

学部4年生：梶山尊、金崎康平

## 研究室構成員の2023年度進路

修士：進学、ライオン株式会社、三菱ガス化学株式会社

学部4年生：進学

## 研究分野

生物化学、受容体化学、構造機能生化学、ペプチド科学、分子薬理学、酵素化学、神経科学、ケミカルバイオロジー、生物有機化学、環境生化学、構造生物学、計量化学、リスクサイエンス

## 研究課題

脳神経受容体の起動分子機構の解明および構造機能相関の解析

内分泌かく乱化学物質（環境ホルモン）の核内受容体応答機構の解明

生理活性コンホメーション変化の分子機構解明

受容体分子機構解析用分子ツールのケミカルバイオロジー

受容体応答におけるハロゲン結合-逆ハロゲン結合の分子機構解明

受容体アゴニズム-アンタゴニズムの相互機能変換

概日リズムの発振、伝達に関わる生物時計の分子機構およびその異常の解析

参考URL：研究室ホームページ <https://www.scc.kyushu-u.ac.jp/biochem/>



## [複合領域化学講座]

### 理論化学分野

中野晴之教授，渡邊宙志准教授，渡邊祥弘助教，鈴木聡助教

#### 教育目標

本年度は，修士課程 2 年生 3 名，1 年生 1 名，学部 4 年生 5 名，留学生 1 名が在籍した。修士課程の学生については，学部で身につけた量子化学の理論と計算手法を基礎に先端的な電子状態理論の新たな開発や電子構造・化学反応機構の解明を行うことを，また，学部学生は，分子軌道法，密度汎関数法の基礎を理解することとともに，研究課題について背景と意義を理解し，それを説明できること，および，研究の進め方を知りそれを経験することを目標としている。

研究室セミナーは，大学院学生は，理論化学分野の理論・計算手法を学ぶため，理論・計算手法の原著論文の輪読を，学部学生は，分子軌道法の基礎を身につけるため「新しい量子化学」（ザボ，オストランド著）の輪読を行うとともに，研究発表，文献紹介を行った。

また，大学院学生は，分子シミュレーション討論会などの国内学会において，おのおの研究発表を行った。継続して，名古屋大学，新潟大学，大阪大学，京都大学，京都工芸繊維大学，東京科学大学，慶應義塾大学，産業技術総合研究所のグループとの共同研究も進めている。

#### 研究目標

理論化学研究室では，分子および分子集合体の構造，物性，反応を理論的に解明すること，特に，新たな電子状態理論，新たな溶液理論を開発し，それを基に化学現象を解明することを目標としている。

本年度は，相対論的分子軌道理論における QED ハミルトニアン of 理論的再検証，分子液体の積分方程式理論の荷電粒子に対する水和熱力学応答への適用可能性，ククルビット[7]ウリルによる分子認識で誘起されるベンズイミダゾール誘導体の電子構造変化に関する QM/MM/3D-RISM 研究， $^{13}\text{C}$  および  $^{18}\text{O}$  置換トロポロンのフーリエ変換マイクロ波分光，柔軟な七員環構造をもつ分子における室温近傍の  $\pi$  共役ネマチック液晶，組合せ最適化における量子緩和のノイズ耐性，等の論文を出版するとともに，第 7 周期 p ブロック元素フッ化物の結合に関する理論的研究，芳香族性の新たな磁氣的指標 NICS(m)<sub>zz</sub> の理論的検証，ピロール  $n$  量体の構造と励起状態に関する理論的研究，マルチス

ケールモデルによる分子動力学法の開発，機械刺激感受性チャネルの解析等を行った。以下に主なものを記す。

### (1) QEDハミルトニアン of 理論的再検証

以前公開した論文 (Inoue et al, *J. Chem. Phys.* **159**, 054105 (2023)) について提起された問題について改めて検証した。Quantum electrodynamics (QED) ハミルトニアン of 定義に使用された縮約 (contractions) とフェルミオンの交換関係との一貫性，ハミルトニアン of 非相対論的極限，および，一般化された電子相関に起因する全エネルギーの発散とその除去，に関する議論を中心として，以前の論證 of 論理的整合性を明らかにした。また，各種縮約 of 交換関係との整合性に関する整理，および，QED ハミルトニアン of 定式化とそこから引き出される計算手法 of 等価性の証明も併せて行った。

### (2) 第7周期pブロック元素フッ化物の結合に関する理論的研究

ニホニウム (Nh) などの第7周期pブロック元素は不安定な原子核のために短寿命である。そのため，第7周期pブロック元素を含んだ分子は量子化学計算を用いて分子物性や電子状態が予測されている。本研究では，第7周期pブロック元素フッ化物に焦点を当て，それらの結合に関する分子物性について考察した。特に，平衡核間距離に着目し，第7周期pブロック元素における相対論効果の影響を解明するために，4成分相対論的分子軌道法を用いて調査を行った。得られた結果から，相対論効果を考慮することで，第7周期pブロック元素フッ素化物の平衡核間距離は第6周期pブロック元素フッ化物のものと異なる傾向を示すことがわかった。

### (3) 芳香族性 of 新たな磁氣的指標 NICS(m)<sub>zz</sub> of 理論的検証

芳香族性は，有機化学物 of 安定性を説明する化学 of 重要な概念の一つである。以前の研究で，磁氣的指標 NICS 値が三重項励起状態にも有効であることを明らかにした。ただし，分子平面上 of  $\sigma$  環電流と分子平面から離れた  $\pi$  環電流 of 二つを有効に取り入れるには新たな指標が必要であるとして，NICS(m)<sub>zz</sub> を提案した。この NICS(m)<sub>zz</sub> は，これまでの NICS 値よりも分子全体の芳香族性を測る指標として優れていると考えられるが，三重項励起状態 of 分子について研究されたため，芳香族性が元来定義された基底状態 of 分子に対する適用性 of 検討がなされていない。そこで，本研究では，NICS(m)<sub>zz</sub> を基底状態分子に適用し，基底・励起状態 of 芳香族性 of 指標としての総合的な適用性を調査した。その結果，NICS(m)<sub>zz</sub> は，基底一重項分子 of 芳香族性もよく再現し，特に多環炭化水素 of 分子全体の芳香族性を表現

するよい指標となることを明らかにした。

#### (4) ピロール $n$ 量体の構造と励起状態に関する理論的研究

ポリピロールは導電性や半導体特性を示し、電気工学やセンサー分野で利用される。可視光吸収は骨格に沿った $\pi$ 共役系に由来しその構造はtrans-ポリアセチレンと類似している。後者ではHOMO-LUMO二電子励起が低エネルギーに現れることが知られている。本研究では $n=2\sim 10$ のオリゴピロールを対象に構造最適化と励起状態計算を行い、trans-ポリアセチレンや先行研究のオリゴチオフェンと比較して、共通点や相違点、その要因を検討した。その結果、構造については交互に重合した構造が最安定であること、鎖長が長いほど共役度は増すこと、オリゴピロールではオリゴチオフェンとは異なり低励起状態に二電子励起は現れないことが明らかになった。

#### (5) スピン軌道相互作用の高次摂動展開による項間交差速度の解析

熱活性化遅延蛍光TADFは、三重項励起状態から逆項間交差(rISC)を経て生成する一重項励起状態から得られる蛍光である。重元素を用いずに、高効率な有機発光ダイオードを実現する物質として注目を集めている。状態間遷移の速度が発光効率という機能性に直結することから、rISC速度の理論的な理解、並びに、それに基づく分子設計が求められる。一次の摂動展開である Fermiの golden ruleによる表式によると、スピン軌道相互作用(SOC)を大きくし、かつ、一重項励起状態と三重項励起状態間のエネルギー差を小さくすることで高速なrISCが実現されると考えられる。一重項励起状態と三重項励起状態間のエネルギー差を小さくする分子設計によって、実際に高い発光効率を示すTADF分子が知られている一方、そのような分子設計ではEl-Sayed則からSOCは小さくなるという問題点が知られている。本研究では、Fermiの golden ruleを超える枠組みとして、高次の摂動展開に基づいてrISC速度を導出した。導出した式を基に、既知の分子のrISC速度について解析を行った。多くのドナーを導入して三重項励起状態の状態密度を増やすこと、平面性の高い分子を用いて大きな非断熱カップリングを得ることが高速なrISCを実現する分子設計指針として得られた。

#### (6) 溶液系の分子動力学法の開発

溶媒の量子化学効果を取り込むためには、量子力学モデル(QM)を利用する必要がある。しかし QM モデルは計算コストが大きく溶液系全体に適用することは困難である。これに対処するために溶媒の分子モデルが溶質との距離に応じて、シミュレーションの最中に溶媒が QM モデルと古典的な

MM モデルとの間で滑らかに切り替わることを目的とした adaptive QM/MM 法が提唱されてきた。しかし adaptive QM/MM 法は、人為的な境界から生じるアーティファクトが問題となる。そこで、本研究は adaptive QM/MM 法の中で利用される重み関数の定義を工夫することで、アーティファクトを小さくすることが可能かを検証/実証を行った。

#### (7) 変分量子アルゴリズムの開発と応用

変分量子アルゴリズムでは従来、単一量子ビットゲートがパラメーター化されて最適化されるが、今回のプロジェクトは通常固定される制御量子ゲートをパラメータ化して最適化する。その際に制御ゲートを四元数を用いて一般化した表現で表しそれを最大最適化するアルゴリズムを提唱した。またこの最適化アルゴリズムは並んだ controlled-gate と uncontrolled-gate の自己無撞着な最適化や、化学計算で活用される粒子数保存ゲートへの応用など幅広い変分アルゴリズムへの応用が可能である。特に同手法は、深いユニタリ回路を浅い回路で変分的に近似する量子コンパイルで高い性能を発揮することも確認され、分子ハミルトニアン の時間発展演算子のコンパイルによる精度とコストの圧縮のバランスについて解析を行った。

#### (8) 植物の機械刺激感受性チャネルのイオン透過性の解析

近年、機械刺激や匂い刺激に対するカルシウム波の伝播が植物の情報伝達手段として注目を集めている。しかし機械刺激の入力がカルシウム波に変換される詳細なメカニズムは分かっていない。そこで一連のメカニズムの起点を担う機械刺激感受性チャネルに対する分子動力学シミュレーションを実行して、ゲートの開閉/イオンの透過のパス/透過のキネティクスの解析を行った。

### 研究分野

理論化学，量子化学，電子状態理論，液体論，分子動力学法，量子コンピューティング

### 研究課題

高精度電子相関理論，相対論的分子軌道理論，溶液系・生体系の非経験的分子理論， $\pi$  共役系の電子状態の系統的な理解，インターフェイス系の分子軌道理論と化学反応，溶液系の分子動力学法の開発，変分量子アルゴリズムの開発，イオンチャネルの分子シミュレーション

参考 URL <https://www.scc.kyushu-u.ac.jp/TheoChem/>

## 触媒有機化学分野

徳永 信 教授, 山本英治 准教授, 吉澤明菜 助教

### 教育活動

触媒有機化学研究室は、2024年度は教員3名で教育、研究活動を行った。また、山本英治 助教が4月に准教授に昇進した。また、博士課程6名、修士2年生6名、修士1年生6名、学部4年生5名で研究室を運営した。また、修士課程には、近畿大学(1名)、福岡教育大学(2名)からの進学者が在籍した。また、中国からの留学生4名(博士課程4名)、韓国からの留学生1名(博士課程1名)が在籍した。文献紹介ゼミを毎週木曜日の夜にオンラインで行っている。このセミナーを通じて、有機化学、触媒化学および関連分野の基礎事項の確認と習得、研究分野の最新情報、研究の価値や意義、および専門用語を含む英語の勉強を行った。また、月に2回程度、研究の進展状況の報告を実施した。研究室全体での研究の発表も年に2回行った。2024年度は、10件の学会発表を行った。

### 研究活動

当研究室では、有機分子触媒、均一系錯体触媒、固体触媒の研究を行っており、有機合成や触媒反応だけでなく、食品化学やトライボロジーの分野まで研究対象を拡げている。有機分子触媒の研究では、不斉酸塩基触媒によるアズラクトン類の不斉加アミン分解の研究を継続して実施した。ここでは、得られた生成物を再結晶すると、溶液部分からは高い鏡像体過剰率の生成物が得られ、固体部分からは低い鏡像体過剰率の生成物が得られる優先富化現象が確認された。また、非選択的な無触媒反応を抑制する、逆触媒作用が機能する系であることも見出した。固体触媒を用いた触媒反応開発は、バルクケミカルや石油化学、またプラスチックのケミカルリサイクルで得られる一酸化炭素や合成ガスの有効利用を志向した研究を行った。具体的には、C4石油化学プロセスで有用なアリルエステルの異性化反応、C4およびC5中間体の酸化反応、C2およびC3中間体のアルコキシカルボニル化反応、また揮発性有機化合物の低濃度での分解反応、さらに、極圧添加剤として有用な硫黄化合物やチオール触媒的合成反応などを検討した。硫黄化合物の合成では、毒性の低い金属を利用した有力な新触媒系を見出した。また、ガソリンなどからの脱硫の新手法開発としてチオフェン誘導体の分解や酸化なども行った。一方、担持金ナノ粒子の食品化学分野への応用として、日本酒からの老香の選択的除去の研究や、焼酎の飲みにくさ、臭さの原因となっている硫黄化合物の除去を行った。担持金ナノ粒子に関しては新たな調製法の開発、前駆体の開発と構造、焼成時の金の状態変化などに関する検討を行った。

- 1) ○真崎裕司・邱逸飛・山本英治・村山美乃・吉澤明菜・加藤裕樹・二宮航・徳永信  
マンガン修飾チタニア担持金ナノ粒子触媒を用いた液相空気酸化によるメタクリル酸の合成  
第61回化学関連支部九州地区合同大会, 福岡県, 北九州国際会議場, 6月29日 (2024)  
OC-2-0091 [優秀発表賞 受賞(ポスター)]
- 2) ○山口雄大・○元誠庸・河合 靖貴・向野 友稀・市川 聖人・山本 英治・吉澤 明菜・徳永 信  
アズラクトンの動的・速度論的・光学分割によるアミノ酸ヒドラジドの触媒的不斉合成とその優先富化現象  
九大化学フェスタ, 福岡県, 九州大学伊都キャンパス 12月14日 (2024) P-21 (ポスター賞)
- 3) Theoretical Investigation of Allyl Alcohol Isomerization Over NiO-Supported Au Catalysts  
Ishimaru, Y.; Fujimaru, K.; Ishida, T.; Tokunaga, M.; Kawakami, T.; Yamanaka, S.; Okumuara, M.  
*Chem. Lett.* **2023**, 4, 53, upae053.
- 4) 環境にやさしい水素利用金属触媒反応を用いた硫黄系潤滑油添加剤の合成  
山本英治, 蒲池高志, 松枝宏尚, 徳永 信, 潤滑経済, **2024**, 709, 37.

## 研究分野

有機合成化学, 均一系触媒化学, 固体触媒化学, 放射光分析化学, 電気化学, 食品化学, ナノテクノロジー

## 研究課題

担持金ナノ粒子調製法の開発, 酸化物担持の貴金属ナノ粒子触媒を用いる酸化反応, 還元反応, C-C結合形成反応, 合成ガスの利用, 均一系触媒および固体触媒を用いる酸素求核剤の付加反応, アリル異性化反応, 不斉有機触媒反応, 担持貴金属ナノ粒子による日本酒や焼酎からの硫黄化合物の除去

## 参考URL:

<http://www.chem.kyushu-univ.jp/shokubaiyuki/>

## 量子生物化学分野

秋山良 准教授

常勤スタッフとしては秋山のみの研究室であるが、2018年度まで所属していた末松安由美氏（九州産業大学理工学部基礎サポートセンターに特任講師）が共同研究員として加わっており、月曜ゼミに加えて、不定期に議論を行っている。秋山は、2023年度にはMini-Symposium on Liquidsの開催、放送大学の客員准教授、Physica A (Elsevier)のEditorial Boardメンバーとして学会や出版関係の活動をおこなった。その一方で、この年は資金面で大きな困難（主に校費）を抱えて、招待があっても海外での活動にほとんど応えられない状況であった。幸い、財団関連の資金で幾らか改善があったため海外での発表を行う事ができた。また、秋山がTan Chin Tuan Exchange Fellowship Award（南洋理工大学、シンガポール）の受賞により資金を獲得できたので、8月はじめから9月後半までシンガポールに滞在して研究活動を行う事ができた。

学部学生2名と大学院修士学生1名、大学院博士学生3名からなる研究室体制で研究を進めた。そのおかげで、研究・研究活動を維持できた。2024年の出版物点数は2点(原著論文2点)でやや低調であった。これは教科書の執筆による圧迫が強かったからである。そのうちの1冊は2月終わりに脱稿した。さらにもう1冊を翌年度の半ばの脱稿を目指している。学部学生2名は大学院に進学、修士2年生を1名企業に送り出した。博士後期課程の学生が九州大学の助教に内定した(2025年3月に学位を取得し、2025年4月に赴任)。また前年に博士を取得していた元学生が取得後半年で九州大学の別のセクションの助教として赴任した。一方で、博士後期課程の学生の1名が退学したことは残念であった。

### 教育目標とその到達度

研究室内での教育の基本方針はこれまでと同様で、液体論とその周辺の現象を中心に扱いつつも、特定の分野や手法に縛られる事が無い様に注意した。すなわち化学や生物に関する問題を見つけ、統計力学や熱力学等の考え方をを用いて問題の創造を行う能力の養成を第一の目標とし、次いでその問題の解決能力の養成を第二の目標とした。さらに、自分の仕事を適切に他者に伝える技術の習得を第三の目標とした。

上記の目標に向かって進むために、特定分野の専門知識を増やす事よりも、知的活動の為の足腰を鍛える事が重要であると考えた。そこで、物理、数学、コンピュータのプログラム作成、文献からの情報収集能力の獲得を学生に要求した。卒業研究の時期を大雑把に前半（11月後半まで）と後半（3月まで）に分けた。そして、前半で、教科書の勉強会、プログラミング実習、原著論文の紹介等のメニューをこなしてもらった。後半では卒業研究を中心に行った。また前期には、研究を離れて英語の文献読みをほぼ毎日行なった。本年度は対面をメインに進めていたが、秋山がシンガポールに滞在している間

は、概ね各自進めてもらった。(リモートで相談などは行った)教科書の勉強会、プログラミング実習はそれでも進行していた。学部学生の実力は非常に優れていたといえると思う。

勉強会では、具体的には数学や物理の考え方と基本技術の学習を目的に

(1) 高橋康著 量子力学を学ぶ為の解析力学入門

をほぼ全て学習し、さらに統計力学を学ぶために

(2) David Chandler著 統計力学概説

に接続した。この教科書では特に化学に関連する統計力学の基本的な知識と取り扱いについて学ぶ事を目的とした。簡単な例題作成にポイントを置くことで、『統計力学や熱力学は、化学や物理の単なる道具ではなく、その考え方自体はもっと広い』という事に注意しながら議論を進めた。目標は十分なレベルで達成された。

4年生のプログラミング実習では、既存のソフトウェアを単に利用するのではなく、自らの望む計算をプログラミングできる能力の養成が目標である。そこで前期の間に

(1) UNIX上でのコンピュータの基本操作、

(2) 研究室のWebページの作成

から開始し、

(3) NEVおよびNTVアンサンブルでの単純液体の分子動力学シミュレーション・プログラムおよび解析プログラムの作成、

などを行った。こうしたコンピュータの利用についても目標は概ね達成されていた。

後半の時期では、4年生に関しては拘束空間による分子吸蔵現象と分子会合の分子シミュレーション開発を対象に研究を進めた。この時期は、特に自分の考えをまとめ、伝え、議論する能力の養成を目標とした。そのため、秋山の時間がある限りは議論を行った。また、シンポジウムやセミナーなどで外部との接触をはかった。

一人よがりでない科学的探索を行う上で、議論を行う能力とともに情報の獲得が重要である。多くの情報は英語の原著論文にあるため、

(1) 英語の教科書等の読書会

を行った。可能な限り毎朝実施した。読みやすい英文をたくさん読む事を重要視し、D. W. Oxtoby: Principles of Modern Chemistryなどを、毎朝1ページ程度読んで自分なりに発表する練習を行ってもらった。一定の上達を得られた。

なお、今年度は秋山が手術のため3回入院していたため、適宜簡略化するなどの対処を行い、期間内に完了できる様に調整を行なった。

## 研究目標とその到達度

本研究室の目標は、特に溶媒の効果に着目して生体分子の性質を考える事にある。ただし、生物物理、物理化学の中でもより基本的な問題へ興味が進んだ。従って、背景が専門的、個別的すぎるものについては、教育的な点からのみならず研究を深める点から



も避けた方が良く考えた。主に単純な系から法則を見出して物理化学的な現象の説明に向かう傾向の課題を設定した。具体的には以下の様な項目で研究を行った。

- [1] 電解質溶媒中における荷電大粒子間の平均力ポテンシャルと巨大平板が作る構造物の研究 (末松 (九産大)、秋山)
- [2] 同符号荷電コロイド粒子間の強い実効引力相互作用のリエントラント挙動とATPの加水分解を利用した分子モーターメカニズムの研究 (末松 (九産大)、竹田、秋山)
- [3] 溶媒中で大粒子が感じる摩擦の研究 (吉森 (新潟大)、中村 (新潟大)、秋山)
- [4] 高分子結晶への溶媒分子の吸着の研究 (伊藤、千葉 (慶応大)、秋山)
- [5] 水溶液中のタンパク質の拡散係数の計算 (岩下、秋山)
- [6] 積分方程式の高精度化の検証と分子認識 (松尾、秋山)
- [7] 2次元2成分剛体円盤の相転移の研究 (須田、末松 (九産大)、秋山)
- [8] 自己駆動粒子の作り出す空間を利用した液体構造の研究 (新垣、秋山)

- [1] 希薄な電解質溶媒中における荷電大粒子間の平均力ポテンシャルの研究 (末松 (九産大)、秋山)

電解質溶液内でマクロアニオンは実効相互作用を研究してきた。その実効相互作用の研究を元に、平板間の実効相互作用を構成しその平板が作る特異な自己集合体のシミュレーション研究を開始した。平板間の実効相互作用が概ね固まり、シミュレーションが動き始めた。

- [2] 同符号荷電コロイド粒子間の強い実効引力相互作用のリエントラント挙動とATPの加水分解を利用した分子モーターメカニズムの研究 (末松 (九産大)、竹田、秋山)

電解質溶液中では同じ符号を持った荷電コロイド粒子間にも引力が働き凝集などの現象が起こる事が知られている。いわゆる強結合領域での問題を扱った。DLVO理論ではこうした問題は全く扱う事が出来ないため、液体の積分方程式理論を用いてこの問題を扱った。この強い引力は、同符号荷電コロイドの電荷が大きな場合にのみ現れ、その会合安定性は共有結合に匹敵する。さらに、塩濃度が高くなるとその引力は消失する。この結果は、マクロイオンを原子核に、カウンターイオンを電子に置き換え、共有結合の古典描像を想定すると理解できる。実在系の実験結果との一致も良く、この現象における溶媒効果の意味づけに成功したので、その論文を投稿中である。また、この実効相互作用を元に初めてリエントラントな相図を出版することができた (2020年に出版)。水和を考慮した研究に進みつつある。

[3] 溶媒中で大粒子が感じる摩擦の研究 (吉森 (新潟大)、中村 (新潟大)、秋山)

以前、物理学部門にいた中村、吉森との共同研究である。吉森によって、山口理論に特異摂動法を適用する事で溶媒が大きな極限で成り立つ簡便な理論が導出された。様々な巨大粒子-溶媒間動径分布関数に対して拡散係数が計算され、動径分布関数と拡散係数の間の関係が議論された。この方法を、多成分溶媒系に適用した。その結果、巨大分子の影響は、粘性からの予測より大きな事が示されつつある。今年は特に中村により動的な理論部分の近似方法について検討を行った。(2021年に出版) また、共溶媒の効果が予想以上に大きくなる事が示されつつ有る。これまでの結果とタンパク質の拡散の問題と結びつけることを目指して研究を進めている。

[4] 高分子結晶への溶媒分子の吸着の研究 (伊藤、千葉 (慶応大)、秋山)

高分子結晶の隙間には多くの分子が吸着する。それらの吸蔵量や吸蔵のための活性化エネルギーを朝倉大沢理論や液体の積分方程式論で理解し、予測するための研究を開始した。実験結果は、大きな分子が優先的に吸蔵されることを示しており、混合溶液の分離が可能なのであった。そのために最初は固体表面への分子の吸着の問題から取り掛かった。いくつかの問題を調べて、チューブ内への吸蔵の計算に進んだ。実験も完了し両面から議論を行った論文を出版した。溶媒分子同士の斥力を考慮したものについてはまだ出版していないので、グランドカノニカルモンテカルドの計算が飛躍的に進んだ。

[5] 水溶液中のタンパク質の拡散係数の計算 (岩下、秋山)

上記の分子動力学シミュレーションにおける拡散係数の計算値はシミュレーションボックスのサイズ依存性の問題をたんぱく質のケースで調べた。溶媒和層の問題だけでなく、粘性変化の問題もあり、もともとYehらの行ったケースよりも難しい問題が含まれていることがわかった。それらの問題は概ね説明がまとまりつつある。新しくより高度な補完式が適切に機能していることをシミュレーションを用いて確かめて、論文投稿を開始した。(2022年に出版される。) 現在、さらにその拡散係数の変化を各官能機に分解する研究が進んでいる。その際、摩擦係数に注目することでその分解が可能であることがわかり、論文を出版した。

[6] 積分方程式の高精度化の検証と分子認識 (松尾、秋山、中村 (新潟大))

動径分布関数の問題も解決して、HNC-OZ理論にBridge関数を追加したMHNC-OZ理論が極めて高精度であることを、モンテカルロシミュレーションを用いて求めることができ、2成分系の論文を準備中である。さらに松尾がグランドカノニカルモンテカルロシミュレーションのプログラムを組んだおかげで、よりの確な比較が行われつつある。

3次元方程式理論のケースで同じBridge関数がどう機能するかについても結果が得られつつある。2023年度に論文を投稿でき、2024年度の始めに掲載が決定された。補足の研究が進行中である。

[7] 2次元2成分剛体円盤の相転移の研究 (須田、末松 (九産大)、秋山)

3次元2成分剛体球系の相転移の研究は盛んに行われて来ていた。しかし、2次元のケースは実在系との関連がはっきりしていなかったためか、あまり研究されて来ていなかった。そこで、相図を計算し実在系との関連をつけることを開始した。幸い、実在系が見つかり、論文を投稿中である。(2021年度に出版。)更に熱力学的摂動理論による結果も得られつつあり、論文を発表した。さらにシミュレーションの論文を準備中である。

[8] 自己駆動粒子の作り出す空間を利用した液体構造の研究 (新垣、秋山)

自己駆動粒子は引力相互作用をしていなくても、極めて低い密度で群れを作る、すなわち凝集が起きることが知られている。これが、周囲の受動粒子にどのような影響を与えて液体構造をどの様に変化させるかについて、モデルを検討し、試し計算を進めている。出版物の出版状況は活動状況を知る上で指標の1つとなるので、資料として記載する。

今年度が低調であることの原因として、2冊の教科書の執筆の影響は大きい。これは来年度まで続く事になる。ここでは2023年の出版物のみを記載する。

論文：

[1] Tomoya Iwashita, Yuki Uematsu, Masahide Terazima, Ryo Akiyama,  
Decomposition of friction coefficients to analyze hydration effects on a  $C_{60}(OH)_n$ , J. Chem. Phys., 161, 244907 (2024).

[2] Mika Matsuo, Yuka Nakamura, Masahiro Kinoshita, Ryo Akiyama,  
Spatial distribution of reduced density of hard spheres near a hard-sphere dimer: Results from three-dimensional Ornstein–Zernike equations coupled with several different closures and from grand canonical Monte Carlo simulation, Physica A, 644, 129846 (2024).

また、液体論研究の場を作るという観点では、研究室の公開セミナーに加えて、秋山が岡山大の甲賀研一郎氏と共に液体論のシンポジウム “Mini-Symposium on Liquids” を毎年主催し、継続的や活動を行なっている。第17回目を、2024年7月6-7日に九州大学で開催した。

研究分野

化学物理、生物物理、溶液化学、物理化学

研究課題

液体論、蛋白質溶液の相挙動

生体分子や表面での吸着、分子認識、安定性

非平衡状態からの緩和

ATPのエネルギー論

アクティヴマター

参考URL: <http://www.scc.kyushu-u.ac.jp/BioChemPhys/>