

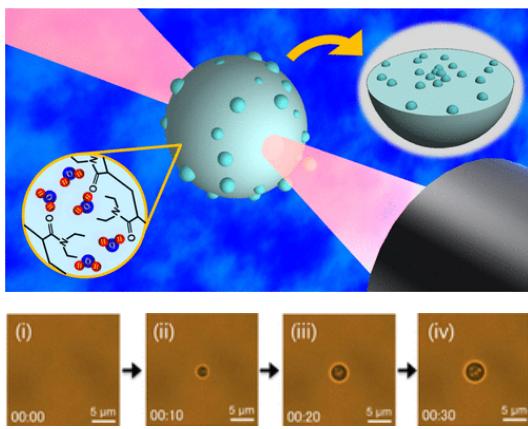
# 先端分析化学研究室

スタッフ： 教授 坪井泰之 講師 柚山健一

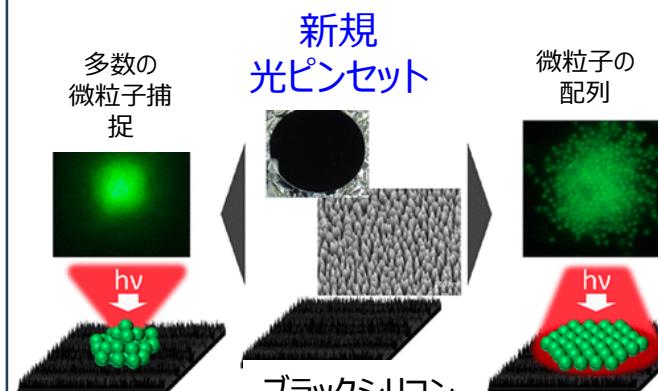
先端分析化学研究室は、**光ピンセット ナノワールド 励起状態の化学** をキーワードにし、新しい高感度分析化学の開拓や、分子系物質の空間操作の方法論の開発を目指した研究を展開しております。

## 具体的な研究テーマ

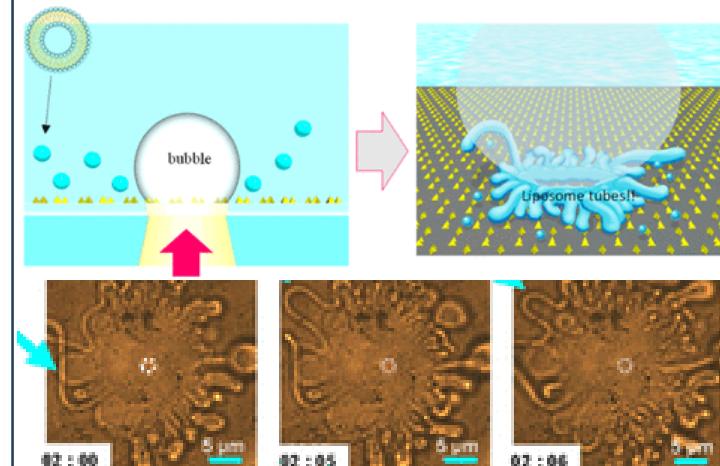
①光ピンセットによる液滴の形成・操作と分析化学応用



②ナノ構造を利用した新しい強力な光共鳴ピンセットの開発



③マイクロバブルによる脂質チューブの形成の化学、油水界面の分析化学



研究室の自慢が、活発な研究活動と豊富な研究資金、そしてたくさんの受賞からわかるように優秀な学生さんたちです。研究室の運営方針は**研究第一線主義 学生さんの成長第一主義 國際性重視主義**です。詳細は研究室HPをご覧下さい（「先端分析化学研究室で検索」してください）。

# 生物無機化学研究室

教授 澤井 仁美、助教（選考予定） 連絡先 hitomisawai@omu.ac.jp

2025年4月に発足した新しい研究室です。生体内の金属の動態（吸収・感知・輸送・貯蔵・排出など）を最先端の分析手法を駆使して探求する「生命金属科学」という国際的にみても新しい研究分野を牽引する研究室です。学内でだけでなく、国内／海外の研究機関や企業との連携体制により、新しい薬剤や測定装置の開発にも取り組んでいます。あなたが健康に生きるために体内で働く金属の真の構造や機能を捉え、病気の理解や診断治療に貢献することに興味がある人、学際的かつ国際的な研究に興味がある人、たくさん実験したい人は、一緒に楽しく研究しましょう！

からだの中の金属を「観る」「理解する」「操る」ための最先端研究を行っています。

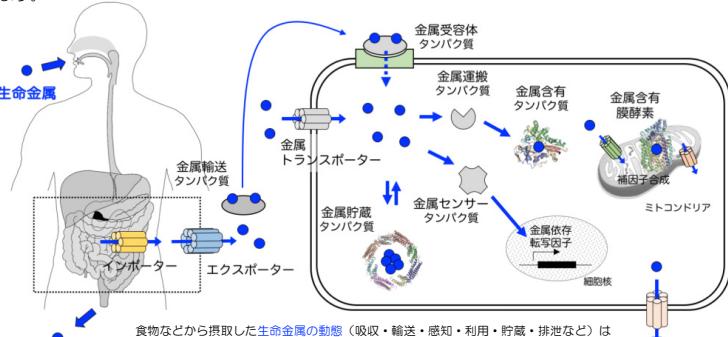
## 概要

### すべての生物の生命維持には金属が必要です！

私たちの細胞は主に水・タンパク質・脂質からできていますが、その他に微量に含まれる「金属」がからだの調子を整えてくれています。食物に含まれる金属栄養素は、鉱物のような状態で存在しているのではなく、多種多様な「タンパク質」に結合することで、その毒ををおさえつつ利用されています。

体内にとり込まれた金属（**生命金属**）は生命維持に不可欠な機能（たとえば、酸素の運搬・貯蔵、呼吸によるエネルギー産生、遺伝子の合成など）を制御することから、金属酵素（金属タンパク質）の重要性は古くから知られていました。しかし、**生体内金属動態（からだの中に取り込まれた金属の吸収・感知・輸送・貯蔵・排出など）のメカニズムや個々の金属に対する選択性**については、分子科学的な理解がほとんど進んでいない状況です。

生物無機化学研究室では、**生命維持に必要な金属の中でも最重要な「鉄」**に注目し、食物に含まれる鉄の選択性の吸収・濃度感知・細胞内輸送などを担う様々なタンパク質の立体構造（かたち）を、最先端の分析手法を用いて $\text{Å}$ の精度で解明するとともに、細胞での機能（はたらき）や分布との関連性を探究しています。



からだの中ではたらく鉄は多すぎても少なすぎて病気になります。ヒトの健康と鉄栄養の関係は古くから知られていますが、現在も「**鉄欠乏症は世界で最も深刻な微量栄養失調の課題（世界人口の約30%が該当する）**」として世界保健機関WHOが警告しています。一方で、鉄過剰による細胞膜脂質の過酸化を起因とする細胞死「**フェロトーシス**」がほぼ全ての虚血性疾患・がんの引き金となることが、近年明らかになってきています。

からだの中で起きている「鉄の動態」を詳しく知るための研究は、  
・鉄の欠乏または過剰による疾患に関与するタンパク質に直接作用する新しいタイプの「医薬品」  
・食品から安全に効率よく鉄を摂取するための「栄養強化素材」  
・微生物の鉄利用に着目した新規な「抗生物質」などのデザインに貢献できます。

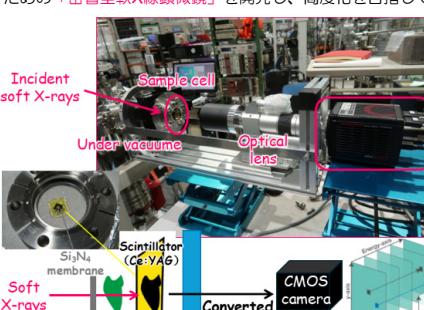
世界人口の約30%の生活の質の向上につながります！

## 観る

### 生きている細胞内の多種多様な金属化学種を同時に定量観察できる世界初の手法開発に取り組めます！

近年の技術革新により細胞内の元素をイメージングする方法が開発されていますが、生きている（含水状態）細胞に存在する金属イオンを化学種ごと（酸化状態や配位構造を区別して）検出し、その分布を定量的に示せる技術は世界的にも未開発です。

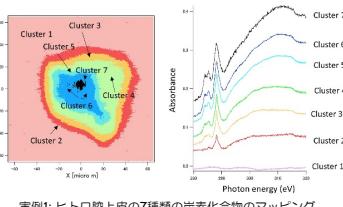
自然科学研究機構 分子科学研究所にも独立した研究室を有しており、所内にある放射光施設（極端紫外光研究施設UVSOR）の軟X線を活用して、生細胞内の金属化学種を定量的にイメージングするための「密着型軟X線顕微鏡」を開発し、高度化を目指しているところです。



エネルギーの低い軟X線を用いるため、放射線損傷を受けにくく、培養液や器質から取り出してもすぐの細胞や組織を未処理の状態で観察できる画期的な手法です。

撮影した軟X線透過像について、1ピクセルごとの軟X線吸収スペクトルを抽出し、機械学習法によりスペクトルの特徴ごとに分類してマッピングします。

病態による細胞内の金属分布の変動を解明できれば、金属の恒常性破綻によって引き起こされる疾患の早期発見が可能な未来の技術として応用できるかも！



実例1: ヒト口腔上皮の7種類の炭素化合物のマッピング

実例2: ウシ赤血球中のヘモグロビン（ヘム鉄）のオキシ型（赤色）とメト型（青色）のマッピング

上記の他にも色々な研究テーマがあります。生命金属について、あなたは何を知りたいですか？

最近の著書をご紹介しておきます

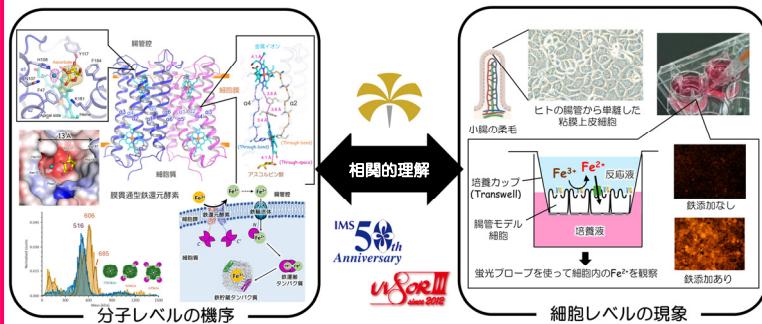


## 理解する

### 細胞の中での金属イオンの真の構造や機能を探る

鉄は生命維持に不可欠な金属栄養素ですが、酸素が存在する細胞環境中では反応性が高く、必要以上に存在すると強力な活性酸素種を発生させる原因となる。つまり、**生体内の鉄は不可欠である反面、細胞にとっては危険な毒**にもなります。そのため、細胞内には鉄の毒性を制御するために機能する「**鉄シャバロン**（鉄の受け渡しを介すタンパク質）」が存在しますが、その立体構造ならびに機能メカニズムはほとんど解明です。

生物無機化学研究室では、生体内の鉄濃度の維持において最も重要な「**吸収**」の仕組みに着目し、鉄シャバロンを介した鉄の細胞内制御機構を原子から細胞のレベルで解明することを目指しています。



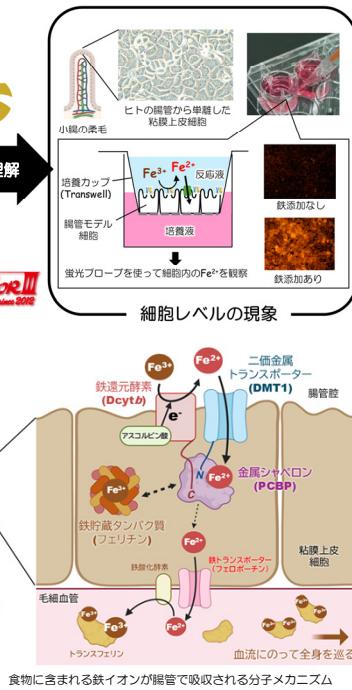
私たちは、ヒトの鉄代謝に関する全長の膜タンパク質としては、**世界で初めて膜貫通型鉄還元酵素の立体構造を解明しました。**

[*Commun. Biol.*, 1, 120 (2018)]

放射光施設でのX線結晶構造解析やクライオ電子顕微鏡による単粒子解析により、分子量が数十万～数百万の巨大な分子構造を解明できます。

その構造情報を検証するために、ヒト腸管モデル細胞を用いた「**鉄吸収評価系**」を作り、鉄の吸収を向上／阻害する化合物探索を可能にし、食品メーカーとの共同研究を行っています。

細胞で起きている現象を分子科学的な視点から化学の言葉で説明できるくらい精密に「**理解**」できれば、その現象を「**操る**」ための化合物のデザインや遺伝子（産物）の制御が可能になります。



食物に含まれる鉄イオンが腸管で吸収される分子メカニズム

上記の他にも色々な研究テーマがあります。生命金属について、あなたは何を知りたいですか？

最近の著書をご紹介しておきます

## 操る

### 鉄の制御システムを「操る」ための薬剤開発に挑戦！

動物の血液に感染する病原菌 (*Streptococci*) は、宿主動物の赤血球を破壊して、ヘモグロビンのヘム鉄を奪いとって、増殖・感染に必要な栄養素としています。病原菌はヒトの100万倍もの鉄を欲していますが、鉄が菌体内に過剰に存在すると毒性を示すため、鉄の量は厳密に制御されています。

私たちは、溶血性链球菌のヘム鉄による毒性回避システムで機能する「**センサータンパク質**」に注目し、その構造と機能を世界で初めて解明しました。

このセンサータンパク質がヘム鉄を感じなくなると、菌体内で余剰になったヘム鉄の毒性によって、宿主菌は死んでしまいます。

新しいタイプの抗菌薬開発ターゲットになるのでは？

↓色々試して...

センサータンパク質の抗体を作らせ、ヘム鉄のセンサー機能を「操る」ための抗体薬を作りました！



Heavy chain antibody (HcAb) (Camelids)  $\approx 95 \text{ kDa}$

Nanobody = VH + CDR =  $\approx 15 \text{ kDa}$

120–130 amino acids

Fc 領域

apo-PefR only

VHH only

PefR + VHH 1:1

apo-PefR forms a complex with VHH in a 1:1 molar ratio.

apo-PefR tightly bind to VHH in a 1:1 ratio.

apo-PefR binds to VHH in a 1:1 ratio.

Kd =  $2.2 \pm 0.6 \text{ nM}$

I<sub>0.5</sub> =  $0.03 \text{ site}$

DNA-bound apo-PefR binds to VHH in a 1:1 ratio.



# 複合分子化学研究室 (Hybrid Molecular Chemistry Laboratory)



## どんな研究室?

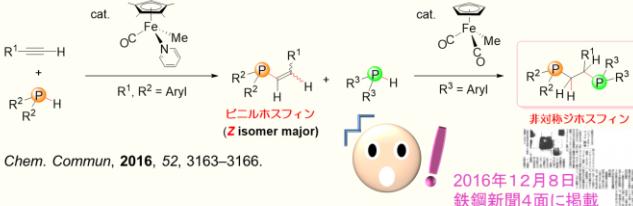
研究理念: 「想像を創造に変える化学の力で夢のある未来を切り開く」  
モットー: 「楽しく、のびのび、夢を持って」  
研究: 「人々の生活・健康・美」を支える触媒や機能性分子システムの開発



[https://ssl.sbw.eyela.co.jp/archive/download/eyela\\_report\\_omu.pdf](https://ssl.sbw.eyela.co.jp/archive/download/eyela_report_omu.pdf)

## 世界初!! アトムエコノミーなホスフィン合成

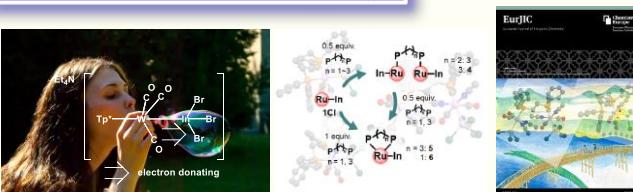
### 鉄触媒を用いたビニルホスフィンおよび非対称ジホスフィンの合成



### 触媒、溶媒を用いないホスフィンカルボキサミド類の合成および錯形成挙動

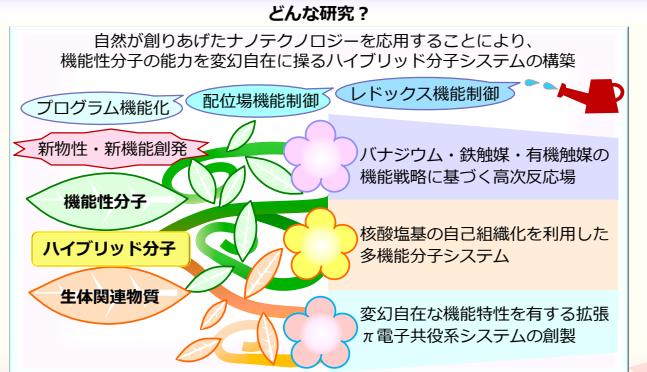


### 遷移金属-インジウム錯体の合成および反応性



Molecules, 2024, 29, 757.

教授 森内敏之 (居室: G401室, moriuchi@omu.ac.jp)  
講師 板崎真澄 (居室: G404B室, mitazaki@omu.ac.jp)  
客員教授 中沢浩 (居室: A104室, nakazawa@omu.ac.jp)  
客員教授 高田十志和 (居室: G404C室, b245601@omu.ac.jp)



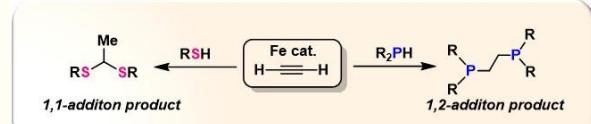
## 鉄触媒を用いた有機分子変換反応

### アルコールを用いた触媒的炭素-炭素カップリング反応



New J. Chem. 2025, 49, 19091-19095. (Selected as an outside front cover)

### アセチレンへの位置選択性E-H結合(E = P, S)の二重付加反応



## 低毒性で安価なバナジウム触媒



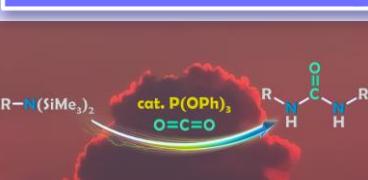
ACS Omega, 2022, 7(12), 10476-10482.

Organometallics, 2023, 42(12), 1310-1316. (Selected as a supplementary cover)



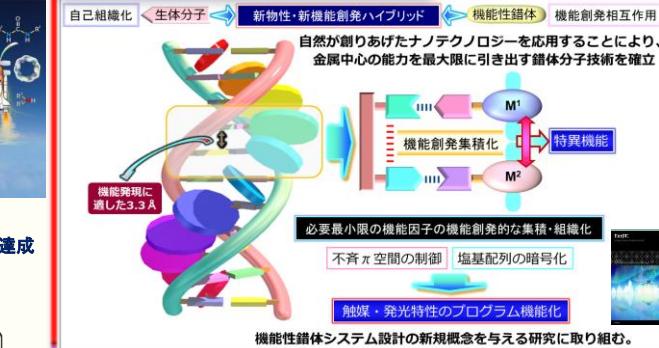
RSC Adv., 2021, 11(44), 27121-27125.  
Bull. Chem. Soc. Jpn. 2024, 97, uoea123.

### リン有機触媒で二酸化炭素の触媒的活性化



特願2023-103549、特願2024-100809

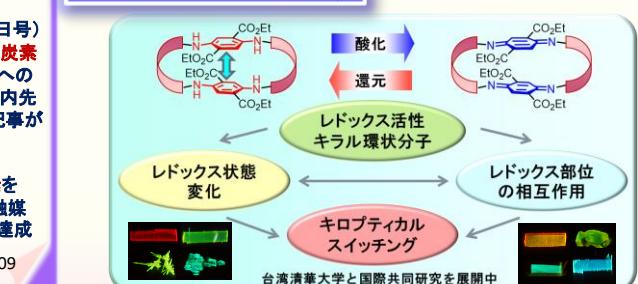
## 機能創発プログラム錯体分子システム



Eur. J. Inorg. Chem., 2022(5), e202100902.

(Selected as a very important paper and a front cover).

### π共役系化合物でサプライズ!



# 資源環境化学研究室

担当教員：天尾 豊（教授）

藤井 律子（准教授）

連絡先：[amao@omu.ac.jp](mailto:amao@omu.ac.jp)

[https://www.omu.ac.jp/orp/biocatalyst/sci\\_j.html](https://www.omu.ac.jp/orp/biocatalyst/sci_j.html)

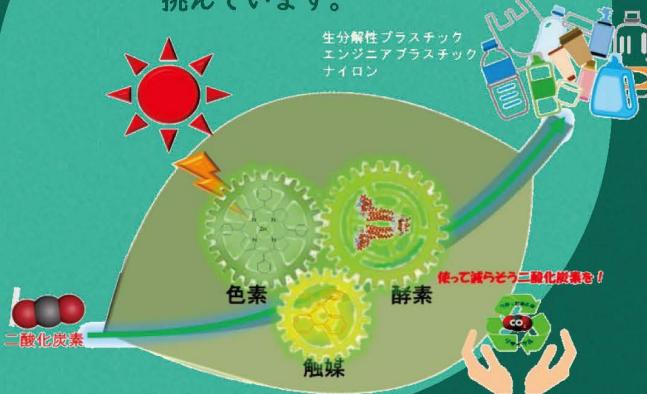
居 室：人工光合成研究センターAP201-202（天尾）・236号室（南）（藤井）



## 研究内容

天然の光合成反応を模倣した太陽光エネルギー変換に関する研究を中心に、主に生体触媒・可視光吸収色素・均一触媒からなる複合系による二酸化炭素をプラスチック原材料への変換や水素エネルギーキャリアに関する研究を進めています。

天然光合成の原理を模倣して反応不活性な二酸化炭素と有機物から生分解性プラスチックやエンジニアプラスチック、ナイロンの原料を合成可能な人工光合成系確立に挑んでいます。



天然の光合成で、光合成色素が光合成アンテナタンパク質の中で光エネルギー変換を担う仕組みを解明することで、自然に学び、自然を超える太陽光利用の分子設計を探求しています。



# 機能化学研究室（無機化学講座）

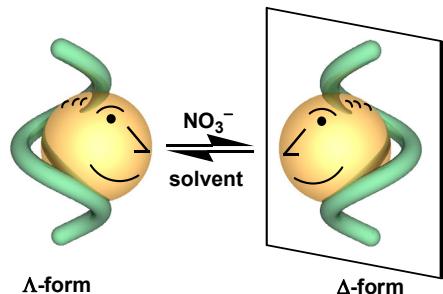
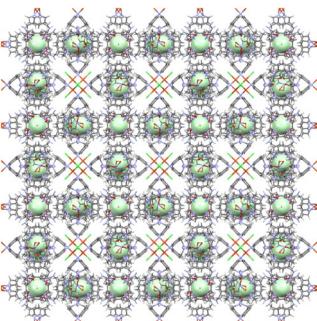
担当教員名 篠田哲史・三宅弘之・三枝栄子

連絡先 (shinoda-s, miyake, mieda (@omu.ac.jp) ) 居室 (G419, G416B)

## 研究内容

### 篠田

ランタノイド元素（15種類）の化学的・物理的な特性を活用した機能性分子の開発や化学分析法、新規光化学反応の開発などを行っています。例えば、ランタノイドイオンによる近赤外光の吸収や発光を利用した微量有機分子（アミノ酸や糖など）の検出や、ランタノイドイオンの酸性を活用した光酸化触媒反応の開発などを目指しています。ランタノイドイオントransferと遷移金属イオンと組み合わせたハイブリッド型金属錯体にも注目しています。（図はランタノイド錯体が綺麗にならんだ結晶の構造）

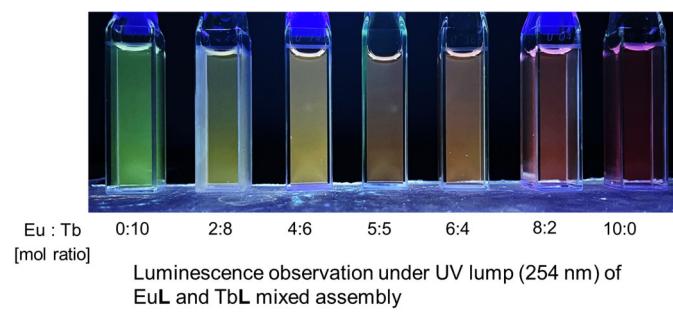


### 三宅

生体内での化学イベントに見られるような、必要なときに必要な運動をして必要とされる機能を発現する“スマートに動く人口分子”的開発を目指して、遷移金属錯体や希土類錯体が特性を活用した動的機能性分子の開発を行っています。金属錯体の得意とする『配位立体化学』や『電気化学』、『発光』／『配位子交換』特性に、『キラリティー』や、『分子認識』、『時間』、『情報伝達』をキーワードとした機能特性を融合した新しい機能性動的超分子化学の創成にチャレンジし、これまでに、硝酸イオンなどの外部刺激に応答したらせん構造の動的反転制御（左図）や伸縮制御、さらにはアミノ酸などのキラル分子の不斉輸送やキラル分析への応用、無機アニオンの発光識別などの成果をあげてきました。

### 三枝

希土類イオンが持つ優れた発光特性と、有機化合物の高い加工性を併せ持つ希土類錯体をベースとした“次世代発光材料”的開発に取り組んでいます（写真は赤色発光のEu錯体と緑色発光のTb錯体の混合比率に応じた発光色を目視で観測した様子）。錯体が溶液中で自己集積する分子設計を活かし、薄膜や微粒子など様々な形態を自由に形成することで、単分子では実現できない新しい光機能の発現を見出しています。



# 物質創発化学研究室

2025 年度発足！

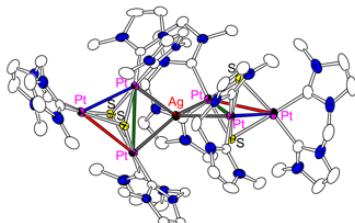
担当教員：西岡 孝訓 (nishioka@omu.ac.jp)  
亀尾 肇 (h.kameo@omu.ac.jp)

研究分野：錯体化学、有機金属化学、触媒、資源エネルギー化学

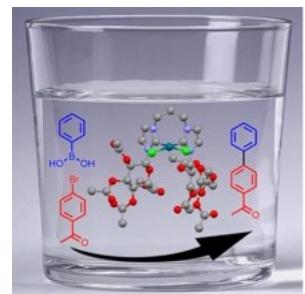
研究背景の異なる 2 名のPIが協同し、新たな研究領域や分野を開拓してゆきます。

## ◆ 水を溶媒とする触媒反応の開発と多核金属錯体の金属間相互作用の応用（西岡）

有機化合物の合成には一般的に有機溶媒が用いられます。しかし、有機溶媒の多くは揮発性で有害であり、可燃性でときには爆発を引き起こします。それに対して、気体の水蒸気は無害で水自体は燃えません。水を溶媒として用いることのできる触媒があれば作業時の安全性は格段に上がります。また、水溶性の反応試薬を用いることができるため、例えば硫化水素などの毒性のある気体を安全な硫化ナトリウムなどに置き換えることもできます。そこでわれわれは、触媒として有用なN-ヘテロ環カルベンに水溶性の糖を導入した配位子をもつ金属錯体を合成し、世界に先がけて発表しました。現在、水中で炭素-ヘテロ原子結合生成反応の触媒開発を目指しています。



白金-白金結合と白金-銀結合をもつ七核錯体



水中ではたらくカップリング触媒

また、金属イオンが集まってできた多核金属錯体は、金属間相互作用の変化により電子をためたり、他の分子との反応サイトを提供したりします。そこで多核金属錯体を触媒やセンシングに応用するため金属間相互作用についての研究も行い、最終的には、糖を組み込んだ配位子を多核金属錯体に導入した、水中で利用可能な触媒やセンサーの開発を目指しています。

## ◆ 遷移金属がつくる新しい相互作用を利用した触媒反応の開発（亀尾）

人類がこれからも発展していくためには、“触媒”的な力が極めて重要です。皆さんの身の回りにある化成品の約 85%は、触媒を使って作られています。環境にやさしく、より高性能な材料を生み出すためには、新しい触媒の開発が欠かせません。では、良い触媒はどうすれば作れるのでしょうか？そのための大重要なポイントは、触媒と反応する分子との間でどんな相互作用が起きているかを理解することです。相互作用をしっかりと理解できれば、分子レベルで触媒をデザインし、今までにない反応を作り出すことができます。

私たちの研究室では、遷移金属と分子のあいだで生じる新しいタイプの相互作用に注目しています。独自に設計した金属錯体を合成し、その相互作用を利用した効率的な化学反応やリサイクルに役立つ触媒の開発に挑戦しています。また、化学の根本的な理解を深めるため、反応を進めるカギとなる“高活性な反応中間体（活性種）”の発見・創製にも取り組んでいます。

化学の仕組みを深く学び、社会や環境の課題解決に貢献できる研究をしてみたい人は、ぜひ一緒に挑戦しましょう。

