

平成 28 年度

第 1 類新入生のための化学系案内



東京工業大学 理学院 化学系

化学への招待

～多様で豊饒なサイエンスへようこそ～

化学は、多様性の学問です。さまざまな物質の全てが対象であり、私たちの身近に存在する水や空気から、私たちの体を構成する生体物質、さらには、広大な宇宙空間を漂う星間物質までを取り扱います。その空間的スケールは、オングストロームサイズの2原子・3原子分子から、ナノメートルを超えるタンパク質などの巨大分子、さらにはメソスコピックと呼ばれるミクロとマクロの中間領域へとつながり、地球や銀河のサイズにまで広がっています。時間スケールでは、アト秒・フェムト秒という超高速で電子の励起や結合の組み換えが進行する一方、マイクロ秒から数時間という生体のリズムは複雑な反応ネットワークにより引き起こされ、星間物質の進化は100万年以上に及びます。自然科学のほとんどの分野は物質を基盤としていますから、物質の森羅万象を取り扱う化学が、しばしば**Central Science**（科学のど真ん中）と呼ばれることも良く理解して頂けるとと思います。

一方で、化学は統合の学問でもあります。千差万別である物質の個性のみを追い求めるのではなく、その多様性の背後に存在し、多様性そのものを生み出している根本を抉り出すことこそ、現代の化学が目指しているものです。物質の最少構成要素である原子・分子が従う基本法則をもとに分子構造や反応性を理解し、さらに、原子・分子間の微視的相互作用の詳細を明らかにすること、その上で、構成要素が集合化してメソ・マクロスケールの構造を形成するプロセスと、その際に発現する「機能」について洞察を深めること、このような重層的な視座が「今」の化学を支えています。「基本原理の追及」のみでなく「多様性の享受」のみでもない、2つの逆方向のベクトルの統合・止揚を目指すのが化学であり、ある種の **ambivalence** を内包するものです。この「一言でまとめきれない」複雑さが実は化学の特色であり、まさに人間くさい学問と言えるのではないのでしょうか。

その上で何よりも、化学は創造の学問です。新しい反応の開発、これまでにない分子・分子システムの創成、新規な機能の開拓。これらはまさに化学の醍醐味であり、最大の **strength** と言えるでしょう。これらを成し遂げるために我々化学者は、謙虚に、細心の注意を払って自然に学び（模倣が創作の第一歩であることを思い出して下さい）、のびのびと自らの発想を羽ばたかせ、時には（いや、通常しばしば）試行錯誤を繰り返し、正しい道を見出すまで悪戦苦闘します。その努力の産物がさらなる多様性に貢献し、物質の世界をより豊饒なものとしていくのです。

多様で豊饒な物質科学の中核である化学には、エネルギーの有効利用や環境問題への対応など、持続可能な社会を実現するために不可欠な新しい科学技術を生み出すべき大きな役割、また、生み出しうるに十分な力があります。是非、皆さんもこの魅力あふれる化学の世界に飛び込み、その能力を存分に発揮されることを希望します。

学習カリキュラム

化学系では、将来皆さんが身につけた幅広い素養を縦横に駆使し、様々な分野のフロンティアを切り開いていけるよう、大きく無機・分析化学、有機化学、物理化学の3分野に分け、体系的な学習の場を用意しています。2年次には各分野の基礎、3年次にはそれらの発展学習として、物質の構造、性質と反応を学べるようにしています。また、学部時代に物質を実際に合成し、それを注意深く解析する経験を通して、確たる物質観を養うことを重視しています。学生実験はそのためのものです。最終学年の4年次では、各研究室に所属し、卒業研究を通じ、化学研究の最前線に立つこととなります。皆さん自身が世界初の実験を通じ、初の現象を観測し、初めての化合物を合成することにより、教科書を学ぶ側から、その内容をつくる側になるのです。

ご承知のとおり、我が国は2000年以降6名のノーベル化学賞受賞者を出しました。その中には東工大の先輩である白川英樹先生もいらっしゃいます。このように日本の化学研究は世界のトップレベルを誇り、その中でも本学化学系は基礎研究において中心的役割を果たしてきています。理学の道を歩み始めた皆さんが、化学の面白さを学び、将来、それを基礎として大きく夢をふくらませ、実現されることを大いに期待しています。

化学系についての質問

化学に関し、また化学系に関して知りたいことがあれば、一年生向けの化学の授業や学生実験の担当教員、クラス担任の西野先生に気軽に声をかけて下さい。また、皆さんに化学系を良く理解していただくために、研究室見学会や化学系紹介の機会を作りますので、積極的に参加して下さい。最先端の施設や設備を使って行われている世界最高レベルの研究に触れ、化学の面白さ、奥深さ、多様さなどを感じて頂ければと思います。

是非、化学系ホームページをご覧ください。 <http://www.chem.titech.ac.jp/>

化学系について「見たい」「知りたい」にお答えします。

連絡先：西野 智昭（西4号館1階107号室、内線2610、tnishino@chem.titech.ac.jp）

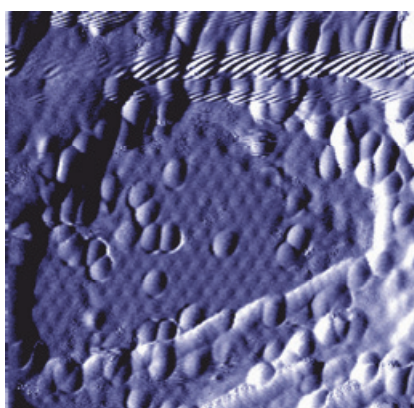
化学系の概要

ようこそ東京工業大学へ！皆さんは、これから迎えようとしている学生生活に胸をときめかせていることと思います。大学在籍中の時間の使い方は、各自の自主性に任せられます。将来自分の可能性を十分に引き出すために、勉学に励むとともに、様々なことにもチャレンジして、科学する人として人間性の幅や奥行きを広げて欲しいと思います。同時にその間に、将来科学のエキスパートとして社会に飛び立つための準備をする必要があります。そのためにまず必要なことは、自分の専門分野を決めることです。本学では1年次に一般教養を学び、2年次から系に所属してその専門を深く掘り下げ、身につけるようカリキュラムが組まれています。所属する系は1年次の終わりに各自の志望と成績に基づいて決定することになります。

本小冊子、「化学系案内」は皆さんに化学系をご紹介したものです。ご一読の上、現代化学とは何か、そして本学の化学系はどのような研究をしているのか、興味を持ってもらえることを願っています。化学系では柔軟な思考を持つ若い力にエールを送ります！

化学 — 多様で魅力的な分子の世界 —

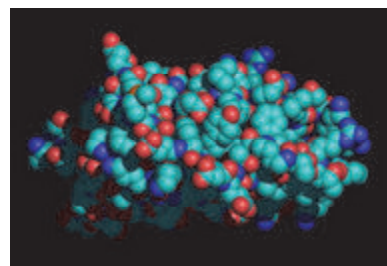
分子や原子はどんな働きをするのだろう、目的の機能を持つ分子を設計・合成するにはどのような戦略が必要か、多様で魅力的な分子の世界を理解し自在に操ることが化学の大きな目的です。近年の化学および関連分野の急速な発展に伴い、研究対象となる分子は、単純な1原子分子から DNA やタンパク質などの巨大な生体分子、カーボンナノチューブや dendrimer などの人工超分子へと広がってきました。また、解析手法の進展によって、分子の形を



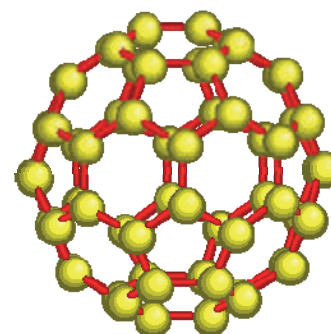
一つ一つの分子(CO)の動きを直接観測する;高い触媒活性を示す $\text{Mo}_2\text{C}(0001)$ 表面上を拡散する CO 分子の走査トンネル顕微鏡(STM)像

その場で観測したり、分子の振動や化学反応の時間変化を直接観測することも可能になっています。個々の分子の挙動により形づくられるミクロな世界、ミクロな現象の積み重ねだけでは理解できない複雑なマクロの世界、そしてその中

間のサイズを持つ、近年注目されているナノサイズワールド。化学は、分子や原子が織りなすこれらの魅力的な研究対象への多彩なアプローチを提供し、そこから運ばれてくるメッセージをみなさんに伝えます。



タンパク質分子の精密立体構造



サッカーボール状の分子:
フラレン

(黄色い球は炭素を示す)
直径約 0.7 ナノメートル

東工大理学院化学系

2000年以降だけでも5度にわたるノーベル化学賞受賞に象徴されるように、日本の化学研究は、世界のトップレベルで、その中でも、東工大の化学系は、基礎研究で中心的な役割を果たしています。



整備された合成実験室

化学系では、原子・分子とその集合体の振る舞いを支配する原理を探求し、物質の個性、多様性を深く認識するとともに、その原理を自在に応用・展開することを目的として教育・研究を行っています。カリキュラムでは、学生がこの幅広い学問を縦横に楽しむとともに、将来そのフロンティアを切り開いていけるように、化学を大きく3分野（物理化学、無機・分析化学、

有機化学）に分け、体系的に学んでいきます。また、化学では実際に物質を手にして、新たな物質を作り出し、測定することが大事です。その意味から、学生実験や演習、4年次における卒業研究を特に重視します。その経験の積み重ねが、希望する物質を作り出す礎となり、小さな変化や異常も見逃さずに新現象や新事実を発見する感覚を研ぎすますもとなります。ほとんどの学生は、学部卒業後に大学院へ進学し、さらに研鑽を積みます。化学系での教育は、化学系の全教員、総勢49名（平成28年1月現在）で行われます。教員数が学生数よりも多く、非常に恵まれた環境といえましょう。

研究の面では、化学本来の実験・理論両面にわたる新しい手法を積極的に開拓するとともに、化学と境界を接する他の自然科学である物理学、生物学などへも化学の特徴を生かして積極的にアプローチし、新しい手法を構築しています。これらの成果は、国内外に発信され、社会の文化・産業に貢献するとともに、国際的に高い評価を得ています。

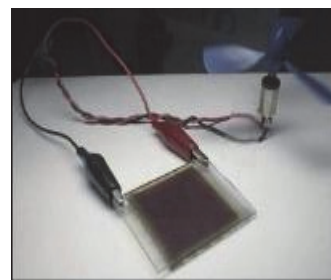
本学化学系の研究室の一旦が、本冊子においても紹介されています。内容をご覧になれば気づかれると思いますが、化学系では非常に幅広い領域に渡ってトップレベルの研究が行われています。



ナノサイズの世界に挑む



最先端の実験機器



エネルギー・環境問題の解決を目指して
(色素増感太陽電池)



火山における化学の探求
(草津白根山火口湖における観測)

世界最先端の研究設備と日本最高レベルの環境・安全対策

東工大化学系は、世界の第一線で活躍している教員群が属するとともに、最先端の研究設備を有しています。また、実験に於ける危険性をできるだけ排除するために、日本でもっとも実験室の安全対策と周辺環境への対策に努力していると自負しています。特に、平成15年に新設された東1号館(主に、合成を行う化学系の研究室が配置)は、最新の設備を導入した実験棟として注目されており、他大学や企業、官庁から多くの見学者が訪れています。



日本最高レベルの安全対策を施した新鋭実験室を備えた東1号館

大学院

化学系の学部を卒業した学生の多くは、大学院へ進学します。修士課程終了後は、企業や官公庁へ就職するか、さらに研究者として研鑽を積むため博士課程に進学します。博士号取得後は、高い研究能力を活用し、大学や公的研究機関だけでなく、企業でも活躍しています。化学系大学院は、リーディング大学院「グローバルリーダー教育院」や「環境エネルギー協創教育院」といった公的制度の援助を受けており、修士課程の学生の研究支援、また博士課程の学生への研究や経済的な支援が充実しています。このような背景も一因となり、博士課程に進学する学生が増加する傾向にあります。

国際交流

化学の研究分野に国境はありません。世界の研究機関との交流は、学問の新しい潮流を生み出すために非常に重要です。東工大化学系では、様々な形で国際交流が行われています。毎年多くの外国人研究者が訪問し、講演会等が行われます。また、教員はもちろん多くの大学院生も国際学会等に参加し、成果を喧伝するとともに最新の情報を持ち帰っています。また、学生が主体となって企画することにより、台湾の清華大学、韓国のKAISTとの合同討論会を定期的に行っています。



ノーベル賞受賞者、モリーナ教授のCOE化学講演会

化学系のホームページ <http://www.chem.titech.ac.jp/> も是非ご覧ください。

化学系（学士課程）の標準的履修例

大学で学ぶ“化学”は、高校までで皆さんが学んだそれとは全く異なります。分子やその化学現象（状態変化や反応など）を、理論に基づいて理解できるようになります。高校化学で感じていた“モヤモヤ”が、相当スッキリするはずです。化学系に所属した2年次以降は、無機・分析化学、物理化学、有機化学の3つに大別して、化学を基礎から最先端まで体系的に学んでいきます。4年間を通して、化学を縦横に楽しみましょう！

	無機・分析化学 科目群	物理化学 科目群	有機化学 科目群	共通実験 科目群	共通化学 科目群
1年	無機化学基礎	量子化学基礎 化学熱力学基礎	有機化学基礎	化学実験第一 化学実験第二	
2年	無機化学第一 無機化学演習第一 基礎分析化学 基礎分析化学演習	量子化学序論 量子化学序論演習 化学統計熱力学 化学統計熱力学演習	有機化学第一 有機化学演習第一 有機化学第二 有機化学演習第二	無機・分析化学 基礎実験 物理化学基礎実験 有機化学基礎実験	安全の化学 化学数学第一 化学数学第二 コンピュータ実習
3年	無機化学第二 無機化学演習第二 化学計測学 固体化学 結晶化学 地球化学 光化学	反応物理化学序論 反応物理化学序論 演習 物性化学 分子構造学 量子化学 反応物理化学	有機化学第三 有機化学演習第三 合成有機化学 有機構造化学 有機反応論 天然物化学	無機・分析化学 総合実験 物理化学総合実験 有機化学総合実験	研究 プロジェクト
4年	学士特定課題研究 学士特定課題プロジェクト				

1年次は全学科目、2年次以降は化学系の開講科目

赤字は必修科目

特徴

無機・分析化学、物理化学、有機化学の3つに大別して、化学を基礎から最先端まで体系的に学びます。

充実した実験・演習を通して、自分の手で物質を作り出し、解析する能力を身につけます。

1年次では、化学の基盤である分子と化学現象を理解します。高校化学とは一変、もう丸暗記は必要ありません。

4年次になると、最先端の化学を学びながら、自らの手で最先端の研究を行います。

化学とはどんな学問なのか？先輩の授業カリキュラムの一例など、化学系のカリキュラムに関する情報は、化学系ホームページでも見ることができます。

詳しくは <http://www.chem.titech.ac.jp/information.html> まで。

1年次の化学関連科目の紹介

【講義科目】以下の4科目があり、いずれも必修科目で週1回の講義です。

第1、第2クォーターでは、高校で習った無機物・有機物の化学をさらに深め、多様な化合物の性質を原子・電子のレベルで理解することを目指して、以下に示すような項目を中心に学修します。

科目名	クォーター	学修する主な内容
無機化学基礎	1または2	電子の軌道、周期律、化学結合、混成軌道、結晶構造、金属、錯体、イオン結晶、酸塩基、酸化還元など
有機化学基礎	1または2	炭素原子の電子軌道、命名法、求核置換反応、脱離反応、芳香族化合物、カルボニル化合物、有機金属化合物など

第3、第4クォーターでは、物質の構造・性質・反応を、電子の波としての性質に基づいてミクロなアプローチで解き明かす量子化学と、原子・分子の集団としての振る舞いに基づいてマクロなアプローチで解き明かす化学熱力学について学修します。

科目名	クォーター	学修する主な内容
量子化学基礎	3または4	物質波、シュレディンガーの波動方程式、波動関数、箱の中の粒子、水素原子、多電子原子、化学結合、混成軌道など
化学熱力学基礎	3または4	系と状態量、熱力学第1法則、エンタルピー、熱力学第2法則、エントロピー、自由エネルギーと化学平衡など

【実験科目】以下に示す2科目があり、いずれも週1回、2クォーター通期の科目です。実験を行う前の週に実験とその関連分野についての講義および演習問題の解答を行い、実験に対する理解を深めてから実験を行います。高校で化学実験をほとんど経験していなくても、スタッフが丁寧に指導するので問題ありません。講義とはひと味違った楽しい化学を実感できます。

科目名	クォーター	主な実験内容
化学実験第一	1 + 2	ジアゾカップリング反応によりメチルオレンジを合成する 電極電位を測定し金属錯イオン生成反応の平衡定数を決定する 金属クロムおよびクロム化合物の酸化還元反応を観察する
化学実験第二	3 + 4	ミカンの皮からフラボノイドを抽出しその性質を調べる 酢酸エチルの加水分解反応における1次反応速度定数を求める 指示薬分子の可視吸収スペクトルを測定する

化学系教員と研究室の紹介

最高の教育と研究を行っている化学系の先生達と研究室を紹介します。化学系では、4年生になると卒業研究として各研究室に所属し、世界最先端の研究を皆さんが自らの手で行うことになります。研究内容は難しいかもしれませんが、先生達は皆化学に熱く、でも気さくな人ばかりです。化学系の雰囲気を感じ取ってください！



川口博之（教授）

専門：無機化学、錯体化学

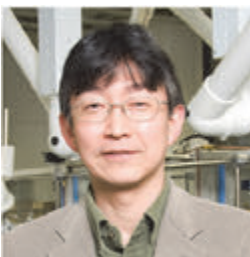
一緒に化学を学びましょう。



小松隆之（教授）

専門：触媒化学

化学反応を“触媒”で指揮してみませんか。



石谷 治（教授）

専門：光反応化学、光機能化学、光触媒化学

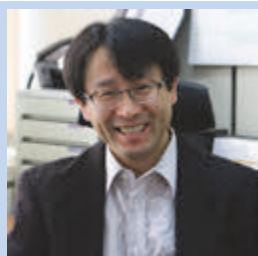
学問を大いに楽しんでください。



前田和彦（准教授）

専門：固体光触媒、人工光合成、ナノ材料

誰も知らない物質を自らの手で創り、調べ、そして人類の発展に役立てる。それが化学の魅力です。



河野正規（教授）

専門：錯体化学、超分子化学

研究は本当に楽しいですよ！気軽に研究室に遊びに来てください！



岡田哲男（教授）

専門：分析化学、溶液化学

新しい実験を始めるときのわくわく感を一緒に楽しみませんか。



火原彰秀（准教授）

専門：分析化学、レーザー分光学

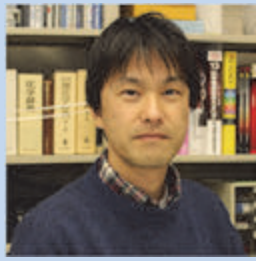
切磋琢磨、虚心坦懐。



八島正知（教授）

専門：材料科学、無機固体化学、物理化学

良く学び良く遊べ！原子配列とその動き、電子を調べ、材料を開発して世界を変えよう！原子・電子レベルでエネルギー材料・環境材料・バイオ材料・電子材料、触媒をデザインしよう！



植草秀裕 (准教授)

専門：化学結晶学

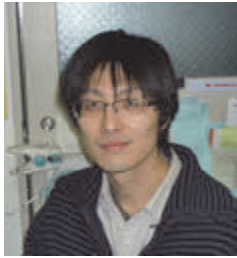
結晶の中で動く分子を
目で見よう！



岩澤伸治 (教授)

専門：有機合成化学、有機金属化学

1年生の時にできるだ
け広い視野を培うよう
にしてください。



鷹谷 絢 (准教授)

専門：有機合成化学、有機金属化学

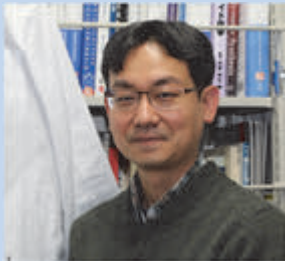
勉強も遊びも全力で！
知的好奇心と探究心を
しっかり育みましょう。



鈴木啓介 (教授)

専門：有機合成化学

元気でやりましょう！



大森 建 (准教授)

専門：有機合成化学

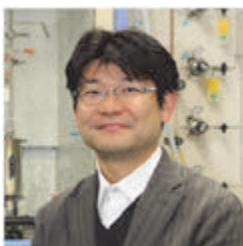
作った分子をオモチャ
にして遊びましょう。



江口 正 (教授)

専門：天然物有機化学

何事も一生懸命に！
ですよ。



工藤史貴 (准教授)

専門：有機化学、酵素化学、天然物生合成化学

化学的に生物学しよう。



後藤 敬 (教授)

専門：構造有機化学、有機元素化学、超分子化学

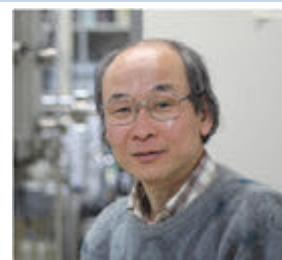
ものづくりが好きな人、
ナノメートルサイズの
建築学も楽しいですよ。



豊田真司 (教授)

専門：物理有機化学、有機立体化学

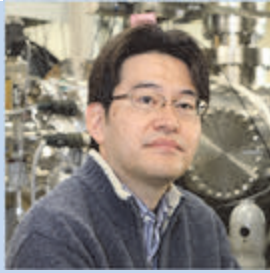
科学を楽しんで、夢を実
現しましょう。



河内宣之 (教授)

専門：物理化学 (反応素過程)

なんか面白いことない
か！！



北島昌史 (准教授)

専門：反応物理化学

いろいろなことに、全力で挑戦して下さい。



木口 学 (教授)

専門：単分子の電子物性

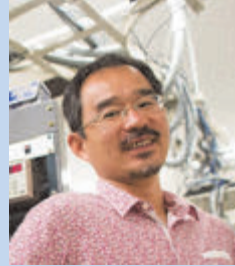
誰も見たことのない現象を見つけることは楽しいですよ。



西野智昭 (准教授)

専門：表面化学

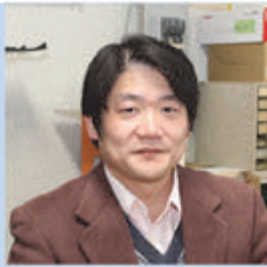
スイヘーリーベー…のような呪文を覚える必要はもうありません。化学を是非楽しんでください。



大島康裕 (教授)

専門：物理化学 (反応動力学、分子分光学)

私たちの身近には、広大で肥沃な「未知」が潜んでいます。さあ、探検に出かけましょう！



河合明雄 (准教授)

専門：光物理化学、レーザー分光、イオン液体

化学は進歩しています。よく勉強して、早く最先端レベルまで自分を高めてください。



腰原伸也 (教授)

専門：光物性、新物性開拓

コシエモンの科学ポケットから何がでるでしょう！お楽しみに。



沖本洋一 (准教授)

専門：固体光物性

研究の楽しさを一緒に体感しましょう。



野上健治 (教授)

専門：地球化学

現場で現物を見て現実を知る。火山は私たちの教場です。



寺田暁彦 (講師)

専門：地球熱学

美しい山々や湖, 温泉と研究室とを行ったり来たりしています。



Gergely JUHASZ (特任准教授)

専門：Computational Material Science

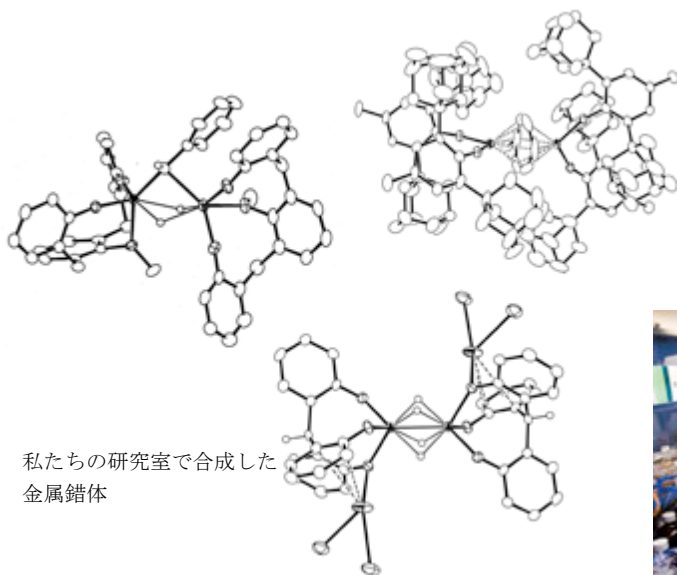
Doing research means learning something new every day.

機能性金属錯体分子の設計と合成

川口研究室

金属錯体は、有機および典型元素化合物から構成される配位子が金属イオンの周囲を取り囲んだ化合物です。様々な性質をもつ金属イオンと多種多様な配位子に組み込むことにより、個性豊かな金属錯体を無尽蔵につくり出すことができます。私たちの研究グループでは、配位子設計に基づいて金属錯体を合成し、その構造と物性・反応性の相関関係について理解を深めようと研究を行っています。特に、新しく設計・合成した金属錯体を「構造が明確な反応場」として用いて、通常では反応性が乏しい窒素分子、一酸化炭素、二酸化炭素などの小分子の新しい反応の開拓を行っています。現在の研究課題としては、(1) 新しい配位子の設計と合成、(2) 多座配位子の配位化学、(3) 電子欠損型ヒドリド錯体の化学、(4) 金属錯体をもちいた小分子活性化に取り組んでいます。

錯体化学は、有機化学および無機化学における知見を活かして、金属イオンと配位子を選択し、ひとつの分子に組み立てることにより、これまでに無い物性や反応性をもつ物質を生み出すことに挑戦する科学です。その研究対象は機能性材料から触媒まで多岐にわたります。私たちの研究グループでは、「自分たちがつくり出した、自分たちの金属錯体」を足場にして、この広範な分野に自分の科学を築く意欲ある人を待っています。



実験風景

質問等があれば下記までご連絡ください。

連絡先：川口博之 email: hkawa@chem.titech.ac.jp 電話：03-5734-2234



小松研究室

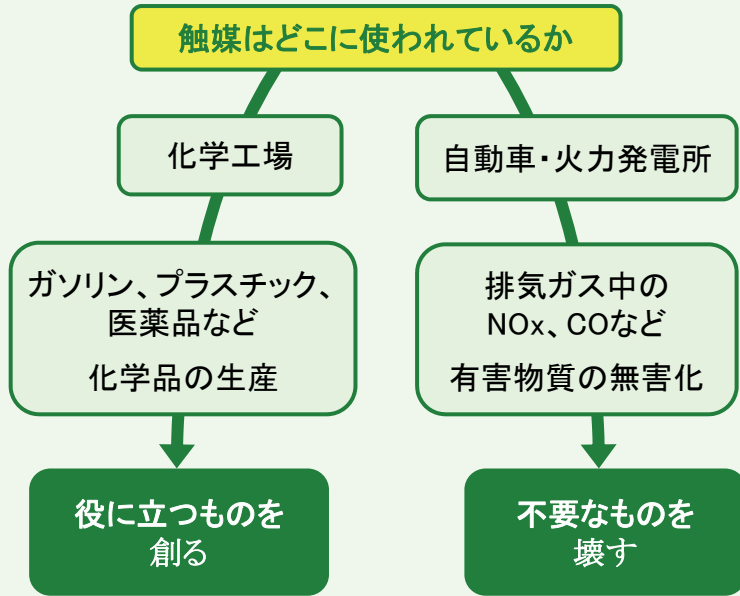
触媒で反応を指揮する

<http://www.cms.titech.ac.jp/~komatsu/index.htm>



ガソリン・プラスチックなどの化学製品の製造に触媒を用いると、反応が低温で速やかに進行し、不要な物質の副生が抑えられます。すなわち、省エネルギーで環境に優しい「もの創り」が達成されます。一方、自動車などの排気ガス中の NO_x は、触媒により分解・無害化されます。すなわち触媒は「もの壊し」においても重要な役割を担っています。

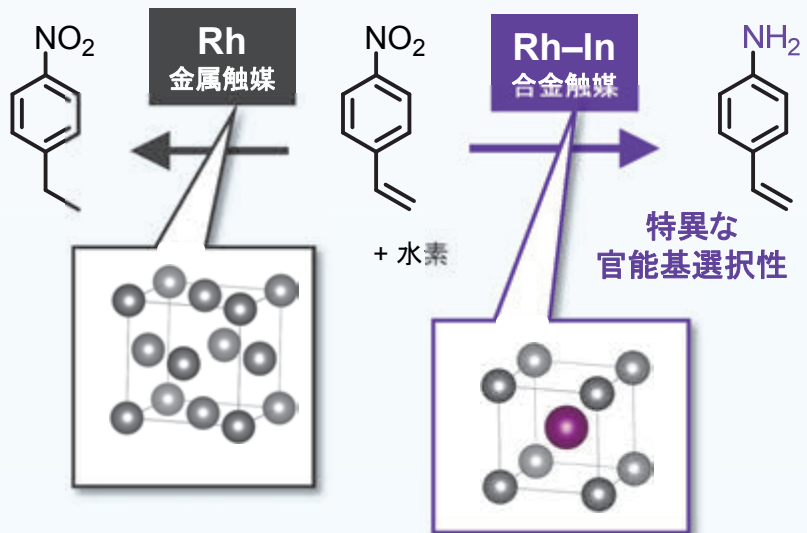
小松研では、**特殊な合金**触媒を用いて、毎日創ったり、壊したりしています。



合金触媒

合金には、形状記憶・水素吸蔵などの特異な性質をもつものがあり、触媒としての働きも、純金属とは異なる特有のものが発見されています。

例えばRh-In合金の中には右に示すようにRh単体とは異なる特有の結晶構造をもつもの（**金属間化合物**）があります。ニトロステレンの水素化反応において、ビニル基を水素化せずニトロ基だけを選択的に水素化するという特異な官能基選択性を示します。



小松研究室では、このような特異な性質をもつ**合金（金属間化合物）**を中心とする固体の触媒作用に関する検討を通して、「触媒性能は何によって決まるのか」を明らかにし、それに基づいた「高性能な触媒の開発」を目指しています。

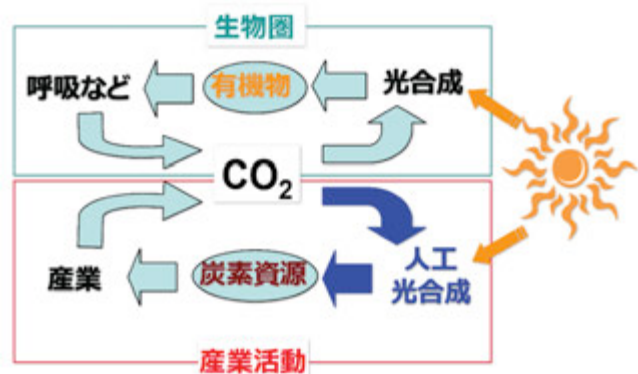
金属錯体および半導体粉末の光反応性と光機能

～高効率太陽光エネルギー変換を目指す～

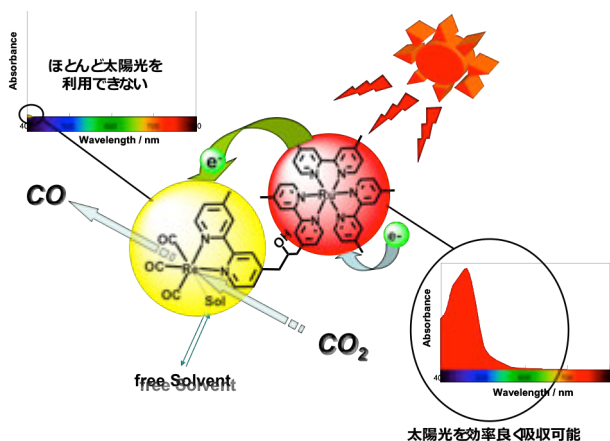
石谷・前田研究室

石油や石炭に代表される化石資源、そして原子力に依存した我々の社会は今、将来のエネルギー確保の観点から転換期を迎えています。我々は、**無尽蔵な太陽光エネルギーを化学的に変換する“人工光合成系”を創製すること**を目指しています。具体的な研究課題は、以下の通りです。

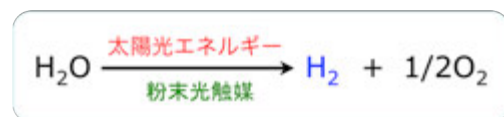
地球温暖化 ↔ エネルギー問題 ↔ 炭素資源の枯渇



- (1) 太陽エネルギーの化学エネルギーへの変換を目的とした新しい光触媒（金属錯体や半導体粉末）の創製
- (2) 植物の光合成と類似の機能を有する人工的なシステム（人工光合成系）の構築
- (3) 光や電子の移動を制御できる錯体分子の分子設計指針と合成法の確立
- (4) 水の酸化還元を促進するナノ構造触媒の開発



CO₂ を CO へと高効率に変換する
超分子錯体光触媒



光触媒粉末
(100 nm ~ 1 μm)

ナノレベルで制御
された反応活性点
(~10 nm)

可視光で水を水素と酸素に直接分解する
粉末半導体光触媒

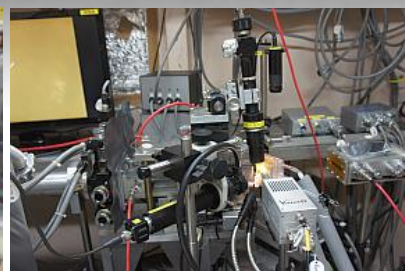
これらの研究を通して、**まだよく分かっていない「有機金属錯体の光反応化学」「固体光触媒の化学」**の分野に、**新しい知見を加えていくこと**も重要な目的としています。

化学は、今までに知られていない新しい物質を創り出し、その性質を明かすことで、それを人類に有用な技術として高めていける夢のある学問分野です。若い学生の皆さんが、希望と情熱を持ってこの分野に参入してくれることに期待しています。

岡田・火原研究室

物質の性質を知り、その反応を追跡するためには、「はかる」が必要です。皆さんがこれまで経験した化学実験では、反応したかどうかを目で見たり、においをかいだりしてはかることが多かったかもしれません。しかし、私たちの五感だけでは精密な測定はできません。そこで必要になるのが第六感ではなく（研究にはこれも必要ですが）、種々の測定法や分析法です。多くの研究室には、多くの装置が並んでおり、「これ以上何が必要なの？」、と思うかもしれません。しかし、まだまだはかれないものがたくさんあるのです。たとえば、界面というナノメートル程度の厚さの領域に存在する分子だけをはかる、その分子がどのような状態で存在するかを決定する、界面の存在状態を利用して分子を認識したり分けたりすることなどをあげることができます。私たちの研究室では、物質を分けること、物質に対して光や電気などで働きかけること、そして物質からの応答を解析することによって既存の方法では達成できない計測や分離を可能にすることを目指しています。

「はかる」を究める



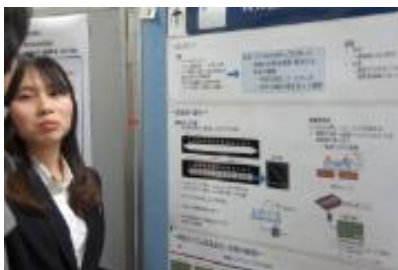
本研究室では、各自が行った研究の成果を、国内外を問わず、学会で発表することを推奨しています。

本研究室では『分けることは分かること』をキャッチフレーズに、分離の新しいコンセプトを生み出すこと、分離を通じて界面を見ること、そして界面などの特殊状況下における分子の状態を解析することで、物質分離や分子認識の機構を理解するための研究を行っています。

研究室では、各人が自分の研究課題に対し、自主性を持って取り組んでいます。自分の研究に必要な実験装置の構成など、自ら考えて研究を進めています。ここで挙げた実験では氷や細管を使った分離手段や検出法の確立を目指しています。

2015年度は分析化学会やCSJ科学フェスタ等の学会で学生がポスター賞を受賞しました。

研究室内の親睦を深めるため、レクリエーションとして研究室旅行や飲み会などを折にふれて実施しています。2015年の研究室旅行は軽井沢に行きました。



原子配列とその動き、電子を調べ、材料を開発して世界を変えよう！

原子・電子レベルでエネルギー材料・環境材料・バイオ材料・電子材料、触媒をデザインしよう！

E-mail yashima@cms.titech.ac.jp

URL <http://www.cms.titech.ac.jp/~yashima/>

見学希望者は大歓迎です！e-mailで希望日時をご連絡ください。

(西4号館410号室,405号室) **八島 研究室**

1. 研究のアプローチと特徴：高温構造物性と材料設計

現代社会には、エネルギー、環境、バイオなどの分野に多くの課題が山積みです。これらの課題の解決には優れた物質・材料を開発することが必要ですが、そのためには材料の結晶構造(原子配列)と電子の状態を調べるのが鍵となります。当研究室では、近年発展が著しい精密結晶構造解析技術を駆使して、実用材料の結晶構造と電子を調べています。材料の多くは高温で使用し、あるいは高温で合成するので、高温下に試料を保持したまま結晶構造と電子状態を実況中継(その場観察)して材料特性との関係を明らかにする「**高温構造物性**」に力を入れています。そのために世界で唯一の高温構造解析システムを開発して、オンリーワンの研究を行っています。また、得られる結晶構造を基に次世代の「**新物質・材料のデザイン・開発**」しており、**エネルギー・環境問題の解決**を目指しています。八島研では**周期表の安全な元素殆どすべて(71種類以上)**を駆使した**多彩な材料開発**を行います。

2. 研究室の構成と特徴：多彩な分野の出身者で新分野を開拓

メンバー： 八島教授、藤井助教、客員准教授1名、博士課程院生1名、修士課程院生7名、学部4年生2名、秘書1名、研究生1名

出身分野：化学、材料、物理、セラミックス、応用物理、電気、金属等

就職先： 東工大、ラシャヒ大、NTT、大同ホールディングス、JR 東日本、三菱重工、理学電気、トヨタ、NEC、シャープ、オリンパス、横河電気、TDK、三菱自動車、YKK、日本原燃、マツダ、キーエンス、パナソニック、ユニカ、昭和電工、ボッシュ、富士電機、京セラ、住友化学、大同特殊鋼、シチズン、INAX 他

共同研究：国内約10大学、国立研、民間企業、欧米・アジアの大学

学会：セラミックス協会、結晶学会、化学会、金属学会、国際結晶学連合 IUCr、固体イオニクス国際会議、中性子科学会など

使用装置： 中性子回折装置(3台)、(放射光)X線回折装置(5台)、高温回折加熱装置(6台)、高温電気伝導・誘電特性測定システム(2台)、熱分析装置(DCS, TG-DTA, TD)、紫外-可視分光光度計、試料合成用高温電気炉(5台)、水熱合成装置、ボールミル、ガスクロ、顕微鏡、ドラフト(2台)、パソコン(1人1台以上)等

受賞：結晶学会学術賞・進歩賞・ポスター賞、セラミックス協会学術賞・進歩賞・ポスター賞、金属学会功績賞・奨励賞、AONS ポスター賞、触媒工業協会技術賞、Spriggs 賞他

3. 教育方針：世界的な研究者・科学技術者を育てる

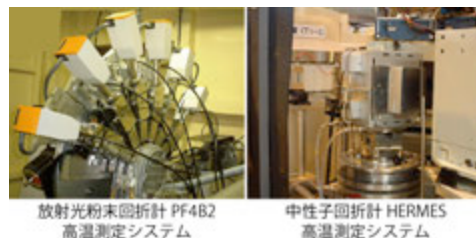
世界トップレベルの研究(ビジョン:高い目標と大きな夢)を学生自身が(1)立案する、(2)実施する、(3)発表する能力を磨きます。研究室のセミナーでは文献の紹介や英語での研究報告を行っています。研究成果は、国内外の会議・学会で積極的に発表しています(スペイン、英国、香港、ハワイ、札幌で開催される学会に参加)。学生自身が試料の合成、回折測定と構造解析、物性測定、量子力学計算などを行い、材料開発に必

要な実力と幅広い研究スキルを身につけます。1年の内30~80日程度国内外の最先端の大型施設を使って高温放射光や高温中性子の回折実験を行います。個々の学生が独立性を持って研究を行います。外部の大型施設などでは全員が協力して実験を行います。学生が出す研究成果は、大きく**新聞**や**総説・教科書**、**国際一流誌**(Nature Mat, JACS, APL, ChemMat 等)に掲載され、**物質構造特許**に繋がることもあります。

4. 研究テーマ：構造と電子を調べて新材料の探索・開発

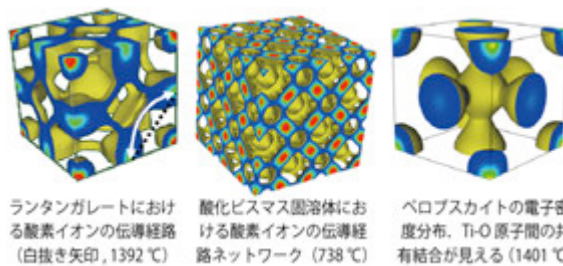
(1) 独自の高温での精密構造解析システムの開発

当研究室では、「**高温での精密構造解析システム**」をいくつも開発しました(下図)。その結果、原子、イオン、電子の広がり構造を、空气中1900 Kという高温に試料を加熱したまま正確に求めることができ、「高温での精密構造物性」、「新物質・新材料の構造デザイン」という新分野を切り拓くことに成功しました。



(2) イオン・原子の位置と動きを調べる：中性子回折法

エネルギー・環境分野の鍵を握るのは固体中をイオンが流れるイオン伝導体です。**イオン伝導体**におけるイオンの位置と動きを中性子と放射光で調べています。当研究室では、世界に先駆けて燃料電池材料ランタンガレート、最も酸素イオン伝導度が高い酸化ビスマス、リチウムイオン電池材料とプロトン伝導体のイオンの位置と拡散経路を決定しています。また、触媒材料などのナノ物質、強誘電体等における結晶構造と相転移も次々に明らかにして材料開発に生かしています(**構造物性**)。また、結晶構造に基づいて新しいイオン伝導体などの設計(**新物質探索**)を行い、**物質特許・構造特許**を申請しています。



(3) 化学結合・共有結合を可視化：高分解能放射光回折法で複雑な先端材料を調べる～結晶・電子構造による新材料設計～

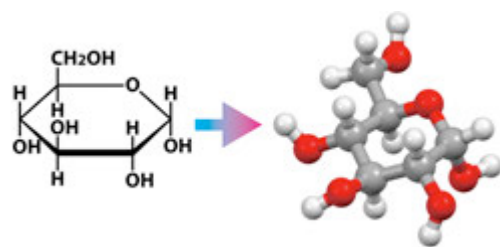
多くの材料ではイオン結合・共有結合と電荷移動(電荷・軌道・スピン・イオンサイズ)を自在に組合せて好みの特性をつくります。このような構造中の結合状態は、**精密な電子密度**を観察することで明らかにすることができます。たとえば上図(右)に示したペロブスカイト(CaTiO₃)では、1401℃での放射光X線解析から、Tiと酸素原子の間の共有結合を可視化することに成功しました。クリーンで再生可能な水素エネルギー源として期待されている**光触媒**と**ナノ材料**における化学結合を調べて、光触媒が可視光に応答する構造的要因も明らかにし、新しい光触媒をデザインしています。また、密度汎関数理論(DFT)による第一原理バンド計算を行い、化学結合と構造、相安定性、光物性、電気的性質、熱物性、生体親和性、機械的性質の本質に迫ります。その知識を駆使して、材料の特性と物性を制御し、**新物質を探索**します。

ミクロの世界の動きを三次元構造から追跡する

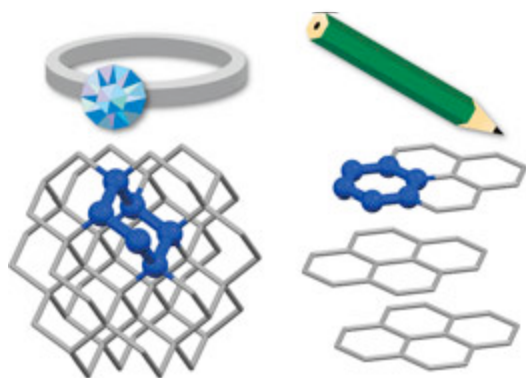
植草研究室

みなさんは**分子の形**を見たことがありますか？

「化学の教科書に載っているこんな形かな...」と考えたあなた！ぜひ、分子の形を**立体的に**（三次元的に）見てみませんか？《右図参照》



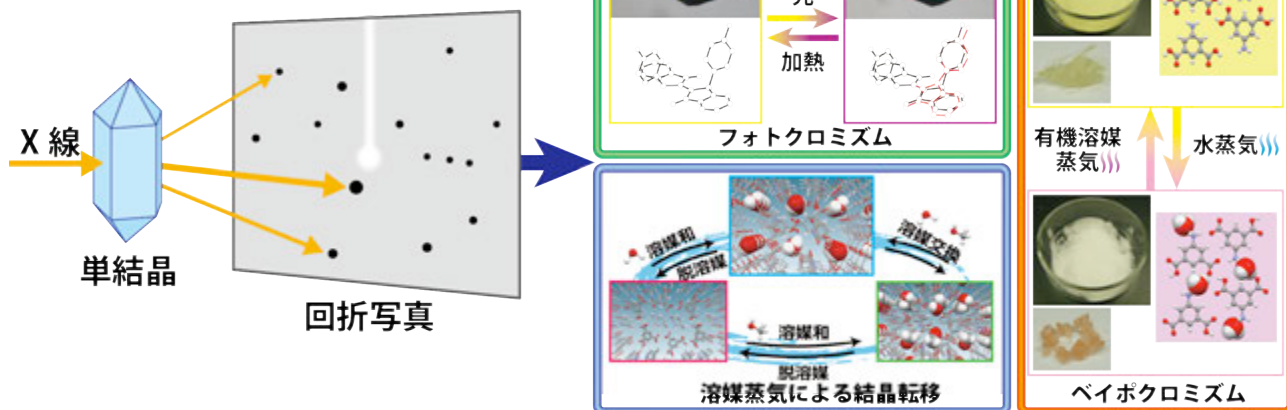
その物質が固体（結晶）であるならば（私たちの身の回りのものは多くが固体ですけどね!）、X線回折法を使って複雑な分子の構造も三次元的に見ることができます。私たちの研究室の**主な研究手段である X 線回折法は、分子の三次元的な構造を正確に決定できる現在唯一の方法**です。



分子の形が分かれば、さらに、分子や原子が結晶中でどのように**並んでいるか**が分かれば、その物質の性質を説明することができます《左の図はダイヤモンドと黒鉛の例です。同じ炭素でも、性質も構造も全く異なりますね》。つまり、「**構造からすべての化学が始まる**」と言っても言い過ぎではないでしょう！私たちの研究室の化学も「**構造**」が起点です。

ところで、物質には気体・液体・固体という「三態」があるのはご存じだと思いますが、固体の内部では分子の運動は止まっている、とか考えていませんか？最近の研究では、固体（結晶）状態でも、光を当てたり、熱を加えたり、蒸気に曝したり、時には単に結晶同士を混合するだけで様々な変化（転移や反応）が起こることが分かっています！

私たちの研究室では、固体中で起こる**変化**を分子や結晶の三次元構造の点から調べています。また、測定・解析手段の研究も重要です。反応が起こると結晶が壊れてしまう系では**粉末結晶解析法**、早い反応を時分割で追跡するためには、**迅速 X 線回折法**を開発しました。このような手法を使って、**外部刺激による固体の変化（結晶構造の変化）を実際に目で見ながら、結晶構造と物性（色など）の関係**などについて議論しています。



～非平衡下でのものづくりー空間とポテンシャルの制御～ 自然から学び、自然を超えるものづくりを目指す

河野 研究室

生体系は、絶えず変化することにより生命を維持しています。そこには準安定な構造を巧みに制御することによりエネルギーと物質の循環系ができあがっています。生体系から究極の化学反応のしくみを学び、人工系で空間・ポテンシャル場をデザインすることにより生体系を超える反応場や材料の創生を目指しています。そのためには、物理法則・数学に基づいた原理原則により実験結果を徹底的に解釈することを試み、説明できない結果に対して化学の新しい指導原理を探究する、それが我々の研究理念です。

現在我々が注目しているのは、非平衡系の科学です。特に、構造をベースにして基礎原理の研究を行っています。特に、弱い分子間相互作用に注目し、様々な構造を構築し、新機能の発現・制御を目指しています。そのためには、有機・無機合成によるものづくり・構造・電子状態の解明が研究の柱となります。具体的には次の研究テーマを行っています。

(1) **ナノ空間を速度論的に作る研究**：有機—無機ハイブリッド細孔体が熱力学的に安定な構造へと移行していく段階で、様々な中間体が存在しています。その中間体を利用することにより、熱力学的支配下の生成物とは異なる細孔体を構築することができ、従来にも見られないような特性が期待されます。

(2) **ナノ空間を利用した反応と見る化学**：細孔体を合成するだけでなく、細孔体のナノ空間内で様々な反応を検討し、メカニズムの研究を行っています。特に、我々の主な分析手段の一つであるその場観察構造解析法を利用し、反応を直接「見る」研究を行っています。「百聞は一見に如かず」が本課題のキーワードです。

(3) **ナノ空間の物性研究**：細孔性ネットワーク錯体は、通常バンドギャップが大きく絶縁体ですが、例えば、材料の酸化還元電位を適切に制御することにより電導性を示すようになります。速度論的手法を利用することで新規物性の発現を探究しています。

(4) **ナノ空間を利用したデバイス設計**：ナノ空間を有する結晶性材料は、その表面積の広さからシグナル強度の増強による高感度化や基質選択性などが期待できることからデバイス材料として有望です。これらの特徴を生かして、細孔体で形成された薄膜を作製することによりセンサーの開発およびメカニズムの解明を目指しています。

(5) **結晶相やアモルファス相の未知構造研究**：物質を合成した後は、回折法による構造決定を行います。また、準安定な構造はよく相転移を起こし、大きな構造変化とともに物性も変化します。構造解析の対象は、単結晶、結晶性粉末、アモルファスと様々です。そのため我々は、放射光や実験室系のX線を用いて未知構造解析を行います。

研究を本格的に始めるとなかなか専門外の勉強や基礎的な学問の鍛錬のための時間が取れなくなります。学部時代はまさに教養を広く養う時期です。あせらず、基礎的勉強に励み、足腰を鍛えてください。化学を修めることにより、さまざまな分野へ進出可能となります。オンリーワンの化学をめざし、一緒に化学の本質を学ぶところから始めませんか？

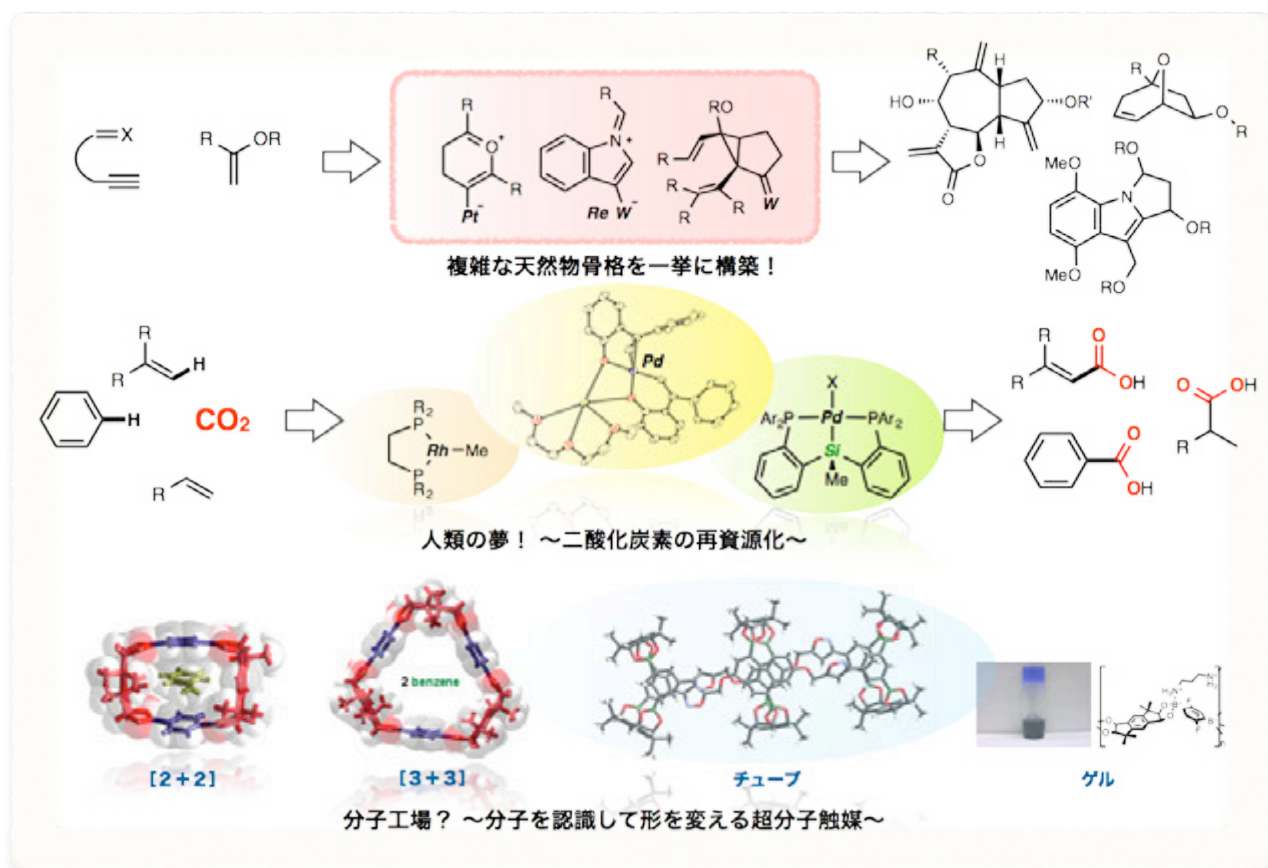
新しい合成反応を開発する

-有機合成化学の醍醐味-

岩澤・鷹谷研究室

有機合成化学とは、我々の生活に必要な多種多様な有機化合物（例えば医薬・農薬などの生物活性物質、高分子材料・電子材料などの機能性物質、生体関連科学における重要機能性物質など）を“いかにして合成するか？”を研究する化学です。一般に、ある一つの有機化合物を合成するには数々の反応を駆使して数段階（時には数十段階！）の工程が必要となりますが、我々はそんな時に使える**革新的な新しい合成反応を開発すること**を目的に研究を行っています。例えば、「**簡単な化合物から複雑な化合物を一挙に得る反応**」、「**欲しい化合物だけを選択的に合成できる反応**」、「**炭素資源の最終酸化物である二酸化炭素を再資源化する反応**」などの開発に取り組んでいます。こういった反応開発は、実験室レベルはもちろん工業的にも常に強く必要とされており、我が国のものづくりの基盤を支える科学となっています。

新しい合成反応を開発するには様々なアプローチが考えられますが、我々は**遷移金属などを活用した新しい反応活性種を創出し**、その特徴を上手く利用することで、これを実現しようとしています。遷移金属は、典型元素とは異なりそのd軌道に由来する多種多様な反応性を示します。この多様な反応性を使いこなすことで、通常不可能な分子変換が可能になるものと考え、さまざまに試行錯誤しながら研究に励んでいます。また、新しい合成反応を開発することは、**新しい有機化合物を創製すること**にもつながりますので、新しい化学の発見に出会う機会は無限大です。日々の研究実験の中から新しい発見に出会ったときの喜び・感動は、一度味わったらやみつきになること請け合いです！！



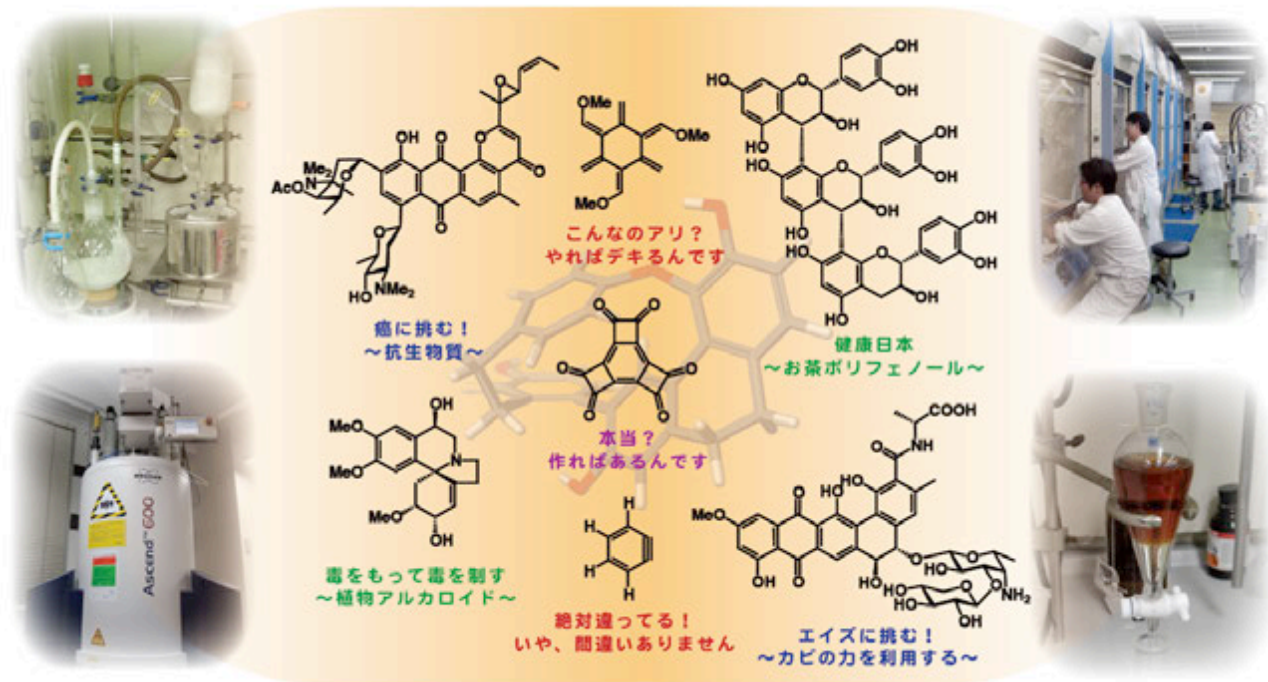
ミクロの建築学～有機合成化学～

鈴木・大森研究室

0. 15ナノメートル、さて何の長さでしょう？ 実は有機化合物を形づくるために炭素原子と炭素原子が手をつなぐ時の原子間の距離なのです。有機化合物と聞くと「なんだ、亀の甲か」とそっぽを向いてしまう人も多いかも知れません。これはおそらく、高校で教わる有機化学が「まる暗記」であったからでしょう。しかし、本当の有機化学はまるで違います。明確な論理によって裏付けられる極めて精緻かつ創造的な学問といえます。それぞれの化学現象をきちんと理解すれば、個々の反応をいちいち暗記する必要はなくなります。それは本当？ そうお疑いの方は、是非、第2学期に開講される化学第二の授業を受講してみてください。

有機化合物は、ナノスケールの小さな積み木（炭素-炭素結合）が調和しながら組立てられる、見事な、そして実に多様な建築物といえます。実際の建築物にも正倉院のような芸術的なものから、機能的な近代高層ビルのようなものまであるように、有機化合物の構造も炭素原子にさまざまな元素が複雑に組み合わさりながら、実に多彩な形を作り上げます。平らなもの、丸いもの、いびつなもの、美しい対称性のあるもの、見た目の恰好がおもしろいもの、など様々です。また、重要な生理活性（例えば、制癌活性）を持ち、かつ金やプラチナなどより遙かに希少性の高い天然有機化合物も多く存在します。たとえば、ある抗腫瘍性化合物は、数百 kg の天然素材から僅か 0.1 mg 程度しか得られません。

私たちが専門とする有機合成化学は、このような多彩な「ナノメートルの建築物」をどう組み立てるか（合成するか）を研究する学問です。何をどう作るかは全く自由です。役に立つ分子を作るもよし、変な恰好の分子を作るもよし、合成の効率を追求するもよし、芸術性を追求するもよしです。それらの建築物をどうしたらうまく作り上げられるか、皆で知恵を絞って研究を進めています。興味のある人は、ぜひ研究室に見学に来て下さい。

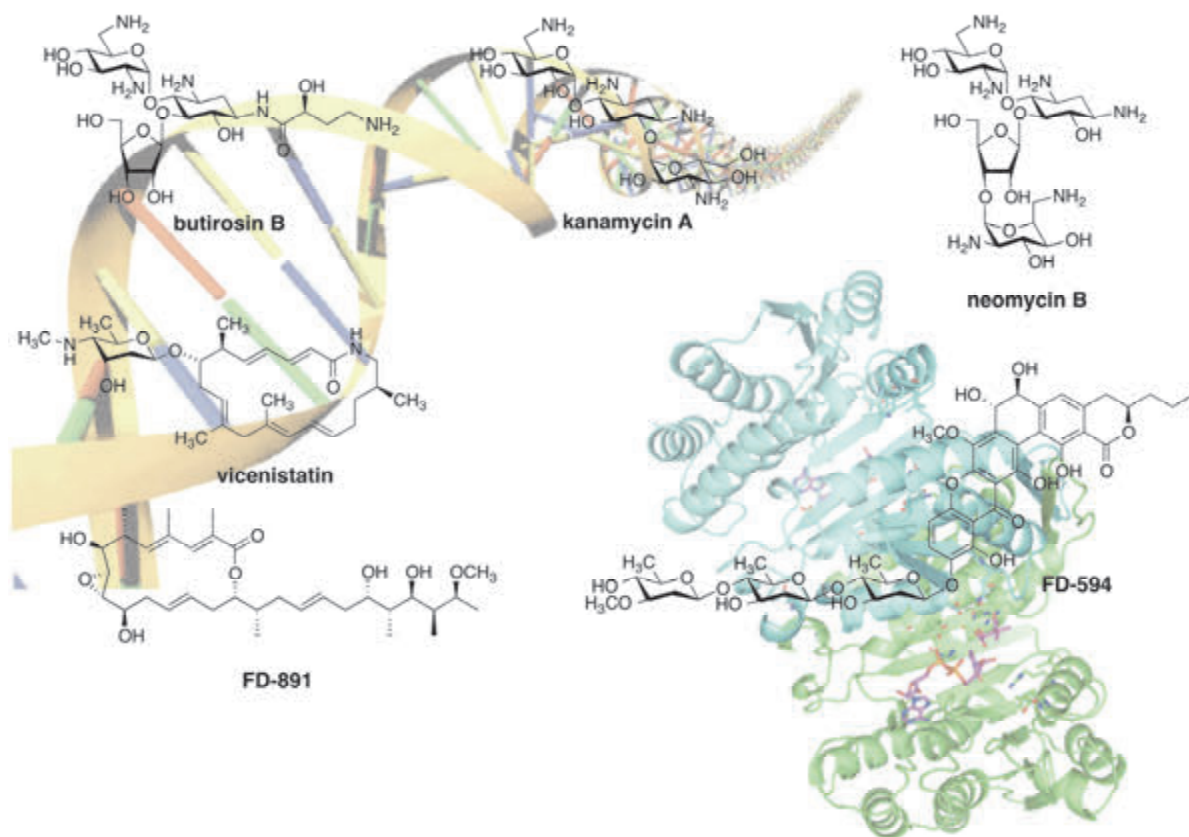


化学と生物の境界領域 “生物有機化学”

江口・工藤 研究室

物質はすべて原子から構成されています。これは生物も例外ではなく、すべての生物は原子から構成されている化学物質から成り立っています。そして、生物は種々の化学反応をおこない、エネルギーを獲得し、自己増殖をしています。すなわち、生物もいわば化学そのものと言えます。さらには、生物の体はそのほとんどが有機化合物の集まりであり、すべての生命現象は我々のみならず、どんな生物であっても、その根本を突き詰めていくと有機化合物同士の認識と反応に基づいて行われています。

江口・工藤 研究室では、生命現象を良く理解していくための基礎研究として、有機化合物の構造やその反応を詳しく解析し、分子認識機構等を有機化学の視点で解明するというアプローチで研究を行って、生命現象そのものを目で見てきたかの様に語れるようになろうと日夜努力しています。そのような観点から、有機化学をその基本的な立場して、生体系で行われている様々な現象に対して理解を深めるべく、日夜研究活動をしています。



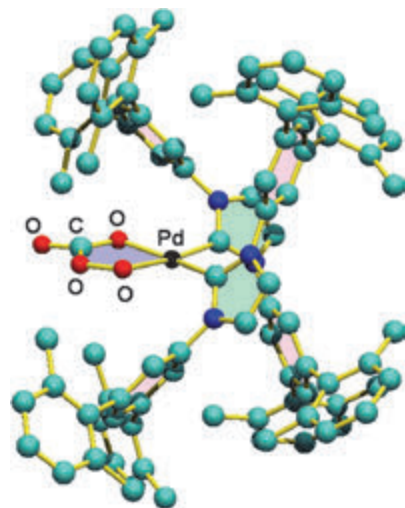
有機分子を用いたナノサイズ反応空間の自在設計

—構造有機化学・有機元素化学・超分子化学—

後藤研究室

有機化学の大きな特長の一つに、分子を巧みにデザインすることで、目的に応じた機能・性質をもつ構造体を自在に組み上げられる点があります。出来上がる構造体はナノメートルサイズの小さなものですが、完成品に求められる機能を考えながら設計図を描き、合理的に計画された工法により素材を組み上げていくプロセスは、マクロの建築物やデバイスのそれと何ら変わりありません。新素材や新工法の開発もめざましい勢いで行われています。機能性材料の開発から生命現象の解明にいたるまで、「分子」を扱うさまざまな科学分野において、目的分子を自在にそして精密にデザインし、それを実際に合成できる有機化学は、その重要性を増しています。

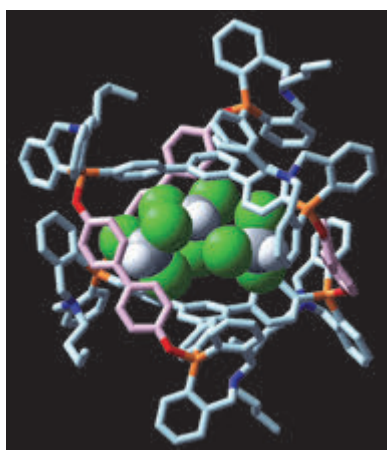
我々の研究室では、有機分子を用いてオーダーメイドのナノサイズ反応空間をデザインし、従来困難だった合成や反応制御に応用しています。たとえば、これまで合成できなかった不安定な生体反応中間体を、オリジナルデザインのボウル型分子を用いて手に取れる形に安定化し、従来はブラックボックスだった生体反応機構を解明しています。また、ナノサイズの配位子をもつ金属錯体を合成し、空气中に0.04%しか存在しない二酸化炭素を、結晶相で固定することに成功しています。巨大な内部空間をもつ分子カプセルの効率的な合成法も開発しています。分子設計や実験操作を自分たちで工夫することで、世界で多くの研究者が挑み



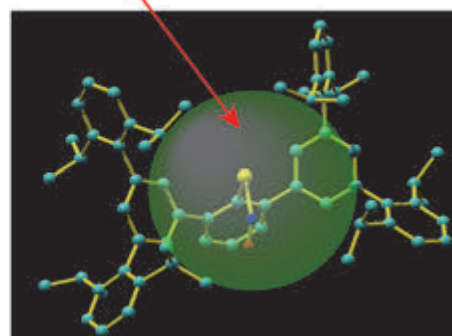
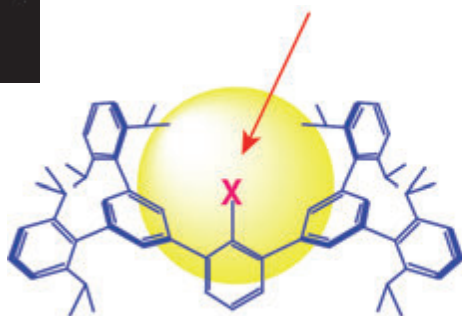
金属錯体による空気中の二酸化炭素固定

つつ合成できずにいた化合物を、安定に手に取ったときの思いは格別です。もちろんそこに至るまでの過程は試行錯誤の連続ですが、その過程こそが化学研究の醍醐味だと考えています。

酵素の活性部位と同様に活性中間体を安定化するマイクロ空間



巨大な内部空間をもつ分子カプセル



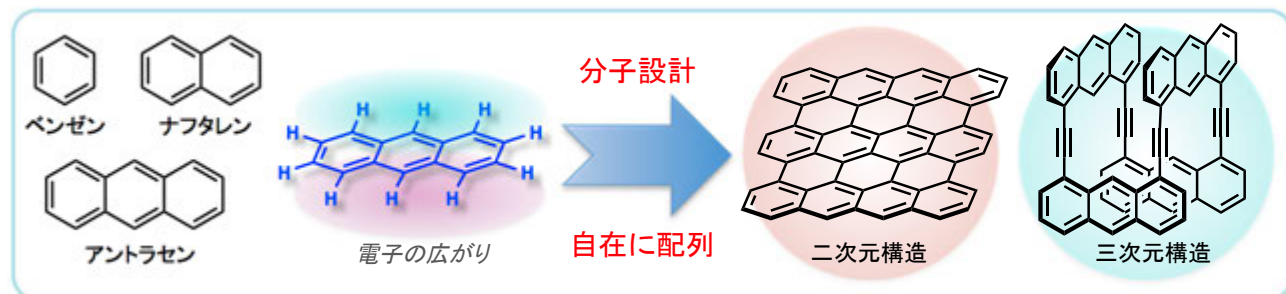
芳香環の配列を設計して新化合物を創る

～物理有機化学，芳香族化学，立体化学～

豊田研究室

有機化学の分野では，簡単な部品を化学反応によって順次連結して，目的とする複雑な分子の構造を組み立てていきます．化成品として生活を豊かにする化合物，機能性物質や薬として役に立つ化合物，純粋に構造が面白い化合物などを，効率よく，無駄なくかつ安全に合成することは，有機合成化学の重要な課題の1つです．

当研究室では，ベンゼンやアントラセンのような芳香環を部品として用いて，新しい化合物を設計し，実際にフラスコの中で合成し，機器分析や計算機化学の手法で構造や性質を詳しく調べる**芳香族化学**の研究をおこなっています．芳香環はパネル状の平面構造をもつこと，電子が豊富な領域があることから，配列の様式によって様々な形，柔らかさや電子分布を実現することができます．芳香環を平面的に配列した二次元構造では，グラファイトの単層「グラフェン」の部分構造を対象に，電子の広がりや偏りに由来する特異な性質を引き出す研究をします．また，直線的なアルキンを連結部位に用いて，様々な三次元構造をもつ芳香族の構造体を組み立てています．このような化合物は，光で構造が変化したり，他の分子を閉じ込めたり興味深い性質を示すことが期待できます．



芳香環を連結するためには，2010年ノーベル化学賞の対象となった「クロスカップリング反応」が非常に役に立ちます．鈴木-宮浦カップリング，根岸カップリング，菌頭カップリングなどの日本人の発見した反応を，芳香環やアルキンを連結するために最大限に活用しています．

以上の研究を行うにあたり，化合物の構造や性質を十分に調べて新しい理論の確立や一般化に結びつける「物理有機化学」の考え方や，三次元構造をもつ化合物の立体的特徴を解明する「立体化学」の考え方を重視しています．これらの研究を通して身に付く論理的な考え方は，社会のあらゆる場面で必要とされます．

化学物質の可能性は無限です．新しい化合物を自ら考え合成して，化学を楽しんでみませんか？

多電子励起分子の不思議な世界

河内・北島研究室

原子や分子は物質の基本的構成要素であり、その性質や振る舞いが、様々な物質の個性、多様性を支配しています。この原子や分子は、エネルギーを吸収すると“ふつう”の状態（基底状態と呼んでいます。）とは異なる励起状態になることが知られています。ところが、長年に亘る原子・分子の研究でくわしく解き明かされたのは基底状態（と低い励起状態）だけで、高エネルギー領域には多くの謎が秘められたままです。さて、ここで皆さんにクイズです。

『原子や分子が一つの光子を吸収するとしましょう。原子・分子内の二つ以上の電子が同時に励起することは可能でしょうか？』

これから皆さんが化学第一で学ぶ分子軌道法が正しければ、こんなうまい話は起こりません。これが、業界の常識でした。でも教科書に書いてあることなんて、100%正しいというわけではないのです。そうです、実はこんなうまい話が起これるのです。しかも私たちの実験によれば、一光子吸収による二電子励起のほうが、一光子吸収による一電子励起よりも、2倍も起こり易い場合すらあるのです。では、もう一問。

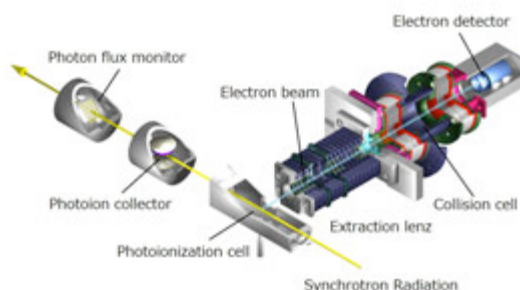
『こんどは、電子を一つ原子や分子にぶつけてみましょう。原子・分子内の二つ以上の電子が同時に励起することは可能でしょうか？』

答えは、可能である、です。しかも、私たちの実験によれば、一光子吸収による二電子励起よりも、一電子衝突による二電子励起のほうが、より起こりやすそうなのです。二つ以上の電子が同時に励起した原子や分子、すなわち多電子励起原子・分子の世界は、我々の常識が次々と覆される極めて面白い世界です。

私たちは、世界で唯一の高性能装置を自ら開発し、シンクロトロン放射光や高分解能電子ビームなどを駆使して、原子・分子の織り成すマイクロ世界を探求しています。右の写真は、そのための装置の一つで、私たちが独自に開発した光子標識つき電子エネルギー損失分光システムという、世界に誇るべき実験装置です。私たちはまた、化学反応の立体効果を突き詰めて、分子そのものが持つ反応性の立体効果を追及する研究や、世界で最も低いエネルギーの電子ビームを使って分子の新たな量子ダイナミクスを探求したりしています。右の図は、私たちが開発に成功した、シンクロトロン放射光を用いて世界一低いエネルギーの電子ビームを発生させる、電子 Cold Collision 実験装置です。



光子標識つき電子エネルギー損失分光システム



電子 Cold Collision 実験装置

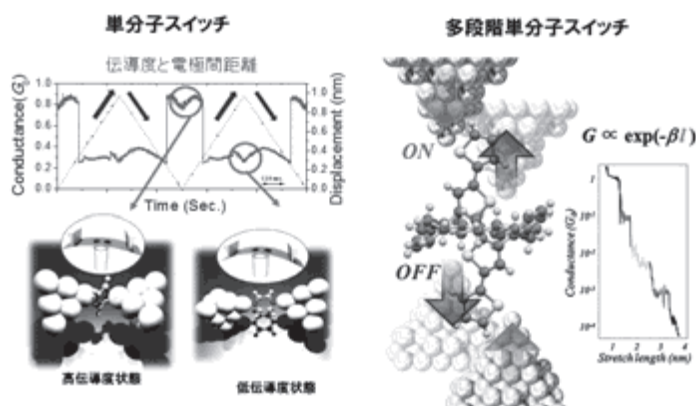
ナノスケールの物質から新しい機能をひき出す

木口・西野 研究室

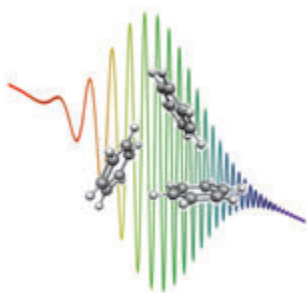
分子や小さな結晶のかけらを組み合わせて様々な並び方の集合体を作ると、分子・原子がお互いに協力し合うことで、元の分子・原子からは予想もつかない性質を示すようになります。新聞や雑誌の科学欄にぎわす“ナノテクノロジー”においても、原子・分子の『新しい組み合わせと並び方』や『ナノメートル(1 nm=10⁻⁹ m)サイズに微小化する』ことによって生まれる物質の新しい性質を見つけ出し、それを利用する事が重要な課題となっています。例えば、金塊を細かくして、数十 nm の大きさの微粒子にすると、金が金色ではなく赤色を示すようになります。私たちはこのようなナノスケール物質のもつ興味深い性質を、さまざまな物理的・化学的手法を使って調べています。

現在、主な研究対象としているのは、たった一個の分子を金属電極間に架橋させた単分子接合です。単分子接合研究の大きな目標の一つが一分子でコンピュータを作ろうというものです。一分子で演算が出来るようになると現在のコンピュータの性能を飛躍的に向上させることが出来ます。その他にも、一分子の優れた機能を利用して高効率なエネルギー変換を実現することが出来ます。また、一分子を検出できることを最大限に生かして、高感度に分子を測ることが可能です。そして、光合成や太陽電池で重要なプロセスである光電変換など複雑な現象を、詳細に解明することも可能となります。

右の図は単分子接合において、電極間距離を変えた際の単分子接合の伝導度変化を示したものです。電極間距離を大きくしたり小さくしたりすることで、単分子接合の伝導度を二値 (on/off)、または 3 つの値 (High、Medium、Low) と自在に変化させることが出来ました。これは、力によって単分子の抵抗値をスイッチ出来たことになります。また、接合内に 2 種の異なる分子を配置し、両者の相互作用を利用することによってもスイッチを実現することが出来ました。



このような単分子スイッチをはじめとする単分子デバイス開発に加え、通常スケールでは絶縁体であるベンゼンが単分子接合となると金属化することや、非常に安定で他の物質と反応しない金が金単原子接合となると水素分子を解離できることなど、通常スケールでは全く予想出来ない単分子接合に特徴的な性質を明らかにしてきました。また、太陽電池のエネルギー変換効率を向上させるために、単分子計測の技術を活かして、その基礎過程の解明に挑戦しています。光エネルギーが電気エネルギーに変換される過程を最も単純な単分子レベルで計測することによって、発電に至る基礎過程を分子尺度で解明できます。さらに、光だけでなく、熱エネルギーを電力に変換する熱電変換についても単分子レベルで計測し、明らかにしています。



ダイナミックな分子の姿をありありと捉える

大島研究室

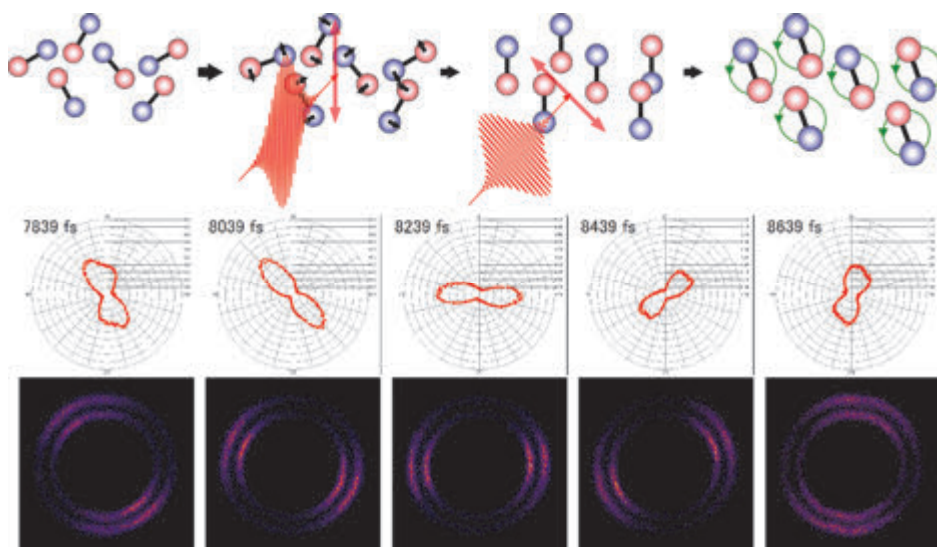
Ohshima Group

紙の上に書いた分子式は分子の骨組みだけを教えてくれますが、実際の分子は空間を飛行し、回転し、振動しています。室温の条件であっても、典型的な分子で1秒間に300メートル飛び回り、1000億回も回転し、振動は1兆～10兆回に達します。このように激しく運動する分子の姿を「ありありと捉える」こと、その上で、分子の運動を「自在に操作する」ことを、私たちは目指しています。

分子運動をコントロールするために、私たちはレーザー光を活用します。まず、分子を1ケルビン以下の極低温状態に冷却して運動をストップさせたのち、1ピコ秒（1兆分の1秒）よりも短い強力な光パルスを用いて瞬間的に分子に撃力を加え、運動を励起します。このような「撃力」光による状態分布の変化を精密に測定する方法を、私たちは独自に開発しました。さらに、レーザーパルスを適切な時間間隔で2発続けて照射することにより、そろって右回りもしくは左回りに回転させることにも成功しています。パルス間隔は分子の回転周期（10ピコ秒）程度で、この時間内で回転方向の整列が完了します。そのために、回転のタイミングをきれいにそろえることができ、また、パルス間隔を変えるだけで回転の向きを反転させることもできます。

そろって回転する分子の集団を作り出すことに成功したことは、超高速で運動する分子の姿を「ありありと捉える」ことへとつながる重要なステップです。実際についに先ごろ、独自に開発したイメージング法を活用して、回転する分子の「動画」を撮影することに成功し、「粒子であるとともに波としての性質を持つ」というミクروسケールの物理法則に支配された分子の世界を、明確に視覚化することができました。撃力光による分子運動の励起は、回転ばかりでなく振動運動にも適用できます。今後は、分子構造の変化、さらには異性化のような化学反応を効率的かつ選択的に誘起するような、エキゾチックな運動状態を作り出すことに挑戦する予定です。このような研究を更に進めることによって、真に量子論的な枠組みのなかで「望ましい反応のみを進行させる」ための指導原理の確立を目指したいと考えています。

当研究室は、2014年9月にスタートしたばかりです。一緒に新しい研究を進めてくれる諸君の参加を待っています！



そろって右回りに回転する分子集団生成の模式図(上段)、観測した画像イメージ(下段)、ならびに、対応する分子の空間配向を極座標プロットしたもの(中段)。各イメージは、左から右へ0.2ピコ秒ごとのスナップショットに対応。

レーザーでさぐる化学物質の性質や反応

河合研究室

◆光は化学物質と結びついて様々な現象を引き起こす

日が暮れたり消灯したりすると、真っ暗になりますね。これは、まわりの化学物質が光吸収することが主な原因です。光を吸収した物質は、そのエネルギーを消費します。よい例が植物の光合成で、色素分子が光を電子エネルギーに変えることで始まる現象です。このように光と物質は結びつきが強く、化学物質の種類が無尽蔵であるため、光吸収後の化学現象も多様です。これらを探査することは、応用的な研究の土台となる基礎知識を与え、エネルギー問題のような緊急の課題の解決や、多くの人はまだ気づいていない新現象の発見や解明につながります。

◆化学の研究にレーザー？

化学物質は変化する際にエネルギー吸収や放出を伴います。化学では熱や電圧で化学変化を誘起しますが、光を照射することでも反応させることができます。特にレーザーを光源にすると、(1)エネルギーを正確に調整でき、(2)光照射時間を短く(1兆分の1秒)できます。この特徴を生かすと、瞬間的に一定のエネルギーで化学反応を開始させることができます。すなわち、化学反応の温度(持っているエネルギー)や反応開始時間を正確にコントロールした実験が可能になり、化学反応がいかに進むか探ることができます。このようなレーザー実験で得られる情報を理解するには、皆さんが大学で学ぶ化学、数学、物理学、特に量子力学の知識が必要です。



レーザーによる化学反応計測実験。自作した装置で実験する大学院生。

◆ラボで行っている研究紹介

活性酸素が磁化を作る現象 光で作られる化学種に“活性酸素”があります。これは O_2 が光照射で高いエネルギーをもらうことで生じた反応性の高い物質で、生物の遺伝子を化学的に破壊することが知られています。活性酸素は観測することが難しく、多くの工夫が必要です。我々は、レーザーで作った活性酸素が不対電子をもつ分子と衝突すると、大きな磁化が発生することを発見しました。この磁化は測定が可能で、これにより活性酸素の寿命や存在位置などを観測できると考えています。将来は、この現象を利用して生物体内の活性酸素を観測することを目指しています。



活性酸素の作る磁化の検出。レーザーとパルスEPRを組み合わせた装置による実験。

新しい液体～イオン液体～ 液体の構成分子がすべてイオンである物質が、イオン液体として注目されています。イオン液体中では分子間に強いクーロン力が働き、これがイオン液体中での化学反応に与える影響に興味をもちています。イオン液体中の化学反応をレーザーによる精密な測定に基づいて研究し、異常な反応性を示す例をいくつも見出しました。イオン液体中での面白い現象の発見や優れたイオン液体の開発に寄与することを目指しています。



液体自体が赤色。光で性質が変わるイオン液体。



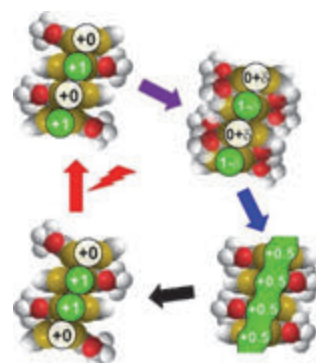
イオン液体中の電子移動反応速度のレーザー測定に成功。

光が切り開く新たな物質科学

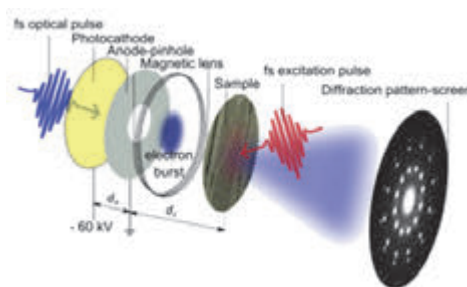
～光で起こす分子・原子のドミノ倒し～

腰原・沖本研究室

豊かで便利な今日の社会と生活を支えてゆく上で、エネルギーや各種資源の限界の問題が大きな壁として立ちはだかっています。この問題の解決に向け、無限に降り注ぐ光エネルギーを資源に変換して徹底的に利用する材料（光エネルギー変換材料）の開発が課題になって来ています。また光は、超高速光通信や各種高密度光メモリー、光演算の形で我々の生活とすでに深いかかわりを持っていますが、この点でも、光デバイス材料に対して、さらなる高速化と抜本的な省エネルギー化が強く求められています。さらに私たちの身の回りの生命現象を見回してみると、人工光合成や太陽電池、光医療など光が主役を演じている現象に満ちています。このように、光によって物質を変化させ、その変化の仕方を制御することは、今日の物理学、化学、材料科学、生命機能科学等多くの分野に共通する一大課題となっているのです。しかし従来の研究では、一つの光子に応答する分子や電子の数はおおむね一つに限られていました。この原理的限界を突破するべく、私たちのグループは、「一つの光子で極めて多数の電子や分子が一気に変化するような光ドミノ現象を示す固体群の発見」と、「現象の特性解析、そしてそのための観測装置開発」の二つの柱を中心に、世界に先駆けてこの分野を創始したグループとして日夜研究に取り組んでいます。研究対象は、有機錯体結晶から無機酸化物セラミックス、さらにはその複合ナノ構造体まで幅広く取り扱っており、化学と物理の境界における新領域の研究となっています。これらの研究対象物質に対し、超高速レーザー分光に加えて、パルス X 線、光電子分光、電子線回折など世界の今後の分析手法をリードするための装置開発にも取り組んでおり、学生の皆さんの仕事も含め、国際的に注目を集める成果が続々と産み出されています。



起後の構造とドミノ倒しの価数変化の様子



我々が作成している電子線回折による光励起構造変化動画撮影システム

cf. G. Sciaini 他, Rep. Prog. Phys. **74**, 096101 (2011).

火山から学ぶ

火山流体研究センター 野上・寺田研究室

日本列島を含む環太平洋火山帯には世界の活火山の約6割が密集するなど、我が国は世界屈指の火山国です。昔から「天にオーロラ、地に噴火」と言われるように、火山噴火は、美しく、荘厳な自然現象の一つです。その一方で火山は、時には大きな災害をもたらす存在でもあります。したがって、噴火が「いつ」「どこで」「どの様に」「どれくらいの規模で」発生し、それが「いつまで続くか」を予測することは、人間社会にとって重要なテーマです。

本学は、草津白根山（群馬県草津町）に観測所を有し、同火山を天然の実験室として火山研究を50年以上も続けてきました。この間、1976年に草津白根山で発生した水蒸気噴火を、世界で初めて化学的手法を使って予測しています。2000年には火山流体^注研究センターが発足。これにより、地球化学・地球熱学に、地球電磁気学や地震学を合わせた、多分野融合的な研究体制が整いました。噴火が発生すれば、全国どこへでも出掛け、火山研究を通じた人間社会への貢献を目指しています（図1）。

本センターは、大岡山キャンパスの研究室に加えて、草津白根観測所に火山ガスや温泉水の分析機器、研究室や宿泊施設を整備しています（図2）。草津白根山には各種の計測装置が多数展開されており、これらによって得られた観測データは、学生も研究に活用することができます。

注) マグマや火山ガス、熱水など流体としての挙動を示すものを「火山性流体」と呼びます。火山流体研究センターについては、ホームページもご覧下さい
(<http://www.ksvo.titech.ac.jp>)

図1. 御嶽山噴火に対応して、火山ガス測定のために噴火口へと向かう電動式無人ヘリコプター（ドローン）。



図2. 草津白根火山観測所。

化学系卒業後の進路

化学系卒業後は、多くの学生が修士課程、さらには博士課程へと進学し、研鑽を積んでいきます。東工大化学系の先輩達は、大学や企業などの研究者・技術者として、様々な分野で活躍しています！！

学部卒業後

☞ 一度やったらやめられない？それが化学の魅力です。毎年95%程度の多くの学生が修士課程へと進学し、各々の化学を極めようと、さらに研鑽を積んでいきます。

修士修了後

☞ 毎年10～35%の学生が博士課程へと進学しています。

平成27年度12名、平成26年度7名、平成25年度12名、平成24年度12名
 ☞ 就職希望者は、様々な企業の研究者・技術者として、社会へと飛び立っていきます。多くは以下のような化学系メーカーに就職しますが、その他にも食品・医薬、電機・精密、通信・運輸など業種は多岐にわたります。

3M ジャパン プロダクツ	岐阜セラック	大陽日酸	日本ゼオン
ADEKA	キミカ	デュボン	日本パーカライジング
JFE ケミカル	協和発酵ケミカル	電気化学工業	長谷川香料
JNC	コーセー	東ソー	日立化成
JSR	三洋化成工業	東洋インキ	富士フイルム
JX 日鉱日石エネルギー	資生堂	東洋インキ SC	扶桑化学工業
NBC メッシュテック	昭和シェル石油	東洋合成工業	丸善石油化学
旭化成	信越化学工業	東レ	三井化学
旭硝子	住友化学	凸版印刷	三菱鉛筆
出光興産	住化分析センター	日進化成	三菱化学
宇部興産	住友ベークライト	日東紡績	三菱レイヨン
エクソンモービル・ジャパン	生化学工業	日本カーバイド工業	モルトバーネ
王子製紙	セントラル硝子	日本化薬	ユニチャーム
花王	大日精化工業	日本合成化学工業	横浜ゴム
川口化学工業	大日本印刷	日本触媒	ライオン

表. 主な就職先 (化学系メーカーのみ抜粋)

博士修了後

☞ 博士課程を修了したら、もう一人前の研究者です。国内外の大学などの学術研究機関や、民間企業など、多くの活躍の場が君たちを待っています！

ETH Zurich	University of Regensburg	東京工科大学	日本原子力研究開発機構
Max Planck institutes	大阪大学	東京工業大学	日本大学
Pohang University of Science and Technology	産業技術総合研究所	東京大学	分子科学研究所
The University of Geneva	昭和薬科大学	東北大学	理化学研究所
University of North Carolina at Chapel Hill	東京医科歯科大学	豊田中央研究所	

表. 主な就職先 (研究機関のみ抜粋)

先輩からのメッセージ

※「化学系」は平成27年度以前は「化学科」でした。以下、化学科は化学系に対応します。

秋山 葵 岡田・火原研究室

1類1年生のみなさんへ。ご入学おめでとうございます。私から東工大の化学科での3年間についてコメントさせていただこうと思います。座学と学生実験に費やす2,3年生の時間は、化学科生としての基礎を修得するのは言わずもがな、3人寄れば何とやらと言いながら友人とともに課題に取り組んだり、試験明けには開放感に浸りながらつるんで食事に行ったりと、信頼できる仲間たちと友好を深める時間でした。そして、その2年間でふれた座学と実験で出会った分析化学に惚れこみ、4年生の卒業研究に至っています。研究室で教員・先輩方にお世話になりながら、同期達とともに、日課のコーヒータイトに支えられながら学科生活集大成の卒業研究に打ち込む、忙しくも充実した毎日を過ごしています。化学科ですごした時間は暖かく、専門知識以外でも成長のあった時間でした。みなさんの化学系での生活も、楽しく価値あるものになることを願っております。

小林 尚正 河内・北島研究室

新入生の皆さん、ご入学おめでとうございます。皆さんは志望学科をすでに決めているでしょうか？私は入学した当初、一類のどの学科でやっていることも興味があり、自分にとってどの学科がいいのか迷っていました。その中でも化学科を選んだ理由は化学が様々な学問と結びつきがあり、将来に幅広い選択を持てると思ったからです。化学科の研究室には数学、物理学の知識を必要とするところもあれば、生物に関連する内容、火山など、いろいろあります。私は、3年生の時に行った物理化学の実験が面白かったので、物理化学系の研究室に入り、反応素過程の基礎を研究しています。また、化学科といえば実験のイメージが強いですが、講義や演習科目も多くあります。2年生では物理化学、無機化学、分析化学、有機化学といった必修科目があり、基礎的な知識を身に着けます。また、3年後期の講義はほぼ選択科目となり自分の興味を持った科目を深く学ぶことができます。一類で何をやってみたいか迷っている人はぜひ化学系へ！

金澤 知器 石谷・前田研究室

新入生のみなさん、一類へようこそ!!一類から進める学科には化学、物理、数学、地惑と実に多くの選択肢があります。そしてこの化学科においても、色々な研究室の説明にある通り、光化学、有機化学、物理化学等々さまざまな分野へと進むことが出来ます。どこに行きたいか、何を勉強したいのか。入試を受ける前に持っていたかもしれないビジョンは、もしかしたら形が変わるかもしれません。二年や三年次で専門分野を勉強して、いざ勉強したい分野が定まったとき、目の前にある選択肢が化学科のように広く多くあれば良い意味で悩むことができます。“入試の化学”に容易には癒えぬトラウマを植え付けられた、という方も安心して下さい。今まではベンゼンが七変化する様子を単に覚えるしかなかったような入試用の科目としての化学を、これからは時代の最先端に行く技術の一つとして学んでいきます。実験や考察を通して直接肌で感じる化学というものは、きっと今まで以上に魅力的に感じるはずですよ。まずは理学セミナーを通して、化学系の研究に触れてみてください。

杉本 忠太 岩澤・鷹谷研究室

一年生の皆さん、ご入学おめでとうございます。私は現在、主に有機金属を扱う研究室に所属し、有機金属錯体を用いた反応開発の研究をしています。新入生の皆さんは、まだ大学に入ったばかりで、学科については迷っている人も多いかと思いますので、化学科の魅力を紹介しようと思います。まず、化学科の一番の特徴は、他の学科と異なり、机の上の勉強で頭を使ってばかりでなく、「実験」が多いということです。学部のおときは、午前中に机で勉強した後、午後は実験でリフレッシュでき、同じ学科の人と一緒に実験をすることで多くの人と仲良くなれます。研究室に入ってから、自分で計画して実験を進めていけるため、一日中机で勉強するということがなく、苦にならずに日々が過ごせるのが魅力です。また一類の化学科は、物理化学・無機化学・分析化学・有機化学と広い範囲の化学を学ぶことができるため、多くの知識を身につけることができ、自分の興味があるものを見つけやすいのも魅力です。さらに化学科の先生方や先輩方は、親しみやすく、勉強でわからないことであったり、研究で行き詰まった時など気軽に相談できます。レポートや演習問題に追われて大変な時もありますが、その分、魅力があるので、系選びの時にはぜひ、化学系を選択肢の一つとして検討してみてください。

We are here!



Department of Chemistry, School of Science,
Tokyo Institute of Technology

<http://www.chem.titech.ac.jp/>