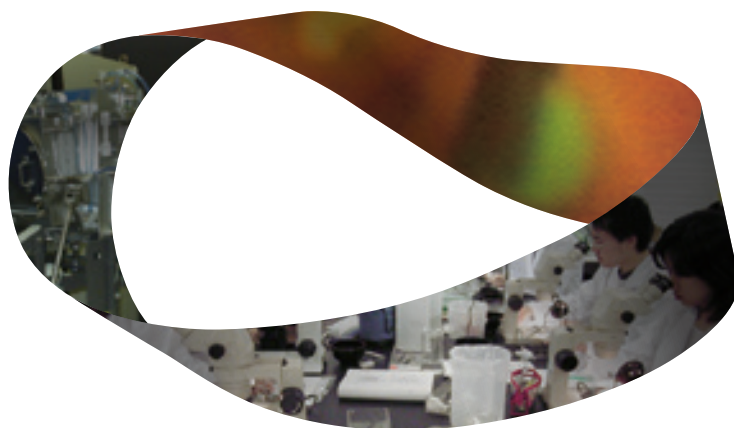


# SCIENTIA

2022



**KU** 神奈川大学

理学部 大学院理学研究科 総合理学研究所



# Contents

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| ■ 理学部長の挨拶                          | 1 |
| ■ 大学院理学研究科委員長の挨拶                   | 2 |
| ■ 神奈川大学理学部教育研究上の目的及び基本方針           | 3 |
| ■ 神奈川大学湘南ひらつかキャンパスと理学部・大学院理学研究科の歩み | 4 |
| ■ 総合理学研究所所長の挨拶                     | 5 |
| ■ ハイテク・リサーチ・センター長の挨拶               | 6 |
| ■ 神奈川大学プロジェクト研究所 プログラミング科学研究所      | 7 |

## ■ 数理・物理学科および数理・物理学領域 8

|          |    |
|----------|----|
| 阿部吉弘研究室  | 12 |
| 伊藤博研究室   | 13 |
| 大泉三津夫研究室 | 14 |
| 小関祥康研究室  | 15 |
| 粕谷伸太研究室  | 16 |
| 加藤憲一研究室  | 17 |
| 川東健研究室   | 18 |
| 木村敬研究室   | 19 |
| 酒井政美研究室  | 20 |
| 知久哲彦研究室  | 21 |
| 長澤倫康研究室  | 22 |
| 星野靖研究室   | 23 |
| 堀口正之研究室  | 24 |
| 松澤寛研究室   | 25 |
| 水野智久研究室  | 26 |

## ■ 情報科学科および情報科学領域 27

|                |    |
|----------------|----|
| 馬谷誠二研究室        | 30 |
| 海谷治彦研究室        | 31 |
| 木下佳樹・武山誠研究室    | 32 |
| 桑原恒夫研究室        | 33 |
| 後藤智範研究室        | 34 |
| 斉藤和巳研究室        | 35 |
| 田中賢研究室         | 36 |
| 張善俊研究室         | 37 |
| 永松礼夫研究室        | 38 |
| ボサール アントワーズ研究室 | 39 |
| 松尾和人研究室        | 40 |

## ■ 化学科および化学領域 41

|          |    |
|----------|----|
| 加部義夫研究室  | 45 |
| 河合明雄研究室  | 46 |
| 川本達也研究室  | 47 |
| 木原伸浩研究室  | 48 |
| 東海林竜也研究室 | 49 |
| 白井直樹研究室  | 50 |
| 鈴木健太郎研究室 | 51 |
| 辻勇人研究室   | 52 |
| 西本右子研究室  | 53 |
| 廣津昌和研究室  | 54 |
| 堀久男研究室   | 55 |
| 松原世明研究室  | 56 |

## ■ 生物科学科および生物科学領域 57

|                  |    |
|------------------|----|
| 分子生物学分野・井上和仁研究室  | 61 |
| 分子生物学分野・井深章子研究室  | 62 |
| 分子生物学分野・大平剛研究室   | 63 |
| 分子生物学分野・小谷享研究室   | 64 |
| 細胞生物学分野・安積良隆研究室  | 65 |
| 細胞生物学分野・豊泉龍児研究室  | 66 |
| 細胞生物学分野・西谷和彦研究室  | 67 |
| 細胞生物学分野・藤原研研究室   | 68 |
| 集団生物学分野・岩元明敏研究室  | 69 |
| 集団生物学分野・佐藤たまき研究室 | 70 |
| 集団生物学分野・鈴木祥弘研究室  | 71 |
| 集団生物学分野・高橋一男研究室  | 72 |

|                        |    |
|------------------------|----|
| ■ Scientia 最終巻の発行に当たって | 73 |
|------------------------|----|

## 理学部長の挨拶

理学部教授 木原 伸浩

理学部は平成元年（1989年）に創設された、神奈川大学の5番目の学部です。神奈川大学は2018年に創立90周年を迎えましたが、神奈川大学創立60周年の節目として湘南ひらつかキャンパス（当初は平塚キャンパス）が開設され、そこに理学部が経営学部と共に設置されたのです。関東平野と神奈川県西部に広がる小動（こゆるぎ）山地の境目に位置する湘南ひらつかキャンパスは、豊かな自然に囲まれ、また、富士山と丹沢山地を臨む素晴らしい環境に恵まれています。広大なキャンパスは同じ神奈川大学でも都市型の横浜キャンパスとは大きく異なり自由で開放的な雰囲気、その豊かな自然と環境の中であって、理学部ではユニークな研究と丁寧な教育が行われてきました。理学部は平成と共に歴史を刻み、平成31年（令和元年、2019年）には創立30周年を迎えました。この間、理学部の教員と最新の研究動向を紹介するために本「Scientia」を毎年発行してきました。

理学部は、開設以来、理学の諸分野の発展と社会に貢献する人材の育成のために努力してきました。理学部は、情報科学科、化学科、応用生物科学科の3学科で足立しましたが、2001年には応用生物科学科が生物科学科に名称変更し、2006年には総合理学プログラムが始まり、さらに、2012年には数理・物理学科が新設されました。数理・物理学科には数理コースと物理コースの2つの履修コースが設けられ、数学、物理、情報、化学、生物と、理学の各分野を擁するバランスの良い学部となっています。総合理学プログラムは物理や化学といった既成の学問分野を超えて、自然科学を横断的に把握するために設けられたものです。総合理学プログラムには、「サイエンスコミュニケーション」「科学概論」「自然の歴史」といった、学科にはない必修科目があり、2年生まで理学の各分野をバランスよく学んだ後、3年生で理学部のいずれかの学部に分属するというユニークなシステムをもち、学際的で幅広い視点を持つ人材を育成しています。

理学部の各学科・プログラムはそれぞれ特色ある教育を実践していますが、理学部としての教育は「基本を大事にすること」と「原理を究めること」を基本としており、一般常識と共に、教育で身につけた学術の基礎によって社会の中核として活躍できる人材の育成に努め、もって教育機関としての社会的責務を果たそうとしています。理学部の学生は総じて真面目であり、卒業してから社会の様々な問題に直面しても、理学部での教育で培われた能力を活用し、問題に正面から取り組み、解決に向けて努力できるものと思っています。また、教職を目指す学生が多いのも理学部の特徴です。本学で教職に就いた人数を学部別に見ると、今世紀では、既卒者を含めた理学部の学生が最多となっています。特に、総合理学プログラムには、培われた幅広い視点を教職に活かす意欲を持つ多くの学生がいます。

理学部の教育目標を達成するために、外国語科目を含む共通教養科目や専攻科目のメニューと内容の充実はもちろんですが、主に低年次に向けて次のような教育改革を行ってきました。（1）高等学校での理系科目の履修数の削減と新生の学力低下に対応するために、理系各科目について、高等学校で学ぶべき内容の定着を確認する概論科目を開講しています。（2）大学での学び方を学び、高大接続をスムーズにするための初年次教育であるFirst Year Seminar (FYS) を2006年度から必修科目としました。（3）一連のキャリア形成科目を開講し、キャリア形成や国内外のインターンシップなど、就職活動を円滑に行ない、社会人としての自覚を持って社会で活躍するために必要な能力が身につけられるようにしています。

学部生、大学院生、ならびに教員の研究・教育活動を支援するための機器と設備も充実させています。情報科学科では、学部学生全員にハイスペックのノートPCを無料貸与しています。核磁気共鳴装置、電子スピン共鳴装置、質量分析装置、X線回折装置、電子顕微鏡、蛍光顕微鏡、DNAシークエンサーなど、ハイテク・リサーチセンターを中心に、化学科や生物科学科の学生は高性能の機器を利用できます。研究機器は他大学と比較しても充実しており、恵まれた研究環境となっています。理学部は総合理学研究所と連携を取りながら研究を推進しており、その成果を広く公表することで研究機関としての社会的責任も果たしています。

## 大学院理学研究科委員長の挨拶

理学研究科委員長 井上 和仁

神奈川大学大学院理学研究科は学部組織を土台として情報科学、化学、生物科学の3専攻をもって1993年にスタートしてから29年が経ちます。2012年に理学部に数理・物理学科が新設され、2016年3月に初めての卒業生を社会に送り出しました。これを受けて理学研究科は、2016年4月より理学専攻1専攻に改組し、その下に数学、物理学、情報科学、化学、生物科学の5領域を置き、理学専攻の基本・共通科目と各領域の専門科目を設け、より充実した教育課程を作り上げました。5領域あわせて演習担当は47名の教員を配置し、博士前期課程59名、博士後期課程3名の入学定員のもとに、学生約100名の教育と研究を行なっています。また改組に伴い、理学専攻博士前期課程に中学・高等学校の教員免許として、数学、理科の専修免許を取得できる課程を申請し、認可を受けました。この間に理学研究科では博士前期(修士)課程修了者920名、博士後期課程修了者50名、および課程外博士14名を社会に送り出しております。

いずれの領域も自然科学の中でも近年ひときわ発展の目覚ましい分野を中心にすえながら、基礎科学知識を徹底して身につけ、その知識を科学・技術問題の解決のために使いこなし、さらには技術革新につながるような発見・発明のできる人材を育成しようという目標を持っています。特定の先端的知識を詰め込むことよりも、基礎知識を確実に、そして柔軟に使いこなし、さまざまな領域で活用することが大切だと考えています。見通しのつきにくい問題を自分の取り組める数多くの小さな問題に整理し、試行錯誤を繰り返して問題を解決できる人材を育成していきたいと望んでいます。その実現を目指して、基礎知識の体系化と展開、そして演習・研究を通しての問題解決力を育むことを柱とした教育課程となっています。その最も大きな特徴として、個別指導教育が挙げられます。例えば、講義などで得た基礎知識の使い方を習得し新たに発展させることが目的の特別研究や、専門分野の論文を紐解く特別演習では、学生一人ひとりを個別に指導します。また、全学生が研究計画を策定し、それに基つきアドバイザーを設け、教育・研究の一層の充実を図る複数指導体制も確立されています。

そのほか、大学院生が学部の講義科目や実験演習科目での指導補助を行うTA制度や学部4年生が博士前期課程の講義科目を履修できる大学院特別科目等履修生制度など理学部との連携も図られています。理学部以外の理系学部、他大学出身者にも広く門戸を解放しています。また、国際化に対応して英語による講義科目も準備され、留学生の受け入れ体制も整えられています。

以上、理学研究科の現状についてまとめました。今後、理学研究科がますます発展するように努力を重ねる所存でございます。皆様方のご理解とご支援を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。





# 神奈川大学理学部教育研究上の目的及び基本方針

## 教育研究上の目的

本学部は、学術の基礎と一般常識を身に付け、理学における専門的な知識を修得する道を通じて個を確立し、社会の中核として活躍できる人材の育成を目的とする。

## アドミッション・ポリシー

(入学者受入の方針)

本学部では、社会の中核として活躍する人材を育成することを教育目標としており、多様な入学試験を実施することにより、以下のような学力と意欲を有する人を受け入れます。

1. 高等学校卒業程度の理科、数学、英語等の基礎学力を有する人
2. 大学で積極的に学ぶ意欲をもった人
3. 大学での学びを将来に生かそうとする明確な目的意識をもった人

## カリキュラム・ポリシー

(教育課程編成・実施の方針)

本学部では、社会の中核として活躍する人材を育成するため、以下に示した方針で教育課程を編成しています。

1. 入学後の第1セメスターでは、全学共通の少人数の対面教育である「FYS（ファースト・イヤー・セミナー）」を通じて大学生の心構えと大学での学び方、ならびに社会性を身につけます。
2. 1、2年次で、コミュニケーション能力を身につけるとともに伝統と社会・文化の理解に欠かせない語学や教養科目を学びます。
3. 2、3年次で基礎的専門科目を学びます。生物科学科と数理・物理学科では履修コースに分かれて興味に沿った学びを行います。
4. 4年次では研究室にて理学の特定課題について卒業研究を行います。

## ディプロマ・ポリシー

(学位授与の方針)

本学部の教育課程において、卒業要件単位を取得した者は、次に掲げる知識、教養、能力を身につけていると判断し、学士（理学）の学位が授与されます。

1. コミュニケーション能力、知識情報社会に対応できる能力、伝統と社会・文化に対する深い理解力をもたらす外国語を含めた一般教養
2. 理学の基礎に関わる幅広い素養
3. 理学部各学科の学問領域の最前線の理解を持続的に可能とする基礎となる専門的知識
4. 卒業後も成長して、職業人として社会に貢献できる能力

各学科の教育研究上の目的及び基本方針のHPアドレス

<http://www.kanagawa-u.ac.jp/disclosure/education/policy/faculty/sciences.html>

# 神奈川大学湘南ひらつかキャンパスと

## 理学部・大学院理学研究科の歩み

|                  |                                                                                                                                                |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 昭和61(1986)年 4 月  | 平塚キャンパス計画の第一歩であり、総合理学研究所の前身である知識情報研究所が開所し、初代所長に藤原鎮男教授が就任。                                                                                      |
| 平成元(1989)年 4 月   | 平塚キャンパスが開校。理学部 情報科学科・化学科・応用生物科学科開設。入学定員は各50名。初代理学部長に藤原鎮男教授が就任。                                                                                 |
| 平成 3 (1991)年 4 月 | 67号館（現在の6号館）が竣工。第二代理学部長に寺本俊彦教授が就任。臨時学生定員増により各学科定員が100名となる。                                                                                     |
| 平成 5 (1993)年 3 月 | 理学部からの初の卒業生が学士（理学）の学位を授与される。                                                                                                                   |
| 平成 5 (1993)年 4 月 | 理学研究科 情報科学専攻・化学専攻・生物科学専攻 修士課程開設。入学定員は各10名。初代理学研究科委員長に服部明彦教授が就任。知識情報研究所が総合理学研究所に名称変更され、第二代所長に門屋卓教授が就任。                                          |
| 平成 6 (1994)年 4 月 | 第三代総合理学研究所長に杉谷嘉則教授が就任。                                                                                                                         |
| 平成 7 (1995)年 3 月 | 理学研究科からの初の修士課程修了者が修士（理学）の学位を授与される。                                                                                                             |
| 平成 7 (1995)年 4 月 | 理学研究科 情報科学専攻・化学専攻・生物科学専攻 博士課程開設。入学定員は各3名。                                                                                                      |
| 平成 9 (1997)年 4 月 | 第二代理学研究科委員長に松永義夫教授が就任。第三代理学部長に村上悟教授が就任。                                                                                                        |
| 平成10(1998)年 3 月  | 理学研究科からの初の博士課程修了者が博士（理学）の学位を授与される。                                                                                                             |
| 平成10(1998)年 4 月  | 第四代総合理学研究所長に釜野徳明教授が就任。                                                                                                                         |
| 平成11(1999)年 4 月  | 第三代理学研究科委員長に竹内敬人教授が就任。                                                                                                                         |
| 平成12(2000)年 4 月  | 臨時定員増の段階的減少開始（各学科50名増を45名増に、以降2004年に25名（総計100名）となるまで各年5名ずつ減）と短期大学廃止による振り分け分からの定員増が行われる。この年の各学科の定員は50名（元の定員）+45名（臨時定員増）+25名（短期大学からの振り分け分）=120名。 |
| 平成13(2001)年 4 月  | 応用生物科学科が「生物科学科」に名称変更。平塚キャンパスが「湘南ひらつかキャンパス」に名称変更。                                                                                               |
| 平成13(2001)年 9 月  | 論文審査による初の博士（理学）学位所得者（いわゆる論文博士）。                                                                                                                |
| 平成14(2002)年 4 月  | 文部科学省補助金私立大学学術研究高度化推進事業 ハイテク・リサーチ・センタープロジェクト「高度機能を持つ分子・生物ホトニクス」の基盤技術開発」が採択される。第五代総合理学研究所長に齊藤光實教授が就任。                                           |
| 平成15(2003)年 3 月  | ハイテク・リサーチ・センター研究棟竣工。                                                                                                                           |
| 平成15(2003)年 4 月  | 第四代理学研究科委員長に山本晴彦教授が就任。第四代理学部長に杉谷嘉則教授が就任。ハイテク・リサーチ・センターが発足。                                                                                     |
| 平成18(2006)年 4 月  | 理学部に総合理学プログラム（教育プログラム）を新設。募集定員80名。同時に定員の実員化が行われ、定員は情報科学科130名、化学科・生物科学科125名に。                                                                   |
| 平成19(2007)年 4 月  | 第五代理学研究科委員長に松本正勝教授が就任。                                                                                                                         |
| 平成20(2008)年 4 月  | 第六代総合理学研究所長に鈴木季直教授が就任。                                                                                                                         |
| 平成21(2009)年 4 月  | 第五代理学部長に齊藤光實教授が就任。                                                                                                                             |
| 平成21(2009)年 8 月  | 11号館が竣工。                                                                                                                                       |
| 平成23(2011)年 4 月  | 第六代理学研究科委員長に山口和夫教授が就任。                                                                                                                         |
| 平成24(2012)年 4 月  | 理学部に数理・物理学科を新設。各学科の定員（募集定員）は数理・物理学科70名（40名）、情報科学科110名（90名）、化学科110名（100名）、生物科学科110名（100名）、総合理学プログラムの募集定員は70名に。                                  |
| 平成25(2013)年 4 月  | 第六代理学部長に日野晶也教授が就任。<br>12、13号館が竣工。                                                                                                              |
| 平成28(2016)年 4 月  | 理学部の募集定員の一部変更、数理・物理学科（60名）・総合理学プログラム（50名）。理学研究科を一専攻五領域に改組（数学・物理学・情報科学・化学・生物科学）。第七代総合理学研究所長に川本達也教授が就任。                                          |
| 平成29(2017)年 4 月  | 第七代理学研究科委員長に井上和仁教授、第七代理学部長に山口和夫教授が就任。                                                                                                          |
| 平成30(2018)年 3 月  | 14号館が竣工。                                                                                                                                       |
| 令和 2 (2020)年 4 月 | 第八代理学部長に木原伸浩教授が就任。                                                                                                                             |

## 総合理学研究所所長の挨拶

総合理学研究所 所長 川本 達也

総合理学研究所は、理学に関する研究と調査を行い、学問の向上と発展に寄与することを目的として、湘南ひらか Campus内に設置され、前身である知識情報研究所の開設から数えますと早や30年以上が経過しました。総合理学研究所の所員は理学部教員が兼任していることから、理学部および大学院理学研究科と密接に関係していますが、それら組織に縛られることのない自由闊達な活動を支える研究母体です。その一端として、まだまだ研究意欲の旺盛な理学部を定年退職された教員や博士号を取得したが所属先が未定の若い研究者には、それぞれ特別所員および客員研究員として研究活動の場を提供しています。また、研究所は、必要に応じて理学部教員以外から顧問を委嘱するとともに、研究所推薦に基づく客員教授制度も設けています。

研究所で行っている主な事業は「共同研究」と「広報活動」です。「共同研究」は、学科や学部の手にとられることなく複数の研究者が共同で行う研究であり、研究所は研究費の助成を通じて、その研究活動を支援しています。これには学外や海外の研究者が参加することもあります。研究所内には、産官学連携による共同研究のための受け皿となりうる組織もあります。また、学内の共用機器利用推進のための予算措置を行うことで、理学部および大学院理学研究科の研究を支援しています。

「広報活動」は、研究所の活動を学内外に発信するためのものであり、学内外の学術交流の接点の役割も果たしています。講演会、フォーラム、シンポジウムなどの学術的行事を企画開催することで、所員や学生が学外研究者と情報交換する場を提供するだけでなく、地域社会の方々への情報公開に努めています。現在、広報活動のひとつとして恒常的に開催しているものに「機器分析講習会」と「神奈川大学平塚シンポジウム」があります。前者は年に二回開催され、主として首都圏の企業の技術者を対象としています。後者は理学部化学科と研究所が共に主催者となって、化学を中心とした幅広い主題の下に毎年開催しているシンポジウムであり、大学や企業の研究者、中学や高校の教員が主な対象者となります。どちらも長年にわたって続けているものであり、地域社会に定着した行事として一定の評価を得ているものと考えます。また、2019年には、所員の過去5年間の研究成果をまとめた「神奈川大学理学部 研究業績集 2014～2018」を発行しました。所員の研究成果を公表することにより、学内外における共同研究の一層の活性化や産官学連携の契機となることが期待されます。

2005年には、それまでの研究所報告書（年報）を発展的に改編し、学術雑誌としての体裁を整えた「Science Journal of Kanagawa University（神奈川大学理学誌）」を発行しました。さらに、2007年度からは、この学術雑誌を電子化し、研究所のホームページからも閲覧できるようにしました。また、2010年度には、神奈川大学図書館から閲覧できるようになりました。これまでの原稿執筆者および編集委員の皆様のご努力により「Science Journal of Kanagawa University（神奈川大学理学誌）」は優れた学術雑誌になってきましたが、今後ますます充実させることで幅広く読まれる学術雑誌に発展させたいと考えております。つきましては、皆様からの一層の積極的なご投稿をお願いいたします。

以上、研究所の概要と主な事業内容についてお示ししましたが、研究所に期待することなど、ご要望やご意見をお寄せいただければ幸甚です。皆様のご支援とご協力を賜り、研究所をさらに発展させることで大学内外での研究所の存在意義をより確かなものにしたいと考えております。



## ハイテク・リサーチ・センター長の挨拶

私立大学戦略的研究基盤形成支援事業代表者 川本 達也

私立大学戦略的研究基盤形成支援事業のひとつとして2012年度に神奈川大学の研究プロジェクト（5ヵ年計画）が文部科学省によって採択されました。プロジェクト名は「太陽光活用を基盤とするグリーン/ライフイノベーション創出技術研究拠点の形成」であり、大学院理学研究科の化学専攻（現化学領域）と生物科学専攻（現生物科学領域）及び大学院工学研究科の応用化学専攻の3専攻にまたがる9名の学内研究者と他大学4名の学外研究者からなる総勢13名の研究者を中心に、研究支援メンバー、ポストドクター、大学院博士後期課程学生のリサーチアシスタントからなる研究支援スタッフとともに研究組織を構成して立ち上げられました。そして、プロジェクトの進捗に伴って、日増しに活発な研究開発が進められ、加速度的に新しい物質や発見がもたらされました。その間、研究発表会では自由闊達な議論が行われ、このこともそれぞれの研究の発展にとって重要な推進力となったことは言うまでもありません。

世界的な喫緊の課題である環境及びエネルギー問題を克服して、安全・安心な社会生活を実現するためにはグリーン/ライフイノベーションを推進する必要があります。上記プロジェクトは、“太陽光”と“グリーン/ライフイノベーション”をキーワードに、太陽光を活用した有用物質生産のための変換システムの構築と生物資源に基づく太陽光活用の基盤技術の開発によりグリーン/ライフイノベーションの推進に資することを目的としました。なお、グリーン/ライフイノベーションとは、低炭素社会を支えるクリーンエネルギーの創成及び豊かで安心な生活を支える医薬品などの有用物質開発のための技術革新を意味します。

理学研究科としては、2017年3月に成功裡に終了した上記プロジェクトとさらに以前に採択、実施されたプロジェクト「高度機能を持つ分子・生物ホトニクス」の理念を継承し、工学研究科や学外の研究機関との研究の一層の集約を図りながらレベルの高い研究機関横断型の研究を推進することで、学生の教育・研究に資すると共にその研究成果の社会への還元を目標としています。これらのプロジェクトによる最先端の優れた教育・研究環境の実現は、学際的かつ先端的な研究交流の活性化をもたらし、広い視野に立って自ら専門分野を拡げることが出来る人材の育成に結びついてきました。新規プロジェクトの採択を目指すとともに、これまでのプロジェクトによって設置、拡充されたハイテク・リサーチ・センター棟を中心に、今後も教育・研究環境の一層の充実と活用を図ってまいります。



# 神奈川大学プロジェクト研究所 プログラミング科学研究所

Research Institute of Science of Programming

高度情報化社会では、膨大な情報記述の中の些細な間違いが、飛行機事故やプラント事故をはじめとする重大な結果を招きます。本研究所では、計算機のハードウェアやソフトウェアのみならず、それらを使うオペレータを含む広義の情報処理システムを記述した文書に関する、数理科学的研究を行います。計算機プログラムや大規模なシステムの安全・安心を議論するアシュランスケース、規格文書、法律などを研究対象として、これらのどう記述し、整合性を保つのかを、算譜意味論（プログラムの数理モデル）、算譜検証論（プログラムの正しさの検証、妥当性確認）などのアプローチから研究します。

## 研究所組織

|           |                                             |
|-----------|---------------------------------------------|
| 研究所長      | 木下佳樹・神奈川大学理学部教授                             |
| 研究員       | 永松礼夫・神奈川大学理学部教授                             |
| 研究員       | 馬谷誠二・神奈川大学理学部准教授                            |
| 研究員       | 遠藤史啓・神奈川大学法学部准教授                            |
| 研究員       | 武山誠・神奈川大学理学部特任教授                            |
| プロジェクト研究員 | 松田直祐・新潟工科大学工学部助教                            |
| プロジェクト研究員 | 中原早生                                        |
| プロジェクト研究員 | 木下修司・東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科 助教, 神奈川大学理学部非常勤講師 |
| プロジェクト研究員 | 森田直・インタラクタプロモーションズ                          |

## 主な研究業績

- [1] ISO/IEC/IEEE 15026-4 *Assurance in the life cycle*, 2021（当所より project editor および coeditor を派遣）.
- [2] JIS C62853 : 2020 デイペンダビリティマネジメント — マネジメント及び適用の手引 — オープンシステムデイペンダビリティ（開放系総合信頼性）, 2020.（当所より素案作成委員会主査及び幹事を派遣）
- [3] A Modelling Approach for System Life Cycles Assurance. In Romanovsky A., Troubitsyna E., Gashi I., Schoitsch E., Bitsch F. (eds) *Computer Safety, Reliability, and Security. SAFECOMP 2019. Lecture Notes in Computer Science*, vol 11699. Springer. 2019.
- [4] Open systems dependability (Mario Tokoro ed.), *CRC books*, 2015.
- [5] Category theoretic structure of setoids, Yoshiaki Kinoshita and John Power, *Theoretical Computer Science, Elsevier*, pp.145-163, vol.546, 2014.
- [6] Assurance Case as a Proof in a Theory: towards Formulation of Rebuttals, Yoshiaki Kinoshita and Makoto Takeyama, in "Assuring the Safety of Systems, *Proceedings of the Twenty-first Safety-Critical Systems Symposium, Bristol, UK, 5-7th February 2013*," pp. 205-230, ISBN 978-1481018647, Safety-Critical Systems Club, 2013.

## 外部研究費

委託研究「オープンシステムデイペンダビリティ証憑体系構造設計」 一般社団法人 デイペンダビリティ技術推進協会  
一般社団法人 デイペンダビリティ技術推進協会「オープンシステム・デイペンダビリティ標準化関連活動」

# 数理・物理学科および数学・物理学領域

自然界の法則を数式で明らかにする物理学と、自然科学の共通言語である数学。両者は長い歴史の中で表裏一体となって進んできました。数理・物理学科はこの関係の深い2分野を横断的に学ぶ場として2012年に設置されました。「数理コース」と「物理コース」の2コース制をとっていますので、各自の興味の持ち方に応じ物理学と数学とに好みの比重をかけて学べます。また、所定の単位を取得することにより、高校・中学の数学、理科の教員免許が取得可能です。

## 「数理コース」

### 「コースの特色」

純粋数学から、応用を意識した数理科学まで幅広い分野をカバーできるようなカリキュラムが組まれています。また、高度な数学を学ぶためには、しっかりとした基礎的な力が必要であるとの方針で低学年の講義は演習つきとなっています。高学年ではセミナーを重視し、自ら数学を考えるという姿勢を養います。

### 「教育研究上の目的」

数学は長い歴史をもち、膨大な蓄積があります。その為、近年では学部4年間で研究の最前線に立つということは、特殊な分野を除けば、不可能であると言っても過言ではありません。しかし、数学を考える姿勢を先達の後ろ姿から学びとることは可能でしょう。各教員はそのような先達となるべく日々研究に励んでいます。

### 「教育目標」

学生各自が、在学中に数学に能動的にアプローチできるようになることが、教育目標です。そのような姿勢は、たとえ数学を直接生業としなくとも、人生の随所で有用だと思えます。

## 「物理コース」

### 「コースの特色」

物理の基幹となる「力学」、「電磁気学」、「量子力学」、「熱・統計力学」について基礎から発展までを各I、II、IIIの三段階の講義と演習で丁寧に学びます。また同じく三段階の「物理学実験」によって実験技術の基礎を身につけます。これらの基盤の上に立って「固体物理学」、「物性物理学」、「素粒子物理学」、「宇宙物理学」等の応用、各論へと幅広く展開し、ゼミナールや卒業研究へとつなげていきます。

### 「教育研究上の目的」

半導体を中心とした産業の基盤技術を創造する実験的研究、宇宙物理学などの物理学の基幹となる理論的研究の更なる発展を目指しています。基礎からの丁寧な学修が学生によるこれらの研究を支えます。

### 「教育目標」

現代社会では、物理学で培われるような論理的な思考が種々の分野での問題解決に不可欠と認識されています。本コースでは論理的思考力を身につけ、技術者・研究者をはじめとする様々な職業で活躍できる人材の育成を目指します。



## 数学領域

### 「領域の特色」

ある種の理工系の分野では「最新の論文こそ重要」という価値観がありますが、ほとんどの数学の分野では、古典の輝きが失われることはありません。博士課程前期では、そのような古典に数多く触れることになるでしょう。しかし、それは単なる文献解釈ではなく現代数学との関連を意識しながら理解されねばなりません。一方、応用的数理分野ではコンピュータを駆使したシミュレーションなど工学に近い研究方法がとられるでしょう。専攻する内容によって、研究手法が分化し始める時期です。

### 「教育研究上の目的」

本領域の教員の規模では、博士課程レベルの全ての分野をカバーすることは不可能です。

在籍する教員に応じて学生が研究できる分野が限られてしまうのはやむを得ないことではあります。具体的に列挙すれば、公理的集合論、集合論的位相幾何、(代数的) 整数論、数論幾何、代数幾何、有限幾何、関数解析学、計画法、統計数学、応用確率論、オペレーションズ・リサーチなどで、それぞれ固有の研究上の目的があります。

### 「教育目標」

博士課程前期は数学研究のとは口に立つこと、博士課程後期では数学研究の実質に至ることを目標にしています。その為に博士課程前期では古典的論文を、時間をかけて読み込める力を養い、後期ではその力を基に未踏の地へ踏み出すトレーニングを行います。



## 物理学領域

### 「領域の特色」

物理学は、素粒子、原子核、ナノサイエンス、半導体、物性、宇宙などを包含する自然現象の根本的な科学知識です。本領域では、これらの分野における基礎的な知識を有し、その基礎知識を応用して様々な問題に直面した時に自分で解決する能力を身につけたい、という意欲を持ち、英語で書かれた物理学の教科書が理解できる程度の英語能力のある人を受け入れます。また、物理学を中心に自然科学全般を学ぶことにより、中学校および高等学校教諭の理科専修免許を取得できます。

より専門的な物理学の知識を有し、それらを教育、研究、開発に役立たせたい、新たな問題を発掘してそれを解決したい、といった強い意欲、英語で論文を執筆できる英語作文力を持つ方々には、博士後期課程への道も開かれています。

### 「教育研究上の目的」

現代の日本社会で期待されていることとして、科学の専門知識を有し、専門分野を中心とした広い範囲での課題解決能力を発揮し、そしてそれらの知見を後に続く世代へより進化させた形で伝えることは不可欠です。従って、本領域を修了するためには、基礎としての自然科学の重要性を認識して学修する能力と知力を身につけることが求められます。こうして、科学・技術関連分野の諸問題を克服する能力を有する人材を輩出することにより、現代文明の発展への寄与が可能になるからです。さらには、教育者として教育能力を高める経験を積む機会を利用することにより、物理学の基礎と応用に関する知識、技術を持つと同時に、問題の発見、解析、モデル化の能力と、問題解決能力を所持することも目的としています。

### 「教育目標」

本領域では、本学の教育目標及び本研究科の教育研究上の目的等を踏まえ、理学的素養と柔軟かつ論理的な思考力を兼ね備えた社会に役立つ人材の育成を、教育の最終目標としています。その実現のためのカリキュラムとして、本学理学部数理・物理学科、物理コースの教育に基盤を置き、密接に結びついた教育研究を遂行します。また、物理学各分野の専門教員を配置し、関連の深い他領域のカリキュラムと連携を取りながら、相互に有機的かつ体系的に学べるようになっています。

博士後期課程では、物理学という自然科学の根本的な科学知識の基礎学修を通して、教育、研究、開発の中核として広汎な領域での課題解決を実行する能力を獲得し、その力を応用し、高度な専門職業人として自立した個を確立できることを教育目標として定めています。

## 構成員紹介



かす や しん た  
**粕谷 伸太**

研究室→P16

**職 名**：教授・博士(理学)

**専門分野**：素粒子論の宇宙論，宇宙物理学

**略歴**：東京大学理学部物理学科卒業，東京大学大学院理学系研究科物理学専攻修士課程修了，東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了，日本学術振興会特別研究員，ヘルシンキ物理学研究所研究員，神奈川大学理学部特別助手，特別助教，助教，准教授を経て，2016年より現職

URL：http://www.sci.kanagawa-u.ac.jp/math-phys/kasuya/



か と う けん い ち  
**加藤 憲一**

研究室→P17

**職 名**：准教授

**専門分野**：応用確率論，OR

**略歴**：東京工業大学大学院情報理工学研究科博士課程修了，山形大学大学院VBL博士研究員，電気通信大学大学院情報システム学研究科助教，東京工業大学大学院情報理工学研究科助教を経て現職



あ べ よし ひろ  
**阿部 吉弘**

研究室→P12

**職 名**：教授・理学博士

**専門分野**：公理的集合論

**略歴**：筑波大学大学院博士課程数学専攻単位取得満期退学，福島高専一般教科専任講師，助教授，沼津高専一般科目助教授，神奈川大学工学部専任講師，助教授，教授を経て現職



い と う ひろ し  
**伊藤 博**

研究室→P13

**職 名**：教授・理学博士

**専門分野**：代数的整数論

**略歴**：1984年名古屋大学大学院理学研究科博士後期課程中途退学，その後名古屋大学理学部助手，東京大学教養学部助教授，名古屋大学理学部助教授，神奈川大学工学部教授などを経て，2012年4月より現職



かわ ひがし けん  
**川東 健**

研究室→P18

**職 名**：准教授・理学博士

**専門分野**：原子核理論，計算物理学

**略歴**：東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了，理学博士，神奈川大学理学部情報科学科助手，専任講師を経て現職

URL：http://www.kk.info.kanagawa-u.ac.jp/Welcome.html



おお いずみ み つ お  
**大泉 三津夫**

研究室→P14

**職 名**：特任教授・理学博士

**専門分野**：気象学(陸面過程)，雪氷学(積雪物理)

**略歴**：北海道大学大学院理学研究科博士後期課程修了，気象庁高松地方気象台，気象大学校講師，気象研究所主任研究官，気象庁数値予報課予報官，気象大学校准教授，教授，講師(再任用)を経て現職

Mail：mohizumi@kanagawa-u.ac.jp



き むら たかし  
**木村 敬**

研究室→P19

**職 名**：教授・博士(理学)

**専門分野**：物性物理学

1969年栃木県生まれ，上智大学理工学部物理学科卒，東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了，CREST，NTT，早稲田大，東京大での研究員等を経て，2004年神奈川大学理学部情報科学科特別助手，2015年より現職



お げき よし やす  
**小関 祥康**

研究室→P15

**職 名**：准教授・博士(数理学)

**専門分野**：整数論，数論幾何

**略歴**：2011年九州大学大学院数理学府数理学専攻博士後期課程修了，その後九州大学大学院博士研究員，京都大学数理解析研究所非常勤研究員，日本学術振興会特別研究員PD(京都大学)，本学特別助教を経て，2021年4月より現職



さ か い まさ み  
**酒井 政美**

研究室→P20

**職 名**：教授

**専門分野**：集合論的位相幾何

**略歴**：筑波大学大学院数学研究科数学専攻博士課程修了，理学博士，作新学院大学経営学部専任講師，神奈川大学工学部教授を経て，2012年4月より現職





ち きゅう てつ ひこ  
**知久 哲彦** 研究室→P21

職 名：准教授・理学博士

専門分野：統計力学，相転移の理論，数理論物理学等

**略歴**：1962年静岡県生まれ，東京大学理学部物理学科卒業，同大学理学系研究科修士課程修了，同博士課程修了，理学博士号取得，日本学術振興会特別研究員を経て神奈川大学理学部情報科学科助手に着任，同専任講師，同助教授，2007年より現職



みず の とも ひさ  
**水野 智久** 研究室→P26

職 名：教授・工学博士

専門分野：半導体物理／工学，ナノテクノロジー

**略歴**：1982年名古屋大学大学院理学研究科宇宙物理学専攻博士課程後期中退，東芝研究開発センター主任研究員を経て，2004年より現職。

URL：https://www.sci.kanagawa-u.ac.jp/math-phys/mizuno/

Mail：mizuno@kanagawa-u.ac.jp



なが さわ みち やす  
**長澤 倫康** 研究室→P22

職 名：教授・博士(理学)

専門分野：宇宙論(初期宇宙，素粒子論的宇宙論)

**略歴**：東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了，日本学術振興会奨励特別研究員(東京大学大学院理学系研究科物理学専攻，京都大学基礎物理学研究所)，神奈川大学理学部情報科学科助手，同専任講師，助教授，准教授を経て現職

URL：http://www.sci.kanagawa-u.ac.jp/math-phys/nagasawa/



い とう りょう  
**伊藤 涼**

職 名：特別助教・博士(数理科学)

専門分野：変分問題，非線型偏微分方程式

**略歴**：東京大学大学院数理科学研究科博士課程修了，東京大学大学院数理科学研究科特任研究員，明治大学研究知財戦略機構研究推進員を経て現職



ほし の やすし  
**星野 靖** 研究室→P23

職 名：准教授・博士(理学)

専門分野：量子ビーム科学，薄膜表面物理

**略歴**：立命館大学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士後期課程短期修了，日本学術振興会特別研究員(京都大学・パリ第6・7大学)，立命館大学ポスドク研究員，神奈川大学理学部情報科学科特別助手／特別助教，数理・物理学科特別助教を経て2022年4月より現職

URL：https://www.sci.kanagawa-u.ac.jp/math-phys/yhoshino/



つじ なお み  
**辻 直美**

職 名：特別助教・博士(理学)

専門分野：X線ガンマ線天文学，宇宙物理学

**略歴**：立教大学理学部物理学科卒業，立教大学大学院理学研究科物理学専攻博士前期課程修了，立教大学大学院理学研究科物理学専攻博士後期課程修了，理化学研究所数理創造プログラム特別研究員を経て現職



ほり ぐち まさ ゆき  
**堀口 正之** 研究室→P24

職 名：教授・博士(理学)

専門分野：計画数学(マルコフ決定過程)

**略歴**：千葉大学大学院自然科学研究科数理物理学専攻修了，博士(理学)，東京電機大学情報環境学部嘱託助手，国立弓削商船高等専門学校総合教育科講師，同准教授，神奈川大学工学部准教授，同理学部准教授を経て現職，日本数学会会員，日本オペレーションズリサーチ学会研究部会「確率最適化とその応用」幹事

URL：http://www.sci.kanagawa-u.ac.jp/math-phys/horiguchi/



あお き たかし  
**青木 孝**

職 名：教務技術職員

専門分野：数値シミュレーション

**略歴**：1980年茨城大学理学部物理学科卒業，日立超LSIシステムズ，神奈川ビジネス・カレッジ専任講師，神奈川大学大学院修士課程理学研究科情報科学専攻を経て現職，n-MOSデバイスシミュレーションに関心がある，情報処理学会，日本応用数理学会，応用物理学会会員



まつ ざわ ひろし  
**松澤 寛** 研究室→P25

職 名：教授・博士(理学)

専門分野：非線形偏微分方程式論

**略歴**：東京都立大学大学院理学研究科数学専攻修士課程修了，日本学術振興会特別研究員DC2，東京都立大学大学院理学研究科博士課程修了，沼津工業高等専門学校教養科講師，准教授，神奈川大学理学部数理・物理学科准教授を経て2022年4月より現職



ふじ わら たか いち  
**藤原 飛一**

職 名：教務技術職員

専門分野：待ち行列理論

**略歴**：神奈川大学大学院理学研究科情報科学専攻博士後期課程修了，神奈川大学理学部非常勤講師を経て現職

研究分野 公理的集合論

研究テーマ 無限集合の大きさ・組み合わせ論的な性質と、巨大基数公理

## 研究室構成員

阿部 吉弘（教授）

## 研究内容

研究テーマに書かれている用語の意味と、それらの間のつながりを、大雑把に説明します。集合については、数や図形などの集まりだと思ってください。

### 無限集合

メンバーの個数が有限な数ではない集合のことです。すべての整数の集まり、すべての奇数の集まりなどは無限集合です。1と10の間の実数の集まりも無限集合です。無限集合が数学で扱われるようになったのは1880年頃です。高校までの数学でも、自然数は当然扱っていますが、自然数の集まり自体を問題にすることは滅多になかったと思います。集合論というのは、無限集合を扱う数学の分野です。

### 無限集合の大きさ

メンバーがいくつあるか数えようとしても、無理に決まっています。それでも、2つの無限集合の大きさを比較する基準が、集合論が始まったと同時に考え出されました。すべての整数の集まりと、全ての奇数の集まりは同じ大きさですが、実数の集まりはそれらより大きくなっています。

### 公理

公理というのは、いくらなんでもこれは正しいから、無条件で認めようという事柄のことです。たとえば、二つの集合があったら、「少なくともどちらか一方のメンバーになっているものの全体も集合になる」は公理です。集合論が出来たころは、あまり公理ということに捉われず、伸び伸びと研究をしていたのですが、困ったこと（矛盾）が発見されて、もっときちんと理論を建設しないといけなかったことがわかりました。通常、8つの公理に選択公理を加えたもの（ $ZF + \text{Choice} = ZFC$ ）が採用されています。

### 巨大基数公理

長くなるので詳しい説明は省きますが、そんなものがあるとは（存在しないとも） $ZFC$ では証明できない集合の存在を仮定するものです。

### 連続体問題

「実数の全体より小さく、整数全体の集合より大きい集合はあるだろうか？」と言うものです。1930年頃、「そのような集合があるとは、 $ZFC$ からは証明できない」ことがわかりました。それから30年ぐらい経って、「そのような集合がないとは証明できない」ということが示されました。 $ZFC$ には、この問題に決着をつける力がないのです。巨大基数という集合の存在を仮定すると、 $ZFC$ より多くのことに決着がつきます。

## 選択公理

集合がいくつも（多分無限に）あるとします。「それらの集合からメンバーを1つずつ選んで集めたものも集合になる」というのが選択公理（Choice）です。選択公理が正しいかどうかは、 $ZF$ からは決められないことがわかっています。選択公理は、代数・解析などで使われますが、直感と反する結果も導きます（バナッハ・タルスキのパラドックス）。

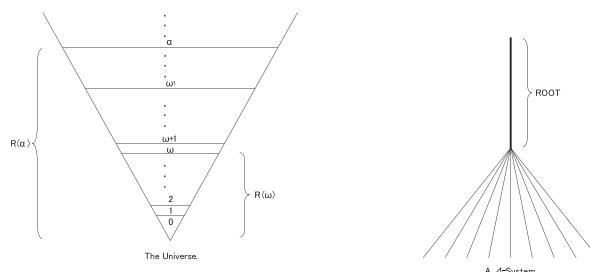
## 組み合わせ論

自然数全体を紅白2組に分けたら、少なくとも一方は無限集合になります。これは簡単にわかりますが、自然数のペア  $(n, m)$  の全体を紅白2組に分けることにします。このとき、「無限個の自然数からなる集合  $H$  で、 $H$  のメンバーのペアは全部同じ色の組に入っているようなものが見つかるか」となったとたんに難しくなります。組み合わせ論というのは、こういう「ごちゃごちゃした」問題を扱う分野です。

## 集合の大きさ-巨大基数-組み合わせ論

たいていの巨大基数には組み合わせ論的な性質があります。逆に、ある種の組み合わせ論的な性質をもつ集合があると、何らかの巨大基数が存在することが示されます。また、巨大基数が存在すると、ある種の集合の大きさが決まってしまう、連続体問題にも関わってきます。このあたりのことを、もっと深く知りたい、未知のことを探り当てたいと思って、30年ぐらいもがいてきました。

下の左の図は、集合全体（Universe）のイメージです。右の図は、組み合わせ論で使われる  $\Delta$ -システムをイメージ化したものです。無限のものを扱うので、イメージしないわけにはいきません。



## 主要著書／論文

Combinatorial characterization of  $\Pi_1^1$  indescribability in  $P_{\kappa \lambda}$ , Archiv Math. Logic 37 (1998).

「巨大基数」, 数学辞典第4版（岩波書店）296-299頁（2007）

研究分野 代数的整数論

研究テーマ 数論的有限和, キ剰余記号, 保型関数

## 研究室構成員

伊藤 博 (教授)

## 研究内容

当研究室の研究分野は代数的整数論で、特にベキ剰余の理論と保型関数論に関心を持っています。より具体的な研究対象はこのような理論との関連で現れる色々な和で、19世紀に研究され始めたものですが1980年頃に新たな展開がありました。研究を通して整数の豊かな世界に対する私たちの知見が少しでも深まればと思っています。

## 具体的な研究テーマ

## 1. ガウス和とベキ剰余記号

19世紀初頭にガウスにより平方剰余の研究がなされ、その中で相互法則の証明ということがありました。いま、 $p$  を2でない素数とし、 $p$  で割り切れない整数  $a$  に対して合同式  $x^2 \equiv a \pmod{p}$  が整数解をもつとき、 $a$  は法  $p$  の平方剰余であるといい、 $(a/p)=1$  とかきます。そうでないときは、 $a$  は法  $p$  の平方非剰余であるといい、 $(a/p)=-1$  とかきます。 $p, q$  を2でない相異なる素数とすると、

$$\left(\frac{p}{q}\right)\left(\frac{q}{p}\right) = (-1)^{(p-1)(q-1)/4}$$

が成り立つというのが、平方剰余の相互法則です。この性質をはじめとする平方剰余の種々の性質を調べるために、いわゆるガウス和

$$\tau_2(p) = \sum_{a=1}^{p-1} \left(\frac{a}{p}\right) e^{2\pi i a/p}$$

を研究することが役に立ちます。ガウスは1811年に出版された論文で、

$$\tau_2(p) = \prod_{\substack{s=1 \\ s: \text{奇数}}}^{p-1} \left(2i \sin \frac{2\pi s}{p}\right) \quad (1)$$

を示し、これから、

$$\tau_2(p) = \begin{cases} \sqrt{p}, & p \equiv 1 \pmod{4}, \\ i\sqrt{p}, & p \equiv 3 \pmod{4}. \end{cases} \quad (2)$$

を導きました。これは深い事実で、例えば、 $p \equiv 3 \pmod{4}$  なる素数  $p$  については  $1, 2, \dots, (p-1)/2$  の中に  $\{(p+1)/2, \dots, p-2, p-1\}$  の中よりも多くの平方剰余が含まれるという事実も、(2)を利用して導かれることです。

平方剰余記号やガウス和は、3以上の整数  $n$  に対する  $n$  乗剰余記号や  $n$  次ガウス和に拡張されて種々の研究がなされてきました。その中の1つの流れとして、(1)を3次のガウス和に対して一般化しようというのがあり、2種類の予想が提出されました。1つは Cassels(1970)によるもので三角関数の代わりに楕円関数を用いるもの、もう1つは Loxton(1970)によるもので、指数関数を利用した三角関数の一般化を用いるものです。前者は Matthews(1979)により、後者は伊藤(J. reine. angew. Math., 1989)により肯定的に解決されました。そこで次に、これらの結果を利用して(2)に対応することを3次ガウス和に対して得ることが問題となります。これについては最近何とか満足の行く結果が得られて、一部を発表し(Acta Arith., 2012)、残りを現在まとめている所です。

今後の研究としては、この結果の帰結の検討と4次以上のガウス和への一般化などがあります。

## 2. デデキント和と保型関数

デデキントは19世紀中頃に、

$$\eta(z) = e^{\pi i z/12} \prod_{n=1}^{\infty} (1 - e^{2\pi i n z}) \quad (\text{Im}(z) > 0) \quad (3)$$

の  $SL_2(\mathbb{Z}) = \{A; A \text{ は整数を成分とする } (2, 2) \text{ 行列で行列式の値が } 1 \text{ に等しい}\}$  の作用の下での変換公式を研究する中で、いわゆるデデキント和

$$s(a, c) = \frac{1}{c} \sum_{r=1}^{|c|-1} \cot\left(\frac{\pi ar}{c}\right) \cot\left(\frac{\pi r}{c}\right)$$

を導入しました( $a, c$  は互いに素な整数で  $c \neq 0$ )。関数  $\eta(z)$  は保型関数と呼ばれるタイプの関数で、例えばその特殊値によって虚2次体の類体が生成されるなど、整数論において非常に重要な役割を演ずる関数です。したがって、 $\eta(z)$  の変換公式を記述する和  $s(a, c)$  も豊富な内容を持っており、例えば次のような事実があります。

(ア) 相互法則: 互いに素な整数  $a, c$  ( $ac \neq 0$ ) に対して、

$$s(a, c) + s(c, a) = \frac{1}{3} \left( \frac{a}{c} + \frac{1}{ac} + \frac{c}{a} \right) - \frac{ac}{|ac|}$$

(イ) 平方剰余記号との関係: さらに  $c$  が奇数であるとき、

$$cs(a, c) \equiv 2 \left( \frac{a}{c} \right) - |c| - 1 \pmod{8}$$

(ウ) L-関数の値との関係: 実2次体のある種のL-関数の値は  $s(a, c)$  によって表示できる。

R. Sczech は、(3)の自然な拡張と見れる和  $D(a, c)$  を虚2次体の整数  $a, c$  に対して楕円関数を利用して定義し、この和の相互法則を示しました(1984)。この結果から、 $s(a, c)$  に対する  $\eta(z)$  のような良い関数が Sczech の和  $D(a, c)$  についても存在するのではないか? とか、 $D(a, c)$  についても上の(イ)、(ウ)に類似した事実があるのではないかと種々の疑問が生じました。これらの問題は現在までに一応は解決されています(伊藤, J. reine angew. Math., 1987 や J. Math. Soc. Japan, 1991)が、その解決の過程でまた新たな問題が現れてきて現在も研究中です。代表的な問題は以下の通りです。

- ・デデキント和と平方剰余記号が関係する根本的な理由は何か?
- ・ $D(a, c)$  と3次・4次剰余記号との関係の有無について。
- ・ $D(a, c)$  を利用して定義されるある準同型写像に関連したいくつかの問題。

## 主要著書／論文

- [1] Logarithms of theta functions on the upper half space, J. Number Theory 209 (2020), 421-450
- [2] An application of a product formula for the cubic Gauss sum, J. Number Theory 135 (2014), 139-150
- [3] Dedekind sums and quadratic residue symbols of imaginary quadratic fields, J. Math. Soc. Japan 43(1991), 447-456



**研究分野** 気象学(陸面過程)、雪氷学(積雪物理)

**研究テーマ** 1) 気象・気候に関連する陸面過程のモデル研究  
2) 結晶成長理論による積雪粒子変態の研究

## 研究室構成員

大泉 三津夫 (特任教授)

## 研究内容

気象や気候(ある期間の平均的な気象状態)は、対象とする現象自身の時間スケール(現象の継続時間)が伸びるにつれて、その空間スケール(現象の空間的な広がり)が大きくなります。短時間で小規模な気象現象は大気自体の性質によってほぼその運動が決まりますが、現象の時間・空間スケールが大きくなると、次第に下部境界である地表面の影響が大気の運動に大きな影響を与えるようになり、大規模で長期の気候ではそれが支配的になります。一方、ヒートアイランドのような局地的な現象でも下層大気と地表面は互いに相互作用を行って変化していきます。気象と地表面にはこのように密接な関係があるため、当研究室では地表面の中の陸上で起こる各種の気象学的プロセス(陸面過程と呼ばれる)と大気下層(特に地面と接している接地境界層と呼ばれる厚さ数10mの層)との相互作用(大気陸面相互作用)のモデル研究(数値モデル開発と数値実験)をメインの研究に位置付けています。ここでは、気象庁気象研究所で開発にかかわった陸面過程の概要を示します(これらは研究以外に気象庁の温暖化予測でも使われています)。

### 1) 気象・気候に関連する陸面過程のモデル研究

図に示した陸面モデルは植生・積雪・土壌を模した陸面モデルで、iSiBと呼ばれる数値モデルです。図中の矢印は水やエネルギーの流れ、あるいは積雪内部で生じるフラックスや過程を表します(同じ色や形の矢印は同じ内容の物理量を表します)。考慮している過程は、1) 植生や積雪アルベドの変化、2) 短波放射の植生と積雪内での減衰・各種要素間の長波放射伝達、3) 降水の滴下と遮断・表面流出・土壌への浸透、4) 土壌内の熱伝導・ダルシー流・重力排水・土壌水の凍結と融解・植生による土壌水の吸い上げ、5) 積雪内の熱伝導・圧密・融雪水の流下・融雪と再凍結、等です。植生によって陸上の水平格子を12種に分け、植生が異なると植生の生態や生理に関連するパラメータ値が変わり、上記の水やエネルギーのフラックスが変わります。

開発に関わった陸面モデルには図に示したiSiB以外に、SPUCと呼ばれる都市のビルが立ち並んだ都市モデルがあり、気象庁の業務でヒートアイランド現象のシミュレーションに使われてきました。従来のSPUCにiSiBの積雪モデルが屋上やビル周囲の積雪再現のために移植され、現在、札幌や仙台といった積雪都市での冬季の熱環境の再現も可能になっています。

また、湖沼水温の時系列を再現するモデルも開発し、これ

を領域気候予測に使う非静力学領域気候モデルNHRCMに組み込んで、湖沼および周辺の領域気候の再現性の向上を図る試みも行っています。

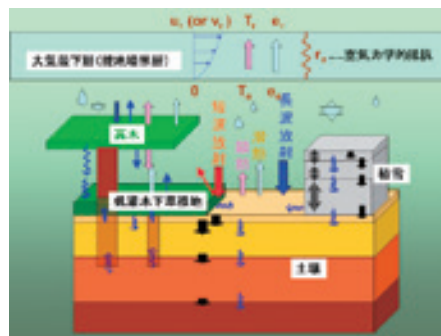


図. 植生(高木と低灌木・下草・裸地)と積雪・土壌からなる陸面モデルiSiBとその上部の大気最下層(接地境界層)

### 2) 結晶成長理論による積雪粒子変態の研究

先の陸面モデル内の積雪モデルでは、低温実験室での実験や自然の積雪から得られた積雪の物理量(熱伝導率、圧縮粘性係数、光の透過率、等々)に関する経験式が用いられています。これらは一般に雪質(特徴的な雪粒子の形や雪粒子間の結合によって区分される積雪の種類のこと)や積雪の密度や温度の関数として表現されますが、経験式が得られた時の密度・温度範囲や雪質以外の積雪には本来適用することができません。また、積雪の野外調査や低温実験室での実験は大変手間と費用がかかります。そこで、複数の雪粒とそれらの結合部分の成長や衰退(変態という)を結晶成長理論に基づいて数値計算すれば、上記の物理量の時系列が原理的にシミュレートできることになります。この研究は始まったばかりですが、非常にチャレンジングな研究であると思っています。

## 最近の主要論文

- 1) Improvement of Snow Depth Reproduction in Japanese Urban Areas by the Inclusion of a Snowpack Scheme in the SPUC Model, Ito R., T.Aoyagi, N.Hori, M. Oh'izumi, H.Kawase, K.Dairaku, N.Seino and H.Sasaki, JMSJ, Vol. 96, No.6, (2018)
- 2) Projection of Future Climate Change over Japan in Ensemble Simulations with a High-Resolution Regional Climate Model, Murata A., H.Sasaki, H.Kawase, M. Nosaka, M. Oh'izumi, T.Kato, T.Aoyagi, F.Shido, SOLA, Vol. 11, (2015)
- 3) Reproducibility of Snow by a Non-Hydrostatic Regional Climate Model(NHRCM) Nested in JRA-25, Oh'izumi M., I.Takayabu, and N.Ishizaki, JMSJ, Vol. 91, No. 2, (2013)



**研究分野** 整数論, 数論幾何

**研究テーマ** アーベル多様体に関する様々な有限性, ガロア表現の分類

## 研究室構成員

小関 祥康 (准教授)

## 研究内容

整数論は数学の中でも最も古くから研究されてきた分野のひとつですが、単純そうな見た目に反して難しい未解決問題がいまだに数多く残され(そして増え続け)ています。そういった難しい問題に対する近年のアプローチとして、整数論という枠組みにとらわれず、他の分野、たとえば幾何学的な視点を取り入れることで問題を解決しようというものがあります。その際、幾何的な対象に付随する数論的、代数的構造を調べるのが重要となります。それこそが、私が主に研究している数論幾何と呼ばれるものです。

### 具体的な研究テーマ

#### (1) アーベル多様体と整数論

アーベル多様体は、現代の整数論を語る上で欠かすことのできない研究対象のひとつです。一般の次元の話をするとは分かりづらいですので、ここでは1次元のときに絞って話をします。1次元のアーベル多様体は楕円曲線と呼ばれており、次の方程式であらわされる曲線のことを指しています。

$$y^2 = ax^3 + bx^2 + cx + d$$

(ただし  $a \neq 0$ , 右辺 = 0 は重解を持たない)

これが不思議なことに整数論と抜群に良い相性を持っていることが分かってきました。たとえば「 $n$  を 3 以上の自然数とする。このとき  $x^n + y^n = z^n$  を満たす自然数  $x, y, z$  は存在しない。」という予想 — フェルマー予想 — はおよそ 350 年もの間多くの数学者を悩ませてきましたが、多くの人々による考察を経て、1995 年、ついにアンドリュー・ワイルズとその弟子のリチャード・テイラーによって証明されました。ワイルズらによる証明は「もしもフェルマー予想が正しくないとすると、あまりにも良い性質を持つ楕円曲線が構成できるが、それは存在しない」という背理法によるものであり、楕円曲線が鍵となるのです。また、近年京都大学の望月新一氏が提唱した理論である宇宙際タイヒミュラー理論においても楕円曲線が大きな役割を果たしており、整数を知る新しい方法として期待されています。

#### (2) ねじれ部分群の有限性

楕円曲線のもつ重要な性質として、楕円曲線の上の点の集合には加法群構造がはいるという事実が挙げられます。つまり、楕円曲線  $E$  と体  $K$  に対して、 $E$  の方程式の解でその  $x, y$  座標が  $K$  に値をとる解の集合を  $E(K)$  と書いたとき、 $E(K)$  の中の 2 点  $P, Q$  に対して適切な和  $P+Q$  という新しい  $E(K)$

の点が与えられるということです。この加法群  $E(K)$  の群構造は古くから研究されてきましたが、私はとくに  $E(K)$  のねじれ部分群  $E(K)_{\text{tor}}$  に興味を持ち、研究しています。 $E(K)_{\text{tor}}$  とは、 $E(K)$  の点  $P$  でそれ自身を何度か繰り返し足していくとまた  $P$  に戻ってくるようなものの全体からなる群のことです。 $K$  が「小さい」ときには  $E(K)_{\text{tor}}$  は有限集合になります。私は逆に  $K$  が「大きい」ときにどういった条件下で  $E(K)_{\text{tor}}$  が有限になるのかという研究をしてきました(主要論文[1, 5])。また、この問題とは違った方向性での有限性問題として「適当な性質を持つ楕円曲線の個数は有限個」といった類いの研究も行っています(主要論文[3, 4])。

#### (3) ガロア表現

上に書いた研究では、楕円曲線に付随するガロア表現が鍵となります。すなわち、楕円曲線の点の集合へのガロア群の作用を考えるということであり、これにより問題を線形代数的に扱うことが出来るようになります。このような幾何の対象から自然に得られるガロア表現がどのような性質を持っているのかということに興味を持っており、とくに近年加速度的に進展がある(整)  $p$  進ホッジ理論について研究しています(主要論文[2])。

## 主要著書／論文

- [1] Torsion of abelian varieties and Lubin-Tate extensions, J. Number Theory 207 (2020), 282–293.
- [2] Lattices in crystalline representations and Kisin modules associated with iterate extensions, Doc. Math. 23 (2018), 497–541.
- [3] Non-existence of certain CM abelian varieties with prime power torsion, Tohoku. math. J. 65 (2013), 357–371.
- [4] Non-existence of certain Galois representations with a uniform tame inertia weight, Int. Math. Res. Not. Vol. 2011, No. 11 (2011), 2377–2395.
- [5] Torsion points of abelian varieties with values in infinite extensions over a  $p$ -adic field, Publ. RIMS, Kyoto Univ. 45 (2009), 1011–1031.

**研究分野** 宇宙物理学, 素粒子論的宇宙論

**研究テーマ** 宇宙をテーマに物理学・自然科学を研究, とくに、素粒子物理学と関連が深い初期宇宙の成り立ちや様相, 研究手法は理論的研究や数値シミュレーション, および、実験・観測データも取り扱う

## 研究室構成員

粕谷 伸太 (教授)

## 研究内容

宇宙論とは、いかにしてこの宇宙が出来たかを解明する学問である。大きく分けて4つの項目の研究している。

### 1. バリオン数の生成と暗黒物質

超対称性のある素粒子の標準理論では、クォークやレプトンの超対称性パートナーであるスクォークやスレプトンといったスカラー場のポテンシャルにはいくつかの平坦な方向があることが知られている。この平坦な方向に対応したスカラー場 (MSSM flat directionと呼ばれる) が考えられ、バリオン数 (やレプトン数) を持つことから、宇宙のバリオン数生成を行うアフレック・ダイン場として知られる。このアフレック・ダイン機構では、インフレーション中にアフレック・ダイン場が大きな期待値を持ち、インフレーション後にバリオン数を破るような相互作用によってポテンシャル上を回転することで大きなバリオン数が生成される。このとき、アフレック・ダイン場が大きな揺らぎを持ちノントポロジカルソリトンであるQボールが形成される。その様相を数値的に確かめた結果が図である。

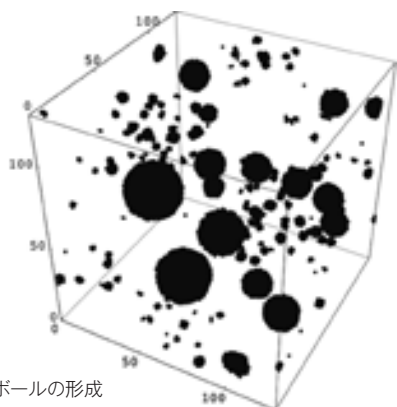


図. Qボールの形成

その結果、当初アフレック・ダイン場が有していたバリオン数は、形成されたQボールにほとんど全て取り込まれ、宇宙のバリオン数はQボールからの蒸発という形でのみ供給される。ある種のQボールは核子への崩壊に対して安定であることが知られ、暗黒物質の有力な候補になっている。特に、暗黒物質とバリオン数が同一の起源から供給されることから、それらの量に関して直接的に関係が与えられるという興味深いシナリオとなっている。また、暗黒物質Qボールは大気等の地上にある核子との反応から検出可能性が議論され、理論モデルへの重要な示唆が与えられている。

### 2. 密度揺らぎ

密度揺らぎの起源はインフレーション中の軽いスカラー場

の量子揺らぎである。通常は、インフレーションを担う場であるインフラトンの揺らぎを考えるが、一般的には、インフレーション中には他の軽いスカラー場が存在する可能性がある。また、揺らぎには、断熱揺らぎと等曲率揺らぎの2種類のタイプがあり、観測から前者が揺らぎを支配していることが知られている。

このような状況下では、(a)どの場が断熱揺らぎを担っているのか、(b)もしインフラトンが断熱揺らぎを担っているとすれば、他の軽い場から来る等曲率揺らぎにどのような制限がつくか、といった問題提起が出来る。(a)の解として、インフラトンではなく(1)で記述したMSSM flat directionなるスカラー場が担う事が出来ることを示した。一方、(b)の場合、アフレック・ダイン場からのバリオン等曲率揺らぎの制限から、インフレーションモデルと再加熱温度への制限を与える研究をした。

### 3. インフレーションと再加熱過程

インフレーションを担う場が超対称性のある素粒子に基づくモデルを提唱し、その検出可能性を議論した。一方、インフレーション後の再加熱過程は非摂動的に起こるのだが、それを理論的・数値的に議論した研究がある。

### 4. 宇宙背景放射と宇宙物理

素粒子の崩壊によって生成されるガンマ線等の宇宙論的・宇宙物理的影響について研究した。例えば、素粒子崩壊によって作られた紫外線が宇宙の再電離過程にどのように影響を及ぼすかを議論し、宇宙背景放射の観測と比較した研究や、銀河中心で素粒子崩壊によって作られた陽電子と周りの電子との対消滅から出来るガンマ線量を見積もり、観測結果を説明できることを示した研究、などがある。

## 主要著書／論文

- ◇ Q-ball formation through the Affleck-Dine mechanism, S. Kasuya & M. Kawasaki, Phys. Rev. D 61, 041301 (2000).
- ◇ Reheating as a surface effect, K. Enqvist, S. Kasuya & A. Mazumdar, Phys. Rev. Lett. 89, 091301 (2002).
- ◇ Adiabatic density perturbations and matter generation from the minimal supersymmetric standard model, K. Enqvist, S. Kasuya & A. Mazumdar, Phys. Rev. Lett. 90, 091302 (2003).
- ◇ New observable for gravitational lensing effects during transits, S. Kasuya, M. Honda & R. Mishima, MNRAS 411, 1863 (2011).
- ◇ Throat effects on shadows of Kerr-like wormholes, S. Kasuya and M. Kobayashi, Phys. Rev. D 103, 104050 (2021).

研究分野 応用確率論, 待ち行列理論, オペレーションズ・リサーチ

研究テーマ サービス施設の確率モデル化と解析, マルコフ連鎖の漸近的性質の解析

## 研究室構成員

加藤 憲一 (准教授)

## 研究内容

応用確率論は、自然現象や社会現象における不確実な振る舞いを数理的に捉えるアプローチの一つです。事象の発生を確率モデルとして定式化し、数学的な解析やシミュレーションなどを通して現象の背後に潜む理論的性質を明らかにし、確率の定量的な評価をとおして現実的な問題の解決が期待できます。例えば、一般の店舗や情報通信網など、人やデータに対し何らかのサービスを行うシステムでは客（サービスの対象となる人やデータ）の到着やサービスに要する時間が不確定（ランダム）とみなせるケースが多くあります。このようなシステムの時系列的な振る舞いは確率モデルの枠組みで捉えることができます[1]。

### (1) サービス施設の確率モデル化と解析

自動車道では工事などの要因で一部区間を片側通行規制とすると、規制区間では上下線の信号を一定の規則に基づいて切り替えます。その際に上下線で待たされる車の待ち時間が少なくなるように効果的な信号の切り替え規則をとる必要があります。常識的には、上下線の交通量が非対称の場合は交通量の多いほうにより多くの時間を割り当てることが効果的な規則と予想されますが、数理的な枠組みでこれを明らかにできるでしょうか？上下線の通行量や車が規制区間の通行に要する時間が確率的であるとき、この問題は交互通行モデルと呼ばれる確率モデルとして扱うことができます。

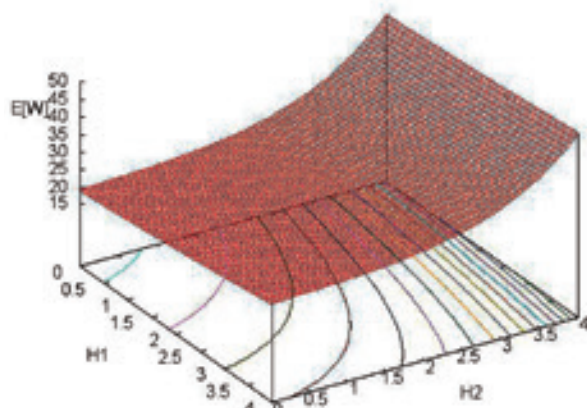


図1. 上下線保留時間に対する車の平均待ち時間

交互通行モデルをマルコフ連鎖の枠組みでモデル化し、上下線の車の台数の確率分布を導出しました。

これにより、信号切り替え規則による車の待ち時間の変化などを定量的に評価することが可能となりました。図1は上下線の信号切り替えの留保時間をx,y軸にとったときの車の平均待ち時間のグラフです。

### (2) マルコフ連鎖で記述される待ち行列網の漸近的性質の解析

(1)のように、サービスの対象となる客の到着や処理に要する時間が確率的であると仮定し、システムの混雑状況の時系列的な振る舞いを確率過程として表現するものは待ち行列モデルと呼ばれます。さまざまなタイプの客のサービスを連続的、並列的に行うモデルとして待ち行列ネットワークモデルがあります。待ち行列ネットワークは情報通信網の解析などで幅広い応用事例がありますが、モデル自体の複雑さもあり、数学的に直接解析を行うことは一部の基本的なモデルを除き困難です。そのため近年では近似手法の研究が盛んに行われており、その一つとして漸近的な性質の研究があります。

ここでは人数の挙動が連続時間マルコフ連鎖で記述される2つの待ち行列から構成される待ち行列ネットワークを考えます。このネットワークの客数確率は、定常性を仮定すると平衡方程式の解として与えられます。しかしノード数が2程度であっても、境界条件等の複雑さからこれを解くことは困難です。このようなシステムに対する漸近的解析とは、客が存在する条件の下では、マルコフ連鎖の推移が斉次性を持つことを利用して、定常状態確率が客数に対して幾何級数的に減衰することを示し、その減衰に関する率を明らかにする、といった研究のことです。漸近的性質の知見は対象の確率的振る舞いを直接記述するものではありませんが、ひとつのシステム指標として有益な知見となることが知られています[2]。

## 参考文献

- [1] 『混雑と待ち』, 高橋幸雄, 朝倉書店.
- [2] Upper bound for the decay rate of the joint queue-length distribution in a two-node Markovian queueing system, Ken'ichi Katou, Yukio Takahashi, Naoki, Makimoto, Queueing Systems, Vol. 58, pp.161-189, 2.



# 川東健研究室

構成員紹介→P10

**研究分野** 計算物理学, 原子核理論

**研究テーマ** 複雑系シミュレーション, 分散計算環境, 原子核反応理論

## 研究室構成員

川東 健 (准教授)

## 研究内容

川東研究室では、広くシミュレーション・計算物理学および関連する情報科学技術分野での研究を行っています。テーマとしては、諸々の自然現象・社会現象の複雑系シミュレーションや大規模計算、Java言語やC++言語などのオブジェクト指向プログラミング言語を用いたシミュレーションや大規模計算のためのフレームワーク作り、Webサービス・P2P・グリッド等、様々なネットワーク技術に基づく分散計算環境の構築など、さまざまなものを考えています。さらにこれらを応用して生物科学・気象学・宇宙科学等様々な分野にチャレンジしていきます。

過去の卒業研究では、気象学・遺伝学・ニューラルネットワーク・交通渋滞・伝染病・天体物理等様々な分野でというテーマでシミュレーションプログラムを作成し数理モデルの構築の習得を目指してきました。またJava言語・XML・ネットワークなどの最新の技術を応用も併せて習得してきました。

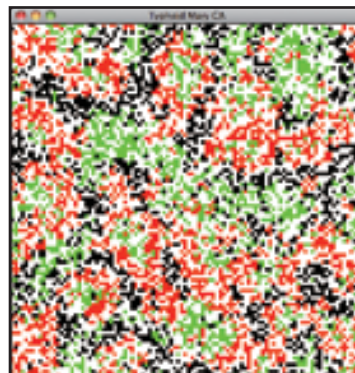
現在は、複雑系シミュレーション・アプリケーションを簡単に作成できるJava言語用フレームワーク（クラス・ライブラリ）を開発中であり、将来的にはインターネット上の科学計算ライブラリーのような役割を果たせるJava言語用の科学計算フレームワークセンターの構築を構想しています。



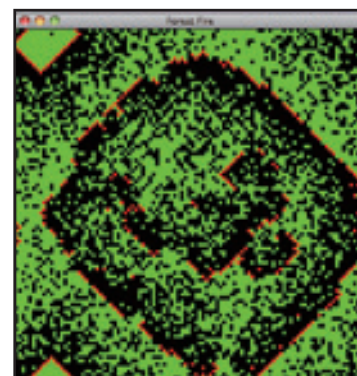
ライフ・ゲーム



ニューロンの興奮



森林火災



伝染病の感染

## 主要著書／論文

Excitation of spin-isospin modes in the quasifree scattering region,  
Non-Orthogonality Problem in Continuum RPA Studied by Orthogonality  
Condition, Momentum Dependence of the Nuclear Isovector Spin Responses  
from(p,n) Reactions at 494MeV.



研究分野 物性物理学

研究テーマ ボース・アインシュタイン凝縮, 超流動, 超伝導

## 研究室構成員

木村 敬 (教授)

## 研究内容

当研究室では、ボース・アインシュタイン凝縮、およびそれに関連した超流動（荷電粒子の場合は超伝導に対応）を中心とした物性物理学における理論解析をメインテーマとしています。

### 具体的な研究テーマ

#### 1. 冷却中性原子気体

1995年に実現されたトラップ中の中性原子気体のボース・アインシュタイン凝縮（超流動）は、そのわずか6年後にノーベル賞が与えられるなど、特に欧米を中心として急速に進展する一大分野になっています。最近ではレーザー光によるポテンシャルを用いた疑似的な結晶格子もつくられるようになってきており、多体問題のモデル実験の舞台としても注目されています。固体電子系では困難な実験パラメータの制御も、格子をレーザーで作成するため自在に行うことができます。また、Feshbach共鳴技術を用いれば、原子間の相互作用さえ変えることができ、実際に頻繁に行われています。当研究室では以下のような研究を行っています。

##### (a) ボース凝縮体の集団運動

ボース凝縮体の閉じ込めポテンシャルに時間的・空間的な変動を与えることにより、ボース凝縮体の集団励起が見られています。振動数と法則を応用した我々の振動周波数の解析は、実験結果をよく説明しています (J. Phys. Soc. Jpn. 68, 1477 (1998))。

##### (b) 光格子中のスピン $S=1$ 超流動-モット絶縁体転移

強く斥力相互作用する原子を1格子点当たり整数個置くと、原子はその斥力のために隣接格子点に動くことができず絶縁体（モット絶縁体）となります。この状態で化学ポテンシャルを動かすと、ある境界値から粒子の密度が整数からずれて超流動状態となります。これが超流動-モット絶縁体転移です。この相転移は、ハバード模型と呼ばれる、隣接格子点間の粒子の飛び移りと、同一格子点上に複数の粒子が来た際の斥力相互作用を含む有効模型によって記述されます。我々は特にボース粒子が量子力学的スピン $S=1$ を持つ場合に、 $S=0$ の系とは異なり、その基底状態相転移（量子相転移）が相境界の一部で、通常の二次相転移ではなく、一次相転移になり得ることを示しました（主要論文1）。我々の解析は変分波動関数を用いた近似的なものでしたが、最近数値シミュレーションにより我々の予言の正しさが確認されました。この系に限らず一次転移が生じるための条件が、どう一般的に理解できるかが興味深い課題です。 $S=1$ の系については、最近強結合展開法によって、超流動-モット絶縁体相境界をより正確に定めることに成功しています（主要論文

2）。ただし、この計算は2次相転移を仮定するものなので、前出の計算と相補的なものになっていると言えます。

##### (c) 隣接格子点間相互作用がある場合の光格子中の超固体相

超固体相とは文字通り固体であり、かつ超流動性を示す相のことです。一見矛盾しますが、固体=粒子密度に周期性があること（専門用語では状態に「対角的な長距離秩序」があること）、超流動=超流動成分を有すること（専門用語では状態に「非対角的な長距離秩序」があること）は、原理的には両立可能です。木村は、前出のハバード模型に隣接相互作用を含んだ模型をGutzwiller近似で考察しました（主要論文3）。実は従来この模型では低次元系での数値シミュレーションから、超固体相の存在には否定的な見解が多く示されていました。しかし木村は、従来シミュレーションでよく調べられていたところとは異なるパラメータ領域を調べれば、超固体相が得られる可能性を指摘しました。その後の東京大学のグループの数値シミュレーションで、木村の結果を意識した計算が実施され、超固体相が確認されています。

#### 2. 超伝導

超伝導は物性物理学の最重要テーマの一つであり、本研究室でも取り組んで来ました。例えば、高い転移温度を持つ格子構造の提案もその一つです。銅酸化物高温超伝導体がなぜ高い超伝導転移温度を持つのかは未解明の問題ですが、我々はどうような格子構造を持つ系が高い転移温度を持つのかをいわゆる揺らぎ交換近似を用いて探索しました（例えばPhys. Rev. B 66, 132508(2002)）。我々は非連結なフェルミ面がネステイングし、反強磁性相関で強く結ばれるとき転移温度が高くなるということを示しました。しかしながら、より一般にどのような化合物を用意すれば超伝導に有利なフェルミ面が得られるのかが未解決の課題として残っています。

## 主要著書／論文

- 1) Takashi Kimura, Shunji Tsuchiya, and Susumu Kurihara, Possibility of a first-order superfluid-Mott insulator Transition of spinor bosons in an optical lattice (Physical Review Letters, vol. 94, 110403, 2005).
- 2) Takashi Kimura, Strong-coupling expansion for the spin-1 Bose-Hubbard model (Physical Review A, vol. 87, 043624 2013).
- 3) Takashi Kimura, Gutzwiller study of extended Hubbard models with fixed boson densities (Physical Review A, vol. 84, 063630, 2011).

研究分野 集合論的位相幾何(Set-theoretic Topology)

研究テーマ Selective separabilityとその周辺, Scheepers 予想, Pixley-Royの超空間

## 研究室構成員

酒井 政美 (教授)

## 研究内容

数学では集合の上に色々な構造を与えて対象を研究します。例えば実数の集合を例にとると、実数の集合には演算(足し算や掛け算)が考えられますので、実数の集合は代数的な構造をもっていることになります。また実数の間には大小関係がありますから、実数の集合は順序構造ももっていることになります。更に、2つの実数  $x, y$  に対して絶対値  $|x-y|$  は  $x, y$  の距離を与えますので、実数の集合には近さを測ることができる距離構造も入っています。これらの代数的構造、順序構造、距離構造などを利用して、対象とする実数の集合を色々な方向から研究することができるようになります。最後に述べた近さを測る距離構造を抽象化したものが位相(トポロジー)構造で、位相構造をもつ集合を位相空間といいます。位相構造は具体的には、集合の部分集合からなるある条件を満たす族を与えられ、これを用いて点や集合同士の近さや点と点とのつながり具合を表現します。高等学校で出てきた数列や関数の極限、関数の連続性などは実数の点の間の近さに関する概念ですから、集合上の位相構造をもとに定義されるものです。この位相構造をもつ集合(位相空間)に対して、色々な位相的性質(量的な性質ではなく、近さやつながり具合に関する性質)が考えられますが、微分積分ではコンパクト性、連結性などの位相的性質が役に立ちます。微分積分で出てくる「連続関数の最大値・最小値の定理」や「中間値の定理」はコンパクト性、連結性の位相的性質を使って証明をするととても見通し良く簡単に証明ができます。また、実数直線は1次元、平面は2次元とか言いますが、この次元の概念も位相構造をもとに厳密に定義されるものです。微分積分や次元を例にとりましたが、位相構造は数学全般で使われる基本的な構造です。

位相的な性質を深く調べていくと、最終的にある種の集合論的な命題(例えば、連続体仮説)と関係が出てきたりすることがあります。場合によっては考えている位相的な性質が集合論的な命題と同値になることもあります。このように、集合論的な命題や手法を使って位相的性質を色々調べるのが研究分野の“集合論的位相幾何”です。実際、実数直線においてさえ、色々な位相的性質は集合論と深くかかわっていて、未解決の問題がたくさん残っています。

## 具体的な研究テーマ

### 1. Selective separabilityに関する問題

Bella et al.の問題“selective separabilityは2つの積で保

存されるか?(2008)”については、連続体仮説などを仮定していくつかの反例が構成されていますが、通常の集合論の公理系ZFCの中では反例は知られていません。Pixley-Royの超空間を利用して、この問題の反例がZFCの中で構成できるのではないかと考えています。この他にもselective separabilityとその周辺に関する未解決問題が色々残されているので、そのあたりも同時に考えています。

### 2. Scheepers予想

これは関数列のquasi-normal convergenceという各点収束より少し強い収束性に関するある性質と、開被覆に関するある性質とが同値ではないかという微妙な予想です。この予想はある集合論のモデルの中では正しいことが分かっていますが、予想が成立しないモデルは今のところ知られていませんので、ZFCの中で成立する可能性はあります。この予想は本質的には実数の部分集合を調べればよいことが分かっています。この予想も折にふれて考えています。

### 3. Pixley-Royの超空間に関する問題

Pixley-Royの超空間はもともと位相空間の距離化可能性に関係して色々研究されてきた空間ですが、上の1で少し述べたようにselective separabilityの研究に応用ができることが分かっています。このような観点から、Pixley-Royの超空間の位相的性質をあらためて調べることによりいろいろな未解決問題の反例として使えるのではないかと考えています。

## 主要著書／論文

1. The Frechet-Urysohn property of Pixley-Roy hyperspaces, Topology Appl. 159 (2012) 308-314.
2. Selective separability and its variations, (共著者 G. Gruenhage) Topology Appl. 158 (2011) 1352-1359.
3. On k-networks and weak bases for spaces, Topology Appl. 157 (2010) 2383-2388.
4. Mizokami and Lin's conjecture on  $\sigma$ -CF\* pseudo-base, Topology Appl. 157 (2010) 152-156.
5. The Ramsey property for  $C_p(X)$ , Acta Math. Hungar. 128 (2010) 96-105.

**研究分野** 統計力学, 相転移の理論

**研究テーマ** イジングモデルに代表される多くの要素が相互作用している系の秩序形成のメカニズムや紐の絡みの複雑さを解析的手法およびコンピューター的手法を用いて研究している

## 研究室構成員

知久 哲彦 (准教授)

## 研究内容

### 1. フラストレーションやランダム性が秩序に及ぼす影響の研究

フラストレーションとは各要素が複数の状態をもつような多くの要素がたがい相互作用しているとき、すべての要素間相互作用を安定に保つことができない状況をいう。例えば磁性体において各スピンについてupとdownの2つの状態が可能であるとき、反強磁性相互作用をしている三角配置のスピン対は各スピンのいかなる状態をとっても不安定なスピン対が存在する。したがって三角格子構造をもつ反強磁性体はフラストレートしている。このような場合、フラストレーションはスピンの特定の方向に秩序化することを妨げる方向に作用し、磁性転移温度は低下もしくは消失する。ただしエントロピーの効果によって異なる有限温度領域でそれぞれ異なる対称性の秩序が生じる場合もあり、秩序の対称性の多様性はフラストレーションに起因している。またフラストレーションにより秩序がソフト化するため、系のダイナミクスが活性化される作用もある。この性質はdamage spreadingと呼ばれる現象を観測することで顕著に現れる。

ここまで磁性体を例に説明したが、フラストレーションは脳神経回路網における興奮性シナプス、抑制性シナプスの競合、社会ネットワークにおける好意的関係、敵対的関係の競合など広範にわたる分野における多体系に現れ、それぞれの系の機能にフラストレーションは重要な役割を果たしている。

一方で相互作用のランダム性は系の秩序に不均一性をもたらす。この不均一性は秩序の強さのみでなく、方向をもランダムに固定する場合がある。このような系の秩序そのものは外部から観測されない場合もあるが、その場合でも外場に対する応答にその影響が現れるのでランダムな秩序の存在を間接的に知ることができる。また不均一な秩序化の影響は系のダイナミクスに顕著に現れる。秩序の固定度が不均一なため緩和の時間スケールが広く分布していることにより、非常に遅い緩和モードが一般に存在する。この性質は不均一な磁性体（スピングラス）の磁気緩和、ガラス状態の構造緩和、たんぱく質の折りたたみ変形など様々な不均一系において観測されている。

これらの2つの性質（フラストレーションとランダム性）が系に同時に作用するとき、系の秩序にさらに多様な影響を与える。すなわちフラストレーションによる多様な対称性、ランダム性による秩序の不均一性が系の秩序に複雑な

準安定構造をもたらす。そのことにより温度や外部磁場などの環境変数の変化に対して秩序構造は敏感に反応する。また環境変数の変化の時間スケジュールに秩序の変化があらわに依存する履歴現象が観測される。このような現象は温度カオス、メモリー効果といったキーワードで盛んに研究されている。

フラストレーションとランダム性をより広くとらえるとき、複雑な拘束条件のもとで結果を最適化する問題も対象に含めることができる。その場合、最適解を探索するまでの計算量のようなものと対象としている系の緩和時間に関連性があることがわかる。フラストレーションとランダム性のある系の性質を解明することで、一般に計算困難といわれている問題に対する有効なアプローチが見つかるかもしれない。

私はこのようなフラストレーションとランダム性が系に同時に存在するとき、秩序にどのような影響を与えるかを一般的な視点から、解析的手法およびコンピューター的手法を用いて理論的に研究している。

### 2. 紐の絡み合い現象の解明

自由に変形、移動する紐の集合体においては一般に絡み合いが起こる。これらの現象は紐の柔軟度、長さ、空間密度、相互作用の性質によって影響を受ける。このような現象は紐を確率的なウォークとみなし、ウォークの同位変形という概念を用いて絡み合いを数学的に正確に扱うことができる。これらの対象物を扱う数学は結び目理論、組みひも理論と呼ばれるもので、幾何学の一分野をなしている。このような紐を確率的に変動する対象とみなした場合、絡み合いの複雑度がまわりの環境によってどう変化するのかについては未知のことも多く、私の興味は特にそのあたりにある。

ロープの絡み合いそのもの以外にも高分子溶液、プラズマにおける磁力線、流体の渦糸、量子通信における波動関数の位相の絡み合いなどミクロからマクロに至るまで紐の集合体とみなせる対象物は多数ある。絡み合いの複雑さはこれらの系において引っ張り強度、弾性などの力学的性質、粘性などの流体的性質などと密接に結びついている。私は結び目理論や確率論で明らかになっている道具立てと計算機的手法を併用することでこのような絡み合い現象を数理的に扱い、そのメカニズムを解明することを目指している。

## 主要著書／論文

A Simple Example of Exactly Solvable Models with Reentrant Phenomena (Prog.Theor.Phys., 1987)

Physical Interpretation of Damage Spreading Phenomena (J. Phys. Soc. Jpn., 1997)



# 長澤倫康研究室

構成員紹介→P11

**研究分野** 宇宙論, 宇宙物理学, 天文学

**研究テーマ** 天体運行や宇宙進化, 相転移, 構造形成の数値シミュレーション, 銀河, 超新星, 恒星, 惑星, 彗星, 流星, 地球, 太陽系, 暗黒物質, ブラックホール, 時間の相対性, 素粒子論, 量子論, その他物理一般, 宇宙と生命

## 研究室構成員

長澤 倫康 (教授)

## 研究内容

本研究室では主に宇宙論、すなわち我々の住むこの宇宙は、どこまで広がり、いつ始まり、今後どのような運命をたどるのか、そしてなぜ現在このような姿をしているのかを、物理学に基づいて研究しています。宇宙とは時間と空間のことであり、これらの対象を科学的に扱えるようになったのは一般相対性理論が確立されてからです。そこで、狭い意味での宇宙論そのものや天文学をはじめ広く宇宙に関係する課題の他に、相対論を含む自然科学一般の諸問題にも取り組んでいます。

研究室の主宰者は主に初期宇宙に興味を持っており、素粒子論の宇宙論と呼ばれる分野に携わっています。誕生後間もない大昔の宇宙は今より高温、高密度であったことがわかっていて、そこでは、物質は基本的素粒子にまで分解されてしまっています。その時代に一体どのようなことが起こったのか、その結果が現在の宇宙にどのように影響しているのかを理論的に解明するのが素粒子論の宇宙論です。その中でも特に、宇宙がその発展の過程で経験した宇宙論的相転移の様相や、それらの相転移に伴う位相的欠陥の生成、及びその後の進化の研究に取り組んでおり、バリオン非対称問題や暗黒物質問題、銀河や銀河間に存在する磁場の起源などの、宇宙論的に未解決な諸問題への寄与を明らかにすることを目指しています。

大学院では、計算機を利用した数値シミュレーションの手法を用いて、星や銀河などの宇宙構造形成シナリオを構築しようとしています。インフレーションによって引き伸ばされた量子ゆらぎなどを起源とする密度ゆらぎの種が、重力不安定性によって成長した結果生み出されたのが、現在の宇宙の構造です。源となるゆらぎの性質は観測事実と理論予測からある程度わかっており、その後の進化によって形成されるであろう宇宙構造と実際の観測結果を比較することにより、元々の密度ゆらぎの詳細が明らかになります。こうして、宇宙初期に用意されるべきゆらぎの必要条件が決定できれば、そのような条件を満たす宇宙モデルこそが、正しく我々の宇宙を記述できるということがわかります。重力不安定性によるゆらぎの成長は非線形の微分方程式に従っており、一般には解析的に答えを求めることができません。そこで数値シミュレーションに頼ることになり、図はその計算結果の一例です。自己重力によって物質が凝集していく様子が観察できます。この計算はまだ初期段階ですが、分解能を上げて統計を増やすことにより、宇宙モデルへの制限を与えられよう、発展させることができます。

学部の卒業研究では、天文および宇宙、さらには自然科学一般に関係した多様な課題に、理論、観測、計算機シミュレーションのいずれかまたは組み合わせを利用して、各人の特性に応じた手法で取り組みます。過去のテーマは、宇宙初期における相転移の確率過程による分析、宇宙進化そのものや宇宙における密度ゆらぎ成長の数値計算、そのゆらぎによる原始ブラックホール生成、暗黒エネルギーと宇宙年齢の関係、オルバースのパラドックスなど宇宙論の課題、太陽が進化するなどして太陽系の条件が現在と異なる場合や近隣の超新星爆発による地球環境への影響、光学的に観測できない天体や暗黒物質などの重力による検知法、彗星や惑星など太陽系内天体の軌道計算、惑星と準惑星の相違、降着円盤やスターバーストなどブラックホールがらみの現象など宇宙物理学、天文学関連の課題、オーロラ、地球外文明の存在可能性など宇宙関連の周辺課題である地球惑星科学や宇宙生物学、重力レンズ効果、ブラックホール時空での粒子の軌道、ブラックホール熱力学、時間の相対性、時間的閉曲線がある際の因果律の破れといった相対性理論に関わる課題、そしてさらには、ニュートリノ、モノポール、多世界解釈など素粒子論や量子力学にまでわたる広範囲の物理学全般でした。

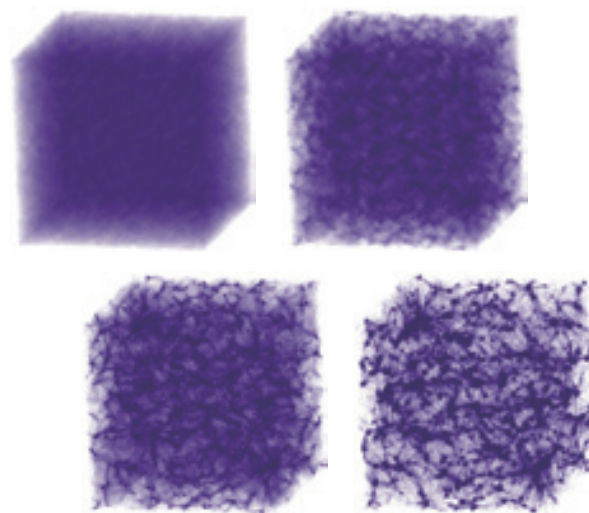


図 点粒子で表した宇宙の物質密度分布が粒子間に働く重力によって成長していく過程 (2008年度長澤研究室修士論文「N体計算による初代天体形成シミュレーション」小島幸也 より)

## 主要著書／論文

Cosmological Symmetry Breaking and Generation of Electromagnetic Field (SIGMA **6**, 053, 2010)

Gravity in Extreme Regions Based on Noncommutative Quantization of Teleparallel Gravity (CQG **35**,155010,2018)



**研究分野** 量子ビーム科学、原子輸送科学、放射線物理、薄膜表面物理、原子衝突

**研究テーマ** 加速器から発生した高エネルギー粒子ビーム照射における固体中での原子輸送現象の物理的理解と物質材料科学への応用

## 研究室構成員

星野 靖 (准教授)

関 裕平 (総研研客員研究員・非常勤講師)

## 研究内容

本研究室は、最高電圧 1 MV (= 1,000,000 V) と 200 kV (= 200,000 V) の 2 台の静電型粒子加速器を所有しており、「固体へのビーム照射における原子輸送現象の解明とその応用」に関する研究をしています。ここで「ビーム照射原子輸送」とは、イオン・電子・光子・中性子など様々な量子ビーム照射により生じる構造相転移や原子拡散、化学反応の増速など非熱平衡状態で起こる特異な原子ダイナミクスのことを言います。このようなマクロな物理・化学的現象を引き起こす際には、入射ビームと固体中の原子との様々な相互作用によるエネルギー移行が重要な役割を果たします。そのような意味でも、入射ビームと原子や原子核との衝突・反応過程の解明や衝突断面積の精密測定などは、マクロな現象の理解のみならず、量子ビーム分析技術の高精度化や新しい検出器や分析法の開発において大切です。

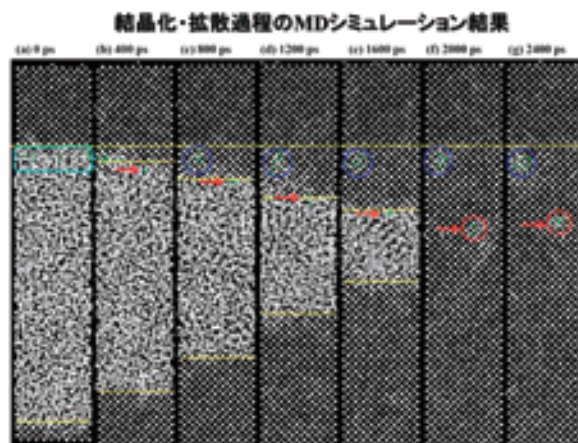
特に、我々が所有している粒子加速器は、液体窒素温度 (−196℃) から 1000℃ の広い温度で広範囲に均一にイオンビーム照射ができる日本で唯一の加速器です。この利点を活かし、我々は材料科学のみならず、環境科学、天文・宇宙物理学、エネルギー工学など幅広い分野の研究者とコラボレーションをしています。例えば、太陽風によりもたらされる様々な粒子 (イオン) の運動エネルギーは、およそ核子当たり keV のオーダーであり、そのような状況は擬似的に加速器により作り出せます。また計算機を用いた第一原理電子状態計算や分子動力学計算を駆使し、実験のみならず理論的なアプローチによる解析や意味付けを行なっています。

以下に、共同研究を含めた最近の研究について紹介します。

1. 粒子線照射による結晶の相変化機構の解明
2. イオンビーム照射による高機能性材料の創製と形成機構の解明
3. ワイドギャップ半導体へのイオン注入・照射による不純物導入と電気的活性化の研究
4. 宇宙暗黒物質探索用検出器の開発と性能評価
5. 核融合実験炉におけるダイバータ材料であるタングステンイオンスパッタリング取率の精密測定とデータベース構築
6. 密度汎関数理論に基づく第一原理計算による原子・分

子、結晶モデリングとデータ解析への応用

その他、加速器に関する新しい技術の開発も進めるとともに、加速器の学内外研究者との共同利用を積極的に行なっております。



**Figure:** Time evolution of the atomic configurations in the (100) cross-section of partially amorphized Si (001) performed by the MD simulation at 1300 K. An incorporated oxygen atom is denoted by green dots emphasized by red arrows, and silicon atoms are denoted by white dots.

## 主要論文

- 1) Remarkable p-type activation of heavily doped diamond accomplished by boron ion implantation at room temperature and subsequent annealing at relatively low temperatures of 1150 and 1300 °C: Y. Seki, Y. Hoshino, J. Nakata, Appl. Phys. Lett. **115**, 072103/ 1-5 (2019) . [AIP publishing]
- 2) Depth profiling of interfacial fluctuation with nanometer order in ultrathin silicon-on-insulator structure by classical Rutherford backscattering using 10B ions: Y. Hoshino, T. Toyohara, S. Takada, G. Yachida, J. Nakata, Nucl. Instrum. Methods B **450**, 118 (2019) . [Elsevier]
- 3) Diffusion and aggregation process of oxygen embedded around an amorphous/crystal interface of Si (001) studied by molecular dynamics simulation: Y. Hoshino, J. Appl. Phys. **121**, 185302/ 1-7 (2017) . [AIP publishing].
- 4) A novel mechanism of ultrathin SOI synthesis by extremely low-energy hot O+ implantation: Y. Hoshino, G. Yachida, K. Inoue, T. Toyohara, J. Nakata, J. Phys. D **49**, 315105/ 1-15 (2016) . [IOP publishing]

研究分野 マルコフ決定過程, 計画数学, 統計数学

研究テーマ マルコフ決定過程における制約条件付き問題, 凸解析的手法, 最適停止問題, 統計的決定理論, 及び統計的品質管理, ファジィクラスティングなど応用手法の研究

## 研究室構成員

堀口 正之 (教授)

## 研究内容

意思決定過程、特にマルコフ決定過程(Markov Decision Processes, MDPs)を専門としています。この数理モデルは、確率過程において制御変数(決定変数)を含むモデルとして定式化され、多段意思決定過程としてもよく知られている研究分野です。解析手法としては、動的計画法、線形・非線形計画法、凸解析などを持ちいて、多段決定モデルにおける最適政策(最適解)の存在証明や特徴などの数学理論の研究とともに最適化アルゴリズムの構築に取り組んでいます。

この分野の応用事例としては、商品などの在庫管理、機械の取替え問題、通信ネットワークのトラフィック制御問題などがあり、最適制御に関わる様々な問題が解決可能であって、早いものは半世紀以上も前から盛んに研究されてきている分野です。また、具体的に、HIGHWAYの維持管理への応用や、行動生態学の分野にもこの数理モデルが応用され、最近では、数理ファイナンスにおけるポートフォリオ選択などの諸問題への適用や人工知能の分野においても、強化学習理論への応用研究として、状態推移法則(分布)の予測や行動決定の学習理論、最適化アルゴリズムの研究などが行われています。

大学及び大学院における純粋数学(「代数学」「幾何学」「解析学」)の勉強とその学術的恩恵のもとに、確率論や統計学による応用数学の立場からの数学理論による問題解決の指導を行っています。また、そのほか、数学にかかわるライフワークとして、小・中・高における算数、数学教育や統計教育、大学や社会人向けのオペレーションズ・リサーチ(OR)に関する教育数学にも興味を持って取り組んでいます。

主な研究テーマ:

- ・マルコフ決定過程における制約条件付き最適停止問題の研究
- ・推移法則が未知のマルコフ決定過程における適応型学習理論と統計的決定理論の研究
- ・品質管理など実際問題への応用
- ・数理計画における統計的手法、ファジィクラスティング
- ・算数数学教育、統計教育、ORの教育数学など

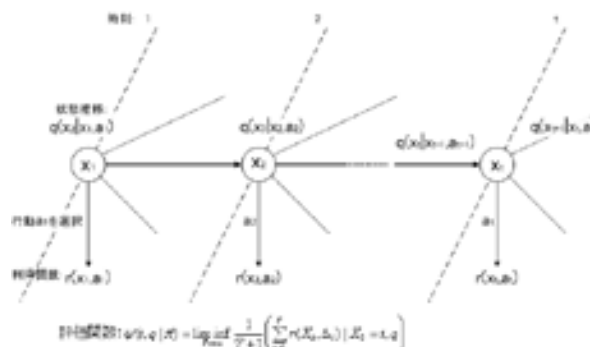


図: Markov Decision Processの一例

## 主要著書/論文

- 1) M. Horiguchi "Bayesian Inference in Markov Decision Processes" In: Modern Trends in Controlled Stochastic Processes: Theory and Applications, 2 (A.B. Piunovskiy ed.), Luniver Press, pp.177-189 (Book Chapter), 2015.
- 2) M. Horiguchi "On an Approach to Evaluation of Health Care Programme by Markov Decision Model" Modern Trends in Controlled Stochastic Processes: Theory and Applications, V.III, Springer Nature, pp.341-354, 2021.
- 3) F. Dufour, M. Horiguchi & A. B. Piunovskiy "Optimal Impulsive Control of Piecewise Deterministic Markov Processes," Stochastics, 88(7), pp.1073-1098, 2016.
- 4) M. Horiguchi and A.B. Piunovskiy "Optimal stopping model with unknown transition probabilities," 42(3), pp. 593-612, 2013.
- 5) F. Dufour, M. Horiguchi and A.B. Piunovskiy "The expected total cost criterion for Markov decision processes under constraints: a convex analytic approach," Advances in applied probability, 44(3), 774-793, 2012.
- 6) T. Iki, M. Horiguchi and M. Kurano "A structured pattern matrix algorithm for multichain Markov decision processes," Mathematical Methods of Operations Research, 66, 545-555, 2007.
- 7) M. Horiguchi "Stopped Markov decision processes with multiple constraints," Mathematical Methods of Operations Research, 54(3), 455-469, 2002.

研究分野 非線形偏微分方程式論

研究テーマ 数理生態学に現れる反応拡散方程式の自由境界問題に関する研究  
非線形拡散を伴う反応拡散方程式の解の形状に関する研究

## 研究室構成員

松澤 寛 (教授)

## 研究内容

私の研究は解析学の中の微分方程式論です。微分方程式とは関数（未知関数）とその導関数の間の関係式で、古くはニュートンの運動方程式にさかのぼり、物理学など、自然科学の多くの分野と密接に関連して発展してきた分野です。未知関数が1変数関数の場合、常微分方程式とよばれ、例えば、運動する物体の位置、化学物質の量や「喰う・喰われる」の関係にある生物の個体数密度の時間的変化を記述するモデルに現れます。一方、未知関数が、例えば、時刻 $t$ と場所 $x$ のように複数の変数をもつ関数の場合、微分方程式は未知関数とその偏導関数の関係式である偏微分方程式とよばれます。偏微分方程式も自然科学の多くの分野と密接に関連して発展してきました。自然現象に現れる多くの偏微分方程式はいわゆる解の重ね合わせの原理の成り立たない非線形偏微分方程式であり、盛んに研究されています。私は次の反応拡散方程式とよばれる非線形偏微分方程式について研究を行っています。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \Delta u + f(u)$$

拡散(均質化)    反応・相互作用

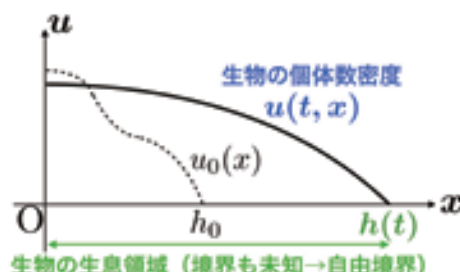
反応拡散方程式は物質や生物が反応や相互作用しながら拡散する現象を記述する偏微分方程式で、私は反応拡散方程式の解（未知関数）である $u(t, x)$ のグラフの形状に関する情報を数学的に調べることに興味をもって研究しております。

## 具体的な研究テーマ

### 1. 数理生態学に現れる自由境界問題

近年、Yihong Du 教授 (University of New England, オーストラリア) により、外来種が生息領域を拡大する現象を表すモデルとして、生物の個体数密度 $u(t, x)$ と生息領域の境界 $h(t)$ の両方を未知関数とする次の自由境界問題が提唱されました (Y. Du and Z. Lin, SIAM J. Math. Anal., 2010)。

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + f(u), & t > 0, 0 < x < h(t), \\ \frac{\partial u}{\partial x}(t, 0) = u(t, h(t)) = 0, & t > 0, \\ h'(t) = -\mu \frac{\partial u}{\partial x}(t, h(t)), & t > 0, \\ h(0) = h_0, u(0, x) = u_0(x), & 0 \leq x \leq h_0, \end{cases}$$



私は、この自由境界問題の解について時間が十分経過した後、どのような形状になるか（漸近的形状）、具体的には形を変えずに一定速度で進む波（進行波）との関係について調べています（主要論文[1][4]）。

### 2. 非線形拡散を伴う反応拡散方程式

先に述べた反応拡散方程式において、拡散を表す項が非線形性をもつ（非線形拡散）問題が注目されています。本研究室では今後、多孔質媒体方程式に現れる非線形拡散（退化拡散）をもつ次の反応拡散方程式において、解の漸近的形状や対応する進行波の関係について研究を進めてまいります。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \Delta u^m + f(u) \quad (m > 1)$$

退化拡散 (非線形拡散)

## 主要論文

- [1] Yuki Kaneko, Hiroshi Matsuzawa and Yoshio Yamada, Asymptotic profiles of solutions and propagating terrace for a free boundary problem of nonlinear diffusion equation with positive bistable nonlinearity, SIAM J. Math. Anal., 52(2020), 65–103
- [2] Yuki Kaneko and Hiroshi Matsuzawa, Spreading speed and sharp asymptotic profiles of solutions in free boundary problems for nonlinear advection-diffusion equations, J. Math. Anal. Appl., 428(2015), 43–76
- [3] Yihong Du, Hiroshi Matsuzawa and Maolin Zhou, Spreading speed and profile for nonlinear Stefan problems in high space dimensions, Journal de Mathématiques Pures et Appliquées, 103(2015), 741–787.
- [4] Yihong Du, Hiroshi Matsuzawa and Maolin Zhou, Sharp estimate of the spreading speed determined by nonlinear free boundary problems, SIAM J. Math. Anal., 46(2014), Issue 1, 375–396



**研究分野** アトムテクノロジー・半導体物理／工学

**研究テーマ** 新たな発光デバイスと究極の超微細デバイスを目的として、量子効果を利用したナノ領域IV族半導体研究。特に、2nm以下の大きさのIV族半導体量子ドット(Si, SiC, C)の形成と、その量子的物性変調の研究。

## 研究室構成員

水野 智久(教授)

## 研究内容

ナノ領域IV族半導体においては、量子効果による新たな物理現象が生じる。水野研究室では、その量子効果を利用した、新しい発光素子と究極の超微細デバイスを目的とした半導体研究を行っている。

### I. SiCナノドット研究

Si基板(表面酸化膜付き)に、Cイオンを高温で注入すると、Si中にC原子が自動的に集合してSi原子と結合し、図1(a)の電子顕微鏡写真のように、新しい半導体SiCナノドットが多数形成することを我々は発見した。図1(b)の高倍の電子顕微鏡写真からわかるように、Si表面から酸化膜領域へのSiCドット成長を確認した。図1(c)のように紫色で発光することを確認できた[1]。

このSiCナノドットは、新たなLEDへの応用が期待できる[2]。

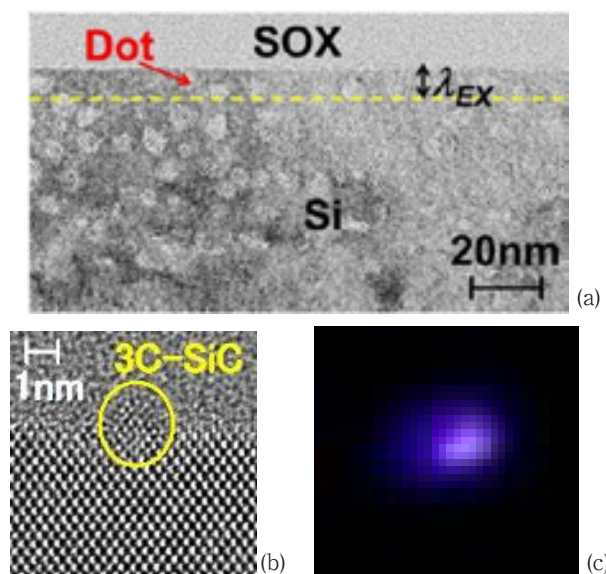


図1. 図1. 断面電子顕微鏡TEM写真。(a)広域での多数のSiCドット、(b)酸化膜界面のSiCドットの例である3C-SiCドット。(c) 怪しく紫色で発光するSiCドット。

### II. IV族半導体量子ドット研究

の研究を進展させ、更に発光強度の向上を実現したSiからCのIV族半導体量子ドット(IV-QD)研究を簡易な製法である酸化膜へのイオン注入法(図2(I))を用いて行っている[3]-[4]。バンドギャップEGの大きな酸化膜中のIV-QDにお

いては、電子の量子的閉じ込め効果により発光強度が飛躍的に向上する。例えば、図2(II)にSi-QD(白ドット)の断面STEM写真示すように、サイズ2nm程度のSi-QDが $2 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ 程度の密度で形成されている。図3はIV-QDからの発光スペクトルで、各IV-QDのEGの違いにより、近赤外から近紫外までの広い領域での発光が実現出来ている。このように、IV-QDは量子効果の物理研究のみならず、発光素子として実用的にも有望である。

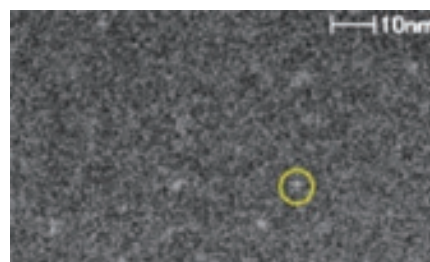
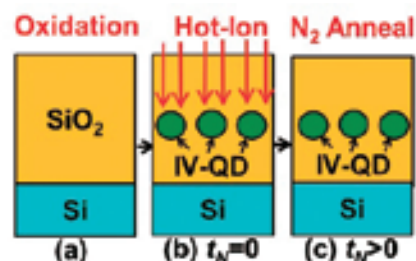


図2. (I)IV-QD作製法、(II)Si-QD(丸内)断面STEM写真

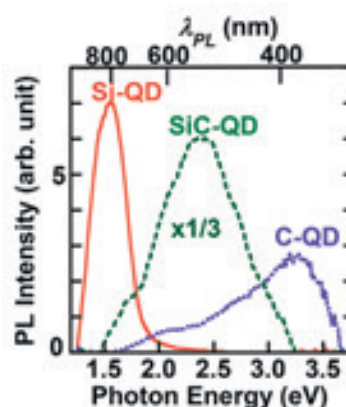


図3. IV-QDの発光。

## 参考文献

- [1] T. Mizuno et al., Jpn. J. Appl. Phys., **56**, 04CB03 (2017).
- [2] T. Mizuno et al., Jpn. J. Appl. Phys., **58**, 081004 (2019).
- [3] T. Mizuno et al., Jpn. J. Appl. Phys., **59**, SGGH02 (2020).
- [4] T. Mizuno et al., Jpn. J. Appl. Phys., **60**, SBBK08 (2021).



# 情報科学科および情報科学領域

## 情報科学科

### 「学科の特色」

本学科では、幅広く情報科学をカバーするように、離散数学、アーキテクチャ、プログラミング、OSやネットワーク、並列分散など基幹ソフトウェアの動作原理、各種応用ソフトウェアの体系的設計技術、画像処理や検索システムなどの先端的应用技術、人間の知能や感性に適応した使いやすい情報処理技術等について、基本のスキルと共に理論的な側面を学びます。獲得した知識を自ら活用できるように少人数制の演習科目や実験科目を設け、さらに先端・応用分野に関して学ぶ科目が設定されています。基礎知識と応用力を学生時代にしっかりと身につけることで、卒業後に様々な方面で活躍ができ、変化の激しいこの分野でも生涯にわたる発展の助けとなることが期待されます。また、理論だけではなく実験や演習科目も重視した取り組みを行っています。プログラミング演習などでは少人数クラスによって着実に実践力が向上する教育体制を整えています。

### 「教育研究上の目的」

情報科学科は、コミュニケーション能力、一般教養、及び情報倫理を修得すると共に、21世紀の知識情報社会を担う情報技術者に求められる情報科学の強固な基礎知識と考え方、新しい価値を産み出す応用力を体得した人材の育成を目的とする。

### 「教育目標」

本学の教育目標及び本学科の教育研究上の目的等を踏まえ、理学部情報科学科では情報科学を基軸として多角的な視点で問題解決を図ることができる人材の育成を教育の目標としています。情報技術の進歩や変化は極めて急速であり、世界に存在し認識されるものはすべて情報処理の対象となっています。また、多様化する社会の中では情報の分野でも人と環境に配慮することが求められます。これからの情報技術者には専門知識と技術のみならず、固定観念にとらわれない柔軟な発想と行動で局面を切り拓くための総合的な問題対応力が求められています。さらに、21世紀の知識情報社会で主導的かつ創造的に仕事を遂行し続けるためには生涯にわたる持続的な学習が必須であり、そのための土台として教養や基礎学力が極めて重要です。これらを身につけることで社会に出てからも状況変化に応じた能力向上を自ら行い、様々な場面で多彩な形で社会に貢献することができるようになります。本学科では、講義型科目や演習型科目などが適切に配置されたカリキュラムを通して、そのような能力を養うことを教育目標として定めます。

## 情報科学領域

### 「領域の特色」

1980年代以降の計算機の低廉化とそれに続くインターネットやモバイルネットワークの普及により、社会全体を通じて大量のデータを互いに常にやりとりし活用する基盤が構築されました。現代の情報社会では、そのような基盤に基づいて情報技術の革命的な発展が社会全般の改革をもたらす力となっており、その影響力は今後もますます大きくなり重要になっていくと予想されます。情報科学領域では情報科学の知識および概念の基礎を身に付け、これからの社会の発展と改革を推進できる中心的人材を育成します。具体的な対象として、計算機および種々の情報システムの基礎となる、アーキテクチャ、計算機言語、ネットワーク、ソリューション設計などを対象とした教育・研究を行っています。また、知能情報やビジュアル情報、ネットワークセキュリティ、暗号、自然言語処理などの特に発展の速い分野を対象とした教育・研究、これらの分野を理論的に支えるグラフ理論やアルゴリズム、数理論理学などの研究も行っています。多様な学びの機会を提供するために、本領域では成績優秀者を対象として筆記試験を免除する特別選考制度があります。また、学部4年次生向けの大学院特別科目履修制度により学部4年次において大学院科目を履修することが可能です。この制度によって履修した科目が大学院履修単位として10単位まで認められ、大学院で研究に専念できる環境が整います。

本領域のカリキュラム・ポリシーとして、(1) 理学部情報科学科に基盤を置き、学科と大学院が深く連携したカリキュラムの設置、(2) 計算機システム科学の分野について、専門性を持つ教員を配置し、有機的に関連づけられたカリキュラムの実施、(3) 指導教授に加えてアドバイザーによる助言を行い、論文作成過程の教育・研究指導体制の確立、などを定め、それらに基づいた教育・研究指導を行っています。

### 「教育研究上の目的」

情報科学領域は、情報科学の根本的な知識の基礎を身に付け、それを応用し、社会における科学・技術関連分野の諸問題を解決する能力を発揮できる人材の育成を目的とします。

### 「教育目標」

情報科学領域では、科学・技術関連分野の諸問題を解決する能力を発揮できる人材の育成を教育の最終の目標としています。現代の日本社会では、各種の製造業はもとより、多種多様なサービス産業への情報技術の普及が急務とされています。育成目的としている人材には、ものづくりの高度化と社会の情報化を目指して、革新的な情報技術を絶えず考案、実現できる能力が求められています。本領域では、情報科学の根本的な知識の基礎の学修を通して、それを応用し、社会における科学・技術関連分野の諸問題を解決する能力を涵養することを教育目標としています。

## 構成員紹介



**後藤 智範** 研究室→P34

職 名：教授

専門分野：情報検索，自然言語解析

略歴：1986年慶應義塾大学院文学研究科図書館情報学専攻博士課程単位取得満期退学，1986年愛知淑徳大学文学部専任講師，1988年愛知淑徳大学文学部助教授，1990年神奈川大学理学部助教授を経て，1995年4月より現職

URL：http://angelos.info.kanagawa-u.ac.jp/



**馬谷 誠二** 研究室→P30

職 名：准教授・博士(情報学)

専門分野：プログラミング言語，言語処理系

略歴：京都大学工学部情報学科卒，京都大学大学院情報学研究科修士課程修了，同情報学研究科博士後期課程修了，同情報学研究科産学官連携研究員，同情報学研究科助教を経て，現職



**斉藤 和巳** 研究室→P35

職 名：教授

専門分野：知能情報学，ネットワーク科学，発見科学

略歴：1985年慶應義塾大学理工学部数理科学科卒業，1985年日本電信電話株式会社(NTT)入社，1998年工学博士(東京大学)，2007年静岡県立大学経営情報学部教授，2018年神奈川大学理学部情報科学科教授，現在に至る

Mail：k-saito@kanagawa-u.ac.jp



**海谷 治彦** 研究室→P31

職 名：教授・博士(工学)

専門分野：ソフトウェア工学

略歴：横浜市 神奈川区 大口生まれ，1994年 東京工業大学博士課程修了，2014年より現職

URL：http://www.sci.kanagawa-u.ac.jp/info/kaiya/

Mail：kaiya@kanagawa-u.ac.jp



**田中 賢** 研究室→P36

職 名：教授・博士(情報科学)

専門分野：ネットワークセキュリティ計算の複雑なニューラルネットワーク言語獲得

略歴：早稲田大学理工学部電気工学科卒，東京工業大学総合理工学研究科システム科学専攻修士課程修了，同理工学研究科情報工学専攻博士課程単位取得退学，新潟大学工学部情報工学科助手，講師，神奈川大学理学部准教授を経て現職

URL：http://www.cs.info.kanagawa-u.ac.jp/

Mail：ktanaka@info.kanagawa-u.ac.jp



**木下 佳樹** 研究室→P32

職 名：教授・理学博士

専門分野：算譜意味論，算譜検証論，プログラミング科学

略歴：1989年東京大学大学院理学系研究科情報科学専攻博士課程修了，同年電子技術総合研究所(2001年産業技術総合研究所に改組)，2013年4月より現職，1992-3年エディンバラ大学客員研究員，2010年より2014年まで奈良先端科学技術大学院大学連携教授，2021年より IEC TC56 Dependability chair.

URL：http://sites.google.com/a/progsci.info.kanagawa-u.ac.jp/kinoshita-yoshiki-lab/



**張 善俊** 研究室→P37

職 名：教授・工学博士

専門分野：画像情報処理，視覚情報処理，CG，ニューロサイエンス

略歴：1986年中国華中科学技術大学計算機学部卒，同年から上海華東計算技術研究所研究員，北海道大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程了，同大学院博士後期課程修了(工学博士)，室蘭工業大学工学部情報工学科助手，2001年より神奈川大学の助教授，准教授を経て現職

URL：http://www.sci.kanagawa-u.ac.jp/info/zhang/



**桑原 恒夫** 研究室→P33

職 名：教授・工学博士

専門分野：人間情報科学

略歴：1953年群馬県生まれ，1976年3月東北大学工学部電気工学科卒業，1976年4月日本電信電話公社(現NTT)入社，1991年3月工学博士(東北大学)，2003年3月NTT退社，2003年4月神奈川大学理学部情報科学科教授，現在に至る

URL：http://www.sci.kanagawa-u.ac.jp/info/kuwabara/



**永松 礼夫** 研究室→P38

職 名：教授・工学博士

専門分野：プログラミング，動的更新，分散処理

略歴：東京大学工学部計数工学科修士課程修了，同博士課程中退，東京大学工学部計数工学科助手，東京大学工学系研究科より工学博士取得，会津大学情報センター助教授を経て現職



ボサール アントワーズ  
Antoine BOSSARD

研究室→P39

職 名：准教授

専門分野：グラフ理論

**略歴**：2011年10月より2012年9月まで東京農工大学大学院生物システム応用科学府特任助教，2012年10月より2015年3月まで産業技術大学院大学情報アーキテクチャ専攻助教，2015年4月より神奈川大学 理学部情報科学科 助教，2017年4月より神奈川大学 理学部情報科学科 准教授

URL：http://www.sci.kanagawa-u.ac.jp/info/abossard/



まつ お かず と  
松尾 和人

研究室→P40

職 名：教授・博士(工学)

専門分野：暗号と情報セキュリティ

**略歴**：1988年中央大学大学院理工学研究科電気工学専攻博士前期課程修了，同年東洋通信機入社，暗号技術，紙幣識別技術などの研究開発に従事，2001年中央大学大学院理工学研究科情報工学専攻博士後期課程修了，中央大学研究開発機構機構教授，情報セキュリティ大学院大学教授を経て，2012年4月より現職

URL：https://www.sci.kanagawa-u.ac.jp/info/matsuo/



たけ やま まこと  
武山 誠

研究室→P32

職 名：特任教授・Ph.D.(Computer Science)

専門分野：型理論、ディペンダビリティ

**略歴**：エジンバラ大学計算機科学科博士課程修了，クイーンズ大学計算科学科，シャルマース工科大学計算機科学科，(独)産業技術総合研究所システム検証研究センター，神奈川大学プログラミング科学研究所勤務を経て現職



き もと ひろ つぐ  
木元 宏次

職 名：助手

専門分野：コンピュータグラフィックス

**略歴**：慶應義塾大学理工学部数理科学科卒業，同大学大学院理工学研究科数理科学専攻修士課程修了，同博士課程を経て現職



もり もと たか ゆき  
森本 貴之

職 名：助手・修士(工学)

専門分野：知能情報学

**略歴**：1992年筑波大学第3学群情報学類卒業，1994年筑波大学大学院修士課程理工学研究科理工学専攻修了，同大学院博士課程工学研究科電子・情報工学専攻を経て，1998年神奈川大学理学部情報科学科助手，現在に至る，情報の意味理解，適切な記憶構造，自己組織型の知識資源化に基づく学習・思考に関する研究を行っている



な ぐ も なつ ひこ  
南雲 夏彦

職 名：助手

専門分野：ゲーム理論，最適化問題

**略歴**：昭和60年3月上智大学理工学部卒業  
昭和62年3月上智大学大学院博士前期課程修了  
昭和62年12月山形大学工学部助手  
平成元年4月神奈川大学理学部助手

Mail：nagumo@info.kanagawa-u.ac.jp



なか はら はや お  
中原 早生

研究室→P32

職 名：プロジェクト研究員・理学博士

専門分野：プログラム理論

**略歴**：京都大学大学院理学研究科数理解析専攻博士課程中途退学，京都大学数理解析研究所助手，東京大学理学部情報科学科助手，広島大学総合科学部助教授，産業技術総合研究所招聘研究員を経て現職



きの した しゅう じ  
木下 修司

研究室→P32

職 名：プロジェクト研究員・博士(理学)

専門分野：システムアシュランス・ディペンダビリティ

**略歴**：2007年東京大学文学部思想文化学科インド哲学仏教学専修課程卒業，日本コントロールシステム(株)勤務を経て2014年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了，2017年神奈川大学大学院理学研究科情報科学専攻博士後期課程単位取得退学，博士(理学)，2017年4月より現職，2019年より本学理学部非常勤講師，2020年1月より東京都立産業技術大学院大学助教



研究分野 プログラミング言語

研究テーマ 並行・分散計算、セキュリティなどの応用に特化した言語機能の設計、それらの効率良い実装等、プログラミング言語に関する様々な研究

## 研究室構成員

馬谷 誠二（准教授）

## 研究内容

### 1. 分散・協調計算に用いるプログラミング言語

アンビエント計算と呼ばれる分散プロセス計算系をベースに、分散・協調計算のための専用プログラミング言語の開発を行っています。その一つであるSA/Javaは、Safeアンビエントと呼ばれる「場所」と「移動」の概念に基づくプロセス計算を基本モデルとするJava言語用フレームワークであり、高水準な概念に基づいた構造化された並行/分散計算を記述可能となっています。SA/Javaの仕様は、Java言語の諸機能とアンビエントの基本機能である移動動作を互いに干渉することなく統合しています。さらに、アンビエントの移動動作を広域モバイル分散環境上で堅牢に実行するための実装技術にも特徴があります。

また、Java言語以外にLisp言語に対する拡張として実現されているプログラミング環境も開発しています。こちらもSafeアンビエントに基づくプログラミング環境である点は同じですが、SA/Javaとは異なり、動的言語であるLispの柔軟さを活かしている点が特徴です。たとえば、物理的に分散した複数のプログラマの間での段階的かつインタラクティブなアプリケーション開発などを容易に行うことが可能です。

### 2. 安全性・信頼性を考慮したプログラミング言語

前項のアンビエント計算に基づく分散プログラミング言語の実現のために用いられている各種の協調機能は、より一般のアプリケーションにおけるコンポーネント間の相互作用の安全性の向上を図る目的にも用いることが出来る。

そこで、我々の研究室では、柔軟かつ利便性の高いアクセス制御機能を備えたプログラミング言語の開発を行っています。アンビエント計算に基づく専用の記法によってアプリケーション全体の挙動を制御・管理するのに加え、アクセス制御論理と呼ばれる論理体系に基づく共通インタフェースを介し、汎用プログラミング言語で書かれたコンポーネントとの連携機能も実現することにより、実用的な開発基盤となることを目指しています。

### 3. 動的言語のためのプログラム解析手法

JVMバイトコードを対象とする静的解析器は数多く存在しますが、それらの解析器は、JavaやScalaのような静的型付き言語からコンパイルされたバイトコード命令列に対しては上手く機能する一方で、動的な言語からコンパイルされたバイトコード命令列に適用すると、ほとんどの解析器は有用な情報を取得することが出来ません。そのよう

な精度の低下の主な原因は、動的言語の動的な振舞いを実現するために用いられる実行時機構の複雑さにあります。

そこで、本研究室では、既存のバイトコードレベルの抽象解釈と呼ばれる手法を用いた動的言語向けの静的解析手法の開発を行っています。我々の手法では、抽象解釈と具象解釈を混ぜながら実行することにより、バイトコードレベルの解析技術に依存しながらも、動的言語の振舞いのある程度正確に把握することが可能となっています。

### 4. 言語処理系開発用ツール

JVMは多様なアプリケーションの実行プラットフォームとして幅広く利用されていますが、特に振舞いの動的な変更を必要とするアプリケーション領域においてバイトコードをクラスロード時に操作する必要があります。そのような処理を実現するためのツールはいくつか存在しますが、多くはJava言語用のライブラリです。しかし、現在、JVMは様々な高水準プログラミング言語の共通プラットフォームであり、バイトコード操作を行うのにJavaに縛られる必要はありません。そこで本研究室では、JVM上で動作するLisp処理系であるClojureのためのバイトコード操作ライブラリを開発しています。本ライブラリは、柔軟な表現能力を備えながら、なおかつ非常に簡潔な記述を特徴としています。具体的には、Lispのマクロのように木として表現されたクラスファイルの一部を、木パターンマッチングと呼ばれる手法を用いて、クラスロード時に書き換えることにより動作します。

### 5. オブジェクト指向並列言語

Java言語を拡張した高性能並列計算向けのプログラミング言語の開発を行っています。開発している言語の主な特徴としては、細粒度マルチスレッディング、動的fork/join、並列例外処理、実行時メソッド置換などが挙げられます。また、言語の設計だけではなく、細粒度マルチスレッディングを実現するための効率良い実装手法の構築や、並列例外処理機構の開発なども行っています。



**研究分野** 情報システムの要求分析, 仕様記述, 要求工学, ソフトウェア工学

**研究テーマ** モデル変換に基づくシステム導入促進, メトリクスに基づく導入システムの有効性評価, スペクトル分析に基づくシステムの類似性分析

## 研究室構成員

海谷 治彦 (教授)

## 研究の背景と概要

情報システムは、業務や生活等の活動中で利活用されて、初めて、その有効性を発揮できます。高機能で高品質なシステムが正しく開発されたとしても、利用される活動とマッチしていなければ、そのシステムは無駄で邪魔な存在でしかありません。膨大な予算と時間を費やしてシステムを開発した後に、無駄もしくは邪魔であることが判明しては手遅れなのです。本研究室では、業務や生活等の活動において、どのような情報システムが望まれているか分析すること（要求分析と呼ばれます）と、分析結果を開発者が理解可能な形で記述すること（仕様記述と呼ばれます）を主な研究テーマとしています。具体的に現在推進したい研究テーマは以下の通りです。

尚、本研究室の研究分野は「ソフトウェア工学」に分類されるため「工学」分野と関係が深い印象があります。しかし、ソフトウェア工学はコンピュータサイエンス（情報科学）の一部とされています。

## ◎主な研究テーマ

### モデル変換に基づくシステムの導入促進

ある生活等の活動中のどの部分にどんな情報システムを導入すべきかを検討するためには、業務自身を机上で分析するための記述（モデル）が必要となります。本研究室では、i\*（アイスターと読む）と呼ばれるモデル化言語を用いて、活動のモデル化を行っています。このモデル上の構造的な特徴に基づき、情報システムの導入箇所の候補を機械的に発見するための手法とツールを構築しつつあります。例えば、特定の人物に負荷が集約している部分はi\*のモデルの分析を通して識別できます。そこで、その部分へ情報システムを導入する検討を行うことができます。

### メトリクスによるシステム導入前後の比較

前述の方法で、ある活動に導入すべきシステムを決定したとしても、活動全体が改善されるとは限りません。そのシステムは活動全体から見ると邪魔なものかもしれないからです。そこで、システム導入が活動全体を改善するか否かを判定するための測定法（メトリクス）を研究しています。測定基準は複数種類あります。例えば、効率、ユーザビリティ（可用性）、セキュリティ、信頼性等です。システム導入によって、どの基準から活動が改善されるかの評価を、システム開発前に行うことができます。システム導入によって、ユーザビリティが改善しても、セキュリティが悪化するということは現実に頻繁に見られます。このよ

うな場合のトレードオフの判断材料にもなります。具体的なメトリクスの計算には、モデル中の要素数（ノードやアークの数）や構造を用います。

### スペクトル分析に基づくシステムの類似性分析

多くの情報システムは今までに存在しない全く新しいものは少なく、過去に類似したシステムが存在したり、競合する類似したシステムが多数存在したりします。そこで、システムの仕様記述を行う場合、他の類似したシステムとの差異を明確にすることが重要です。これによって、当然持たなければならない機能や特性の抜けをチェックしたり、他の類似システムとの差別化ポイントを明確にしたりできます。本研究室では、仕様書、モデル、利用マニュアル等のシステムに関する説明文書に着目し、その構成要素（文やクラス等）に対して、成分分析（スペクトル分析）を行うことで、システムの類似性や差異を系統的に分析する手法やツールの研究を行っています。

## ■主要著書／論文

■加藤潤三, 佐伯元司, 大西 淳, 海谷治彦, 林 晋平, 山本修一郎, 要求獲得のためのシソーラス構築支援. 情報処理学会論文誌. Vol.57. No.7, pp. 1576-1589. Jul. 2016. 掲載料258120円 (税込)

■Haruhiko Kaiya, Shinpei Ogata, Shinpei Hayashi, Motoshi Saeki, Early Requirements Analysis for a Socio-Technical System based on Goal Dependencees. The 15th International Conference on Intelligent Software Methodologies, Tools and Techniques (SOMET 2016), 12-14 Sep. 2016, New Trends in Software Methodologies, Tools and Techniques, IOS Press, 2016, pp.125-138, doi:10.3233/978-1-61499-674-3-125

■Haruhiko Kaiya, Modelling Goal Dependencies and Domain Model Together, KES-2016, York, UK. 5-6 Sep. 2016, Procedia Computer Science, Volume 96, 2016. Pages 791-800. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2016.08.242>

# 木下佳樹・武山誠研究室

構成員紹介→P28/29

**研究分野** 算譜意味論, 算譜検証論, プログラミング科学

**研究テーマ** プログラムの数理モデル, プログラムの検証と妥当性確認

## 研究室構成員

木下 佳樹 (教授)

武山 誠 (特任教授)

木下 修司 (非常勤講師, プロジェクト研究員)

中原 早生 (プロジェクト研究員)

## 研究内容

本研究室では、算譜意味論 (プログラムの数理モデル)、算譜検証論 (プログラムの正しさの検証、妥当性確認) など、プログラムに関する数理科学的研究を行います。コンピュータのハードウェアやソフトウェアに限らず、それを使う人々を含めた、広い意味での情報処理システムのライフサイクルを取り扱います。研究対象はプログラムやシステムの仕様書などの記述文書で、例えば、システムの安全・安心に関する議論を記したアシュランスケースとよばれる文書の構造や整合性検査の研究を行っています。組織の規則や標準・規格、法律などへの応用も考えられます。膨大な記述のなかのほんの小さな間違いが、飛行機墜落やプラント事故などの重大な結果を招く場合があります。どのように記述し、整合性を保つかが研究のテーマです。

### ◎主な研究テーマ

○プログラミングの科学を研究します。

**プログラムとは何か? (算譜意味論)**

プログラムを研究します。

**プログラムが正しいとは? (算譜検証論)**

プログラムが、明確に記された性質を持つことを、論理的に証明する手法を研究します。

**システムが妥当だとは? (妥当性確認論)**

システムの利用者からの要求は明確に記されているとは限りません。一定条件のもとで、関係者からの要求に当てていることの確認手法を研究します。

**システムへの要求の分析手法 (要求分析論)**

システムにどんな性質を期待するのかを分析し、明確に記すための手法を研究します。

○情報システムのお医者さんを育てます。

システムライフサイクルに関する研究です。成果実証の場として、ソフトウェア工学やディペンダビリティ (信頼性) に関する国際標準活動 (ISO/IEC SC7, IEC TC56, OMG) にも携わっています。

**システムの診察**

システムの不具合の原因究明法を研究します。

**システムの健康診断**

不具合がないかどうか調べる方法を研究します。

**システムの健康法**

システムの開発、運用、手入れ (保守) の方法を研究します。

**システムのリスク管理法**

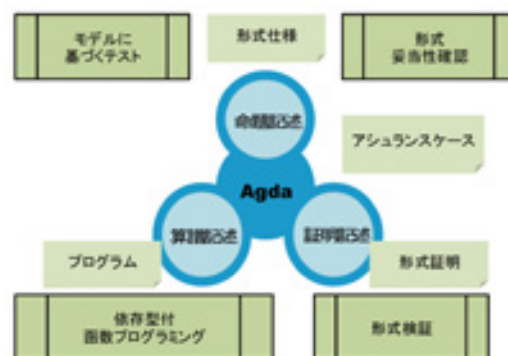
システムのリスクに関して関係者間で意思疎通を図って合意に至るための手法を研究します。

**システムの診断書発行**

システムの信頼性や安全性の基準を研究します。

### ◎研究環境

科学技術研究機構CREST制度によるプロジェクト「利用者指向ディペンダビリティの研究」および国立情報学研究所共同研究「議論の枠組みに関する基礎理論および応用の研究」を遂行しており、第一線の研究者が集まって研究活動に携わっています。



Agdaは、プログラミング言語と形式仕様記述言語の二つの側面をうまく併せ持つため、形式手法のツールとして研究に用いています。

国内での研究交流も豊富です。教授は産業技術総合研究所でも活動しており、奈良先端科学技術大学院大学の連携講座も担当しています。

### ◎学生指導の進め方

**初めは教科書購読・論文購読を行います。**

この分野の基本的な語彙と考え方を身に付けていただきます。

**できるだけ早い機会に「プロジェクト」に移ります。**

産業や学界の実地の問題の解決に取り組みます。小さくて簡単かもしれないけれど、創造性を発揮できるテーマを提示するよう努力します。

研究分野 人間情報科学

研究テーマ オブジェクト指向に基づくアプリケーション開発、データベース設計、eラーニング、ユーザ・インタフェースやマニュアルの評価と設計、教育工学、認知心理学

## 研究室構成員

桑原 恒夫 (教授)

## 研究内容

### 1. 研究の方向性

本研究室では情報システムの開発を主たる目的に活動しています。その中で、(1)ビジネスモデルやビジネスプロセスの分析と、情報システムを利用することによるそれらの改善提案 (2)オブジェクト指向に基づく要求分析やシステム設計 (3)認知心理学的手法を用いたユーザ・インタフェースやマニュアルの評価や設計などに力を入れて研究を行っています。

### 2. 具体的な技術内容

(1)UMLによる業務分析・要求定義 情報システムの開発には膨大な時間と費用が掛かることは周知の事実ですが、その原因はシステムに要求される機能の複雑さにあります。その複雑さの原因は、突き詰めれば人間の行っている業務の複雑さに起因します。その複雑さゆえにユーザと開発者との意思疎通が困難になり、それがシステム開発上の大きなネックとなります。本研究室では業務やシステムを様々な角度から解りやすく記述でき、かつオブジェクト指向分析・設計のための世界標準ツールであるUMLを利用してシステムを設計しています。それにより業務分析から要求定義、システム設計を行い、実装段階のプログラミングへとスムーズに繋げています。特にユースケース分析による要求定義の記述に力を入れ、そのノウハウの蓄積に力を注いでいます。

(2)データベース設計 現在のシステムは最上層にユーザ・インタフェース層、その下にロジック層、最下層にデータベース層という3層構造で構成されるのが一般的です。その中でデータベース層はシステムの基盤であり、ここが揺らぐとシステム全体に影響します。そこで本研究室ではシステムの将来の拡張性も十分に考慮してデータベースの構造設計を行っています。そのための具体的なノウハウを蓄積するとともに、新しいデータ構造やデータ検索方法の発明にも力を入れています。

(3)ユーザ・インタフェースの評価・設計 エンドユーザにとって情報システムは必ずしも使いやすいものではありません。システムの使いやすさの改善のポイントはユーザ・インタフェースにあります。本研究室ではGUI (グラフィック・ユーザ・インターフェース) の評価や設計を中心に、認知心理学的な手法を用いてそのノウハウの蓄積に努めています。

### 3. 具体的な研究例

(1)リアルタイムで受講者に助言を行う教育支援システム 講師1人で受講者数十人、百人という形態での教育では、受講生一人ひとりの状況に合わせて講師が助言を行うことは困難です。本システムでは穴埋め式問題に対する受講者の誤答内容をリアルタイムで集計して講師に通知し、同じ誤答をした受講生に講師が同

報で助言を送ることで上記の目的を達成しました。本システムをコンピュータ言語の授業で実際に数年間使用し、教育効果を上げています。また本システムでは教員のアドバイスをそれによる学生の解答の変化を後から振り返り、分析する機能も備えています。

(2)操作性評価用GUIの簡易作成ツール GUIの操作性 (ユーザビリティ) を評価するためのツールを開発しています。本ツールではプログラミングを必要とせず、作成ツール上の視覚的な操作のみで目的とするユーザビリティ評価用GUIを作成できます。作成したGUIを被験者が操作すると、その操作履歴がデータベース上に操作時刻とともに自動的に記録されます。

(3)語学学習支援システム グローバル化の進展に伴い、外国語学習の重要性は益々増大しています。本研究室ではスマートフォンやパソコン上で語学学習を支援するシステムの開発をしています。

(4)シフト勤務計画作成システム 現在さまざまな業種や事業体で交代制勤務 (シフト勤務) が行われています。このような勤務計画の作成はコンピュータ・システムで支援する事により、その作成稼働を大幅に減少させる事ができます。桑原研究室では、わずかのカスタマイズで様々な業者や事業体で利用できるシフト勤務計画作成支援システムを開発しました。

(5)顧客対応記録共有システム コールセンターなどを念頭に、顧客対応記録を共有しノウハウの蓄積を支援するシステムの開発を行っています。

(6)データベースのデータ量圧縮・検索速度向上技術 正規性と完全性を保ちつつ、データベースのデータ量を圧縮し検索速度を向上させる技術を研究しています [登録特許(1), (2)]

### 4. 登録特許

(1)「情報探索用データ構造、および情報探索装置」特許第4853797号 (特許権者 神奈川大学)

(2)「情報検索装置、検索用プログラム、データベースの更新装置、データベース更新用プログラム」特許第6269884号 (特許権者、神奈川大学)

### 主要著書／論文

「1日で解るC言語」(共立出版)

誤答に対する教師のリアルタイムでのアドバイスを支援するeラーニングシステム (信学論, 2008), 教員のアドバイスを分析する機能を持つeラーニングシステムおよびそれを用いた教育結果 (日本教育工学会論文誌, 2013), 「様々な事業体の現場で利用可能な勤務計画作成支援システムの開発」(信学論, 2016), T. Kuwabara. "New Data Structure for Many-to-Many Relations to Reduce Data Size, Recording Time, and Search Time", Information Engineering Express, Vol.6, No.2, pp37-52, (2020)



研究分野 自然言語解析

研究テーマ 高精度日本語自然言語解析, テキストマイニング

## 研究室構成員

後藤 智範 (教授)

## 研究内容

### 1. 高精度日本語文解析

自然言語解析は、仮名漢字変換、機械翻訳に代表される技術の中核的な研究分野であり、最近では、GQ(Question Answering)システムおよび人工知能システムにおいて、音声認識と人工知能を結ぶ重要な要素技術として位置づけられます。

学術論文、特許などの理工学文書は、会話文と著しく異なり専門用語を多数含み、複文、重文、並列構造を有する非常に複雑な文が頻出します。当研究室では、左記の文書を対象に人間並みの高い精度の解析性能を目指して研究しています。

#### (a) 形態素解析

日本語の理工学分野の文書には、カタカナ、英文字、記号などの複数の字種から構成される複合語が非常に多く存在し、従来の形態素解析ツールでは、実用レベルの解析精度に達していません。この多字種性という特徴を活用した形態素解析の解析手法を研究しています(図2)。現段階で特許抄録10000文に対して98%以上の精度に達しています。

原文:ソニーモバイルコミュニケーションズ株式会社は、世界最薄/最軽量を謳う10.1型Androidタブレット「Xperia Z2 Tablet」のWi-Fi版「SGP512JP」を5月31日に発売する。

ソニーモバイルコミュニケーションズ株式会社は、世界最薄/最軽量を謳う10.1型Androidタブレット「Xperia Z2 Tablet」のWi-Fi版「SGP512JP」を5月31日に発売する。

図1 形態素解析の実例

#### (b) 複合語同定

形態素解析の次の処理段階として、分割された個々の単語を1つの意味単位、すなわち複合語とする処理があります。例えば、形態素解析「10.1 型 Android タブレット」の単語を連結(チャンキング)して「10.1型Androidタブレット」とします。理工学文書には、用語だけではなく単位が付いた数値表現、数式、化学式などが多数出現しています。字種特性を活用した単語チャンキング手法の研究をしており、現段階ではこちらも95%以上の精度に達しています。

#### (c) 構文解析

形態素解析、複合語同定、次の処理段階である構文解析があります。当研究室では、複文、重文、並列構造をアルゴリズム的な(例えば、)手法ではなく、品詞接続パターン規則の基づく手法を研究しています。

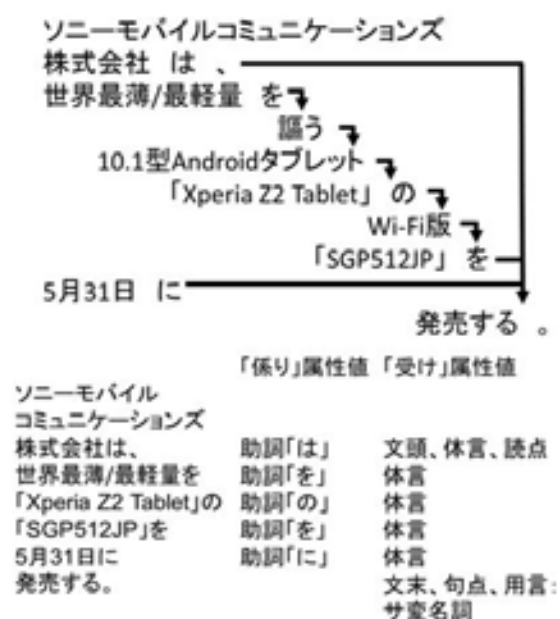


図2 構文解析の実例

### 2. GPU利用の並列テキスト処理

その内部に数百～数千の演算装置をもつGPU (Graphic Processing Unit)は、3Dゲームを含む動画像装置として開発されてきました。近年、並列計算装置として数値計算、さらに機械学習のためのハードウェアとして利用されています。当研究室では、GPU向けの汎用プログラミング言語としてOpenCLを使用して、検索エンジンを含むテキスト処理の開発・実装について研究を行っています。

## 主要著書/論文、特許

- [1] 熊澤佑美, 齋藤恵, 後藤智範. 辞書見出し語中の複合語を対象とした字種変化特性の分析. 自然言語処理研究会報告 2013-NL-214(17), 1-6, 2013-11-15.
- [2] 熊澤佑美, 後藤智範. 特許抄録中に出現する多字種複合語を対象とした字種特性の分析. 自然言語処理研究会報告 2014-NL-217(16), 1-7, 2014-7-3.
- [3] 漢字複合語分割装置. 特許5750815号(2015年)



**研究分野** 知能情報学, ネットワーク科学, 発見科学

**研究テーマ** ビッグデータを用いた人工知能 (AI) アプローチによる複雑現象の数理モデリングと知識発見に関する研究

## 研究室構成員

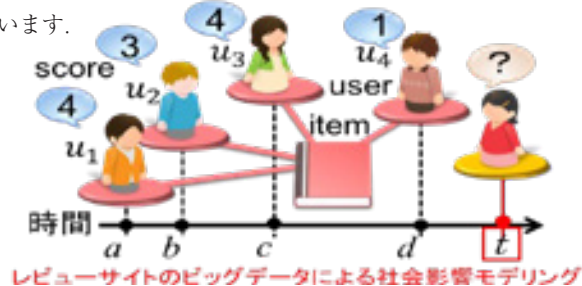
齊藤 和巳 (教授)

## 研究内容

1. ソーシャルメディア上で起こる大規模な情報拡散や意見形成の本質メカニズムの解明と精緻な数理モデルの構築に関する研究を進めています。本研究により、新商品などの効果的なプロモーション戦略や、コンピュータウイルスなどの効果的なブロック戦略の策定などが可能になります。



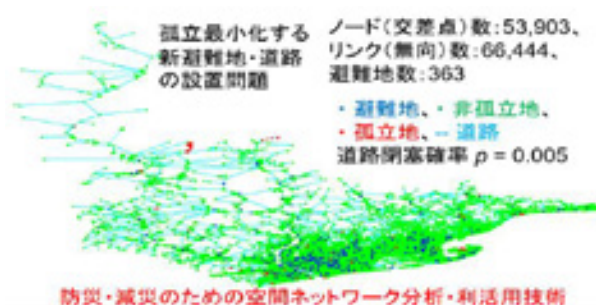
2. 社会イベントなどがユーザ行動へ与える影響を定量化する社会数理モデルの構築と行動変化点検出法に関する研究を進めています。本研究では、多数のユーザに多大な影響を与え得るイベントやオピニオンリーダの検出技術の確立とともに、社会影響に関する有用な知識獲得を目指しています。



3. IoTデバイスなどで計測される多様な環境データを利用し農産物のCO2吸収量を推定するエコシステムの数理モデルの構築に関する研究を進めています。本研究により、農産物生産性の向上とともに、熟練者の経験や勘に基づき実施されるビニールハウス内でのCO2供給タイミングの自動化などが可能になります。



4. 道路網など大規模空間ネットワークの分析技術と災害などでのユーザ避難行動の数理モデルの構築に関する研究を進めています。本研究では、減災効果を高めるため、新たに整備すべき避難地や道路候補の検出技術の確立とともに、多様なビッグデータを統合利活用させた災害シミュレーションを実現するためのソフトウェア基盤を構築します。



5. 他大学の研究者と連携し、1) コミュニティメディアからの知識抽出に基づくソーシャルキャピタルの変容過程の解明、2) 大規模空間ネットワークのネットワーク分析に関する研究、3) 協調・競合構造を考慮したアテンションダイナミクスの数理モデリング、4) 大規模ネットワークでの情報フロー損失最小化のためのクリティカルリンク発見、5) 縮小画像での積算型下限値によるクラスタリング法の高速化、6) ビッグデータ統合利活用による道路閉塞を考慮した移動信頼性向上に関する研究、7) 環境情報 (ビッグデータ) を統合利活用した可視化とエコシステム数理モデリングによる農業の生産効率向上に関する研究などをテーマとして、プロジェクト研究を進めています。

## 主要著書／論文

- 1) 齊藤 和巳, "ウェブサイエンス入門 - インターネットの構造を解き明かす -", NTT出版, 2007.
- 2) K. Saito, K. Ohara, M. Kimura, and H. Motoda, "Which is More Influential, "Who" or "When" for a User to Rate in Online Review Site?," Intelligent Data Analysis - An International Journal, Vol. 22, No.3, 2018.
- 3) K. Saito, K. Ohara, M. Kimura, and H. Motoda, "Accurate and Efficient Detection of Critical Links in Network to Minimize Information Loss," Journal of Intelligent Information Systems (JIIS), Vol.51, Iss.2, pp235-255, 2018.

**研究分野** ネットワークセキュリティ、計算の複雑さ、ニューラルネット、言語獲得

**研究テーマ** 適応型パケットフィルタの構成法、フィルタリングルール最適化問題の計算の複雑さ、フィルタ再構成のための多項式時間アルゴリズム、差分からの言語獲得

## 研究室構成員

田中 賢（教授）

## 研究内容

コンピュータサイエンスを基盤としながら、ネットワークセキュリティとその最適化、並列計算量の理論、言語獲得モデルに関する研究を行ってきました。現在とはくに、ネットワークセキュリティの主要な技術であるパケットフィルタリングの最適化問題、差分からの言語獲得問題に取り組んでいます。

パケットフィルタリングとは、下図に示すように、インターネットから到達する大量のパケットから危険なパケットのみを排除する技術で、ルータ、スイッチ、ホストなど、ネットワークに接続される種々の機器に装備される必須の機能です。フィルタは、パケットのIPアドレスやポート番号といった条件にもとづいて通過の許可・拒否を決定する規則の集合として実現されます。危険なパケットの種類が増えるにつれて規則は複雑化し、大規模な組織では規則の数は数百から千を超えるほどになります。規則の増大はフィルタの効率の低下を招き、サービスの品質の低下を招いてしまいます。私達は、ルールを再構成してフィルタの効率を最適化する方法を研究しています。

パケットフィルタリングだけではなく、現在ネットワークセキュリティを確保する様々な手法が、ルールの集合によって不正なデータを排除する、というアイデアにもとづいています。例えば、PCでなじみの深いウイルス対策ソフトは、ウイルスごとの特徴的なパターンをもとに危険なメールやwebページを排除します。無線LANのセキュリティ確保はMacアドレス制限が第一に適用されますが、これもパケットフィルタリングと同様のアイデアです。

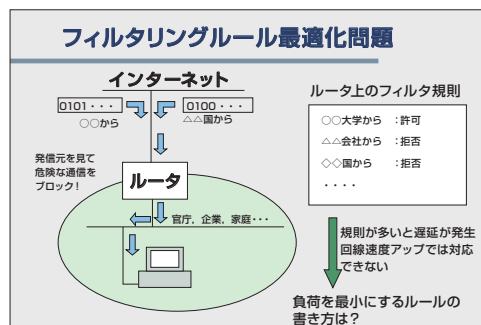
セキュリティばかりではなく、論理的なルールを順に適用して処理を選択するという考え方は、ネットワークやコンピュータ上の様々な応用技術に共通して現れるものです。パケットのルーティングは、パケットのアドレスによって送り先のインタフェースを選択する問題ですし、PBR (Policy Based Routing)は、パケットの条件によって、パケットが通過するルートをもさらに細かく制御しようとする技術です。このように、ルールの集合を最適化するという問題の最適化をすることは、広くネットワークやコンピュータのセキュリティを確保し、利用効率を高めるキーになります。

人がどのように言語を獲得するのか、という問いは、古くから言語学者や心理学者によって研究されてきたテーマです。高度な言語を駆使する人類のみが、高度な文明を築

けたわけですから、言語とは何か、それはどのようにして獲得されるのかを明らかにすることは、知とは何か、を明らかにする際のキーになるはずです。

言語獲得の問題は、コンピュータの発達により「言語獲得のアルゴリズムを明らかにする」問題として、近年新たな展開を見せています。私達は、人の言語獲得が単純な一語文から徐々に複雑な文の獲得へと進むこと、その過程で既知の言語知識と未知の文表現との差分から新たな言語知識を獲得していく、という点に着目した言語獲得モデルを提案しています。言語獲得においては、最小の規則によって最大の表現力を得ようとするのが自然と考え、語のカテゴリ、カテゴリのカテゴリ、それらによって構成される文法規則を言語知識の基本として、それが獲得される過程をモデル化する獲得アルゴリズムを検討しています。

本研究室では、「問題を見出す力」「シンプルに深く考える力」「仕組みを見抜く力」が何においても大切だと考えています。問題に突き当たったとき、拙速に解決のための手順を求めるのではなく、じっくりと仕組みを観察し、きちんと問題を表現・形式化し、抜本的な解決法を考える。このプロセスは、研究に限らずどんな事柄にも共通するいわば考え方の基本だと考えています。



## 主要著書／論文

- [1] A Packet Classification Method via Cascaded Circular-Run-Based Trie, Harada T., Ishikawa Y., Tanaka K., Mikawa K., IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol. E102-A, No.9, pp.1171-1178, 2019年09月
- [2] Acceleration of Packet Classification Using Adjacency List of Rules, Fuchino T., Harada T., Tanaka K., Mikawa K., Proceedings of the 28th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN), pp.1-9, 2019年07月
- [3] A Heuristic Algorithm for Relaxed Optimal Rule Ordering Problem, Harada T., Tanaka K., Mikawa K., Proceedings of the 2nd Cyber Security in Networking Conference (CSNet), pp.1-8, 2018年10月

**研究分野** 画像情報処理, 視覚情報処理, CG, ニューロサイエンス

**研究テーマ** 顔認識, 指紋認識, 点字認識, 電子透かし, 視線追跡, 視覚心理実験

## 研究室構成員

張 善俊 (教授)

## 研究内容

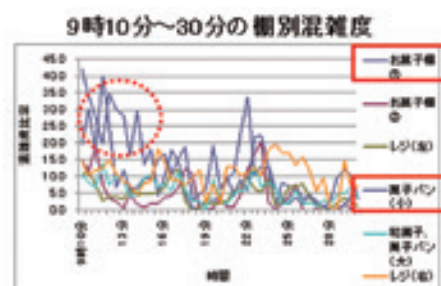
### ビジュアル情報処理研究室

私たち人間は五感を持って外部世界から様々な情報を取り込んでいます。「百聞は一見に如かず」と言われるように、これらの中、視覚から取り込んだ情報はもっとも多い。私の研究室では、特にこの視覚機能をコンピュータで実現しようとしています。目の代わりにデジタルカメラやビデオを用いて対象を撮影します。次に、コンピュータに「画像中にどんなもの（パターン）があるか」を認識させます。このような研究は、画像処理やパターン認識と呼ばれる分野に属します。私が研究しているテーマには、

- (1) 携帯電話による点字を認識する。
- (2) 街中にあふれる様々な文字や記号を認識する。
- (3) 人の顔を認識する。
- (4) 指紋から誰であるか認識する。
- (5) 店に設置されたカメラの映像を分析し、お客はどの棚に、  
どのような時間帯でどのように集まっているのかなどの  
マーケティング情報を自動抽出する。
- (6) 人間の印象（感性）をもとに画像を検索する。
- (7) 人間が特定の対象を見る時、視線はどんな振る舞いをするかを分析する。

などがあります。

講義では「画像情報処理」、「コンピュータグラフィックス」、「視聴覚情報処理」「情報科学実験Ⅱ」などを担当しています。皆さんには、基礎理論を学ぶとともに、具体的なプログラミングを行ってコンピュータによる画像処理・画像認識の面白さを体験してもらいます。



このような画像処理・パターン認識の技術は、これからの情報化社会でますます重要な役割を果たすと期待されています。例えば、インターネットを通して公文章の電子化が進んでおります。公表された電子印鑑を偽造されないために、文章内容に依存した情報を印鑑画像に人目では分からないように埋め込むことで犯罪を防止する。また、自動車にカメラを搭載して、安全運転や自動運転につなげることも夢ではないでしょう。

医療分野においても、コンピュータを用いた画像診断やロボットによる手術に応用されるでしょう。こうした広い応用分野で中核となる技術者を育成していきたいと思っています。コンピュータにパターン認識能力や感性を与える研究には夢があります。そして、まだまだ人間の能力に及ばないからこそ、挑戦的な研究テーマが沢山あります。

## 主要著書／論文

- (1) A Coarse to Fine Image Segmentation Method (IEICE, Trans. Information and Systems, Vol. E81-D, No. 7, pp.726-732, 1997) .
- (2) Shanjun Zhang, Kazuyoshi Yoshino, HongbinZhu "Issue of Authorized Electronic Seals Based on Content of Documents" International Journal of Intelligent Engineering and Systems Vol.. 3. No. 1, pp.18-24, 2010.
- (3) 張善俊、盛磊 「画像をコードブックに利用する投票の暗号化方法」 画像電子学会誌、Vol.40.No.1, pp.208-216, 2011.



研究分野 ソフトウェアシステムの構成方式

研究テーマ 柔軟かつ動的に構造要素の編集が行える情報システムの構成方法の研究

## 研究室構成員

永松 礼夫（教授）

## 研究内容

### ユーザの利便と保守の容易さの両立

現代は実社会の多くの活動に情報システムが深く関わっている時代です。

情報システムを使う立場のユーザにとっては、休みなく稼働していて、新しいサービスが出来たらすぐ使えることが便利です。保守・管理をする立場からは、問題点が発見されたら迅速に対策ができ、新しい機能の追加もユーザに不便をかけないで出来るシステムが望ましいです。

これらを両立できる、より使いやすい情報システムの構成方法の確立を目指して、以下のようなテーマでの研究を行っています。

### テーマ1：プログラム部品の動的変更

多くのソフトウェアはバグの修正や機能強化のために頻繁に更新することが要求されます。その一方で、サービスを中断させるような停止は一瞬でも難しくなっています。動的に（プログラムを稼働させた状態のまま）、一部を部品交換のように入替える方式を開発するため、交換する単位を定義したり、入替えの手順や、入替えに必要な手間について考察しています。

例題として、C言語で記述した簡単なプログラム（銀行口座の預金について、預け入れ・払い出し・残高照会を行うもの）を対象にして、関数を交換・追加の単位と定めて、上述の機能の試作をしました。そこで、関数の引数の数や型が変更される場合に仕様の差を吸収する「アダプタ」と呼ばれる部品の管理についても考察しました。

### テーマ2：文書の構造の編集

例えば、一つのWEBサイトは複数のHTMLページから構成されており、それぞれのページの内容には相互に関連性があります。ここでは、複数のページに共通する部分（フッター）があったり、見出しや目次といった別に記述された部分を抜き出してまとめられたページが作られている、などの依存関係が含まれています。

これを「構造化された文書」として一般化して扱います。また、複雑なシステムの設計データなども構造化された文書と見ることができます。目次の自動生成や、本文を書き直せば目次に反映され、逆に目次の順序を変えれば本文が再構成されるといった機能の実装について研究しています。

単純化した例として、WEBページの更新を取りあげて、複数の元となるデータを組合わせて処理した結果として表示される「ビュー」を見ながら、その上の編集ボタンを押すことで対応するパーツの内容の更新ができ、さらにその結果が全体に反映される方法について考察しました。

### テーマ3：スクリプトによるHTMLページへの動的機能追加

Ajaxなどで使われているJavaScriptとHTMLを組合わせたWEBページについて、動的に機能を追加する方法を研究しています。ページにはJavaScriptの関数として、ボタンをクリックした時の動作を定義することで種々の機能が付加できます。状況の変化に応じて、ページを再ロードせずに、また既にある関数や変数の値を保持したままで、新しく関数を追加したり削除できる方法を試作しました。

長い時間使われ続けるようなシステムの保守の状況を想定して、追加される関数や変数の名前などは事前に知ることが出来ないという制約の元で、一般性のある機能追加や削除の方式を考察しました。

単純な例として、オセロゲームの盤面を更新するWEBページとスクリプトを用い、石を置けば盤面が更新される機能はそのままに、初心者のために新たに石が置けるマスに色をつけて表示する機能を動的に追加・削除する機構を試作・検討しました。

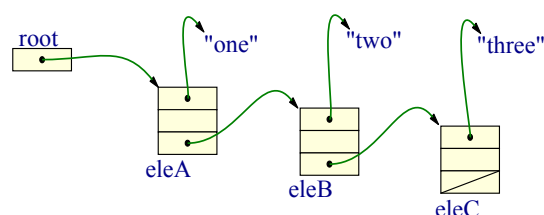
## 主要著書／論文

インターネット・リテラシー（朝倉書店、1998）

多重スレッド計算機のための稼働率評価モデル（計測自動制御学会論文集、1996）

Runtime Software Reorganization by Traditional OS Features (ISPSE, 2000)

JavaScriptによる自己再生的プログラムの構成方式について（情報処理学会プログラミング研究会、2011）



プログラミング言語の授業説明図を  
スクリプトによる支援システムで作図した例



研究分野 グラフ理論, 計算機システム

研究テーマ 相互結合網, 経路選択問題, ディペンダブル・コンピューティング

## 研究室構成員

Antoine BOSSARD (准教授)

## 研究内容

Our research activities are mainly focused on graph theory. More precisely, we have been actively researching system dependability, focusing on interconnection networks of massively parallel systems.

Modern massively parallel systems, like the IBM Blue Gene/L or the Fujitsu K, embody hundreds of thousands of CPU nodes. This number of nodes is steadily increasing, and supercomputers are already reaching the 1-million barrier of computing nodes. Network topologies used to bind CPU nodes of early supercomputers, like the hypercube topology, are today replaced by more complicated but of higher performance topologies, like torus-connected cycles networks (see Figure 1).

In such environment, we understand that routing is a critical topic to retain high performance, that is avoiding data communication to become a bottleneck. Also, at the same time, as the complexity of the new topologies used for interconnection networks increases, routing is becoming more difficult and thus requires much attention.

A key point of our research is disjoint routing. Effectively, as the number of nodes continuously grows, faults (out of order computing nodes or broken links) are very likely to appear. Hence it is a critical issue to find routing paths that are mutually disjoint so as to maximize the probability of finding one communication route that avoids faults. Also, paths disjointness is a critical property of a routing algorithm since it ensures lock-free data transmission along the selected paths. Effectively, as each path includes distinct nodes, notorious blocking situations such as deadlocks, livelocks or starvations are guaranteed to be avoided. This is a tremendously important asset for routing algorithms and parallel processing in general.

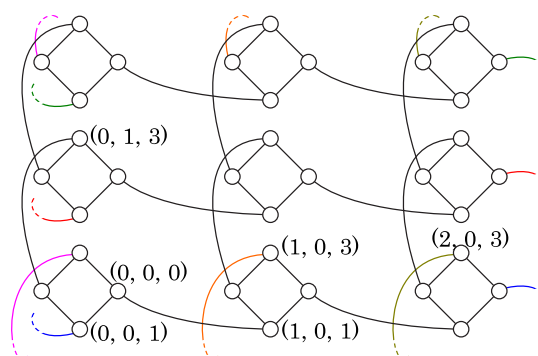


Figure 1. A 3-ary 2-dimensional torus-connected cycles network (TCC): 4-cycles are connected according to a 3-ary 2D torus.

## 主要著書／論文

- A. Bossard, A Gentle Introduction to Functional Programming in English [Third Edition], Ohmsha, 2020.
- A. Bossard and K. Kaneko, Cluster-fault tolerant routing in a torus, *Sensors*, vol. 20, no. 11, 2020.
- A. Bossard, High-performance graphics with DirectX in Racket, *Information Engineering Express*, vol. 5, no. 2, 2019.
- A. Bossard and K. Kaneko, Torus pairwise disjoint-path routing, *Sensors*, vol. 18, no. 11, 2018.
- A. Bossard and K. Kaneko, Torus-Connected Cycles: a simple and scalable topology for interconnection networks, *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, vol. 25, no. 4, 2015.
- A. Bossard and K. Kaneko, Time optimal node-to-set disjoint paths routing in hypercubes, *Journal of Information Science and Engineering*, vol. 30, no. 4, 2014.
- A. Bossard and K. Kaneko, k-pairwise disjoint paths routing in perfect hierarchical hypercubes, *The Journal of Supercomputing*, vol. 67, no. 2, 2014.
- A. Bossard, K. Kaneko and S. Peng, A new node-to-set disjoint-path algorithm in perfect hierarchical hypercubes, *The Computer Journal*, vol. 54, no. 8, 2011.

研究分野 暗号と情報セキュリティ

研究テーマ 暗号アルゴリズムの実装・攻撃・構成手法、情報セキュリティ技術の安全性検証

## 研究室構成員

松尾 和人（教授）

## 研究内容

### 1. 暗号アルゴリズムの高速実装

暗号アルゴリズムは、インターネット上の安全な通信を実現するHTTPSプロトコルのみならず、電子マネー用のICカードや携帯電話などにも利用されています。特に、ICカードや携帯電話などの省資源環境では、暗号アルゴリズムの速度が機器全体の速度に大きな影響を及ぼします。したがって、暗号アルゴリズムの高速化はユーザビリティの観点から重要な研究テーマとなっています。このテーマについて、これまでに超楕円曲線暗号と呼ばれる省資源環境に向けた公開鍵暗号の高速ソフトウェア実装に取り組み、64bitCPU上での最高速実装やスマートフォンへの実装などを達成しています。最近、これまでの暗号技術では実現が困難であった機能を実現可能なペアリング暗号や準同型暗号と呼ばれる高機能暗号が注目を集めています。しかし、これらの暗号アルゴリズムは従来の暗号アルゴリズムと比較して速度が遅いことが知られています。そこで、これらの暗号方式の高速実装も研究対象としています。また、これらの研究から派生して、スクリプト言語Pythonのインタプリタの整数演算部の高速化などを実現してきました。今後も様々な計算アルゴリズムの高速実装に取り組む予定です。

### 2. 暗号アルゴリズムに対する攻撃手法・構成手法

最近の暗号アルゴリズムは安全性が数学的に証明されていますが、証明の前提として暗号プリミティブと呼ばれるコア部が安全であることを仮定しています。しかし、暗号プリミティブに対する安全性証明は通常は困難です。したがって、暗号アルゴリズムの安全性を担保するためには、暗号プリミティブに対する攻撃方法の研究が必須となります。さらに、現代の暗号は解読に時間がかかることを安全性の根拠として設計されていますが、最近ではGPUコンピューティングやクラウドコンピューティングなど膨大な計算資源が容易に手に入るようになり、暗号の安全性の設計指針を変更する必要があるかもしれません。この可能性を探るためには、GPUコンピューティングなどによる暗号攻撃が重要な研究テーマとなります。本テーマに関連して、これまでに次世代の主力暗号方式である楕円曲線暗号に対する攻撃手法を提案しています。今後も、楕円曲線暗号に対する新たな攻撃手法とその高速実装の研究を予定しています。また、暗号アルゴリズムはパラメータ設定により

柔軟な安全性を実現できますが、適切なパラメータ設定を行わない限りその安全性を担保できません。多くの暗号アルゴリズムに対して安全なパラメータ設定を行うアルゴリズムが完成していますが、超楕円曲線暗号に対してはこのアルゴリズムが未だ完成していません。そこで、超楕円曲線暗号のパラメータ設定アルゴリズムの研究に継続的に取り組んでいます。

### 3. 情報セキュリティ技術の安全性検証

最近の通信プロトコルやネットワークアプリケーションでは安全性を確保するために情報セキュリティ技術が必要不可欠です。しかし、情報セキュリティ技術は適切に設計・運用しない限り期待した安全性を確保できないものです。したがって、通信プロトコルやアプリケーションの脆弱性を解析し、その脆弱性を解消することは実社会にとって重要な研究テーマです。このテーマの研究成果として、これまでに、モバイル端末用の通信プロトコルとして知られるBluetoothの機器認証に関する脆弱性を発見しています。今後も、インターネットの安全性を支える暗号通信プロトコルであるSSLやSSH、無線LAN用のセキュリティプロトコルであるWEP/WPAや、Twitterなどのネットワークサービスで利用されている、OpenID、OAuthなどの認可・認証プロトコルに対して、技術的な脆弱性と不適切な運用から生ずる脆弱性を解析し、安全なプロトコルの実現について研究を進める予定です。

## 主要著書／論文

暗号理論と楕円曲線（森北出版、共著、2008）

Improvements of Addition Algorithm on Genus 3 Hyperelliptic Curves and Their Implementation (IEICE Trans. E88-A, 共著、2005)

Remarks on Cheon's Algorithms for Pairing-Related Problems (Proc. of Pairing 2007, Springer LNCS4575, 共著、2007)

Skew-Frobenius Maps on Hyperelliptic Curves (IEICE Trans. E91-A, 共著、2008)

Bluetoothのセキュアシンブルペアリングに対する中間者攻撃（情報処理学会論文誌53, 共著、2012）

# 化学科および化学領域

## 化学科

### 「学科の特色」

21世紀「環境の世紀」に入り循環型社会の実現のため化学製品のリサイクルや環境負荷の少ない製造法の開発が広く行われている。そして地球温暖化で二酸化炭素削減が叫ばれ、その1つとして進められてきた原子力が3.11東日本大震災で見直しがされている。今こそ、人工光合成や太陽電池などのより原理・原則に基づく環境技術の開発が求められ、化学の底力がためられている。理学部化学科では、このような期待にこたえるべく、充実した教育・研究の機会を提供している。1年次の講義科目では、高校の化学からの橋渡しである多彩な基礎科目を用意し、基礎から応用に至る4年間の段階的な学修により、幅広い物質科学の知識と技術を修得するように、カリキュラムが構成されている。「ハイテク・リサーチ・センター」など最新の研究施設も利用した実験・実習科目も充実している。そして「化学国際交流」で、毎年、国立台湾大と神奈川大学理学部化学科で交互に、英語での集中講義が行われている。とくに成績優秀者については「特進ステージ」の資格が与えられ、3年次後学期から卒業研究を開始し、1年で修士号を取得する道も開けている。

一方約200名収容のサーカムホールでは毎年理学部化学科主催で平塚シンポジウムが学内外の講演者や卒業生により、「環境」「理科教育」専門分野の「トピックス」をテーマに開催されている。

### 「教育研究上の目的」

化学科は、幅広い教養、コミュニケーション能力、情報処理能力を身に付けるとともに、高校の数学・理科からの橋渡しをスタートとして理学の基礎から高度に専門的な化学まで幅広い物質科学の知識と技術を修得し、それによって社会の中核として活躍できる人材の育成を目的とする。

### 「教育目標」および3つのポリシー

化学科の「教育研究上の目的」を踏まえて、化学科では幅広い教養に加えて専門的な化学の知識と技術を修得することにより、社会の中核として活躍できる人材の育成を教育の目標とする。

そのためのディプロマ・ポリシー（学位授与の方針）カリキュラム・ポリシー（教育課程編成・実施の方針）とアドミッション・ポリシー（入学者受入の方針）が用意されており、詳しくは神奈川大学ホームページを参照されたい。

## 化学領域

### 「領域の特色」

化学領域は、特に「物質」に向き合う能力の養成に力点をおいている。博士前期課程の講義科目について、研究の活動内容を中心に各論的・専門的知識を習得できるように、合成・構造・評価、共通科目などの分野に分けて科目を設定している。その中でも、必修科目として「化学論文英語」を設け語学力の向上を図っている。さらに、国内外の研究者による講演会の開催とあいまって「研究を通して外部に眼を開く」ため、学内外の研究者による「化学特別講義」と他領域との共通科目「先端科学演習」も設けている。博士後期課程も含めた特色ある研究活動として、①複数指導体制（学生1名につき指導教授以外に教員3名のアドバイザー）②特別研究中間発表会（年2回開催、口頭発表とポスター発表）③学会発表の奨励（理学研究科として学生の学会発表に対し旅費宿泊費・登録費の半額援助）④国立台湾大学との国際シンポジウム（隔年ごとに台湾と日本で開講し口頭発表とポスター発表）、さらに、将来を見据えて⑤学外研修I、II（企業・研究所に短期間派遣）などや⑥TA（ティーチング・アシスタント）に就くことで、職業人や教育者として能力を高める経験を積む機会も用意している。

### 「教育研究上の目的」

化学領域の博士前期課程は、物質探究の基礎及び関連分野において先導的役割を果たし得る有能な人材、すなわち高度な化学の専門的知識・能力を持つ高度専門職業人の育成を目的とし、博士後期課程では、同上の人材、すなわち創造性豊かな優れた研究・開発能力を持つ研究者や豊かな教育能力と研究能力を兼ね備えた大学教員の育成を目的とする。

### 「教育目標」および3つのポリシー

化学領域の「教育研究上の目的」を踏まえ、化学領域博士前期課程では、「専門的職業人たり得る能力の育成」を、博士後期課程では「物質探求の基礎及び応用技術分野を先導し得る能力と化学技術の発展に寄与し得る研究開発能力の育成」を、教育の最終目標としている。

そのためのディプロマ・ポリシー（学位授与の方針）カリキュラム・ポリシー（教育課程編成・実施の方針）とアドミッション・ポリシー（入学者受入の方針）が博士前期課程と博士後期課程に各々用意されており、詳しくは神奈川大学ホームページを参照されたい。



## 構成員紹介



しょうじ たつや  
**東海林 竜也**

研究室→P49

職 名：准教授・博士(理学)

専門分野：物理化学，ナノ・マイクロ化学

略歴：群馬工業高等専門学校専攻科修了，北海道大学大学院 博士後期課程修了，同大学院博士研究員，大阪市立大学大学院理学研究科博士研究員，同大学講師を経て現職

Mail：t-shoji@kanagawa-u.ac.jp



かべ よしお  
**加部 義夫**

研究室→P45

職 名：教授・理学博士

専門分野：有機金属化学，有機ケイ素化学，フラーレン化学

略歴：筑波大学大学院博士課程化学研究科修了，マサチューセッツ工科大学，花王基礎科学研究所研究員，筑波大学化学系助手，講師，助教授を経て現職

URL：http://professor.kanagawa-u.ac.jp/sci/chemistry/prof03.html

Mail：kabe@kanagawa-u.ac.jp



しら い なおき  
**白井 直樹**

研究室→P50

職 名：准教授・博士(理学)

専門分野：宇宙化学，地球化学，分析化学

略歴：東京都立大学大学院理学研究科化学専攻博士課程修了，フロリダ州立大学・国立強磁場研究所博士研究員，首都大学東京教養学部化学科現・東京都立大学理学部化学科)助教を経て現職



かわい あきお  
**河合 明雄**

研究室→P46

職 名：教授・博士(理学)

専門分野：光物理化学，スピン化学，イオン液体

略歴：東京工業大学大学院理工学研究科博士後期課程修了，日本学術振興会特別研究員，カリフォルニア大学バークレー校博士研究員，東京工業大学大学院理工学研究科助手，准教授を経て現職

URL：http://ku-labo.kanagawa-u.ac.jp/detail\_sci\_1130.html

Mail：akawai@kanagawa-u.ac.jp



すず き けんたろう  
**鈴木 健太郎**

研究室→P51

職 名：准教授・博士(理学)

専門分野：生物物理化学・有機物理化学

略歴：総研大数物科学研究科修了。分子科学研究所 研究員，東大院総合 助教、出版社勤務、神奈川大学理学部 特任准教授等を経て現職

Mail：suzuken@kanagawa-u.ac.jp



かわ もと たつや  
**川本 達也**

研究室→P47

職 名：教授・理学博士

専門分野：無機化学，錯体化学

略歴：筑波大学大学院博士課程化学研究科修了，大阪大学教養部助手，分子科学研究所助手，カンザス州立大学博士研究員，大阪大学理学部助手，大阪大学大学院理学研究科助手，講師，准教授を経て現職

URL：https://www.sci.kanagawa-u.ac.jp/chem/kawamoto/

Mail：kaw@kanagawa-u.ac.jp



つじ はやと  
**辻 勇人**

研究室→P52

職 名：教授・博士(工学)

専門分野：有機合成化学，有機金属化学，典型元素科学，物理有機化学

略歴：京都大学理学部卒業，同大学院工学研究科物質エネルギー化学専攻博士課程修了，京都大学化学研究所助手，東京大学大学院理学系研究科化学専攻准教授を経て現在に至る

URL：http://www.sci.kanagawa-u.ac.jp/chem/tsuji/



きはら のぶひろ  
**木原 伸浩**

研究室→P48

職 名：教授・博士(工学)

専門分野：有機合成化学，高分子化学

略歴：東京大学大学院工学系研究科博士課程中退，東京工業大学資源化学研究所助手，同工学部助手，日本学術振興会特定国派遣研究員(スイス)，大阪府立大学工学部講師，助教授を経て神奈川大学理学部教授

URL：http://www.sci.kanagawa-u.ac.jp/chem/kihara/

Mail：kihara@kanagawa-u.ac.jp



にし もと ゆうこ  
**西本 右子**

研究室→P53

職 名：教授・理学博士

専門分野：分析化学，環境分析

略歴：千葉大学理学部化学科卒，同大学院理学研究科修士課程修了，セイコー電子工業(株)，神奈川大学理学部助手，専任講師，助教授を経て現職

URL：http://professor.kanagawa-u.ac.jp/sci/chemistry/prof01.html



**ひろ つ まさ かず**  
**廣津 昌和** 研究室→P54

職 名：教授・博士(理学)  
専門分野：無機化学，錯体化学

**略歴：**岡山大学大学院自然科学研究科博士課程修了，群馬大学工学部助手，大阪市立大学大学院理学研究科講師，准教授を経て現職

URL：http://www.sci.kanagawa-u.ac.jp/chem/hirotsu

Mail：mhiro@kanagawa-u.ac.jp



**やま にし かつ のり**  
**山西 克典** 研究室→P47

職 名：特別助教・博士(理学)  
専門分野：無機化学，錯体化学

**略歴：**静岡大学理学部化学科卒業，同大学院理学研究科化学専攻博士課程修了，日本学術振興会特別研究員，分子科学研究所博士研究員を経て現在に至る

Mail：ft102021xc@kanagawa-u.ac.jp



**ほり ひさ お**  
**堀 久男** 研究室→P55

職 名：教授・工学博士  
専門分野：環境化学，環境保全技術

**略歴：**慶應義塾大学大学院理工学研究科応用化学専攻後期博士課程修了，(株)東芝・研究開発センター研究員，通商産業省工業技術院資源環境技術総合研究所主任研究官，マックスプランク研究所客員研究員(科学技术庁長期在外研究員)，(独)産業技術総合研究所・環境管理技術研究部門研究グループ長を経て現職

URL：http://www.sci.kanagawa-u.ac.jp/chem/hori/

Mail：h-hori@kanagawa-u.ac.jp



**え がわ やす のぶ**  
**江川 泰暢** 研究室→P52

職 名：プロジェクト助教・博士(理学)  
専門分野：元素化学，有機金属化学，有機合成化学

**略歴：**2015年京都大学大学院理学研究科化学専攻博士後期課程修了，群馬大学産学官連携研究員，(公財)相模中央化学研究所研究員，海洋研究開発機構ポस्टドクトラル研究員，茨城工業高等専門学校国際創造工学科 化学・生物・環境系専任講師を経て、現在に至る



**まつ ばら とし あき**  
**松原 世明** 研究室→P56

職 名：教授・工学博士  
専門分野：量子化学，計算化学，理論化学

**略歴：**東京大学大学院工学系研究科合成化学専攻博士課程修了，姫路工業大学(現 兵庫県立大学)工学部応用化学科助手，(財)基礎化学研究所(現 京都大学福井謙一記念研究センター)主任研究員，広島大学大学院理学研究科特任准教授などを経て現職

Mail：matsubara@kanagawa-u.ac.jp



**たけ い たか や**  
**武井 尊也**

職 名：教務技術職員・博士(理学)  
専門分野：分析化学

**略歴：**筑波大学大学院修士課程修了後現職

Mail：takaya@kanagawa-u.ac.jp



**ちから いし のり こ**  
**力石 紀子** 研究室→P54

職 名：助教・博士(理学)  
専門分野：超分子化学

**略歴：**東京工業大学大学院理工学研究科高分子工学修士課程修了，東京農工大学物質生物工学科文部技官，神奈川大学理学部助手を経て現職

Mail：chikan01@kanagawa-u.ac.jp



**なが い やす たか**  
**永井 靖隆**

職 名：教務技術職員・博士(工学)  
専門分野：高分子材料物性

**略歴：**日本国有鉄道技術研究所(現在:財団法人鉄道総合技術研究所)，ニチアス(株)研究所を経て1993年から現職

Mail：yasutaka@kanagawa-u.ac.jp



**わた なべ のぶ こ**  
**渡邊 信子** 研究室→P45

職 名：助教・理学博士  
専門分野：有機合成化学，有機光化学

**略歴：**東京都立大学理学部化学科卒業，(財)相模中央化学研究所，(株)富士レボ中央化学研究所を経て神奈川大学に助手として就任，2007年より現職

URL：http://professor.kanagawa-u.ac.jp/sci/chemistry/prof14.html

Mail：watann02@jindai.jp



**よこ やま ひろし**  
**横山 宙**

職 名：教務技術職員・理学修士  
専門分野：無機合成

**略歴：**神奈川大学大学院理学研究科修士課程修了後現職



**伊集院 久子** いじゅういん ひさこ

**職 名：**光機能性材料研究所プロジェクト研究員・理学博士

**専門分野：**有機化学

**略 歴：**信州大学理学部化学科卒業，大阪市立大学大学院理学研究科博士課程修了，(勸)相模中央化学研究所・石原産業(株)中央研究所・(株)富士レビオ中央研究所を経て現職

**Mail：**ijyuuh-01@kanagawa-u.ac.jp



**柴田 真太郎** しば た しん た ろ う 研究室→P48

**職 名：**研究員・博士(学術)

**専門分野：**有機化学，固体触媒化学，計算化学

**略歴：**神奈川大学理学部化学科卒業，東京大学大学院総合文化研究科修士課程修了，同大学院総合文化研究科博士課程修了，東京農業大学生命科学部分子生命化学科博士研究員を経て現職

**Mail：**wt290708yo@kanagawa-u.ac.jp



**伊藤 倫子** い と う みち こ

**職 名：**光機能性材料研究所プロジェクト研究員・博士(工学)

**専門分野：**有機化学，高分子化学

**略歴：**神奈川大学理学部化学科卒業，東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了，同大学院生命理工学研究科博士課程修了，(独)科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業(CREST)，(独)物質・材料研究機構生体材料センターを経て現職

**Mail：**ds180299xp@kanagawa-u.ac.jp



**井上 哲** いの う え さとし 研究室→P47

**職 名：**総合理学研究所客員研究員・博士(理学)

**専門分野：**錯体化学

**略歴：**神奈川大学大学院理学研究科博士後期課程修了後現職



**川上 義輝** かわ か み よし て る 研究室→P45

**職 名：**総合理学研究所研究員・理学博士

**専門分野：**有機ケイ素化学

**略歴：**神奈川大学理学部化学科卒業，神奈川大学大学院理学研究科博士前期課程修了，神奈川大学大学院理学研究科博士後期課程修了，群馬大学工学部生物化学・応用化学博士研究員を経て現職

**Mail：**ss194046bl@kanagawa-u.ac.jp



**菊地原 愛** きく ち はら あい 研究室→P48

**職 名：**総合理学研究所客員研究員・修士(理学)

**専門分野：**有機化学・有機生物化学

**略歴：**神奈川大学理学部化学科卒業，神奈川大学大学院理学研究科化学専攻博士後期課程単位取得中退，2019年より現職





**研究分野** 有機金属化学, 有機ケイ素化学, フラーレン化学, 有機光化学

**研究テーマ** 有機ケイ素化合物, フラーレンやジオキセタン誘導体を合成し, その特異な構造や反応性を研究し, 理論計算からもその理由を説明することを研究テーマとしている。

## 研究室構成員

加部 義夫 (教授)

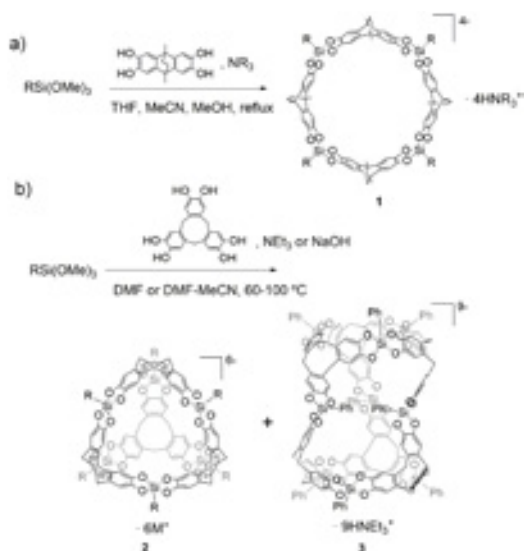
渡邊 信子 (助教)

川上 義輝 (研究員)

## 研究内容

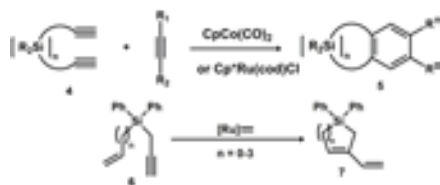
### 1. ナノスケール含ケイ素超分子の合成

ポリカテコール類とトリアルコキシランのゾルーゲル反応で、大環状**1**およびかご状ポリカテコラート**2, 3**が合成できることを見出した。それらの合成収率は高く、ケイ素の関与したゾルーゲル反応として、動的共有結合と見なされる最初の報告例となる。<sup>1)</sup> ポリカテコラート**1**はカウンターカチオンをはさみながらチューブ状に積層し、ポリカテコラート**2**は種々のカチオンをその空孔に取り込む分子カプセルとしての性質を示した。



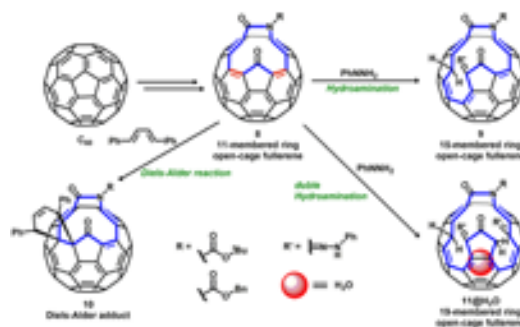
### 2. 環状ケイ素化合物合成のための触媒反応の開発

我々はSi-Si, Si-C結合にかわりC-C結合形成による環状ケイ素化合物の合成を検討している。CoおよびRuカチオン触媒反応によりシラおよびジシラジイン**4**とアセチレン類の[2+2+2]環化反応による環状ケイ素化合物の合成**5**の合成を報告した。<sup>2)</sup> さらにシラエンイン**6**のRuカルベンGrubbs触媒による閉環メタセシス(RCM)反応により環状ケイ素化合物**7**の合成に成功した。その反応機構を理論計算からも明らかにしている。



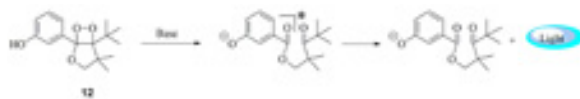
### 3. 穴あきフラーレンの合成と構造決定

炭素のみからなる球状化合物、フラーレンC<sub>60</sub>は有機化学的手法により穴をあけることができ、その穴を通して他の原子や分子を内包する事ができる。我々はC<sub>60</sub>からの二段階の反応でアミドのN上に電子求引性基が置換した、11員環開口部を有する穴あきフラーレン**8**を合成し、その各種ジエンとのDiels-Alder付加体**10**が位置選択的に生成する事を示した。また**8**と置換ヒドラジンとの反応ではモノあるいはダブルヒドロアミノ化が起こり、それぞれ15, 19員環に開口部が拡大した穴あきフラーレン**9**と**11**を与える事を見出した。この時、**11**の生成には水の内包が伴い**11**@H<sub>2</sub>Oとして得られることも見出した。<sup>3)</sup>



### 4. ジオキセタン型高効率化学発光化合物の設計と合成

フェノール性置換基を有するCTID型ジオキセタン**12**は塩基処理によるトリガリングで効率よく発光する。現在はこれまで検討されて来なかった有機塩基のトリガリングによる新しい発光系を見出し、またジオキセタンの固体状態での発光について検討している。<sup>4)</sup>



## 主要著書/論文

- 1) Y. Kawakami, T. Ogishima, T. Kawara, S. Yamauchi, K. Okamoto, S. Nikaido, D. Souma, R.-H. Jin, Y. Kabe, *Chem. Commun.*, **2015**, 51, 14746-14749.
- 2) T. Amakasu, K. Sato, Y. Ohta, G. Kitazawa, H. Sato, K. Oumiya, Y. Kawakami, T. Takeuchi, Y. Kabe, *J. Organomet. Chem.*, **2020**, 905, 121006.
- 3) T. Tanaka, K. Morimoto, T. Ishida, T. Takahashi, N. Fukaya, J.-C. Choi, Y. Kabe, *Chem. Lett.*, **2018** 47, 503-506.
- 4) N. Watanabe, A. Wakatsuki, H. K. Ijuin, Y. Kabe, M. Matsumoto, *Tetrahedron Lett.*, **2018**, 59, 971-977.



**研究分野** 光物理化学, イオン液体

**研究テーマ** イオン液体を利用した新規光現象の発見・解明や新物質開発  
光による電子スピン分極発生と活性酸素や光重合反応の計測

## 研究室構成員

河合 明雄 (教授)

川井 葉子 (補佐員)

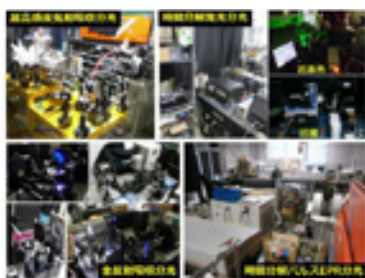
付 哲斌 (総研 客員研究員)

高橋 広奈 (総研 客員研究員)

## 研究内容

### 1. はじめに

人類の発展に貢献した化学の諸現象では、分子のエネルギーがどう使われ、緩和するかが重要です。当研究室は、このような基本的な過程に関し、新しい現象の発見、有益な現象の仕組み解明、またそのような研究に必要な装置の開発で、化学全体の発展を基礎から支えたいと思っています。特に興味があるのは、化学物質の光励起で起こるエネルギー移動や反応素過程です。高い時間分解能をもつ磁気共鳴法やレーザー分光法、超高感度分光法を開発してこれらの過程を観測し、その理解や新現象の発見を目指します。具体的な対象は、活性酸素のエネルギー緩和、計測機器の感度向上につながる光誘起の



当研究室で独自開発した分光装置の例

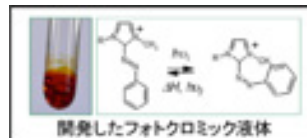
電子スピン分極発生現象、新規液体として注目されるイオン液体中の分子拡散や反応です。

### 2. 研究テーマ

#### イオン液体の物理化学と新物質開発

20世紀末に大気下で安定なイオン液体が発見され、分子性液体にはない新機能が期待されています。イオン液体は、カチオンとアニオンの2種からなり、異種の分子間相互作用が液体物性に影響します。イオン液体は基礎的性質が未解明で、イオン液体の有効利用には諸性質の解明が急務です。例えば、イオン液体はクーロン力の影響で蒸発しないと言われる。当研究室では、蒸気圧を超高感度吸収分光法で測定し、蒸発熱測定に成功しました。また、粘性が高く拡散が遅いとされますが、EPR法や時間分解発光分光法で回転や並進拡散の計測に挑み、高い粘度の割に拡散が遅くないことを結論しました。イオン液体は、各構成分子がイオンであるため、界面などで特殊な液体構造をもつと考えられています。当研究室では固体との界面近傍を選択的に観測する全反射分光法を開発し、界面近傍での光励起状態の反応を計測して特殊性の解明に挑んでいます。

イオン液体の計測と現象解明の他に、新物質開拓も行います。イオン液体は、大きな官能基があっても低融点な場合が多いことに着目し、フォトクロミズムを示す官能基を導入した赤いイオン液体を開発しました。この物質は光照射で液体物性が変化する新しい液体で、その有効活用を開拓中です。



開発したフォトクロミック液体

この他、イオン液体中

の励起状態エネルギー移動を活用した光アップコンバータの開発、イオン液体のセルロース解繊能力の研究とその成果を利用したセルロース強化樹脂の開発など、基礎研究から応用に関わるテーマまで広く取り組んでいます。



#### 光によるスピン分極発生と化学計測

当研究室は、光励起分子がラジカルと衝突してエネルギー緩和する際、電子スピンの分極する現象を発見しました。その機構解明を行い、「ラジカル三重項対機構」と呼ばれる理論を確立しました。スピン分極は、磁気共鳴法の感度を飛躍的に増大させるため、化学計測に応用できます。当研究室では、様々な病気の原因とされる活性酸素について、この現象を活用した寿命計測法を開発しました。

スピン分極の利用は、これまで観測が難しかったラジカル反応、例えば光重合過程の観測にも活用できます。光重合は、3Dプリンターなどで使われる反応で、光分解で生じたラジカルで開始される重合反応です。この各素反応過程を時間分解パルスEPR法で計測し、素反応ごとの速度定数を求めています。

#### 主要著書/論文

- 1)  $O_2$  solvation cavity in voids of ionic liquids studied by the solvatochromic red-shift of  $O_2(^1\Delta_g)$  phosphorescence, Tsuyoshi Yoshida, Masayuki Okoshi, and Akio Kawai, *J. Chem. Phys.*, 155, 234503 (2021).
- 2) Rate constant measurements for radical addition reactions with  $C_{60}$  by means of time-resolved EPR and spin-echo detected pulsed EPR spectroscopy, H. Takahashi, H. Hirano, K. Nomura, K. Hagiwara, A. Kawai, *Chem. Phys. Lett.*, 763, 138205-138211 (2021).
- 3) Temporal Behavior of the Singlet Molecular Oxygen Emission in Imidazolium and Morpholinium Ionic Liquids and Its Implications, T. Yoshida, A. Kawai, D. C. Khara, A. Samanta, *J. Phys. Chem. B*, 119, 6696-6702 (2015).

**研究分野** 無機化学, 錯体化学

**研究テーマ** 酸化還元活性な金属錯体の合成, 水の光分解のための錯体触媒の開発, 酵素類似機能を有する金属錯体の開発

## 研究室構成員

川本 達也 (教授)

山西 克典 (特別助教)

井上 哲 (総理研客員研究員)

## 研究内容

### 1. 含硫シッフ塩基金属錯体における新奇な反応

有機分子の反応性は金属イオンに配位することによって変化することが多く、そのために金属錯体においては予期しない反応がしばしば起こります。私たちの研究対象であるベンゾチアゾリン類から導かれる硫黄を配位原子とするシッフ塩基金属錯体においてもいくつか予想外の反応が見出されました。下図に示した反応はそのひとつであり、含硫シッフ塩基ニッケル

錯体をトルエンに溶かすだけでイミノ炭素同士が結合を生成し、その結果、結合状態を一義的に書き表せない、いわゆるノン

イノセントな配位子を有する錯体へと変換されます。

ノンイノセントな配位子を有する錯体は金属を中心とした骨格部分に $\pi$ 電子が非局在化することにより特異な性質を示します。そのひとつが近赤外領域に現れる非常に強い吸収帯であり、近赤外線吸収色素への応用が考えられます。また、二電子が関与する三つの酸化状態を安定にとりうる酸化還元活性な性質もこの錯体の重要な特徴です。

現在、このような酸化還元活性な錯体を触媒として用いた水の光分解反応の研究を行っています。

### 2. 広がった $\pi$ 系を有する金属錯体の開発

これは(1)の研究において見出された反応に基づいて、物質としての価値を高める目的で行ったものです。 $N_2S_2$ タイプのノンイノセントな配位子を有する一連のニッケル錯体の研究において、より広がった $\pi$ 系を有する錯体を合成しました(下図)。この錯体は平面性の高い構造を有しており、さらに分子同士がしっかりと重なり合うことで、単一分子でありながら伝導性を示します。したがって、この錯体は近赤外線吸収色素であるとともに伝導体であり、2つの物性を兼ね備えた化合物といえます。

### 3. 発光性シッフ塩基金属錯体の研究

(1)の研究と同様にベンゾチアゾリン類を用いて、中心金属をニッケルから亜鉛およびカドミウムに置き換えたシッフ塩基金属錯体を合成した場合には発光性を示す化合物が得られます。亜鉛錯体は側鎖上の置換基に関係なく単核の

四配位四面体構造をとりますが、カドミウム錯体では置換基に依存して亜鉛錯体と同様な単核構造と五配位の二核構造をとります。発光性は亜鉛およびカドミウム錯体ともによく似た傾向を示し、置換基によってその発光挙動は変化します。なお、現在は光増感剤として利用できる発光性イリジウム錯体の開発を進めています。

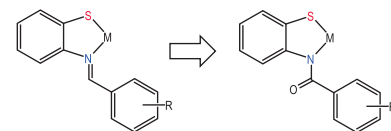
### 4. 新規環状銅錯体の研究

ベンゾチアゾリン類を用いて銅錯体を合成した場合には、硫黄架橋環状八核錯体が得られます(下図)。この錯体も(1)で得られたノンイノセントな配位子を有する錯体と同様に三つの酸化状態を安定にとりうる酸化還元活性な化合物です。それらのうちの+2価種はラジカルな電子状態にあり、また、その吸収挙動もノンイノセントな配位子を有する錯体の0価種とよく類似し、近赤外領域に非常に強い吸収帯を示します。しかしながら、それらの要因はニッケル錯体のものとは全く異なり、環状銅錯体は銅原子8個と硫黄原子8個から成る骨格部分にその要因があると考えられます。このことから、この錯体はノンイノセントな金属錯体と呼ぶことができます。現在、銅タンパク質との類似性を検討するとともに核数の異なる類似錯体の開発を行っています。



### 5. 含硫アミド配位子を有する金属錯体の研究

硫黄を配位原子として含むアミド配位子を有する金属錯体の研究はこれまであまり行われていません。そこで、含硫シッフ塩基と類似の骨格構造をもつアミド配位子(下図)を用いて金属錯体の合成を試みています。また、イミダゾール部位を有するベンゾチアゾリン類を用いて含硫アミドニッケル錯体が得られることがわかりました。現在、その反応機構を検討しています。



## 主要著書/論文

Photo- and Electrocatalytic Hydrogen Production Using Valence Isomers of  $N_2S_2$ -Type Nickel Complexes (Inorg. Chem. 2017)

Photooxidation Reactions of Cyclometalated Palladium(II) and Platinum(II) Complexes (Inorg. Chem. 2019)

Photocatalytic and electrocatalytic hydrogen production using nickel complexes supported by hemilabile and non-innocent ligands (Chem. Commun. 2020)

# 木原伸浩研究室

構成員紹介→P42/44

**研究分野** 生物有機化学から高分子化学まで

**研究テーマ** 官能基相互作用を利用した分子システム・分子触媒、有機合成反応の開発、酸化分解性高分子材料の開発

## 研究室構成員

木原 伸浩（教授）

菊地原 愛（研究員）

柴田 真太郎（研究員）

## 研究内容

### 分子システム

生物は反応の天才です。有機化学では未だに実現できない高選択的な反応や、「どうしてそんなことができるのか」まるで分からない分子機械がたくさんあります。私たちは、空間的に適切に官能基を配置すれば、そのような特殊な機能も実現できると考え、適切な官能基の配置を持つ分子を実際に合成して、生物の力を人工的に実現しようとしています。

今年度の具体的な研究テーマ

- アミドの水素結合を利用した位置選択的反応場の開発
- 水素結合を利用した位置選択的Diels-Alder反応触媒の構築
- ロタキサンを用いた一方向移動系の構築

### 分子認識

体の中で起こっている反応は全て分子のやり取りで調節されています。それを支えているのは分子認識の精密さです。必要な官能基を空間的に適切に配置させれば、それに対応する分子が精密に認識できるのです。私たちは、新しい分子認識部位を開発し、有機分子を認識する研究をしています。複雑な分子を認識するためには高度に官能基化された認識場を構築しなければなりません、それには多くの困難が伴います。そこで、分子インプリント法やライブラリー法など、分子認識部位を簡単に作り上げる新しい方法も研究しています。

今年度の具体的な研究テーマ

- 大環状スルホキシミンの合成と環状アミドの認識

### 有機合成

複雑な分子システムの合成を支えるのは有機合成の力です。これまで利用されてこなかった低分子無機化合物やラジカル反応を利用することで、有用な新しい有機合成反応の開発を行っています。開発された反応は新しい分子システムの構築に利用され、また、新しい分子システムの開発に必要な反応は自分たちで開発していきます。環状構造だけから成るポリマーであるポリカテナンの合成に向けての取り組みも重要な研究テーマです。

今年度の具体的な研究テーマ

- ポリカテナンの合成研究
- 炎症レポーター分子の開発
- ラジカルシリル化反応の開発
- スルフィドの酸化をトリガーとする分解性官能基の開発

### 酸化分解性材料

有機合成の研究テーマから、酸化分解性材料という新しい研究テーマが育ってきました。空気中では安定ですが、酸化剤の作用によって、まるでスイッチを入れたように、ばらばらに壊れてしまうようなポリマーです。酸化分解性を利用すると、望むタイミングで分解できる材料が作れるため、分解性接着剤、分解性塗料など、様々な応用が期待されています。

今年度の具体的な研究テーマ

- 酸化分解性エポキシ樹脂及びその硬化剤の開発
- 酸化分解性エラストマーの開発
- オリゴマーの架橋によるビニルポリマーへの酸化分解性の導入
- 酸化分解をトリガーとする自己分解型ポリマーの開発
- 無水で分解する酸化分解性ポリマーの開発
- 酸化分解性ポリシロキサン合成
- メタセシス反応によるビニルポリマーへの酸化分解性の導入

### 主要著書／論文

Epoxy Resin Bearing Diacylhydrazine Moiety as a Degradable Adhesive for Traceless Oxidative Removal, *Polymer*, **2016**, 99, 83-89,

2-(Phenylseleno)ethanesulfonamide as a Novel Protecting Group for Aniline that can be Deprotected by a Radical Reaction, *Tetrahedron Lett.*, **2016**, 57, 2563-2566.

Synthesis of  $\alpha$ -Aminocarbonyl Compounds via Hetero Diels-Alder Reaction, *Chem. Lett.*, **2018**, 47, 144-147.

TBSOTf-promoted versatile *N*-formylation using DMF at room temperature, *Tetrahedron Lett.*, **2019**, 60, 1291-1294.

Preparation of Nanoporous Silica Gel Using Oxidatively Degradable Polymer in Organic-Inorganic Hybrid, *Chem. Lett.*, **2019**, 48, 502-505.

Dissolution of Transparent Crosslinked Polymer Monolith in Water by Oxidative Decrosslinking, *Polym. J.*, **2019**, 51, 1007-1013.

Enhancement of Acid-Catalyzed Esterification by the Addition of Base, *Helv. Chim. Acta*, **2019**, 102, e1900154.

Superabsorbent Polymer Solubilized Instantly by Decrosslinking with Sodium Hypochlorite, *Polym. J.*, **2021**, 53, 1153-1155.



**研究分野** 物理化学, ナノ・マイクロ化学

**研究テーマ** 光や熱を利用したナノ物質操作と化学反応への展開  
スマートマテリアルの相転移/相分離機構の解明

## 研究室構成員

東海林 竜也（准教授）

## 研究内容

分子を「視たい」「操りたい」という夢は、いつの時代の人類をも虜にし、時代の変遷とともに技術は発展し続けています。2014年ノーベル化学賞に選ばれた超解像蛍光顕微鏡に代表される顕微鏡技術は、今や一分子の観察をも可能にするだけでなく、原子レベルでの化学反応の可視化にも成功しています。このように分子を「視る」技術は日夜目覚ましく発展を遂げていますが、分子を「操る」技術はいまだ未到達の領域です。当研究室では、大きく二つの研究テーマを掲げています。一つは、日常生活では実感できない光や熱の力を用いて、ミクロな空間で分子やナノ物質を操る手法の開発です。もう一つは、開発したナノ物質操作法を駆使し、温度応答性高分子に代表されるスマートマテリアルの相転移/相分離機構の解明になります。

### 1. 光や熱の力を用いたナノ物質操作法の開発

溶液中の分子やナノ物質は絶えず揺らいでいるため、操るためには揺らぎを上回る力を与えなければいけません。そこで注目したのが、古くて新しい二つの力、光圧と熱泳動です。光圧は、2018年ノーベル物理学賞に選ばれた「光ピンセット」の駆動力です。日常生活では感知できないほどの微弱な力ですが、ナノ・マイクロ空間では無視できない力です。当研究室では、金やシリコン、チタンからなるナノメートルサイズの構造体により、この光圧を飛躍的に増幅させることで、従来の光ピンセットでは困難だったDNAや色素ナノ会合体などを捕まえて操ることに成功しました<sup>1-4)</sup>。このような新奇な光ピンセットを開発し、これまでアクセスできなかった分子やナノ物質を捕まえることを

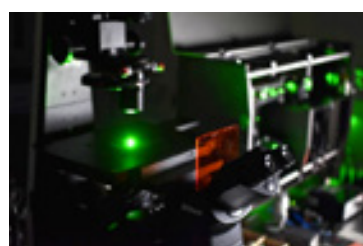


写真  
ナノ・マイクロ空間でのナノ物質操作に使われる実験装置

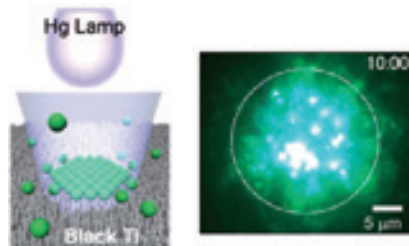


図 ナノチタン構造を利用した新しい光ピンセット技術[文献3]

目指します。将来的には、分子同士を開発した光ピンセットにより近づけさせて新たな化学反応を引き起こす、光圧化学と呼ぶべき新たな学問分野の創設を夢見ています。

ナノ物質を操るために着目したもう一つの力が、熱泳動です。両腕を広げた長さの間に、およそ10,000℃以上の温度勾配があるとき ( $10^5$  K/m)、物質には温度勾配に沿って輸送される力「熱泳動」が働きます。このような急峻な温度勾配は日常生活では見かけることはありませんが、ナノ・マイクロ空間では大きな力となります。当研究室では、この力による新たなナノ物質操作法の開発を目指しています。

### 2. スマートマテリアルの相転移/相分離機構の解明

ただナノ物質を捕まえて操るだけでなく、分光学的手法を取り入れて捕まえた物質の構造変化を解明しています。例えば、温度応答性高分子の水溶液は、室温中では透明ですが、体温以上に温めると白濁するという特徴があります。この現象を相分離といいます。相分離した溶液中の高分子構造はこれまで未解明なままでした。この構造変化を解明できれば、生医学材料の開発や、細胞生物学のホットトピックの一つである液液相分離の理解に貢献できると期待できます。これに対し、当研究室では光ピンセットにより温度応答性高分子を捕まえ、相分離により形成される高分子液滴の構造変化を明らかにしました<sup>5,6)</sup>。

### 主要著書／論文

- 1) Optical Trapping of Polystyrene Nanoparticles on Black Silicon: Implications for Trapping and Studying Bacteria and Viruses, *ACS Appl. Nano Mater.*, **3** (2020), 9831-9841.
- 2) Plasmonic Manipulation of DNA using a Combination of Optical and Thermophoretic Forces: Separation of Different-Sized DNA from Mixture Solution, *Sci. Rep.*, **10** (2020), 3349.
- 3) Incoherent Optical Tweezers on Black Titanium, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **13** (2021), 27586-27593.
- 4) Fluorescence Colour on Demand: Control by Optical Force, *Angew. Chem. Int. Ed.*, *in press* (2022), doi: 10.1002/anie.202117227
- 5) Microanalysis of Single Poly(N-isopropylacrylamide) Droplet Produced by an Optical Tweezer in Water: Isotacticity Dependence of Growth and Chemical Structure of the Droplet, *J. Phys. Chem. B*, **124**, 8454 (2020).
- 6) Formation of Single Double-Layered Coacervate of Poly(*N,N*-diethylacrylamide) in Water by a Laser Tweezer, *Langmuir*, **37** (2021), 2874-2883.

# 白井直樹研究室

構成員紹介→P42

研究分野 宇宙化学, 地球化学, 分析化学

研究テーマ 宇宙・地球化学的物質中の元素組成に関する研究, 誘導結合プラズマ発光分光分析装置や誘導結合プラズマ質量分析装置を用いた分析手法の開発

## 研究室構成員

白井 直樹 (准教授)

## 研究内容

地球の岩石や宇宙から飛来した隕石中の元素濃度を求めることにより、太陽系が形成された約46億年前から現在までにそれらがどのような環境で形成され、その後どのような過程を経験してきたのか知ることができる。当研究室では、元素組成、特に微量元素濃度に注目し、太陽系の形成やその後の惑星の進化の様子を解明しています。

### 1. 微量白金族元素を用いた隕石衝突物の同定

地球や分化した原始惑星の地殻やマントルは、白金族元素 (Ru, Rh, Pd, Os, IrとPt) に欠乏している。これは、惑星形成過程でのマントルと核の分離の際に、白金族元素が核に取り去られたためである。一方、始原的隕石の白金族元素濃度は、地殻やマントルに比べて非常に高いため、地殻・マントル由来の岩石の白金族元素濃度を求めることにより、隕石衝突の付加を見ることが可能である。

小惑星ベスタの地殻起源であるHED隕石には、衝突した隕石の痕跡が岩石組織から明らかになっている。そこで、HED隕石の全白金族元素濃度を求め、衝突した隕石の種類の同定を行った (図1)。分析した6個のHED隕石は、隕石衝突の影響が少ないHED隕石に比べて高い白金族元素濃度を持っており、それぞれ異なる白金族元素存在度パターンを示した。つまり、6個のHED隕石には、それぞれ種類の異なる隕石の衝突があったことを示唆し、小惑星ベスタを含む地球型惑星には、太陽系形成初期に大量の白金族元素が注ぎ込まれたことを意味する。

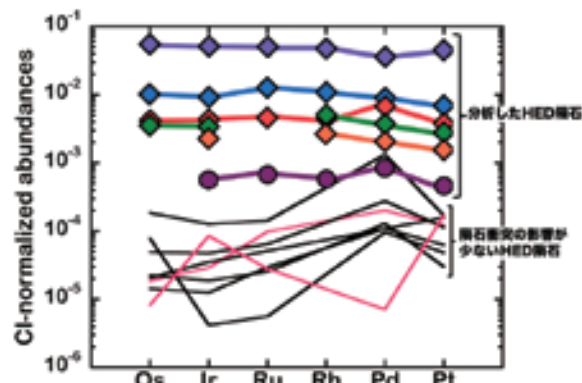


図1. 分析したHED隕石と隕石衝突の影響が少ないHED隕石。縦軸は、CIコンドライト隕石のそれぞれの元素濃度で規格化した値をプロットしている。

### 2. 小惑星リュウグウ試料用のサンプルホルダーからの汚染評価とリュウグウ試料の分析

2020年12月に小惑星探査機「はやぶさ2」が地球に小惑星リュウグウの試料を持ち帰った。小惑星リュウグウは、太陽系誕生時の有機物や含水鉱物を今現在も残しており、地球の水の起源や地球生命に至るまでの有機物進化過程などの解明が期待されている。小惑星リュウグウ試料を実験室で分析を行う時に、大気からなどの地球上での汚染を極力避ける必要があり、また、一つの試料から色々な分析装置を用いて多くの情報を得る必要がある。そこで、JAXAの地球外試料キュレーションセンターといくつかの研究機関の連携による「Phase2キュレーション高知チーム」では大気非暴露輸送用機や機器間共通試料ホルダーなどの開発が行われてきた。不定形の試料を固定するためのカーボンナノチューブホルダー (図2) 中の不純物として存在する金属元素濃度を機器中性子放射化分析法と機器光量子放射化分析法を用いて求め、カーボンナノチューブホルダーから試料への汚染の評価を行った。このホルダーを用いてリュウグウ試料の内部構造や鉱物分布を調べ、その後、機器中性子放射化分析法を用いて元素濃度を求めている。得られた結果から、小惑星リュウグウの形成過程の解明に取り組んでいます。

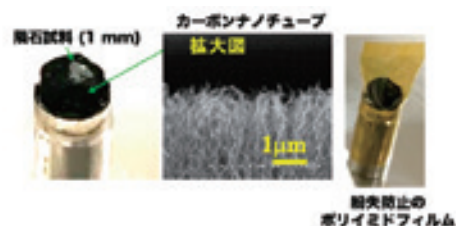


図2. 小惑星リュウグウ試料のために開発された試料ホルダー。

## 主要著書/論文

- 1) N. Shirai et al. "Siderophile elements in brecciated HED meteorites and the nature of projectile materials in HED meteorites" *Earth Planet. Sci. Lett.*, **437**, 57-65 (2016).
- 2) A. Yamguchi et al. "Petrogenesis of the EET 92023 achondrite and implications for early impact events" *Meteorit. Planet. Sci.*, **52**, 709-721 (2017).
- 3) N. Shirai et al. "The effects of possible contamination by sample holders on samples to be returned by Hayabusa2" *Meteorit. Planet. Sci.*, **55**, 1665-1680 (2020).
- 4) N. Shirai et al. "Comparison of PGAA and wet chemical analysis for determining major element contents in eucritic meteorites" *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **325**, 949-957 (2020).

**研究分野** 有機物理化学・生物物理化学・ソフトマター

**研究テーマ** 分子性ソフトマターが示す巨視的挙動と生命らしさ

## 研究室構成員

鈴木 健太郎 (准教授・博士 (理学))

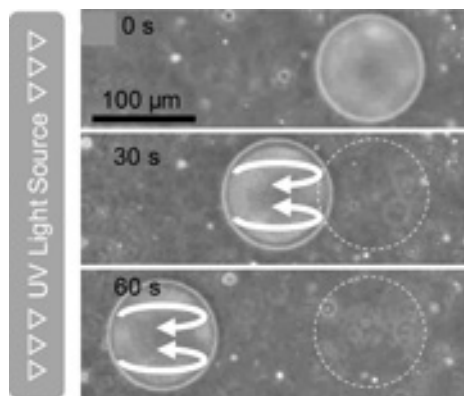
菅原 正 (総研研特別所員・理学博士)

## 研究内容

単純な機能しか持たない分子でも、それらが多数集まることにより、個々の分子の性質からだけでは想像しがたい興味ある特性が出現することがある。このような分子の特性を最大限活用しているのが生命であり、逆に、このような集団としての分子の振る舞いを意識しなければ決して理解できないような生命らしいダイナミクスが数多く存在する。そこで、人工の分子からなるソフトマターを利用して、我々が「生き物らしい」と感じるような生命現象の特徴を、化学の立場から理解しようとする研究を展開している。

### 1. 光に向かって進む油滴

オレイン酸のカルボン酸部位を光分解性保護基で保護したケージドオレイン酸は、紫外線を照射すると光分解反応により界面活性剤になり得るオレイン酸を生じる。この分子を主成分とする粒径100マイクロメートルほどの油滴に紫外線を照射すると、単純に化学反応が進行するだけでなく、油滴が光に向かって自己駆動することを見いだした。(図) 油滴の運動のきっかけは油滴を構成するケージドオレイン酸の光分解反応であることは間違いないが、しかしそれだけでは紫外線照射中継続する油滴の駆動を説明できない。油滴が動き続けるためには、油滴内部に出現する対流によって、紫外線照射中の油滴表面のオレイン酸濃度勾配が維持されることが必要となる。すなわち、この油滴は、自らの内部に出現した対流を利用して、自らその運動を助けているものと理解される。



自然界には、外場に応答して様々な動きを見せる油滴と同じような大きさを持った微生物が数多く存在する一方で、人工的な微粒子が電場や磁場といった物理的な外場のある環境で運動を示すこともよく知られている。生物の示

す動きは、ただエネルギー的に利得のある方向に移動しようとする人工粒子の動きとは異なり、外部の刺激をきっかけに、自らその運動を創り出す。ケージドオレイン酸油滴が示す走光性ダイナミクスは、生物と比較すれば極めて単純な仕組みではあるものの、自ら動きを作り出し、それを持続しようとする機構を有しており、生命現象との関連性が興味深い。

最近はこちらに、走光性油滴を、ジャイアントベシクルのような袋状構造体内に封入することで、自らが駆動体となって動く油滴ではなく、油滴を駆動体として用いる新しい系の構築を目指した研究を進めている。

### 2. 構成分子の化学反応がもたらす巨視的ダイナミクス

ジャイアントベシクルや油滴のような、両親媒性分子を利用してできるソフトマターには、脂質二分子膜のような秩序性の高い環境と、流体からなる無秩序な環境という、特性の異なる環境を内在している。このような特徴を持ったソフトマターの内部を反応場として利用することで、ソフトマターが反応場を与え、反応の産物がソフトマター全体の形質を変調させる、フィードバック系の実現が期待できる。その結果、比較的単純な分子を利用した化学反応であっても、時空間展開を伴った奥行きのあるダイナミクスを実現することが期待される。

このような特徴を活かして、反応に直接影響しない刺激をトリガーとする反応系や、過去の履歴によって異なる外場応答性を示すソフトマターなど、生命現象と関連するダイナミクスを、人工の分子系により実現することを目指している。

## 主要論文

- Photo-triggered Recognition between Host and Guest Compounds in a Giant Vesicle Encapsulating Photo-Pierceable Vesicles, Chem. Phys. Lipids 201, 70 (2018).
- Phototaxis of Oil Droplets Comprising a Caged Fatty Acid Tightly Linked to Internal Convection, ChemPhysChem 17, 2300 (2016).
- A Recursive Vesicle-based Model Protocell with a Primitive Model Cell Cycle, Nature Commun. 6, 8352 (2015).
- Macroscopic Motion of Supramolecular Assemblies Actuated by Photoisomerization of Azobenzene Derivatives, Chem. Commun. 49, 9386 (2013).



**研究分野** 有機合成化学, 有機金属化学, 典型元素科学, 物理有機化学

**研究テーマ** 新しい有機合成反応の開発, 軽元素から成る機能性有機分子の創製,  
分子構造の制御による機能性発現

## 研究室構成員

辻 勇人 (教授)

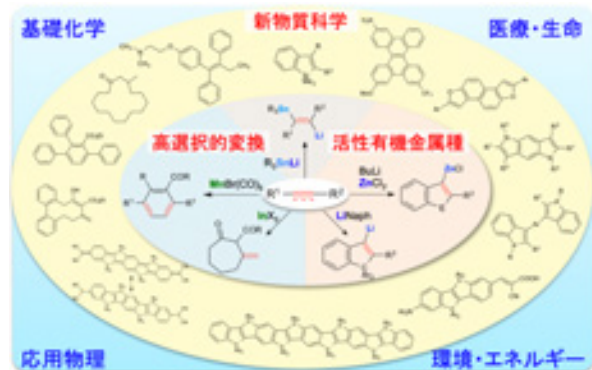
江川 泰暢 (プロジェクト助教)

## 研究内容

化学反応は物質を創り出す原点です。当研究室では、金属を利用した新しい有機合成反応の開発と、新反応を利用した機能性有機分子の創製を2本の柱としています。

### 1. 新しい有機合成反応の開発：金属の活用

金属を上手く活用することで、分子内の結合を選択的に切断・形成することができるようになります。これまでに我々は、亜鉛・スズなどの典型金属や、マンガンなど遷移金属を使った新反応を開発し、炭素骨格や複素環骨格の構築への応用や、多分野への波及効果が見込まれる新しい機能性有機分子の創製も展開しています(文献1)。最近では、曲がった $\pi$ 電子骨格の新しい合成法の開発と、非化石資源を原料とする機能性物質の創製研究に注目しています。



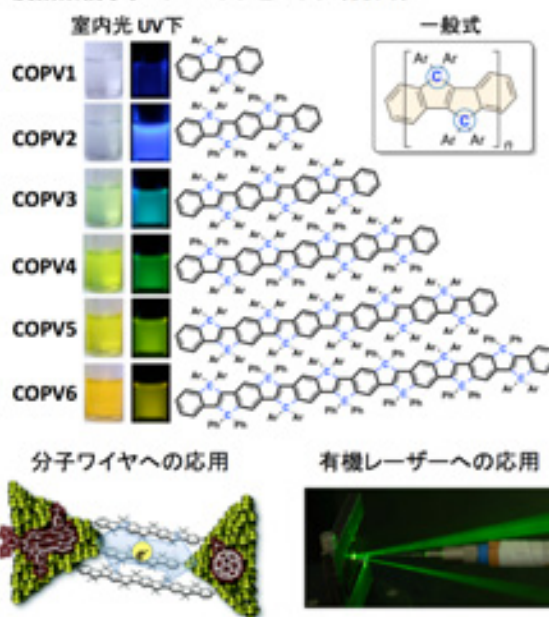
### 2. 機能性有機分子の創製：ユビキタス元素の利用と分子構造の制御

優れた機能を示す材料には、希少元素や毒性の高い元素がしばしば用いられており、資源の埋蔵量やコスト、環境や生体への影響の懸念という観点から、そのような元素の使用量の削減や代替材料の開発が求められています。そこで当研究室では、炭素・酸素・窒素等の豊富に遍在する(ユビキタスな)軽元素を使った代替材料の開発を目指し、分子構造の制御という方法に注目しています。実際これまでに、 $\sigma$ および $\pi$ 電子共役系分子の構造制御によって、元素が持つポテンシャルを引き出し、高い機能性を実現することに成功しています。

例えば、「COPV」と名付けた、剛直な平面はしご形分子構造をもつ新物質を開発し、高速電子輸送が可能な分子ワイヤとしての機能や、高効率・長寿命レーザー発光材料

としての機能を見出してきました(文献2-4)。なお、これらの応用研究は、国内外の様々な分野との研究者との共同研究によって行われたものです。このような有機合成を起点とした分野横断型の研究を今後も行っていきたいと考えています。

### 炭素架橋オリゴフェニレンビニレン(COPV)



## 主要著書／論文

- 1) Design and Functions of Semiconducting Fused Polycyclic Furans for Optoelectronic Applications, H. Tsuji, E. Nakamura, *Acc. Chem. Res.* **2017**, *50*, 396.
- 2) Electron Transfer through Rigid Organic Molecular Wires Enhanced by Electronic and Electron-vibration Coupling, J. Sukegawa, C. Schubert, X. Zhu, H. Tsuji, D. M. Guldi, E. Nakamura, *Nature Chem.* **2014**, *6*, 899.
- 3) Carbon-bridged Oligo(p-phenylenevinylene) for Photostable and Broadly Tunable, Solution-Processable Thin Film Organic Lasers, M. Morales-Vidal, P. G. Boj, J. M. Villalvilla, J. A. Quintana, Q. Yan, N.-T. Lin, X. Zhu, N. Ruangsapapichat, J. Casado, H. Tsuji, E. Nakamura, M. A. Diaz-García, *Nature Commun.* **2015**, *6*, 8458.
- 4) Carbon-Bridged Oligo(phenylenevinylene)s: A de novo Designed Flat, Rigid, and Stable  $\pi$ -Conjugated System, H. Tsuji, E. Nakamura, *Acc. Chem. Res.*, **2019**, *52*, 2939.

# 西本右子研究室

構成員紹介→P42

**研究分野** 分析化学, 環境分析化学

**研究テーマ** 生活に密着した試料を中心に, 広く環境を視野に入れた分析化学の研究を行っている。主な対象は水と空気, 出土銭などの考古試料も扱っている。

## 研究室構成員

西本 右子 (教授)

## 研究内容

“私たちの未来を守るために「分析化学」ができることを実行しよう”をスローガンに以下の4テーマを中心に研究を進めている。

- (1) 水溶液の構造と機能に関する研究
- (2) 住環境、水試料を中心とした環境試料の分析及び分析法に関する研究
- (3) 劣化試料としての出土試料の分析
- (4) 熱分析の測定法と応用に関する研究

水試料では環境に優しい水といわれる電解酸性水や磁気処理水, 超音波処理・光照射を行った水などを取り上げ, 機能と成分・水の構造との関係、生体関連物質への影響を研究している。環境水と同程度の塩濃度である数十ミリモルのNaCl水溶液やKCl水溶液では100mT程度の弱い磁気処理によってOHラジカルが生成し、*E. Coli*に対する抗菌作用がみられることがわかってきた。また同様の水溶液から調製した電解水では有効塩素の作用によって殺菌効果を示すが、少ない塩素濃度で効果的に殺菌できる条件を検討し、最適pH、最適共存塩濃度を明らかとしてきた。最近では殺菌メカニズムを明らかにすることを目的としてアミノ酸及びペプチドとの相互作用の研究を行っている。

環境水では温泉水の流入による影響で河川水中のFやBの濃度が問題視されている。現在Bの分離分析法の検討を中心に研究を行っている。住環境では揮発性有機化合物(VOC)の迅速分析法の開発と、エコマテリアルを利用したVOC吸着材の評価法の開発を行っている。熱分析とガスクロマトグラフィーによる評価法がほぼ定まってきた。VOC成分の脱離過程の分析にはEGAが最適であることがわかってきた。VOC吸着材としては竹炭や廃材から調製した新しいエコマテリアルであるウッドセラミックスを中心に、材料の違い、調製条件や焼成温度の影響を検討し、目的とするVOC成分ごとの材料、調製条件の最適化を行っている。

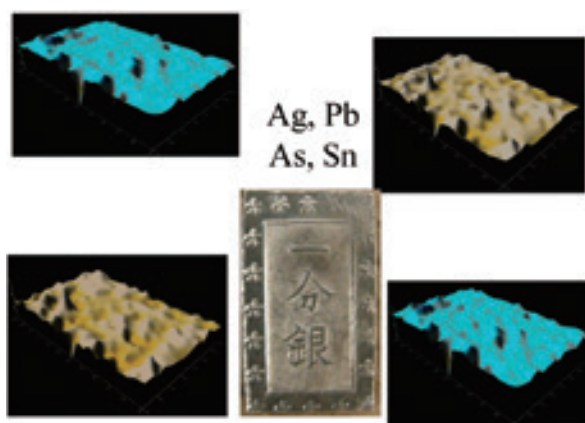
出土銭は千枚以上のまとまった試料が出土することが多いことから、試料によっては破壊分析も行える。また最近では考古分野の研究者の間でも正確な情報を得るには破壊分析が必要と認識されるようになってきている。これらの試料は一般に劣化が進んでおり、試料内が不均一である。銅銭、銀銭及び砥石を中心に試料表面や内部の濃度分布に着目した元素分析を行っている。その結果、分布傾向が類

似した元素があることなどがわかってきた。

熱分析は破壊分析ではあるが、状態分析の一手法として元素情報だけでは得られない有用な情報が得られることが多い。新しい手法のみならず温度域や測定手法によってはさらなる条件検討によって、応用面での展開が期待される。前述のVOC吸着材の脱着過程の評価に加えて、高分子物質の熱分解過程の研究もはじめた。さらに加熱ゲル中の水の状態分析法として低温領域のDSCによる共晶の融解過程を用いる手法を提案し、粘弾性やゲル中の水のNMR、近赤外領域の測定とあわせて検討を進めている。

## 主要著書／論文

- 1) Reactive Oxygen in Electrolyzed Anode Water and Anti-Oxidant Activity of Electrolyzed Cathode Water, *International Journal of Modern Engineering Research*, **8**, 12-17 (2018)
- 2) メチルセルロースヒドロゲルのゲル化過程の解析, 分析化学, **67**, 159-162 (2018)
- 3) Chemical Composition of Excavated Enamel Ware and of Whetstone at the Owari Clan Upper Mansion Site using X-ray Fluorescence Spectroscopy, *Transaction of the Material Research Society of Japan*, **42**, 93-95 (2017)
- 4) バイオマス炭化物のVOC吸着特性評価, 分析化学, **67**, 131-134 (2018)
- 5) シリーズ研究室紹介, 神奈川大学理学部化学学科西本研究室, クリーンテクノロジー, **27**, 4, 76-77 (2017)
- 6) 機能水の分析, 分析化学, **69**, 12, 673-678 (2020)



研究分野 無機化学, 錯体化学

研究テーマ 外部刺激に応答する第一遷移金属錯体の創製, 多核金属錯体の精密構造制御と機能発現

## 研究室構成員

廣津 昌和 (教授)

力石 紀子 (助教)

## 研究内容

地球上の生命は、長い年月をかけて金属元素をうまく利用する仕組みを発達させてきました。私たちも合成化学を駆使して金属元素を利用しますが、地球上で圧倒的な存在感を示す“鉄”ですら、その能力を十分に引き出せていません。当研究室では、第一遷移金属を最大限に利用するという指針のもと、触媒・スイッチング・電子伝達といった機能を担う金属錯体を探索しています。

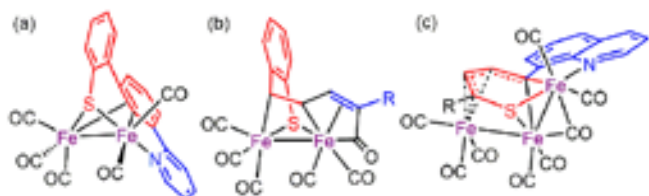
### 1. チオフェン類と鉄の融合

優れた $\pi$ 電子系材料であるチオフェン類に着目し、それらのC-S結合に“鉄”を挿入したメタラサイクル化合物を設計・合成しています。

ジベンゾチオフェンのC-S結合は反応性に乏しいので、金属を挿入するには工夫が必要です。そこでC-S結合の近傍にピリジル基やシッフ塩基を導入して鉄カルボニル化合物との反応を促進させ、2つの鉄中心が炭素と硫黄で架橋した錯体を合成しました (図(a))。この二核鉄錯体がヒドロゲナーゼの機能モデルとなることを見出しています。

ベンゾチオフェンでは、縮環していない側のC-S結合に鉄を挿入した二核鉄錯体が知られています。この錯体にアルキン挿入反応を施すことにより、新奇 $\pi$ 共役系配位子を構築しました (図(b))<sup>1)</sup>。アルキンとしてプロパルギル化合物を用いることで、C-NあるいはC-O結合開裂を伴う興味深い反応も見出しています。

単環チオフェンの場合、キノリル基を導入しておくことでメタラサイクル鉄錯体が安定化されることがわかりました (図(c))<sup>2)</sup>。メタラサイクル上への置換基導入やオリゴチオフェンの利用が可能となるため、新たな物質群の創出が期待できます。



### 2. 可視光に応答する鉄(III)カルボニル錯体

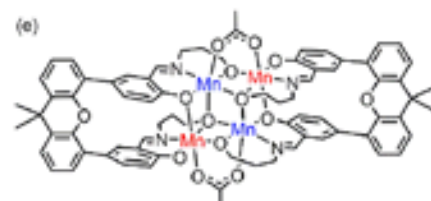
図(a)の二核鉄錯体にリン配位子を反応させると、Fe-Fe結合がヘテロリティックに開裂し、N,C,S-三座配位子をもつピンサー鉄(II)カルボニル錯体と鉄(0)カルボニル錯体が生成します。このN,C,S-ピンサー鉄(II)錯体を一電子酸化

して鉄(III)錯体とすると、可視光に反応して一酸化炭素を放出することを見出しました (図(d))<sup>3,4)</sup>。通常、鉄(III)カルボニル錯体は不安定ですが、本研究では鉄(III)カルボニル錯体の結晶構造を初めて明らかにしました。



### 3. キサンテン架橋多核金属錯体

光合成の酸素発生中心にみられる $Mn_4CaO_5$ クラスターやニトロゲナーゼのFe-Sクラスターでは、タンパク質により構造が精密に制御されています。そこで、キサンテン骨格で架橋した二量体配位子を開発し、多核金属錯体の構造を制御することでレドックス機能の発現を目指しています。これまでに、多段階電子移動を示すマンガ四核錯体 (図(e))<sup>5)</sup>、スルフィドの不斉酸化触媒能をもつマンガ二核錯体、金属イオン捕捉能をもつ二核錯体などを報告しました。



## 主要著書/論文

- 1) Skeletal Modification of Benzothienophene Mediated by Iron Carbonyls: Insertion of Terminal Alkynes with Migration of Amino and Alkoxy Groups (*Organometallics*, **2013**, 32, 5030).
- 2) Carbon-Sulfur Bond Cleavage Reactions of Quinolyl-Substituted Thiophenes with Iron Carbonyls (*Organometallics*, **2017**, 36, 2228).
- 3) CO Release from N,C,S-Pincer Iron(III) Carbonyl Complexes Induced by Visible-to-NIR Light Irradiation: Mechanistic Insight into Effects of Axial Phosphorus Ligands (*Inorg. Chem.*, **2018**, 57, 8615).
- 4) Iron Carbonyl Complexes Containing N,C,S-Tridentate Ligands with Quinoline, Vinyl, and Benzenethiolate Units (*Organometallics*, **2020**, 39, 4051).
- 5) Tetra- and dinuclear manganese complexes of xanthene-bridged O,N,O-Schiff bases with 3-hydroxypropyl or 2-hydroxybenzyl groups: ligand substitution at a triply bridging site (*Dalton Trans.*, **2019**, 48, 13622).



研究分野 環境化学, 環境保全技術

研究テーマ 環境負荷物質の分解・無害化, 再資源化反応の開発

## 研究室構成員

堀 久男 (教授)

## 研究内容

産業界や私たちの生活に必要な一方で、そのまま環境に出た場合に悪い影響を与える恐れがある化学物質について、低エネルギー的な手法で無害なものまで分解し、さらに資源として再利用するための環境技術の開発に取り組んでいます。

### 1. 有機フッ素化合物、フッ素樹脂

炭素とフッ素から形成される有機フッ素化合物（フッ素樹脂も含む）は耐熱性や耐薬品性等の優れた性質を持つため電子部品や自動車の製造等に欠かせないものですが、これらの廃棄物が問題なのです（一部の化合物には生体蓄積性もあります）。とにかく安定で、従来の技術では分解できません。焼却は可能ですが、相当の高温が必要なだけでなく、生成するHFガスが焼却炉材を著しく劣化させます。このためフッ素樹脂の廃棄物の大半は埋立て処分されています。また、全ての有機フッ素化合物の原料は螢石（ $\text{CaF}_2$ の鉱物）ですが、その産出は特定国に偏在し、入手難の状況となっています。

このような有機フッ素化合物を低エネルギーでフッ化物イオン（ $\text{F}^-$ ）まで分解・無害化し、さらには再資源化する反応技術をフランス・モンペリエ国立研究所（CNRS）、フッ素メーカーや材料メーカーと共同で研究しています。 $\text{F}^-$ まで分解できれば、 $\text{Ca}^{2+}$ との反応で $\text{CaF}_2$ となり、これは上述のように原料ですので再資源化も可能となります（図）。今までにヘテロポリ酸光触媒、ペルオキソ二硫酸（光酸化剤）、鉄粉＋亜臨界水、酸素＋超臨界水、過酸化水素＋亜臨界水、過マンガン酸カリウム＋亜臨界水等の様々な方法を開発しました。我々が開発した反応や分析技術の一部は世の中で実際に使われています。現在はその対象をエネルギーデバイスに使用されるフッ素系イオン液体や新規フッ素材料（樹脂、界面活性剤）まで拡大し、さらに低エネルギーで高効率な分解・再資源化システムを探索しています。

### 2. 新規環境リスク懸念物質、希少金属、エネルギー問題への展開

医学が進歩しても病気がなくならないように、環境問題を起こしそうな物質はなりません。我々は研究対象を新しい環境リスク懸念物質（パーソナルケア製品等に使われる有機ケイ素化合物や、発電所や製鉄所から発生する二酸化炭素の回収に使われるアミン類）まで広げています。

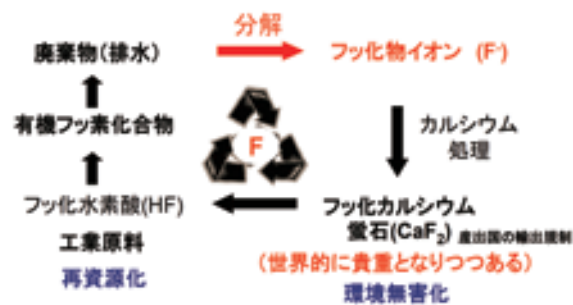


図 フッ素資源の循環利用スキーム

さらには水中から耐熱合金に使われるレニウム等の希少金属を回収する方法（写真）といった、エネルギーや資源問題の解決に貢献する技術の開発にも取り組んでいます。これらの活動により、資源循環型の産業・社会システムの構築に少しでも貢献できればと思っています。

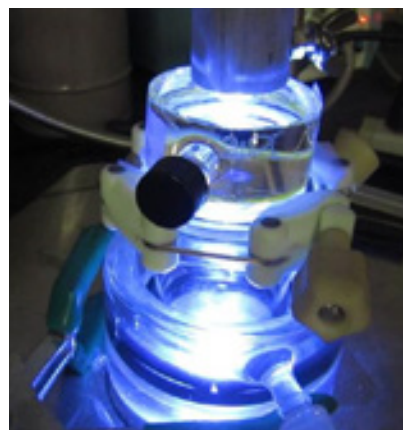


写真 水中から希少金属「レニウム」を回収する光反応実験の様子

## 主要著書／論文

- 「フッ素化合物の分解と環境化学」（共立出版、2017）
- Permanganate-induced efficient mineralization of poly(vinylidene fluoride) and vinylidene-fluoride based copolymers in low-temperature subcritical water (Ind. Eng. Chem. Res., 2019, 58 (29), 13030-13040)
- Recovery of rhenium from aqueous mixed metal solutions by selective precipitation: A photochemical approach, Hydrometallurgy, 2019, 183, 151-158.
- Complete mineralization of fluorinated ionic liquids in subcritical water in the presence of potassium permanganate (Ind. Eng. Chem. Res., 2020, 59(13) 5566-5575)

研究分野 量子化学, 計算化学, 理論化学

研究テーマ 実在反応系の理論設計, ONIOM分子動力学法, 新規分子理論の開発と応用

## 研究室構成員

松原 世明 (教授)

## 研究内容

近年の目覚ましい基礎理論の発展とコンピュータの著しい発達により計算化学の需要は一気に高まり確固たる地位を確立しています。元来、実験結果を分子レベルで理論的に考察することは実験化学においても必須でしたが、経験則に頼らざるを得ませんでした。正確な数値を計算し分子レベルで予測できる現在、計算化学は化学の発展にはなくてはならない分野であり、その基礎を成す理論化学とともに今後新たな分野を開拓していくと考えられます。フロンティア電子理論、密度汎関数理論、多重スケールモデルと各時代のノーベル化学賞にもそのことが明確に示されています。当研究室は、小分子から巨大分子、気相から液相まで、分子の構造と機能、性質と反応を、計算化学、理論化学の側面から研究を行っています。また、多重スケールモデルをさらに発展させた独自の方法論の開発やプログラミングも行っています。以下に、最近の研究を紹介します。

### 1. 実在反応系の理論設計

DNAは紫外線や化学物質の影響によりすぐに損傷し、ガンなどの病気の原因になります。図1のような隣接したチミンが二量化して生成する(6-4)光産物もDNA損傷の一種です。(6-4)光産物は、光回復酵素と結合した後、照射下で補因子との間で電子の受け渡しをして修復されると考えられています。その修復反応には幾つかの機構が提案されていますが、どれもエネルギー障壁が十分に低いとはいえません。そこで、生体系で行われているもっともらしい

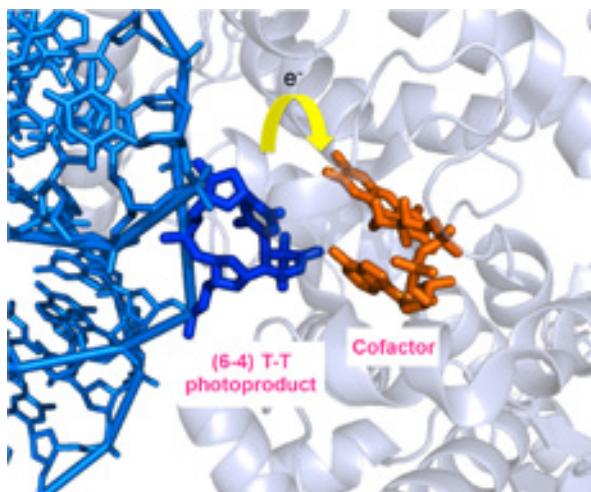


図1. DNAの損傷部位が光回復酵素と結合した構造。矢印は修復過程の電子の移動。

反応機構を推測するために量子化学計算により解析を行いました。(6-4)光産物と補因子との間で電子が移動するわけですが、反応前にどちらからどちらに電子が移動するかで反応のし易さは大きく変化することが分かりました。補因子から(6-4)光産物に電子が移動するラジカルアニオン経路ではエネルギー障壁は大きいのですが、その逆のラジカルカチオン経路では、エネルギー障壁が十分に低くなることが分かりました。その理由は、反応中のラジカルの不對電子の配置の違いにあることも分かりました。このように理論計算は反応の途中がどうなっているのかブラックボックスを明らかにしてくれます。さらに、分子構造や分子反応の設計をすることも可能です。

### 2. ONIOM-分子動力学法の応用

我々は、多重スケールモデルのONIOM法をさらに分子動力学法と統合したONIOM-分子動力学法を開発しました。大規模分子の中で起こる反応を熱運動の効果を考慮し量子論的に解析できます。例えば、図2のような水溶液中での化学反応に応用して研究を行っています。その結果、水溶媒分子の熱運動が化学反応に大きく影響していることが明らかになってきました。分子の世界は、未だ未知なことでいっぱいです。

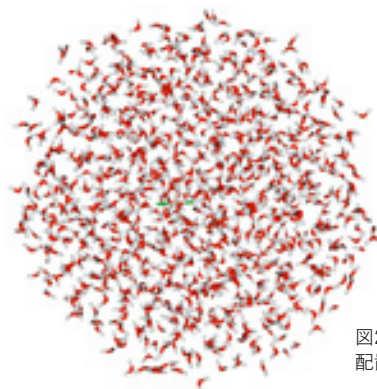


図2. 反応分子の周囲に配置した水溶媒分子

### 主要著書／論文

(参考論文)

- 1) T. Matsubara, N. Araida, D. Hayashi, H. Yamada, "Computational Study on the Mechanism of the Electron-Transfer Induced Repair of the (6-4) T-T Photoproduct of DNA by Photolyase: Possibility of a Radical Cation Pathway", *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **87**, 390-399 (2014).
- 2) T. Matsubara and T. Ito, "Quantum Mechanical and Molecular Dynamics Studies of the Reaction Mechanism of the Nucleophilic Substitution at the Si Atom", *J. Phys. Chem. A*, **120**, 2636-2646 (2016).

# 生物科学科および生物科学領域

## 生物科学科

### 「学科の特色」

生物科学には生物に共通する統一性と、種や生態系等に見られる生物の多様性という二つの視点があります。これらは生物科学を織り成す縦糸と横糸であって、両者の理解が不可欠です。そのために本学科では分子・細胞レベルから個体・集団レベルまで、生物科学を体系的に学修できる幅広い授業科目を用意しています。

### 「教育研究上の目的」

生物科学科は、生物のもつ普遍性と多様性についての広範な知識を授けることで、知的好奇心と創造性に富み、生物学に関する専門的知識と科学的思考能力を身に付け、社会において、生物学の多岐にわたる分野や他の学問との境界領域で活躍できる人材の育成を目的とする。

### 「教育目標」

本学の実教育目標及び本学科の実教育研究上の目的等を踏まえ、理学部生物科学科では、生物学の持つ様々な基本原理と生物多様性に関する知識を習得し、これに加えて理学部出身の大学教養人としてふさわしい一般教養と社会常識をバランスよく身につけた高い識見を有する人物の育成を目指しています。

社会の諸問題は生物学的な事象を包含するとともに、その投影でもあります。そのため、自然科学の一分野である生物学を学んだ人は、他の分野を学んだ人々と協力しあうことで、社会の諸問題に対してその本質に迫る中、かつ堅実な解決法を提示することにより貴重な貢献をなすものと思われれます。

そのために、生物科学科では、講義科目と演習科目、実習科目の均整のとれた履修カリキュラムを用意して、生物学の基礎知識を基盤とした論理的思考力、表現力ならびに批判力、更には、社会が直面する生物学に関わる諸問題の解明や技術革新に貢献しうる科学的思考能力を涵養することを教育目標として定めます。また、生物科学科では、4年間の学修生活を通じて、知識の獲得のみならず、文章やプレゼンテーションによる表現の錬成を通じて、生物学と理学全般との有機的な接続、ならびに、自然科学と社会科学や人文科学との関わりをも理解する能力を育成することも教育目標としています。

## 生物科学領域

### 「領域の特色」

本領域の当初の二年間の博士前期課程では、学部で培った自然科学系の素養を一層高めるため大学院らしい特色のある講義を展開しています。卒業研究とは比較にならないほどの多大な実験時間を保障しています。講義と実験を融合させ、柔軟な思考力を修得するとともに基礎技術も身につけます。社会を支える中核となる人材を養成します。博士後期課程では、最先端の機器などを存分に駆使しつつ高度な研究理念を培い、大学教員や研究員として活躍出来るような明確な進路を設定して指導を行います。

### 「教育研究上の目的」

本領域では、指導教員に加えて二名のアドバイザー教員による複数指導体制をひいています。そのような万全の体制のもと、自立したサイエンスに根ざす良識を備えた一般市民としての判断力と実践力を培うことを第一の実教育研究上の目的としています。さらに、時代の課題と社会の要請に応え得る知識と基礎技術をもとに近未来をグローバル的な視座から鳥瞰する能力を修得することも目的の一つです。

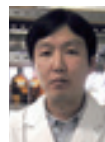
### 「教育目標」

大学院の学生は、主たる研究を指導する教員の研究室に在籍します。そのうえで博士前期課程では、学部で修得した基礎専門知識を展開するかなりの講義科目を履修します。英語で記されたテキストにより英語の表現・思考についても訓練します。論理的思考能力と表現力を身につけます。「特別演習」では、指導教員のもとで専門的な知識を修得します。このような知識を基盤として、自らのテーマに関わる実験を行って修士論文を作成します。論文作成やプレゼンテーションについても十分な実践的訓練を行います。

後期課程では、三年間の在籍期間に独創的な発想と表現力を体得します。学会での国内外での発表を重ね、学術雑誌への論文投稿により研究成果の真価を測ります。このような背景のもとで教育・研究・開発における主導的立場で活躍できるような能力を養成するよう実教育研究上の目標を設定しています。



## 構成員紹介



おお ひら つよし  
**大平 剛**

研究室→P63

**職 名**：教授・博士(農学)

**専門分野**：分子内分泌学，動物生理学

**略歴**：東京大学大学院農学生命科学研究科博士課程修了，日本学術振興会特別研究員，東京水産大学大学院水産学研究科助手，科学技術振興機構重点研究支援協力員，東京大学大学院農学生命科学研究科学術研究支援員，神奈川大学理学部特別助手，特別助教，助教，准教授を経て現職

**URL**：http://professor.kanagawa-u.ac.jp/sci/biological/prof14.html



あ つみ よし たか  
**安積 良隆**

研究室→P65

**職 名**：教授・農学博士

**専門分野**：植物発生学，植物細胞生物学

**略歴**：名古屋大学理学部生物学科卒業，名古屋大学大学院農学研究科博士課程満了，神奈川大学理学部助手，助教を経て現職

**URL**：http://www.sci.kanagawa-u.ac.jp/bio/AdumiHP/index.html



こ たに すすむ  
**小谷 享**

研究室→P64

**職 名**：教授・理学博士

**専門分野**：生物化学，細胞生物学

**略歴**：東京大学大学院理学系研究科生物化学専攻博士課程修了，日本学術振興会特別研究員，九州工業大学情報工学部助教授を経て現職

**URL**：http://www.sci.kanagawa-u.ac.jp/bio/kotani\_lab/index-j.html



いの うえ かず ひと  
**井上 和仁**

研究室→P61

**職 名**：教授・理学博士

**専門分野**：植物生理学，微生物学，分子生物学，生化学

**略歴**：早稲田大学大学院理工学研究科博士課程修了(理学博士)，神奈川大学理学部助手，同専任講師，同助教授を経て現職。この間，インディアナ大学客員研究員，東京大学大学院理学系研究科客員助教授，同客員教授を歴任。

**URL**：http://bio-hydrogen.kanagawa-u.ac.jp/index.html



さ とう  
**佐藤 たまき**

研究室→P70

**職 名**：教授・Ph. D.

**専門分野**：古生物学，古脊椎動物学

**略歴**：カナダ国カルガリー大学大学院博士課程修了。カナダ・王立ティレル古生物学博物館，北海道大学，カナダ自然博物館，国立科学博物館での博士研究員を経て，東京学芸大学助教・准教授を経て現在に至る



い ぶか あき こ  
**井深 章子**

研究室→P62

**職 名**：教授・博士(農学)

**専門分野**：構造生物学，タンパク質科学，酵素学

**略歴**：東京大学大学院農学生命科学研究科博士後期課程中退，静岡県立大学大学院生活健康科学研究科助手，東京農業大学応用生命科学部栄養科学科助教，講師，山形大学理学部物質生命化学科准教授，新潟薬科大学応用生命科学部応用生命科学科教授を経て現職

**Mail**:ibuka@kanagawa-u.ac.jp



すず き よし ひろ  
**鈴木 祥弘**

研究室→P71

**職 名**：准教授・博士(理学)

**専門分野**：植物生態学

**略歴**：東京大学大学院理学系研究科植物学専攻博士課程修了，学術振興会特別研究員，(財)地球環境産業技術研究機構研究員，神奈川大学理学部助手，専任講師を経て現職

**URL**：http://professor.kanagawa-u.ac.jp/sci/biological/prof04.html



いわ もと あき とし  
**岩元 明敏**

研究室→P69

**職 名**：教授・博士(理学)

**専門分野**：植物形態学，植物生理学

**略歴**：東京大学大学院理学系研究科生物科学専攻博士課程修了，神奈川大学理学部特別助手，東京学芸大学教育学部助教，同准教授，神奈川大学理学部准教授を経て現職



たか はし かず お  
**高橋 一男**

研究室→P72

**職 名**：教授・博士(地球環境科学)

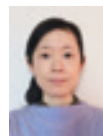
**専門分野**：昆虫生態学，遺伝学，進化生物学

**略歴**：北海道大学大学院地球環境科学研究科生態環境科学専攻博士課程修了，国立遺伝学研究所博士研究員，日本学術振興会特別研究員，岡山大学大学院環境生命科学研究科准教授を経て現職



とよいずみ りゅうじ  
**豊泉 龍児** 研究室→P66

**職 名:** 教授・博士(理学)  
**専門分野:** 脊椎動物の発生生物学, 形態形成学  
**略歴:** 東京大学理学系研究科生物科学専攻博士課程中退, 神奈川大学理学部生物科学科助手, 助教, 准教授を経て現職  
**URL:** [https://ku-labo.kanagawa-u.ac.jp/detail/detail\\_sci\\_1118.html](https://ku-labo.kanagawa-u.ac.jp/detail/detail_sci_1118.html)



ふじ た み さと  
**藤田 深里** 研究室→P68

**職 名:** 特別助教, 博士(理学)  
**専門分野:** 形態形成学, 分子生物学, 細胞生物学, 発生生物学, 血管生物学  
**略歴:** 東京工業大学大学院生命理工学研究科生命情報専攻博士課程修了, 米国国立衛生研究所ポスドク研究員, 東洋大学生命科学部助教を経て現職



にし たに かず ひこ  
**西谷 和彦** 研究室→P67

**職 名:** 教授・理学博士  
**専門分野:** 植物生理学・植物細胞壁生物学  
**略歴:** 大阪市立大学大学院理学研究科生物学専攻博士課程修了, 鹿児島大学常勤講師, 同助教, 東北大学大学院理学研究科教授, 同生命科学研究所教授を経て現職  
**URL:** <https://researchmap.jp/read0017661>



おお わだ ま さと  
**大和田 正人**

**職 名:** 教務技術職員・博士(理学)  
**専門分野:** 進化生物学(貝類)  
**略歴:** 神奈川大学理学部卒業(応用生物科学科), 神奈川大学大学院理学研究科博士前期課程修了, 東京大学大学院理学系研究科博士課程単位取得退学(地質学専攻), 東京大学総合研究博物館協力研究員, 神奈川大学総合理学研究所客員研究員, 神奈川大学理学部非常勤講師を経て現職



ふじ わら けん  
**藤原 研** 研究室→P68

**職 名:** 教授・博士(理学)  
**専門分野:** 内分泌学, 組織学  
**略歴:** 埼玉大学理工学研究科博士後期課程生物環境科学専攻修了, 日本学術振興会特別研究員(DC1), 自治医科大学医学部生理学講座統合生理学部門ポスドクター, 同解剖学講座組織学部門助教, 講師, 准教授, 神奈川大学理学部准教授を経て現職



きた しま ま さ はる  
**北島 正治** 研究室→P61

**職 名:** 教務技術職員・博士(理学)  
**専門分野:** 光生物学的水素生産, 極域に生息する微生物の生理生態  
**略歴:** 神奈川大学理学部応用生物科学科卒業, 同大学院理学研究科博士後期課程満期退学, 神奈川大学理学部生物科学科非常勤講師を経て現職



あさ おか ま り こ  
**浅岡 真理子** 研究室→P67

**職 名:** 特別助教, 博士(農学)  
**専門分野:** 植物生理学, 植物発生生物学  
**略歴:** 名古屋大学大学院生命農学研究科生物機構・機能科学専攻博士課程修了, 東京学芸大学教育学部非常勤講師(研究員), 東京大学総合文化研究科研究員, 日本学術振興会海外特別研究員を経て現職



つる おか しん や  
**鶴岡 慎哉** 研究室→P63

**職 名:** 教務技術職員・修士(理学)  
**専門分野:** 動物生理学, 組織学  
**略歴:** 神奈川大学大学院理学研究科生物科学専攻博士前期課程修了, 現職



お ち たく み  
**越智 拓海** 研究室→P64

**職 名:** 特別助教・博士(理学)  
**専門分野:** 行動神経内分泌学  
**略歴:** 岡山大学大学院自然科学研究科地球生命物質科学専攻博士後期課程修了, 岡山大学理学部附属臨海実験所非常勤研究員, 日本学術振興会特別研究員を経て現職



ほそ や ひろ し  
**細谷 浩史** 研究室→P61

**職 名:** 総合理学研究所客員教授, 非常勤講師・理学博士  
**専門分野:** 細胞生物学  
**略歴:** 東京大学大学院理学系研究科博士課程修了, 日本学術振興会特別研究員, 東京都臨床医学総合研究所研究員, 広島大学大学院理学研究科教授, 神奈川大学理学部特任教授を経て現職



**泉 進** 研究室→P72

**職 名：**非常勤講師・理学博士

**専門分野：**生化学, 分子生物学, 昆虫生理生化学

**略歴：**東京都立大学大学院理学研究科生物学専攻博士課程修了, 東京都立大学理学部助手, 東京都立大学理学研究科助教授, 首都大学東京都市教養学部理工学系准教授, 神奈川大学理学部生物科学科教授を経て現職



**滝ヶ平 智博** 研究室→P72

**職 名：**非常勤講師, 総合理学研究所客員研究員・博士(環境学)

**専門分野：**進化生物学, 昆虫生態学

**略歴：**北海道大学理学部生物化学科卒, 同大学院環境科学院生物圏科学専攻修士課程修了, 岡山大学大学院環境生命科学研究科環境科学専攻博士課程修了, 同大学院非常勤研究員, 同大学院客員研究員, 現職



**加瀬 友喜**

**職 名：**非常勤講師・理学博士

**専門分野：**古生物学, 古生態学

**略歴：**東京大学大学院理学系研究科地質学専攻修士課程修了, 国立科学博物館地学研究部研究員, 同主任研究員, 同古生物第二研究室長, 同環境変動史研究グループ長, 東京大学大学院理学系研究科併任教授を経て現職

**URL：**<https://professor.kanagawa-u.ac.jp/sci/biological/prof25.html>



**永島 賢治** 研究室→P61

**職 名：**非常勤講師, 総合理学研究所客員研究員・博士(理学)

**専門分野：**光合成細菌を対象とした生理学, 生化学, 生物物理学, 分子生物学, 系統分類学

**略歴：**東京都立大学理学研究科生物学専攻博士課程修了, 首都大学東京理工学研究科准教授, JSTさきがけ研究者を経て現職



**安部 淳** 研究室→P72

**職 名：**総合理学研究所客員研究員, 非常勤講師・博士(学術)

**専門分野：**進化生物学, 行動生態学, 理論生物学

**略歴：**東京大学大学院博士課程修了, 日本学術振興会特別研究員(PD), 英国エディンバラ大学客員研究員, 神奈川大学特別助手・特別助教, 明治学院大学助手を経て現職



**永島 咲子** 研究室→P61

**職 名：**非常勤講師, 総合理学研究所客員研究員・博士(理学)

**専門分野：**生化学, 分子生物学

**略歴：**東京都立大学大学院理学研究科生物学専攻博士課程満期退学, 東京都立大学大学院理学研究科生命科学専攻特任助教を歴任



**齋藤 礼弥**

**職 名：**非常勤講師, 総合理学研究所客員研究員・博士(理学)

**専門分野：**進化生物学, 動物生態学

**略歴：**神奈川大学大学院理学研究科生物科学専攻博士後期課程修了, 現職



**藤原 葉子** 研究室→P68

**職 名：**非常勤講師, 総合理学研究所客員研究員・博士(理学)

**専門分野：**細胞生物学, 内分泌学

**略歴：**埼玉大学大学院理工学研究科博士前期課程修了, 国立成育医療センター研究所共同研究員等, 自治医科大学医学部薬理学講座分子薬理学部門ポストドクター, 日本学術振興会特別研究員(RPD)を経て現職



**佐藤 剛** 研究室→P61

**職 名：**非常勤講師, 総合理学研究所客員研究員・博士(理学)

**専門分野：**シアノバクテリアと光合成細菌を利用した光生物学の水素生産

**略歴：**神奈川大学理学部生物科学科卒業, 同大学院理学研究科生物科学専攻博士課程修了, 現職



# 分子生物学分野・井上和仁研究室

構成員紹介→P58/59/60

**研究分野** 植物生理学, 微生物学, 分子生物学, 生化学

**研究テーマ** 光合成系のしくみ, 地球と光合成生物の共進化, 光合成を利用した水素生産

## 研究室構成員

井上 和仁 (教授)

北島 正治 (教務技術職員)

細谷 浩史 (非常勤講師, 総合理学研究所客員教授)

永島 賢治 (非常勤講師, 総合理学研究所客員研究員)

永島 咲子 (非常勤講師, 総合理学研究所客員研究員)

佐藤 剛 (非常勤講師, 総合理学研究所客員研究員)

## 研究内容

水を豊富に含み、生命に満ちあふれている現在の地球。今から46億年前に太陽系とともに誕生した地球が現在のこのような姿になるまでには、様々な出来事がありました。生命科学の研究者である私から見て、最も大事だと考える出来事を順に並べてみます。

1. 太陽系と地球の誕生
2. 海の誕生
3. 生命の誕生
4. 光合成の誕生
5. 真核生物と多細胞生物の誕生
6. 陸上への生物の進出
7. 人類の誕生
8. 文明の発展
9. 人類による地球環境の破壊

このうち4~9の出来事には光合成が直接的・間接的に深く関係しています。私たちの現在の生活は光合成によって作られた有機物（食物）、酸素、エネルギー（石炭や石油といった化石燃料も、もとは光合成が作り出した有機物）に支えられています。光合成を研究することが、いかに、大事な事なのか。皆さんにはおわかりですね？

当研究室では微生物や植物を材料に、光合成に関する基礎研究と応用研究を行っています。次にその研究をいくつか紹介します。

### 光合成システムの誕生と進化

酸素を作り出す光合成は現在のシアノバクテリアの祖先が27億年前に始めたと考えられています。シアノバクテリアは非常に複雑な光合成システムを持ち、効率良く光エネルギーを利用しています。このような複雑なシステムがどのようにして進化してきたのか解き明かすために、シアノバクテリアより単純なシステムを持つ光合成細菌を材料に、地球最初の光合成生物の姿とシアノバクテリアの誕生過程を明らかにするための研究を行っています。

研究に使っている光合成細菌の中には、温泉、酸性／ア

ルカリ性湖、高塩水湖、土壌、海洋、深海、氷雪など様々な環境から単離されたものがあります。これらの細菌の中には、特殊な能力を持っていたり、珍しい物質を作ったりするものが少なくなく、光合成の研究から思わぬ応用研究の芽が広がっていきます。

### 光合成を利用した水素生産

石油などの化石燃料の利用は、温室効果、大気汚染、酸性雨などの深刻な環境問題の原因となっています。そのため近年、化石燃料に取って代わる再生可能でクリーンなエネルギー資源として、光合成微生物が注目されています。すでに当研究室では、光合成微生物であるシアノバクテリアを遺伝子工学的に改良し、水素発生効率を世界最高水準に高めることに成功しました。今後、この研究成果をもとにして、光合成を利用したクリーンで再生可能なエネルギー資源の技術開発を目指します。同時に、植物や光合成微生物が行っている光合成の基礎的な研究も進めています。惑星「地球」と共進化し、現在の地球環境の維持に欠かせない役割を担っている光合成生物。その研究を通じて「生命の進化」の理解のみならず、「未来の人間社会の在り方」に関する研究も進めます。

## 主要著書／論文

「Molecular evidence for the early evolution of photosynthesis」*Science*, 2000, 289: 1724-1730

「Increased heterocyst frequency by *patN* disruption in *Anabaena* leads to enhanced photobiological hydrogen production at high light intensity and high cell density」*Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2017, 101:2177-2188

「Probing structure-function relationships in early events in photosynthesis using a chimeric photocomplex」*Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2017, 114:10906-10911

「光合成細菌-酸素を出さない光合成-」、裳華房、2020

「Rubredoxin from the green sulfur bacterium *Chlorobaculum tepidum* donates a redox equivalent to the flavodiiron protein in an NAD(P)H dependent manner via ferredoxin-NAD(P)<sup>+</sup> oxidoreductase」*Archives of Microbiology*, 2021, 203:799-808

「Photosynthetic growth and energy conversion in an engineered phototroph containing *Thermochromatium tepidum* light-harvesting complex 1 and the *Rhodobacter sphaeroides* reaction center complex」*Biochemistry*, 2021, 60:2685-2690

# 分子生物学分野・井深章子研究室

構成員紹介→P58

研究分野 構造生物学, タンパク質科学, 酵素学

研究テーマ 薬剤分解酵素の分子進化(薬剤ストレス環境下でのタンパク質の進化)  
類似した立体構造を持つ酵素群の触媒能の解析

## 研究室構成員

井深 章子(教授)

## 研究内容

タンパク質は遺伝子情報に基づいてアミノ酸が重合したポリマーである。酵素、構造タンパク質、輸送タンパク質、モータータンパク質、受容体タンパク質など、非常に多くタンパク質が生体内で多様な機能を担っている。この多様な機能は、タンパク質のもつ立体構造と深く関係している。本研究室では、化学反応を触媒するタンパク質「酵素」を主な研究対象とし、立体構造の面から機能の解析を試みる。また、環境ストレス下における酵素の変化、類似した立体構造を共有する複数の異なる酵素群の機能共通性についても興味を持ち、酵素の分子進化を念頭においた研究を行っている。以下では、最近の研究成果を紹介する。

### 1. 薬剤分解酵素の進化

$\beta$ -ラクタム剤は細菌の細胞壁合成酵素を阻害することにより細菌の生育を阻害する薬剤で、感染症治療薬として多用されている。それに対し、薬剤耐性菌の多くは薬剤分解酵素( $\beta$ -ラクタマーゼ)遺伝子を持ち、この酵素の働きによって薬剤耐性を獲得している。本研究室では、Znイオンを活性中心に結合したメタロ  $\beta$ -ラクタマーゼ(MBL)のうち、50種類以上のバリエーションの存在が知られるIMP型酵素を対象とし、変異が酵素に与える影響を解析している。IMP型酵素の1つIMP-27の結晶構造解析を行ったところ、その立体構造は祖先型のIMP-1とはほぼ一致し、変異が立体構造には影響しないことが示された(図1)。現在までの研究により、IMP-27では抗生物質分解活性が祖先型酵素より低下するものの、高いZnイオン欠乏耐性を獲得していることが明らかになりつつある。

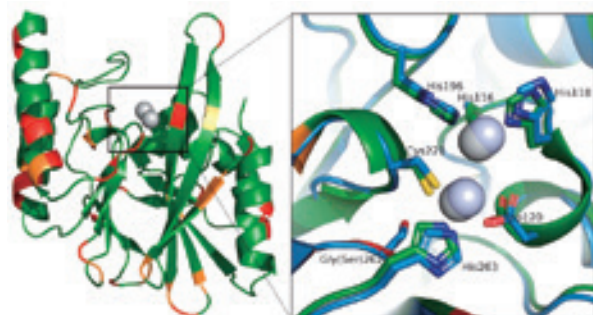


図1 IMP型酵素の構造。

左: IMP-27の結晶構造。赤色はIMP-1、橙色はその他のIMP型酵素とアミノ酸が異なる箇所を示す。

右: Znイオンを結合した活性中心。緑色がIMP-27、青色がIMP-1を示す。

### 2. MBLスーパーファミリーの酵素の触媒能

真核生物・古細菌・原核生物を含む幅広い生物種には、メタロ  $\beta$ -ラクタマーゼ(MBL)と立体構造が類似しているものの、触媒活性は全く異なる酵素が数多く存在する。これらの酵素群はMBLスーパーファミリーと呼ばれ、触媒能により17のグループに分類される。アミノ酸配列の相同性は低いにも関わらず立体構造がよく保存されていることから、このスーパーファミリーに属する酵素は、お互いに別のグループの酵素活性を有している可能性が考えられた。本研究室では、MBLであるIMP-1とMBLスーパーファミリーのtRNAプロセシング酵素tRNaseZに着目した(図2)。2つの酵素の触媒能を解析した結果、IMP-1はRNA分解能を有し、tRNaseZと異なる部位でtRNAを切断することが明らかになった。現在、さらに別のグループの酵素との触媒能の共通性について解析を進めている。

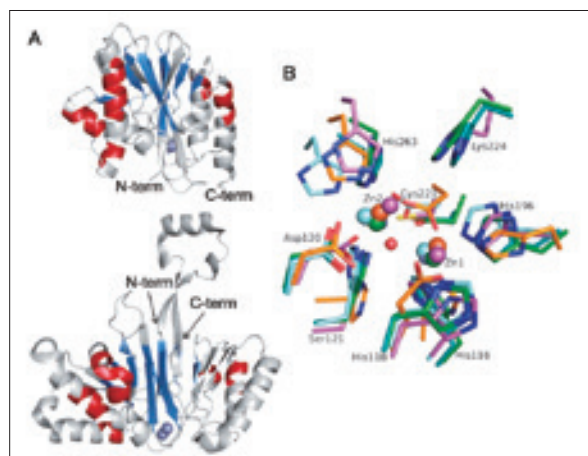


図2 IMP-1とtRNaseZの構造比較。

A: IMP-1(上)とtRNaseZ(下)の全体構造。青色・赤色は共通する二次構造を示す。

B: MBLスーパーファミリー酵素の活性中心の比較。紫色がIMP-1、青色がtRNaseZを示す。

## 主要著書/論文

「RNA-hydrolyzing activity of metallo-  $\beta$  -lactamase IMP-1」 *PLoS One*, 2020, 15(10):e0241557.

「Structural and functional analysis of miraculin-like protein from *Vitis vinifera*」 *Biochim. Biophys. Acta Proteins Proteom.*, 2018, 1866(11):1125-1130.

「Structural and mutagenic analysis of metallo-  $\beta$  -lactamase IMP-18」 *Antimicrob. Agents Chemother.*, 2016, 60(9):5521-5526.

# 分子生物学分野・大平剛研究室

構成員紹介→P58/59

研究分野 動物生理学, 分子内分泌学

研究テーマ エビやカニなどの甲殻類の成長, 生殖, 性分化を制御するペプチドホルモンに関する研究, 甲殻類の成熟機構の解明

## 研究室構成員

大平 剛 (教授)

鶴岡 慎哉 (教務技術職員)

## 研究内容

### 甲殻類の眼柄ホルモンに関する研究

通常、甲殻類は複眼が頭部から突出しており、その複眼を支えている柄の部分眼柄と呼びます。この眼柄内にはX器官と呼ばれる神経分泌細胞群が存在し、そこで様々な生理作用を担う神経ホルモンが合成されています (図1)。本研究室では、クルマエビやシャコ等の様々な甲殻類を実験材料に用いて、それらの眼柄から、血糖上昇ホルモン、脱皮抑制ホルモン、卵黄形成抑制ホルモン、色素拡散ホルモン、色素凝集ホルモンの精製・構造決定を行っています。また、それらホルモンの組換え体を遺伝子工学的に作製し、それら分子の生理作用をin vivoおよびin vitroの生物検定系で解析しています。



図1 クルマエビのX器官・サイナス腺

### 甲殻類の造雄腺ホルモンに関する研究

甲殻類の性分化は同じ節足動物に属する昆虫とは大きく異なり、内分泌的な制御下にあります。甲殻類においては、造雄腺と呼ばれる器官が雄にのみ発達し、ここから造雄腺ホルモンが分泌され、これが雄への分化を促すとともに、その後の雄の性特徴を発達させることが知られています (図2)。これまでの研究により、造雄腺ホルモンはヘテロ2本鎖の糖ペプチドホルモンであることが分かっていますが、糖鎖が付加したペプチドの化学合成は現在の技術をもってしても難しいのが現状です。当研究室では、糖鎖の付加した1本鎖の組換え造雄腺ホルモン前駆体を昆虫細胞に産生させ、それを活性型の2本鎖ペプチドに加工する技術の開発を世界に先駆けて取り組んでいます。また、高級水産食品であるエビやカニの造雄腺ホルモンを探索しています。

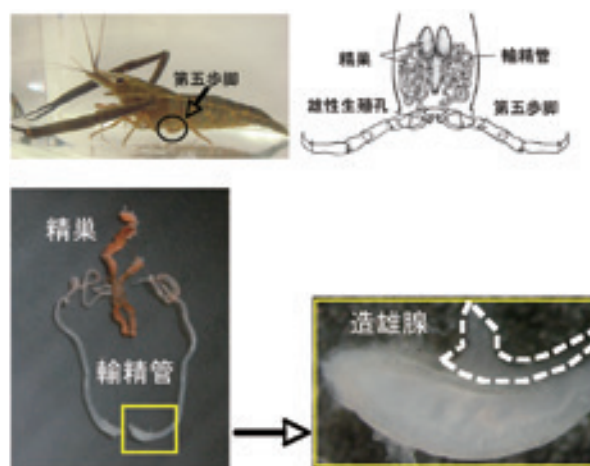


図2 テナガエビ類の造雄腺

## 主要著書/論文

- 1) 「Effect of blue light on the growth of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* larvae-seasonal and sexual differences.」 (Zool. Stud., 2022, 21)
- 2) 「Genome and transcriptome assemblies of the kuruma shrimp, *Marsupenaeus japonicus*.」 (G3 Genes Genom. Genet., 2021, jkab268)
- 3) 「Sex determination and differentiation in decapod and cladoceran crustaceans: an overview of endocrine regulation.」 (Genes, 2021, 12, 305)
- 4) 「Methyl farnesoate regulatory mechanisms underlying photoperiod-dependent sex determination in the freshwater crustacean *Daphnia magna*.」 (J. Appl. Toxicol., 2020, 1-8)
- 5) 「Impacts of methyl farnesoate and 20-hydroxyecdysone on larval mortality and metamorphosis in the kuruma prawn *Marsupenaeus japonicus*.」 (Front. Endocrinol., 2020, 11, 475)
- 6) 「Morphometric approaches reveal sexual differences in the carapace shape of the horsehair crab, *Erimacrus isenbeckii* (Brandt, 1848).」 (Aquatic animals, 2020, AA2020-1)
- 7) 「クルマエビの性制御技術の開発に向けた基礎研究」 (陸上養殖の最新動向, シーエムシー出版, 2019, 183-192)



# 分子生物学分野・小谷享研究室

構成員紹介→P58/59

研究分野 生物科学, 細胞生物学

研究テーマ 細胞骨格蛋白質の構造と機能

## 研究室構成員

小谷 享 (教授)

越智 拓海 (特別助教)

橋 友理香

## 研究内容

真核細胞の細胞内にはミトコンドリアや小胞体などの細胞小器官が存在することはよく知られているが、通常これらの小器官は細胞質を占める液体(細胞質ゾル)の中にかきまわっているイメージで捉えられることが多い。今でも一部の高校教科書には「細胞質のなにもない部分を基質と言う」などとの記載も見られる。しかしながら、この「なにもない」場所には繊維状の構造物が存在することが1960年代から主張されはじめ、顕微鏡技術の発達した1980年代には、この部分には「なにもない」どころか数種の繊維状構造物がぎっしりと張り巡らされており、細胞小器官はその網目の中に捉えられた状態で存在していることが明らかになった。この繊維状構造物を総称して細胞骨格と呼ぶ。細胞骨格は全ての真核細胞の細胞質に存在しており、文字どおり「骨格」として細胞の形を決める他、細胞小器官の配置決めや細胞内物質輸送も行い、生命の維持に不可欠な構造物である。細胞骨格は微小管、微小繊維、中間径繊維の三種に大別される。いずれもサブユニット蛋白質が非共有結合によって集合した細長い構造体である点は共通点だが、詳細な構造や機能はそれぞれ全く異なる。

三種の細胞骨格のうちで、我々は微小管に特に注目している。微小管は間期細胞では細胞の中心から放射状に伸長している。一方、細胞分裂時には細胞質微小管は一旦消失し、染色体を輸送するための紡錘体微小管が新たに形成される。細胞内で動的に形成消失が繰り返されることは他の細胞骨格成分とは異なる微小管の顕著な特徴である。微小管を分子レベルで見ると、9割以上の含有量を占める分子量約5万のチューブリンと、それ以外のさまざまな微量蛋白質に分けられる。微小管の基本となる環状構造をチューブリンが構成する一方、微量成分はその表面に結合する修飾蛋白質として、微小管の形成消失や微小管依存の細胞内物質輸送を制御し、微小管が生物機能を発揮するのを助けると考えられる。

我々の主な研究対象は修飾蛋白質のうちの微小管結合蛋白質と呼ばれる微小管制御因子である。これは微小管の形成消失に特に重要な働きをされると考えられているが、その詳細には今でも不明な点が多い。現在よく知られている微小管結合蛋白質は四種類あり、このうちで我々の研究で主に用いるのはMAP4である。ウシのMAP4はもと我々の研究室で発見され、我々は現在に至るまで20年以上MAP4に関して先駆的な研究を続けている。

細胞骨格に対する興味はいくつもの段階に分けて考えることが出来るので、当研究室の主な取り組みを箇条書きで示す。

**(生命現象と微小管)** 我々は現在鉄の細胞内輸送に注目している。

鉄は生物に極めて重要な微量元素であり、酸素呼吸、光合成、DNA合成などの基本的な生物機能に関わっているが、一方で、鉄の強い酸化力は生物に有害のため、細胞内での鉄の代謝は極めて厳重に制御されている。この鉄イオンの制御に関わるもっとも重要な蛋白質フェリチンが微小管と相互作用することを、我々は最近明らかにした。「細胞内の鉄イオン量は、鉄イオンを結合したフェリチンが微小管にそって細胞内を移動することにより制御される」という仮説をもとに、培養細胞内のフェリチンの微小管依存細胞内輸送を解析している。

**(微小管の形成消失)** 細胞周期に依存した形成消失は微小管の役割を考える上で特に重要な性質である。我々はMAP4による微小管形成促進過程を中心に、この問題に取り組んでいる。MAP4は分子量10万以上の大きな蛋白質であるが、微小管の形成消失に関与する部分はその一部であることを我々はすでに明らかにしている。現在は、微小管形成活性に必要な部分のみを遺伝子操作で作製し、その部分がいかんして完全な微小管を形成して行くのかを試験管内で解析する一方で、蛍光標識したMAP4を培養細胞に注入して生きた細胞内での動態を経時的に解析している。

**(細胞骨格蛋白質の分子遺伝学)** MAP4は哺乳類細胞には広く存在している。これは他のよく知られた微小管結合蛋白質が特定の細胞や組織に偏在しているのとは対照的である。このことからMAP4は微小管結合蛋白質の中でも祖先的な分子ではないかと考えられる。さまざまな生物のゲノムが明らかになって来ているので、MAP4を主な材料として微小管結合蛋白質の進化の過程を明らかに出来るのではないかと考え、現在遺伝子解析に取り組んでいる。また、MAP4遺伝子は一つの生物に一つしかないにも拘わらず、選択的スプライシングという機構によって複数種のMAP4分子を同一生物内に発現することが分っている。選択的スプライシングは、真核細胞の遺伝的多様性の要因として最近特に注目されている。我々はこの現象について、分子遺伝学的側面(どのようにして異なるMAP4の発現が制御されているのか)と蛋白質化学的側面(配列が微妙に異なるMAP4アイソフォーム間では機能はどう違うのか)の両面から解析を進めている。

**(細胞骨格蛋白質の構造生物学)** 細胞骨格蛋白質は一般に物理化学的構造解析に不向きとされており、酵素などと比較した場合、これまでに三次元構造解析がなされた例は極めて少ない。我々はずでに二十年ほど前にこの分野で先駆的な業績を挙げており、最近これに新たな工夫を加えて、微小管結合蛋白質の微小管結合領域の全三次元構造を解明するという取り組みをはじめている。

## 主要著書/論文

Distinct neuronal localization of microtubule-associated protein 4 in the mammalian brain *Neurosci. Lett.*, 2010

「The number of repeat sequences in MAP 4 affects the microtubule surface properties」*J. Biol. Chem.*, 2003

「理科系の日本語表現技法」朝倉書店, 1999

# 細胞生物学分野・安積良隆研究室

構成員紹介→P58

研究分野 植物発生学, 植物細胞生物学

研究テーマ 植物の配偶子形成に必要な減数分裂の分子機構の解明

## 研究室構成員

安積 良隆 (教授)

## 研究内容

当研究室では植物の染色体と遺伝子について調べている。通常の体細胞分裂時には、娘細胞に染色体数の変化はないが、減数分裂時や核内倍加と呼ばれる現象が起きる時には、染色体数が増減する。このような時の染色体の挙動と、それに関係する遺伝子を解析している。

### 1. 植物の減数分裂に必須の遺伝子の解析

減数分裂時の染色体は、相同染色体同士が対合するなど特有の挙動を示す。この挙動を制御する仕組みを明らかにすることは非常に重要である。我々はシロイヌナズナの挿入変異体の中から、減数分裂変異体の選抜を行った。その結果、*solo dancers (sds)*, *atspo11-2*, *atzip4* 等の変異体を得た。*SDS* 遺伝子はサイクリン様の蛋白質を、*AtSPO11-2* はトポイソメラーゼ様の蛋白質を、*AtZIP4* は酵母のシナプトネマ複合体構築に関係する蛋白質と似た蛋白質をコードしていることが明らかになった。*sds* と *atspo11-2* の2つの変異体では、相同染色体が全く対合せず、*SDS* 蛋白質は対合を促進するサイクリンであると考えられ、*AtSPO11-2* は *AtSPO11-1* と共働して組換え反応を行うための二本鎖切断を行うものと考えられる。*atzip4* 変異体では相同染色体の対合は起こるものの、対合が維持されないという表現型を示すため、*AtZIP4* はシナプトネマ複合体の構築に必要であると考えられる。このような研究をさらに発展させることによって、減数分裂時の染色体の挙動と、それを制御する分子機構を明らかにしたいと考えている。

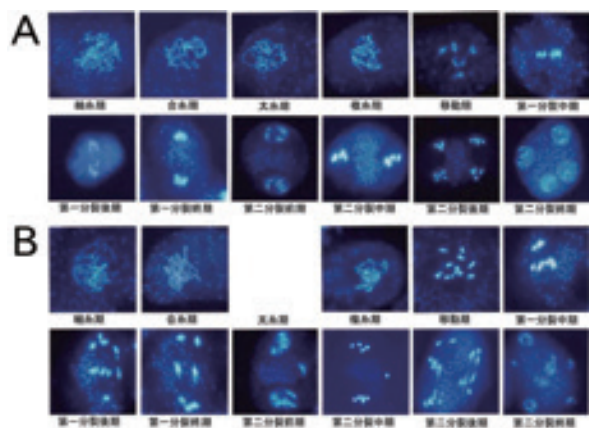


図1 シロイヌナズナの花粉母細胞の減数分裂期染色体DAPI染色像  
A: 野生型シロイヌナズナの染色体像。  
B: *solo dancers* の染色体像。相同染色体が対合した太糸期の染色体は観察されない

### 2. 植物の減数分裂期染色体のリアルタイム観察

蛋白質を蛍光標識する方法や共焦点レーザー走査型顕微鏡といった観察機器の発達によって、生細胞中での分子の動きをリアルタイムに観察することが可能になってきている。当研究室でも、染色体を構成するヒストン蛋白質を蛍光によって視認できるようにした遺伝子導入シロイヌナズナを作成し、その花粉母細胞をレーザー顕微鏡で観察して、減数分裂期の染色体の動きをリアルタイムに追跡することに成功している。これを基盤にして、相同染色体同士がどのようにしてお互いを見つけ出すのかという謎に挑戦している。

## 主要著書／論文

「Homologous chromosome pairing is completed in crossover defective *atzip4* mutant」 *Biochem Biophys Res Commun*, 2008, 370: 98-103.

「BIN4, a novel component of the plant DNA topoisomerase VI complex, is required for endoreduplication in Arabidopsis」 *Plant Cell*, 2007, 19: 3655-68.

「Arabidopsis SPO11-2 functions with SPO11-1 in meiotic recombination」 *Plant J*, 2006, 48: 206-16.

「Homolog interaction during meiotic prophase I in Arabidopsis requires the SOLO DANCERS gene encoding a novel cyclin-like protein」 *EMBO J*, 2002, 21: 3081-95.

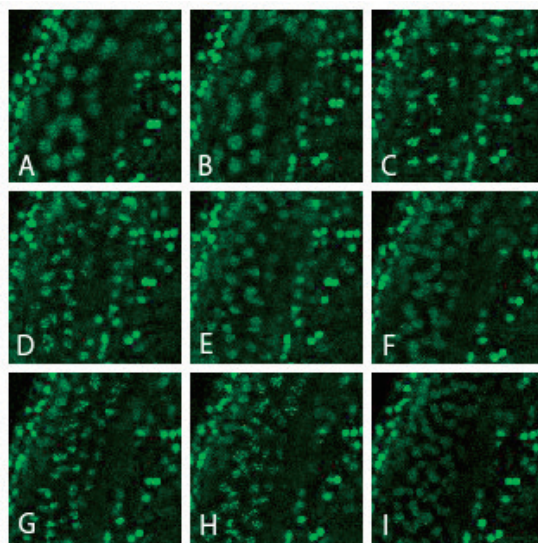


図2 シロイヌナズナの花粉母細胞の減数分裂のリアルタイム観察  
染色体を可視化したシロイヌナズナの生きている花粉母細胞を共焦点レーザー顕微鏡を用いて時間を追って観察したもの。C: 第一分裂中期, G: 第二分裂中期



# 細胞生物学分野・豊泉龍児研究室

構成員紹介→P59

**研究分野** 脊椎動物胚の発生生物学, 形態学

**研究テーマ** 下等脊椎動物の胚発生, 特にその胚軸(背腹軸, 頭尾軸, 左右軸)の成立機構に興味をもち, 胚軸形成に至る形態形成運動の観点から分子生物学的技法, 細胞培養技術, 古典的な形態学的手法をとりまぜて研究を行っている。

## 研究室構成員

豊泉 龍児 (教授)

秋永 薫 (総合理学研究所客員研究員)

茂木 和枝 (総合理学研究所客員研究員)

## 研究内容

細胞生物学研究室第一は、開設以来、一貫して脊椎動物の初期発生の研究を行ってきました。先代の竹内重夫教授(現在は神奈川大学名誉教授)の時代には、ニワトリ胚と両生類アフリカツメガエル胚を主な研究材料として、発生現象における細胞運動を主なテーマとして研究しておりました。2007年春に豊泉龍児が担当者になってからは、小型魚類に主な研究対象を移し、(i)様々な魚種における視神経交叉の左右非対称性の調査、(ii)ナマズ目コリドラスの初期発生、特に左右非対称性決定の分子機構と髭の発生・再生機構の解明、(iii)薬理的なアプローチを多用したコイ科小型魚類ゼブラフィッシュの初期発生機構の研究、(iv)ニワトリ胚における胚葉形成機構の研究、等を行っています。我々は、分子生物学的、細胞生物学的な研究手法を中心として魚類の初期発生のメカニズムを掘り下げること、脊椎動物の発生・進化・生態や行動の多様性の獲得にとって、未解明かつ本質的な分子機構の解明に向けて新知見を得ることを目標として研究活動を行っています。

(i) 硬骨魚類には、長い進化の過程を経て様々な魚種がありますが、その殆どの魚種において、視神経は、眼球から反対側の中枢神経に伸びて全交叉を形成しています。視神経の交叉点を視神経交叉(キアズマ)と言いますが、我々の解剖学的な調査によると、そのパターンは主に3つの型に分類されます。①キアズマにおいて、左眼からの視神経が右眼からの視神経の背側を走行するもの、②その反対に右眼からの視神経がキアズマにおいて背側を走行するもの、③左右の視神経が細かい束に分かれて、キアズマにおいて、複雑に入り組んでいるもの、の3種類です。我々が調査した限りにおいて、すべての魚種で、種固有の視交叉パターンがあり、①と②がほぼ半々に出現する魚種、③の視交叉パターンを示す魚種があることを見出しました。現在は、古典的な遺伝学的手法により、①と②が半々に出現する魚種において、どのような遺伝パターンを示すのかを、カワスズメ科の魚種を用いて明らかにしようとしています。また、ニシン目の魚種には、①の視交叉パターンのみ示すものや、②の視交叉パターンのみを示すものがあることを見出しました。現在、他の魚種においても、そのような視交叉の左右非対称性を示すものがあるのかを幅広くスクリーニングするとともに、何故、ニシン目の魚種のみとそのよ

うな視交叉の左右性の特異性が表れたのかについて研究しています。

(ii) ナマズ目のコリドラスは、南米に広く分布する成体のサイズが10cm弱の髭が生えた底棲性の淡水魚で、日本でも飼育の愛好家が増えています。原産地では数十から数百の集団を形成する群成魚ですので比較的高密度に飼育することが可能な一方、これの発生生物学を研究するグループは皆無に近いようです。我々は、新規にナマズ目の発生生物学を立ち上げ、「ナマズ目ならではの髭の発生再生研究」や「ナマズ目魚類で発生遺伝学が立ち上げられるか」「ゼブラフィッシュやメダカなど発生生物学のモデル魚類とされる魚種の遺伝子とコリドラスの遺伝子との、遺伝子発現の共通点と相違点を明らかにする」などの問題意識から、特にTGF- $\beta$ シグナル伝達経路とFGFシグナル伝達経路に着目して研究を開始しています。

(iii) ゼブラフィッシュは、透明な多数の卵を、その生涯を通じて産み続ける、正に発生生物学のために生まれてきたような好個のモデル魚類として世界中の研究者から愛されています。その透明な初期胚は急速に発生が進み、28℃で受精卵を飼育すると受精の翌々日には孵化します。最近、各種シグナル伝達経路に特性の高い様々な有機化合物系のシグナル伝達阻害剤(antagonist)や刺激剤(agonist)が開発されています。哺乳類とゼブラフィッシュの間では、各種受容体やペプチド性シグナル分子の保存性がかなり高いことから、哺乳類用に開発された様々な薬剤をゼブラフィッシュの初期発生を解明するツールとして使うことが出来ます。卒研生諸君の導入教育の一環として、これらの薬剤を使い、ゼブラフィッシュの初期発生や特定の遺伝子の発現パターンに、シグナル伝達経路阻害剤がどのような影響を及ぼすのかを調査しています。

(iv) 我々は、哺乳類に比較的類似した発生様式をとる有羊膜類のニワトリ胚の最初期の発生現象にも興味を持っています。特に細胞運動の観点から、産卵直後から孵卵1日以内の初期胚におけるその形態形成を、細胞・器官培養系における培養細胞の挙動や遺伝子発現の観点から研究しています。最近、癌細胞が転移する際に悪性度の指標となる酵素MMP(matrix metalloproteinase)に着目してニワトリ初期胚におけるMMPの役割について研究しています。

## 主要著書/論文

「Optic chiasm in the species of order Clupeiformes, family Clupeidae: Optic chiasm of *Spratelloides gracilis* shows an opposite laterality to that of *Etrumeus teres*」  
*Laterality*. 2009 19:1-20.



# 細胞生物学分野・西谷和彦研究室

構成員紹介→P59

研究分野 植物生理学・植物細胞壁生物学

研究テーマ 陸上植物の成長や寄生のしくみの解明

## 研究室構成員

西谷 和彦（教授）

浅岡 真理子（特任助教）

## 研究内容

陸上植物の祖先である淡水棲のストレプト植物は、7億年前の全球凍結の時期を生き延び、細菌や菌類と共生しながら固着性を獲得し、陸上環境に適応した多細胞体制や環境応答戦略を進化させ、5億年ほど前から陸上に進出して多様化して、今日の陸上生命圏を作り上げてきたと推定されます。

現生の陸上植物はコケ植物と維管束植物に大別でき、前者は、小型の多細胞体で地面に張り付いて生きる道を選び、後者は維管束を進化させて巨大化しました。更に維管束植物の中からは他の植物の維管束に自身の維管束を連結して寄生する形質を獲得した系統が10回以上も収斂進化し、現生の陸上植物種の1%以上を占めるまでに多様化しています。

これら一連の陸上植物の進化に於いて細胞壁が決定的な役割を担ってきたことを、私たちは細胞壁酵素XTHの分子系統や機能の解析より明らかにしてきました。現在、当研究室では、ゼニゴケの細胞壁関連酵素と寄生植物であるアメリカネナシカズラの寄生戦略に焦点を当て、陸上植物の成長と環境適応の仕組みの解明を目指して研究を進めています。

## 主要著書／論文

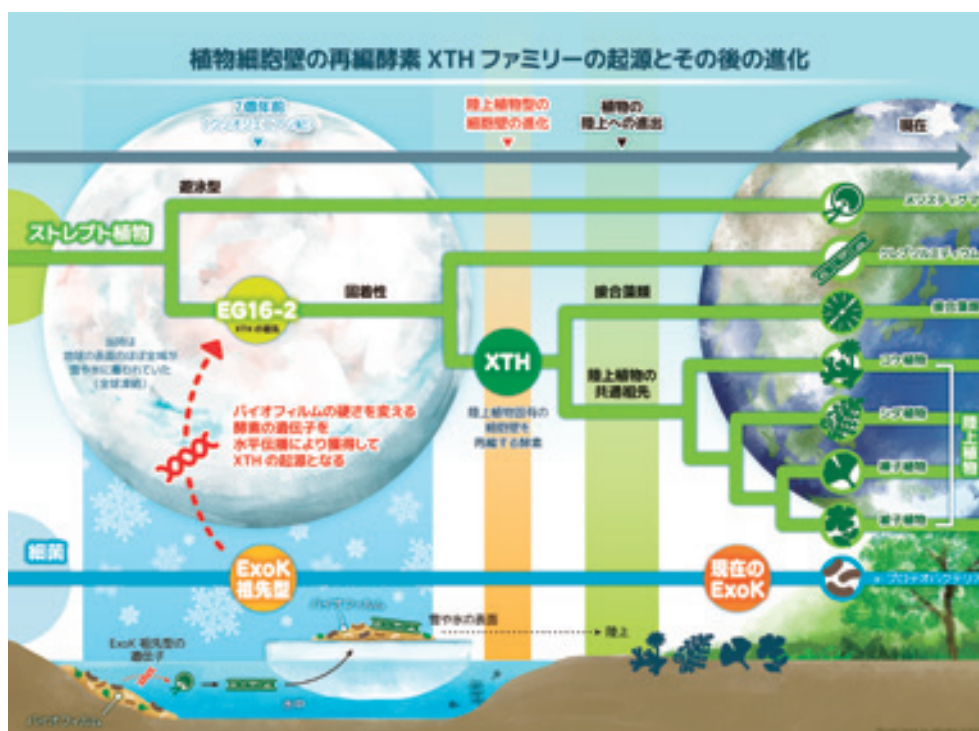
■ Shinohara et al. (2021) Cryogenian origin and subsequent diversification of the plant cell-wall enzyme XTH Family. *Plant Cell Physiology* 62: 1874-1889. doi.org/10.1093/pcp/pcab093

■ Narukawa et al. (2021) Host-produced ethylene is required for marked cell expansion and endoreduplication in dodder search hyphae. *Plant Physiology* 182: 491-502. doi.org/10.1093/plphys/

■ Ohara et al. (2021) Structural alternation of rice pectin affects cell wall mechanical strength and pathogenicity for the rice blast fungus under weak light conditions. *Plant Cell Physiology* 62: 641-649. doi.org/10.1093/pcp/pcab019

■ Asaoka et al. (2021) Stem integrity in *Arabidopsis thaliana* requires a load-bearing. *Development* doi:10.1242/dev.198028

■ Takahashi et al. (2021) Cell wall modification by the xyloglucan endotransglucosylase/hydrolase XTH19 influences freezing tolerance after cold and sub-zero acclimation. *Plant, Cell & Environment* 44: 915-930. doi.org/10.1111/pce.13953



Shinohara et al. (2021) Plant Cell Physiol. 62: 1874

# 細胞生物学分野・藤原研研究室

構成員紹介→P59/60

**研究分野** 脊椎動物の内分泌学, 神経内分泌学, 比較内分泌学, 機能形態学

**研究テーマ** 下垂体前葉内の細胞間相互作用による細胞機能調節機構の解明, 脊椎動物血管系の発生生物学

## 研究室構成員

藤原 研 (教授)

藤田 深里 (特別助教)

藤原 葉子 (非常勤講師、総合理学研究所客員研究員)

## 研究内容

多細胞生物の生体内では、特定の機能を担う臓器がお互いに調節しあい個体を維持しています。それら臓器内では、多種多様な細胞が互いにコミュニケーションをとることで組織を維持し、機能を発揮します。細胞同士は、「言葉」である生理活性物質を分泌し、「耳」である受容体を介して情報のやり取りをします。本研究室では、下垂体前葉を題材に、細胞間コミュニケーションについて動物や細胞株を使って研究しています。

下垂体前葉は、脊椎動物特有の内分泌器官で、成長、生殖、代謝、免疫など生体機能に重要なホルモン（成長ホルモン、プロラクチン、甲状腺刺激ホルモン、副腎皮質刺激ホルモン、濾胞刺激ホルモン、黄体刺激ホルモン）を分泌します。これら前葉ホルモンの分泌は、間脳視床下部ホルモンと末梢臓器からのフィードバックにより調節されます。下垂体前葉は5種類のホルモン産生細胞以外に、ホルモンを分泌しない濾胞星状細胞、毛細血管を形成する内皮細胞と周皮細胞、組織マクロファージなど、多種の細胞から構成されています。近年、これら同種・異種細胞間の相互作用もホルモン分泌の調節に重要な役割を果たすことが分かってきました。本研究室では、特に、その存在意義がはっきりしていない濾胞星状細胞に注目しています。

濾胞星状細胞は、細胞突起でホルモン産生細胞を取り囲む特徴があります。この細胞は、前葉ホルモンを産生しませんが、細胞増殖因子やサイトカインなどの生理活性物質を分泌し、近傍のホルモン産生細胞の活動を修飾すると想定されています（図1）。私たちは、独自の戦略により濾胞星状細胞が産生する生理活性物質を次々に同定し、濾胞星状細胞と他の細胞とのコミュニケーションを明らかにしてきました。

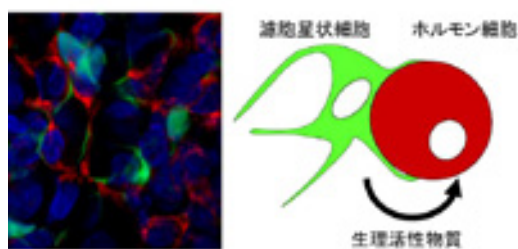


図1. 濾胞星状細胞(緑)はホルモン産生細胞(PRL:赤)に密接に接する(右図)。このような形態的特徴から、濾胞星状細胞は生理活性物質を分泌して近傍の細胞とコミュニケーションをとっていると予想される。

た。まず私たちは、セルソーターを用いて濾胞星状細胞で特異的に緑色蛍光タンパク質(GFP)を発現するS100b-GFP遺伝子改変ラットの下垂体前葉単離細胞から、GFP陽性細胞と陰性細胞を分取することができました。そしてDNAマイクロアレイ解析により、それら細胞で発現している遺伝子を網羅的に比較しました(図2)。この遺伝子発現プロファイルを使い、濾胞星状細胞が産生する生理活性物質の同定をおこない、さらに、形態学的手法を用いてそれらの受容体発現細胞を同定し、細胞学的解析手法により機能を明らかにしました。その結果、濾胞星状細胞が産生するmidkine, BMP-6, TGF- $\beta$ 2, CXCL12, CXCL10が下垂体前葉内での細胞調節因子として働くことが分かりました。濾胞星状細胞は他にも多数の生理活性物質を産生しており、それらの機能解析を進めています。

また、小型魚類の血管系の発生に伴う形態形成について、分子遺伝学的手法を用いて解析を進めています。現在、メダカ孵化仔魚の尾部の血管形成の遺伝子機構ならびにゼブラフィッシュの後脳血管系形成に関する研究が進行中です。

## 主要著書/論文

- 1)「Aldolase C is a novel molecular marker for folliculostellate cells in rodent pituitary.」Cell and Tissue Research 2020; 381:273-284.
- 2)「Isolation and characterization of CD9-positive pituitary adult stem/progenitor cells in rat.」Scientific Reports 2018; 8:5533
- 3)「Retinoic acid signalling is a candidate regulator of the expression of pituitary-specific transcription factor Prop1 in the developing rodent pituitary.」Journal of Neuroendocrinology 2018; 30(3):e12570.
- 4)「ゼブラフィッシュ血管内皮細胞の初期分化」(Science Journal of Kanagawa University, 2018, 29, 83-88).

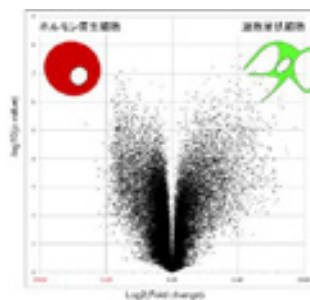


図2. S100b-GFP遺伝子改変ラットから濾胞星状細胞とホルモン産生細胞群をセルソーターで分取し、DNAマイクロアレイを用いた発現遺伝子の比較解析。

# 集団生物学分野・岩元明敏研究室

構成員紹介→P58

研究分野 植物形態学, 植物生理学

研究テーマ 植物のシュート構成および花発生の多様性, 根端成長の定量解析

## 研究室構成員

岩元 明敏 (教授)

## 研究内容

本研究室では、様々な植物を対象として形態形成全般に関する研究を行っています。また、その形態形成の生理学的背景を明らかにするため、定量的解析手法、数理モデルなどを用いた研究も進めています。

### 植物のシュート構成に関する研究

「シュート構成」とは、植物の地上部の全体的な構造のことを指します。すなわち、植物からどのように枝が伸び、新たな芽が形成され、葉や花が展開するのかということを指す用語です。これまでにミツマタ、ギョウギシバ、トチカガミ、サクラ属植物を対象として、シュート構成の研究を進めてきました。特にミツマタの研究では、特徴的な三又分枝が、被子植物ではきわめて稀な茎頂分裂組織の分割によるものであることを明らかにしました (著書/論文(5))。また、サクラ属植物については20年以上にわたって継続的に観察を続けており、冬芽における前出葉の腋芽の発達、展開が本属のシュート構成の形態進化を考える上で重要であることを見出しました (著書/論文(3))。現在も、ミツマタについては四又以上に分枝する構造の解析、サクラ属については未観察のグループの解析を進めています。

### 植物の花発生に関する研究

「花発生」とは、花がまだ器官を持たない原基の段階から、様々な器官を形成し、1つの花として完成するまでの過程のことを指します。これまでに、マツモ、シラネアオイ、オモダカ目植物を対象として、花発生の研究を進めてきました。特にオモダカ目植物の研究では、この群の様々な植物の花発生を明らかにすることで、単子葉植物に特徴的な3数性の花の形態進化に花弁および雄蕊原基の初期サイズが重要であることを示しました (著書/論文(1))。また、マツモの研究では、雄花における多様な花形態には初期の花原基に対する物理的圧力が重要であることを明らかにしま

した (著書/論文(2))。現在は、このマツモの研究から明らかとなった花発生に対する物理的圧力が及ぼす影響について、モデル植物のシロイヌナズナの花を用いた新しい実験系を開発して解析に取り組んでいます (図1)。

### 根端成長の細胞動力学的解析

根端成長の「細胞動力学的解析」とは、根端が成長する様子を詳細に観察、撮影し、その画像データから根端の各場所における細胞体積増大および細胞増殖の速度を定量化する解析のことです。この解析を様々な遺伝変異体や環境条件で育成した植物の根端に対して行うことで、遺伝変異・環境条件が細胞レベルで成長に与える影響を定量的に明らかにすることができます。さらに、この成長解析のデータを数理モデルで解析することによって、成長の各側面 (細胞増殖、体積増大、器官維持) のコスト (効率) を算出することも可能です (著書/論文(4))。現在はゲノム倍加が根端成長に及ぼす影響などについて解析を進めています。

## 主要著書/論文

- (1) 「Floral development of petaloid Alismatales as an insight into the origin of the trimerous Bauplan in the flower of the Monocots」 *J. Plant Res.* 2018. 131: 395–407.
- (2) 「Floral anatomy and vegetative development in *Ceratophyllum demersum*: A morphological picture of an “unsolved” plant」 *Amer. J. Bot.* 2015. 102: 1578–1589.
- (3) 「冬芽と環境-植物たちの越冬 『広義サクラ属の冬芽の多様性と進化』」 八田編. 北隆館. 2014. 237–252.
- (4) 「Insight into the basis of root growth in *Arabidopsis thaliana* provided by a simple mathematical model」 *J. Plant Res.* 2006. 119: 85–93.
- (5) 「Development and structure of trichotomous branching in *Edgeworthia chrysantha* (Thymelaeaceae)」 *Amer. J. Bot.* 2005. 92: 1350–1358.

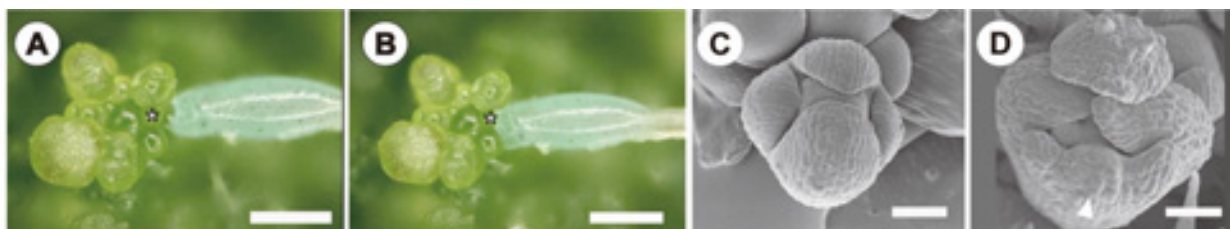


図1 (A, B) シロイヌナズナの花原基にマイクロデバイスを接触させる前(A)と接触させた後(B)の状態。☆は接触により、物理的圧力が加わったと考えられる花原基。(C) 物理的圧力を加えていない、通常のシロイヌナズナの発達中期の花原基。(D) ほぼ同じ発達時期の物理的圧力を加えた花原基。通常の花原基と比較すると、圧力を加えた部分(矢頭)で萼片原基が3裂している。Scale bars = 200  $\mu$ m(A, B), 50  $\mu$ m(C, D).



# 集団生物学分野・佐藤たまき研究室

構成員紹介→P58

**研究分野** 古生物学, 古脊椎動物学

**研究テーマ** 中生代の化石爬虫類を中心とした化石の記載・分類・系統学, 化石生物を用いた古環境の推定など

## 研究室構成員

佐藤 たまき (教授)

## 研究内容

古生物学は主に化石を用いて生物の歴史を解き明かす学問で、生物科学と地球科学の境界にある。本研究室の主宰者は古脊椎動物学とよばれる分野が専門で、中生代の海生爬虫類の記載・分類と系統学の研究中心に行ってきた。なお「記載」とは、化石の形態を言葉や図などで詳細に記述し、解剖学的・分類学的な同定の根拠を詳細に示す作業のことである。記載・分類・系統学はその化石生物の形態や進化的な位置づけの基礎データとなるもので、応用的な研究の基礎となる学問である。

この他、共同研究を通じて、その他の様々な生物（魚類、哺乳類、昆虫類、植物など）の記載の研究にも関わっている。また、これらの研究の成果を一般市民に伝えるアウトリーチ活動として、書籍や博物館の展示の監修や講演会などにも積極的に取り組んでいる。

### 1. 首長竜を始めとする中生代の化石爬虫類の研究

首長竜類 Plesiosauria は中生代の海で栄えた大型爬虫類のグループである。手足が鰭になり、頭蓋骨や肢帯（肩回りや腰回りの骨）の構造が独特であるなど他の脊椎動物には見られない独特の形態を持つが、その進化史や絶滅の過程は明らかになっていない。

研究室主宰者は、これまでに日本・カナダ・中国から産出した首長竜や、首長竜の親戚に当たる三畳紀の海生爬虫類の化石を数多く記載してきた。代表的な研究としては、福島県の白亜系から発見された首長竜フタバサズキリュウ *Futabasaurus suzukii* を記載して新属新種として命名したこと、中国の三畳系から発見された鰭竜類ユングサウルス *Yunguisaurus liae* を記載して首長竜の独特な形態の起源に迫ったことなどが挙げられる。また、首長竜を含む日本の海生脊椎動物化石の層序分布を世界の他の地域のデータと比較することで、白亜紀の海生爬虫類の地理的分布の地域性を示す試みも続けている。

### 2. 栃木県塩原の更新世化石の記載と分析

栃木県那須塩原市からは美しい植物化石「木の葉石」が産することで古くから有名である。木の葉石は中期更新世の湖でできた地層であり、昆虫などの動物化石も数多く産出し、理科の教材として教育現場でも活用されている。

本研究室ではこの地層から産出する様々な昆虫や魚など

の化石から、この地域の当時の生物相や古環境についての分析を進めている。

## 主要著書／論文

Horiguchi et al. 2020. First fossil record of a jumping plant-louse (Insecta, Hemiptera, Psylloidea) from Japan. *PalZ (Paläontologische Zeitschrift)*, 94, 455-461.

Konbayashi et al. 2019. A New Hadrosaurine (Dinosauria: Hadrosauridae) from the Marine Deposits of the Late Cretaceous Hakobuchi Formation, Yezo Group, Japan. *Scientific Reports*, 9, Article number: 12389.

Sato et al. 2014. A new specimen of the Triassic pistosauroid *Yunguisaurus*, with implications for the origin of Plesiosauria (Reptilia, Sauropterygia). *Palaeontology*, 57, 55-76.

Sato et al. 2012. A review of the Upper Cretaceous marine reptiles from Japan. *Cretaceous Research*, 37:319-340.

Sato et al. 2006. A new elasmosaurid plesiosaur from the Upper Cretaceous of Fukushima, Japan. *Palaeontology* 49:467-485.

# 集団生物学分野・鈴木祥弘研究室

構成員紹介→P58

研究分野 植物生理生態学

研究テーマ 微細藻類の低温適応, 微細藻類紫外線吸収色素, 微細藻類の光環境形成, 高等植物の変動光への応答, ケナフ光合成

## 研究室構成員

鈴木 祥弘 (准教授)

## 研究内容

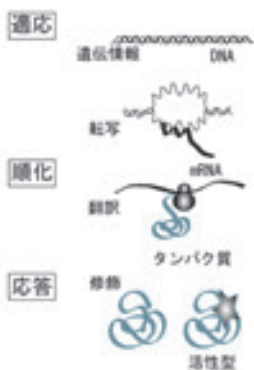
### 生態学

自然の中で、生物各個体が環境から受ける影響には、周囲の同種や異種の生物個体（生物学的環境）からのものと、温度や光などの物理的要因やpHや栄養塩濃度などの化学的要因（非生物学的環境）からのものがある。個々の環境（環境要因）やそれらの総体である自然環境を測定し、それに対する生物の対応を解析することで、「自然環境中で生物がどのように生きているか」の解明を目指す研究分野が、私たちの研究室が専門とする生態学である。

### 生理生態学

生物はDNAにコードされる遺伝情報をRNAに転写し、これをタンパク質に翻訳することで環境に合わせた生体を形成し、さらに、形成された生体成分の活性を化学的修飾などによって調節することができる。あらゆる生物に共通のこの仕組みで、生物は環境に対応している。活性調節が短い時間で行われるのに対し、環境に合わせて、酵素・タンパク質などの生体成分の量を変化させたり、同じ機能で異なる特性を持つアイソザイムなどを発現して生体成分の質を変化させたりすることは、時間がかかるが、大きな環境の変化に対応できる。さらに、長い時間の間には、突然変異に

よりDNAの遺伝情報に変化が生じ、自然淘汰の結果、環境に合った新規の生体成分を持つようになることがある。時間はかかるものの、新しく作られた生体成分を用いれば、既存の生体成分だけで行うより、さらに大きな環境変化に対応できる。このように生物の環境への対応は、生体成分の活性調節による応答（response）、環境に合わせた生体の形成による順化（acclimation）とDNAの遺伝情報に変化による適応（adaptation）に分けて考えられる（図）。これらの対応を考えるためには、生理学的手法が重要である。私たちの研究室では、生理学的手法をもちいて、環境に対する生物の対応を解析し、「どのような仕組みで（How）対応しているか」という疑問に取り組んでいる。さらに、環境中での生物の生存を考えることで、「どうし



て（Why）そのような対応が必要か」という疑問にも答えを出すことを目指している。研究室で取り組んでいるテーマの中から、その一例を以下に述べる。

### 光合成の低温適応

植物や微細藻類の行う光合成によって、太陽光エネルギーから有機物中へと固定された化学エネルギーに依存して、地球上のほぼ全ての生物が生きている。光合成は生態系を考える上で、最も重要な生物反応である。近年の大気二酸化炭素濃度の上昇や地球温暖化から、とりわけ、極域での光合成による二酸化炭素吸収や温暖化の影響が重要視されるようになってきている。これに関連する「光合成が極域の低温でどのように行われているかを解明すること」が私たちの研究室の主要なテーマの1つである。

生物活動に不可欠な酵素などの反応は液体状態の水を必要とする。このため、生物が「生きて活動する」温度範囲は0～100℃を大きく外れることない。塩分を含み0℃以下でも液体で存在する海水中では、0℃以下でも微細藻類が増殖する。結氷した水中に残された僅かな海水中では、さらに低温の環境で海水藻類群集（IceAlgae）が活発に増殖し、海水が着色するほどの生物量に達することが知られている。これら微細藻類の増殖や、低温での光合成の維持機構について、単離培養株を用いて詳細に解析してきた。光合成の鍵酵素の一つRuBisCOに着目し、低温での活性維持機構を検討した研究では、大サブユニットにIceAlgae特異的なアミノ酸残基が存在することを明らかにした。この結果は、わずかなアミノ酸の変異が、低温での酵素の柔軟性に強く影響し、低温での活性維持にきわめて重要である可能性を示していた。

### 主要著書／論文

「植物生理学」化学同人, 2009

「光合成研究法」北海道大学低温科学研究所紀要, 2009

「光合成事典」学会出版センター, 2003

「Sudden collapse of vacuoles in *Saintpaulia* sp. palisade cells induced by a rapid temperature decrease.」 *P LoS. One.* 8(2), e57259, 2013

「A sequencing protocol of some DNA regions in nuclear, chloroplastic and mitochondrial genomes in a n individual colony of *Thalassiosira nordenskiöldii* cleve Bacillariophyceae」 *Polar Bioscience*, 2005

# 集団生物学分野・高橋一男研究室

構成員紹介→P58/60

研究分野 昆虫生態学, 遺伝学, 進化生物学

研究テーマ 昆虫の形態と行動の遺伝基盤, 寄生蜂と宿主との相互作用, 微小昆虫の翅干渉色の役割, 進化的キャパシターの探索と機能の解明

## 研究室構成員

高橋 一男 (教授)

滝ヶ平 智博 (非常勤講師, 総合理学研究所客員研究員)

安部 淳 (非常勤講師, 総合理学研究所客員研究員)

## 研究内容

昆虫は非常に多様な生態を持つ生物群で、地球上で最も繁栄した生物とも言っても過言ではありません。昆虫の多様な環境適応の要因は、現在でも多くの研究者が解明を試みている問題であります。そのような昆虫の中でも、ショウジョウバエは約100年に渡ってモデル生物として研究が行われてきており、生態学や進化生物学の分野においても有用な研究材料となっています。本研究室では、主にショウジョウバエを研究材料として用い、生態学的研究に取り組んでいます。以下に二つの研究テーマの紹介をします。

### 翅干渉色の研究

小さな昆虫の持つ、透明で薄い翅は、暗い背景で観察すると非常に鮮やかな薄膜干渉による構造色を発色する事が知られており、WIPs (Wing Interference Patterns) と呼ばれています (図1)。WIPsは非常に安定した形質で、その生態学的な意義に注目が集まっていますが、まだまだ未解明な点が多い形質です。本研究室では、数十から数百種類に分光された波長の輝度情報を持つハイパースペクトル画像を活用し、WIPsの分光特性の総体としてのスペクトローム解析法を開発しています。実際に、多数のショウジョウバエ種について、性的二型や種間差を定量的に評価する方法の開発に成功しており、WIPsの遺伝基盤や生態的意義に関する研究にも着手しています。

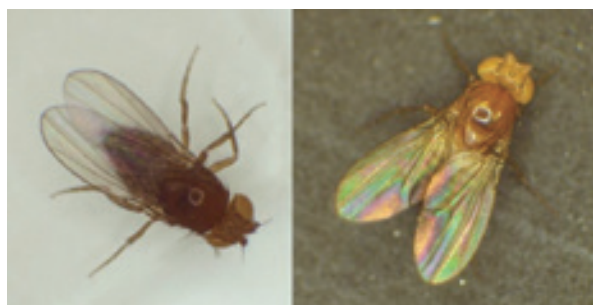


図1 明るい環境で透明に見える翅 (左) と暗い環境で干渉色が見える翅 (右)

### 捕食寄生蜂の研究

天敵防除などにも活用される内部寄生蜂と宿主との相互作用は、その応用的・基礎生物学的な重要性にも関わらず、まだまだ未解明です。内部寄生蜂は高い宿主特異性を持つため、生態系に与える影響の少ない有用な天敵生物である

と考えられています。内部寄生蜂は宿主の体内で発育するため、宿主体内において宿主の免疫防御を無効化する様々な生理学的な方法を進化させて来ました。本研究室では、キイロショウジョウバエとその内部寄生蜂をモデル系として、ショウジョウバエの寄生蜂抵抗性の生理学的、遺伝学的メカニズムの解明に取り組んでいます。



図2 ショウジョウバエの幼虫に産卵している寄生蜂 (*Asobara japonica*) の雌

## 主要著書／論文

1. 「生命システムのロバストネスが促進する進化」、細胞工学, 33: 79-83, 2013
2. [Apoptosis inhibition mitigates aging effects in *Drosophila melanogaster*], *Genetica*, **148**: 69-76, 2020
3. [Chemical cues from competitors change the oviposition preference of *Drosophila suzukii*] *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **168**: 304-310, 2020
4. [In vivo and in vitro developmental profiling of *Asobara japonica* (Hymenoptera: Braconidae), a larval endoparasitoid of drosophilid flies] *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **167**: 442-456, 2019
5. [Multiple modes of canalization: links between genetic, environmental canalizations and developmental stability, and their trait-specificity], *Seminars in Cell and Developmental Biology*, **88**: 14-20, 2019
6. [HSP90 as a global genetic modifier for male genital morphology in *Drosophila melanogaster*], *Evolution*, **72**: 2419-2434, 2018
7. [Novel genetic capacitors and potentiators for the natural genetic variation of sensory bristles and their trait-specificity in *Drosophila melanogaster*], *Molecular Ecology*, **24**: 5561-5572, 2015
8. [Effect of genomic deficiencies on sexual size dimorphism through modification of developmental time in *Drosophila melanogaster*], *Heredity*, **115**: 140-145, 20



理学部長 木原 伸浩

神奈川大学湘南ひらつかキャンパスは、平成元年（1989年）4月に平塚キャンパスとして開設されました。落ち着いて教育・研究に専念できる環境に恵まれ、自由な雰囲気満ちている湘南ひらつかキャンパスにおいて、情報科学科、化学科、応用生物科学科の3学科で発足した理学部は、応用生物科学科から生物科学科への名称変更、綜合理学プログラムの設置、数理・物理学科の設置と、順調に発展してきました。理学部の個性的な発展は、経営学部共々、湘南ひらつかキャンパスの特性を強く反映したものでした。

爾来32年、平成が令和と呼び名を変えて2年後の令和3年、みなとみらいキャンパスが開設されました。それに伴い、湘南ひらつかキャンパスの教育組織は全て横浜地域に移ることとなりました。まず経営学部がみなとみらいキャンパスに移り、令和5年には理学部も横浜キャンパスに移ります。湘南ひらつかキャンパスは平成と共に生まれ、平成と共にその時代を閉じようとしています。

一方、理学部の横浜移転、すなわち、理工両学部の横浜集結は、神奈川大学の理工系の教育・研究を時代に則して全面的に再編成し、さらに発展させる絶好の機会です。全学的な検討の結果、令和5年の理学部移転と同時に新たに情報学部と化学生命学部の2学部が設置され、令和4年度に設置される建築学部と合わせて、神奈川大学には理工系5学部が置かれることとなりました。名称としての理学部は残りますが、学科は理学科1学科となり、また現理学部所属の教員は、新生理学部、情報学部および化学生命学部に分かれ、それぞれの新組織で中核を担うこととなります。

「Scientia」は湘南ひらつかキャンパスが開設されてから5年後の1994年5月、それまでの知識情報研究所が綜合理学研究所に改称されたのを機に、神奈川大学理学部の研究活動を紹介する情報誌として創刊されました。Scientiaの創刊号は16ページの冊子でしたが、毎年発行されるごとに内容を充実させ、理学部・理学研究科における研究活動を内外に発信してきました。理学部の構成員全員によって大事にされてきた媒体です。

令和5年4月、理工再編によって、理学部の構成員は、新生理学部、情報学部、化学生命学部のそれぞれで活動を開始します。新しい酒は新しい革袋に、と言います。理学部の発展的な再編成を受け、「理学部のScientia」は令和3年（2021年）度版をもって終刊とすることとなりました。令和4年度には、令和5年（2023年）度の新しい学部の発足に向けて、それぞれScientiaの歴史と精神を受け継ぐ媒体を発行し、新しくなる研究組織の研究成果を内外に積極的に発信していくことになるものと思っています。

令和になってから1年もしないうちに世界は新型コロナウイルスによるパンデミックに席捲されました。教育・研究は大きくダメージを受けただけでなく、そのあり方は大きく変わりました。理学部が横浜キャンパスに移るときにパンデミックが収束していたとしても、もう世界は元には戻りません。教育・研究のあり方が変わると、神奈川大学の理工系学部が飛躍のチャンスを得たのは、偶然とは言え一致しています。Scientiaの後継たちは、そのあり方も形態も大きく変わるでしょう。しかし、どのような形態であれ、それを受け取る人々が心を熱くするような、新しい時代の新しい研究が発信され続けていくことを願っています。

memo

memo



# 神奈川大学理学部ホームページ

インターネットで神奈川大学理学部のホームページにアクセスできます。本誌の情報以外にもより詳しい情報が公開されています。また、本誌に載っている情報も随時更新されています。ぜひアクセスして下さい。



神奈川大学 ホームページ

<http://www.kanagawa-u.ac.jp/index.html>



神奈川大学理学部 ホームページ

<https://www.kanagawa-u.ac.jp/education/faculty/sciences/>

受験生の皆さんへ 在学生の皆さんへ 卒業生の皆さんへ 保護者の皆さんへ 高校教員の皆さんへ 企業・地域の皆さんへ 教職員の皆さんへ

KU 神奈川大学

お問い合わせ 資料請求 交通アクセス

大学紹介 AcadLife 学部・大学院 Academics 研究活動 Research 国際交流・留学 International キャンパスライフ CampusLife キャリア・就職支援 Career 入試情報 Admissions

ホーム > 学部・大学院 > 学部のご紹介 > 理学部

## 理学部

2023年4月横浜キャンパスに移転予定

自然科学の手法を駆使して、自然現象の原理を探究。  
学んだ知識や技術を用い、新たな分野を開拓できる人材を育成します。

理学部オリジナルサイト >

Feature 1

理学に加え外国語や  
一般教養も修得

Feature 2

好奇心に合わせ  
学科横断的な学修が可能

Feature 3

最新鋭の実験装置や  
研究施設を整備



## 神奈川大学 理学部 SCIENTIA

発行：神奈川大学理学部

〒259-1293 神奈川県平塚市土屋2946

TEL 0463-59-4111 FAX 0463-58-9684

編集：神奈川大学理学部広報委員会

印刷：カサハラ印刷株式会社