

CONTENTS of No. 80, 2021

<Treatise>

- | | | |
|--|---|----|
| 1. Gouhara Sawako, the First Female to Obtain Doctorate Degree of Engineering in Japan | Kenji Kubota, Yoshihiro Taniguchi..... | 1 |
| 2. Inhibition of plant disease by bio-stimulant | Motoki Kubo, Yugo Kumokawa, Kurumi Higashimoto, Kiwako S. Araki..... | 15 |
| 3. Investigation of forest trees and soil environments surrounding Kitanoshinike pond in BKC | Kiwako S. Araki, Ayaka Muraji, Motoki Kubo..... | 21 |
| 4. The study of populations and habitat environments of freshwater clams, <i>Corbicula</i> sp. in Lake Biwa | Tomohiro Shoji, Kiwako S. Araki, Motoki Kubo..... | 31 |
| 5. Evolutionary analysis of the causative genes of the extracellular matrix-related diseases | Hiroyuki Goto, Takuma Unno, Yukihiko Kubota, Masahiro Ito..... | 43 |
| 6. A Trial of Sand Layer Monitoring Using Transmitted Elastic Waves through a Flume Test of Surface Failure | Issei Doi, Hironori Kawakata, Masayuki Nakayama, Naoki Takahashi..... | 57 |
| 7. Instructors as negotiators of meaning: Remarks on the semiotic understanding of Project-based English Program | Kazuho Kambara, Tsukasa Yamanaka..... | 67 |
| Abstracts of Research Projects using Institute Experimental Apparatuses | | 79 |

立命館大学理工学研究所紀要

二〇二一年

立命館大學
理工學研究所紀要
第80号
MEMOIRS
OF THE
INSTITUTE
OF
SCIENCE & ENGINEERING

RITSUMEIKAN UNIVERSITY
KUSATSU, SHIGA, JAPAN

NO. 80

2021

第八十号

<一般論文>

1. 日本最初の女性工学博士 郷原佐和子	久保田謙次・谷口 吉弘	1
2. バイオステイミュラントによる植物病害の抑制	久保 幹・雲川 雄悟・東本 繩未・荒木希和子	15
3. 北野新池周辺の森林緑地における樹種組成と土壤環境の調査	荒木希和子・連 綾香・久保 幹	21
4. 琵琶湖南湖と瀬田川におけるシジミ類の生息状況と生息環境	庄司 知広・荒木希和子・久保 幹	31
5. 進化における獲得機序に着目した細胞外マトリックス関連疾患発症メカニズムの解明	後藤 寛幸・海野 琢真・久保田幸彦・伊藤 將弘	43
6. 表層崩壊模擬実験による透過弾性波を用いた地盤内部モニタリングの試み	土井 一生・川方 裕則・中山 雅之・高橋 直樹	57
7. 意味の交渉人としての教員の役割：プロジェクト発信型英語プログラムの記号論的解釈を巡って	神原 一帆・山中 司	67
大型研究装置成果報告書		79

日本最初の女性工学博士 郷原佐和子

久保田謙次^{1,2)} 谷口吉弘^{3,4)}

=====

Gouhara Sawako, the First Female to Obtain Doctorate Degree of Engineering in Japan

KUBOTA Kenji^{1,2)} TANIGUCHI Yoshihiro^{3,4)}

Gouhara Sawako was born in May 1929. She enrolled in the Faculty of Science and Engineering, Ritsumeikan University, to study electrical engineering. After her graduation in 1954, she pursued a higher degree with the Graduate School of Engineering at Osaka University, and majored in Communication Engineering, where she studied communication technology in Kumagai Laboratory. In 1959, she was awarded the doctorate degree in engineering at Osaka University; she is the first Japanese female to obtain a doctorate degree. Her thesis was expected to contribute in the development of communication technology and electronics. Because of her skills in mathematics and physics, she enrolled in the Women's College of Kyoto Prefecture, Major of Physics and Chemistry, to study advanced mathematics and physics. Through these courses, she developed an interest in science and engineering, and made her way into the communication technology. After her doctorate degree, she was married to Mr. Kawamoto, an assistant in the Kumagai Laboratory, in 1960. In 1967, she founded the Komoda Giken Company with her partner. They developed the original technology of information disposal and automationcontrol technology as a research-oriented company, which was later incorporated as Komoda Co. Ltd. In 2008, the president, Mrs. Kawamoto became the chairman of the board of directors and later the chairman of the advisory board. She died at 89 years, in January, 2019.

Keywords: Gouhara Sawako, Ritsumeikan University, Faculty of Science and Engineering, Osaka University, Graduate School of Engineering. The First Female Japanese Doctor of Engineering, Women's College of Kyoto Prefecture, Kumagai Laboratory, Komoda Giken, Komoda Co. Ltd

E-mail: ¹⁾kyuku@st.ritsumei.ac.jp ³⁾y-taniguchi@heian.ac.jp

1) 学校法人立命館 立命館 史資料センター調査研究員 2) 元立命館大学理工学部職員

1) Researcher Ritsumeikan Archive Center, Ritsumeikan Trust

2) Former Officer Faculty of Science and Engineering Ritsumeikan University

56-1 Kitamachi, Tojiin, Kitaku, Kyoto, Japan

3) 平安女学院大学特任教授 4)立命館大学名誉教授

3) Specially Appointed Professor Heian Jyogakuin University

221, Buejincho, Kamikyoku, Kyoto, Japan

4) Honorable Professor Ritsumeikan University

要 旨

立命館大学二部理工学部に 3 年編入学の郷原佐和子は、電気工学科で電気理論や通信工学などを学び卒業後、開設間もない大阪大学大学院工学研究科に進学した。大学院では通信工学を専攻して熊谷三郎教授の下で研究指導を受け、五年間の研究成果として博士論文「非線形共振回路に関する研究」を提出して最終審査に合格し、1959（昭和 34）年日本ではじめて女性工学博士（学位記番号第 41 号）が誕生した。論文審査委員の主査は熊谷三郎教授で、この研究は、通信工学や電子工学の進展に大いに貢献すると評価された。

1929（昭和 4）年 5 月生まれで、数学や物理学が得意な郷原は、1946（昭和 21）年憧れの京都府立女子専門学校の物理化学科に入学して、高度な数学や物理学の知識を深める中で、自然科学の幽遠さに触れたことが、当時最先端の通信工学の研究分野へ進むことになったものと思われる。

工学博士を取得後の 1960（昭和 35）年に大阪大学工学部通信工学科助手の河本と結婚、1967（昭和 42）年に河本とともにコモタ技研を創業し、研究集約企業として情報処理や自動制御分野で独自の技術開発を始めた。その後コモタ技研はコモタ株式会社となった。2008（平成 20）年には河本佐和子は社長から会長、相談役となり、2019（平成 31）年 1 月、89 歳でその生涯を終えた。

キーワード

郷原佐和子、立命館大学理工学部、大阪大学大学院工学研究科、日本人初女性工学博士、熊谷研究室、京都府立女子専門学校、コモタ技研、コモタ株式会社

1 はじめに

「何時だったか一人の女子学生が卒業後、阪大へ行き、日本で最初の女性の工学博士となりました。たしか、郷原とか。」

これは、立命館大学の『理工学部六十五年小史』(1980年)の座談会「理工学部の歩み」のなかで、当時名誉教授であった羽村二喜男が語った一言である⁽¹⁾。京都帝国大学工学部教授であった羽村は立命館から招聘されて、立命館専門学校工学科部長を務め、1964年に立命館大学理工学部を定年、その後も非常勤として理工学部の発展に力を尽くした。羽村の言う最初の女性工学博士、郷原はどのような道を歩んだのだろうか。残された資料は少ないが、断片的に残る資料からその軌跡を辿った。はじめに、黎明期の日本の女性の理科教育と自然科学分野における日本最初の女性の学位取得状況を明らかにする。

2 黎明期の女性博士

日本で女子の理科教育が始まったのは、女子高等師範学校（1908（明治41）年東京女子師範学校に改称）が1898（明治31）年、文科と理科に分けて学生の教育を行ったことに遡る。さらに1905（明治38）年からは4年間の普通科の上に2年間の研究科が設けられたが、定員はわずか1名であった。最初の年に入学したのが保井コノで、この研究科でただ一人の生物学の研究生として動物学の研究を始めた。保井に続いて黒田チカ、牧田らく、辻村みちよ、加藤セチらがここで学び、初期の女性科学者となった。1886年（明治19）年に公布された帝国大学令では、入学資格は高等学校卒業生に限られていたため女子の帝国大学への入学の門戸はとざされていたが、1913（大正2）年に東北帝国大学理科学院の開学にあって、入学資格を高等師範卒業生や中等教員免許検定試験合格者などに広げ、女子の入学を初めて認めた。その結果、東京女子高等師範卒業生の牧田らく（数学）、黒田チカ（化学）と中等教員免許検定試験合格者で日本女子大学出身の丹下ウメの3人が東北帝国大学理科学院の門をくぐることになった。1918（大正7）年には東北帝国大学農科学院から独立した北海道帝国大学では、正科の学生として女子は許可されなかったが、選科生として入学が認められ、東京女子高等師範学校出身の辻村みちよ、加藤セチは、それぞれ無給副手あるいは女学校教師を務めながら選科生としてここで学んだ⁽²⁾。

日本における初期の女性の博士は、保井コノ〔1927（昭和2）年、東京帝国大学〕、黒田チカ〔1929（昭和4）年、東北帝国大学〕、浅居ちか〔1941（昭和16）年、京都帝国大学〕などが知られるが、いずれも理学博士であった。保井コノは、女子高等師範学校卒業後、1914（大正3）年文部省外国留学生として、アメリカのシカゴ大学を経てハーバード大学に学び、帰国後東京帝国大学理学部植物学教室遺伝学講座の研究嘱託として研究を続け、女性で最初の理学博士授与者となった。黒田チカは、1913（大正2）年に東北帝国大学に入学、最初の帝国大学女子学生の一人となり、1921（大正10）年、長井長義、桜井錠二らの推薦を受けてイ

ギリスのオックスフォード大学有機化学の大家パーキン博士の下に留学、2年間の留学を終えて帰国、理化学研究所で研究を行い、保井コノに次いで博士学位を取得した⁽³⁾。浅居ちかは、京都府立第一高等女学校を経て、1926（大正 15）年早稲田大学理工学部を卒業、1935（昭和 10）年理化学研究所の研究員となり、京都帝国大学木村正路教授のもとで研究指導をうけ 1941（昭和 16）年、博士学位を取得した⁽³⁾。木村は、戦後立命館に招聘され立命館専門学校理学科部長に続いて新制理工学部で初代学部長を務めた。

初の女性医学博士には西村康子〔1931（昭和 6）年、東京帝国大学〕が、初の女性農学博士には辻村みちよ〔1932（昭和 7）年、東京帝国大学〕、初の女性薬学博士には鈴木ひでの〔1937（昭和 12）年、東京帝国大学〕がいる^(4,5,6)。ところで日本で最初の女性工学博士の誕生は、理学博士に遅れること 30 年、戦後の 1959（昭和 34）年であった⁽⁷⁾。

3 京都府立女子専門学校時代

羽村の語った郷原とは、郷原佐和子である。父親は京都市中京区の四条大宮で病院を開業し、医学博士であった。また医師のほか様々な社会的活動をしており京都の名士でもあった⁽⁸⁾。郷原佐和子は 1929（昭和 4）年 5 月に生まれ、四条大宮で幼少期をおくったと思われる。1936（昭和 11）年 6 月、郷原佐和子は小学 1 年生のときに父親を亡くしている。後に郷原自身が記しているところによれば、「女学校」に 3 年間通った。しかし、戦時中のことで、そのうちの 1 年間は学徒動員に行き、女学校教育は 2 年しか受けなかつたという。

1946（昭和 21）年 4 月、郷原は京都市右京区（現在は西京区）にあった京都府立女子専門学校（桂女専）の物理化学科に入学し 1949（昭和 24）年 3 月に卒業した。桂女専での学校生活はその後の郷原の学究生活を志向する素地が築かれたと思われる。少女期を戦時に過ごし、まともに勉強することができなかつた郷原は、まだ戦後の混乱の収まらない時代に桂女専の物理化学科で学んだ。卒業後 19 年、京都の地を去って 6 年後の 37 歳の時に、桂女専で数学や物理学などさまざまな自然科学を学び、勉強ができる喜びと当時の「理想」を桂女専の同窓会誌『桂苑 1966』（昭和 41 年）に寄稿し、次のように語っている。

「私はただもう憧れの桂女専へ行けるのがむやみに嬉しくて、いさんで入学したの覚えている」

「女専の一年生、私は伏字のない小説をむさぼり読み、外国映画に目をみはつた。三年間の女専生活を思い起す。数学の平野先生、弧度法を習い、ラヂアンなる角度の単位を教わつた。夏休み、数学の補講。無限級数、等差、等比級数、三次・四次方程式の解法。女学校でやつと二次方程式を習つただけの私、大変な科へ入つたものだ。長谷川先生の物理の講義は現代物理学の魔術。時間がのびぢぢみする相対性理論。そして核エネルギーの話。高安先生のドイツ語の詩。徳永先生の電磁気の講義。卒業後もお世話になった平木先生、丹羽先生の力学の講義はむずかしかつた。私たちは諸先生のおかげで自然科学を学びその幽遠さの一端にふれた。」「理想」と題する桂女専時代の思い出の最後に、「なお微積分記号

と縁の切れない毎日」と記している⁽⁹⁾。

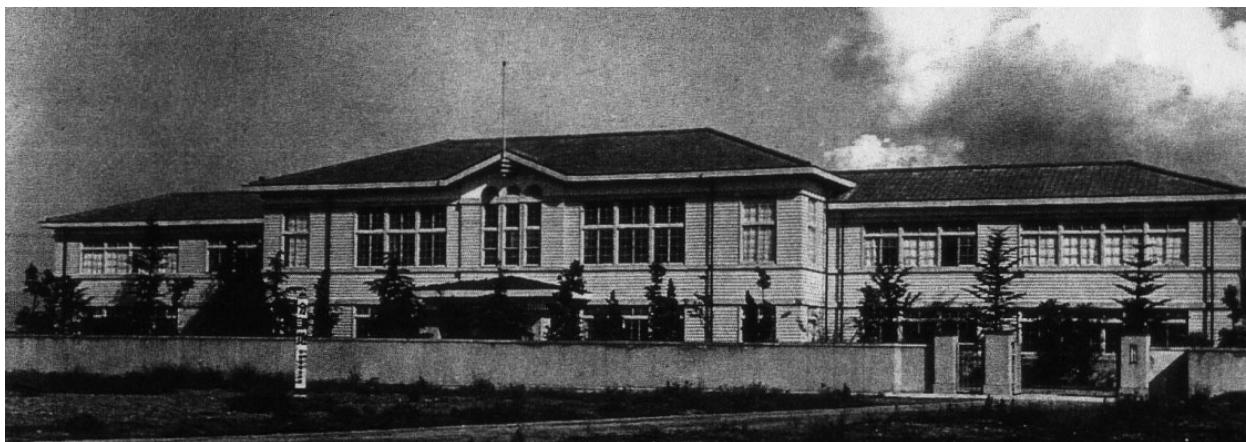


写真1 当時の京都府立女子専門学校（桂）（京都府立大学附属図書館所蔵）

4 立命館大学理工学部時代

1951(昭和 26)年 4 月、郷原は立命館大学二部理工学部の電気工学科に 3 回生編入学した。理工学部は 1949(昭和 24)年に新制となったので、1949 年に 1 回生で入学してきた学生と同学年になった。また、戦後電気科(旧制)、電気工学科(新制)では一部・二部を通じて最初の女子学生であった。

一般教育科目の自然科学系 3 科目（数学、物理学、化学）は必修で、人文・社会科学の選択科目、また英語、体育科目を履修した。

専門科目は数学解析、応用数学、電気理論、電気計測、電気機器、電力工学、電子工学通信工学、電気工学実験などを学んだ。その他選択科目を学び、教職科目も履修している⁽¹⁰⁾。

郷原は大阪大学大学院で通信工学を専攻しているが、当時、理工学部電気工学科で通信工学を教えていたのは、小堀富久夫専任講師(後に教授)であった。電気工学科は他に羽村二喜男（電力工学）教授などがいた。

1953(昭和 28)年 3 月 21 日、郷原は 2 年間の学部課程を卒業した。夜間課程であったので、勤労学生だったのであろうか。郷原は、桂女専卒業から立命館大学入学までの 2 年間、立命館大学二部(夜間)卒業から 1 年後に大阪大学大学院に進んでいる。戦時中から戦後にかけて、苦学の道を歩んだと思われる。

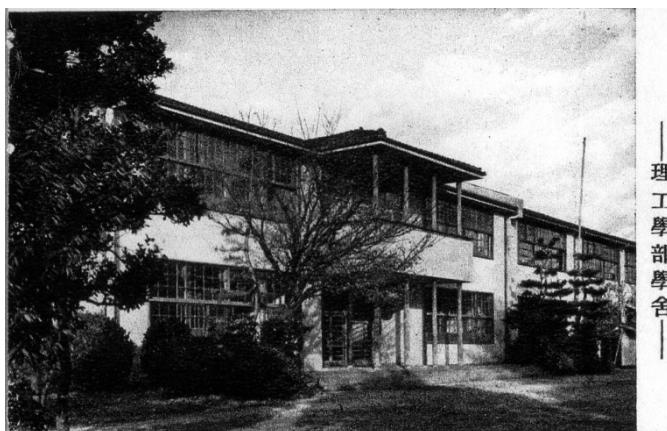


写真2. 当時の立命館大学理工学部本棟

(1952 立命館大学)



写真3. 当時の立命館大学理工学部教室棟

(1951 入学案内 立命館大学)



写真4. 当時の立命館大学理工学部電気工学科実験風景

(1952 立命館大学)

5 大阪大学大学院工学研究科時代

大阪大学は1940(昭和15)年に日本で初めて工学部に通信工学科を設置、1953(昭和28)年に新制大学院工学研究科が設置され、通信工学専攻が開設された。戦時中、通信工学の分野の重要性が大きくなりその進展が目覚ましく、また戦後電子工学やエレクトロニクス分野が急激に発展した。

1954(昭和29)年4月、郷原は大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻に進学し、熊谷三郎教授のもとで学んだ。1956(昭和31)年には博士課程に進んでいる。郷原は数学や物理が得意でしかも電気に関する計算が好きで、エレクトロニクスのエンジニアを目指していた。

この間、『電気学会雑誌』に論文3編を発表している。

1957(昭和32)年に「非線形容量を有する回路の特性」、1958(昭和33)年に「非線形共振回路の過渡現象」、1959(昭和34)年の「非対称非線形共振回路の特性」で、いずれも熊谷三郎教授との共著である⁽¹¹⁾。

これらの研究を基に、博士論文「非線形共振回路に関する研究」を提出し、1959(昭和34)年3月25日に大阪大学から工学博士号(学位記番号第41号)が授与された。主査は熊谷三郎教授である。この研究は、「通信工学およびこれに関連する分野の進展に貢献することが大きい」との評価であった⁽¹²⁾。ここに、日本で最初の女性工学博士が誕生した。29歳であった。1959(昭和34)年の博士課程修了者は2名で、新制第1回生であった。

郷原佐和子は『熊谷三郎先生追憶録』⁽¹³⁾の中で熊谷教授について「熊谷三郎先生のロマン?」の中で以下のように語っている。

昭和29年から34年まで大阪大学の東野田校舎で学んだ。熊谷教授との出会いは大学院入試に始まる。「四題出題されてどれもさっぱりわからない。無理もなかつた。私は戦争のおかげであらゆる(?)学制改革を経験し、結果として基礎的知識は極めてあやふや、独学でなんとかやってきたのだから。第一問にとぼしい蘊蓄を傾けた。たしか空洞の一端があいていて、電子が横切ったら……というような問題」「電子が運動すればQVなる電流が流れ、エート、空洞といえば共振回路にちがいない。そこでですぞ、とばかり、なんとかLC微分方程式を導いて、滔々と論じた(ように思う)」。熊谷教授から実によくできていた、と後に聞かされた。

熊谷研究室で与えられた郷原のテーマは「非線形問題」。地味な基礎的研究であるが、女子学生の郷原には落ち着いて取り組める問題ということであった。こうして熊谷研究室で非線形問題に取り組むことになった。在学中に二、三の新しい現象を発見して論文をまとめている。後年、「熊谷先生はなぜ自分に非線形問題をやらせたのか、ことによつたらそれは先生の”ロマン”だったのかも知れない」と。

追憶文を寄せた時は、「計算機のソフト関係の仕事に忙しい身」と言い、コモタ技研株式会社の支援部長であった。

読売新聞は「日本で初めて 女の工学博士 京都の郷原佐和子さん」、京都新聞は「初の

女性工博誕生 阪大大学院卒業式 晴れて京の郷原さん」と報じ、また立命館学園新聞も「郷原さん(28年度)が工博 女性で初めて 非線型回路研究で」と掲載した⁽¹⁴⁾。



写真 5. 郷原佐和子 京都新聞記事（左）1959年3月26日（右）1959年3月30日

一緒に住んでいた母親は、佐和子を医者にしたかったというが、工学の道を選んだ。(13)

郷原に続き 1961（昭和 36）年には、野崎洋子（京都大学）、山崎富貴子（大阪大学）、福田春子（大阪府立大学）日下あこ（東京大学）、菅野信子（東京大学）、小川健比子（東京大学）の 6 人に学位が授与された（表 1 初期の女性工学博士）⁽¹⁵⁾。



写真 6. 当時の大阪大学工学部 東野田キャンパス
(大阪大学『写真集 大阪大学の五十年』1981年より)

表1 日本の初期の女性工学博士一覧(1959～1968)(15,16,17)

授年	氏名	学位授与大学	出身学校・大学	博士論文名
1959	郷原佐和子	大阪大学	立命館大学	非線型共振回路に関する研究
1961	山崎富貴子	大阪大学	高等専門学校	ピロカテコール誘導体の合成とその利用に関する研究
	日下あこ	東京大学		保育所・幼稚園の建築計画研究
	菅野信子	東京大学	東京女子高等 師範学校	空洞共振器の共振周波安定化に関する研究
	小川健比子	東京大学	東京大学	病棟構成に関する研究
	野崎洋子	京都大学		ジフェニルアルカン誘導体の合成における有機反応に関する研究
	福田春子	大阪府立大学		ゴム加硫促進剤の作用機構に関する研究:チアゾール系促進剤について
1962	上中文子	大阪大学		チモールおよびその同族体の製造に関する研究
	林雅子	東京大学		染料の染着状態に関する研究:纖維相に染着している染料分子の状態について
	下河辺千穂子	東京大学		農家建物における農用空間の建築計画的研究
	佐藤公子	東京工業大学		熱間加工の金属組織学的研究
1963	木村藤子	京都大学	京都大学	放射線による高分子の照射効果とグラフト反応に関する研究
	梅田和子	京都大学	京都府立 西京大学	過酸化水素の液相接触分解反応の速度論的研究
1965	姥名惇子	東京大学	東京大学	2-6族系化合物半導体の光学的特性
1966	篠塚則子	東京大学	東京大学	遷移金属錯イオンの光化学反応
	菊池光子	日本大学	日本大学	三硫化モリブデン触媒によるテルペン類及びその関連化合物の 加圧接触還元に関する研究
1967	近藤準子	東京大学		A study on the oxidation reaction over transition metal oxides
1968	丹羽雅子	京都大学		被服材料の力学的性質に関する基礎的研究

6 コモタ技研創業

郷原の住所は、桂女専時代は上京区(現・北区)小山、立命館大学時代は中京区(四条大宮)、大阪大学時代は右京区(現・西京区)川島であった。

工学博士となった翌年、1960(昭和35)年に河本と結婚し、河本姓となった。夫河本は、同じ大阪大学工学部熊谷研究室で通信工学を研究し、工学博士(1962(昭和37)年)取得、大阪大学工学部通信工学科助手を勤めたのち、佐和子と共に東京に転居し、ソニーに入社している。

その後、夫と共に、1967(昭和42)年コモタ技研を創業し、研究集約企業として情報処理

や自動制御の分野で独自の技術開発を始めた。コモタ技研は後にコモタ株式会社となり、佐和子は 2008（平成 20）年 7 月に社長から会長に就任した⁽¹⁸⁾。（社長に就任したのは 1994（平成 6）年か）その後相談役となり、2019（平成 31 年）年 1 月にその生涯を終えた。89 歳であった⁽¹⁹⁾。

7 おわりに

戦後、日本の教育改革が進められるなか、立命館大学においても学則改正により、1947 年度の入学試験から女子も募集対象とし、入学を認めることとなった。この改正により、1947 年度に専門学校理学科に 4 名、1948 年度に同じく理学科に 2 名の女子が入学した。男女全体の入学者はそれぞれ 684 名、421 名であったから女子の入学はきわめて限られた人数であった^(20,21)。1949 年の新制理工学部の開設にあたっては、新たに 1 回生に入学した学生と旧制の専門学校から転籍し 2 回生となった学生があり、また旧制の専門学校は募集停止をしたもの 1953 年 3 月まで存続する複雑な制度となっていた。理工学部の資料から女子学生を特定することは困難であるが、新制理工学部を卒業した女子学生は、概ね次のような状況であった。1952 年 3 月に二部化学科 1 名、1953 年 3 月に一部化学科 1 名、二部数学物理学科 2 名、二部電気工学科 1 名である。1952 年 3 月卒業生は旧制からの転籍により新制は 3 年間で、二部電気工学科の学生は女子専門学校を卒業し 3 回生編入学をして 2 年で卒業した郷原佐和子である。1952 年 3 月の新制理工学部卒業生は 374 名、1953 年 3 月は 487 名であった。このほか、中途退学した女子学生が数名おり、戦後の困難な社会状況や複雑な学制のなかで、女子学生はとりわけ困難な学生生活を送った。表 2 に立命館専門学校・短期大学・大学理工系学部・学科女子学生数一覧（1947～1993）を示す。

戦後、立命館大学における最初の自然科学系女性博士の誕生は 1998 年、博士（理学）の柿木由布子である。2000 年には、馬場美智子が博士（工学）を、2019 年には、坂口裕子が博士（薬学）を取得している。2000 年から 2020 年までに博士（工学）を授与された女性は 17 名に及んでいる⁽¹⁵⁾。

表 2 立命館専門学校・短期大学・大学理工系学部・学科女子学生数一覧（1947～1993）

（1）旧制 専門学校理学科・工学科（文部省年報昭和 22 年・23 年）

年度(和暦)	学科	学生数	女子数	内 訳
1947(S22)	理学	1581	4	この年度より制度上 女子入学ができる こととなった。
	工学	1449	0	
1948(S23)	理学	1224	6	1 年 2 名、2 年 4 名
	工学	1262	0	

(2) 旧制専門学校・短期大学(学内学生生徒数調査表)

女子学生が掲載されている調査表のみ

1949(S24)	理学	228	2	数学 3 年 1 名 化学 3 年 1 名	11/30 現在
〃	二部理	282	2	化学 3 年 2 名	
〃	理工別科		3		
1951(S26)	短大工	98	1	化学 1 年 1 名	6 月現在

(3) 新制理工学部

年度(和暦)	基準日	1 部 理工	女 子 数	数	化	電	機	土	情	2 部 理工	女 子 数	数	化	電	機	土	基 礎 工
			物	学	気	械	木		電子		物	学	気	械	木		
1949(S24)	11.30	240	2	1	1					135	1		1				
1950(S25)	5.6	751	3	2	1					550	4	2	2				
1951(S26)	6.30	1216	2		2					878	10	5	3	2			
1952(S27)																	
1953(S28)																	
1954(S29)	5.1	1983	28							1103	5						
1955(S30)	5.1	2187	33	25	7	1				1214	2	1	1				
1956(S31)	5.1	2458	26	11	13	1		1		1010	3		3				
1957(S32)	5.1	2595	25	14	10			1		933	5	1	4				
1958(S33)	5.1	2895	15	8	6	1				936	7	2	5				
1959(S34)	5.1	2879	18	8	10					888	8	3	4	1			
1960(S35)	5.1	2758	21	12	9					945	6	2	3	1			

1982(S57)	5.1	2792	69	25	43	1			354	4						4
1983(S58)	5.1	2924	73	29	39	5			349	8						8
1984(S59)	〃	2760	72	33	34	5			304	9						9
1985(S60)	〃	2697	71	32	31	7	1		237	10						10
1986(S61)	〃	2522	58	28	23	7			187	10						10
1987(S62)	〃	2343	50	27	17	3	1	情 2	155	9						9
1988(S63)	〃	2506	65	35	18	2	2	情 8	154	7						7
1989(H1)	〃	2526	75	40	24		2	1 情 8	147	5						5
1990(H2)	〃	2765	97	43	35	2	2	4 情 11	132	6						6
1991(H3)	〃	2948	123	45	48	5	2	6 情 17	96	2						2
1992(H4)	〃	3351	204	56	67	5	10	21 情 34 電子 11	61	2						2
1993(H5)	〃	3492	277	59	83	5	24	33 情 52 電子 21	30	2						2

(注1) 1982年度以前は各年度主管課作成調査表、1983年度以降は学校基本調査による。

(注2) 女子学生数、学科別女子学生数は1部・2部理工学部各学科の内数。

参考文献

- (1) 立命館大学理工学部『理工学部六十五年小史』33頁 1980
- (2) 蜷川芳子 女子理学教育をリードした女性科学者たち—黎明期・明治期後半からの軌跡
日本女子大学理学教育研究会、明石書 17~21頁 2013
- (3) 山下愛子編 近代日本女性史 4 科学 鹿島出版会 1970
- (4) 保井コノについては、お茶の水女子大学デジタルアーカイブズ
<https://www.lib.ocha.ac.jp/>
黒田チカについては、化学史への招待 化学史学会編 オーム社 178~182頁 2020
および、お茶の水女子大学デジタルアーカイブズ <https://www.lib.ocha.ac.jp/>
浅居ちかについては、早大理工 80 年をふりかえる一新しい出発のために
理工 80 周年史編纂委員会 早稲田大学理工学部 48,49 頁 1988
- (5) 都河明子 科学とジェンダー 東京医科歯科大学教養部研究紀要 第 34 号 95,108 頁
2004
- (6) 山本美穂子 1920 年「学位令」下における女性の学位取得状況 北海道大学 大学文書館
年報 第 11 号 59,73 頁 2016
- (7) 小川眞理子 女性研究者進出の歴史 GRL Studies Vol.2 36,37 頁 2019
- (8) 『帝国大学出身名鑑』 62 頁 1932、『京都市医師会五十年史』 307 頁 1943
- (9) 桂苑会『桂苑』 164,165 頁 1966
- (10) 立命館大学理工学部学則 1949
- (11) 『電気学会雑誌』 77 卷 822 号 261~267 頁 1957、78 卷 841 号 1333~1339 頁 1958
79 卷 849 号 707~713 頁 1959
- (12) 郷原佐和子 博士論文『非線形共振回路に関する研究』工学研究科 1958 年度
大阪大学 Osaka University Knowledge Archive(OUKA)
<http://hdl.handle.net/11094/28173>
- (13) 熊谷三郎先生追憶録刊行会『熊谷三郎先生追憶録』 197~199 頁 1983
- (14) 「読売新聞」 1959 年 3 月 20 日、「京都新聞」 1959 年 3 月 26 日
1959 年 3 月 30 日、「立命館学園新聞」 1959 年 4 月 11 日
- (15) 学術 DB 日本の博士 <https://acaddb.com/dissertations/articles/publishers/>
- (16) 能勢岩吉編 日本博士録 昭和 36 年度 文部省大学課 1962
- (17) 帝国地方行政会 日本博士録 昭和 37 年度・昭和 38 年度・昭和 39 年度
昭和 40 年度 文部省大学学術局大学課 1968
- (18) コモタ株式会社(旧コモタ技研) ニュース 2008
<https://www.comota.co.jp/news/20080731.html>
- (19) 黒田光太郎 私信(2021 年 11 月 12 日付)
- (20) 文部省第七十五年報 昭和二十二年度 380 頁
- (21) 文部省第七十六年報 昭和二十三年度 457,458 頁

バイオスティミュラントによる植物病害の抑制

久保 幹¹⁾、雲川 雄悟¹⁾、東本 繩未¹⁾、荒木 希和子¹⁾

Inhibition of plant disease by bio-stimulant

Motoki Kubo¹⁾, Yugo Kumokawa¹⁾, Kurumi Higashimoto¹⁾, and Kiwako S. Araki¹⁾

In order to compare clubroot disease of *Brassica rapa* between chemical and organic soil environments, chemical and organic soils were prepared by applying chemical fertilizer and organic fertilizer to the same base soil. Significant changes were observed in soil biological properties between chemical and organic soils. Bacterial biomass in the chemical soil and the organic soil were N.D. (below the detection limit) and 7.8×10^8 cells / g-soil, respectively. Disease Index (DI) of clubroot disease was measured in pathogenic chemical and organic soils for the quantitative analysis. DIs at pathogenic chemical soils were higher than those at organic soils. When wood vinegar and *Bacillus subtilis* were used for inhibition of clubroot disease, addition of both bio-stimulants to soil significantly contributed for decreasing DI of clubroot disease.

Keywords; bio-stimulant, plant disease, *Phylolosticta brassicae*, *Bacillus subtilis*, wood vinegar

E-mail: kubo@sk.ritsumei.ac.jp

¹⁾立命館大学大学院生命科学研究科

¹⁾Graduate School of Life Sciences, Ritsumeikan University, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

はじめに

化学肥料と農薬を使う農法（慣行農法）が一般化して70年以上が経過した。近年、連作による植物病害（連作障害）の頻度が徐々に高くなっている。これは慣行農法のため、農地に有機物を投入しなくなり、土壤中の微生物が徐々に減少したこと、植物病原菌に対する拮抗作用の減少が理由の一つであるといわれている（久保 2020）。連作障害の対処方法として、病原菌を駆除するための農薬（土壤熏蒸剤等）が多数開発されてきた。しかししながら農薬の運用により、土壤微生物はさらに少なくなっているのが現状である。

根こぶ病は、原生動物である根こぶ病菌 (*Phyllosticta brassicae*) によって引き起こされる植物病害であり、アブラナ科植物の根に感染し、根にコブを形成する（久保 2020）。根こぶ病は、根に形成されたコブにより、根からの養水分の吸収が妨げられ、植物地上部の発育阻害や枯死を引き起こす。根こぶ病は、根毛感染や皮層感染を経て根が肥大化していく。肥大化した根が腐敗すると、内部から休眠胞子が大量に土壤に放出される生活環である。土壤中に放出された胞子は、長期間生存するため、駆除が厄介な植物病である。この植物病害は、アブラナ科植物の連作により見られる連作障害の一つであり、土壤熏蒸等の農薬処理により防除されている。

本論文では、化学土壤環境と有機土壤環境の違いによる根こぶ病の感染、またバイオスティミュラントの根こぶ病に対する抑制効果について解析を行った。

方法

バイオスティミュラント

木酢液は、大幸薬品（株）（大阪）から譲渡いただいた。*B. subtilis* BN1001は、（株）明治フードマテリア（東京）から譲渡いただいた。木酢液は、根こぶ病病土に0.1%（W/W）および0.5%（W/W）投入した。*B. subtilis* BN1001は、根こぶ病病土に 1×10^5 cells/g-soil、 1×10^6 cells/g-soil、 1×10^7 cells/g-soil、および 1×10^8 cells/g-soilになるように植菌した。

化学土壤、有機土壤、および病土の作製

バーミキュライト（鹿沼興産、栃木）、真砂土（石原、愛知）、黒土（鹿沼興産、栃木）を5：3：2（v/v）で混合したものをベース土壤とし、ベース土壤に化学肥料または有機肥料を施肥したものを化学土壤または有機土壤とした（Pholkaw et al. 2019）。病土は、根こぶ病胞子をそれぞれの土壤に 1.0×10^4 （10,000個）胞子/g-soil、 1.0×10^5 （100,000個）胞子/g-soil、 1.0×10^6 （1,000,000個）胞子/g-soil入れたものを用いた（土壤中に 5.0×10^3 （5,000個）胞子/g-soilの根こぶ病胞子が存在すれば、根こぶ病が発症する）。

植物および植物栽培

Brassica rapa var. *perviridis*（小松菜）はタキイ種苗（京都）から購入した。植物の栽培は、植物育成室（明条件と暗条件：各12 h、温度：23°C）で土壤に定植後4週間行った。水は、含水率が30%になるように適宜与えた。

根こぶ病疾患指数（Disease index）の測定

収穫したコマツナのネコブ病の発病度を以下の5段階で評価した。

Class 0：発症無し

Class 1：側根にのみ小さなコブがある

Class 2：主根に小さなコブがある

Class 3：主根に中～大規模のコブがあり、植物の生育を損なう可能性がある（側根は健在）

Class 4：根が完全に破壊され、植物の成長が影響を受ける（根全体が発病もしくは腐敗）

5段階評価の結果から、以下の計算方法で疾患指数（Disease index；DI）を算出した。

$$DI = \frac{(1n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4)}{4N_t} \times 100$$

($n_1 \sim n_4$ は各クラスの株数を、 N_t は総株数を示す。)

土壤サンプルおよび根からのDNA抽出

土壤サンプル中の細菌のDNA抽出は、Slow-stirring法により行った（Aoshima et al. 2006）。根からの細菌DNAの抽出は、根に付着した土壤を水で洗浄した後、超音波洗浄機で15分間の洗浄を3回行った。その後、75%エタノールに1分間浸し、1%次亜塩素酸ナトリウム溶液に3分間浸した。洗浄した根をすり鉢ですり潰し、土壤と同様の方法でDNAを抽出した。

結果および考察

土壤環境と根こぶ病

化学的な土壤環境と有機的な土壤環境における根こぶ病の発症を解析するため、まず化学土壤および有機土壤の総細菌数を測定した。化学土壤ではN.D.（検出限界以下、 $\leq 6.6 \times 10^6$ 個/g土壤）であり、有機土壤では 7.8×10^8 個/g土壤であった。各土壤に根こぶ病菌を植菌し、そこで生育させた小松菜の根こぶ病感染・発症を解析したところ、化学土壤と有機土壤の両土壤において根こぶ病の感染・発症は認められた。しかしながら、有機土壤は化学土壤と比べると根こぶ病疾患指数は低かった（図1）。これは、化学土壤に比べ有機土壤は、土壤中に棲息する微生物数や種が豊富なため、これらの微生物が根こぶ病菌に対し拮抗的に作用し、根こぶ病の感染を抑制したと考えられた（Pholkaw et al. 2019; Tran et al. 2021）。化学土壤および有機土壤における小松菜の成長は、いずれの土壤環境においても疾患指数が増えるにつれ顕著に低下していた。また、根こぶ病への感染が減少した場合、植物成長が良好であった。これらの結果から、化学土壤から有機土壤に移行することにより、根こぶ病感染とその植物病害による収量低下の抑制が行われると考えられた。

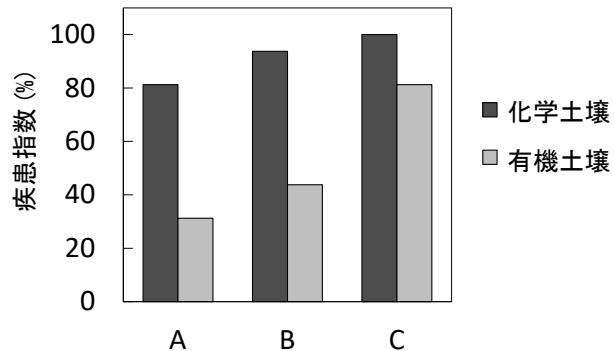


図1 小松菜の根こぶ病疾患指数（病土法、4週間栽培後）

A: 1.0×10^4 胞子/g、B: 1.0×10^5 胞子/g、C: 1.0×10^6 胞子/g

木酢液による根こぶ病の抑制

木酢液は、木材を乾留した際に生じる木煙を冷却して得られる液化物の上澄分であり、炭焼時の副産物として製造されている。一般に、黄～赤褐色から暗褐色の液体でほとんどは水分であるが、アルコール類、カルボニル化合物、フェノール類、そしてフラン類などの化合物が含まれている。また、木材の熱分解成分由来の有機酸が含まれていることから、木酢液は酸性を示す。木酢液は殺菌用の農薬として登録されていたが、登録が失効したため失効農薬となっている。現在は、動物の忌避、害虫対策、土壤改良等の用途で農業資材として販売されている。

天然物由来の木酢液は、古くから経験的に植物病害を抑制する物質として知られていたため、木酢液をバイオスティミュラントとして位置づけ、木酢液が根こぶ病に与える効果を調べた。化学土壌と有機土壌に根こぶ病菌を入れた病土を作製後、木酢液を添加し小松菜を栽培した。

化学土壌（病土）で栽培した小松菜は、根こぶ病菌を接種していない土壌（無接種土壌）で栽培した場合より成長が悪く、地上部重量（収穫量）は減少した。しかし、木酢液の添加により地上部重量は増加に転じ、木酢液の添加量を増やすことによりさらに増加した。根こぶ病疾患指数（DI）を解析したところ、木酢液の添加量に伴い減少した（図2）。

有機土壌でも同様に小松菜を病土で栽培すると、地上部重量は減少したが、木酢液の添加により回復した。また、化学土壌と同様に、木酢液の添加により根こぶ病疾患指数は低下したことから、木酢液の効果が認められた。これらの結果から、木酢液は化学土壌と有機土壌の両方の土壤環境において、根こぶ病の抑制効果があることが判明した（図3）。

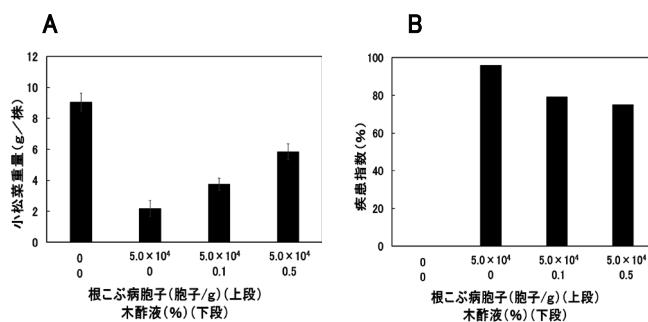


図2 化学土壌における小松菜成長および根こぶ病疾患指数

A: 小松菜成長、B: 疾患指数

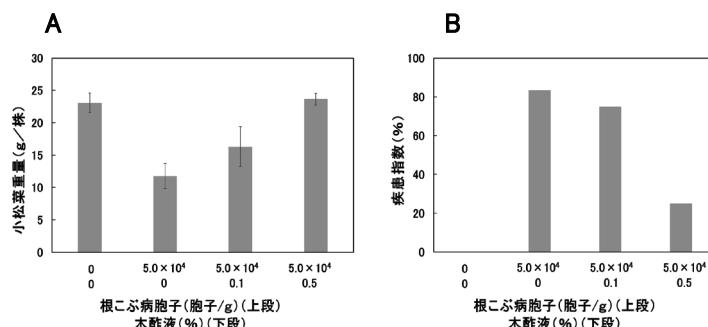


図3 有機土壌における小松菜成長および根こぶ病疾患指数

A: 小松菜成長、B: 疾患指数

Bacillus 属細菌による根こぶ病の抑制

Bacillus 属細菌は、好気的な土壤環境に広く分布し、土壤中の物質循環に寄与している。他の環境微生物との共生関係も可能であり、土壤中の物質循環のリーディング微生物として位置づけられている。*B. subtilis* BN1001による根こぶ病の抑制効果を調べるため、根こぶ病病土に植菌した。化学土壌における根こぶ病疾患指数（DI）

は、BN1001 株の植菌により抑制されていた。有機土壌においても同様の傾向が認められたが、根こぶ病疾患指数はさらに減少していた（表 1）。

表 1 *B. subtilis* NB1001 による根こぶ病抑制

NB1001 株植菌量 (cells/g)	化学土壌 疾患指数 (%)	有機土壌 疾患指数 (%)
なし	42	39
$\times 10^5$	31	12
$\times 10^6$	30	14
$\times 10^7$	22	7

これらの結果から、BN1001 株は化学土壌および有機土壌中において、根こぶ病菌の小松菜への感染を抑える効果があることが明らかとなった。BN1001 株を化学土壌および有機土壌に植菌したことにより、それぞれの土壌内で増殖したことや、BN1001 株が他の土壌微生物を活性化させたため、根こぶ病感染が抑制されたものと考えられた。有機土壌の方がより根こぶ病疾患指数 (DI) が減少していたことから、BN1001 株の生育には有機土壌環境の方が適していると思われた。

木酢液および*Bacillus* 属細菌による根こぶ病の抑制

木酢液と BN1001 株は、それぞれ違うメカニズムで根こぶ病感染を抑制することが考えられた。木酢液と BN1001 株との併用による相乗的な根こぶ病抑制効果を調べるために、根こぶ病病土に BN1001 株を植菌し、さらに木酢液を添加し、これらの併用による根こぶ病の抑制効果を解析した（図 4）。

BN1001 株と木酢液の併用により、化学土壌と有機土壌において、単独で用いた場合と比べ、根こぶ病抑制がより効果的であった。特に、有機土壌では、BN1001 株を 1×10^7 cells/g を植菌し木酢液を 0.5% (W/W) 添加すると、根こぶ病疾患指数が完全に抑えられた。これは、有機土壌中には微生物が多く存在しており、BN1001 株と木酢液を添加することにより、土壌細菌数や種類が増加することにより、根こぶ病抑制につながったものと考えられた。今後、土壌中の細菌数を増やすこと、土壌中の細菌叢を増やすこと、またこれらを適切な有機物管理で維持することで、連作障害を低減することが可能であろう（Kubo 2021）。

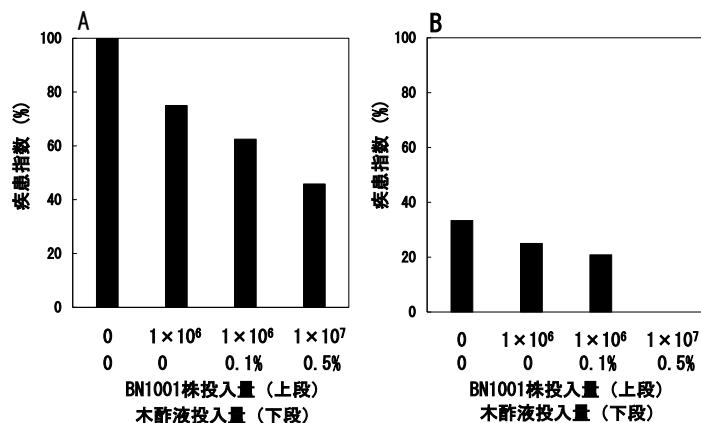


図 4 *Bacillus* 属細菌と木酢液の併用による根こぶ病抑制
A: 化学土壌 B: 有機土壌

引用文献

久保幹 (2020) SOFIX 物質循環型農業－有機農業、減農薬、減化学肥料への指標－. 共立出版.

- Pholkaw P, Muraji A, Maeda K, Kawagoe T, Kubota K, Sanpa S, Tran QT, Kubo M (2019) Utilization of wood biomass for organic soil based on the soil fertility index (SOFIX). *Journal of Agricultural Chemical Environment* 8: 224-236.
- Aoshima H, Kimura A, Shibutani A, Okada C, Matsumiya Y, Kubo M (2006) Evaluation of soil bacterial biomass by environmental DNA extracted by slow-stirring method. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 71: 875-880.
- Tran QT, K, Araki S, Kubo M (2021) An investigation of upland soil fertility from different soil types, *Annals of Agricultural Sciences* 66: 101-108.
- Kubo M, (2021) Suitable soil condition for efficient cultivation of medicinal plant. *Agricultural Biotechnology* 5: 724-727.

北野新池周辺の森林緑地における樹種組成と土壤環境の調査

荒木 希和子¹⁾、連 綾香¹⁾、久保 幹¹⁾

Investigation of forest trees and soil environments surrounding

Kitanoshinike pond in BKC

Kiwako S. Araki¹⁾, Ayaka Muraji¹⁾, Motoki Kubo¹⁾

Environmental changes and decreased species diversity by the abandoned managements of the secondary forests are one of the serious concerns about forest environments. In this study, to evaluate the material circulation and resource value of the secondary forests by clarifying the components and decomposition characteristics, we grasped the current state of the from vegetation surveys and conducted to analyze nutrients of tree leaves and soil in an unmanaged secondary forest. A 20 × 30 m study plot was set up in a remaining green space surrounding Kitanoshinike pond in BKC, Ritsumeikan University. We investigated the composition of trees, nutrient composition of raw and dry tree leaves and soils at the surface (0 cm) and 25 cm in depth. Total 361 individuals of 24 species were found in the study plot, containing 195 (54.0%) evergreen conifers, 115 (31.9%) evergreen broad-leaved trees and 51 (14.1%) deciduous broad-leaved trees. The dominant identified tree species was the evergreen conifer *Pinus densiflora*, followed by *Juniperus rigida* and the evergreen broad-leaved tree *Ilex pedunculosa*. Evergreen conifers were more frequently found than evergreen broad-leaved and deciduous broad-leaved trees in the class with the heights of 8 m and above, but less accounted in the 4 – 8 m class. The average TN of raw leaves was 15,345 mg/kg (8,200 – 29,600 mg/kg), which was higher in deciduous broad-leaved trees. The average TP was 637 mg/kg (246 – 1,081 mg/kg), which was significantly higher in deciduous hardwoods than in evergreen hardwoods. Then, the components of TN, TP, and TK in leaves decreased mostly in deciduous broad-leaved species, followed by evergreen conifers and evergreen broad-leaved ones, during deciduous. The soil was acidic at pH 4.4 (0 cm) and pH 5.5 (25 cm), and nutrients and bacterial biomass were significantly decreased at a depth of 25 cm. Thus, it was confirmed that this forest is characterized as an evergreen coniferous forest dominated by Japanese red pine, which is being replaced by evergreen broad-leaved trees. In addition, as the composition of leaves and its leaching vary depending on the species, it is expected to be used as forest biomass considering the differences in species.

Keywords; forest biomass, forest environments, forest soil, nutrients in leaves

E-mail: kiwakosa@gmail.com (KS Araki)

¹⁾ 立命館大学大学院生命科学研究科

¹⁾ Graduate School of Life Sciences, Ritsumeikan University, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

はじめに

日本は2,508万haの森林面積を有し、国土面積の約3分の2を森林が占める世界有数の森林大国である。日本には気候条件や土壤の違いによって様々な種組成の森林が存在する。また森林は成立過程によって、原生的な状態に保つ原生林（一次林）、伐採などの人間活動の影響下において再生した半原生林（二次林）、木材生産を目的とした人為的な播種や植栽によって造成された人工林に区別される。日本の森林の35%が二次林、41%が人工林であり（林野庁 2021）、大部分が人間との関わりの中でその環境が保たれてきた。特に里山林・雑木林などと呼ばれる二次林は、原生的な自然と都市の中間に位置し、人間が木炭や薪などの燃料や建築資材、食料などの生産地として利活用することを通じて形成されてきた（Washitani 2001；環境省自然環境局 自然環境計画課 2008）。これらの森林では、明るい環境で定着して速く成長し、燃料や骨木として利用されるアカマツやコナラ、クヌギなどが優占し、その環境に特有の動植物の住みかともなっている。

このような森林環境は間伐や落ち葉かきなど人為的に植生管理が行われることによって維持してきた。特に、戦後直後の家庭燃料は木炭や薪が中心であり、建築資材としての需要も高く、木材は生活に欠かせないものであった。しかし、高度経済成長期における電気やガスの普及に伴うエネルギー資源の変化や木材輸入の自由化によって国産材の価格の高騰によりその価値が大きく低下した。さらに、施業従事者の高齢化と人手不足により、十分な施業や利用がされず、環境が維持されていない管理放棄林が増加している。近年では、特に天然林由来の広葉樹の木材利用が大きく減少する傾向にある（林野庁 2021）。

管理放棄された森林では、樹木が無秩序に成長を続けることで過密化する。過密化し混みあつた森林では光合成がままならず、樹木同士がお互いの成長を阻害し、やがて樹木が瘦せて森林の健全性が低下する。結果として、水源かん養機能や土壤保全機能など森林のもつ機能が低下する。また、過密化に伴う光条件の悪化による下層植生の衰退や、過剰な落葉落枝の堆積による土壤の富栄養化が引き起こされ、生物層の単純化および生物多様性の低下が懸念される（Kato and Yachi 2003）。このような森林の管理放棄による生物多様性の減少や、森林の持つ機能および健全性の低下が問題となっており、森林の現状を把握した上で、適切な管理・利用が求められている。生物多様性の保全および持続可能な利用に関する基本計画として、生物多様性基本法に基づいて政府が平成22年に策定した生物多様性国家戦略 2012-2020 では、里山林の管理放棄は生物多様性の危機として認識されている（環境省 2012）。一旦、人の手が加えられた自然環境では、人の手による管理の継続が不可欠であるためである。

1993年に日本を含む12カ国で採択されたモントリオールプロセスは、持続可能な森林管理の推進を目的として、森林の状態を把握するための国際的な基準・指標である（Montréal Process Liaison Office 2015）。本研究では、生物多様性や森林生態系の健全性について把握するため、森林が形成する物質循環特性に着目した。森林では、樹木の落葉が樹木の成長に必要な窒素、リン、カリウムなどの栄養源として働いており、植物や微生物などの生物と、それらを取り巻く土壤や水などの環境の間で物質循環が存在する（柴田 2018）。森林に生育する樹木が異なれば、循環の程度も変化する。実際、優占樹種が異なる森林では、それらのリターの成分含有量が土壤の化学性に与える影響や、それに伴う土壤中の微生物群構造や活性の変化および落葉落枝の分解速度が異なることが報告されている（Vesterdal et al. 2012；Jagadamma et al. 2014；Garthia-Bongoetxea et al. 2016）。したがって、森林の物質循環を適切に維持することで、生物多様性や健全性を高められることが期待できる。森林生態系内における物質循環では、植物成長に必要な窒素、リン、カリウムといった養分は植物の根によって土壤から吸収され、植物の落葉落枝として土壤に還元される。落葉落枝に含まれる有機物は、土壤微生物による分解を経て、無機物として土壤中に蓄積され、再び植物に吸収される。したがって、森林の物質循環を理解する上で、落葉（リターフォール）の挙動は極めて重要である。樹木の葉は、一般的に枝や幹といった他の器官よりも養分濃度が高く、樹木の成長過程や立地環境に大きく影響を受けることから、植物個体および森林全体の栄養状態を把握できると考えられている。そこで、森林の状態を把握するための毎木調査に加えて、森林から生産される樹木の葉の養分濃度と土壤環境を統合的に解析することで、森林の物質循環を把握することを考えた。

本研究では、管理放棄林の自然環境を改善することを目指して、管理が行われていない二次林の植生調査および土壤分析から調査林の現状を把握すること、また構成樹種の樹木葉の成分と分解特性を明らかにすることによって、この林の物質循環および資源価値を評価することを目的とした。

方 法

調査地と調査区の概要

本研究では、立命館大学びわこ・くさつキャンパス (BKC) 内の北野新池の周囲に存在する二次林を調査地とした。BKC (東経 135 度 57 分、北緯 34 度 58 分) は滋賀県南部の大津市と草津市にまたがる瀬田丘陵に位置している。瀬田丘陵は燃料の採取地やマツタケ山として 1950 年代まで里山利用がされてきた。しかし、1994 年の BKC 建設時から残存緑地の管理が行われておらず、現在は管理放棄林となっている。林内には倒木したアカマツが見られ、薄暗い印象を受ける。2016 年 7 月に、緑地内に 20 × 30 m の調査区を設置した。

植生調査

調査区内に生育する樹木のうち、胸高周囲長（地上から高さ 1.3 m における幹の周囲長）20 cm 以上の樹木を対象としてナンバリングし、毎木調査を行った。2016 年 7 月から 2017 年 2 月にかけてナンバリングした樹木の樹種の同定、位置の測量、樹高および胸高直径の測定を実施した。また、樹高および胸高直径を測定した樹木について、以下の式 (1)、(2) を用いて地上部現存量（バイオマス量）を推定した。

$$\text{【広葉樹の場合】 } W_T = 0.0304 (D_{0.1}^2 H)^{0.979} \\ D_{0.1} = 1.45 D^{0.862} \quad \dots \quad (1)$$

$$\text{【針葉樹の場合】 } W_T = 0.0112 (D_{0.1}^2 H)^{1.07} \\ D_{0.1} = 0.934 D^{1.05} \quad \dots \quad (2)$$

W_T : 地上部現存量, D : 胸高直径, $D_{0.1}$: 胸高直径の 10 分の 1, H : 樹高

樹木葉の成分分析

調査区に生育する樹木より、樹木葉を森林バイオマスとして 20 種の生葉および 18 種の落葉を採取した。葉サンプルを 60 °C の乾燥機（ヤマト科学、SH400）で 24 時間乾燥させた後、ミキサー（東京ユニコム、MMK-2001）で粉末にしたもの用いて OQI 分析を行った。有機資材品質指標（Organic material Quality Index, OQI）は、有機資材の品質を評価するための指標である（久保 2017）。葉サンプル中の全炭素濃度 (TC)、全窒素濃度 (TN)、全リン濃度 (TP)、全カリウム濃度 (TK)、C/N 比、アンモニア態窒素濃度 ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$)、硝酸態窒素濃度 ($\text{NO}_3^- \text{-N}$)、水溶性リン酸濃度 (S-P)、水溶性カリウム濃度 (S-K) の全 9 項目の成分含有量を分析した。

TC は全有機炭素分析装置（島津製作所、SSM-5000A）および全有体炭素計（島津製作所、TOC-V）を使用し、680 °C で燃焼して葉 1 g 当たりの全有機体炭素量を計測した。次に、TN、TP、TK の定量はケルダール分解装置（グルハルトジャパン、ケルダーム KB20S）にて成分を抽出した溶液を用いて行った。抽出の前処理として葉の粉末を 0.5 g と硫酸銅 (II) 五水和物 0.5 g を加え、濃硫酸および過酸化水素水をそれぞれ 5 mL 加えた。ケルダール分解装置にセットし、420 °C で 1.5 時間加熱した。室温まで放冷後、蒸留水を加えて水溶液を濾過し、ろ液を 100 mL に希釈したものを全分解溶液とした。全分解溶液を試料として、インドフェノール青法により TN、モリブデン青法により TP、原子吸光光度計（日立ハイテクノロジーズ、Z-3000）により TK をそれぞれ定量した。 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ と $\text{NO}_3^- \text{-N}$ は 1.0 M KCl で溶出後、インドフェノール青法とブルシン法でそれぞれ定量した。S-P と S-K は蒸留水で溶出後、モリブデン青法と原子吸光光度計によりそれぞれ定量した。詳細な方法は Adhikari et al. (2014) にしたがった。

土壤の成分分析

調査区内における植生が異なる 2 地点の表層部（深度 0 cm）および下層部（深度 25 cm）より土壤を採取した。これらの土壤を 5 mm のふるいを通して試料とし、樹木葉と同様の手順で TC、TN、TP、TK の測定を行った。また土壤中の総細菌数を Aoshima et al. (2006) にしたがって定量するとともに、pH 計（堀場製作所、F-72）により pH の測定を行った。

結果

森林の樹種構成とバイオマス量

北野新池周辺の二次林に設置した調査区 20 × 30 m 内で確認された胸高周囲長 20 cm 以上の樹木は、24 種 361 本であった。そのうち、常緑針葉樹 2 種 195 本 (54.0%)、常緑広葉樹 13 種 115 本 (31.9%)、落葉広葉樹 9 種 51 本 (14.1%) であった（表 1）。最も多く確認された樹種は常緑針葉樹のアカマツ (*Pinus densiflora*) であり、全体の 33.8% を占めていた。ついで、常緑針葉樹であるネズ (*Juniperus rigida*) が 20.2%、常緑広葉樹であるソヨゴ (*Ilex pedunculosa*) が 15.0%、ヒサカキ (*Eurya japonica*) が 7.2% であった。よってこの林はアカマツ、ネズ、ソヨゴの 3 樹種が優占する針広混交林となっていた。調査区内で樹木の位置を見ると、全体的にアカマツ、ネズが不均一に分布しており、ソヨゴやヤマザクラは樹木が密集していない位置に多く分布していた。一方、大径木のアカマツ、ネズの近傍隣接にはヒサカキが多く見られた（図 1）。これは、ソヨゴやヤマザクラは日照を好む陽樹であるのに対し、ヒサカキは光の要求性が低く、日照の少ないところでも生育できる陰樹であることから、アカマツやネズの樹冠下でも成長したと考えられる。また、調査区全体の樹木の現存量は約 1,700 t と推定された。このうち、常緑針葉樹が 1,247 t であり、全体の 54.0 % を占めていた（表 1）。したがって、調査地における樹木のバイオマス量は、常緑針葉樹が最も大きいことがわかった。樹木 1 本あたりの現存量に換算すると、常緑針葉樹が 10.5 t、常緑広葉樹、落葉広葉樹が共に 4.2 t であり、個体当たりのバイオマス量も常緑針葉樹で大きかった。

表 1. 調査区内的樹木の本数、割合および現存量。

分類	本数 (本)	割合 (%)	現存量 (t)	1 本あたりの 現存量 (t)
常緑針葉樹	195	54.0	1,247	10.5
常緑広葉樹	115	31.9	337	4.2
落葉広葉樹	51	14.1	105	4.2
合計	361	100	1,689	—

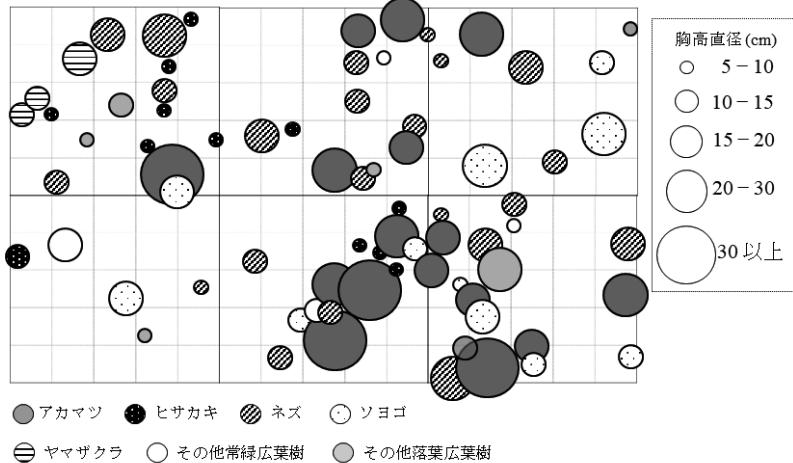


図 1. 調査区内的樹種ごとの個体の空間分布。円の大きさが胸高直径、色が樹種を示す。

樹木のサイズ構造

全樹種での樹高の平均値は 9.16 m であった。また優占する樹種の樹高はアカマツで平均 10.6 m、ネズで 9.7 cm、ソヨゴで 8.8 cm であった。樹高の頻度分布では 8–10 m のサイズクラスの頻度が最も高く、樹高 6 m 以下のクラスの頻度は極めて低かった（図 2）。樹高 8 m 以上のクラスでは常緑針葉樹が常緑広葉樹、落葉広葉樹よりも高い

割合を占めていたが、樹高4–8 mでは、常緑広葉樹の割合が高くなっていた。胸高直径は全樹種での平均が15.2 cmであり、ヤマザクラの48.4 cmが最大だった。また優占樹種の平均値はアカマツ21.8 cm、ネズ11.8 cm、ソヨゴ15.0 cmであった。アカマツでは15–20 cm、ネズでは10–15 cm、ソヨゴでは10–15と15–20 cmのサイズ

クラスが最も高頻度であった(図3)。のことから、現在高木層を占めているアカマツやネズなどの常緑針葉樹では次世代を担う個体の更新が滞っており、今後これらが衰退してソヨゴやヒサカキをはじめする亜高木や低木の樹種に置き換わっていく可能性が

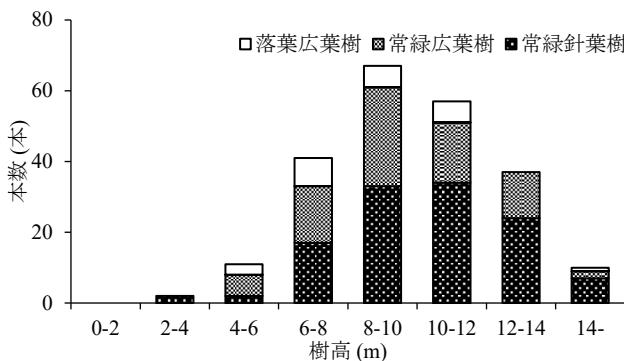


図2. 調査区内に生育する樹木の樹高の頻度分布。常緑針葉樹・常緑広葉樹・落葉広葉樹の樹木数を示す。

考えられる。

樹木葉の成分特性

樹木葉(生葉)の有機態成分量および無機態成分量は樹種によって異なっていた。有機態成分量のTCの平均は444,150 mg/kgであり、最も高かった樹種はヤマモモ(495,000 mg/kg)、最も低かった樹種はカキノキ(390,000 mg/kg)であった。TCはヤマモモやソヨゴをはじめとした常緑広葉樹では、カキノキやネジキを含む落葉広葉樹より高い傾向にあった。TNの平均は15,345 mg/kgであり、最も高かった樹種はカラスザンショウ(29,600 mg/kg)、最も低かった樹種はネズ(8,200 mg/kg)であった。また落葉広葉樹ではTNがその他の樹木より有意に高かった($p < 0.05$)。TPの平均は637 mg/kgであり、最も高かった樹種はカラスザンショウ(1,081 mg/kg)、最も低かった樹種はヤマモモ(246 mg/kg)であった。またTPは落葉広葉樹で常緑広葉樹より有意に高かった($p < 0.05$)。TKは9,300–64,000 mg/kgと濃度が樹種間で大きく異なり、アカマツやネズなど常緑針葉樹ではTKが低い傾向がみられたが、有意な違いは認められなかった。

樹木葉(生葉)の無機態成分量について、NH₄⁺-Nの平均は107 mg/kgであり、最も高かった樹種はイヌツゲ(373 mg/kg)であった。また、シャシャンボ、ネズでは検出できなかった。NO₃-Nの平均は908 mg/kgであり、最も高かった樹種はヒサカキ(2,368 mg/kg)、最も低かった樹種はカキノキ(224 mg/kg)であった。S-Pの平均は192 mg/kgであり、最も高

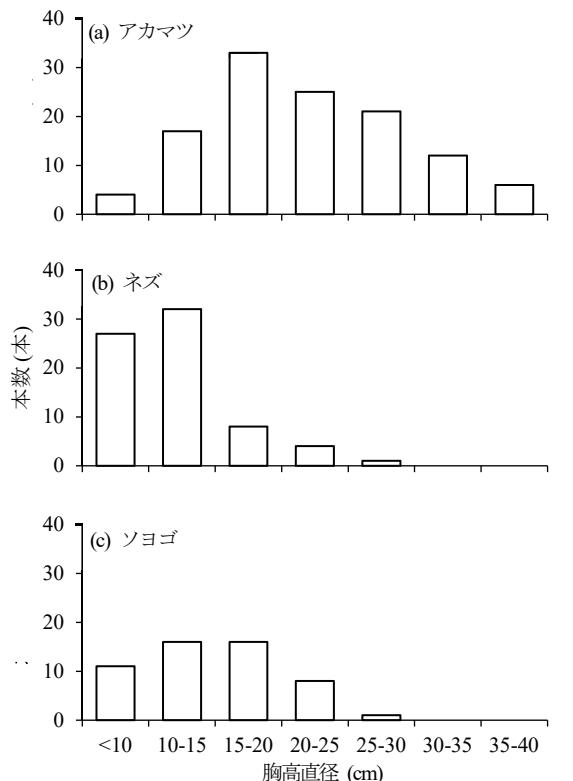


図3. 調査区内に優占する3樹種の胸高直径の頻度分布。アカマツ(a)、ネズ(b)、ソヨゴ(c)の各階級での樹木数を示す。

表2. 樹木の生葉の成分量。平均(±標準偏差)

分類	TC (mg/kg)	TN (mg/kg)	TP (mg/kg)	TK (mg/kg)
常緑針葉樹 (n=2)	447,500 (±4,500)	10,700 (±2,500)	800 (±97)	15,900 (±4,200)
常緑広葉樹 (n=10)	455,300 (±27,500)	13,400 (±3,000)	510 (±170)	25,900 (±11,900)
落葉広葉樹 (n=8)	429,400 (±25,000)	19,000 (±4,300)	750 (±150)	27,600 (±15,000)

かった樹種はカラスザンショウ (382 mg/kg)、最も低かった樹種はネズ (8 mg/kg) であった。S-K の平均は 14,330 mg/kg であり、最も高かった樹種はカキノキ (33,000 mg/kg)、最も低かった樹種はネズ (4,600 mg/kg) であった。

樹木葉（落葉）の有機態成分量について、TC の平均は 456,889 mg/kg であり、アカマツ、イヌツゲで最も高い値 (504,000 mg/kg) を示し、最も低かった樹種はモチノキ (390,000 mg/kg) であった。TN の平均は 9,650 mg/kg であり、最も高かった樹種はシャシャンボ (15,000 mg/kg)、最も低かった樹種はアカガシ (5,200 mg/kg) であった。TP の平均は 317 mg/kg であり、最も高かった樹種はシャシャンボ (545 mg/kg)、最も低かった樹種はミツバウツギ (116 mg/kg) であった。TK の平均は 9317 mg/kg であり、最も高かった樹種はアカガシ (28,600 mg/kg)、最も低かった樹種はネジキ (4,700 mg/kg) であった。

無機態成分量について、NH₄⁺-N の平均は 230 mg/kg であり、最も高かった樹種はクヌギ (2,261 mg/kg)、最も低かった樹種はシャシャンボ (20 mg/kg) であった。NO₃-N の平均は 238 mg/kg であり、最も高かった樹種はイヌツゲ (722 mg/kg) であった。また、カラスザンショウ、ミツバウツギでは検出できなかった。S-P の平均は 55 mg/kg であり、最も高かった樹種はシャシャンボ (102 mg/kg)、最も低かった樹種はサカキおよびモチノキ (5 mg/kg) であった。S-K の平均は 3,694 mg/kg であり、最も高かった樹種はアカガシ (10,200 mg/kg)、最も低かった樹種はネジキ (800 mg/kg) であった。

樹木葉の成分動態

森林樹木の生葉と落葉の成分を比較すると、各樹種の TC は落葉の方がわずかに増加する傾向がみられたが、すべての樹種において大きな変化は見られなかった（図 4a）。一方、TN はヤマモモとツバキ以外の樹種で落葉になると減少した。最も TN が減少した樹種はカラスザンショウであり、生葉は 29,600 mg/kg であったのに対し、落葉は 10,300 mg/kg となり 65 % 減少した（図 4b）。また TP と TK は、すべての樹種で落葉になると減少した。最も TP が減少した樹種はミツバウツギであり、生葉は 693 mg/kg であるのに対し、落葉では 116 mg/kg となり 83 % 減少した（図 4c）。最も TK が減少した樹種はカラスザンショウであり、生葉は 27,300 mg/kg であるのに対し、落葉は 5,100 mg/kg となり 81 % 減少した（図 4d）。よって、樹木葉に含まれる窒素、リンおよびカリウムの成分は、枝から脱落してリターになる過程で樹木によって吸収され、その後土壤へ溶脱するが、その減少量は樹種によって顕著に異なることが確認された。

分類群別にみると、TN の減少は常緑広葉樹で平均 34.8 %、常緑針葉樹で 44.9 %、落葉広葉樹で 45.3 % であった。TP の減少は常緑広葉樹で平均 34.6 %、常緑針葉樹で 53.6 %、落葉広葉樹で 58.3 % であった。TK の減少は常緑広葉樹で平均 49.2 %、常緑針葉樹で 58.3 %、落葉広葉樹で 70.3 % であった。ゆえに TN、TP、TK すべてにおいて落葉広葉樹 > 常緑針葉樹 > 常緑広葉樹の順に落葉になる過程での成分量の減少が大きいことがわかった。

森林土壤の成分特性

調査区の土壤は、深度 0 cm で pH 4.4、深度 25 cm で pH 5.5 といずれも酸性を示した。土壤成分量に関して、深度 0 cm および 25 cm の成分濃度を比較すると、深度 25 cm において TC、TN、TP は著しく減少し、TC では表層の 5%、TN では 10% であった（表 3）。また、深度 0 cm における総細菌数は 3.9×10^8 cells/g、深度 25 cm における総細菌数は検出限界 (6.6×10^6 cells/g) 以下であり、土壤細菌は表層 (A0 層) に集中して存在していることがわかった。

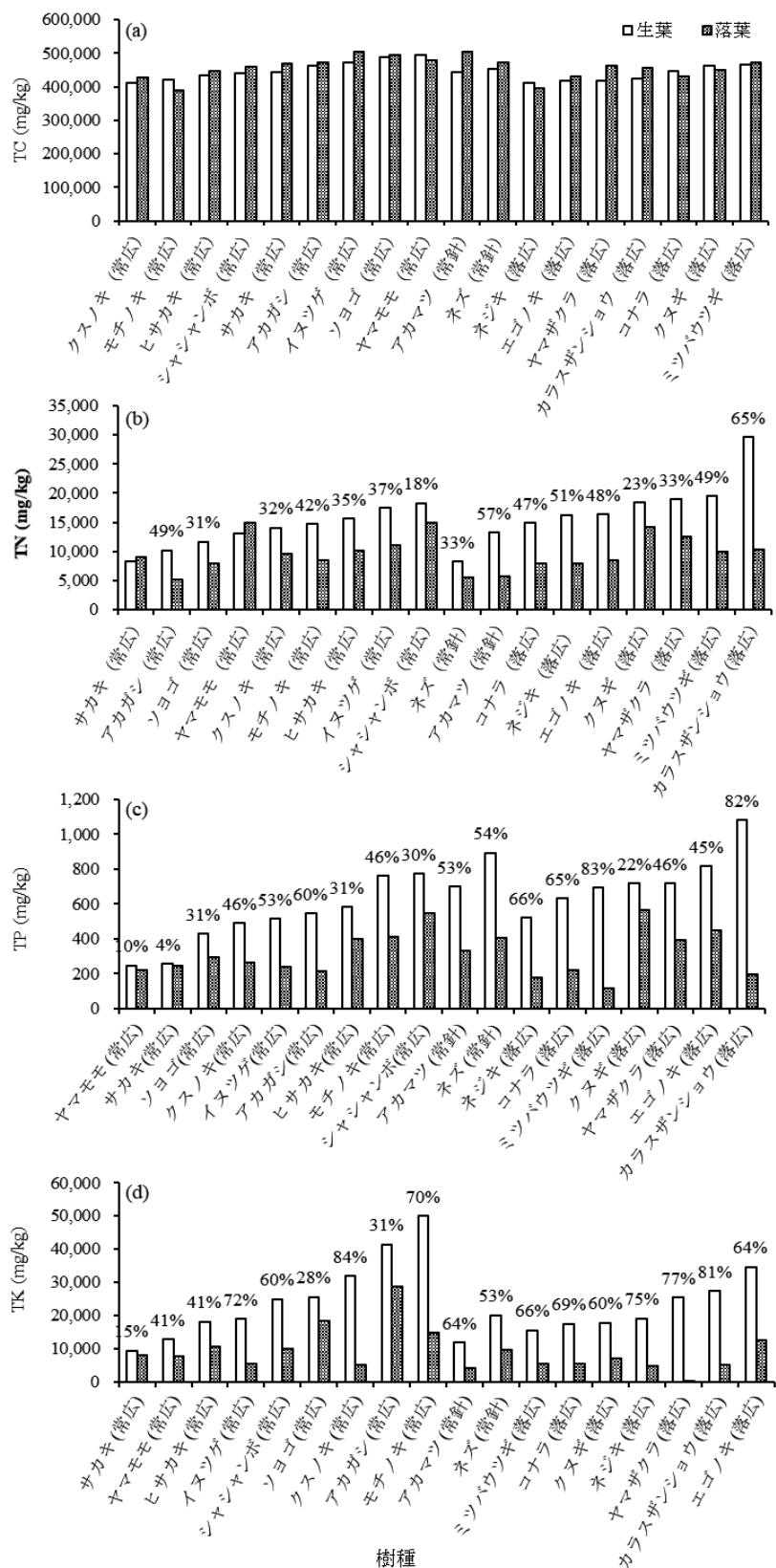


図4. 主要樹種の樹木葉（生葉と落葉）の成分量。それぞれ樹種と分類群（常針：常緑針葉樹、常広：常緑広葉樹、落広：落葉広葉樹）について、TC (a)、TN (b)、TP (c)、TK (d) の成分量、ならびに生葉から落葉への減少量 (%) を示す。

表3. 調査区内の土壤成分量、総細菌数およびpH。

土壤深度	TC (mg/kg)	TN (mg/kg)	TP (mg/kg)	TK (mg/kg)	総細菌数 ($\times 10^8$ cells/g)	pH
0 cm	32,400	3,000	180	11,400	3.9	4.4
25 cm	1,800	390	80	10,460	n. d.	5.5

n. d. = not detected (6.6×10^6 cells/g 以下)

考 察

森林の樹種構成

BKC 内の北野新池の周囲に存在する二次林には、常緑針葉樹 2 種、常緑広葉樹 13 種、落葉広葉樹 9 種の計 24 樹種の生育が確認された。内訳では、常緑針葉樹であるアカマツが全体の 33.8%を占め、ついで常緑針葉樹であるネズ (20.2%)、常緑広葉樹であるソヨゴ (15.0%) が多く見られた。アカマツが優占してネズが混生する林は、アカマツ-ネズ群落の低木一小高木林として常緑針葉樹二次林の一つの植生に区分される (環境省自然環境局, <http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-016.html>)。この群落は乾燥しやすく貧栄養な土地にしばし見られる。ソヨゴも乾燥した貧栄養な土壤でも生育しやすく、マツが枯れた後の更新種の一つとして知られていることから、遷移が進行してソヨゴなどの樹種が侵入してきたことが示唆される。また林内ではアカマツに加えて、農用林として利用されていた二次林 (雑木林) で一般的に見られるコナラやクヌギも見られた。

樹木のサイズ構成では、優占 3 樹種の胸高直径分布では、小径木の頻度が低く大径木化が見られたことと、樹高 8 m 以上の樹木が全体の 79.6%と大半を占めていたことから (図 2, 3)、次世代を担う個体が少なく安定した個体群構造をとっていないことがわかった。また、樹高 4–8 m の階級では、常緑広葉樹であるヒサカキやソヨゴが多数見られ、常緑広葉樹および落葉広葉樹の占める割合が常緑針葉樹よりも高くなっていた。ヒサカキやソヨゴはいずれも鳥被食型散布樹種で耐陰性が高い樹種であり、林が周囲の森林から分断されて孤立化するこのような散布力の強い鳥散布型の樹種が侵入しやすくなることが指摘されている (達・大澤 1992; 平山ほか 2010; 東ほか 2014)。このような森林では限られた樹種の定着により生物多様性的低下が懸念される。ゆえに、北野新池周囲の森林では優占樹種の更新が滞っており、常緑針葉樹の高木種が衰退し、常緑広葉樹の亜高木や低木種の林へ遷移する過程であることが示唆される。優占樹種の更新を促進するためには、間伐などの里山管理によって、林床の光環境を改善するなどの措置が必要であると考えられる (環境省自然環境局 2008; 森林総合研究所関西支所 2014)。滋賀県内でも 201,500 ha の森林全体のうち天然林は 109.300 ha (54%) であり、その中でも 15.900 ha もの蓄積があることが報告されており (滋賀県 2021)、適切な森林管理が求められている。

森林バイオマスの成分特性

樹木葉 (生葉) のOQI分析の結果から、TC は常緑広葉樹 > 常緑針葉樹 > 落葉広葉樹 の順で高く、TN は落葉広葉樹 > 常緑広葉樹 > 常緑針葉樹、TP は落葉広葉樹 > 常緑針葉樹 > 常緑広葉樹の順で高かった (表 2)。このことから、樹木葉に含まれる有機成分濃度は分類群によって異なることが確認された。34 種の草本植物の有機態成分濃度 (TC = 451,000 mg/kg, TN = 21,000 mg/kg, TP = 1,500 mg/kg, C/N = 35) および有機栽培されたトマトの葉 (TC = 358,000 mg/kg, TN = 64,000 mg/kg, TP = 8,700 mg/kg, C/N = 6, 大野 2016) と比較すると、樹木葉 (生葉) 20 種の TC は 444,000 mg/kg であり、野生の草本種に近い成分濃度であった。一方、TP の平均は 637 mg/kg であり、草本バイオマスや有機トマトの葉と比べて極端に低いことがわかった。このことから、森林内で樹木の落葉によって供給されるリン量が非常に低いと考えられる。また森林バイオマスは、リン以外の成分供給資材となりえるといえる。

また生葉と落葉の成分を比較すると、TC はほとんど変化がなかったのに対し、TN、TP、TK は落葉になると

減少した。これらの成分濃度の減少は、落葉広葉樹 > 常緑針葉樹 > 常緑広葉樹の順で大きかった（図4）。落葉での減少が大きい種では、成分が落葉になるまでに吸収され、腐食の過程で養分が溶脱しやすいことを意味する。落葉広葉樹は生葉中のTN、TPが高く、落葉での成分濃度の減少が最も大きかったことから、森林バイオマスの中では利用しやすい樹種であることが確認された。一方で、常緑広葉樹は落葉になつても成分が保持され、腐食しにくいことから、過剰な蓄積は物質循環を妨げることが懸念される。

森林土壤と物質循環

調査地の土壤分析から、深度0cmおよび25cmについてそれぞれ比較すると、深度25cmにおいてTC、TN、TPおよび総細菌数が顕著に減少し、土壤成分および土壤微生物は森林の表層に集中して存在することがわかつた（表3）。そして土壤は深度に関わらず酸性を示していた。森林土壤における有機物の分解速度が速い場合、土壤表層に養分が集中し、土壤深部は貧栄養になる（喜多ほか 2009；柴田 2018）。また、土壤中の炭素基質の形態は深さによって異なり、それに伴って微生物群集の構造が異なることが知られている（Michel et al. 2011；Moll et al. 2015）。よつて、調査地の森林では、表層土壤における落葉の急速な分解によって生成された有機酸が蓄積しており、それらの土壤深部への流亡によって酸性土壤を形成していると考えられる。また過剰に落葉が蓄積した表層土壤に微生物が集中することで、土壤深部の有機物を分解する土壤微生物が存在せず、土壤深部が貧栄養になつていると考えられる。

樹木植生と微生物および土壤環境は、森林の物質循環に関わる主要な要素であり、植生や森林管理の違いが物質循環に大きく影響する（大場 2018）。徳地ほか（2010）は、竹林の拡大が林内の窒素循環を変化させることを示している。また管理放棄により表層土壤の硝酸イオン濃度や電気伝導度が上昇し、林床植物の多様性が低下する傾向も見られている（加藤・谷内 2003）。

北野新池周辺の二次林では、林冠が閉じて鬱蒼とした環境になつてゐることに加え、立ち枯れした樹木や落枝も多くみられる。土壤の酸性化によって微生物数の減少および微生物活性が低下し、森林土壤における物質循環の停滞が引き起こされていることが推察される。しかし、土壤環境を適切な状態に改善することで、物質循環が改善することが期待される。

引用文献

- Adhikari D, Kai T, Mukai M, Araki KS, Kubo M (2014) Proposal for a new soil fertility index (SOFIX) for organic agriculture and construction of a SOFIX database for agricultural fields. Current Topics in Biotechnology, 8: 81-91.
- 東 若菜, 岩崎 純子, 杉 祥広, 石井 弘明 (2014) 照葉樹林および耕作地に隣接する管理放棄された落葉広葉樹二次林の林分構造の変化. 日本森林学会誌, 96: 75-82.
- Garthia-Bengoetxea N, Kandeler E, Arano IM, Arias-Gonzalez A (2016) Soil microbial functional activity is governed by a combination of tree species composition and soil properties in temperate forests. Applied Soil Ecology, 264: 185-196.
- Jagadamma S, Mayes MA, Steinweg JM, Schaeffer SM (2014) Substrate quality alters the microbial mineralization of added substrate and soil organic carbon. Biogeosciences, 11: 4665-4678.
- Katoh K, Sakai S, Takahashi T (2009) Factors maintaining species diversity in satoyama, a traditional agricultural landscape of Japan. Biological Conservation, 142: 1930-1936.
- 加藤 和弘, 谷内 麻衣子 (2003) 里山林の植生管理と植物の種多様性および土壤の化学性の関係, 日本造園学会誌, 66: 521-524
- 環境省自然環境局自然環境計画課 (2008) 里地里山保全再生計画作成の手引き.
<https://www.env.go.jp/nature/satoyama/tebiki.html>
- 環境省 (2012) 生物多様性国家戦略 2012-2020～豊かな自然共生社会の実現に向けたロードマップ～. 環境省

- [https://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/initiatives/files/2012-2020/01_honbun.pdf.](https://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/initiatives/files/2012-2020/01_honbun.pdf)
- 喜多 智, 潮 雅之, 今井 伸夫, 北山 兼弘 (2009) 热帯低地林土壤分解系の微生物群集と活性の関係-マレーシア・サバ州の伐採強度が異なる森林間での比較-. 第 120 回日本森林学会大会要旨集, D21.
- 久保 幹 (2017) 土壤づくりのサイエンス. 誠文堂新光社.
- Michel HM, Williams MA (2011) Soil habitat and horizon properties impact bacterial diversity and composition. *Soil Science Society of America Journal*, 75: 1440-1448.
- Moll J, Goldmann K, Kramer S, Hempel S, Kandeler E, Marhan S, Ruess L, Kruger D, Buscot F (2015) Resource type and availability regulate fungal communities along arable soil profiles. *Microbial Ecology*, 70: 390-399.
- 大場 真 (2018) 物質循環モデルと森林施業の影響.森林科学シリーズ8：森林と物質循環. (柴田英昭 編) 146-194, 共立出版 (株), 東京.
- 大野 里英 (2016) 草本バイオマスの解析とエネルギー生産への応用. 立命館大学生命科学部 卒業研究.
- 大住 克博, 奥 敬一, 黒田 慶子 (2014) 第3期中期計画成果11 (森林・林業再生-3) 里山管理を始めよう～持続的な利用のための手帳～. 独立行政法人 森林総合研究所 関西支所.
- https://www.ffpri.affrc.go.jp/fsm/research/pubs/documents/satoyamakanri_201402.pdf
- 林野庁 (2021) 令和2年度 森林・林業白書：令和2年度森林及び林業の動向・令和3年度森林及び林業施策. 農林水産省林野庁 <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/R2hakusyo/attach/pdf/zenbun-64.pdf>
- 滋賀県琵琶湖環境部森林政策課 (2021) 滋賀県森林・林業統計要覧 令和2年度. 滋賀県琵琶湖環境部森林政策課.
- <https://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/5284647.pdf>
- 柴田英昭 (編) (2018) 森林科学シリーズ7：森林と土壤. 共立出版 (株), 東京.
- 達 良俊, 大澤 雅彦 (1992) 都市景観域における放棄アカマツ植林の二次遷移とアカマツ一斉枯死による影響. 日本国際会議誌, 42: 81-93.
- Montréal Process Liaison Office (2015) The montréal process: Criteria and indicators for the conservation and sustainable management of temperate and boreal forests. 5th edition, 12-16.
- 徳地 直子, 臼井 伸章, 上田 実希, 福島 慶太郎 (2010) 里山の植生変化と物質循環：竹林拡大に関する天王山における事例. 水利科学, 312: 90-103.
- Vesterdal L, Elberling B, Christiansen JR, Callesen I, Schmidt IK (2012) Soil respiration and rates of soil carbon turnover differ among six common European tree species. *Forest Ecology and Management*, 264: 185-196.
- Washitani I (2001) Traditional sustainable ecosystem “SATOYAMA” and biodiversity crisis in Japan: conservation ecological perspectives. *Global Environmental Research*, 5: 119-133.

琵琶湖南湖と瀬田川におけるシジミ類の生息状況と生息環境

庄司 知広¹⁾、荒木 希和子¹⁾、久保 幹¹⁾

The study of populations and habitat environments of freshwater clams,

Corbicula sp. in Lake Biwa

Tomohiro Shoji¹⁾, Kiwako S. Araki¹⁾, Motoki Kubo¹⁾

In recent years, the number of freshwater clams, *Corbicula* sp. including *Corbicula sandai*, an endemic clam living in Lake Biwa decreased because of such human activities as over harvest, water pollution and bank protection work. While much effort has been made to recover populations of *Corbicula* sp., the number is still low. For restoring populations of the freshwater clams, therefore, this study was performed to assess the living condition containing the number and habitat environments of clams in Lake Biwa. The qualities of water and sediments in addition to the number of clams were monitored at eight points around the southern part of Lake Biwa and Seta-gawa River in 2018. The number of clams increased from spring to summer. The amount has been the highest at the middle points (offshore) and lower at the downstream area. The total carbon (TC), total nitrogen (TN), bacterial biomass and water content in the sediment were higher at the middle (shore) and downstream points. In the study area, the parameters of the water quality such as COD, total organic carbon (TOC), TN and TP were higher than the criteria levels. Especially, TN and TP in water were higher at the middle (shore) and downstream areas. The middle points (offshore) containing the most clams consisted of sand gravel with $5,200 \pm 2,100$ mg/kg of TC, 590 ± 310 mg/kg of TN, 260 ± 90 mg/kg of TP, $29 \pm 12.7\%$ of water content and $(3.9 \pm 2.2) \times 10^8$ cells/g of bacterial biomass, which were intermediate environments among study points. Thus, it would be important for the habitat of freshwater clams to maintain the sediment environment that contains organic matter but does not accumulate excessively. As environmental improvements seem not to be effective yet, the environment suitable for the habitat of clams is quite limited from the southern part of Lake Biwa and Seta-gawa River. In order to increase the population of *C. sandai*, it is necessary to continue the countermeasure improving the habitat environment this area.

Keywords; aquatic resource, conservation, *Corbicula* sp, endangered species, sediment

E-mail: kiwakosa@gmail.com (KS Araki)

¹⁾ 立命館大学大学院生命科学研究科

¹⁾ Graduate School of Life Sciences, Ritsumeikan University, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

はじめに

日本で最も大きな湖である琵琶湖には、約 1,100 種の動植物が生息している。また、約 440 万年の歴史をもつ古代湖として隔離され、独自の進化を遂げたセタシジミやビワマスなどの 60 種を超える固有種が見られる (Tabata et al. 2016; 滋賀県琵琶湖環境部環境政策課 2019)。琵琶湖に生息しているシジミ類には、セタシジミ、マシジミがある。その中でも琵琶湖とその唯一の流出河川である瀬田川に固有のシジミであるセタシジミ *Corbicula sandai Reinhardt* は、淡水性で水深 10–15 m 以浅の浅瀬のところに生息している (林ほか 1966; 滋賀県農政水産部水産課 2018a)。セタシジミは縄文時代から琵琶湖漁業の主要産品であり、1954 年から 1959 年までは年間 5,000 t 以上の漁獲量があった (滋賀県教育委員会・滋賀県文化財保護協会 1997; 滋賀県農政水産部水産課 2018a, b)。しかし、シジミ類の漁獲量は 1957 年の 6,072 t をピークに 1965 年から 1975 年にその半分以下に激減し、その後も減少し続けた。現在は漁獲量が 100 t 未満で推移し、2011 年には 22 t と最盛期の約 1% 未満にまで減少した。セタシジミ漁はかつて南湖を中心に行われてきたが、現在は南湖ではなくシジミ類が獲れず、漁は北湖や瀬田川に限定的である (滋賀県琵琶湖環境部環境政策課 2019)。セタシジミは滋賀県レッドデータブックで絶滅危惧增大種 (滋賀県生きもの調査委員会 2016)、環境省レッドリストで絶滅危惧II類に選定されており (環境省 2019)、種の保全の観点からも個体数の回復が必要である。

底生生物である二枚貝では、底質環境は重要な生息条件のひとつである (例えば西野 2014; 中野ほか 2017)。一般的にシジミ類は、粒度が粗い砂や砂礫、砂泥などで形成される底質環境を好み、ヤマトシジミはシルトや粘土が多い底質では生息分布密度が低くなることが知られている (岩間ほか 2016; 中村 2018)。ヤマトシジミやタイワンシジミでは、その生存には水中の溶存酸素が欠かせず、貧酸素状態では生息に悪影響を与える (中村ほか 1997; Saloom and Duncan 2005; 中村 2018)。セタシジミにおいても、その生息は底質の粒度組成と関連があり、底質が砂、小礫の場所では個体数が多く、粘土や泥では分布密度が低いことが報告されている (林 1957; 堀ほか 1962)。また、貧酸素環境ではセタシジミも生存日数が短くなり、水温が上昇するほど貧酸素での生存率が低下することが確認されている (芳賀・松田 2006)。

琵琶湖・瀬田川においてセタシジミが減少した原因は、主に漁獲量の増大と人間活動による環境変化だと考えられている。1960 年代では、水田に投与された殺虫剤や除草剤の琵琶湖への流入がその要因の 1 つであり (滋賀県農政水産部水産課 2018a)、1960 年から 1980 年代においては、高度経済成長とともに富栄養化の進行による底質の泥化や、工業廃水の流入が水質および底質に影響を与えていたことが指摘されている (林 1962; 堀・板坂・橋本 1962; 板坂・川嶋・堀 1987)。また 1960 年から 2000 年代に行われた砂利の採掘も湖底底質のヘドロ化を招き、セタシジミを含めた底生生物の生息を悪化させた (資源回復・漁業生産力強化事業評価委員会 2011)。

瀬田川では、セタシジミが大きく減少した 1950 年代から 1980 年代に、セタシジミの個体分布と生息環境の調査が行われた。瀬田川では、局所的に個体が多い地点があるとともに、全体では上流部で多く下流にかけて減少する傾向で、両岸での違いも大きかった (堀・橋本 1960; 堀・板坂・橋本 1963)。また、この期間中に個体数が著しく減少した場所も見られた (板坂ほか 1970, 1980; 板坂・川嶋・堀 1987)。そして、当時の瀬田川では、底質粒度に加えて、底質中の有害な化学物質や微生物などもセタシジミの生息に影響を与えたことが指摘されている (林 1957, 1962; 堀・板坂・橋本 1962, 1963)。薬剤や排水による汚染は法律や条例の制定により、近年はほぼ改善されている (滋賀県琵琶湖環境部琵琶湖政策課 2019)。

一方、1990 年代以降では、瀬田川洗堰の水位調節による生態系の変化が問題のひとつとなっている。例えば水位の低下により、水草の大繁茂やコイやフナ類の卵が干出死が助長され、著しい環境変化を引き起こしたことが指摘されている (資源回復・漁業生産力強化事業評価委員会 2011; 滋賀県土木交通部流域政策局 2018)。その影響調査や対策は主に魚類についてなされており (津森 2008; 井上 2015)、シジミ類を含む底生生物への影響評価は限定的である (例えば 西野 1996, 2003; 濱田 2010)。しかしながら、漁業関係者からは瀬田川洗堰の水位調節がシジミ類の生息に影響を与えていているという声が聞かれる。

現在、琵琶湖・瀬田川ではセタシジミの個体数の増加を目指した取り組みもなされている。漁業では琵琶湖全体として漁獲殻長制限を設け、殻長 18 mm 以下のシジミ類の漁獲を制限し、資源管理を推進している（滋賀県 2006；井戸本・久米 2009）。漁法や期間も区域によって制限が設けられており、近江大橋以南の琵琶湖および瀬田川では貝搔き網漁業のみが認められている。また、北湖では親貝を養成して、これらの親貝を産卵直前に琵琶湖に放流などがなされている（滋賀県琵琶湖環境部環境政策課 2019）。南湖では砂地の造成や水草の刈取りによる生息環境の改善、湖底の耕耘による底質の回復、養成した稚貝の放流によりかつての生息環境を取り戻す対策が行われている（滋賀県農政水産部水産課・琵琶湖環境部琵琶湖政策課 2018）。瀬田川でも、水産庁多面的発揮対策事業の1つとして、2010年より水草の刈取りや湖底の耕耘を行い（瀬田川流域クリーン作戦）、セタシジミの生息環境と資源回復を目指している。この事業とともに瀬田川のシジミ類の生息について、水産試験場などを中心に年次的なモニタリングも行われている（井戸本 2020；酒井ほか 2020）。しかし、瀬田川の生息域における個体の空間的な分布と底質環境の違いについての詳細な調査がなされていない。環境改善の取り組みを行う上でも、生息分布とその環境の現在の状況を理解する必要がある。

よって本調査研究では、琵琶湖南湖および瀬田川におけるシジミ類の生息状況を把握することを目的とし、琵琶湖の南湖下流から瀬田川上流にかけてのシジミ類の個体数、底質および水環境を調査し、水域内の個体の分布ならびに個体数と生息環境の関係から、この水域内のセタシジミの現状について報告する。また今後の資源回復を目指し、以前の状況と近年の対策から回復状況についても考察する。

方 法

調査地概要

二枚貝であるセタシジミは、淡水である琵琶湖および周辺河川の浅瀬のところに生息している。琵琶湖に生息しているシジミ類は、セタシジミとマシジミで、特にセタシジミは琵琶湖固有種として知られ、水産資源としても古くから利用してきた。セタシジミは、雌雄異体の卵生であり、他のシジミ類と同様に水中の酸素や餌である植物プランクトン、底質や有機物などの懸濁物を同時に吸い込む。そして懸濁物をエラによりろ過して栄養塩を摂取すると同時に浄化された水を排出する（山口・相崎 2003）。

調査は、滋賀県大津市に位置する琵琶湖南湖の下流から瀬田川上流において実施した。この水域は従来からセタシジミ漁場であり、漁獲量が減少した近年でもセタシジミが採取できる場所である（滋賀県 2006）。瀬田川では、個体数が大きく減少した1960年から1980年代にセタシジミの生息についての調査が行われた（林 1957；堀・板坂・橋本 1962；板坂ほか 1970, 1987）。近年は、一部の地点で個体数のモニタリングが行われている（酒井ほか 2019；酒井 2020a）。水域全体の生息状況を把握するため、この水域の8調査地点からサンプリングを実施した。各地点において底質および水を採取し、シジミ類の個体数および底質の粒度組成を確認した。調査は2018年4月から12月まで、月に1回行った。また、セタシジミ漁では、シジミの種類を厳密に区別せず採取しているため、この調査でも個体数にはセタシジミの他にマシジミも含まれている。現在は、瀬田川で漁獲されるシジミ類のうち約3%がセタシジミとの報告がある（酒井

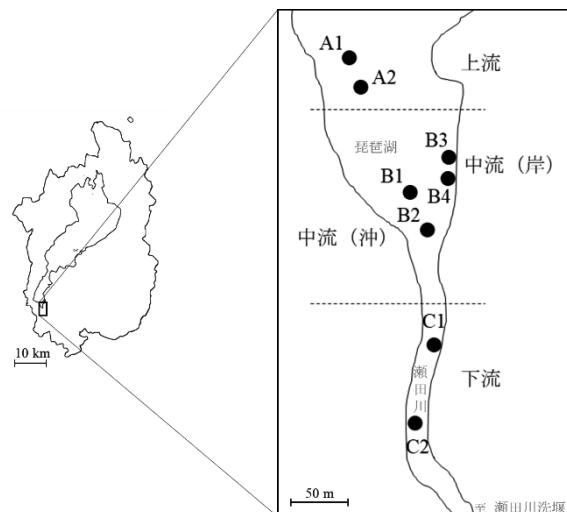


図1. シジミ類の調査水域（左）と地点（右）の概要。
琵琶湖の南湖下流から瀬田川上流にかけて調査水域を設定した。調査した水域では、南湖に位置する A1、A2 地点を上流部、琵琶湖と瀬田川の境界の B1、B2 地点を中流部（沖）、東岸の琵琶湖と瀬田川の境界の B3、B4 地点を中流部（岸）、瀬田川の C1、C2 地点を下流部とした。

2020b)。調査地点のうち、A1、A2 地点を上流部、B1、B2、B3、B4 地点を中流部、C1、C2 地点を下流部とした(図1)。B1、B2 地点と B3、B4 地点は数百 m 離れているため、中流部(沖)と中流部(岸)として区別した。

現地調査とサンプル採取

シジミ類の個体数の季節変動を把握するために、各調査地点においてシジミ類を貝搔き網による手搔き漁(滋賀県 2006)により 1m²の区画を 3 回に分けて採取し、個体数を計測した。また、竹棒の先に 500 mL 容ペットボトルを取り付け湖底付近より 500 mL の水を採取し、貝搔き網で底質を 20 g 以上採取した。本調査はセタシジミの漁場で行われており、この水域では貝搔き網での漁業のみが認められているため、漁場とセタシジミ漁に過度の影響を与えない方法でサンプル採取を行った。採取した水および底質は保冷ボックスに入れ運搬し、その後 4°C で保管した。DO(溶存酸素)および水温は、船上からポーダブル DO 計(堀場製作所、OM-12)を用いて測定した。水深に伴って DO が変化するため、底層(湖底から 10 cm 上部)地点でそれぞれ測定した。底層部分の DO はポンプにより引き上げた水で測定した。2018 年 4 月、5 月、6 月、8 月、9 月、12 月は、RINCO-Profiler (JFE アドバンテック、Model:ASTD102) を用いて底層部分の DO を測定した。

底質分析

現在のセタシジミの生息する底質環境を把握するために、底質の組成と成分、微生物量の分析を行った。測定項目として、全炭素量(TC)、全窒素量(TN)、全リン量(TP)、全カリウム量(TK)、含水率、電気伝導率(EC)、水素イオン濃度(pH)、酸化還元電位(ORP)、総細菌数を測定した。TC は、全有機炭素分析装置(島津製作所、SSM-5000A)および全有機体炭素計(島津製作所、TOC-V)を使用し、680 °C で燃焼して計測した。次に、TN、TP および TK の定量はケルダール分解装置(ゲルハルトジャパン、ケルダーム KB20S)にて成分を抽出した溶液を用いて行った。抽出の前処理として底質 0.5 g と硫酸銅(II)五水和物 0.5 g を加え、濃硫酸および過酸化水素水をそれぞれ 5 mL 加えた。ケルダール分解装置にセットし、420 °C で 1.5 時間加熱した。室温まで放冷後、蒸留水を加えて水溶液を濾過し、ろ液を 100 mL に希釈したものを全分解溶液とした。全分解溶液を使用して、インドフェノール青法により TN、モリブデン青法により TP、原子吸光光度計(日立ハイテクノロジーズ、Z-3000)により TK をそれぞれ定量した。底質の成分は有機態・無機態を含めた全量であり、乾重量での濃度を測定し、湿重量あたりに換算した。

含水率の測定は、底質 10 g を 50 °C で 24 時間乾燥させ、式①により求めた。

$$\text{含水率} (\%) = \frac{\text{底質 } 10 \text{ g の湿重量 (g)} - \text{底質の乾燥重量 (g)}}{\text{底質 } 10 \text{ g の湿重量 (g)}} \times 100 \dots \text{①}$$

EC および pH、ORP の測定は、底質 4 g および蒸留水 10 mL を加え、室温で 60 分振とうし、浮遊物が沈殿するまで静置した後、EC は EC 測定器(ハンナ インスツルメンツ、HI98331N)、pH および ORP は pH 測定器(堀場製作所、F-72)でそれぞれ測定した。

底質の含水率と粒度組成との関係性を確認するために、2020 年 7 月に各地点より底質を採取し、2 mm、1 mm、0.125 mm、0.063 mm のふるい(ISO3310-1、JIS Z-8801 規格)を用いて粒径別にふるい分けをした。Wentworth の分類に従って、2 mm 以上の底質を礫、1–2 mm の底質を粗砂、0.125–1 mm の底質を砂、0.063–0.125 mm の底質を細砂、0.063 mm 未満の底質を泥に分類した。ふるい分けした底質を 110 °C で 2 時間乾燥させ、その重量を測定した。各底質の含水率は式①より求めた。各底質の粒度の割合に加重(礫 200、細砂 400、砂 450、粗砂 500、泥 700; 各粒度の最大保水容量から算出)を付加し、各地点の底質の加重負荷量と含水率との関係を調べた。

水質分析

セタシジミが生息する水域の水質を把握するために、採取した水の化学的酸素要求量(Chemical Oxygen Demand, COD)、全有機体炭素量(TOC)、TN、TP、EC、pH、色度、濁度、総細菌数を調べた。COD は過マンガン酸カリ

ウム法（酒井 2008）を用いて定量し、TOC を全有機体炭素計（島津製作所、TOC-V CPH）、TN を全窒素計（島津製作所、TNM-1）により計測した。TP はペルオキソ二硫酸カリウムにより分解し、モリブデン青法により定量した。また試料水の EC および pH も測定した。最後に、色度計測器（笠原理化工業株式会社、CR-30）を用いて色度を測定し、濁度計測器（笠原理化工業株式会社、TR-30）を用いて濁度を測定した。

総細菌数の定量

底質および水質の総細菌数は、slow-stirring 法により底質 1.0 g もしくは水 1.0 mL から抽出した細菌の生菌 DNA を定量することで算出した（Aoshima et al. 2006）。減圧乾燥後 10 : 1TE 緩衝液（pH 8.0）に溶解させ、DNA 溶液を調整した。1%アガロースゲルにゲルローディング緩衝液と DNA 溶液の混合液をアプライし、電気泳動した。泳動後、ゲルに UV 照射を行い、KODAK 1D Image Analysis software（KODAK ver.3.6）によって解析した。バンド DNA 量の測定結果から、底質 1.0 g および水 1.0 mLあたりの DNA 量を式②により算出した。

$$\text{DNA 量} = \text{ゲル DNA 量 (ng)} \times (10:1\text{TE 緩衝液全量 (\mu L)}) / (\text{eDNA 溶液のアプライ量 (\mu L)}) \times (\text{全溶液量 (\mu L)}) / (\text{分取した水層の量 (\mu L)}) \times 10^3 \dots ②$$

式②により得られた DNA 量を、式③を用いて細菌数に換算し、1.0 g あたりの総細菌数とした。

$$\text{総細菌数 (cells/g)} = \text{DNA 量 (\mu g/g)} \times 1.70 \times 10^8 \quad [r^2 = 0.995] \dots ③$$

統計解析

シジミ類の個体分布とその生息環境の違いならびに季節変動を調べるため、個体数と底質・水質の分析値について分散分析（Repeated measures ANOVA, Huynh-Feldt の ε により自由度を補正）ならびに多重比較（LSD 法）を行った。また、個体数と環境との関係について、相関係数（Pearson correlation coefficient）を求めた。そして、主成分分析（Principal component analysis, PCA）により、環境の地点間での相違とその変化に寄与する環境要因について分析した。PCA には、各調査月の全ての地点で値が得られた項目のデータを使用した。データ解析には、SPSS Statistics 23.0（IBM Inc.）および R 3.5.2（for Windows, The R Foundation, <https://www.r-project.org/>）を使用した。

結 果

シジミ類の分布

各地点のシジミ類の個体数は、0 個体・m⁻²（C2 地点の 5 と 11 月）から 1,888 個体・m⁻²（B2 地点の 6 月）であった。年間を通して、中流部（沖）の B2 地点でシジミ類の個体数が最も多く（平均 1,121 ± 521 個体）、下流部の C2 地点で最も少なかった（平均 46 ± 69 個体、 $F(3.35, 26.82) = 18.31$, $p < 0.01$ ）。残りの 6 地点では、調査期間を通じてシジミ類が確認され、個体の生息密度に明確な違いは認められなかった（図 2）。シジミ類の個体数は、4、8、9 月と比較して 7 月に有意に多く（ $F(8, 56) = 2.59$, $p < 0.05$ ）、ほとんどの地点で春から夏にかけて増加し、秋にかけて減少した（図 2）。調査期間に採取された 80%以上は、殻長 18 mm 以下の小さな個体であった。

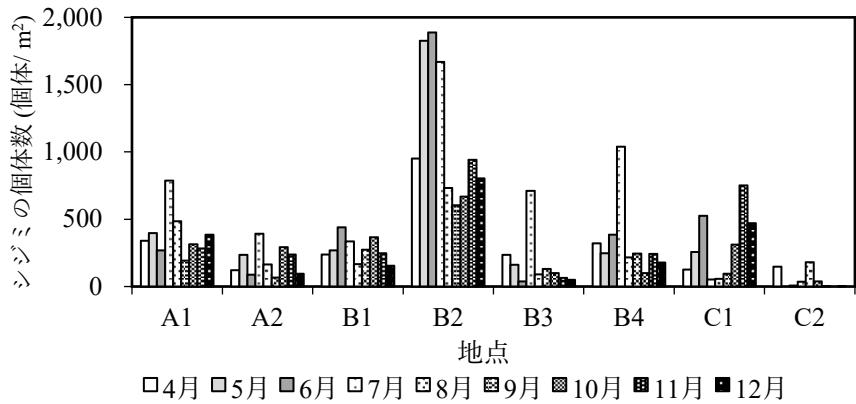


図 2. 琵琶湖南湖および瀬田川のシジミ生息地におけるセタシジミの個体数の季節変化。
8 地点（A1 – C2）で 2018 年 4 月 – 12 月の各月に採取されたシジミの個体数

シジミ類の生息環境（底質）

調査地点の底質について調べた結果、TC は $2,500 - 19,300 \text{ mg/kg}$ で（図 3a）、上流部および中流部（B1、B3 地点）に対して、中流部（岸）の B4 地点および下流部（C1、C2 地点）で高かった ($F(3.51, 24.5) = 6.35, p < 0.01$)。TN は、 240 mg/kg (B1 地点: 11 月) から $1,840 \text{ mg/kg}$ (C1 地点: 5 月) の範囲で変化した（図 3b）。上流部から中流部では、下流部である C2 地点と比べ TN の値が低かった ($F(6.64, 46.51) = 3.26, p < 0.05$)。上流部の A1 地点 ($2,410 \pm 930 \text{ mg/kg}$) の TP は、全体の平均 $650 \pm 740 \text{ mg/kg}$ と比べて顕著に値が高かった ($F(1.42, 9.92) = 22.17, p < 0.01$)。底質の TC と TN には正の関係、TP と TK には負の関係がみられた。

総細菌数は、平均 $(2.7 \pm 2.1) \times 10^8 \text{ cells/g}$ (B1 地点) から $(8.2 \pm 7.9) \times 10^8 \text{ cells/g}$ (C2 地点) であった。いずれの地点でも総細菌数は春から夏にかけて増加し 8 月に最大となり ($F(8, 56) = 6.33, p < 0.01$)、その後は低く推移した（図 3c）。特に、8 月までの期間では下流部（C2 地点）で上流・中流部（A2、B1、B3 地点）より総細菌数が多い傾向であった ($F(47, 28) = 2.85, p < 0.05$)。

含水率は、平均 $30.0 \pm 11.3\%$ であった。C2 地点では、他の地点と比較して含水率が高く ($F(3.72, 26.01) = 5.70, p < 0.01$)、 20.0% (9 月) から 74.2% (4 月) と季節変動も大きかった（図 3d）。EC は $0.06 - 0.85$ (平均 0.16 ± 0.10) mS/cm であった。pH は平均 7.2 ± 0.3 であり、上流部では中流部域よりもわずかに高く ($F(7, 56) = 3.82, p < 0.01$)、いずれの地点でも 12 月に低下した。ORP は $32.9 - 137.7$ (平均 73.3 ± 16.6) mV で、中流部（沖・岸）に比べて上流部で高かった ($F(2.80, 22.36) = 4.47, p < 0.05$)。含水率は底質の TC、TN、総細菌数、ORP と正に相関し、pH と負に相関した。

底質の粒度組成では、下流部の C1 地点では礫 (75%)、C2 地点では泥 (9%) が他地点に比べて顕著に高かった。C2 地点以外では泥はほとんど含まれていなかった。上流部と中流部（岸）では砂が大部分 (75%以上) を占めており、中流部（沖）では礫と砂が含まれていた。底質の各粒度の加重負荷量と含水率には正の相関があった ($r = 0.71, p < 0.05$)。同時に、泥の割合が高いほど含水率が高いことから ($r = 0.81, p < 0.01$)、調査地点の底質の含水率は粒度組成を反映していることが確認された。

シジミ類の生息環境（水質）

水温は気温とともに上昇し、7 月に最大の 30.3°C に達し、その後秋から冬にかけて低下した（図 4）。一方、底層の DO は夏にかけて減少し最小値 ($7.8 \pm 0.4 \text{ mg/L}$) に達し、4、5 月と比較し 8、9 月では有意に低く ($F(8, 16) = 29.58, p < 0.01$)、秋から冬にかけて $10.0 \pm 0.2 \text{ mg/L}$ まで回復した。

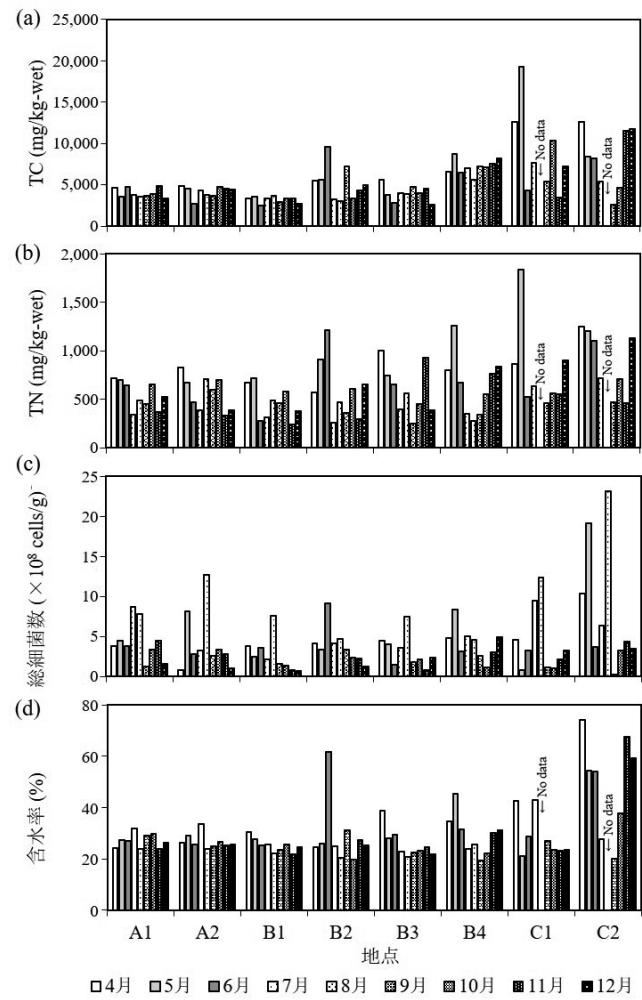


図 3. 琵琶湖南湖および瀬田川のシジミの生息地における底質成分の季節変化。8 地点 (A1 – C2) における 2018 年 4 月 – 12 月の各月の変化。TC (a)、TN (b)、総細菌数 (c)、含水率 (d) を示す。

COD と TOC は $1.53 - 5.54 \text{ mg/L}$ (平均 $2.74 \pm 0.64 \text{ mg/L}$) と $0.8 - 3.2 \text{ mg/L}$ (平均 $1.7 \pm 0.5 \text{ mg/L}$) で、いずれも地点間で違いはなかった (図 5a, $p=0.93$: 図 5b, $p=0.84$)。COD と TOC はいずれも夏にかけて増加傾向を示し、8月に最大になった ($F(8,48)=10.58; F(8,48)=12.52, p<0.01$)。TN は $0.13-2.33 \text{ mg/L}$ (平均 $0.56 \pm 0.42 \text{ mg/L}$) で、中流部 (岸) である B3、B4 地点および下流部では、上流部に比べると高い傾向であった (図 5c, $F(2.62, 18.33)=8.32, p<0.01$)。また、底質と同様に 8 月に最大 ($1.51 \pm 0.22 \text{ mg/L}$) となり、その後は冬にかけて低く (1 mg/L 以下) 推移した ($F(8,48)=26.98, p<0.05$)。TP は $0.045 - 0.096 \text{ mg/L}$ (平均 $0.070 \pm 0.013 \text{ mg/L}$) であり、8 月に最大 ($0.082 \pm 0.012 \text{ mg/L}$) となり、11 月に最小 ($0.069 \pm 0.009 \text{ mg/L}$) となった。水中の COD、TOC、TN、TP には互いに正の相関がみられた ($p < 0.01$)。

EC は平均 0.17 ± 0.02 であり、地点 A1、A2、B1 で有意に低かった ($F(3.38, 23.67)=16.15, p<0.05$)。pH は中性 6.1-7.7 域内を推移し、6 月もしくは 7 月に上昇した ($F(8,48)=10.00, p<0.01$)。また、水質を示す多くの環境パラメータが相互に関係し、DO を除いてそれぞれ正の相関を示した。pH は COD と弱い正の相関を示し、EC は TN と TP とそれぞれ相關していた。色度は、上流部もしくは中流部 (沖) (A1、A2、B1 地点) に比べて、中流部 (岸) の B3 と B4 地点で高く ($F(4.36, 30.54)=2.77, p<0.05$)、色度の増加にともない濁度も上昇した ($r=0.62, p<0.01$)。水中の総細菌数はいずれのサンプルでも検出限界以下 ($\leq 6.6 \times 10^6 \text{ cells/mL}$) であった。

シジミ類の個体分布とその環境

シジミ類の個体数に対する底質と水質の影響、ならびに環境パラメータ間の関係について、各地点における 4 月から 12 月の個体数と底質および水質の分析値を解析した。水の pH のみシジミ類の個体数と弱い相関があり ($r=0.26, p<0.05$)、それ以外のパラメータとは相関関係はみられなかった。各地点の水質と底質の環境パラメータによる PCA の結果、上流、中流 (沖)、中流 (岸)、下流部でまとまりを示し、4 区域で明確に環境が異なることがわかった (図 6)。第 1 主成分に対して、水の TN および EC の正の寄与率が高く、DO と水の pH の負の寄与率が高かった。第 2 主成分では、底質の含水率と ORP が正に寄与、底質の pH が負に寄与を示した。また、シジミ類の個体数が最も多かった B2 地点は、第 1 軸と第 2 軸の原点に位置した。原点に近い地点ほど個体数が多く、個体数は底質および水質の両方の環境傾度にともなって変化することがわかった。

考 察

シジミ類の生息分布

琵琶湖南湖から瀬田川にかけての水域では、調査地点間でシジミ類の生息個体密度が大きく異なり、不均一に分布していた。C2 地点の 5、11 月を除いた全ての月でシジミの個体が確認され、調査期間を通じた個体数は B2 地点で最も多く、C2 地点で少なかった (図 2)。2017 年も B2 地点で多く、2016 年では A1 および B2 地点で多かつたことから (瀬田町漁業協同組合 2019 私信)、B2 地点は常にシジミが多い地点であると考えられる。過去の調査においても、局所的に個体数の多い地点が見られ、中流部の沖側でセタシジミの生息数がより多く、下流部ほど減少する傾向であった (堀・橋本 1960 ; 堀・板坂・橋本 1962 ; 板坂ほか 1980)。ゆえに、分布の傾向は大きく変化していないことがわかった。

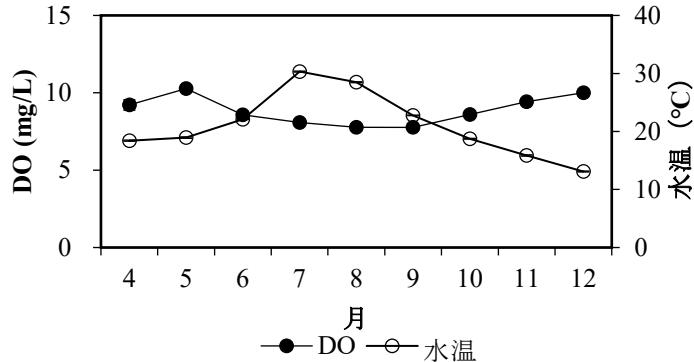


図 4. 琵琶湖南湖および瀬田川のシジミの生息地における水温と DO の季節変化。2018年4月-12月の各月の8地点の平均値 ± 標準偏差を示す。

今回の調査の中で、生息密度は最大 1,888 個体・ m^{-2} であった(図2)。1960年までの瀬田川で個体数の多い地点や、現在の琵琶湖内で個体数が回復している地点では、2,000–4,000 個体・ m^{-2} とより多くの生息が確認されており(堀・林 1960; 井上ほか 2017)、それに近い数の個体の存在が確認された。よって、生息密度が最大でも 100 個体未満であった非常に少ない時期(板坂ほか 1970; 板坂・川嶋・堀 1987)から比べると、増加しているといえる。しかし、採取されたシジミ類にはセタシジミとマシジミが混在していることから(酒井 2020b)、セタシジミの個体密度としてはいずれの地点も低い現状である。

全採取地点における2018年5月から10月のシジミ類の合計個体数は、約18,000個体であった。これは、2017年の約36,000個体より少ないが、2016年の約5,000個体より多く(瀬田町漁業協同組合 2019 私信)、調査水域では個体数の年変動があるものの、調査年は

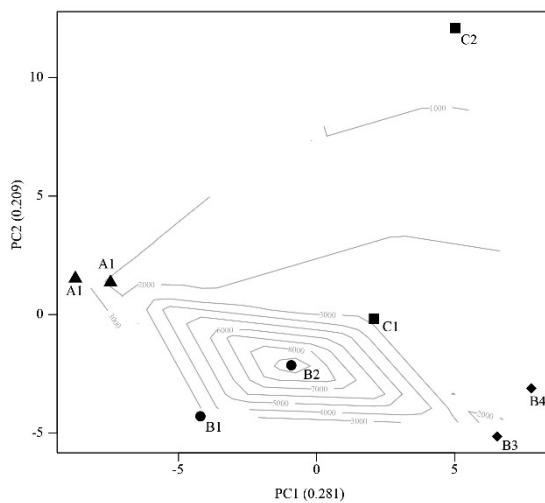


図6. セタシジミの生息地における底質・水質環境パラメータの主成分分析ならびにセタシジミ個体数の変化。地点ごとの第1、第2主成分(▲, 上流部; ●, 中流部(沖); ◆, 中流部(岸); ■, 下流部)。等值線が個体数を示す。

シジミ類の生息環境

調査地点の底質および水質パラメータのPCAより、4水域間では計測した環境に明瞭な違いがあり、シジミ類の個体数が最も多かった中流部(沖)のB2地点は、PCAの第一軸と第二軸で中心付近に位置した(図6)。底質の含水率(平均 $29 \pm 12.7\%$)も地点間で中間の値であり、粒度は礫が58%、砂が41%で、砂は粗砂や細砂が混合した組成となっていた。セタシジミは小礫や細砂の混在する場所にも比較的多く生息することが確認されている(林 1960)。この地点は底質のTCが $5,200 \pm 2,100\text{ mg/kg}$ 、TNが $590 \pm 310\text{ mg/kg}$ 、TPが $260 \pm 90\text{ mg/kg}$ 、総細菌数が $(3.9 \pm 2.2) \times 10^8\text{ cells/g}$ であり、有機物の少ない底質環境であった(Araki et al. 2016; Perwira et al. 2017)。水質ではTNが $0.44 \pm 0.24\text{ mg/L}$ 、TPが $0.061 \pm 0.012\text{ mg/L}$ 、ECが $0.17 \pm 0.02\text{ mS/cm}$ であった。調査域の中では、中流部

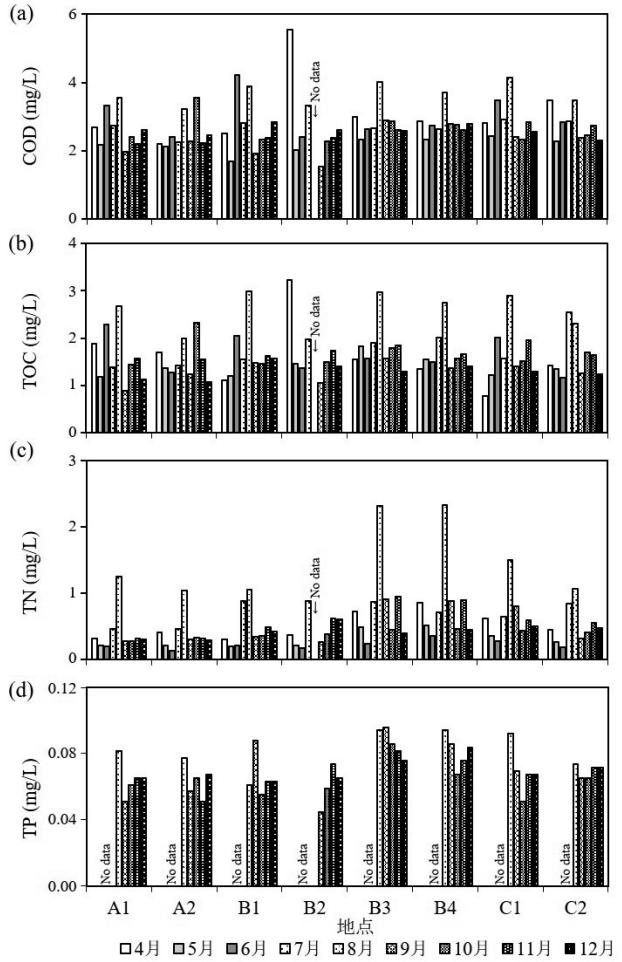


図5. 琵琶湖南湖および瀬田川のセタシジミの生息地における水質の季節変化。地点8点(A1–C2)における2018年4月–12月の各月の変化。COD(a)、TOC(b)、TN(c)、TP(d)を示す。

極端な増減の年では無かったと判断できる。今回は複数地点ではあるが一年の調査であり、調査域での継続的なモニタリングが必要である。調査期間の中で、2018年の7月から8月にかけて個体数が大きく減少した(図2)。採取された個体は殻長18mm以下の小さいものが多く、セタシジミの稚貝は夏から秋にかけて成長することから、この時期に多くの稚貝が死亡し、翌年以降の個体群動態へ影響することが示唆される。

(沖) が環境微生物の分解により有機物が過剰に蓄積されず、シジミ類の生息に最も好適な環境となっていたと考えられる。

シジミ類に対する底質環境の影響

移動性に乏しいシジミ類の生息には特に底質の環境を適切に維持することが重要である。セタシジミの稚貝の定着においては、特に底質の重要性が指摘されている（井戸本・橋本 2003）。調査した水域の底質は、含水率 19.3 – 74.2%、TC 2,500 – 19,300 mg/kg、TN 240 – 1,840 mg/kg、pH 5.8 – 7.9 であった。TC と TN は琵琶湖のセタシジミ生息域で見られる範囲内の値であったが、生息が確認される場所であっても有機態炭素が多くなるとシジミ類は減少する傾向がある（井上ほか 2017；滋賀県琵琶湖環境部琵琶湖保全再生課 2018）。個体数の最も少なかった C2 地点は、含水率が高い泥質で有機物と微生物を多く含んでいる底質であり（図 3）、他地点と明確に異なる底質環境であった（図 6；第 2 軸）。

粒度と相関関係にある底質の含水率は含有成分量 (TC、TN)、微生物、ORP と pH とも相関していたことから、底質環境の違いが現在のシジミ類の個体分布にも大きく影響していることが示唆される。瀬田川でより多くのセタシジミが見られた時期の調査でも泥質地点では生息がほとんど確認されなかつた（林 1957；林ほか 1966）。また、底質の有機物量が多いと、底層の酸素量の低下や餌となる藻類の減少、有害な生物の増殖により、セタシジミの生息を妨げることが指摘されている（堀・橋本 1960；堀・板坂・橋本 1963；井上ほか 2017）。ヤマトシジミにおいても、底質に有機物が多いと個体数が少なくなることが確認されている（久保田ほか 2006；中村 2018）。調査域の下流部の C1 地点と中流部（岸）の B4 地点は泥質ではなかつたものの、TC が高い傾向であったことから、底質環境がセタシジミの生息に適していない可能性がある。しかし、1960 年代の調査においてもセタシジミの減少には底質の影響が大きいことが指摘されているものの、その要因は断定されておらず（堀・橋本 1960；堀・板坂・橋本 1963）、様々な要因が複合的に影響していることが推察される。

シジミ類に対する水質環境の影響

水質は調査期間を通して、DO 7.51 mg/L 以上、COD 1.53 – 5.54 mg/L、TOC 0.8 – 3.2 mg/L、TN 0.13 – 2.33 mg/L、TP 0.045 – 0.096 mg/L の範囲であった（図 5）。シジミ類の生存には、底層の十分な溶存酸素量が必要であり、水産生物にとって望ましい DO は 6 mg/L 以上（日本水環境学会 2006）とされているが、調査地点の DO はこの基準値を満たしていた。一方で、COD は滋賀県の生活環境の保全に関する環境基準では 1.0 mg/L 以下とされており（滋賀県琵琶湖環境部環境政策課 2019）、年間を通じて基準を上回っていた。COD 値は 1960 年代（7 – 8 mg/L；堀ほか 1962）より低いものの、セタシジミの漁獲量が低迷した 1980 年代（2 – 3 mg/L 付近；板坂ほか 1987）と比べると高いことから、個体数の推移には直接的に影響していないと考えられる。COD と TOC は、水温上昇とも連動して 8 月に最大になったことから、特に気温の高い夏に水質悪化を助長し（Kawabe 1997；田口・日下 2010）、セタシジミの生存にも影響を与えている可能性がある。

瀬田川の TN と TP は、琵琶湖に比べて常に高く推移しており（滋賀県琵琶湖環境部 2020）、調査域においても環境基準（TN: 0.20 mg/L；TP: 0.01 mg/L 以下、滋賀県琵琶湖環境部環境政策課 2019）をほとんど満たしていないかった。水質は地点間での差異が少なかつたものの、中流部（岸）と下流部では水の TN と TP が高い傾向であった（図 6）。下流部は過去の調査でも上流部に比べて TN と TP が高く（板坂ほか 1987）、水質の改善がこの流域のセタシジミの回復には必要であると考えられる。2018 年 8 月はアオコの原因であるアナベナ (*Anabaena affinis*) が例年の約 4 倍増殖したことが報告されており（滋賀県琵琶湖環境科学センター 2019）、シジミ類の個体群、特に稚貝の生存に影響した可能性も指摘されている（酒井 2020a）。2018 年の中流部（岸）から下流部における N/P 比も 8 – 12 であり、N/P 比が 29 より小さい湖沼ではアオコが発生しやすいとされることから（榮田ほか 2013）、この水域では特にラン藻類が増殖しやすい状況であったことが示唆される。

セタシジミの資源回復に向けて

セタシジミの生息に適した環境条件は検証がなされている一方で（例えば芳賀・松田 2006；幡野 2010）、その環境を回復させる対策についてはまだ模索される部分が多い（井上 2017）。本調査の水域では、水草刈取りや湖底耕運などの対策が定期的に行われているものの、個体数が1,000個体を超える場所はB2地点のみであり、シジミ類の生息に適した環境は十分に確保されていないことがわかった。特に下流部においては、湖底に砂を撒く覆砂やヘドロ除去などのさらなる改善策を講じる必要があると考えられる。また瀬田川では、漁獲されるシジミ類に占めるセタシジミの割合も多くはないと見積もられており（酒井 2020b）、種の保全においてはセタシジミの生息個体数を選択的に増やす対策も必要である。琵琶湖内の赤野井湾や志那沖では耕運や覆砂、稚貝の放流によってセタシジミの生息数の増加が確認されており（井上ほか 2017；滋賀県琵琶湖環境部琵琶湖保全再生課 2018）、継続的な対策が重要である。

水質は水域全体で基準値を満たしておらず、水質改善が必要である。特に水中のTNとTPを減少させることができ、個体数の回復につながる可能性がある。セタシジミの漁獲量と、流入量、放流量、水位には正の相関関係が見られている（濱田 2010）。2018年は7月21日から40日間瀬田川洗堰の放流量が15–30 m³/sとほとんど放流されず（琵琶湖河川事務所 2019）、低水位下の高水温状態がシジミの生存に影響したことが考えられる。よって、瀬田川の環境回復には治水管理の変更も検討するなど多角的な視点から対策を講じることが望ましい。

謝 辞

本研究におきまして多大なご協力を頂きました瀬田町漁業協同組合の吉田 守 組合長、今井 浩之 氏、高橋 潔 氏をはじめとする漁協組合の方々ならびに滋賀県水産試験場の酒井 明久 氏、石崎 大介 氏に深く感謝いたします。本稿の改訂にあたっては、査読者ならびに担当編集委員に貴重なご指摘をいただき、感謝申し上げます。本研究は水産庁多面的発揮対策事業（瀬田川流域クリーン作戦）に関わって行われました。

引用文献

- Aoshima H, Kimura A, Shibutani A, Okada C, Matsumiya Y, Kubo M (2006) Evaluation of soil bacteria biomass using environment DNA extracted by slow-stirring method. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 71: 875–880.
- Araki KS, Perwira IY, Adhikari D, Kubo M (2016) Comparison of soil properties between upland and paddy fields based on the soil fertility index (SOFIX). *Current Trends in Microbiology*, 10: 85-94.
- 琵琶湖河川事務所（国土交通省近畿地方整備局）(2019) <https://www.kkr.mlit.go.jp/biwako/index.php>.
- 芳賀 裕樹, 松田 征也 (2006) 琵琶湖産二枚貝セタシジミとタテボシガイの貧酸素耐性について. 日本陸水学会大会講演要旨集, 71: 251.
- 幡野 真隆 (2011) 水産業温暖化対策事業11：異なる底質上におけるセタシジミ稚貝の生残と水温の関係. 平成21年度滋賀県水産試験場事業報告.
- 濱田 篤信 (2010) シジミ漁業再生戦略研究. 平成22年度(第25回)TaKaRa ハーモニストファンド研究助成報告, 17-31.
- 林 一正 (1957) 滋賀県瀬田川におけるセタシジミの分布. *貝類学雑誌*, 19: 238-247.
- 林 一正 (1962) 瀬田川におけるセタシジミの生息環境. *滋賀大学教育学部紀要 自然科学*, 12: 51-56.
- 林 一正, 森 主一, 東 玲, 川那部 浩哉, 近畿地方建設局 (1966) 貝類班中間報告. (びわ湖生物資源調査団 編) びわ湖生物資源調査団中間報告：一般調査の部, 607-707. 近畿地方建設局, 大阪.
- 堀 太郎, 板坂 修, 橋本 剛 (1962) セタシジミ (*Corbicula sandai*) の生息に及ぼす瀬田川(滋賀県)底質の影響について(III). *滋賀大学教育学部紀要 自然科学*, 12: 15-19.
- 堀 太郎, 板坂 修, 橋本 剛 (1963) セタシジミ (*Corbicula sandai*) の生息に及ぼす瀬田川(滋賀県)底質の影響に

- について (IV). 滋賀大学教育学部紀要 自然科学, 13: 13-18.
- 堀 太郎, 橋本 剛 (1960) セタシジミの生息に及ぼす瀬田川底質の影響について (第2報). 滋賀大学教育学部紀要 自然科学, 10: 33-40.
- 井戸本 純一 (2020) 資源管理体制高度化推進事業 1 : セタシジミ資源概況調査. 平成 30 年度滋賀県水産試験場事業報告, 32.
- 井戸本 純一, 久米 弘人 (2009) 資源回復計画推進調査事業 3 : セタシジミ資源の概況調査. 平成 19 年度滋賀県水産試験場事業報告, 44.
- 井戸本 純一, 橋本 佳樹 (2003) 琵琶湖砂浜帯におけるセタシジミ D 型仔貝の放流効果. 滋賀県水産試験場研究報告, 50: 51-64.
- 井上 栄壯 (2015) 南湖の望ましい姿と評価指標. (滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 編) 琵琶湖環境科学研究センター研究報告書別冊 (平成 23-25 年度) 南湖生態系の順応的管理に関するサイエンスレポート, 125-131. 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター, 大津.
- 井上 栄壯, 一瀬 諭, 古田 世子, 中村 光穂, 池田 将平, 早川 和秀, 藤原 直樹, 卯田 隆, 奥居 紳也, 東善広 (2017) 湖辺域における底質環境の評価に関する研究. (滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 編) 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書 (平成 28 年度), 13: 9-27. 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター, 大津.
- 石崎 大介, 幡野 真隆 (2012) 水産基盤整備事業 3 : 南湖耕耘区・覆砂区におけるセタシジミ種苗放流結果と放流後の生息状況. 平成 22 年度滋賀県水産試験場事業報告, 48.
- 板坂 修, 川嶋 宗継, 堀 太郎 (1987) 瀬田川における貝類の生息分布とその生息環境. 滋賀大学教育学部紀要 自然科学, 37: 17-26.
- 板坂 修, 杉田 陸海, 奥村 ゆ里子, 堀 太郎 (1970) びわ湖の水質および瀬田川におけるセタシジミの分布状態 (創刊 20 周年記念号). 滋賀大学教育学部紀要 自然科学, 20: 18-21.
- 板坂 修, 杉田 陸海, 川嶋 宗継, 堀 太郎 (1980) 瀬田川における貝類の生息分布. 滋賀大学教育学部紀要 自然科学, 30: 9-24.
- 岩間 浩司, 藤原 広和, 日登 広大, 長崎 勝康, 濱田 正隆, 小田 洋輔 (2016) 小川原湖のヤマトシジミ資源量と水質・底質環境の関係について. 土木学会論文集 B1 (水工学), 72: I_1015-I_1020.
- Kawabe M (1997) Factors determining chemical oxygen demand in Tokyo Bay. Journal of Oceanography, 53: 443-453.
- 環境省 (2019) 環境省レッドリスト 2019. <http://www.env.go.jp/press/files/jp/110615.pdf>.
- 久保田 光彦, 藤原 広和, 長崎 勝康, 吉田 由孝, 細井 崇 (2006) 小川原湖における水質・底質環境およびヤマトシジミの生息状況について. 海岸工学論文集, 53: 1091-1095.
- 中村 幹雄, 品川 明, 戸田 顕史, 中尾 繁 (1997) ヤマトシジミの貧酸素耐性. 水産増殖, 45: 9-15.
- 中村 幹雄 (2018) シジミ学入門. 日本シジミ研究所, 松江.
- 中野 光議, 木村 哲平, 門脇 喜彦, 浦部 美佐子 (2017) 滋賀県長浜市木本町の農業水路におけるイシガイ科二枚貝類の生息状況および密度と水路環境との関係. 保全生態学研究, 22: 351-360.
- 西野 麻知子 (1996) 1994 年の水位低下からの底生動物群集の回復過程. 琵琶湖研究所所報, 13: 36-39.
- 西野 麻知子 (2003) 水位低下が底生生物に与えた影響について—「びわ湖水位低下影響調査報告書 (底生動物)」より一. 琵琶湖研究所所報, 20: 116-133.
- 西野 麻知子 (2014) 琵琶湖の底生動物における種多様性の現状. 水環境学会誌, 37: 92-96.
- 日本水環境学会 (2006) 水環境ハンドブック. 朝倉書店, 東京.
- Perwira IY, Hanashiro T, Salamah LN, Adhikari D, Araki KS, Kubo M (2017) Construction of a new water treatment system based on material circulation. Journal of Water Resource and Protection, 9: 1014-1025.
- 榮田 愛, 天野 佳正, 相川 正美, 町田 基 (2013) 硝素, リンの絶対量および N/P 比によって変化する藍藻類

- Microcystis aeruginosa* と珪藻類 *Cyclotella* sp.の優占化特性. 日本水処理生物学会誌, 49: 47-54.
- 酒井 忠雄 (2008) 環境・分析化学実験 (第3版). 三井出版株式会社.
- 酒井 明久 (2020a) 増養殖技術研究 4: 濱田川のシジミ資源のモニタリング. 平成 30 年度滋賀県水産試験場事業報告, 48.
- 酒井 明久 (2020b) 増養殖技術研究 5: 琵琶湖北湖および濱田川で最終したシジミの外部形態の比較. 平成 30 年度滋賀県水産試験場事業報告, 49.
- 酒井 明久, 井戸本 純一, 鈴木 隆夫, 中嶋 拓郎 (2019) 増養殖技術研究 1: 濱田川のシジミ資源および生息環境のモニタリング. 平成 29 年度滋賀県水産試験場事業報告, 47.
- 酒井 明久, 森田 尚 (2020) 増養殖技術研究 3: 濱田川のシジミ漁場の環境モニタリング. 平成 30 年度滋賀県水産試験場事業報告, 47.
- Saloom ME, Duncan RS (2005) Low dissolved oxygen levels reduce anti-predation behaviours of the freshwater clam *Corbicula fluminea*. Freshwater Biology, 50: 1233-1238.
- 滋賀県 (2006) 琵琶湖セタシジミ資源回復計画.
- 滋賀県琵琶湖環境科学センター (2019) 濱田川プランクトン調査結果速報 .
<https://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/41801.pdf>.
- 滋賀県琵琶湖環境部 (2020) 令和頃年度琵琶湖水質測定結果. 大津.
- 滋賀県琵琶湖環境部琵琶湖保全再生課 (2018) 参考資料⑦赤野井湾等における水質および底質調査結果について.
<https://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/5187035.pdf>.
- 滋賀県琵琶湖環境部環境政策課 (2019) 滋賀の環境 2018(平成 30 年版環境白書). 滋賀県琵琶湖環境部.
- 滋賀県土木交通部流域政策局 (2018) 琵琶湖の水位と操作. (内藤 正明 監修) 琵琶湖ハンドブック三訂版, 224-225.
- 滋賀県琵琶湖環境部琵琶湖保全再生課. 大津.
- 滋賀県生きもの総合調査委員会 (2016) 滋賀県で大切にすべき野生生物—滋賀県レッドデータブック 2015 年版.
サンライズ出版, 彦根.
- 滋賀県教育委員会・滋賀県文化財保護協会 (1997) 貝類, 動物遺体. (編) 栗津湖底遺跡第 3 貝塚 (栗津湖底遺跡), 琵琶湖開発事業関連埋蔵文化財発掘調査報告書 1, 305-325. 滋賀県埋蔵文化財センター, 大津.
- 滋賀県農政水産部水産課 (2018a) 滋賀の水産 (平成 29 年度). 滋賀県, 大津.
- 滋賀県農政水産部水産課 (2018b) 漁業. (内藤 正明 監修) 琵琶湖ハンドブック三訂版, 94-95. 滋賀県琵琶湖環境部琵琶湖保全再生課, 大津.
- 滋賀県農政水産部水産課・琵琶湖環境部琵琶湖政策課 (2018) 琵琶湖対策特別委員会資料 2: 琵琶湖の魚介類の生息環境について. https://www.shigaken-gikai.jp/voices/GikaiDoc/attach/Nittei/Nt11925_shiryo-b-301218-02.pdf.
- 資源回復・漁場生産力強化事業評価委員会 (2011) 漁業者等地域活動普及啓発部会 (輪番休漁事業) 報告書. 水産業・漁村活性化推進機構, 東京.
- Tabata R, Kakioka R, Tominaga K, Komiya T, Watanabe K (2016) Phylogeny and historical demography of endemic fishes in Lake Biwa: the ancient lake as a promoter of evolution and diversification of freshwater fishes in western Japan. Ecology and Evolution, 6: 2601-2623.
- 田口 寛, 日下 哲也 (2010) 由良川における BOD と COD の長期推移. 京都府保環研年報, 55: 79-83.
- 津森 ジュン (2008) 琵琶湖の保全と再生に向けた河川管理の取り組み—濱田川洗堰の試行操作と湖岸域の修復—. 土木技術資料, 50: 32-35.
- 山口 啓子, 相崎 守弘 (2010) 底生生物の浄化作用—ヤマトシジミを中心として—. (島谷 幸宏, 細見 正明, 中村 圭吾 編), エコテクノロジーによる河川・湖沼の水質浄化—持続的な水環境の保全と再生—.31-43. ソフトサイエンス社, 東京.

進化における獲得機序に着目した

細胞外マトリックス関連疾患発症メカニズムの解明

後藤 寛幸¹⁾、海野 琢真²⁾、久保田 幸彦¹⁾、伊藤 將弘^{1,2)}

Evolutionary analysis of the causative genes of the extracellular matrix-related diseases

Hiroyuki Goto¹⁾ Takuma Unno²⁾, Yukihiko Kubota¹⁾, Masahiro Ito^{1,2)}

The extracellular matrix (ECM) comprises three types of core ECMs (collagens, proteoglycans, and ECM glycoproteins) and three types of ECM-associated proteins (ECM-affiliated proteins, ECM regulators, and secreted factors). Although the disruption of ECM-related functions results in various biological disorders in nervous, musculoskeletal, immune, and cardiovascular systems, the precise role of core ECMs and ECM-associated proteins in a specific disorder and evolution has not been fully elucidated.

In this study, the ECM was subjected to a comprehensive comparative phylogenetic analysis by examining the differences in acquisition time among core ECMs and ECM-associated proteins during evolution. A dataset of 583 human core ECMs and ECM-associated proteins from UniProt was used. The phylogenetic profile of the protein dataset of 575 eukaryotic species with available genome sequences was analyzed. Then, cluster analysis was conducted on the basis of the phylogenetic profile. Phylogenetic profiling showed that ECMs were clustered into four classes conserved across mammals or extended from mammals to amphibians (Class I: 57 proteins); chordates, echinoderms, and hemichordates (Class II: 376 proteins); animals (Class III: 134 proteins); and eukaryotes (Class IV: 16 proteins).

According to the comparative phylogenetic analysis of the causative genes of the four main types of ECM-related diseases, ~70%–80% of proteins belonged to Class II. This result suggested that most of these genes were commonly gained during evolution to hemichordates or chordates. The contribution of the core ECMs of musculoskeletal and nervous system diseases was higher than that of cardiovascular and immune system diseases. Conversely, the contribution of the ECM-related proteins of musculoskeletal and nervous system diseases was lower than that of cardiovascular and immune system diseases. The pathway analysis of cardiovascular diseases indicated that fibrinogens and coagulation factors participated in complement and coagulation cascades, and most of them were in Class II.

Keywords ; Extracellular matrix-related diseases, Extracellular matrix, Phylogenetic profile, Evolution, Coagulation
Email : yukubota@sc.ritsumei.ac.jp (Y. Kubota)

1) 立命館大学生命科学部生命情報学科

2) 立命館大学大学院生命科学研究科生命科学専攻生命情報学コース

1) Dept. of Bioinfo., Coll. of Life Sci., Ritsumeikan Univ.

1-1-1 Noji-higashi, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

2) Dept. of Bioinfo., Grad. Sch. of Life Sci., Ritsumeikan Univ.

1-1-1 Noji-higashi, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

1. 緒言

細胞外マトリックス (ECM) とは、すべての組織や臓器に存在する非細胞性の構造体である。コア ECM は、コラーゲン、プロテオグリカン(ヘパラン硫酸プロテオグリカンやコンドロイチン硫酸プロテオグリカンなど)、糖タンパク質 (ラミニンやフィブロネクチンなど) の 3 つに分類される。コア ECM は基底膜や結合組織に多く存在し、細胞間結合因子と結合して構造的支持体としての役割を持つ。さらに、細胞あるいは細胞から細胞へのシグナル伝達においても重要な役割を担っている。このようにコア ECM は、細胞の足場として機能するだけでなく、細胞の増殖・分化、組織や器官の形態形成とホメオスタシスに必須である [1-3]。すなわち、コア ECM は生化学的・生物力学的なトリガーやシグナルとなり、多細胞生物の生体内において多種多様かつ重要な細胞・組織プロセスに影響を与える。加えて、ECM 様タンパク質、ECM 調節因子、ECM 結合因子などの ECM 関連タンパク質は、コア ECM の機能を調節するのみならず、コア ECM と結合して直接細胞分化や細胞増殖などに寄与する[4-7]。近年、ECM は従来から知られている細胞・組織の基本的機能への影響のみならず、老化や免疫などに代表される個体全体にわたる生命現象に大きく関わることがわかってきてている。老化においては、ECM の組成の変異に起因する組織環境が変化することによって、纖維症、心血管および筋骨格疾患、癌など様々な疾患を発症することが報告されている[8]。免疫においては、コア ECM 自身がインテグリンや Toll 様受容体(TR)などの細胞表面受容体のリガンドとして機能し、細胞シグナル伝達および免疫細胞ダイナミクスを調節する。免疫細胞において ECM 関連タンパク質は、ECM の分解、產生およびリモデリングにおいて重要な役割を果たす。また、コア ECM は構造的役割を担うため半減期が長くなることから、様々な翻訳後修飾を受けやすい。よって、コア ECM と ECM 関連タンパク質の遺伝的欠損が老化に影響を与えることが、様々な疾患につながると考えられる。しかしながら、ECM が進化の過程でどのタイミングで獲得され、それらのどのような構成因子が特定の疾患の背景となる生命現象の制御システムに寄与するかについては、ほとんど解明が進んでいない。

そこで本研究では、すべてのコア ECM および ECM 関連タンパク質に対して進化的に獲得されたタイミングとその構造の類似性に着目して分類し、これらの機能を失った疾患の特徴を解析することで、コア ECM (コラーゲン、プロテオグリカン、糖タンパク質) と ECM 関連タンパク質 (ECM 様タンパク質、ECM 調節因子、ECM 結合因子) の生命現象の制御システムの発達や進化への寄与を解明した。

2. 方法

2-1. ヒトコアECMおよびECM関連タンパク質の遺伝子データセットの取得

ヒトコア ECM および ECM 関連タンパク質の遺伝子情報が収録されている Matrisome DB(publish 2019 Oct5)から、生物種 : human に絞ってコア ECM および ECM 関連タンパク質の遺伝子を抽出した。このときアノテーション情報である 6 つのカテゴリを同時に取得した[8]。すなわち、コア ECM に属する、コラーゲン(カテゴリ 1)、プロテオグリカン(カテゴリ 2)、糖タンパク質(カテゴリ 3)、ECM 関連タンパク質に属する、ECM 様タンパク質(カテゴリ 4)、ECM 調節因子(カテゴリ 5)、ECM 結合因子(カテゴリ 6、ECM タンパク質と物理的に相互作用する分泌因子) の 6 つのカテゴリに分類した [9]。

2-2. 系統プロファイル法による進化解析

対象のタンパク質に対して Uniplot から取得した全ゲノム解読済みの 575 種の生物種とのオーソログを表したパターンを作成することにより解析を行った [10-11]。

2-2-1. 系統プロファイルの作成

2-1 で得られた 6 つのカテゴリに分類される遺伝子群に対して、全ゲノム解読済み生物種とのオーソログの有無を KEGG Ortholog Cluster(release_2019_02_28) [12] を用いて探索した。オーソログが存在すれば 1、存在しなければ 0 と表したビットパターンを表示し、系統プロファイルを作成した。全ゲノム解読済み生物種は KEGG(Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes) [13] に記載されている真核生物 575 種を用いた。

2-2-2. 進化情報によるクラスタリング

2-2-1 で作成した系統プロファイルをクラスタリングすることにより、進化的に類似度が高いタンパク質群を分類した。すなわち、系統プロファイルから各遺伝子間の距離をユークリッド距離により求め、クラスタ間の差が少なく分類の精度が高いウォード法により系統樹を作成した。

2-2-3. クラスタリングの可視化とクラス分け

クラスタリング解析結果に対し、可視化を行うためにビットパターンの 1 を黒、0 を白として表示した。また、2-2-2 で作成した系統樹をもとに、ユークリッド距離が 40 で分類した。

2-3. ECM 関連疾患原因因子解析

KEGG (Version 2021-10-01) 内にある遺伝子と疾患の関係を収録した KEGG Disease[13] を用いてデータセット内における遺伝子による疾患の割合とその傾向を解析した。このとき、2-2-3 の分類や 2-1 のカテゴリをもとにタンパク質種と進化との関係を解析した。

2-4. GO エンリッチメント解析法による ECM 関連疾患原因因子の特徴解析

各 ECM 関連疾患に寄与する原因遺伝子群に対しアノテーション情報である GO(Gene Ontology)[14] をエンリッチメント解析し、それらの遺伝子が属する生物学的機能を解明した[15]。その際、統計解析向

けのプログラム言語である R 言語(Version 4.1.1)の外部パッケージライブラリである clusterProfiler (Version 3.14) [16]を用いた。

2-5. パスウェイ解析による循環器系疾患に寄与する分子カスケード解析

KEGG(Version 2021-10-01)内にある KEGG Mapper を用いて循環器系疾患の原因遺伝子がコードするタンパク質が含まれる代謝パスウェイを調べた。その際、2-4 の経路に含まれる遺伝子の割合と GO 解析の結果をもとに、それらに寄与するパスウェイを決定した。

3. 結果

3-1. ヒトコア ECM および ECM 関連タンパク質の系統プロファイル解析

Matrisome DB を用いてヒトがもつコア ECM および ECM 関連タンパク質の遺伝子を抽出し、583 種の遺伝子を取得した。取得した遺伝子のうち、コア ECM は 198 種(34%)、ECM 関連タンパク質は 385 種(66%)あり、コア ECM の内訳はコラーゲンが 39 種(7%)、プロテオグリカンが 27 種(5%)、糖タンパク質が 132 種(22%)であった。一方、ECM 関連タンパク質の内訳は、ECM 様タンパク質が 91 種(16%)、ECM 調節因子が 154 種(26%)、ECM 結合因子が 140 種(24%)であった。

系統プロファイル解析を行うと、4 つのクラスに分類され、クラス I—IV と命名した。取得した遺伝子のうち、真核生物全体で獲得されたクラス IV に 16 種(3%)、動物で獲得されたクラス III に 134 種(23%)、脊椎動物または半索動物(後口動物)への進化で獲得されたクラス II に 376 種(64%)、両生類または哺乳類で獲得されたクラス I に 57 種(10%)分類された(図 1)。

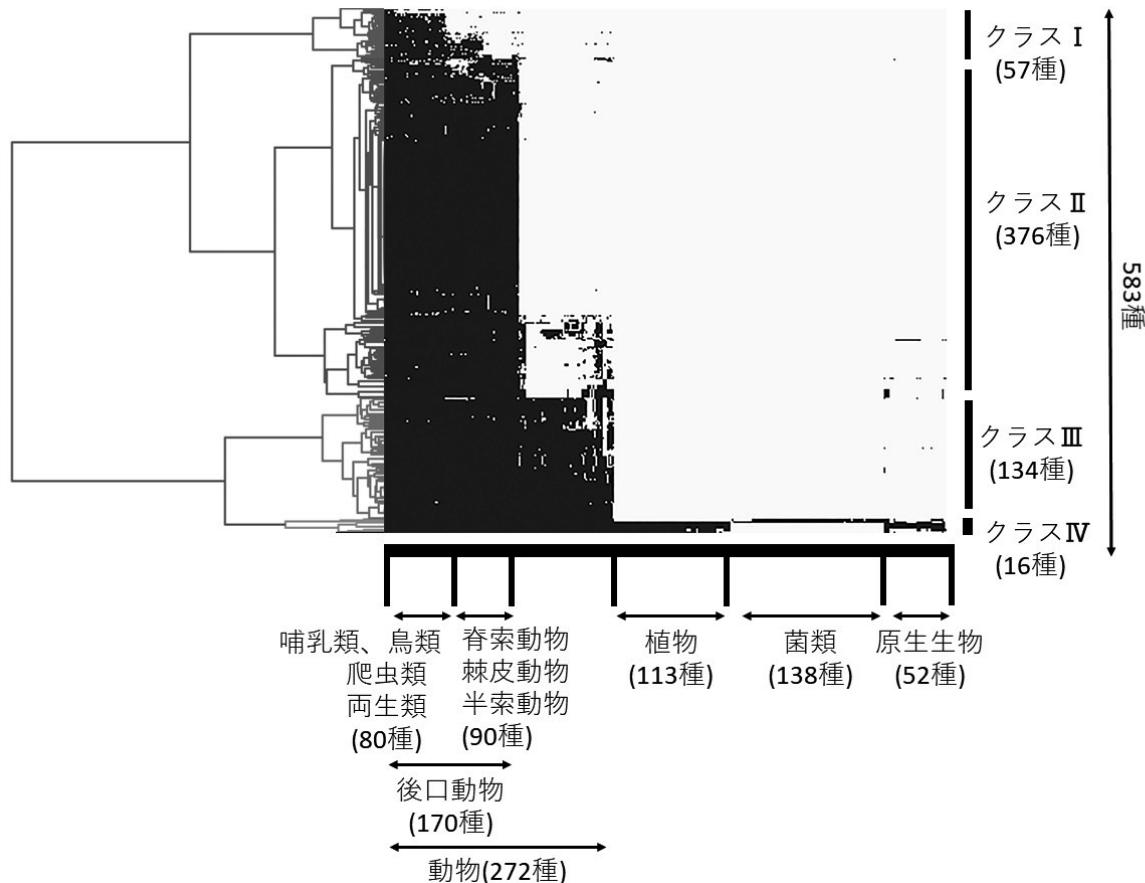


図 1. コア ECM および ECM 関連タンパク質の系統プロファイル解析

縦軸にヒトのコア ECM および ECM 関連タンパク質 583 種、横軸に KEGG Organisms の Complete Genome 一覧に掲載されている順にゲノム解読済の 575 種類の生物種を示している。左側にはクラスタリングにより得られた系統樹、右側にはビットパターンを示している。ビットパターンにおいて、コア ECM および ECM 関連タンパク質のオーソログが有る場合に限り黒で出力している。横軸の系統分類による 4 つのクレードをクラスと定義した。クラス I-IV はそれぞれ 57 種、376 種、134 種、16 種が属していた。

今回の解析においては、多細胞からなる組織構造を持つ動物またはそれより高等な進化の段階で獲得

された遺伝子およびその機能に着目したため、以下の解析ではクラスI、クラスII、クラスIIIに着目した。各クラスにおけるカテゴリの分布を解析すると、コアECMは、クラスIIIに46種、クラスIIに136種、クラスIに12種分類された。ECM関連タンパク質は、クラスIIIに88種、クラスIIに240種、クラスIに45種分類された(表1)。

コラーゲンがどのクラスに分類されるかを解析したところ、クラスIIIに11種分類され、IV型、VII型、XV型、XVI型、XVIII型、XXII型コラーゲンのサブユニットをコードする遺伝子であった。クラスIIに28種分類され、I型、II型、III型、V型、VI型、VIII型、IX型、X型、XII型、XIV型、XVII型、XIX型、XXI型、XXIV型、XXVI型、XXVII型、XXVIII型、コラーゲンのサブユニットをコードする遺伝子であった。クラスIには全く分類されなかった。

プロテオグリカンがどのクラスに分類されるかを解析したところ、クラスIIIに1種分類されており、その遺伝子は基底膜に不可欠であるHSPG2であった。クラスIIに23種、クラスIに3種分類された。

糖タンパク質(フィブロネクチン、エラスチン、ラミニン、フィブリノゲンなど)がどのクラスに分類されるかを解析したところ、クラスIIIに34種、クラスIIに85種、クラスIに9種分類された。フィブロネクチンは3種中、クラスIIIには全く分類されておらず、クラスIIでは2種、クラスIでは1種、分類された。エラスチンはクラスIで100%(1種)分類された。ラミニンはクラスIIIでラミニン1、ラミニン2、ラミニン3、ラミニン5のサブユニットをコードする遺伝子が分類されており、クラスIIでラミニン4をコードする遺伝子が分類された。血液凝固に関わるフィブリノゲンは3種あり、すべてクラスIIであった。

ECM様タンパク質(ムチン、C1Q、FCNなど)がどのクラスに分類されるかを解析したところ、クラスIIIに20種、クラスIIに47種、クラスIに22種分類された。ムチンは8種存在し、クラスIIIに3種、クラスIIに2種、クラスIに3種分類されていた。血清補体系であるC1Qは5種存在し、すべてクラスIIに分類された。補体経路に関係しているFCNは3種存在し、すべてクラスIであった。

ECM調節因子(マトリックス分解酵素であるMMPファミリーとADAMTSファミリー、凝固因子など)がどのクラスに分類されるか解析した結果、クラスIIIに48種、クラスIIに86種、クラスIに10種分類された。MMPファミリーはクラスIIIで16種中15種分類され、クラスIIで1種分類され、クラスIでは分類されなかった。ADAMTSファミリーは25種中クラスIIIに7種、クラスIIに15種、クラスIに3種分類された。血液凝固に関わる凝固因子は5種存在し、すべてクラスIIに分類された。

ECM結合因子(インターロイキン(IL)ファミリー、WNTファミリー、CCL、TGF β など)がどのクラスに分類されるかを解析したところ、クラスIIIに20種、クラスIIに47種、クラスIに22種分類された。ILは8種存在し、クラスIIに7種分類されるのに対し、クラスIに1種分類され、その遺伝子はIL6であった。WNTファミリーは12種存在し、それらはすべてクラスIIIに分類された。TGF β は3種存在し、それらはすべてクラスIIに分類された。白血球の移動に関わるCCLは7種存在し、それらはすべてクラスIIに分類された。

クラスIIの分類を詳しく解析すると、クラスIIのうち半索動物で獲得された遺伝子が92種(24%)、脊椎動物で獲得された遺伝子が286種(76%)であった。クラスIの分類を詳しく解析すると、クラスIのうち両生類で獲得された遺伝子が27種(47%)、哺乳類で獲得された遺伝子が30種(53%)であった。

表1. コア ECM と ECM 関連タンパクの各カテゴリが属するクラスの遺伝子数

	クラス I	クラス II	クラス III	クラス IV*
コラーゲン	0	28	11	0
プロテオグリカン	3	23	1	0
糖タンパク質	9	85	34	4
ECM 様タンパク質	22	47	20	2
ECM 調節因子	10	86	48	10
ECM 分泌因子	13	107	20	0

コア ECM および ECM 関連タンパク質をコードする遺伝子がカテゴリに着目した時の各クラスに属する遺伝子数。行はクラス、列はカテゴリである。*クラス IV に属する ECM 調節因子は ECM との関連が確認されていないものを含んでいる。よって、多細胞生物における ECM の機能と関連しないものを含む可能性がある。

3-2. ECM 関連疾患の特徴解析

ECM 関連疾患は 378 種であり、それらの疾患は 213 種の疾患原因遺伝子により引き起こされていた。

KEGG DISEASE で分類されている疾患の原因遺伝子数に着目すると、上位 5 種は以下であった。1 番目は、様々な組織において遺伝的な奇形を示す先天奇形疾患であり、原因遺伝子が 102 種 (48%) であった。2-5 番目の疾患に着目すると、神経系疾患を示す原因遺伝子が 39 種 (18%)、筋骨格疾患を示す原因遺伝子が 31 種 (14%)、循環器系疾患を示す原因遺伝子が 25 種 (12%)、免疫系疾患を示す原因遺伝子が 21 種 (10%) であった。

次に、上位 5 種のうち、特定の組織で引き起こされる疾患である神経系疾患、筋骨格疾患、循環器系疾患、免疫系疾患、に注目して獲得時期を比較解析した（図 2）。神経系疾患の原因遺伝子のうち、動物への進化で獲得されたクラス III が 10 種(26%)、脊椎動物または後口動物への進化で獲得されたクラス II が 28 種(72%)、両生類または哺乳類への進化で獲得されたクラス I が 1 種(2%) であった。筋骨格疾患の原因遺伝子のうち、クラス III が 7 種(23%)、クラス II が 24 種(77%)、クラス I が 0 種(0%) であった。循環器系疾患は原因遺伝子のうち、クラス III が 3 種(12%)、クラス II が 20 種(80%)、クラス I が 2 種(8%) であった。免疫系疾患の原因遺伝子のうち、クラス III が 1 種(5%)、クラス II が 15 種(71%)、クラス I が 5 種(24%) であった。

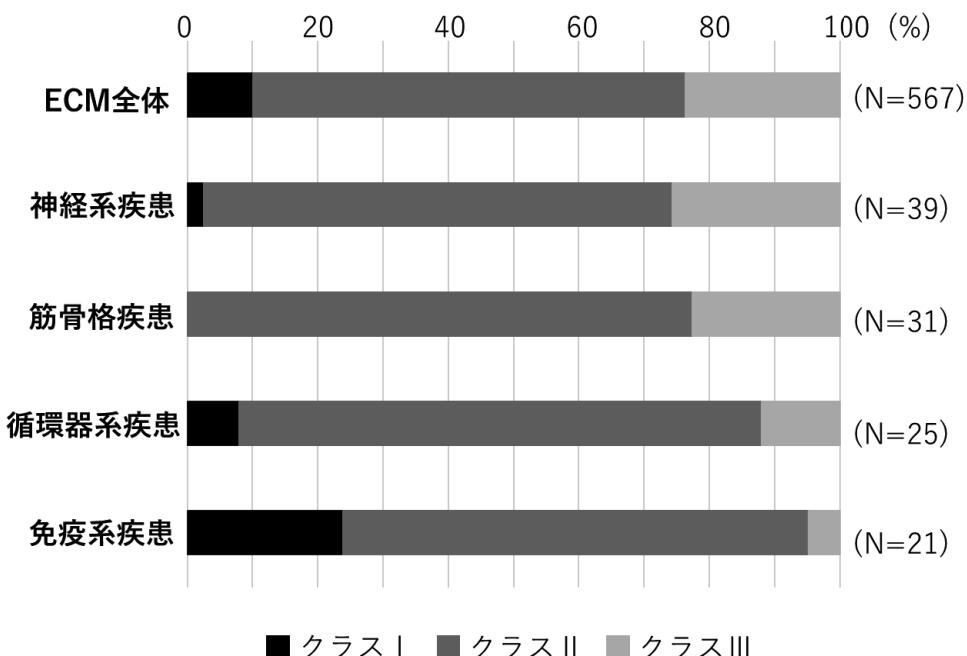


図2. 各 ECM 関連疾患に寄与するタンパク質群の獲得時期の比較

ECM 全体(コア ECM および ECM 関連タンパク質の総和)および主要な ECM 関連疾患(神経系疾患、筋骨格疾患、循環器系疾患、免疫系疾患)の間で獲得時期の割合を比較した。グラフの縦軸は ECM 全体または疾患名、横軸は獲得時期により定義される各クラスの割合を示す。N=遺伝子の総数

さらに、疾患群の原因遺伝子がどのカテゴリに分類されているか割合を算出した(図3)。神経系疾患の原因遺伝子がコードするタンパク質のうち、コラーゲンが5種(13%)、プロテオグリカンが4種(10%)、糖タンパク質が14種(36%)、ECM 様タンパク質が4種(10%)、ECM 調節因子が8種(21%)、ECM 結合因子が4種(10%)であった。筋骨格疾患の原因遺伝子がコードするタンパク質のうち、コラーゲンが18種(58%)、プロテオグリカンが2種(7%)、糖タンパク質が2種(7%)、ECM 様タンパク質が0種(0%)、ECM 調節因子が4種(12%)、ECM 結合因子が5種(16%)、であった。循環器系疾患の原因遺伝子がコードするタンパク質のうち、コラーゲンが2種(8%)、プロテオグリカンが0種(0%)、糖タンパク質が6種(24%)、ECM 様タンパク質が0種(0%)、ECM 調節因子が14種(56%)、ECM 結合因子が3種(12%)であった。免疫系疾患の原因遺伝子がコードするタンパク質のうち、コラーゲンが1種(5%)、プロテオグリカンが0種(0%)、糖タンパク質が0種(0%)、ECM 様タンパク質が6種(29%)、ECM 調節因子が3種(14%)、ECM 結合因子が11種(52%)であった。

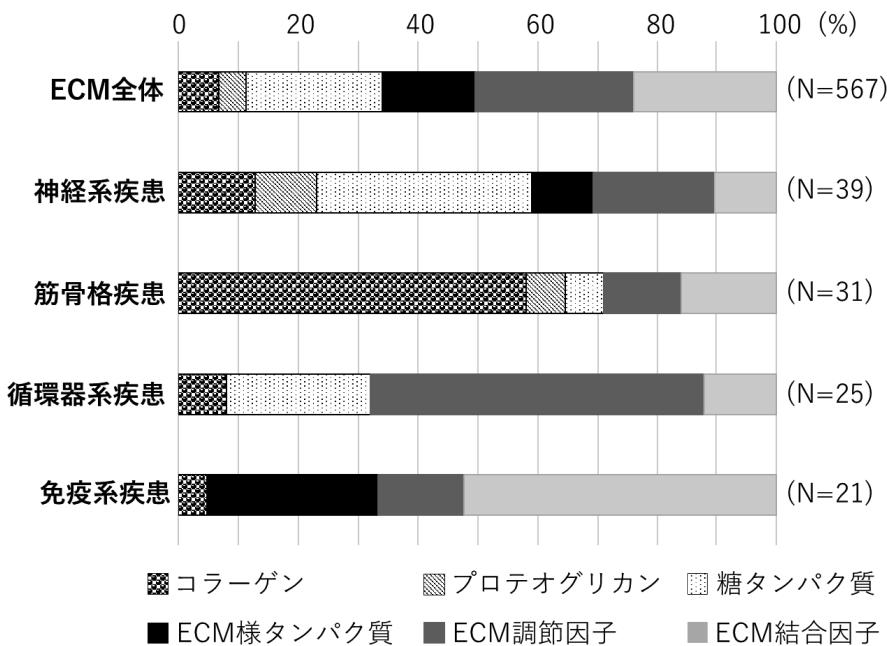


図3. 各 ECM 関連疾患に寄与するタンパク質群のカテゴリ比較

ECM 全体(コア ECM および ECM 関連タンパク質の総和)および神経系疾患、筋骨格疾患、循環器系疾患、免疫系疾患に対して、各カテゴリの割合を比較した。グラフの縦軸は ECM 全体または疾患名、横軸は ECM タンパク質が属するカテゴリの割合を示す。N=遺伝子の総数

3-3. GO エンリッチメント解析法による機能解析

疾患群の原因遺伝子がどのような生物学的プロセスに寄与するか解明するために、GO エンリッチメント(GO)解析法を用いて生物学的プロセス(biological process)に着目して解析した。神経系疾患について GO 解析を行ったところ、7 種(18%)の原因遺伝子が、negative regulation of endopeptidase activity にアノテーションされた。筋骨格疾患については、6 種(33%)の原因遺伝子が、collagen metabolic process にアノテーションされた。循環器系疾患については、11 種(42%)の原因遺伝子が protein activation cascade にアノテーションされた。免疫系疾患については、10 種(48%)の原因遺伝子が adaptive immune response based on somatic recombination of immune receptors built from immunoglobulin superfamily domains にアノテーションされた。

3-4. パスウェイ解析による循環器系疾患に寄与する分子カスケード解析

疾患原因遺伝子のうち ECM 調節因子が 56%と疾患への寄与が大きかった循環器系疾患に着目して、原因遺伝子がどのようなパスウェイに関わっているのかを解析した。その結果、原因遺伝子のうち補体と血液凝固カスケード(Complement and coagulation cascades)に寄与する遺伝子が 16 種(62%)と最も多く含まれた。補体と血液凝固カスケードを構成する遺伝子のカテゴリに着目すると、糖タンパク質が 2 種(13%)と ECM 調節因子が 14 種(87%)であり、コラーゲン、プロテオグリカン、ECM 様タンパク質、ECM 分泌因子は全く含まれていなかった。補体と血液凝固カスケードを構成する遺伝子の獲得時期に着目すると、クラス III は 1 種(6%)でありその遺伝子は凝固因子である Factor XIII (F13a) であった。クラス II

は15種(94%)、クラスIは全く分類されていなかった。F13aは、フィブリノン纖維(fibrin monomer)を凝集することで、血餅(fibrin clot)の産生を促進する(図4)[17][18]。また、F13aの上流では血液凝固因子であるVWFおよびF12が循環器系疾患の原因遺伝子に含まれていた[17][18][19]。

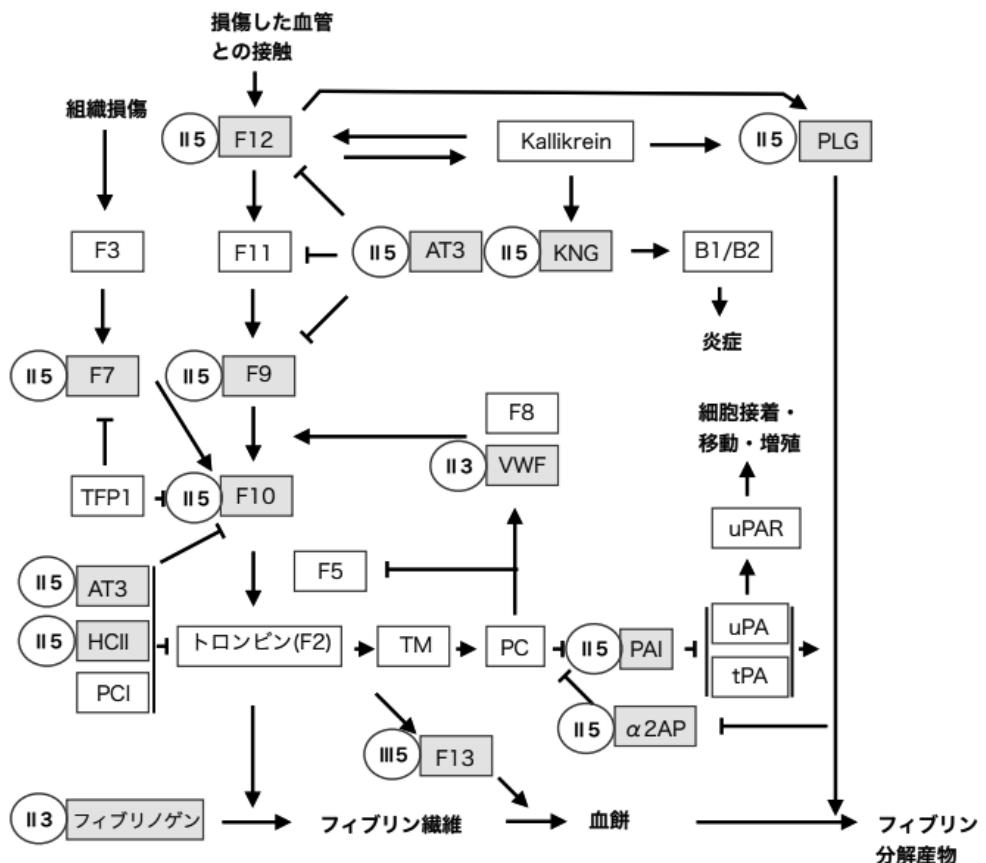


図4. 補体と血液凝固カスケードに寄与する疾患遺伝子のカテゴリと獲得時期の特徴

この経路には、糖タンパク質が2種、ECM調節因子が14種含まれていた。対象となるタンパク質の左横の○の中にはそのタンパク質が属するクラスの種類、カテゴリの種類が示されている。

II : クラス II、III : クラス III、カテゴリ 3 : 糖タンパク質、カテゴリ 5 : ECM 調節因子、F7 : 凝固因子 VII、F9 : 凝固因子 IX、F10 : 凝固因子 X、F12 : 凝固因子 XII、F13 : 凝固因子 XIII、AT3 : アンチトロンビン III、HC II : ヘパリン補因子 2、KNG : キニノゲン 1、PLG : プラスマニノゲン、VWF : von Willebrand 因子、PAI : プラスマニノゲン活性化阻害剤 1、 α 2AP : α 2 アンチプラスミン

4. 考察

本研究ではすべての ECM に対して進化的に獲得されたタイミングとその構造の類似性に着目して系統プロファイル解析し、それらの分子種の存在頻度を算出した。その結果、全ての ECM は主に、動物で獲得されたクラスⅢ、半索動物または脊椎動物で獲得されたクラスⅡ、両生類または哺乳類で獲得されたクラスⅠに分類された。

次に、それらの機能を失った主要な 4 つの疾患は神経系疾患、筋骨格疾患、循環器系疾患、免疫系疾患、であった。これらの 4 つの疾患に寄与するコア ECM および ECM 関連タンパク質の存在割合を 6 つのカテゴリ（コラーゲン、プロテオグリカン、糖タンパク質、ECM 様タンパク質、ECM 調節因子、ECM 結合因子）に分けて算出すると、主要 4 種類の疾患に寄与する各カテゴリの存在比が異なった。よって、それぞれの疾患に関連したプロセスは進化の過程でそれぞれ特徴的な分子を獲得していることを示唆した。

4-1. 主要な ECM 疾患に寄与する ECM 遺伝子の進化における獲得時期

ECM（コア ECM および ECM 関連タンパク質の総和）について、神経系疾患、筋骨格疾患、循環器系疾患、免疫系疾患が各クラスに分類される分子種の総数の全体に占める割合を比較すると、各疾患に寄与する ECM 遺伝子の割合が、疾患への寄与を考慮しない全体の ECM 遺伝子の割合と同様に、7 割前後クラスⅡに分類される事から、疾患の原因となる ECM の多くが脊索動物または半索動物への進化の過程で獲得され、機能することが示唆された。4 つの疾患間で、クラスⅢとクラスⅠに属する遺伝子の頻度を比較すると、クラスⅢの頻度が、筋骨格疾患、神経系疾患、循環器系疾患、免疫系疾患の順に高かった事から、筋骨格系の発達に寄与する ECM が他の 3 つの系よりもより進化の早い時期で獲得されたことが示された。一方、クラスⅠの頻度が、免疫系疾患、循環器系疾患、神経系疾患の順で高く、筋骨格疾患はみられなかった事から、ECM 依存的な免疫系の発達が両生類および哺乳類への進化において起こっていることが推察される。これらの結果は、ECM は、神経系や筋肉、骨など、生物に基本的な組織の発達に貢献することで、動物への進化に大きく寄与するという知見を支持する[20]。一方、免疫系と循環器系において ECM は、血管や心臓を発達させ、血液成分、血球細胞、免疫細胞の循環や異物への応答に寄与することで、高等脊椎動物における高次生命機能の獲得とその維持に重要な役割を果たすと推察される。これらの仮説の検証には更なる解析が必要である。

4-2. コア ECM 分子および ECM 関連因子の各カテゴリの割合は ECM 疾患の種類により特徴的である

カテゴリ分類と疾患の種類との関係の解明から、コラーゲンは、筋骨格疾患で大きく寄与した。プロテオグリカンは、神経系疾患と筋骨格疾患に寄与した。糖タンパク質は、神経系疾患に大きく寄与した。ECM 様タンパク質は、免疫系疾患に大きく寄与した。ECM 調節因子は、循環器系疾患に大きく寄与した。ECM 結合因子は、免疫系疾患に大きく寄与した。よって、神経系疾患と筋骨格疾患の両方にはコア ECM の寄与が大きく、免疫系疾患は ECM 関連タンパク質の寄与が大きいこと、循環器系疾患は上記 2 つの中間の特徴を示した。筋骨格疾患と神経系疾患でのコア ECM のカテゴリの違いを比較すると、どちらもプロテオグリカンの寄与は大きいが、筋骨格疾患ではコラーゲンの寄与が大きく、神経系疾患で

は糖タンパク質の寄与が大きいことがわかった。循環器系疾患と免疫系疾患の ECM 関連タンパク質のカテゴリの違いを比較すると、循環器系疾患は ECM 調節因子が大きく寄与したのに対して免疫系疾患は ECM 様タンパク質と ECM 結合因子の寄与が大きいことがわかった。以上により、筋肉や骨組織の発達と維持にはコラーゲン、神経系の発達と維持には糖タンパク質、循環器系の発達と維持には ECM 調節因子、免疫系の発達と維持には ECM 様タンパク質と ECM 結合因子の獲得と機能が重要な役割を果たすことが推察される。

4-3. 循環器系疾患に属する補体と血液凝固カスケードの制御には糖タンパク質と ECM 調節因子の相互作用が重要な役割を果たす

疾患原因遺伝子のうち ECM 調節因子が循環器系疾患の寄与が大きいことが示され、また GO 解析から、ECM 調節因子は補体と血液凝固カスケードに大きく寄与することが示された。このパスウェイの主要な因子群のほとんどがクラス II に分類され、糖タンパク質に属するフィブリノゲンと ECM 調節因子に属する血液凝固因子群であった。よって、フィブリノゲンは、脊椎動物または半索動物への進化で獲得されると考えられ、この結果は、フィブリノゲン様の分子いくつかが脊索動物であるホヤで報告される結果を支持する[19][21]。同様に血液凝固因子群のほとんどがクラス II に分類されることから、フィブリノゲンと血液凝固因子が共進化している可能性が考えられ、今後更なる解析が必要である。

血液凝固パスウェイの最下位でフィブリリンの凝集に寄与する F13 の A サブユニット様のタンパク質が、興味深いことに動物に属するミカンキイロアザミウマで獲得されていた。フィブリノゲン様タンパク質はミカンキイロアザミウマが属する昆虫類であるショウジョウバエ、カブトガニにみられる報告が示されているため、ミカンキイロアザミウマでフィブリノゲン様タンパク質の存在の有無の解明が待たれる[19-21]。

本研究の遂行にあたり貴重な助言をいただいた、北川 啓氏、高塚 悠氏に感謝します。

6. 参考文献

- [1] Martin GR, Kleinman HK, Terranova VP, Ledbetter S, Hassell JR. The regulation of basement membrane formation and cell-matrix interactions by defined supramolecular complexes. *Ciba Found Symp.* 1984;108:197-212.
- [2] Hay ED. Extracellular matrix alters epithelial differentiation. *Curr Opin Cell Biol.* 1993;5:1029-1035.
- [3] Roskelley CD, Srebrow A, Bissell MJ. A hierarchy of ECM-mediated signalling regulates tissue-specific gene expression. *Curr Opin Cell Biol.* 1995;7:736-747.
- [4] Werb Z, Vu TH, Rinkenberger JL, Coussens LM. Matrix-degrading proteases and angiogenesis during development and tumor formation. *APMIS.* 1999;107:11-18.
- [5] Chang C, Werb Z. The many faces of metalloproteases: cell growth, invasion, angiogenesis and metastasis. *Trends Cell Biol.* 2001;11:S37-S43.
- [6] Vlodavsky I, Korner G, Ishai-Michaeli R, Bashkin P, Bar-Shavit R, Fuks Z. Extracellular matrix-resident growth factors and enzymes: possible involvement in tumor metastasis and angiogenesis. *Cancer Metastasis Rev.* 1990;9:203-226.
- [7] Klagsbrun M. Mediators of angiogenesis: the biological significance of basic fibroblast growth factor (bFGF)-heparin and heparan sulfate interactions. *Semin Cancer Biol.* 1992;3:81-87.
- [8] Xinhao Shao, Isra N Taha, Karl R Clauser, Yu (Tom) Gao, Alexandra Naba, MatrisomeDB: the ECM-protein knowledge database, *Nucleic Acids Res.* 2020; 48,D1136–D1144.
- [9] Shao X, Taha IN, Clauser KR, Gao YT, Naba A. MatrisomeDB: the ECM-protein knowledge database. *Nucleic Acids Res.* 2020;48:D1136-D1144.
- [10] UniProt Consortium. UniProt: a worldwide hub of protein knowledge. *Nucleic Acids Res.* 8;47:D506-D515.
- [11] Pazos F, Valencia A. Similarity of phylogenetic trees as indicator of protein-protein interaction. *Protein Eng.* 2001;14:609-614
- [12] Nakaya A, Katayama T, Itoh M, Hiranuka K, Kawashima S, Moriya Y, Okuda S, Tanaka M, Tokimatsu T, Yamanishi Y, Yoshizawa AC, Kanehisa M, Goto S. KEGG OC: a large-scale automatic construction of taxonomy-based ortholog clusters. *Nucleic Acids Res.* 2013;41:D353-D357.
- [13] Kanehisa M, Furumichi M, Tanabe M, Sato Y, Morishima K. KEGG: new perspectives on genomes, pathways, diseases and drugs. *Nucleic Acids Res.* 2017;45:D353–D361.
- [14] The Gene Ontology Consortium. The Gene Ontology Resource: 20 years and still GOing strong. *Nucleic Acids Res.* 2019;47:D330-D338.
- [15] Chen L, Zhang YH, Wang S, Zhang Y, Huang T, Cai YD. Prediction and analysis of essential genes using the enrichments of gene ontology and KEGG pathways. *PLoS One.* 2017;12:e0184129.
- [16] Yu G, Wang L-G, Han Y, He Q-Y. clusterProfiler: an R package for comparing biological themes among gene clusters. *OMICS.* 2012;16:284–
- [17] Oikonomopoulou K, Ricklin D, Ward PA, Lambris JD. Interactions between coagulation and complement-- their role in inflammation. *Semin Immunopathol.* 2012;34:151-165.
- [18] 竹尾和寛 (2013) 「フィブリノゲンの多様性—その構造と機能, および分子進化について—」、『血栓

止血誌』、24巻、pp.300~317.

[19] 岩永貞昭 (2008) 「3. 血液凝固因子の分子進化—フィブリノーゲンと von Willebrand 因子を中心にして」、『血栓止血誌』、19巻、pp.292~299.

[20] 田中博、生命—進化する分子ネットワーク、パーソナルメディア株式会社、2007、pp143-184

[21] Oren M, Escande ML, Paz G, Fishelson Z, Rinkevich B. Urochordate histoincompatible interactions activate vertebrate-like coagulation system components. PLoS One. 2008;3:e3123.

表層崩壊模擬実験による透過弾性波を用いた 地盤内部モニタリングの試み

土井一生¹⁾・川方裕則²⁾・中山雅之³⁾・高橋直樹⁴⁾

A Trial of Sand Layer Monitoring Using Transmitted Elastic Waves through a Flume Test of Surface Failure

Issei Doi¹⁾, Hironori Kawakata²⁾, Masayuki Nakayama³⁾ and Naoki Takahashi⁴⁾

This study demonstrates that transmitted elastic waves have the potential to serve monitoring surface slope failures by conducting a flume test under heavy rain conditions. Four accelerometers were settled in and on a sand slope that consists of permeable and impermeable sand layers in a flume. Elastic waves of burst signals that consisted of ten cycles of sine wave were radiated every 0.4 s from a speaker that was attached to the outer surface of the flume. The received elastic waves were stacked and averaged every 20 s and their time lags and maximum amplitudes were calculated during the precipitation which was given from 3 min and was strengthened at 23 min after the beginning of the test. Resultantly, as a slope failure approached which involved an accelerometer, the estimated time lags and amplitude ratios for the accelerometer were increased and decreased, respectively, which implied that the sand sediments around the accelerometer were loosed and unstable. It was suggested that elastic waves can be a powerful tool to monitor the internal condition of the slope.

Keywords; Elastic waves, Monitoring, Flume test, Sand layer, Surface failure

E-mail: doi.issei.5e@kyoto-u.ac.jp (I. Doi)

京都大学防災研究所¹⁾、立命館大学理工学部²⁾、立命館大学総合科学技術研究機構³⁾、
三井住友建設株式会社⁴⁾

¹⁾ Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Uji, Kyoto, 611-0011, Japan

²⁾ College of Science and Engineering, Ritsumeikan University, Kusatsu, Shiga, 525-8577, Japan

³⁾ Research Organization of Science and Technology, Ritsumeikan University, Kusatsu, Shiga,
525-8577, Japan

⁴⁾ Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd., Nagareyama, Chiba, 270-0132, Japan

1. はじめに

近年、気象の極端化が進み、毎年のように豪雨に伴って斜面災害が発生している。2021年も7月の静岡県熱海市の伊豆山の盛土の崩壊に起因する土石流や8月の長崎県雲仙市における表層崩壊などによって、多大な人的・物的な被害が生じた。今後も同様の局地的な豪雨が発生することが予想され、斜面崩壊発生場所の予測だけでなく、モニタリングによる適切なアラートの発表が喫緊の課題となっている。

現在、斜面崩壊の危険性を示す指標として土壤雨量指数が気象庁から発表されている。土壤雨量指数は、降水量を入力として、タンクモデルに基づき土壤内にどれだけの水分が含まれているかを計算したものであるが、全国一律の水文学的なパラメタを用いて計算されるため、知りたい場所の値を正確に反映しているとは限らない。また、原位置での土壤水分量や間隙水圧などの水文学的なパラメタや、伸縮計などの変位に関する観測によって斜面崩壊の監視がおこなわれているが、ある決まった閾値を超えた時に必ず崩壊が発生するわけではなく、現状ではこれらの観測量から総合的に判断してアラートを出すことがおこなわれている。そのため、斜面の状態について、従来の観測とは独立な観測を実施することができれば、より精度の高いアラートの発出が期待できる。

媒質内部を透過する弾性波は、媒質の弾性パラメタの影響を受ける。このような弾性波の性質はさまざまなターゲットに対して媒質内部の構造推定や時間変化の検出に利用されてきた。例えば、岩石力学分野においては、Yoshimitsu and Kawakata (2011) が主破壊に向かう岩石試料内を透過する弾性波の時間変化を利用し、弾性波速度や振幅が減少していくことを明らかにした。砂層地盤に対しても、Barrièr et al. (2012) が室内実験をおこない、水平な地盤に対して準静的な注水、排水過程における弾性波速度と振幅の変化について示した。また、Chen et al. (2018) は斜面をなした地盤における降雨実験において、斜面の傾斜変化に伴い弾性波速度が低下することを示した。

このように透過弾性波の利用が着目される中、斜面崩壊直前に透過弾性波の伝播速度だけでなく振幅などの挙動がどのように変化するかを室内実験において明らかにすることは、フィールドにおける透過弾性波の活用について重要な知見を与える。そこで、本研究では、模擬斜面を水槽内に作成し、降雨に伴う斜面崩壊を発生させ、その一連の過程で透過弾性波の伝播速度や振幅がどのように変化するかについて明らかにした。

2. 実験デザイン

水槽内に作成した模型斜面の表面および内部に加速度計を設置し、上方から降水を与えながら、断続的に繰り返し透過弾性波を計測した。模型斜面の正面から見た写真を図1に、側面から見た模式図を図2に示す。水槽の大きさは長さ700 mm、高さ400 mm、幅100 mmである。フィールドでの表層崩壊を模擬するため、模型斜面は上部(第一層)の透水層と下部(第二層)の難透水層からなる傾斜30°の流れ盤斜面とした。第一層の厚みは50 mm、第二層の高さは最大150 mmであった。第一層は珪砂6号、第二層は珪砂6号とシリカ(重量比7:3で混合)で構成され、それぞれ空中落下法で地盤を作製したのち、水槽底部からの水道水の注水および排水によって濡れた状態とした。第一層、第二層の密度はそれぞれ 1.38 g/cm^3 、 1.84 g/cm^3 、透水

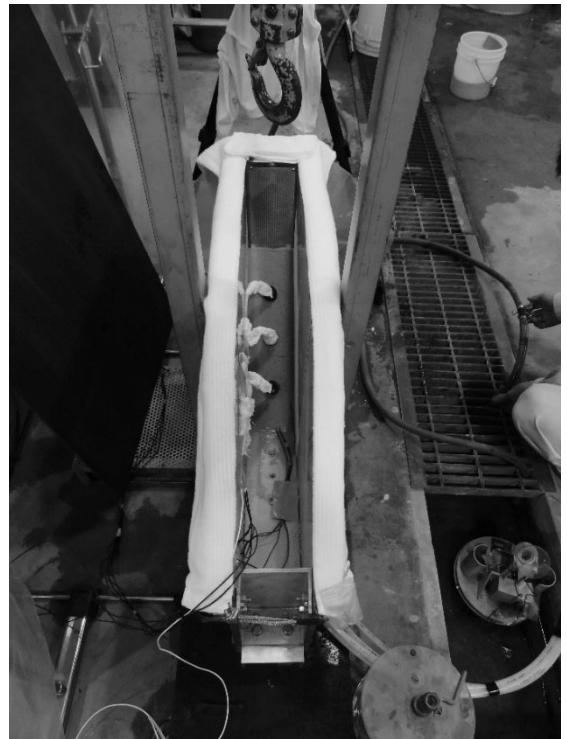


図1： 実験装置の全景写真。

係数は 2.11×10^{-4} m/s、 1.33×10^{-6} m/s であった。弾性波は市販のスピーカーを水槽背面の高さ 67.5 mm の場所に外側から貼りつけた。加速度計 (PCB Piezotronics 社製 393B04) は斜面内部第二層最上部に 1 個 (No.1)、斜面表面に 100 mm 間隔で 3 個 (上流から順に No.2, No.3, No.4) 設置した。水槽の上面および加速度計のケーブルには雨滴による震動の影響を最小限とするためタオルを巻いた。

実験開始後 3 分間は、初期状態における弾性波を記録するため、降水はおこなわなかった。その後、高さ約 1 m の位置から斜面全体に均質となるように時間雨量 50 mm の降水を 20 分間与え、その後、降水強度を時間雨量 100 mm として実験を継続したところ、実験開始から約 31 分後に作製した地盤の表層部分がほとんど崩壊したため実験を終了した。ファンクションジェネレータ (Tektronix 社製 AFG3102) によって 2 kHz の正弦波の 10 周期バースト信号を 0.4 秒間隔でスピーカーに送信し、スピーカーを水槽背面に鉛直な方向に振動させることで断続的に弾性波を放射した。加速度計の信号は、スピーカーへ送信した電圧信号とともに、サンプリング周波数 51.2 kHz で連続集録をおこなった。また、正面および側面からデジタルカメラで実験の一部始終を動画撮影した。

3. 解析手法

まず、スピーカーへの送信電圧信号の連続波形記録から断続的に放射した弾性波の送信時刻を読み取った。この時刻を基準に前 10 ミリ秒間、後 20 ミリ秒間の加速度計の波形記録を切り出し解析に用いた。加速度計の記録は、タオルによって軽減されてはいるものの雨滴などの偶発的なノイズを含む。そのため、実験開始から 20 秒ごとに区切り、その間に含まれる加速度波形記録 (約 50 個) を平均処理することでノイズの低減を図った。このようにして得られた加速度波形記録の例を図 3 に示す。

降水の斜面への浸透に伴い、斜面内部の弾性定数が変化することが予想され、それに応じて弾性波の到達時刻や振幅、形状が変化しうる。そこで、実験開始直後の平均処理した弾性波記録を基準として (基準波形と呼ぶ)、その後の時間帯の透過弾性波 (解析対象波形と呼ぶ) の到達時刻差 (ラグ) や相対振幅について推定した。なお、集録された弾性波にはスピーカーから最短で加速度計に到達する直達波のほか、水槽の側面や底面などで反射を繰り返した後続波が含まれる。後続波には異なる経路を持つ反射波が混在しているため、

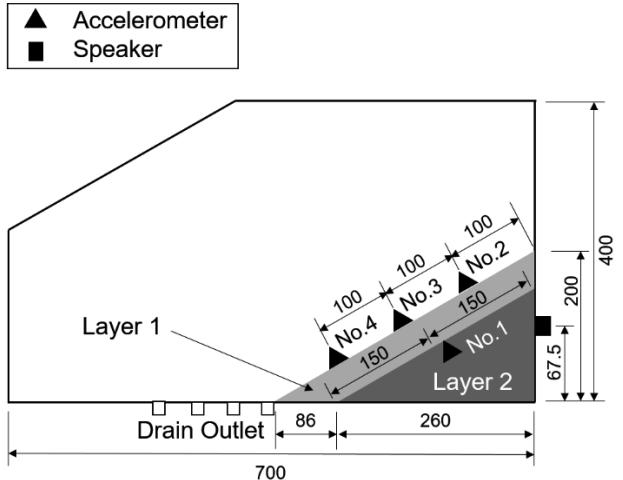


図 2： 実験装置を側面から見たときの模式図 (図中の数字の単位: mm)。

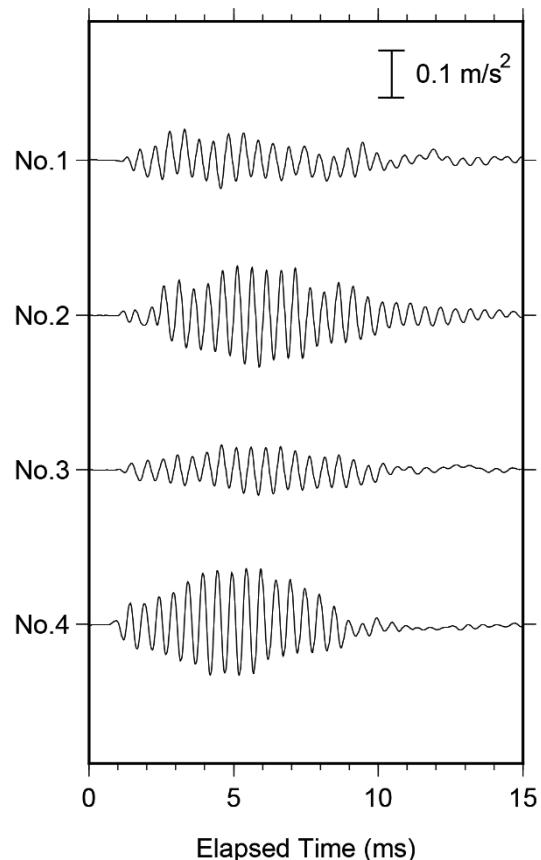


図 3： 観測された波形例 (実験開始から 3 分 40 秒後)。

本研究では到達経路が単純な直達波に着目し、基準波形における初動到達前から初動一周期分までの 5 ミリ秒を解析に用いた。

まず、(3.1) 式で定義される、基準波形と解析対象波形の相互相關関数 $CCR(t)$ を計算し、最大値を取る時刻 t を計算しラグとした（解析対象波形が基準波形より遅れるときにラグを正とする）。

$$CCR(t) = \frac{\int a(t+\tau)r(\tau)d\tau}{\sqrt{\int a(t+\tau)^2d\tau}\sqrt{\int r(\tau)^2d\tau}}$$

(3.1)

ここで、 $r(t)$ は基準波形記録、 $a(t)$ は解析対象波形記録である。具体的な計算例を図 4 に示す。相互相關係数が最大となる t だけ基準波形をずらすと解析対象波形とほぼ重なる。次に、解析に用いた時間幅における最大絶対値振幅から、解析対象波形の基準波形に対する振幅比を計算し相対振幅とした。

4. 結果

4. 1. 降雨に対する斜面の振る舞い

実験中の斜面の様子を記録した動画から切り出したスナップショットを図 5 に示す。降水開始（実験開始から 3 分後）から間もなく（実験開始から 4 分後）、加速度計 No.4 が斜面表層からゆっくりとすべり落ちた。その後は後退性崩壊が断続的に発生し、徐々に滑落崖が上方へ移動した。実験開始から 23 分後すぎには加速度計 No.3 のすぐ下方まで滑落崖が到達した。降水強度を増加させたこともあり、後退性崩壊はさらに加速し、実験開始後 23 分 20 秒ごろから加速度計 No.3 を巻き込む崩壊が発生した。さらに、実験開始から 26 分後には加速度計 No.2 の下方まで滑落崖が到達し、実験開始後 26 分 30 秒ごろから加速度計 No.2 を巻き込む崩壊が発生した。崩壊深は最大でも 20 mm 程度で、透水係数が大きな第一層の一部が崩壊したことを意味した。

4. 2. 透過弾性波の応答変化

図 6 に集録された 20 秒ごとの各加速度計における弾性波記録を示す。安定的に透過弾性波が記録されるとともに、観測される波形の形状が変化するタイミングが何回か存在していることが分かった。第二層の最上部に埋設した加速度計 No.1 の変化は他の加速度計に比べて小さく、観測された加速度波形が第一層表層の現象に大きく影響を受けていることが示唆された。大きな波形変化は実験開始から 3 分後過ぎにすべての観測点において見られ、降水開始のタイミングに対応した。実験開始後 3 分後から 23 分後においては、観測される加速度波形の変化は小さかったが、ゆっくりとした走時と振幅の変化が含まれているようにも見える。降水強度を増した実験開始 23 分後からは波形変化の速度が比較的大きくなつた。

上述したような初動の到達時刻変化や振幅変化を的確に捉えるために、各加速度計におけるラグおよび相対振幅を計算した結果を図 7 に示す。

第二層最上部に埋設した加速度計 No.1 においては、降水を開始した実験開始 3 分後、および、降水強度を増した実験開始 23 分後からラグが増加し、相対振幅が低下し始めた。どちらのタイミングにおいても変化は

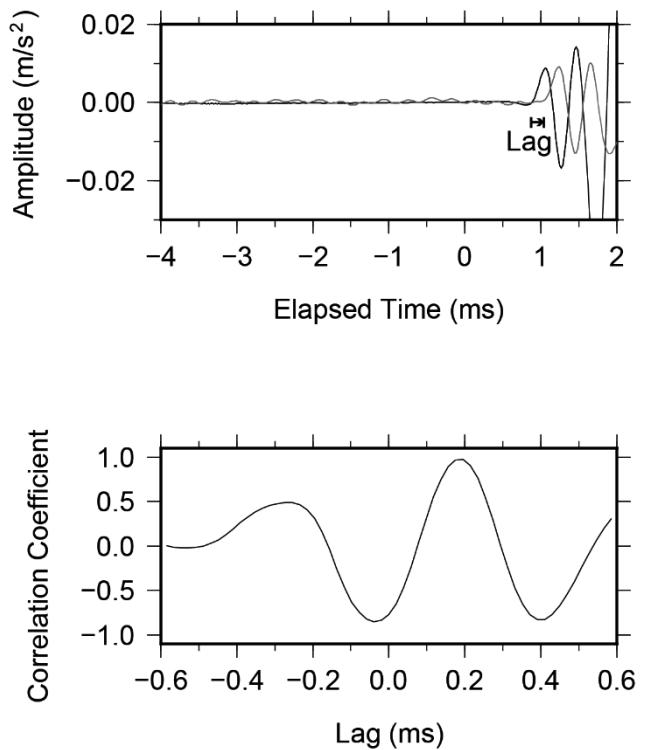


図 4： 相互相關関数を用いたラグの推定例。（上段）計算に用いた波形（黒色：加速度計 No.2 の基準波形、灰色：実験開始から 4 分 20 秒後の加速度計 No.2 の波形）。（下段）計算された相互相關関数。

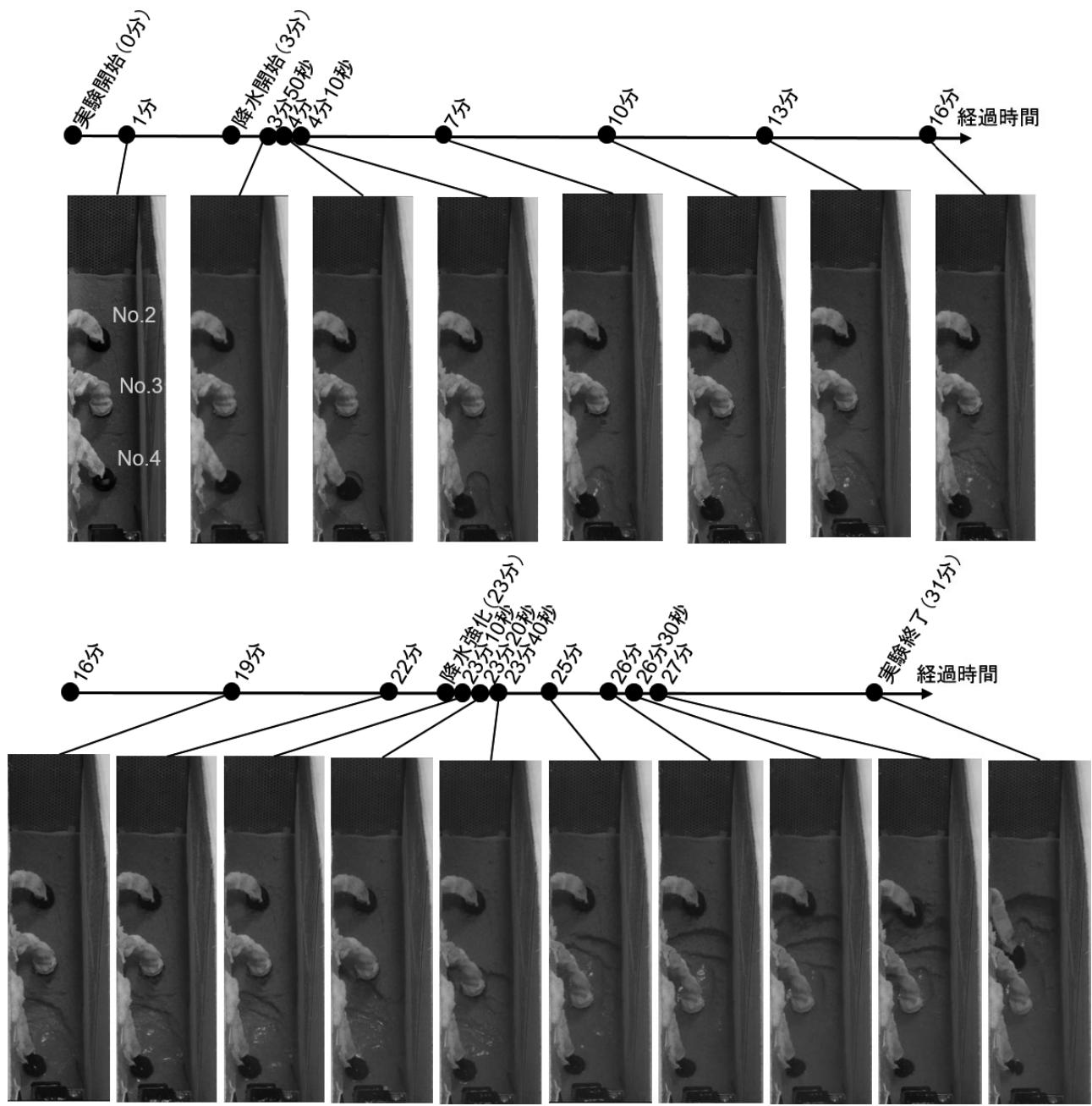


図 5： 実験途中の斜面のスナップショット。

約 2 分程度継続しやがて安定状態へと移行した。斜面地表の最上流部に設置した加速度計 No.2 においては、実験開始 3 分後の降水開始時には、加速度計 No.1 と同様にラグが増加し、相対振幅が低下した。しかし、実験開始 5 分後からは相対振幅が回復し始め、実験開始 22 分後には 1 を超える値を示した。降水強度を増した後も同様の変化を示し、滑落崖が加速度計 No.2 に到達する 10 秒前ごろからラグが再び増加した。斜面地表の中央部に設置した加速度計 No.3 においては、実験開始 3 分後の降水開始時に、加速度計 No.1、No.2 と同様にラグが増加するものの、相対振幅は加速度計 No.1、No.2 と異なり増加した。その後、相対振幅は実験開

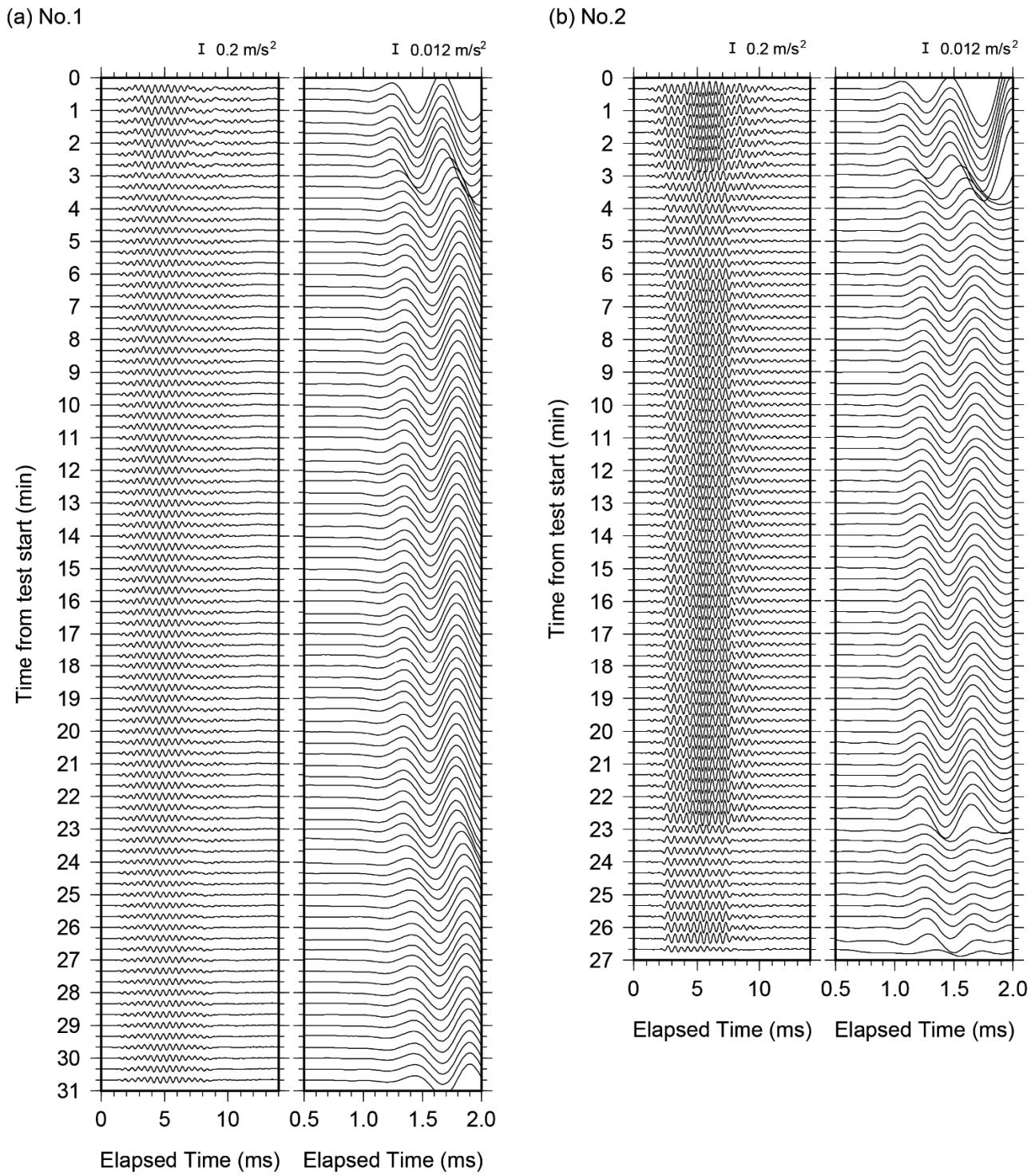
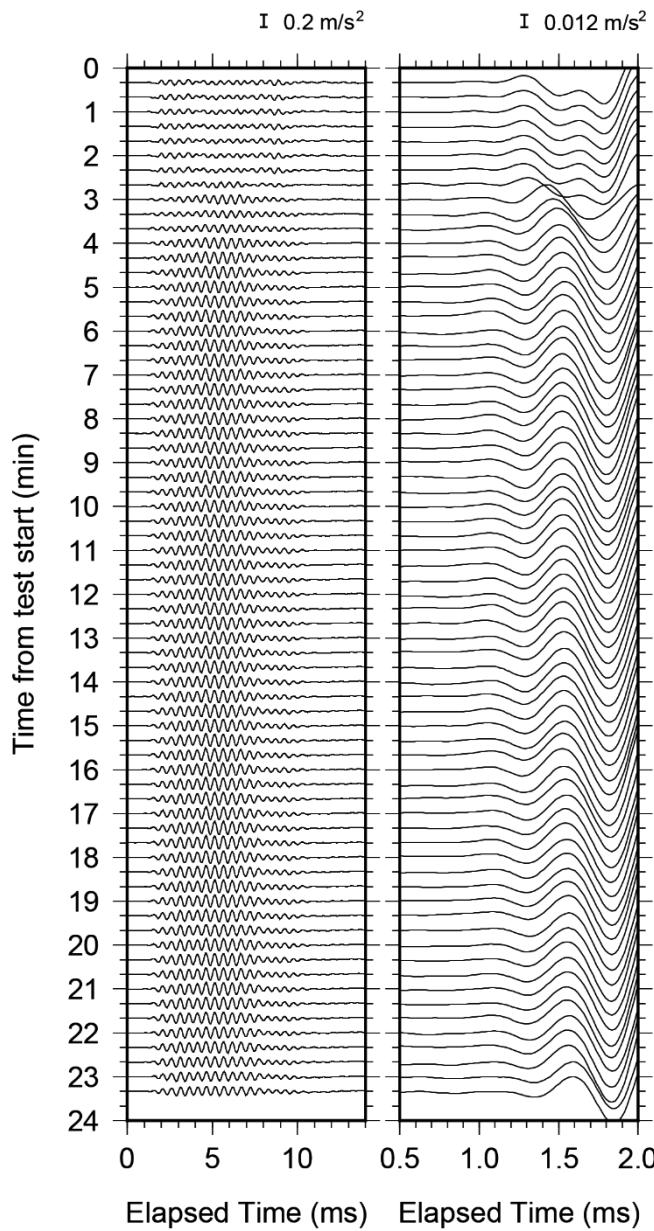


図 6：各加速度計におけるスタック波形の時間変化。斜面崩壊の発生などにより各加速度計が当初の設置場所から移動するまでの記録を示す。各パネル右側は初動部分の拡大図を表す。

(c) No.3



(d) No.4

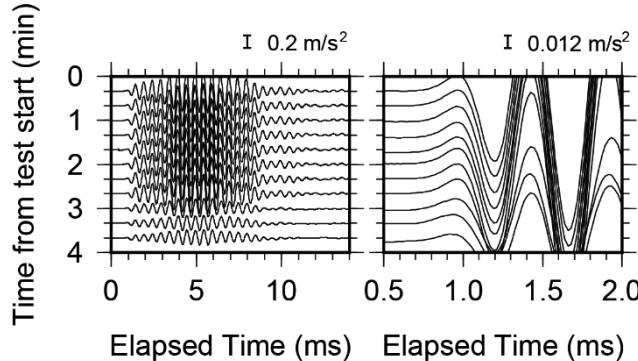


図 6 (続き)。

始 10 分後まで、ラグは実験開始 19 分後まで安定し一定となったのち、ゆっくりと相対振幅は低下、ラグは増加した。加速度計 No.3 を巻き込む崩壊が発生する実験開始 23 分 20 秒直前にラグの増加と相対振幅の急減が見られた。斜面地表の最下流部に設置した加速度計 No.4においては、実験開始 3 分後の降水開始時に、加速度計 No.1、No.2 と同様に相対振幅が減少した。加速度計 No.4 が斜面表層からゆっくりとすべり落ちる実験開始 4 分後直前には、ラグ、相対振幅ともに大きな変化は認められなかった。

5. 議論・結論

各加速度計におけるラグおよび相対振幅は降水開始時および降水強度の増加時に大きく変化した。Nakayama et al. (2021) は乾燥状態と飽和状態における透過弾性波の弾性波速度を見積もり、飽和状態においては弾性波速度が 2 倍近くになったことを示している。一方、本研究においては多くの観測点でラグが増加したため、弾性波速度が低下したことが示唆される。これは、本研究においては斜面上空から雨水を与えており、空隙が（特に透水性の高い第一層の場合は）多数存在する斜面内部に浸透した雨水が砂層内の不均質として作用し、弾性波速度（さらに相対振幅）が低下した可能性が考えられる。一方、降雨とともに相対振幅が増した加速度計 No.3においては、砂層表面が雨水によって濡れることで加速度計のカップリングが上昇したことに由来するのではないかと推測した。

斜面地表に設置した加速度計が巻き込まれる崩壊が発生する直前には、加速度計 No.2、No.3 においてラグが増加した。特に、加速度計 No.2 においては数分前からラグがわずかに増加し始め、相対振幅も低下の傾向を示した。これは後退性崩壊が加速度計 No.2 に迫るにつれ、末端が侵食され、加速度計周辺の斜面が緩み、不安定化していたことを示唆する。このような斜面の不安定化は、波浪に伴う侵食を受ける海岸地すべりにおいても傾斜変化として観測されており (Doi et al., 2020)、透過弾性波によっ

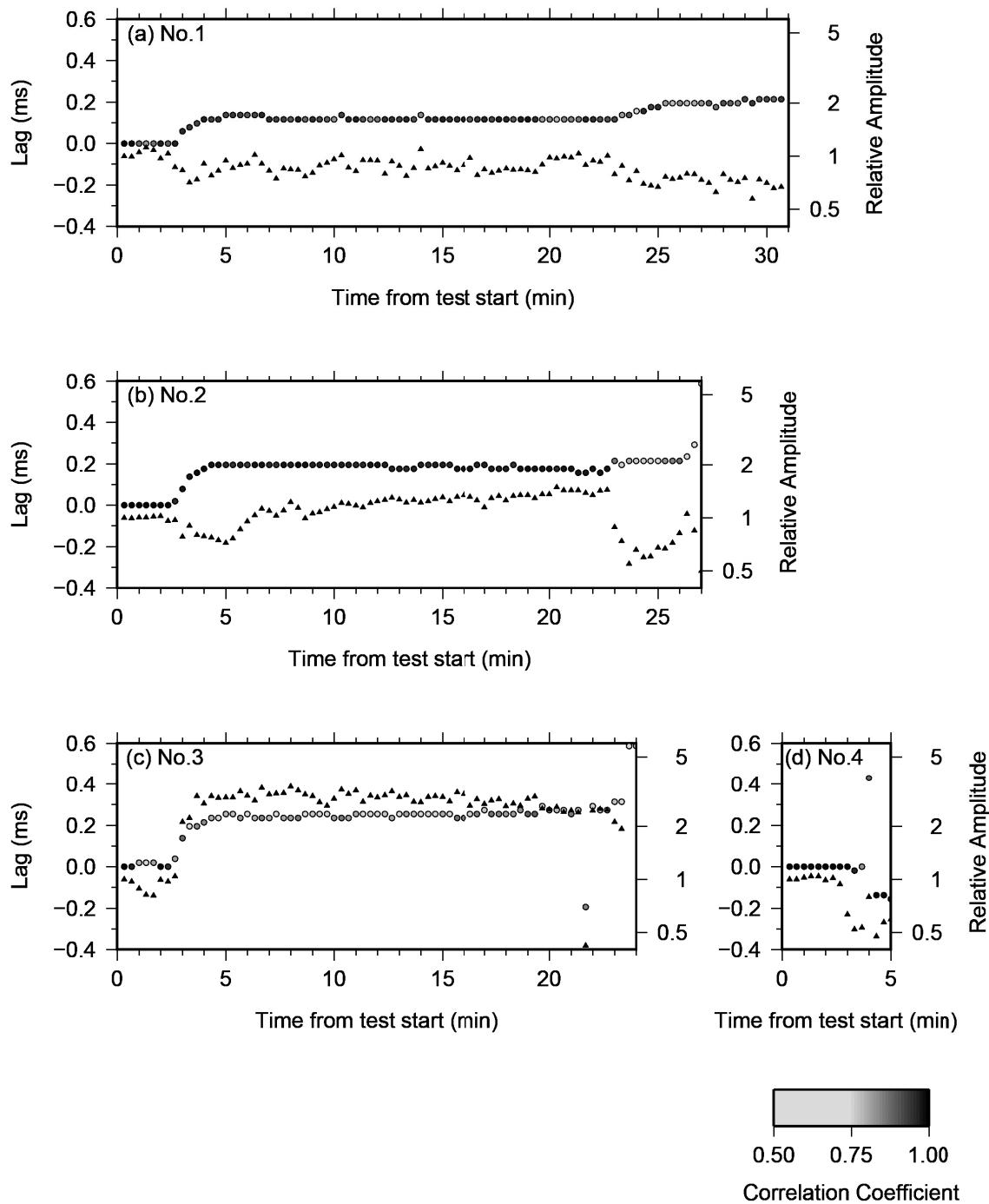


図 7: 各加速度計におけるラグ（丸印）と相対振幅（三角印）の時間変化。ラグの色は相互相關関数の最大値を表す。

ても斜面のわずかな変形や状態変化が捉えられた可能性が考えられる。このことは表層崩壊の発生の早期予測、モニタリングにとって重要な知見である。

しかしながら、表層崩壊発生前に斜面内部の変化があることは検出できたとしても、斜面内部のどこで、どのような現象が発生していたかを詳細に解明し、斜面モニタリングの高度化に役立てるには課題が残る。

その一つの理由は、弾性波の励起源を水槽外側の壁面に設置したため、水槽の壁面を伝わる弾性波が砂層に入り込むことによって弾性波の伝播を極めて複雑にしていることが挙げられる。振動を加えても地盤に影響を与えることなく弾性波の励起源を砂層に埋め込む手法 (Nakayama et al., 2021) などを活用し、斜面内部における弾性波の伝播を詳細に把握することで、斜面内部の挙動をより具体的に理解することは今後の課題である。

謝辞

SMC テック株式会社の岸田貴兆氏には実験の実施にあたって多大な協力をいただいた。本原稿中の図の一部は General Mapping Tool (Wessel et al., 2013) を利用した。本研究は JSPS 科研費 JP 15H02996、JP 26750135 の助成を受けた。記して感謝する。

参考文献

- Barrièrre J., Bordes C, Brito D, Senechal P, Perroud H (2012), Laboratory monitoring of P waves in partially saturated sand. *Geophys. J. Int.*, **191**, 1152-1170. doi: 10.1111/j.1365-246X.2012.05691.x.
- Chen Y, Irfan M, Taro U, Ke Z (2018), Feasibility of using elastic wave velocity monitoring for early warning of rainfall-induced slope failure. *Sensors*, **18**, 997, doi: 10.3390/s18040997.
- Doi I, Matsuura S, Osawa H, Shibasaki T, Tosa S (2020), Effects of coastal erosion on landslide activity revealed by multi-sensor observations. *Earth Surface Processes and Landforms*, **45**, **10**, 2291-2299. doi: 10.1002/esp.4880.
- Nakayama, M., Kawakata, H., Hirano, S. Doi, I. (2021), Development of a laboratory monitoring system for elastic waves transmitted through sand under dry and nearly saturated conditions. *Earth Planets Space*, **73**, **25**. doi: 10.1186/s40623-020-01346-4.
- Wessel, P., Smith W. H. F., Scharroo R., Luis J., Wobbe F. (2013), Generic Mapping Tools: Improved Version Released, *Eos Trans. AGU* **94**, **45**, 409.
- Yoshimitsu N., Kawakata H. (2011), Temporal changes in the Q of broadband P waves transmitting through a fracturing westerly granite sample under triaxial compressive conditions, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **101**, **1**, 421–426, doi: 10.1785/0120100117.

意味の交渉人としての教員の役割：

プロジェクト発信型英語プログラムの記号論的解釈を巡って

神原 一帆¹⁾、山中 司²⁾

Instructors as negotiators of meaning: Remarks on the semiotic understanding of Project-based English Program

KAMBARA, Kazuho¹⁾ and YAMANAKA, Tsukasa²⁾

This paper attempts to provide an alternative model of instructors for Project-based English Program (henceforth, PEP). PEP focuses on students' presentations, driven by their interests. Yamanaka (2021) provided a semiotic understanding of students' projects by employing the Saussurean representation of signs. However, Yamanaka's model fails to acknowledge the dynamic process of projects for several reasons. Instead, we propose to interpret dynamic processes of projects as unifications of signs and model instructors' role as negotiators of meaning.

Keywords: Project-based English Program (PEP), Semiotics, Saussure, Pragmatism, Negotiation of Meaning

E-mail: yaman@fc.ritsumei.ac.jp (T. Yamanaka)

^{1), 2)} 立命館大学生命科学部

^{1), 2)} College of Life Sciences, Department of Biotechnology, Ritsumeikan University 1-1-1 Noji-higashi, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

1. はじめに

本論文はプロジェクト発信型英語プログラム (Project-based English Program; PEP) の記号論的解釈の修正案を提示することを目的とする。PEP とは、学生の関心に合わせたプロジェクトを進めてもらい、それを発表してもらう、という発表をベースとした英語教育である (山中ほか 2021)。山中 (2021) は PEP の記号論的解釈を試みているものの、その定式化には「記号」の特徴づけに関する混乱がみられる。本論文では、この混乱を一つずつみた上で、これを解消するための方略として、学生による発表の動的な発展を記号の单一化としてみなし、教員を「意味の交渉人」とみなすことが有用であることを主張する。

本論文の構成は以下のとおりである。2 節では、PEP の概要と山中 (2021) による PEP の記号論的解釈を概観する。3 節では、その記号論的解釈がもつ問題を詳述する。4 節では、その対案としての意味の交渉人としての教員像の素描を試みる。5 節はまとめと展望である。

2. プロジェクト発信型英語プログラムの記号論的解釈

本節では PEP の概要と、山中 (2021) による PEP の記号論的解釈をみる。山中 (2021) は PEP の記号論的解釈を展開することによって、PEP の教員が関与するのはプロジェクトの形式側であると主張する。従来のような知識伝授型の指導を放棄する PEP にとって、この主張は軽視されるべきものではないことを論じる。

PEP とは、慶應義塾大学で開発され、立命館大学の一部の学科においても実践されている英語教育プログラムを指し、学生に自身の興味関心にもとづくプロジェクトを進行してもらい、それを発表してもらう、という発信をベースとした英語教育である (鈴木 2003, 山中ほか 2021)。PEP の大きな特徴の一つは、特定の教科書の内容を教員が学生に教えるという知識伝授型の方式をとらず、学生ごとの関心に合わせた自由な学びの場を提供するという方式を採用することである。また、どのように自分のプロジェクトを発展させ、発表するのか、という研究者としての教員のスキルが大きな役割を果たすということも特徴的である。PEP は上述の大学以外にも複数の大学 (大阪大学、近畿大学、千葉商科大学、北陸大学) で実践されてきており、伝統的な知識伝授型の授業形態とは異なる様々な問題を提起する。

山中ほか (2021) は立命館大学の一部の学科で実施されている PEP の理論的・実践的背景を詳細に論じている。その中でも山中 (2021) は、PEP の概要とその背景を詳細に論じている。山中は従来の大学における英語教育が教員による学生への知識の伝授を中心にしており、この方針が期待されるほどの成果をあげていないことを指摘した上で、PEP がこの難点を克服できるということを主張する。それに加え、PEP の方針が本質的にプラグマティズムの哲学^{*1} と親和性をもつことが論じられている。

ここで山中はプロジェクトの記号論的解釈を試みる。記号論 (semiology) とは、記号 (symbol) の構造や、その使用によってどのような影響が生じるのかに関する研究分野を指す^{*2}。山中は Saussure (1916) の記号構造を援用することでプロジェクトの記号論的解釈をおこない、PEP における教員の役割を明示している。

Saussure (1916) は図 1 の a のように言語記号の構造を図示する。橢円全体が言語記号であ

り、上部が言語記号の意味、下部が言語記号の形を指す。Saussure は意味をシニフィエ、形をシニフィアンと呼ぶが、以降ではシニフィエを意味や内容と呼び、シニフィアンを形式と呼ぶ。この記号構造を *tree* という単語に当てはめると図 1 の b のようになる。意味としては木の概念（絵にて表示）が、形式としては /tri:/ という音素が対応する^{*3}。そして、図 1 の c は山中（2021: 55）をもとにプロジェクトの記号論的解釈を図示したものである。ここではプロジェクトの表現方法が形式に、取り組み内容が意味にそれぞれに対応する。

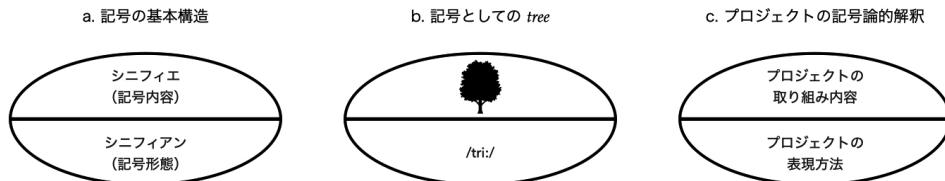


図 1 記号の基本構造

山中はプロジェクトに対して記号論的解釈を与えることにより、教員が関与する範囲を明示した。PEPにおいて、教員はプロジェクトの意味や内容を教える存在ではなく、あくまでプロジェクトをどのように表現するのかという形式の側面を指導する存在として位置づけられる（山中 2021: 54-66）。このような指導の結果、学生の授業への活発な関与が観察されるようになった、ということが報告されている（山中ほか 2021）。

また、教員は学生のプロジェクトの形式の側面にしか関与しない、という方針は学生と教員の間に積極的なコミュニケーションの場を提供することになる。学生は自身の関心に合わせた内容を展開し、教員はその内容に合わせた形式を提案する進行役（facilitator）としての役割を担うこととなる。

PEPの方針を突き詰めると、英語科目は探究の基礎を指導する場を提供する場として変貌する。この変貌は学生の振る舞いだけでなく、教員の振る舞いにも大きな影響を与える。山中によるプロジェクトの記号論的解釈は、「PEP の教員はどのように振る舞うべきか？」という難題に一定の答えを提供している、という点において手放しに評価できるものである。PEPの方針は従来の知識伝授型の授業における学生と教員の間の関係を一変させる。次節では、山中によるプロジェクトの記号論的解釈を批判的に検討する。

3. 山中モデルの「意味」と「形式」

本節では山中によるプロジェクトの記号論的解釈（以降、山中モデル）に含まれる二つの問題を概観する。一つ目は Saussure が「意味」と呼ぶものと山中モデルが「意味」と呼ぶものの内実が大きくことなることである。もう一つは、山中モデルに従うと、教員が行える指導が不当に狭まるだけでなく、記号の概念自体が機能不全に至ることである。以降では、山中モデルが意味と形式という記号の両側面で大きな障壁に直面することをみた上で、これらがいずれも Saussure の記号構造に関する誤解に根付く問題であることを論じる。本節は次のように構成される。3.1 節では「意味」の問題を、3.2 節では「形式」の問題をそれぞれ扱う。

3.1. 山中モデルと Saussure の「意味」の乖離

本節は以下のように構成される。3.1.1 節では、山中モデルの批判の前準備として、Saussure の意味観がどのようなものであるのかを概観する。そして、3.1.2 節にて山中モデルで想定されている「意味」が Saussure のもの大きく異なることをみる。

3.1.1. Saussure が想定する「意味」

本節では、山中モデルの批判的検討のための前準備として、図 1 に示したような Saussure による記号がどのような特徴をもつのかを概観する。以降では、英語のヒトを表す名詞の分析をもとに、Saussure が「意味」と呼ぶものが、社会的に共有された静的な対象をあらわすことを論じる。

Saussure 的な記号構造はある言語における語などの構造を表すものとして提案された。ここでの「意味」というものはいわゆる個人の心内に生じる心像のようなものではなく、他の概念との差によって生まれるような静的な対象を指している。表 1 は松本 (2003: 19–20) をもとに英語における人間を表す四つの名詞 { man, woman, boy, girl } の意味を表したものである⁴。これら四つの名詞はいずれもヒトに関する意味をもつ語であることは共通するものの、性別の違いや肉体的・精神的な成熟さなどの観点からそれぞれの意味に違いが生じている。各語の意味的な相違点は表 1 に示す有限の意味特徴 (i.e., HUMAN, MALE, ADULT) の値の束としてまとめられる。

表 1 英語におけるヒト名詞の意味分類 (cf. 松本 2003: 19)

	HUMAN	MALE	ADULT
man	+	+	+
woman	+	-	+
boy	+	+	-
girl	+	-	-

このような意味特徴を用いた語の意味分析においては、我々が man という単語にどのような心象を持っているのか、というような側面は捨象されている。例えば、ある人物は man と「横暴さ」を、別の人物は「勇敢さ」というような心象を関連付けるかもしれない。Saussure 的な語の意味分析では、そのような我々個人がどのような心象を各語と結びつけるのか、という問題よりも、これらの語の意味の本質的な特徴を捉えることを試みる。この観点からいえば、「横暴さ」や「勇敢さ」といった概念は偶発的な特徴であって、当該の語の意味にとって重要な特徴ではない、と判断される (松本 2003: 21–22)。

なお、語の意味を特徴づける本質的な意味特徴はいずれも社会的に共有された静的なものであると想定されている。この理由は明らかで、ある語の意味の本質的な特徴を理解していくければ、{ man, woman, boy, girl } という語を用いたコミュニケーションが十分に機能するとは考えにくいからである。このような考えでは、各語の意味の本質的な部分さえ学習てしまえば、そこから各語にどのような心象を各話者が結びつけようと、それは偶発的な部分として理解されることとなる。例えば、名詞 man であれば、その本質的な意味は [+HUMAN, +MALE, +ADULT] という情報であり、この意味はどんな文脈においても変動することはないものとし

て捉えられる。

3.1.2. 山中モデルが想定する「意味」

本節では、学生によるプロジェクトの発展と Saussure 的な意味観の差について再考する。仮に山中モデルが示すように、学生によるプロジェクトの発展が Saussure による言語記号と同じ構造を持つものなのであれば、学生のプロジェクトの内容は社会的に共有された、静的な性質を持つものとなるはずである。しかし、実際の学生が取り組むプロジェクトの内容はこのような特徴をもつとは限らない。以降では Saussure が意図していた「意味」と学生が発展させていく「意味」が大きく異なることを論じる。

まず、学生のプロジェクトはどのような意味を扱うものなのか、という問題を再びまとめる。既に2節にてみたように、学生にはどのようなプロジェクトを進行させるか、ということについては大きな自由度が与えられている。学生によっては自分の専攻に沿ったテーマを選ぶこともあるだろうが、同時に個人的な趣味の理解を深めるようなテーマを選ぶかもしれない。しかし、このような内容はここまでみてきたような Saussure による意味観とは大きくかけ離れたものであるように思われる。これは次の二点にまとめられる。

- A. 学生が進めるプロジェクトの内容が（最終的に）社会的に共有されたものに到達する保証がない。
- B. 学生が進めるプロジェクトの内容が本質的であるということを保証することはできない。

まず、A の「学生が進めるプロジェクトの内容が（最終的に）社会的に共有されたものに到達する保証がない」という点について論じる。PEP を受講する学生は、学期内という時間的な制約の中で自身のプロジェクトを進めることになるが、それが最終的に「社会的に共有された内容」に到達するという保証はどこにもない。山中 (2021: 52–53) が論じるように、学生は現時点で利用可能な資源を最大限活用しながら、「自分の興味を他の人に分かってもらうにはどうしたらいいだろう？」と試行錯誤を繰り返す。我々が PEP の教員として学生を評価する際に考慮すべきなのは、「社会的に共有された内容」などを学生に追い求めさせることではなく、学生が自身の能力を駆使してどれだけ分かりやすく自分のプロジェクトを発信することができたのか、ということであろう。

次に、B の「学生が進めるプロジェクトの内容が本質的であるということを保証することはできない」という点について論じる。既に論じたように、[+HUMAN, +MALE, +ADULT] という形で同定される名詞 man の「意味」は man という語の意味の本質的な特徴を列挙したものであり、「横暴さ」や「勇敢さ」といった特徴は考慮されない。ここでは、学生が発展させるそれぞれの内容が「本質的な」ものであるという保証ができないということが大きな問題となる。例えば、ジェンダーの問題に关心を持つ学生であれば「男性」性の「横暴さ」と「勇敢さ」の関連について調査を進めるのかもしれない。しかし、「横暴さ」と「勇敢さ」は名詞 man の偶發的な「意味」であることから、そのようにして進めたプロジェクトの「意味」には、何も残らないことになる。PEP は学生の关心の多様性を受け入れるような枠組みであるため、Saussure による言語記号の構造との類推から得られるこれらの予測は明らかに混乱を招くものである。

3.2. 本来の意味での「形式」と拡大解釈された「形式」の問題

本節では山中モデルにおける「形式」の扱いの問題について論じる。山中はプロジェクトの記号論的解釈のなかで、教員がプロジェクトの形式のみを扱うことを強調する。しかし、山中モデルは、(i) 本来の意味での「形式」ではないものの指導を容認することに加え、(ii) 記号の形式に更なる形式が入れ子になるという二つの問題を持つ。

Saussure による記号論において強調されるのは形式と意味の対応関係の恣意性である (cf. 丸山 2012: §12)。現代英語では /tri:/ という音素に「木」の概念が結びつく。それに対し、現代日本語では、/ki/ という音素が類似の概念と結びついている。このような形式と意味の組み合わせには必然性がない、という主張が Saussure による言語の恣意性 (arbitrariness) である。この議論において、形式と呼ばれる対象は特定の音素 (列) であって、何らかの意味を持つものではない。言語の恣意性の議論は、ある音素列と特定の概念が結びつくことに必然性はないことを示している。

ここでプロジェクトの形式とは何かを考えた際に、「教員が指導するのが本当に形式だけなのか」という疑問が生じる。PEP の教員は内容の指導を放棄することで学生による自由な探求の場を提供し、言語以外のメディアの使用を推奨することで発表に工夫が生まれやすい環境の構築を試みる (山中 2021: 62–64)。言語以外のメディアの具体例としては、劇や漫才といったロールプレイにもとづくプレゼンテーションなどが挙げられる。ここで問題としたいのは劇や漫才といった表現が本当に Saussure 的な「形式」の範疇に収まるものなのかということである。確かに、ブレイクダンスに関する発表で「X の方向に腕を動かすのと同時に、足を Y の方向に動かすことで、Z の方向に重心を変え……」という説明を学生がした際に実演を促すことは形式の変更を指導しているものとして解釈できる。しかし、ロールプレイにもとづく発表形式の提案において、学生による発表内容と言語的な説明内容が等価になる保証はない。漫才を模倣した発表であれば、学生のプロジェクトの内容に加えて聴衆の関心を惹きつけるための寸劇なども含まれることになるだろう。仮に教員が厳密な意味での形式だけにしか関与できないのであれば、PEP における指導は表層的なものになってしまうだろう。ここで表層的な指導と呼ぶものは「文書を書く際には、MS Word ではなく、LaTeX を使用しなさい」や「スライドの作成には Powerpoint ではなく、Keynote を使いなさい」といったものを想定している。この程度の指導であれば、一人の研究者が授業を担当する必要性は霧散する。

以上は山中モデルが「形式」に対して拡大解釈を与えたことによって生じる事態である。しかし、山中モデルはこのような解釈を容認するとしている可能性が高い。例えば、山中 (2021: 57) は「形式自体が内容的な意味をもち始めた」とまで主張する。しかし、tree という記号の議論から明らかのように、意味を持った形式は記号なのであって、形式そのものではない。仮に、山中の主張通りに「形式」自体が意味を持っているのであれば、記号の構造そのものが瓦解することになる。例えば、ある時点 t_1 における学生によって提示された記号のうちの形式の部分に教員が関与し、それを反映させた時点 t_2 のプロジェクトの形式には意味をもつ記号が埋め込まれることになる。これは「記号の形式が何であり、何であるべきか」という問題を軽視した結果であり、学生と教員の関係のモデル化に失敗しているだけでなく、記号論的解釈そのものが瓦解する予兆にも思われる。

4. 意味の交渉人としての教員の役割

本節では、プロジェクトの記号論的解釈の対案の素描を試みる。前節にて詳述したように、山中モデルには「形式」と「意味」の両方の側面において様々な理論的問題が含まれる。しかし、PEPにおける教員の役割の明示を試みたという点において、山中モデルは手放しに評価されるものである。本節は山中モデルの修正案を提示することで、PEPにおける教員の位置付けを再考することを目的とする。

以降では、4.1節にてプロジェクトの発展を单一化の過程として捉え、4.2節にて教員を記号の統合を促す「意味の交渉人」として位置付けることを提案する。そして、4.3節ではこれらの提案が山中モデルが目指していたプロジェクトのプラグマティズムの哲学との親和性を促進させることを論じる。

4.1. 記号の統合を单一化の過程として捉える

本節では、プロジェクトの発展を記号の統合過程として捉えることを提案し、記号の統合を单一化(unification)の過程として捉えることを提案する。单一化とは互いに矛盾しない記号を統合することによって新たな記号を創出させる操作として特徴付けられる。以降では、この提案が3.2節でみたような「形式」と「意味」の混同を解消することができるだけでなく、時間の経過による学生の発表内容の動的な発展を捉えることができるることを論じる。

3.2節では山中モデルにおける「形式」面に関する問題を論じた。山中モデルは「記号の『形式』が何を表すものであり、学生がプロジェクトを発展させることで記号がどのように変容していくのか」という問題に対して理論的に一貫した解答を与えることに失敗している。この問題を解決するため、本稿ではプロジェクトの発展を記号の单一化の過程として捉えることを提案する。

单一化とは、計算言語学(computational linguistics)において提案された記号操作の概念である(cf. Shieber 1986, Sag et al. 2003)。例えば、現代英語において、*runs*という現在形の動詞語形は主語が三人称単数の名詞句が生起することを要求する。(1a)は主語名詞句のAliceが三人称単数形であるという理由から文法的に適格な文になっているが、(1b)は主語名詞句のtheyが三人称複数形であるという理由から文法的に適格ではない文となっている。(1)の文法的適格性の差はAliceやtheyといった記号に含まれる文法的数に関する情報と*runs*が求める文法的数に関する情報が矛盾するか否かという点に求められる(Shieber 1986: 18–19)。

- (1) a. Alice runs

- b. * They runs

单一化という考えは単純明快なものであり、互いに矛盾のない記号の統合を認可するための機構と捉えることができる。この单一化という概念を全面的に適用した言語理論は高度な数学的道具立てを用いることで、様々な言語現象を厳密に特徴づけることができる(cf. Sag et al. 2003)⁵。筆者らの能力の限界からも、プロジェクトの発展を单一化として捉えるための形式理論を提示することはできない。しかし、以降では、この单一化の概念を援用することによって、山中モデルが捉えきることができなかった側面を捉えることができることを示す。

まず、山中モデルにおいて混乱がみられた「形式」と「意味」の特徴を整理する。形式は Saussure が本来意図していたような（言語）音、文字に加え、身振りといったものを含む対象とする。次に意味は山中モデル同様に、あらゆる概念内容に対応するものとする。ここで重要なことは、形式は形式のままであり、そこに特定の意味が介入することはあり得ないものとすることである。つまり、「形式自体が内容的な意味をもち始め」るというようなことは想定しない (cf. 山中 2021: 57)。これは理論的な一貫性を担保するための措置である。

次に、学生によるプロジェクトの発展は時間軸上の時点間に成立するような单一化の過程として特徴づける。これを概略的に図示したものが図 2 である。図 2 では t_1 において存在する形式 $S1[f]$ と意味 $S1[m]$ の組み合わせである $S1$ と、形式 $S2[f]$ と意味 $S2[m]$ の組み合わせである $S2$ が单一化することによって t_2 では新たな記号 S' となることを破線矢印の組み合わせによって表している。单一化の結果として得られる記号 S' は、形式は形式どうしが (i.e., $[S1[f]*S2[f]]$)、意味は意味どうし (i.e., $[S1[m]*S2[m]]$) が結合することによって創出するものとして表現される。なお、図中では便宜的に意味や形式が組み合わさる結果を「*」によって表しているが、いわゆる「掛け算」を意図したものではないことに注意されたい。また、図中の t_2 以降の発展については三点リーダーによって省略している。

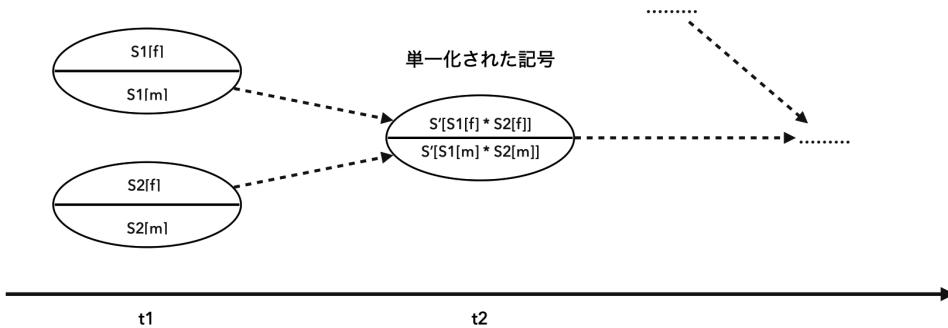


図 2 単一化の過程としてのプロジェクトの発展

このモデル化は 3 節で論じたような様々な問題を解決することができる。例えば、ロールプレイにもとづく発表への発展などは、単に形式のみを変更したものではなく、新たな記号が創出したものとして捉えることができる。なお、ここで注意されたいのは、ある記号の形式どうしの組み合わせや意味の組み合わせは厳密な意味での足し合わせ（ないしは掛け合わせ）ではなく、部分から予測できないような要素が創出する (emerge) 可能性がある。既に論じたように、ある発表を漫才などにした場合、そこには本来の発表に含まれなかつたような寸劇などが生じる可能性があるからである。創出の可能性を考慮することによって、形式的な厳密性は失われてしまうが、現時点では学生が自身の発表を展開する過程を单一化として特徴付ける。

4.2. 記号の統合を促す存在としての「意味の交渉人」

本節ではプロジェクトの発展過程を单一化として捉えた時、教員の役割は意味の交渉人として捉えるべきであるということを主張する。3.2 節にて詳述したように、「教員はプロジェクトの形式面にしか関与できない」という山中モデルの想定は指導の実践から乖離しているだけでなく、誤った予測を促す危険性がある。本節では、教員によるプロジェクトの内容への関与を

積極的に認め、学生とのコミュニケーションを通じて、その学生が表現したい内容に適した記号を提案する意味の交渉人 (*negotiator of meaning*) として捉えることを提案する。

前節で論じたように、プロジェクトの発展の過程は单一化の過程として捉えることによって、山中モデルにみられた様々な問題を解決することができる。山中モデルでは「教員が関与する対象がプロジェクトの形式のみである」という大胆な一般化によって教員が関与しうる範疇を明示化した。既にこの一般化の問題点については論じたため繰り返すことはしないが、プロジェクトの発展を单一化としてみなす本稿のモデルではこの想定をそのまま適用することはできない。しかし、学生と教員のコミュニケーションによって記号どうしの单一化が促されると考えることで、より簡潔な解決案を提示することができる。

PEP では学生が各々の関心に基づく様々な内容を持ち寄り、「それをどのように伝えるのがいいのか？」という教員と学生の間の協力関係の構築が試みられる。この営みを本稿でのモデルに当てはめてみると、教員はその学生にとって、現時点でどのような記号を用いることが効果的なかを学生と共に考察することとなる。このようなコミュニケーションの場では、教員は一方的に記号を学生に与え続けるような存在ではなく、内容を伝えやすくするための補助を行う存在として位置づけられる。

これを踏まえ、单一化の過程の中で教員が関与しうる範囲を図示すると図 3 のようになる。学生は自分のプロジェクトを発展させるために様々な記号 (i.e., S1, S2, S3) を持ち寄る。ここで、教員はその学生がどのような内容について論じたいのかを熟考した上で、より効果的な記号の組み合わせ (i.e., $S1 * S2$) を提案する。このような「ある意味を伝えるために様々な記号を用いる過程」を Gärdenfors (2014: Ch.5) の用語を援用し、意味の交渉 (*negotiation of meaning*) と呼ぶ。そして、このような議論に率先して参加する教員の役割を意味の交渉人 (*negotiator of meaning*) と位置付ける。

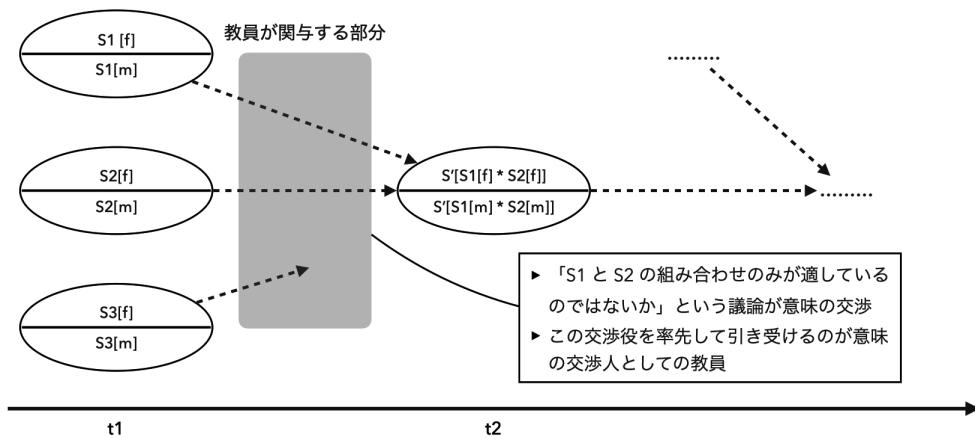


図 3 単一化の過程としてのプロジェクトの発展と意味の交渉

教員の役割を意味の交渉人として位置づけると、PEP の指導が一様なものとはならないことを自然に捉えることができる。これは、どのような意味の交渉が生じるのかは教員の背景によって大きく異なることに起因する。例えば、第一著者が担当した学生は「『ブラック企業』という表現が差別的であると考えるのは不自然である」という主張をするため、様々なタイプの「ブラック+名詞」という表現の分析をおこなった。実際のテキストデータを分析する、という

提案は第一著者の専門が言語学（特に、意味論への量的アプローチ）であったことの影響が大きい。仮に第一著者の専門が文化論や国際関係論であれば、全く異なる論拠を提示することを提案していたであろう。このように、プロジェクトは学生が様々な記号を持ち寄るだけで発展するようなものではなく、教員の関心や研究の能力とが組み合わさることで、動的に発展していくものなのである。

山中は形式のみの指導が PEP には求められるということを強調しながらも、学生間や教員と学生の間のコミュニケーションがプロジェクトの発展に必要不可欠であることを主張する（山中 2021: 57–61）。本来であれば、このようなコミュニケーションの可能性を十分に加味したモデルを提示する必要があったが、山中モデルは Saussure 的な記号観に必要以上に縛られてしまつたことで、PEP の理念や実践から乖離する予測を促してしまつた。意味の交渉人として教員を位置付けるということは山中モデルの限界を克服するだけでなく、PEP の実践をより適切に捉えることができる。次節では、意味の交渉人として教員を位置付けることが山中が強調したプラグマティズムの哲学との親和性を更に強固なものにすることを論じる。

4.3. プロジェクトの発展のプラグマティックな理解に向けて

ここまで繰り返し論じてきたように、山中モデルには様々な理論的な問題を含むため、全ての主張や想定を受け入れることは難しい。対照的に、プロジェクトの発展を单一化の過程として捉え、教員の役割を意味の交渉人として位置付ける本モデルは、山中モデルの理論的脆弱性を補強するだけでなく、山中自身が強調した PEP とプラグマティズムの哲学の親和性をより強固にする。これは本モデルが意味の交渉という概念を導入した時点で、「現時点で利用可能な資源を活用してどのような形でプロジェクトを発展させることができるか？」という発想の転換が学生だけでなく、教員にも求められるようなモデルになっているからである。

山中（2021: 53–54）は PEP とプラグマティズムの哲学との親和性について論じている。プラグマティズムという言葉が具体的にどのような思想を指すのかということを簡潔に論じることは難しい（cf. 伊藤 2016）。山中による説明をまとめると、ここでのプラグマティズムは「現時点で利用可能な資源を用いて世界に対峙する」姿勢を指している。山中による具体例を挙げよう。例えば、英語が苦手な学生が帰国子女を羨やんでも、状況は好転しない。その学生に必要なのは現時点で持てる力を使って可能な一歩を踏み出すことなのだ。この姿勢こそがプラグマティックな発想の転換に該当するが、山中は PEP の指導が、このような発想の転換を促すような場を構築しうることを主張する。

意味の交渉人として教員を位置付けようという提案はこのような発想の転換が学生だけでなく、教員側にも適用されうることを射程に含んでいる。つまり、どれだけ崇高な教育理念をもってレベルの高い内容を伝えようと、学生も一人の人間である以上は教員の全ての要求に応えることは難しい。教員の理想と学生の実情に折り合いをつけるためには双方が納得できるまで辛抱強くコミュニケーションを続ける以外に道はないであろう。従来の「知識伝授型」の授業であれば、そのような場を設けることは難しいが、PEP は教員と学生の間のコミュニケーションを促進するような場を構築するためのプラットフォームを提供する。それだけでなく、学生のプロジェクトを発展させるためには教員側の利用可能な資源と学生側の利用可能な資源のすり合わせが生じることになる。本稿で意味の交渉と呼ぶ営みはこのようなすり合わせの作業

としても捉えることができる。

繰り返し強調してきたように、PEPにおいて、どのようなプロジェクトを発展させるのかは学生の自由に委ねられる。そこで、あるプロジェクトの発展可能性は学生と教員の利用可能な資源によって依存する。この資源には学生と教員の時間的な制約だけでなく、研究活動を進めるための技術などが含まれるであろう。いくら教員が崇高な意識をもって教育に臨んだとしても、学生の能力が唐突に向上することは（ほとんど滅多に）起こらない。逆に、どれだけ優秀な学生であっても、教員の能力がそれに見合うものであるという保証もない。ここで必要になるのは、学生と教員の利用可能な資源のすり合わせであり、これはコミュニケーション以外の方法で達成することはできない。このような観点にたてば、意味の交渉人としての教員は自身の能力を客観視した上で、学生のプロジェクト発展のための裏方に徹すべきであろう。4.2節では意味の交渉の内実が教員の関心や背景に依存することをみたが、どのような振る舞いが自身に求められるのかは対話による模索以外に道はないであろう。

5. おわりに

本稿では山中（2021）によるPEPの記号論的解釈の問題点を指摘し、それらの問題を解決するために(i)プロジェクトの発展を单一化の過程として捉え、(ii)教員の役割を意味の交渉人として位置付けることを提案した。特に、(ii)の提案は山中自身が強調したPEPとプロジェクトのプラグマティズムの哲学との親和性をより強固にするものであることを主張した。ここまで論考はPEPというプログラムをさらに発展させるために必要不可欠なものであろう。

しかし、教員を意味の交渉人として位置付けた場合、どのような意味の交渉であれば許され、そして許されないのか、ということを整備する必要がでてくるであろう。PEPは知識伝授型の指導を放棄する以上は、どのような「意味」であれば教員が関与でき、できないのかを明示する必要がある。恐らく、このような「意味」の分類については、黒田・井佐原（2005）が論じるような意味型（semantic type）と意味役割（semantic role）の区分が有用になるであろう。

また、教員の役割を意味の交渉人として位置付けるなかで、意味の交渉が教員の背景や関心に依存する、ということを論じた。しかし、それが具体的にどのようなものになりうるのかという類型については詳細に論じることができなかった。これの達成には各教員の学問的な背景が何であり、どのような研究方法が各分野で採用されているのか、というメタ的な視点からの方法論研究が今後必須となるであろう。

注釈

*1 プラグマティズムの概要については、伊藤（2016）などを参照されたい。

*2 記号論という用語は semiology だけでなく、semiotics という語の訳語として用いられることがある。前者は Saussure によって提唱された研究分野を、後者は本来 Charles S. Peirce によって提唱された研究分野を指す用語として用いられる。本稿では Saussure による記号観を援用した山中（2021）を検討対照とするため、semiology という用語を記号論の訳語として用いる。なお、本稿にて Peirce の記号論の特徴を論じることはできないため、詳細は米山（1986）などを参照されたい。

- *3 図 1 の b は一般的に語と呼ばれるものに対応する。言語学（特に、言語の意味を扱う意味論）では一つの形式に対して一つの意味が対応するような構造のことを語彙単位 (lexical unit) と呼ぶこともある (cf. Cruse 1986)。
- *4 本論においても既に論じているように、表 1 では「男性であること」や「大人である」という特徴を二値的な値によって表しているが、具体的に「男性であるということが何を意味するのか？」ということや「大人であるとは何を意味するのか？」ということは不問となっていることに注意されたい。このような分析では { man, woman, boy, girl } といった語の意味がそれぞれの語とどのような点において概念的に対立しているのかを明示することを目的としている。ポリティカル・コレクトネスの観点からいえば、MALE や ADULT という特徴を安直に用いることには注意がいるだろう。
- *5 単一化にもとづく文法理論の概説書としては Shieber (1986) や Sag et al. (2003) をはじめ、様々なものがある。日本語の手頃な概説としては郡司 (1986) があげられる。

参考文献

- 伊藤邦武. (2016) 『プログラマティズム入門』筑摩書房.
- 黒田航・井佐原均. (2005) 「意味役割名と意味型名の区別による新しい概念分類の可能性: 意味役割の一般理論はシソーラスを救う?」『情処研報』73, 127–134.
- 郡司隆男. (1986) 「句構造文法」『情報処理』27(8), 868-875.
- 鈴木佑治. (2003) 『英語教育のグランド・デザイン: 慶應義塾大学 SFC の実践と展望』慶應義塾大学出版会.
- 松本曜. (2003) 「語の意味」松本曜 (編) 『認知意味論』17-72. 大修館書店.
- 丸山圭三郎. (2012) 『ソシュールを読む』 講談社.
- 山中司. (2021) 「セルフプロモーション教育を英語教育が担う」 山中司・木村修平・山下美朋・近藤雪絵 『プロジェクト発信型英語プログラム: 自分軸を鍛える「教えない」教育』 40-77. 北大路書房.
- 山中司・木村修平・山下美朋・近藤雪絵. (2021) 『プロジェクト発信型英語プログラム: 自分軸を鍛える「教えない」教育』 北大路書房.
- 米山裕二. (1995) 『パースの記号学』勁草書房.
- Cruse, A.D. (1986) *Lexical Semantics*. Cambridge University Press.
- Gärdenfors, P. (2014) *The Geometry of Meaning: Semantics Based on Conceptual Spaces*. MIT Press.
- Sag, I.A., T. Wasow, and E. M. Bender. (2003) *Syntactic Theory: A Formal Introduction*, 2nd edition. CSLI Publications.
- Saussure, F. (1959) *Cours de Linguistique Générale*, Payot, 1916. Lecture notes edited by C. Bally and A. Sechehaye. Translated into English and published as *Course in General Linguistics*, McGraw Hill.
- Shieber, S. (1986) *An Introduction to Unification-Based Approaches to Grammar*. CSLI Publications.

大型研究裝置成果報告書

大型研究装置成果報告書

装置名	走査型電子顕微鏡 (SEM) JSM7200F
研究責任者 (所属・役職・氏名)	理工学部 機械工学科 特任教授 館山 恵
研究テーマ	調和組織制御による高機能材料の創製
研究の概要	<p>構造用金属材料の高強度、高延性化はわれわれの安心・安全・高信頼性な社会基盤の構築に欠かせない特性であり、これまで多くの研究が行われてきている。特に、高強度化のための結晶粒微細化研究が注目され、様々な取り組みがなされてきた。例えば、巨大ひずみ加工やバルクナノメタルに関する研究が活発に行われている。一方で、金属材料の高強度化は延性を犠牲にすることが広く知られている。すなわち、高強度化することで、引張試験時の塑性不安定開始が早期に発生するようになり、高強度と高延性は両立しないことが常識であった。真応力 σ と真ひずみ ϵ の間に $d\sigma/d\epsilon \leq \sigma$ という塑性不安定条件が成立するとネッキングが生じて破断に至るためである。この強度と延性の二律背反問題は構造用金属材料の大きな課題であったが、近年、この問題を解決できる糸口が見出された。そもそも強度と延性の二律背反の問題は、材料の微細組織が均一であることを前提条件としている。そこで注目されているのが、不均一構造、すなわち、ヘテロ構造材料である。ヘテロ構造材料には、積層材料、バイモーダル材料、表面超微細組織材料等々があるが、われわれが着目した調和組織材料もヘテロ構造材料の一つである。</p> <p>調和組織材料は、結晶粒径勾配が材料内部に存在するだけでなく、微細結晶粒組織が材料内に網目構造を造り、網目内部に粗大結晶粒組織を包み込んだ構造をしている。調和組織材料の最大の特徴は、加工硬化が大きいことと局所変形を抑制することで高強度化と高延性化を両立させていることである。結果的に引張靱性も大きくなり、高強度・高延性・高靱性を同時に達成できる組織制御であり、これまでに多くの金属材料で優れた力学特性が確認されている。</p> <p>調和組織制御は、結晶粒微細化というミクロの組織制御と Shell/Core 構造というマクロな構造制御の結果、ミクロな変形とマクロな変形が相乗し、ヘテロ構造でありながらより均一な変形をもたらすことで塑性不安定の開始を高ひずみ側にずらし高強度と高延性を両立させる、というまったく新しい発想による方法である。調和組織制御法は、従来からの転位論に立脚した局所的な材料の高強度化と、よりマクロな視点での変形の制御、の 2 つの視点から生まれたと言える。調和組織材料の創製原理は従来からの粉末冶金技術の延長でもあるので、新しいものづくり産業や技術の創出にもつながることが期待できる。</p>

利用成果	<p>【原著論文】(査読あり)</p> <p>(1) "Design and development of Ti-Zr-Hf-Nb-Ta-Mo High-Entropy Alloys for Metallic Biomaterials Materials and Design", Y.Iijima, T.Nagase, A.Matsugaki, P.Wang, K.Ameyama, T.Nakano: Materials & Design, Vol.202 (2021), 109548. DOI: 10.1016/j.matdes.2021.109548</p> <p>(2) "Simultaneously enhanced strength and strain hardening capacity in FeMnCoCr high-entropy alloy via harmonic structure design", G.Li, M.Liu, S.Lyu, M.Nakatani, R.Zheng, C.Ma, Q.Li, K.Ameyama: Scripta Materialia, Vol. 191 (2021), 196–201. DOI: 10.1016/j.scriptamat.2020.09.036.</p> <p>(3) "Pre-sintered Titanium-Hydroxyapatite Composite Fabricated via PIM Route", N.N.Mahmud, A.B.Sulong, B.Sharma, K.Ameyama: Metals, Vol.11, (2021), 318. DOI: 10.3390/met11020318</p> <p>(4) "Rheological properties of irregular-shaped Titanium-Hydroxyapatite bimodal powder composite moulded by powder injection moulding", N.N.Mahmud, F. A.A.Azam, M.I.Ramli, F.M.Foudzi, K.Ameyama, A.B.Sulong: J. Materials Research and Technology, Vol.11 (2021), 2255-2264. DOI: 10.1016/j.jmrt.2021.02.016</p> <p>(5) "Ratcheting Fatigue Behavior of Harmonic Structure Designed SUS316L Stainless Steel", Y.Song, Z.Zhang, H.Ma, M.Nakatani, M.O.Kawabata, K.Ameyama: Metals, Vol.11 (2021), 477. DOI: 10.3390/met11030477</p> <p>(6) "Influence of microstructural features on the yield strength of Ti-6Al-4V: a numerical study by using the crystal plasticity finite element method", X.Wang, J.Li, K.Ameyama, G.Dirras: Meccanica, Vol.56 (2021), 1129-1146. DOI:10.1007/s11012-020-01301-3</p> <p>(7) "Mechanical properties of SPS-processed pure Ti and Ti-6Al-4V alloys: a comparative study between harmonic and non-harmonic microstructures", T.Sadat, K.Hayashi, G.Haugou, H.Morvan, E.Markiewicz, L.Dubar, M.Bigerelle, K.Ameyama, G.Dirras: Compounds, Vol.1 (2021), 41-57. DOI: 10.3390/compounds1010005</p> <p>(8) "Investigation of mechanical properties and microstructural evolution in Cu-Al alloys with gradient structure", X.Li, M.Nakatani, J.Yang, J.Zhang, B.Sharma, H.Pan, K.Ameyama, J.Fang, X.Zhu: J. Alloys & Compounds, Vol.890 (2021), 161835. DOI: 10.1016/j.jallcom.2021.161835</p> <p>【国際会議】</p> <p>(1) "Synergy Effects of Harmonic Structure on the Unique Mechanical Properties", K. Ameyama, THERMEC'2021 International Conference on Processing &</p>
------	--

Manufacturing of advanced Materials, June 01 - 05, 2021 VIENNA, AUSTRIA

【招待講演】

- (2) "Fatigue properties of CrMnFeCoNi high-entropy alloy fabricated by spark plasma sintering under four-point bending", K. FUJITA, K. NAKAZAWA, H. FUJIWARA, S. KIKUCHI, 16th Joint Symposium between Sister Universities in Mechanical Engineering (JSSUME2020+1) 2021年11月5日
- (3) "Mechanical and Thermal Properties of Harmonic Structured Composites by MM/SPS Process", Hiroshi Fujiwara, Thermec 2021 2021年6月4日

【国内学会発表】

- (1) 「AlCrFeCoNi/CrMnFeCoNi 複合調和組織材料の微細組織と力学特性」、梶本尚聖, 大森 将輝, 川畑 美絵, 山末 英嗣, 藤原 弘, 飴山 恵, 粉体粉末冶金協会 2021年度秋季大会(第128回講演大会), 2021年11月9日
- (2) 「FCC 調和組織材料の 0.2%耐力に及ぼす微細組織の影響」, 山本 翼, 川畑 美絵, 藤原 弘, 山末 英嗣, 飴山 恵, 粉体粉末冶金協会 2021年度秋季大会(第128回講演大会), 2021年11月9日
- (3) 「SUS316L 調和組織材料の高温変形における選択的再結晶」, 益野 嶽仁, 川畑 美絵, 藤原 弘, 山末 英嗣, 飴山 恵, 粉体粉末冶金協会 2021年度秋季大会(第128回講演大会), 2021年11月9日 【優秀講演発表賞】
- (4) 「FCC 調和組織材料の 回復・再結晶挙動」, 増山 淳士, 川畑 美絵, 山末 英嗣, 藤原 弘, 飴山 恵, 粉体粉末冶金協会 2021年度秋季大会(第128回講演大会) 2021年11月9日
- (5) 「MM/SPS 法を用いて作製したアルミナ粒子分散マグネシウム 積層成形体の積層界面に形成した拡散層の組織と特性」, 川森 重弘, 長井 美憲, 藤原 弘, 粉体粉末冶金協会 2021年度秋季大会(第128回講演大会), 2021年11月9日
- (6) 「Co-29Cr-6Mo 合金粉末焼結体の組織形成と引張変形挙動」, 川畑美絵, 松村翔, 藤原弘, 飴山恵, 日本金属学会 2021年秋期講演(第169回)大会 2021年9月15日
- (7) 「超硬/ ハイス鋼複合調和組織材料の微細組織と摩耗・衝撃特性」, 藤原弘, 感本広文, 飴山恵, 日本金属学会 2021年秋期講演(第169回)大会 2021年9月15日
- (8) 「ハイエントロピー合金の調和組織制御と力学特性」, 藤原 弘, 日本溶射学会, 第1回合同支部講演会 2021年9月14日
- (9) 「Co-29mass%Cr-6mass%Mo 合金焼結体の組織と変形挙動」, 川畑 美絵, 松村 翔, 藤原 弘, 飴山 恵, 粉体粉末冶金協会 2021年度春季大会(第127回講演大会) 2021年6月2日

(10) 「MM／SPS 法を用いた複合調和組織材料の創製とその特性」、藤原 弘、粉
体粉末冶金協会 2021 年度春季大会（第 127 回講演大会） 2021 年 6 月 1
日 【招待講演】

(11) 「ハイエントロピー合金 CrMnFeCoNi の四点曲げ疲労特性に及ぼす結晶粒
径の影響評価」、藤田佳佑、中澤謙太、藤原 弘、菊池将一、日本材料学会第
70 期学術講演会 2021 年 5 月 29 日

【修士学位論文】

- (1) 益野 鳩仁、「調和組織制御されたオーステナイト系鉄合金の変形に伴う力
学特性と微細組織の変化」、修士（工学 立命館大学）2022 年 3 月
- (2) 梶本 尚聖、「Al-CrFeCoNi／Mn-CrFeCoNi 高エントロピー合金の複合調和
組織制御と力学特性」、修士（工学 立命館大学）2022 年 3 月
- (3) 増山 淳士、「電子線後方散乱回折法による金属材料の回復・再結晶挙動の
評価」、修士（工学 立命館大学）2022 年 3 月

以上

大型研究装置成果報告書

装置名	超高分解能分析システム（透過電子顕微鏡（TEM）、走査電子顕微鏡（SEM））
研究責任者 (所属・役職・氏名)	理工学部 電気電子工学科 教授 荒木 努
研究テーマ	<ol style="list-style-type: none">1. 調和組織制御による高機能材料の創製2. 物理化学反応を利用した機能性材料表面の創成3. 半導体ナノ材料の状態解析4. マルチバリュー創出のためのリサイクルプロセス開発とそのライフサイクル評価5. 機能性ナノ材料の形態や構造、およびその諸物性評価6. 多軸応力下における高温強度評価の実験研究および損傷評価手法の高度化7. 電子デバイス用樹脂薄膜の物性値評価法の検討8. 酸化物担持金属触媒材料の形態観察9. 三次元フォトニック結晶の形成10. 窒化物半導体の極微構造評価
研究の概要	<p>超高分解能分析システムは、加速電圧 40kV の走査型電子顕微鏡（SEM）および、加速電圧 200kV の高分解能透過型電子顕微鏡（TEM）から構成されている。SEM には EDS 分析装置、EBSD 解析装置が、TEM には STEM、EDS 分析装置が付帯しており、物質科学分野を中心に広い領域で活用されている。活用例として、研究テーマ 1 を以下に紹介する。</p> <p>構造用金属材料の高強度化と高じん性化、すなわち、「強さとしなやかさ」を両立させることは重要課題であり、様々な研究が行われてきた。高強度と高じん性は、目標とする力学特性をより小さな部材で実現できるため、軽量化、省資源、省エネルギー、高信頼性等々に直結し社会に大きな貢献ができる。</p> <p>そのため、高強度構造用金属材料を研究開発する取り組みが様々行われている。その中でも、結晶粒微細化は、Hall-Petch の法則で知られているように金属材料の高強度化に有効な手法である。そのため、これまでに様々な学協会での結晶粒微細化に関する研究集会や政府による大型プロジェクトが推進され、金属材料の高強度化に関する多くの研究成果が蓄積してきた。</p> <p>しかしながら一方で、高強度化は、降伏後の早期の塑性不安定の発生につながり、大きな延性を得ることを困難としている。すなわち、強度と延性は二律背反の関係にあり、これらの両立は、金属材料の高機能化に向けた大きな課題である。</p> <p>これに対して、われわれはこの課題を解決する方法の一つとして、ヘテロ構</p>

	<p>造制御に着目し、粉末冶金技術による調和組織制御法を提案した。調和組織制御を用いることで高強度かつ高延性を材料に付与でき、様々な材料で従来材料を上回る特性が得られることを見出した。調和組織材料は不均一なヘテロ組織材料であるにもかかわらず、結晶粒径勾配で生じる強度が相対的に高い網目構造が材料中に三次元で等方的に展開しているために、応力負荷時には転位の増殖と蓄積が加速して加工硬化が増大し、同時に、強固な網目構造が材料全体を拘束するために高ひずみ域まで局所変形の発生を抑制する。その結果、高強度を実現しながらも大きな延性・韌性を示す。</p> <p>このような調和組織の特異な特性は、材料中のシナジー効果により産み出されるものであり、実用面で極めて重要な革新的な力学特性の発現に結びついている。ナノ・ミクロとマクロの間にはこれまでに知られていない未知の現象がまだ多く存在する可能性があり、それら特異現象の解明が進むことで新しい材料イノベーションに結びついていくことが大いに期待される。</p>
利用成果	<p>【原著論文】（査読あり）</p> <p>(1) S. Zulkifle, K. Hayama, J. Murata, High-efficiency wafer-scale finishing of 4H-SiC (0001) surface using chemical-free electrochemical mechanical method with a solid polymer electrolyte, <i>Diamond and Related Materials</i>, 120 (2022) 108700</p> <p>(2) 村田順二, 谷泰弘, 桐野宙治, 砥粒の滞留性に着目した微粒子添加ラッピングによる研磨特性の向上, <i>砥粒加工学会誌</i> 65(2021) 195</p> <p>(3) Shintaro Tachibana, Kazuto Ide, Takeshi Tojigamori, Yusaku Yamamoto, Hidenori Miki, Hisatsugu Yamasaki, Yukinari Kotani, Yuki Orikasa, “Fluoride-ion Conductivity Analysis of Yb-F-S Multiple-anion Compounds”, <i>Chem. Lett.</i>, 50, 120-123 (2021).</p> <p>(4) Reshma R. Rao, Michał Tułodziecki, Binghong Han, Marcel Risch, Artem Abakumov, Yang Yu, Pinar Karayaylali, Magali Gauthier, María Escudero-Escribano, Yuki Orikasa, Yang Shao-Horn, “Reactivity with Water and Bulk Ruthenium Redox of Lithium Ruthenate in Basic Solutions”, <i>Adv. Funct. Mater.</i>, 31, 2002249 (2021).</p> <p>(5) H. Hafiz, K. Suzuki, B. Barbiellini, N. Tsuji, N. Yabuuchi, K. Yamamoto, Y. Orikasa, Y. Uchimoto, Y. Sakurai, H. Sakurai, A. Bansil, V. Viswanathan, “Tomographic reconstruction of oxygen orbitals in lithium-rich battery materials”, <i>Nature</i>, 594, 213-216 (2021).</p> <p>(6) Ryota Sato, Hajime Okajima, Shinya Sugiura, Yohei Haketa, Yusuke Kinoshita, Hitoshi Tamiaki, Akira Sakamoto, Hiromitsu Maeda, Yoichi Kobayashi, “Excited-state dynamics of dipyrrolyldiketone difluoroboron complexes”, <i>Phys.</i></p>

- Chem. Chem. Phys.2022, 24, in press. DOI: 10.1039/d1cp04804j
- (7) Yusuke Sanada, Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, “Origin of the Anomalous Temperature Dependence of the Photochromic Reaction of Cu-Doped ZnS Nanocrystals”, J. Phys. Chem. Lett., 2021, 12, 8129–8133.
 - (8) Katsuya Mutoh, Shota Toshimitsu, Yoichi Kobayashi, Jiro Abe, “Dynamic spin-spin interaction observed as interconversion of chemical bonds in stepwise two-photon induced photochromic reaction”, J. Am. Chem. Soc., 2021, 143, 13917–13928.
 - (9) Yoshifumi Sasano, Hiroki Tanaka, Yohei Haketa, Yoichi Kobayashi, Yukihide Ishibashi, Tatsuki Morimoto, Ryuma Sato, Yasuteru Shigeta, Nobuhiro Yasuda, Tsuyoshi Asahi, Hiromitsu Maeda, “Ion-pairing π -electronic systems: ordered arrangement and noncovalent interactions of negatively charged porphyrins”, Chem. Sci., 2021, 12, 9645–9657.
 - (10) Atsuko Kuno, Goki Hirata, Hiroki Tanaka, Yoichi Kobayashi, Nobuhiro Yasuda, Hiromitsu Maeda, “Dipyrrolyldiketone PtII Complexes: Ion-Pairing π -Electronic Systems with Various Anion-Binding Modes”, Chem. Euro. J. 2021, 27, 10068–10076.
 - (11) Yasuki Kawanishi, Katsuya Mutoh, Jiro Abe, Yoichi Kobayashi, “Extending the lifetimes of charge transfer states generated by photoinduced heterolysis of photochromic radical complexes”, Asian J. Org. Chem. 2021, 10, 891–900.
 - (12) Nobuyuki Mizuno, Shoki Kosai, Eiji Yamasue: “Microwave-based Extractive Metallurgy to Obtain Pure Metals: A Review”, Vol.5 Cleaner Engineering and Technology, (2021), 100306
 - (13) Nobuyuki Mizuno, Shoki Kosai, Eiji Yamasue: “Microwave-based approach to recovering zinc from electric arc furnace dust using silicon powder as a non-carbonaceous reductant”, The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society (JOM), vol.73, (2021), 1828-1835
 - (14) Shoki Kosai, Shiho Fujimura, Shunsuke Kashiwakura, Shugo Nishimura, Kei Mitsuhara, Masaru Takizawa, Eiji Yamasue: “Evaluating influences of impurities on hydrogen production in Si-water reaction”, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.46, No.11, (2021), pp.7722-7732
 - (15) T. Araki, F. Abas, R. Fujita and S. Mouri, “Repeatability and Mechanisms of Threading Dislocation Reduction in InN Film Grown with In Situ Surface Modification by Radical Beam Irradiation”, 『材料』, 70, 732-737.
 - (16) K. Ishiji , T. Fujii, T. Araki, T. Fukuda, “Observation of Defect Structure in ScAlMgO₄ Crystal using X-ray Topography”, J. Cryst. Growth, 580, 126477
 - (17) Kaneko Kosuke, Yamashita Kosuke, Fujioka Daiki, Kaneko Kimiyoshi, Fuchigami

- Kiyomi, Hashishin Takeshi, Hanasaki Tomonori, "Electrorheological Effect of Gold Nanoparticles Coated with Fluorescent Mesogenic Groups Dispersed in Nematic Liquid Crystal", Crystals, 11/2, (2021), 192
- (18) Shubham Kaushik, Kazuhiko Matsumoto, Yuki Orikasa, Misaki Katayama, Yasuhiro Inada, Yuta Sato, Kazuma Gotoh, Hideka Ando, and Rika Hagiwara, "Vanadium Diphosphide as a Negative Electrode Material for Sodium Secondary Batteries", J. Power Sources, 483, 229182 (2021).
- (19) Yixin Zhu, Koji Miyake, Yasuhiro Shu, Koki Moroto, Yuichiro Hirota, Yoshiaki Uchida, Shunsuke Tanaka, Tao Zheng, Misaki Katayama, Yasuhiro Inada, Emilia Morallón, Diego Cazorla-Amorós, Chang Yi Kong, and Norikazu Nishiyama, "Single Atomic Co Coordinated with N in Microporous Carbon for Oxygen Reduction Reaction Obtained from Co/2-methylimidazole Anchored to Y Zeolite as a Template", Mater. Today Chem., 20, 100410 (2021).
- (20) Misaki Katayama, Takuto Nishikawa, Hirona Yamagishi, Shogo Yasuda, Tomoya Sano, Takashi Kameyama, Yuki Orikasa, and Yasuhiro Inada, "Discharge Condition Dependence of In-Plane Inhomogeneous Cathode Reaction Analyzed by X-Ray Absorption Near Edge Structure Imaging", J. Power Sources, 506, 230256 (2021).
- (21) Satoshi Murase, Y. Yoshikawa, Kosuke Fujiwara, Yukimasa Fukada, Takashi Teranishi, Jun Kano, Tatsuo Fujii, Yasuhiro Inada, Misaki Katayama, Kenji Yoshii, Takuya Tsujii, Daiju Matsumura, and Naoshi Ikeda, "Valence Control of Charge and Orbital Frustrated System YbFe₂O₄ with Electrochemical Li⁺ Intercalation", J. Phys. Chem. Solids, in press (2021).
- (22) Le Xu, Takaki Kojima, Takamoto Itoh, "Creep–fatigue life evaluation of type 304 stainless steel under non-proportional loading", International Journal of Pressure Vessels and Piping 194 (2021) 104515.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2021.104515>
- (23) Naoki Matsubara, Masao Sakane, Takamoto Itoh, Rui Kosaka, "Creep damage evaluation via uniaxial miniature testing for multiaxially stressed Mod.9Cr-1Mo steel components", International Journal of Pressure Vessels and Piping 194 (2021) 104518. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2021.104518>
- (24) Jingran Yang, Le Xu, Hongliang Gao, Xingfu Li, Hongjiang Pan, Baipo Shu, Takamoto Itoh, Yuntian Zhu, Xinkun Zhu, "Effect of global constraint on the mechanical behavior of gradient materials", Materials Science & Engineering A 826 (2021) 141963. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.141963>
- (25) Yuta Nakayama, Fumio Ogawa, Noritake Hiyoshi, Ryuta Hashidate, Takashi Wakai, Takamoto Itoh, "Evaluation of Multiaxial Low Cycle Creep-fatigue Life

- for Mod.9Cr-1Mo Steel under Non-proportional Loading”, ISIJ International 2021 年 61 卷 8 号 2299-2304.
<https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2020-780>
- (26)Yuya Kimura, Fumio Ogawa, Takamoto Itoh, “Fatigue Property of Additively Manufactured Ti-6Al-4V under Nonproportional Multiaxial Loading”, Chinese Journal of Mechanical Engineering. (2021) 34:103.
<https://doi.org/10.1186/s10033-021-00626-8>
- (27)笠牟田 悠貴, 渡邊 将貴, 杉本 大気, 木村 友哉, 小川 文男, 各務 周, 宮本 宣幸, 伊藤 隆基, “ガソリン浸漬下における疲労試験装置および高強度鋼の疲労特性”, 2021 年 70 卷 12 号 p. 905-911.
<https://doi.org/10.2472/jsms.70.905>
- (28)Takashi Nozawa, Hiroyasu Tanigawa, Takaki Kojima, Takamoto Itoh, Noritake Hiyoshi, Mitsuru Ohata, Taichiro Kato, Masami Ando, Motoki Nakajima, Takanori Hirose, Jordan D. Reed, Xiang Chen, Josina W. Geringer, Yutai Katoh, “Status and the challenge of Japanese materials property handbook to facilitate structural design criteria for DEMO in-vessel components”, Nuclear Fusion 2021 年 Volume 61, Number 11, 116054

【原著論文】(査読なし)

- (1) 山末英嗣, 光斎翔貴, 柏倉俊介, 中野勝行, 橋本征二 :「身近な水銀利用製品としての照明」, 金属, Vol.90, No. 12, (2020), pp.1022-26
- (2) 山末英嗣, 光斎翔貴, 柏倉俊介, 松八重一代 「黄リン製造の歴史的変遷と今後の課題」, 金属, 2021 年 11 月号
- (3) Daiki Fujioka, Kosuke Kaneko, Yusaku Yamamoto, Misaki Katayama, Yasuhiro Inada, Kazuo Kojima, and Tomonori Hanasaki, “Study on the Chemical State of Polyimide Resin Films Containing Ni-Co Alloy Nanoparticles Synthesized by Liquid Phase Reduction Method” Memoirs of The SR Center, Ritsumeikan University, 23, (2021) , 27.
- (4) Daiki Fujioka, Kosuke Kaneko, Yusaku Yamamoto, Misaki Katayama, Yasuhiro Inada, Kazuo Kojima, and Tomonori Hanasaki, “Study on the Chemical State of Polyimide Resin Films Containing Ni-Co Alloy Nanoparticles Synthesized by Liquid Phase Reduction Method”, Memoirs of the SR Center Ritsumeikan Univ., 23, 27 (2021).
- (5) Takuto Nishikawa, Misaki Katayama, and Yasuhiro Inada, “Discharge Condition Dependence of Reaction Distribution of Lithium Iron Phosphate Cathode”, Memoirs of the SR Center Ritsumeikan Univ., 23, 28 (2021).
- (6) Misaki Katayama and Yasuhiro Inada, “Evaluation of Window Material for

- Operando Double-Edge DXAFS Experiments”, Memoirs of the SR Center Ritsumeikan Univ., 23, 29 (2021).
- (7) Mariya Yamagishi, Shintaro Tachibana, Takeshi Shimizu, Kei Mitsuhasha, Yuki Oriksa, “Analyzing Sulfur-doped Li₃InCl₆ Solid Electrolytes by X-ray Absorption Spectroscopy”, Memoirs of the SR Center Ritsumeikan University, 23, 19-22 (2021).
 - (8) Takeshi Shimizu, Ayako Murakami, Misaki Yamamura, Hiroshi Imamura, Hirona Yamagishi, Yusaku Yamamoto, “Changes in Crystal Structure and Battery Performance of MIL-101 (Fe) upon Introduction of Substituent NH₂”, Memoirs of the SR Center Ritsumeikan University, 23, 15-18 (2021).
 - (9) Takaya Ishida, Takuya Tsuji1, Hirona Yamagishi1, Yusaku Yamamoto, Misaki Katayama, and Yasuhiro Inada, “Chemical State Analysis on Ni Species Supported on Carbon During Electrochemical Reduction Process”, Memoirs of the SR Center Ritsumeikan Univ., 23, 3 (2021).
 - (10) Takuto Nishikawa, Shinji Okamoto, Hirona Yamagishi, Yusaku Yamamoto, Misaki Katayama, and Yasuhiro Inada, “Cu K- and L-edge XAFS Analysis on Conversion Process between Copper Chloride(II) and Metallic Copper”, Memoirs of the SR Center Ritsumeikan Univ., 23, 9 (2021).

【国際会議】

- (1) Yusuke Sakurai, Yuya Sakka, Takeshi Shimizu, Yuki Oriksa, “Direct Observation of Silver Dendrite Formation in Glass Electrolyte Using X-Ray Computed Tomography of All-Solid-State Battery”, 239th the Electrochemical Society, Digital Meeting, May-Jun, 2021.
- (2) Yuya Sakka, Takuma Uno, Takeshi Shimizu and Yuki Oriksa, “Three-dimensional Analysis for LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O₂ Composite Cathode of All-Solid-State Batteries By X-ray Computed Tomography”, 239th the Electrochemical Society, Digital Meeting, May-Jun, 2021
- (3) Mariya Yamagishi, Shintaro Tachibana, Takeshi Shimizu, and Yuki Oriksa, “Lithium-Ion Conductivity of Mixed-Anion Chloride Solid Electrolyte”, 239th the Electrochemical Society, Digital Meeting, May-June, 2021.
- (4) Yuya Sakka, Takuma Uno, Takeshi Shimizu and Yuki Oriksa, “X-ray Computed Tomography Study on NCM Cathode of All-Solid-State Batteries”, 72nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, Jeju (Korea), August, 2021
- (5) Mariya Yamagishi, Shintaro Tachibana, Takeshi Shimizu, and Yuki Oriksa, “Mixed-Anion Effects on Lithium-Ion Conductivity of Chloride-Based Solid

- Electrolyte”, 72nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, Jeju (Korea), August, 2021.
- (6) Yusuke Sakurai, Koji Kandori, Takeshi Shimizu, Yuki Orikasa, “Direct Observation of Ag Dendrite Growth in Glass Electrolyte Using X-Ray Tomography of All-Solid-State Battery”, 72nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, Jeju (Korea), August, 2021.
- (7) Yuya Sakka, Takuma Uno, Hisao Yamashige, and Yuki Orikasa, “X-ray Computed Tomography on LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O₂ Composite Cathode of All-Solid-State Batteries”, 9th International Conference of the Indonesian Chemical Society, Lombok (Indonesia), August, 2021.
- (8) Yusuke Sakurai, Yuya Sakka, Takeshi Shimizu, Yuki Orikasa, “Direct Observation of Dendrite Formation in AgI-Ag₂O-P₂O₅ Glass Electrolyte Using X-Ray Computed Tomography”, 9th International Conference of the Indonesian Chemical Society, Lombok (Indonesia), August, 2021.
- (9) Mariya Yamagishi, Shintaro Tachibana, Takeshi Shimizu, and Yuki Orikasa, “Mixed-Anion Doping on Chloride-based Lithium-ion Conductor”, 9th International Conference of the Indonesian Chemical Society 2021, Lombok (Indonesia), August, 2021.
- (10) Nur Chamidah, Yuki Orikasa, “Analysis of Lithium Insertion and Deinsertion in Photo-charging Battery System”, 9th International Conference of The Indonesian Chemical Society 2021 , Lombok (online) , August, 2021
- (11) Shintaro Tachibana and Yuki Orikasa, “Preparation and Electrical Properties of La-Sr-F-S compounds for Fluoride Ion Conductor”, The 9th International Conference of the Indonesian Chemical Society, Lombok(Online meeting), Aug, 2021.
- (12) Shintaro Tachibana, Kazuto Ide, Hisatsugu Yamasaki, Takeshi Tojigamori, Hidenori Miki, Takashi Saito, Takashi Kamiyama, and Yuki Orikasa, “Fluoride-ion Conduction of La-Sr-F-S Mixed Anion Compound”, Pacificchem 2021, Hawaii (Online meeting), Dec, 2021.
- (13) Nur Chamidah, Yuki Orikasa, “Lithium intercalation analysis of photo-charging lithium-ion battery”, Pacificchem 2021, Hawaii (online) , December 2021
- (14) Yusuke Sakurai, Yuya Sakka, Koji Kandori1, Hisao Yamashige, Yuki Orikasa, “Direct observation of silver dendrite formation in glass electrolyte using X-ray tomography”, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021, Honolulu (Hawaii), December, 2021.
- (15) Tomoki Tsukamoto, Shintaro Tachibana, Takeshi Shimizu , and Yasuhiro Inada, “Synthesis and Electrical Properties of fluorosulfide compound Ba₁₈F₁₈In₈S₂₁”,

- The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, Honolulu (Hawaii), December 2021.
- (16) Ryogo Ohashi, Masashi Nakano, Takeshi Shimizu, and Yuki Orikasa, “Sulfur Doping Effects on Fluoride-ion Conductivity of Tysonite-type Structure La_{0.9}Ba_{0.1}F_{2.9}”, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021, Honolulu (Hawaii), December, 2021.
- (17) Mariya Yamagishi, Shintaro Tachibana, Takeshi Shimizu, and Yuki Orikasa, “Mixed-Anion Doping on Chloride-based Lithium-ion Solid Electrolyte”, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021, Honolulu (Hawaii), December, 2021.
- (18) Iori Takashima, Yuki Orikasa, “Electrochemical Behavior in Calcium Aqueous Electrolyte of vegetables”, The International Chemical Congress of Pacific Basin Society, Hawaii (online meeting), December, 2021.
- (19) Yuya Sakka, Takuma Uno, Takeshi Shimizu and Yuki Orikasa, “X-ray Computed Tomography Study on NCM Cathode of All-Solid-State Batteries”, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021, Honolulu (Hawaii), December, 2021.
- (20) Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, “Green and far-red-light induced electron injection from perylene bisimide to wide-bandgap semiconductor nanocrystals with stepwise two-photon absorption processVisible and Near Infrared Light Induced Electron Injection from Perylene Bisimide to ZnS Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process”, Photonics in Chemical Physics, ポスター、2021年9月.
- (21) Yusuke Sanada, Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, “Origin of the Anomalous Temperature Dependence of the Photochromic Reaction of Cu-Doped ZnS Nanocrystals”, 11th Asian Photochemistry Conference, ポスター、2021年11月.
- (22) Ryota Sato, Shinya Sugiura, Yohei Haketa, Hiromitsu Maeda, Yoichi Kobayashi, “Excited State Dynamics of Dipyrrolydiketone Difluoroboron Complexes”, 11th Asian Photochemistry Conference, ポスター、2021年11月.
- (23) Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, “Visible and Far-Red Light Induced Electron Injection from Perylene Bisimide to Wide-Bandgap Semiconductor Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process”, 11th Asian Photochemistry Conference, ポスター、2021年11月.
- (24) Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, “Visible and Near Infrared Light-Induced Electron Extraction from Perylene Bisimide to CdS Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process”, The 22nd Ries-Hokudai International Symposium, ポスター、2021年12月.

- (25) S. Kashiwakura, S. Kosai, K. Nakajima E. Yamasue, "Effects of electricity mix on total material requirement of hydrogen steelmaking process", The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment (Cuute-1), 14-17 December 2021, Nara, Japan
- (26) Shoki Kosai, Daiki Kurogi, Keita Kozaki, Eiji Yamasue, "Development of distributed recycling system for alkaline batteries by using microwave technology", EcoDesign2021, 1-3 December 2021, Nara, Japan (Online)
- (27) Shunsuke Kashiwakura, Eiji Yamasue, "Total material requirement of crude steel production toward CO₂ emission control in 2050", EcoDesign2021, 1-3 December 2021, Nara, Japan (Online)
- (28) Keita Hamasuna, Shoki Kosai, Shunsuke Kashiwakura, Eiji Yamasue, "Life cycle resource use of air conditioner from the perspective of total material requirement", EcoDesign2021, 1-3 December 2021, Nara, Japan (Online)
- (29) S. Mouri, K. Matsushima, Y. Kawase, T. Araki, "Effect of Supported Substrate on van der Waals Epitaxy of Nitride Semiconductors on Graphene by MBE", NT21: International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materials, 2021 年 6 月 8 日～10 日
- (30) Y. Wada, Y. Kuroda, S. Kayamoto, N. Goto, T. Fuji, S. Mouri, Y. Shiraishi, T. Fukuda and T. Araki, "Microstructural Characterization of Nitride Semiconductor Films Grown on ScAlMgO₄ Substrate by RF-MBE", 14th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials/15th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (ISPlasma 2022/IC-PLANTS 2022), 2022 年 8 月 8 日
- (31) N. Mokutani, Y. Wada, S. Mouri, K. Shojiki, S. Xiao, H. Miyake and T. Araki, "Growth of Ultra-Thin GaN/AlN Superlattice Structure toward Deep-UV Emission", 14th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials/15th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (ISPlasma 2022/IC-PLANTS 2022), 2022 年 8 月 9 日

【国内学会発表】

- (1) 巴山顕真, 稲田直希, 村田順二, 「固体高分子電解質を含浸させた半固定砥粒工具による SiC の ECMP 特性」, 精密工学会秋季大会学術講演会, 2021 年
- (2) 梅崎凌平, 村田順二, 「高分子電解質を用いた電気化学インプリント技術の開発 -水分供給システムが加工特性に与える影響の検討-」, 精密工学会秋季大会学術講演会, 2021 年

- (3) 森本英太, 梅崎凌平, 村田順二, 「高分子電解質を用いた電気化学インプリント技術の開発 -ロール電極の適用による大面積化-」, 精密工学会秋季大会学術講演会, 2021 年
- (4) 門田紳司, 村中紘輝, 村田順二, 「表面化学組成制御カルボニル鉄粉による磁気援用研磨特性」, 精密工学会秋季大会学術講演会, 2021 年
- (5) 辻淳喜, JIA Pengfei, 村田順二, 「高分子電解質を用いた電解援用研磨法の開発-難加工金属の平滑化への適用-」, 2021 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2021 年
- (6) 村田順二, 石丸太一, 山崎小有里, 「天然由来結合剤を用いた酸化セリウム固定砥粒パッドによるガラス研磨特性」, 2021 年度砥粒加工学会学術講演会, 2021 年
- (7) 塚本友輝, 橋慎太朗, 清水剛志, 折笠有基, 「Ba₁₈In₈F₁₈S₂₁ の合成と F K-edge XANES スペクトル」, 第 34 回 日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, オンライン開催, 2021 年 1 月.
- (8) 高嶋井央吏, 折笠有基, 「X 線吸収分光法を用いた青果物における電気化学反応の解析」, 第 34 回 日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, オンライン, 2021 年 1 月.
- (9) 橋慎太朗, 井手一人, 當寺ヶ盛健志, 山崎久嗣, 三木秀教, 齊藤高志, 神山崇, 折笠有基, 「希土類フッ化硫化物 La-Sr-F-S の合成と導電メカニズム解析」, 日本セラミックス協会 2021 年会, 大阪(オンライン), 2021 年 3 月.
- (10) 橋慎太朗, 井手一人, 山崎久嗣, 當寺ヶ盛健志, 三木秀教, 齊藤高志, 神山崇, 折笠有基, 「新規フッ化物イオン伝導体 La-Sr-F-S の合成と電気化学特性評価」, 電気化学会第 88 回大会, オンライン開催, 2021 年 3 月.
- (11) 塚本友輝, 橋慎太朗, 折笠有基, 「フッ化硫化物 Ba-In-F-S の合成と F K-edge XANSE スペクトル測定」, 立命館 SR 研究成果報告会, オンライン開催, 2021 年 6 月.
- (12) 高嶋井央吏, 折笠有基, 「X 線吸収分光法を用いた青果物における電気化学的挙動の解析」, 立命館大学 SR 研究成果報告会, オンライン, 2021 年 6 月.
- (13) 橋慎太朗, 井手一人, 山崎久嗣, 當寺ヶ盛健志, 三木秀教, 齊藤高志, 神山崇, 折笠有基, 「新規フッ化物イオン伝導体 La-Sr-F-S の合成と導電メカニズム解析」, 2021 年電気化学秋季大会, 北海道(オンライン), 2021 年 9 月.
- (14) 櫻井祐輔, 作花勇也, 神鳥浩司, 折笠有基, 「X 線コンピューター断層撮影を用いた銀イオンガラス固体電解質におけるデンドライトの成長機構観察」, 2021 年電気化学秋季大会, 北海道, 2021 年 9 月.
- (15) 作花勇也, 宇野拓真, 山重寿夫, 折笠有基, X 線コンピューター断層撮影法による LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O₂ 複合電極を用いた全固体電池の圧力依存性解析, 2021 年電気化学秋季大会, 北海道, 2021 年 9 月.

- (16) 櫻井 祐輔, 作花 勇也, 山重 寿夫, 折笠 有基, 「X線 CT 法を用いたガラス電解質における銀デンドライト成長機構 3 次元解析」, 第 62 回電池討論会, 横浜, 2021 年 11-12 月.
- (17) 作花 勇也, 山重 寿夫, 折笠 有基, 「X線 CT 法による複合電極を用いたバルク型全固体電池の圧力依存性解析」, 第 62 回電池討論会, 横浜, 2021 年 11-12 月.
- (18) 高嶋井 央吏, 折笠 有基, 「有機電極を用いた水系カリウムイオン電解質における電気化学反応解析」, 2021 年第 3 回関西電気化学研究会, オンライン, 2021 年 12 月.
- (19) 塚本 友輝, 橘慎太朗, 折笠 有基, 「共沈法によって合成された $\text{La}_{1-x}\text{Ba}_x\text{F}_{3-x}$ の導電特性評価」, 2021 年第 3 回関西電気化学研究会, 2021 年 12 月.
- (20) 橘慎太朗, 井手一人, 山崎久嗣, 當寺ヶ盛健志, 三木秀教, 齊藤高志, 神山 崇, 折笠 有基, 「複合アニオニン化合物 $\text{La}_2\text{SrF}_4\text{S}_2$ におけるフッ化物イオン伝導経路の解析」, 第 47 回固体イオニクス討論会, 徳島, 2021 年 12 月.
- (21) Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, 「Visible and Near Infrared Light Induced Electron Injection from Perylene Bisimide to ZnS Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process」, 2021 年 web 光化学討論会、口頭 2021 年 9 月.
- (22) Hiroki Ito, Yoichi Kobayashi, 「T-type Photochromism of ZnO Nanocrystals」, 2021 年 web 光化学討論会、ポスター、2021 年 9 月.
- (23) Yusuke Sanada, Yoichi Kobayashi, 「Mechanistic Studies on Temperature Dependence of Photochromism of Cu-Doped ZnS Nanocrystals」, ポスター、2021 年 web 光化学討論会、2021 年 9 月.
- (24) 福田 大樹、小林洋一、「ペリレンビスイミド誘導体の高次励起状態ダイナミクス」, 2021 年 web 基礎有機化学討論会、ポスター、2021 年 9 月.
- (25) 佐藤 亮太、杉浦 慎哉、羽毛田 洋平、前田 大光、小林 洋一、「ジピロリルジケトンフッ化ホウ素錯体の励起状態ダイナミクス」, 2021 年 web 基礎有機化学討論会、ポスター、2021 年 9 月.
- (26) 吉岡 大祐、小林 洋一、「可視及び近赤外光の段階的二光子吸収過程によるペリレンビスイミドから ZnS 半導体ナノ結晶への電子注入」, 2021 年第 40 回 固体・表面光化学討論会、口頭 2021 年 9 月.
- (27) 濱砂 圭汰, 佐藤 公紀, 光斎 翔貴, 柏倉 俊介, 山末 英嗣, 「エアコンの採掘活動から見た資源効率」, 第 16 回日本 LCA 学会研究発表会, オンライン開催, 2021 年 3 月 3-5 日
- (28) 柏倉 俊介, 山末 英嗣, 「蓄電池と無変換直流給電を併用した太陽光電力の安定供給に係るシナリオ分析」, 第 16 回日本 LCA 学会研究発表会, オンライン開催, 2021 年 3 月 3-5 日

- (29) 黒木大暉, 光斎翔貴, 山末英嗣, 「マイクロ波炉を用いたアルカリマンガン電池の分散型リサイクルシステムの構築」, 第 16 回日本 LCA 学会研究発表会, オンライン開催, 2021 年 3 月 3-5 日
- (30) 濱砂圭汰, 佐藤 公紀, 光斎翔貴, 柏倉俊介, 山末英嗣, 「エアコンの採掘活動から見た資源効率」, 第 16 回日本 LCA 学会研究発表会, オンライン開催, 2021 年 3 月 3-5 日
- (31) 柏倉俊介, 山末英嗣, 「レーザー分析によるエシェログラムと機械学習による金属スクラップの高速相互選別」, 資源・素材学会 2021 年度春季大会, オンライン開催, 2021 年 3 月 8-10 日
- (32) 西澤一輝, 柏倉俊介, 光斎翔貴, 山末英嗣, 「LIBS と機械学習を併用した自動車部品の高速金属種別」, 資源・素材学会 2021 年度春季大会, オンライン開催, 2021 年 3 月 8-10 日
- (33) 中浦雅史, 光斎翔貴, 柏倉俊介, 山末英嗣, 「炭酸リチウムを媒介とした鉄鋼スラグの全利用プロセスの提案」, 日本鉄鋼協会第 181 回講演大会, オンライン開催, 2021 年 3 月 17-19 日
- (34) 梅垣遼一, 光斎翔貴, 柏倉俊介, 山末英嗣, 「鉄の微細構造が反応経路に与える影響」, 日本鉄鋼協会第 181 回講演大会, オンライン開催, 2021 年 3 月 17-19 日
- (35) 渡辺善友, 柏倉俊介, 光斎翔貴, 山末英嗣, 「マイクロ波炉を用いた酸化ニッケルの炭素還元の挙動分析」, 日本金属学会第 168 回講演大会、オンライン開催, 2021 年 3 月 16-19 日
- (36) 谷上周, 柏倉俊介, 光斎翔貴, 山末英嗣, 「マイクロ波を用いた鉛バッテリーのリサイクル」, 日本金属学会第 168 回講演大会、オンライン開催, 2021 年 3 月 16-19 日
- (37) 朱仁杰, 山末英嗣, 平木 岳人, 柏倉俊介, 光斎翔貴, 「難処理性アルミニウムドロスの熱重量特性と乾式処理の可能性」, 日本金属学会第 168 回講演大会、オンライン開催, 2021 年 3 月 16-19 日
- (38) 益野颯仁, 辻野太周, 八木洸紀, Sharma Bhupendra, 川畠美絵, 山末英嗣, 飴山恵, 「SUS316L 調和組織材料の高温変形挙動」, 日本金属学会第 168 回講演大会、オンライン開催, 2021 年 3 月 16-19 日
- (39) 和田 邑一, 黒田 悠弥, 植木 聖也, 後藤 直樹, 藤井 高志, 毛利 真一郎, 白石 裕児, 福田 承生, 荒木 努、「透過電子顕微鏡を用いた ScAlMgO₄ 基板上 RF-MBE 成長 GaN の極微構造評価」、日本材料学会 2021 年度第 2 回半導体エレクトロニクス部門委員会第 1 回研究会、2021 年 7 月 17 日
- (40) Y. Kawase, K. Matsushima, J. Doi, T. Araki, S. Mouri, “Metal Deposition on a Suspended Graphene Surface”, 第 61 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、2021 年 9 月 1 日

- (41)和田 邑一, 黒田 悠弥, 栢本 聖也, 後藤 直樹, 藤井 高志, 毛利 真一郎, 白石 裕児, 福田 承生, 荒木 努、「透過電子顕微鏡を用いた ScAlMgO₄ 基板上 RF-MBE 成長 GaN の極微構造評価」、2021 年秋季第 82 回応用物理学会学術講演会、2021 年 9 月 13 日
- (42)後藤直樹, 栢本聖也, 黒田悠弥, 和田邑一, 藤井高志, 毛利真一郎, 白石佑児, 福田承生, 荒木努、「RF-MBE 法を用いた ScAlMgO₄ 基板上 InGaN エピタキシャル成長」、2021 年秋季第 82 回応用物理学会学術講演会、2021 年 9 月 13 日
- (43)土井 慎太郎, 荒木 努, 毛利 真一郎、「ラマン分光を用いた架橋ツイスト 2 層グラフェンの熱伝導測定」、日本物理学会 2021 年秋季大会、2021 年 9 月 22 日
- (44)李谷 直哉, 和田 邑一, 毛利 真一郎, 正直 花奈子, 三宅 秀人, 荒木 努、「RF-MBE 法による極薄 GaN/AlN 超格子構造の作製」、2021 年秋季第 82 回応用物理学会学術講演会、2021 年 9 月 23 日
- (45)黒田 悠弥, 和田 邑一, 栢本 聖也, 後藤 直樹, 藤井 高志, 毛利 真一郎, 白石 裕児, 福田 承生, 荒木 努、「RF-MBE 法による GaN/ScAlMgO₄ 成長形態の基板ステップ間隔依存性」、2021 年秋季第 82 回応用物理学会学術講演会、2021 年 9 月 23 日
- (46)張 同舟, 後藤 直樹, 毛利 真一郎, 荒木 努、「DERI 法を用いた InN 結晶成長の成長温度依存性に関する研究」、2021 年秋季第 82 回応用物理学会学術講演会、2021 年 9 月 23 日
- (47)篠田 悠平, 福田 安莉, 橘 秀紀, 毛利 真一郎, 正直 花奈子, 三宅 秀人, 荒木 努、「RF-MBE 法を用いた N 極性 AlN テンプレート基板上 InN 結晶成長」、2021 年秋季第 82 回応用物理学会学術講演会、2021 年 9 月 23 日
- (48)河瀬裕太, 松島健太, 土井慎太郎, 荒木努, 毛利真一郎、「架橋グラフェンにおける窒化インジウムのファンデルワールスエピタキシー」、2021 年秋季第 82 回応用物理学会学術講演会、2021 年 9 月 23 日
- (49)山下 修平, 早川 紘生, 城川 潤二郎, 柳生 慎悟, 四戸 孝, 荒木 努、「TEM 観察を用いた Sapphire オフ基板上成長 α -Ga₂O₃ の結晶欠陥評価」、2021 年秋季第 82 回応用物理学会学術講演会、2021 年 9 月 23 日
- (50)Y. Wada, Y. Kuroda, S. Kayamoto, N. Goto, T. Fuji, S. Mouri, Y. Shiraishi, T. Fukuda, and T. Araki, “Microstructural Characterization of GaN Films Grown on ScAlMgO₄ Substrate via RF-MBE”, 40th Electronic Materials Symposium, 2021 年 10 月 11 日
- (51)後藤直樹, 栢本聖也, 黒田悠弥, 和田邑一, 藤井高志, 毛利真一郎, 白石佑児, 福田承生, 荒木努、「DERI 法を応用した ScAlMgO₄ 基板上 InGaN エピタキシャル成長」、第 50 回結晶成長国内会議 (JCCG-50)、2021 年 10 月

28 日

- (52)荒木努、「ScAlMgO₄ 基板上窒化物半導体結晶 RF-MBE 成長の最近の進展」、第 13 回ナノ構造エピタキシャル成長講演会、2021 年 12 月 2 日、チュートリアル講演
- (53)松島健太、土井惇太郎、荒木努、毛利真一郎、「グラフェン上での InN MBE 成長における窒素プラズマ照射時間の検討」、第 13 回ナノ構造エピタキシャル成長講演会、2021 年 12 月 3 日
- (54)和田邑一、黒田悠弥、栢本聖也、後藤直樹、藤井高志、毛利真一郎、白石裕児、福田承生、杉江隆一、荒木努、「透過電子顕微鏡を用いた ScAlMgO₄ 基板上 RF-MBE 成長 InGaN の構造評価」、第 13 回ナノ構造エピタキシャル成長講演会、2021 年 12 月 3 日
- (55)守屋亮、高根倫史、山下修平、山藤祐人、城川潤二郎、松倉誠、小島孝広、四戸孝、金子健太郎、荒木努、「ミスト CVD 法による ScAlMgO₄ 基板上 Ga₂O₃ 成長」、2022 年春季第 69 回応用物理学会学術講演会、2022 年 3 月
- (56)黒田 悠弥、和田 邑一、栢本 聖也、後藤 直樹、藤井 高志、毛利 真一郎、荒木 努、「RF-MBE 法による DERI 法を用いた ScAlMgO₄ 基板上 GaN 結晶成長」、2022 年春季第 69 回応用物理学会学術講演会、2022 年 3 月
- (57)稻田康宏、岡本真治、山岸弘奈、山本悠策、片山真祥、折笠有基、「炭素担持塩化銅の電気化学的酸化還元過程の XAFS 解析」, 第 34 回日本放射光学会、オンライン開催, 2021 年 1 月 8-10 日.
- (58)大井達也、大崎友裕、山岸弘奈、山本悠策、片山真祥、稻田康宏、「リン酸鉄リチウム担持ニッケルの合成と化学状態解析」, 2020 年度量子ビームサイエンスフェスタ、オンライン開催, 2021 年 3 月 9-11 日.
- (59)中門康亮、北澤啓和、山本悠策、稻田康宏、「炭素に担持した Ni 化学種の XAFS 法による解析」, 2020 年度量子ビームサイエンスフェスタ、オンライン開催, 2021 年 3 月 9-11 日.
- (60)片山真祥、西川琢斗、折笠有基、稻田康宏、「リチウムイオン電池正極反応分布の充放電条件依存性」, 2020 年度量子ビームサイエンスフェスタ、オンライン開催, 2021 年 3 月 9-11 日.
- (61)藤岡大毅、金子光佑、山本悠策、片山真祥、稻田康宏、小島一男、花崎知則、「Ni-Co 合金ナノ粒子含有ポリイミド樹脂フィルムの液相還元法による合成」, 化学工学会 第 86 年会、オンライン開催, 2021 年 3 月 20-22 日.
- (62)西川琢斗、片山真祥、折笠有基、稻田康宏、「二次電池正極の不均一な反応分布に関するイメージング XAFS 法による定量化」, 第 81 回分析化学討論会、オンライン開催, 2021 年 5 月 22-23 日.
- (63)石田貴也、山岸弘奈、山本悠策、片山真祥、稻田康宏、「炭素に担持した Ni

- 化学種の電気化学的酸化還元過程の XAFS 解析」, 第 24 回 XAFS 討論会, オンライン開催, 2021 年 9 月 1-3 日.
- (64) 家路豊成, 柴田大輔, 山岸弘奈, 光原圭, 片山真祥, 稲田康宏, 小島一男, 太田俊明, 「立命館大学 SR センターにおける軟 X 線 XAFS データベースの構築」, 第 24 回 XAFS 討論会, オンライン開催, 2021 年 9 月 1-3 日.
- (65) 西川琢斗, 杉村悠樹, 荒井輝人, 岡本真治, 山岸弘奈, 山本悠策, 稲田康宏, 「MCl₂ と M (M = Cu, Ni) の間での塩化物イオンの脱離・挿入過程」, 第 24 回 XAFS 討論会, オンライン開催, 2021 年 9 月 1-3 日.
- (66) 岡本賢幸, 中山雄太, 小川文男, 橋立竜太, 旭吉雅健, 若井隆純, 伊藤隆基, 「改良 9Cr-1Mo 鋼の多軸クリープ疲労における寿命評価法の提案および破損機構の考察」, 日本材料学会第 70 期学術講演会, 2021 年 5 月, 205.
- (67) 坪山響介, 旭吉雅健, 伊藤隆基, 「ミニチュア十字型試験片を用いた SUS304 鋼の多軸クリープ寿命評価」, 日本材料学会第 70 期学術講演会, 2021 年 5 月, 206.
- (68) 三宅 亨, 大野 有紗, 伊藤 隆基, 「二軸疲労試験装置の小型化に向けた十字型試験片の最適設計」, 日本機械学会材料力学カンファレンス M&M 2021, 2021 年 9 月, OS1811.
- (69) 旭吉 雅健, 若原 いつか, 坪山 韶介, 張 聖徳, 伊藤 隆基, 坂根 政男, 「多軸クリープ試験に用いる溶接タイプミニチュア十字型試験片の設計」, 日本機械学会材料力学カンファレンス M&M 2021, 2021 年 9 月, OS1805.
- (70) 藤原 知弘, 安藤 妙子, 下ノ村 和弘, Ngo Hoai Nguyen, 江藤 剛治, 「エピタキシャル加工を用いた可視光イメージセンサ用光ガイド構造の開発」, 第 38 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
- 【修士学位論文】**
- (1) 石川隆幸, 親水/疎水面を有する Janus 粒子の作製と微小流路内壁面加工への応用
 - (2) 稲石翔馬, 磁性を有するハイブリッド研磨粒子の作製とサファイアの磁気援用研磨特性
 - (3) 梅崎凌平, 高分子電解質を用いた電気化学インプリントリソグラフィの開発
 - (4) 門田伸司, CIP/砥粒成分型コアシェル粒子の開発と磁場援用研磨への応用
 - (5) 巴山顕真, 電気化学反応を利用したワイドギャップ半導体の薬液フリー高効率研磨法の開発

- (6) Jia Pengfei, 高分子電解質膜を用いた金属表面の電気化学的表面創成
- (7) 表 勇毅、「電極活物質の反応機構と全電池不可逆反応の相関性」、修士（工学 立命館大学）2021年3月
- (8) 高田 尚輝、「軟X線吸収分光測定を用いたアルカリ水電解触媒劣化機構の解析」、修士（工学 立命館大学）2021年3月
- (9) 橘 慎太朗、「フッ化硫化物を用いた新規フッ化物イオン固体電解質の材料設計」、修士（理学 立命館大学）2021年3月
- (10) 川西康貴、「カルバゾール骨格を用いたフォトクロミックラジカル複合体の合成と光物性」、修士（工学 立命館大学）、2022年3月。
- (11) 福田大樹、「ペリレニル基を置換したペリレンビスイミド誘導体の合成と励起状態ダイナミクス」、修士（工学 立命館大学）、2022年3月。
- (12) 吉岡大祐、「ペリレンビスイミドが配位した半導体ナノ結晶の合成と電子移動ダイナミクス」、修士（工学 立命館大学）、2022年3月。
- (13) 朱仁杰、「難処理性アルミニウムドロスの熱重量特性と乾式処理の提案」、修士（工学 立命館大学）、2021年3月。
- (14) 中川奈那美、「採掘活動を考慮した電力の資源効率評価、修士（工学 立命館大学）、2021年3月。
- (15) 黒木大輝、「マイクロ波炉を用いたアルカリマンガン電池の分散型リサイクルシステムの構築に関する研究」、修士（工学 立命館大学）、2021年3月。
- (16) 鷹田祐京、「ライフサイクルシミュレーションによる車載用LiBの採掘活動から見た資源効率最適化」、修士（工学 立命館大学）、2021年3月。
- (17) 今村 涼 「RF-MBE法による高品質GaN基板上p型GaN成長に関する研究」 柏本 聖也 「RF-MBE法によるScAlMgO₄基板上窒化物半導体結晶成長に関する研究」
- (18) 土井 悅太郎 「ラマン分光を用いた架橋ツイスト2層グラフェンの熱伝導測定に関する研究」
- (19) 中村 亮佑 「透過電子顕微鏡を用いたDERI法成長InNの極微構造評価に関する研究」
- (20) 松島 健太 「RF-MBE法によるInNリモートエピタキシーに関する研究」
- (21) ZHANG Tongzhou "Study on growth condition dependence of structural and electrical properties of InN grown by RF-MBE using DERI method"
- (22) 逢坂駿介、「化学状態に不均一性を持つシリカ担持Ni粒子の酸化還元特性」、修士（理学 立命館大学）、2021年3月。
- (23) 岡本真治、「炭素に担持した塩化銅の電気化学的反応過程の解析」、修士（工学 立命館大学）、2021年3月。
- (24) 川畑永喬、「シリカ担持Ni触媒を用いたNO-CO反応活性における粒子サイズの効果」、修士（工学 立命館大学）、2021年3月。

- (25)辻拓也、「コンバージョン電池活物質としての炭素担持 Ni 化学種の充放電反応の解析」、修士（工学 立命館大学）、2021 年 3 月。
- (26)福島颯太、「4-メルカプトピリジンを架橋サイトとする Au-Cu クラスター合成法の開発」、修士（理学 立命館大学）、2021 年 3 月。
- (27)"非比例多軸負荷下での F82H 鋼の高サイクル疲労強度特性評価"
- (28)"押込みクリープ試験法による Mod.9Cr-1Mo 鋼溶接継手のクリープ試験結果および評価手法の考察"
- (29)"超音波混合法を利用した Al-CNF 複合材料の創製と強度特性評価"
- (30)"ガソリン燃料浸漬下における 440C 系ステンレス鋼の疲労特性（疲労寿命のばらつきに関する考察）"
- (31)"主軸方向の変化挙動を考慮した多軸疲労強度評価手法の検討"
- (32)"非比例多軸負荷試験およびリアルタイムき裂観察による疲労強度評価"
- (33)"TiAl 合金のミニチュア試験片を用いたクリープ強度特性およびその評価手法の検証"
- (34)"実機配管から切り出した微小試験体を用いた多軸クリープ損傷評価手法の考察"
- (35)"曲げ・ねじり組合せ疲労試験機を用いたリアルタイムき裂観察手法の開発"

【特許】

- (1) 村田順二ほか、特願 2021-133059、2021 年 8 月
- (2) 山末英嗣、中村亮介、光斎翔貴：コバルト回収方法及びその装置、特願 2020-163029、出願日：2020 年 9 月 29 日
- (3) 特願 2021-212862「窒化物半導体膜を作製するためのテンプレート及びその製造方法」

以上

大型研究装置成果報告書

装置名	半導体極微構造評価装置
研究責任者 (所属・役職・氏名)	理工学部電気電子工学科・教授・荒木努
研究テーマ	<ol style="list-style-type: none">1. 半導体薄膜の極微構造評価2. 有機・無機材料を用いた太陽電池素子および関連材料の開発3. 環境発電デバイスの開発4. フェムト秒レーザーを用いた表面微細改質
研究の概要	<ol style="list-style-type: none">1. 各種基板(サファイア基板、GaN 基板、AlN 基板、ScAlMgO₄ 基板)上に分子線エピタキシー装置を用いて作製した窒化物半導体薄膜(GaN、InN、AlN、InGaN、AlGaN)の表面モフォロジーを走査電子顕微鏡(SEM)、結晶性・結晶構造をX線回折装置を用いて、評価し、結晶高品質化に向けた成長条件へのフィードバックを行った。2. 持続可能な社会の実現に向けて、作製コストを抑えつつ、高い光電変換効率を達成する太陽電池素子、およびその関連材料を開発している。材料は金属とO(酸素)、S(硫黄)、Se(セレン)等を反応させたカルコゲナイト化合物、およびCH₃NH₃等の有機化合物と金属およびI(ヨウ素)、Br(臭素)、Cl(塩素)らを反応させた有機無機ハイブリッドの化合物を使用して、主としてその形成方法が材料物性と太陽電池素子に与える影響を研究しており、該当の電子顕微鏡では材料の結晶の表面像および断面像を観察している。3. 金属電池、室内環境下で動作可能な色素増感太陽電池、土壤微生物燃料電池の高性能化に関する研究を行っている。4. フェムト秒レーザー加工技術により金属表面への撥水性・親水性付与、金属の転写加工、穴あけ加工をおこなった。撥水性・親水性条件の検討、銅のレーザー転写条件の検討、四角形状の貫通孔を形成条件の検討をおこない、走査電子顕微鏡による形状観察から加工条件に関する知見を得た。

利用成果	<p>【原著論文】(査読あり)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. “Repeatability and Mechanisms of Threading Dislocation Reduction in InN Film Grown with In Situ Surface Modification by Radical Beam Irradiation”, T. Araki, F. Abas, R. Fujita and S. Mouri, 『材料』, 70, 732-737 (2021). 2. “Observation of Defect Structure in ScAlMgO₄ Crystal using X-ray Topography”, K. Ishiji, T. Fujii, T. Araki, T. Fukuda, J. Cryst. Growth, 580, 126477 (2021). 3. “[Ga]/([Ga]+[In]) profile controlled through Ga flux for performance improvement of Cu(In,Ga)Se₂ solar cells on flexible stainless steel substrates”, Yu Kawano, Jakapan Chantana, Takahito Nishimura, Abdurashid Mavlonov, Takashi Minemoto, Journal of Alloys and Compounds, 899, 163276 (2022). 4. “Silver-Alloyed Wide-Gap CuGaSe₂ Solar Cells”, Takahito Nishimura, Atsuya Doi, Jakapan Chantana, Abdurashid Mavlonov, Yu Kawano, Takashi Minemoto, Solar Energy 230, 509-514 (2021). 5. “Study of Activated Carbon Sheets Used for Air-Cathodes of Portable Quasi - Solid Aluminum - Air Batteries”, Toshiki Iwai, Dang Trang Nguyen, Kozo Taguchi, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering (Wiley), 16, 653-655 (2021). 6. “A portable soil microbial fuel cell for sensing soil water content”, Hoang-Uyen Dung Nguyen, Dang-Trang Nguyen, Kozo Taguchi, Measurement: Sensors (Elsevier), 18, 10023 (2021). 7. “A Compact, Membrane-less, Easy-to-Use Soil Microbial Fuel Cell: Generating Electricity from Household Rice Washing Wastewater”, Hoang-Uyen Dung Nguyen, Dang-Trang Nguyen, Kozo Taguchi, Biochemical Engineering Journal (Elsevier), 179, 108338 (2022). 8. “Waterproof India Ink-Coated Activated Carbon Sheet Counter Electrode for Quasi-Solid DSSCs: Stability Evaluation Under Indoor Light Conditions”, Dang-Trang Nguyen, Ryota Fujimoto, Kozo Taguchi, Journal of Electronic Materials (Springer) to be published (2022) <p>【国際学会発表】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. “Effect of Supported Substrate on van der Waals Epitaxy of Nitride Semiconductors on Graphene by MBE”, S. Mouri, K. Matsushima, Y. Kawase, T. Araki, NT21: International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materials, 2021年6月8日～10日 2. “Microstructural Characterization of Nitride Semiconductor Films Grown on ScAlMgO₄ Substrate by RF-MBE”, Y. Wada, Y. Kuroda, S. Kayamoto, N. Goto, T. Fuji, S. Mouri, Y. Shiraishi, T. Fukuda and T. Araki, 14th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and
------	---

- Nanomaterials/15th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (ISPlasma 2022/IC-PLANTS 2022), 2022 年 3 月 8 日
3. “Growth of Ultra-Thin GaN/AlN Superlattice Structure toward Deep-UV Emission”, N. Mokutani, Y. Wada, S. Mouri, K. Shojiki, S. Xiao, H. Miyake and T. Araki, 14th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials/15th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (ISPlasma 2022/IC-PLANTS 2022), 2022 年 3 月 9 日
 4. “Production Techniques for Flexible-Lightweight Cu(In,Ga)Se₂ Solar Cells”, Takahito Nishimura, Abdurashid Mavlonov, Jakapan Chantana, Yu Kawano, Takayuki Negami, and Takashi Minemoto, The 11th International Conference on Flexible and Printed Electronics, 2021 年 9 月 15 日
 5. “A PORTABLE SOIL MICROBIAL FUEL CELL FOR SENSING SOIL WATER CONTENT”, Hoang-Uyen-Dung Nguyen, Dang-Trang Nguyen and Kozo Taguchi, XXIII IMEKO World Congress "Measurement: sparking tomorrow's smart revolution", August 30 - September 3, 2021, Yokohama, Japan.
 6. “A biodegradable water-activated battery: using an activated carbon-based anode and a CNT-based air-cathode”, Dang Trang Nguyen, Hoang-Uyen-Dung Nguyen, Kozo Taguchi, The 7th International Conference on Renewable Energy and Development (ICRED 2021), September 10-12, 2021, Fukuoka, Japan.
 7. “Improving the Performance of Baker’s Yeast-powered MFCs by Adding Dehydrogenase Enzymes to Oxidize Yeast-produced Ethanol”, Hoang-Uyen-Dung Nguyen, Dang Trang Nguyen, Kozo Taguchi, The 7th International Conference on Renewable Energy and Development (ICRED 2021), September 10-12, 2021, Fukuoka, Japan.
 8. “Effectiveness of PDDA in stainless steel mesh-based DSSC”, Kakeru Higuchi, Dang-Trang Nguyen and Kozo Taguchi, The 3rd Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration (EMCEI-2021), June 10-13, Tunisia.
 9. “Effectiveness of rice husk activated carbon and case type in microbial fuel cells”, Naoya Taniguchi1, Dang-Trang Nguyen and Kozo Taguchi, The 3rd Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration (EMCEI-2021), June 10-13, Tunisia.
 10. “Rice husk activated carbon for fabricating the electrodes of microbial fuel cell: an examination of the effectiveness of PTFE binder”, Yugo Nishio, Dang-Trang Nguyen and Kozo Taguchi, The 3rd Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration (EMCEI-2021), June 10-13, Tunisia.
 11. “Soil microbial fuel cells using Co-MnO₂/C as an effective air-cathode catalyst”,

- Kosuke Takasugi, Dang-Trang Nguyen and Kozo Taguchi, The 3rd Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration (EMCEI-2021), June 10-13, Tunisia.
12. "A Simple Energy Harvesting Device for Indoor Environment Based on Sn_3O_4 Photoanode", Syota Yuge, Dang-Trang Nguyen and Kozo Taguchi, The 3rd Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration (EMCEI-2021), June 10-13, Tunisia.
 13. "Scaly $\text{Sn}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ Particles with Improved Photocatalytic Performance in Indoor Environments", Akihiro Yamazumi, Dang-Trang Nguyen, Kozo Taguchi, International Conference on Sustainable Technology and Development, 31 October - 2 November 2021 China.
 14. "Anti-bacterial test of $\text{Sn}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ particles with controlled Sn_3O_4 deposition", Akihiro Yamazumi, Dang-Trang Nguyen, Kozo Taguchi, 2022 8th International Conference on Environment and Bio-Engineering (ICEBE 2022), January 7-10, Tokyo.

【国内学会発表】

1. 「透過電子顕微鏡を用いた ScAlMgO_4 基板上 RF-MBE 成長 GaN の極微構造評価」、和田 邑一, 黒田 悠弥, 柏本 聖也, 後藤 直樹, 藤井 高志, 毛利 真一郎, 白石 裕児, 福田 承生, 荒木 努、日本材料学会 2021 年度第 2 回半導体エレクトロニクス部門委員会第 1 回研究会、2021 年 7 月 17 日
2. "Metal Deposition on a Suspended Graphene Surface", Y. Kawase, K. Matsushima, J. Doi, T. Araki, S. Mouri、第 61 回フラーレン・ナノチューブ・グラフエン総合シンポジウム、2021 年 9 月 1 日
3. 「透過電子顕微鏡を用いた ScAlMgO_4 基板上 RF-MBE 成長 GaN の極微構造評価」、和田 邑一, 黒田 悠弥, 柏本 聖也, 後藤 直樹, 藤井 高志, 毛利 真一郎, 白石 裕児, 福田 承生, 荒木 努 2021 年秋季第 82 回応用物理学会学術講演会、2021 年 9 月 13 日
4. 「RF-MBE 法を用いた ScAlMgO_4 基板上 InGaN エピタキシャル成長」、後藤直樹, 柏本聖也, 黒田悠弥, 和田邑一, 藤井高志, 毛利真一郎, 白石佑児, 福田承生, 荒木努、2021 年秋季第 82 回応用物理学会学術講演会、2021 年 9 月 13 日
5. 「ラマン分光を用いた架橋ツイスト 2 層グラフェンの熱伝導測定」、土井 慎太郎, 荒木 努, 毛利 真一郎、日本物理学会 2021 年秋季大会、2021 年 9 月 22 日
6. 「RF-MBE 法による極薄 GaN/AlN 超格子構造の作製」、李谷 直哉, 和田 邑一, 毛利 真一郎, 正直 花奈子, 三宅 秀人, 荒木 努、2021 年秋季第 82 回応用物理学会学術講演会、2021 年 9 月 23 日

7. 「RF-MBE 法による GaN/ScAlMgO₄ 成長形態の基板ステップ間隔依存性」、黒田 悠弥, 和田 邑一, 柏本 聖也, 後藤 直樹, 藤井 高志, 毛利 真一郎, 白石 裕児, 福田 承生, 荒木 努、2021 年秋季第 82 回応用物理学会学術講演会、2021 年 9 月 23 日
8. 「DERI 法を用いた InN 結晶成長の成長温度依存性に関する研究」、張 同舟, 後藤 直樹, 毛利 真一郎, 荒木 努、2021 年秋季第 82 回応用物理学会学術講演会、2021 年 9 月 23 日
9. 「RF-MBE 法を用いた N 極性 AlN テンプレート基板上 InN 結晶成長」、篠田 悠平, 福田 安莉, 橘 秀紀, 毛利 真一郎, 正直 花奈子, 三宅 秀人, 荒木 努、2021 年秋季第 82 回応用物理学会学術講演会、2021 年 9 月 23 日
10. 「架橋グラフェン上における窒化インジウムのファンデルワールスエピタキシー」、河瀬裕太, 松島健太, 土井惇太郎, 荒木努, 毛利真一郎、2021 年秋季第 82 回応用物理学会学術講演会、2021 年 9 月 23 日
11. 「TEM 観察を用いた Sapphire オフ基板上成長 α -Ga₂O₃ の結晶欠陥評価」、山下 修平, 早川 紗生, 城川 潤二郎, 柳生 慎悟, 四戸 孝, 荒木 努、2021 年秋季第 82 回応用物理学会学術講演会、2021 年 9 月 23 日
12. "Microstructural Characterization of GaN Films Grown on ScAlMgO₄ Substrate via RF-MBE", Y. Wada, Y. Kuroda, S. Kayamoto, N. Goto, T. Fuji, S. Mouri, Y. Shiraishi, T. Fukuda, and T. Araki, 40th Electronic Materials Symposium, 2021 年 10 月 11 日
13. 「DERI 法を応用した ScAlMgO₄ 基板上 InGaN エピタキシャル成長」、後藤直樹, 柏本聖也, 黒田悠弥, 和田邑一, 藤井高志, 毛利真一郎, 白石佑児, 福田承生, 荒木努、第 50 回結晶成長国内会議(JCCG-50)、2021 年 10 月 28 日
14. 「ScAlMgO₄ 基板上窒化物半導体結晶 RF-MBE 成長の最近の進展」、荒木 努、第 13 回ナノ構造エピタキシャル成長講演会、2021 年 12 月 2 日、チュートリアル講演
15. 「グラフェン上での InN MBE 成長における窒素プラズマ照射時間の検討」、松島健太、土井惇太郎、荒木努、毛利真一郎、第 13 回ナノ構造エピタキシャル成長講演会、2021 年 12 月 3 日
16. 「透過電子顕微鏡を用いた ScAlMgO₄ 基板上 RF-MBE 成長 InGaN の構造評価」、和田邑一、黒田悠弥、柏本聖也、後藤直樹、藤井高志、毛利真一郎、白石裕児、福田承生、杉江隆一、荒木努、第 13 回ナノ構造エピタキシャル成長講演会、2021 年 12 月 3 日
17. 「ミスト CVD 法による ScAlMgO₄ 基板上 Ga₂O₃ 成長」、守屋 亮, 高根 倫史, 山下 修平, 山藤 祐人, 城川 潤二郎, 松倉 誠, 小島 孝広, 四戸 孝, 金子 健太郎, 荒木 努、2022 年春季第 69 回応用物理学会学術講演会、2022 年 3 月
18. 「RF-MBE 法による DERI 法を用いた ScAlMgO₄ 基板上 GaN 結晶成長」、黒田

悠弥, 和田 邑一, 梶本 聖也, 後藤 直樹, 藤井 高志, 毛利 真一郎, 荒木 努、2022年春季第69回応用物理学会学術講演会、2022年3月

19. 「全無機 CsPbI_3 ペロブスカイトにおける 0D Cs_4PbI_6 相の光起電力性能への影響」、長谷川峻也、河野悠、中川篤志、Jakapan Chantana、西村昂人、Abdurashid Mavronov、根上卓之、峯元高志、第18回「次世代の太陽電池システム」シンポジウム(第1回日本太陽光発電学会学術講演会) 2021年10月15日

【修士学位論文】

今村 涼「RF-MBE 法による高品質 GaN 基板上 p型 GaN 成長に関する研究」梶本 聖也「RF-MBE 法による ScAlMgO_4 基板上窒化物半導体結晶成長に関する研究」土井 悅太郎「ラマン分光を用いた架橋ツイスト 2 層グラフェンの熱伝導測定に関する研究」

中村 亮佑「透過電子顕微鏡を用いた DERI 法成長 InN の極微構造評価に関する研究」

松島 健太「RF-MBE 法による InN リモートエピタキシーに関する研究」

ZHANG Tongzhou “Study on growth condition dependence of structural and electrical properties of InN grown by RF-MBE using DERI method”

濱田 尚澄「Lift-off 法を用いたフレキシブル両面受光型 $\text{Cu}(\text{In},\text{Ga})\text{Se}_2$ 太陽電池の作製と裏面構造の最適化」

中川 篤志「無機 CsPbI_3 ペロブスカイト膜の低温成長での Cs_4PbI_6 と CsPbI_3 の制御と太陽電池への応用」

林 遼希「バッファ層改善による $\text{Cu}_2(\text{Sn},\text{Ge})\text{S}_3$ 太陽電池特性への影響の検証」

土井 敦也「裏面電極に透明導電膜を用いたワイドギャップ CuGaSe_2 太陽電池の作製」

吉名 香介「偏光特性を利用した金属の四角穴レーザー加工と最適な加工条件の探索」

野村成「フェムト秒レーザーにより改質された鉄表面における接触角の経時変化」

【特許】

特願 2021-212862「窒化物半導体膜を作製するためのテンプレート及びその製造方法」

大型研究装置成果報告書

装置名	SR 光電子分光・イオン散乱複合分析装置
研究責任者 (所属・役職・氏名)	理工学部 物理科学科・教授・滝沢優
研究テーマ	SR センターの放射光を用いた光電子分光による電子状態とイオン散乱分光による原子構造の「その場」複合分析
研究の概要	<p>立命館大学 SR センターの放射光を用いて、光電子分光実験による電子状態分析や X 線吸収分光実験による化学状態分析やイオン散乱分光実験による原子構造分析を複合的に行った。</p> <p>酸化物に担持した金属ナノ粒子は、触媒活性が高いことが知られている。触媒活性の要因として、酸化物の電子状態変化や金属ナノ粒子の化学状態変化やナノ粒子の形状や粒径などが考えられている。これまでに、酸化物として TiO₂、金属ナノ粒子として Cu ナノ粒子を選択し、触媒活性の要因を解明するために、酸素や一酸化炭素を暴露して複合的な分析実験を行ってきた。今回、基板を HOPG に変えて Cu ナノ粒子を作製した。SR 光電子分光実験により、酸素暴露された Cu/HOPG は電子状態が変化し、Cu ナノ粒子の表面が Cu₂O になることを見出した。さらに、同位体の酸素 (¹⁸O₂) を暴露した後のイオン散乱分光実験により、¹⁸O が Cu/HOPG に存在することが分かった。このことより、Cu ナノ粒子そのものが酸化しやすいこと、そして、酸化物 TiO₂ 基板ではより酸素を吸着することを見出した。そこで、TiO₂ 基板の電子状態分析も行い、表面清浄化過程で酸素欠陥や格子間 Ti の振る舞いが変化することを見出した。さらに、合金触媒 Cu₃Pt についても電子状態分析を行い、表面清浄化方法に依存して異なる合金組成をもつ表面電子状態が得られることを見出した。</p> <p>さらに、次世代半導体材料ダイヤモンド表面の研磨過程における化学状態を X 線吸収分光実験などにより分析したところ、研磨効率の良い研磨条件ではダイヤモンド表面の sp³結合が sp²結合に変化していることを見出した。また、水素製造材料として期待されている Si について、水と反応し水素を生成した後の Si の化学状態変化を見出した。また、Al 不純物が存在する Si ではこの化学状態変化が起こらず、Si-O-Al 結合が存在することで局所的に OH⁻が不足することが水素を発生しない要因と考察した。そこで、Al 不純物を含む Si を NaOH 水溶液と反応させたところ水素が発生することを見出した。</p>

利用成果	論文
	<p>1. Kei Mitsuhashara, Kazuma Ide, Hiroto Takatani, and Masaru Takizawa: "Electronic state changes of Cu nanoparticles on rutile TiO₂(110) by O₂ and CO exposure", Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena 252, 147123 (2021).</p>
	国際会議
	<p>1. Hiroto Takatani, Kei Mitsuhashara, Yuri Hasegawa, and Masaru Takizawa: 「Growth mode and electronic state analyses of Cu nanoparticles on HOPG surfaces」、『The 9th International Symposium on Surface Science』, 30PS-66, Online (30 November 2021).</p> <p>2. Daichi Yamasaki, Yuri Hasegawa, Kei Mitsuhashara, Masaru Takizawa, and Takeshi Tanaka: 「Chemical state analysis of diamond surface polished by Ultraviolet-Ray Aided Machining」、『The 9th International Symposium on Surface Science』, 01PS-45, Online (1 December 2021).</p> <p>3. Shugo Nishimura, Masafumi Nakamura, Yuri Hasegawa, Kei Mitsuhashara, Masaru Takizawa, and Eiji Yamasue: 「Formation of Si-hydroxide during Si-water reaction」、『The 9th International Symposium on Surface Science』, 01PS-60, Online (1 December 2021).</p>
	国内学会
	<p>1. 滝沢優、伊原諒、光原圭：「金属 Li 表面の電子状態分析」、『2021 年 第 82 回 応用物理学会 秋季学術講演会』、10p-N204-13、オンライン、2021 年 9 月 10 日</p> <p>2. 光原圭、高谷熙人、長谷川友里、滝沢優：「HOPG 上に担持した Cu ナノ粒子の成長過程」、『日本物理学会 第 77 回年次大会』、15pGE11-4、岡山、2022 年 3 月 15 日</p>
	修士論文
	高谷熙人「HOPG 上に担持した Cu ナノ粒子の構造・電子状態分析」
	土山翼「Rutile TiO ₂ (110)表面の電子状態分析：試料厚みと表面清浄化回数の影響」
	西村宗悟「水素製造材料 Si の化学状態分析」

山崎大地「紫外線励起研磨されたダイヤモンド表面の化学状態分析」

吉見桃子「Cu₃Pt(111)表面の電子状態分析」

大型研究装置成果報告書

装置名	微小素子領域光学解析装置
研究責任者 (所属・役職・氏名)	理工学部・准教授・毛利真一郎
研究テーマ	原子層モアレ超格子系における熱・フォノン物性の解明と制御
研究の概要	<p>グラフェンやMoS₂などの原子層材料を有限の積層角度で積層した原子層モアレ超格子系の熱・フォノン物性の解明を目指している。モアレ超格子系では、積層角度に応じた 1~5 nm 前後の長周期電子変調構造が現れ、電子物性に大きな影響を与えるが、その熱輸送やそれを担うフォノン物性は未解明である。フォノン物性は電子物性理解の鍵にもなるのでその解明は重要である。</p> <p>そこで、我々は、直径 2 μm の孔を有する TEM グリッド上にグラフェンを 2 枚架橋してモアレ超格子を作製し、その熱物性・フォノン物性を測定した。本装置を用いて、この試料のラマン分光を行い、積層角度が 3.5° のピークでは熱伝導が約 800 W/mK と求まるのに対し、積層角度が 20° を超える試料では約 320 W/mK と小さくなることがわかった。</p> <p>この成果の他に、CVD 法で銅箔や GaN 基板上に成長したグラフェンのフォノン物性評価にも当該装置を活用している。</p>
利用成果	<p>【国内学会】</p> <ul style="list-style-type: none"> 「ラマン分光を用いた架橋ツイスト 2 層グラフェンの熱伝導測定」日本物理学会 2021 年秋季大会、土井 淳太郎, 荒木 努, <u>毛利 真一郎</u> <u>(学生優秀発表賞)</u> 「架橋グラフェン上における窒化インジウムのファンデルワールスエピタキシー」(第 82 回応用物理学会秋季学術講演会) 河瀬裕太, 松島健太, 土井淳太郎, 荒木努, <u>毛利真一郎</u> 「Growth and Raman Characterization of Non-Bernal Stacking Few-Layer Graphene by Alcohol CVD Method」40th Electronic Materials Symposium, T. Asada, S. Yabuta, T. Araki and <u>S. Mouri</u> 「アルコール CVD 法を用いた GaN 上への酸化グラフェン成長」(第 69 回応用物理学会学術講演会) 薮田翔平、河瀬流星、荒木努、<u>毛利真一郎</u> <p>【修士論文】</p> <p>「ラマン分光を用いた架橋ツイスト 2 層グラフェンの熱伝導測定に関する研究」土井淳太郎 「アルコール CVD 法を用いた GaN 上へのグラフェン直接成長に関する研究」薮田翔平</p>

大型研究装置成果報告書

装置名	BKC 天体観測ドーム
研究責任者 (所属・役職・氏名)	理工学部・教授 森 正樹
研究テーマ	60cm 光学反射式天体望遠鏡を用いた天体観測
研究の概要	2014 年 3 月に BKC トリシアの屋上に設置された 60cm 天体望遠鏡を用いて、 1) 太陽系外惑星のトランジット法（惑星が恒星の光球面を通過する際に 起る減光を精密に測定することによって惑星を検出する）による観測 2) 爆発後数日で減光するガンマ線バースト天体の残光観測 3) フレアを時折起こす活動銀河の時間変動のモニター観測 などを実施する。キャンパス内という設置条件を活かし、これら時間変動する 天体の光度を高い頻度で精密に測定することを目指す。60cm 口径の望遠鏡であ れば、冷却 CCD カメラを焦点面の光検出器として用いることにより 21 等級程 度の暗い天体までの観測が可能になる。
利用成果	性能を維持するための保守点検を望遠鏡とドームについて行った。また、観 測システムの整備を行った。観測が容易に行えるよう、望遠鏡システムはすべ て遠隔操作で可能になっており、取得した画像データはデータサーバに転送し て格納する。また、遠隔操作中の天候変化をモニターするため、計算機からデ ータ取得可能な気象観測機器および雨滴センサー、望遠鏡スリットの開閉状態 を調べる距離センサーと、ドーム内状況を監視する Web カメラ、夜光量を測る モニター、広視野モニターカメラが設置され、すべての情報が Web Browser か ら学内専用で閲覧可能なようなシステムとして整備されているが、これらの装 置を維持し、トラブルに対処し、改善しつつ整備した。また、焦点面検出器と して用いている冷却 CCD カメラに劣化が見られてきているため、今年度は設 備更新費もを利用して新規に冷却 CMOS カメラを購入し、検出器を置き換える準 備を進めている。これらは物理科学科助教の奥田剛司氏が主に担当した。 昨年度は、系外惑星のトランジット法による観測結果について国際会議で発 表した[1]。また、天体の測光精度の向上を目指し、中田景将氏が学部時代に改 良した標準測光システムを用い、多色測光から恒星の表面温度を推定し、既存 のカタログと比較した成果（一部を図 1 に示す）を修士論文にまとめ [2]、ま た、このシステムを用いて変光星（矮新星 SS Cyg および食変光星 U Cep）の観 測を行った成果を蒸野駿氏が卒業論文にまとめた[3]。変光星の観測は今年度も

継続して行っており、発展させていく予定である。

また、天体観測には関係しないが、天文台で継続して取得している気象データにおいて、2022年1月15日にトンガで起こった火山噴火に伴う気圧変化が、同日20時（日本時間）に2mbほどのスパイク状でとらえられていることを付け加えておく。

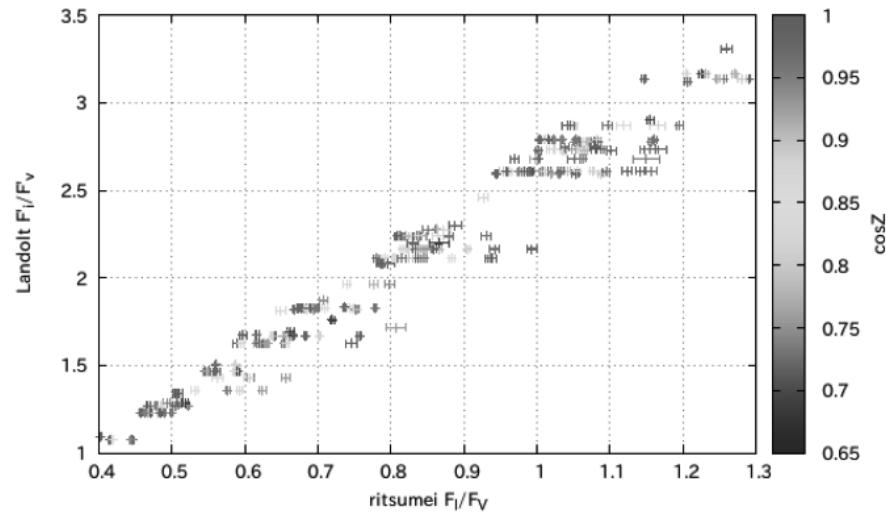


図1 Ic, V（赤色、緑色付近）フィルターを用いた恒星のフラックス(F)比の比較。横軸は立命館天文台の結果、縦軸はLandolt標準カタログの値を示す。直線的関係があることが見て取れる。（Zは恒星の天頂角）

【国際会議発表】

- [1] Takeshi Okuda, Shouta Maruki, Harutaka Takebe, Kouichi Nishiyama, and Masaki Mori, "Transit observation by Ritumeikan astronomical observatory", EXOPLANETS III [online], Heidelberg, Germany, July 27-31 (2020)

【修士論文】

- [2] 中田景將 「立命館大学天文台測光システムの標準化と恒星の表面温度推定」 理工学研究科修士論文（2021年2月）

【卒業論文】

- [3] 蒸野駿、「立命館大学天文台の測光解析プログラムの改良と変光星観測」、理工学部卒業論文（2021年2月）

【その他】

天文台の見学希望は多数寄せられており、これに対応している。例えば、2022年1月20日には、育英西高校2年生の立命館コース・物理履修者42名がBKCで行われた接続教育企画「理系学部施設訪問」の一環として、60cm望遠鏡を見学した（天候に恵まれず望遠鏡を覗くことはかなわなかった）。また、望遠鏡は学生サークル「草津天文研究会」に月3日の観測日を割り当てており、望遠鏡の使用法の講習を受けたうえで、星雲の撮像などが行われている。

大型研究装置成果報告書

装置名	X線回折装置
研究責任者 (所属・役職・氏名)	生命科学部・教授・稻田康宏
研究テーマ	酸化物担持金属触媒材料、次世代二次電池材料、非平衡材料、半導体ナノ材料、マルチフェロイック物質、結晶転移薬物の状態解析
研究の概要	<p>不均一系触媒材料として用いられる各種酸化物担体上に金属ナノ粒子を担持した粉末触媒材料の結晶状態の解析を行った。標準試料との比較から試料の組成や結晶構造を決定し、回折線の半値幅から結晶子径の解析を行った。さらに、反応ガス雰囲気下で昇温した条件でのその場測定を行い、触媒試料の合成プロセスの解明を行った。</p> <p>高いイオン伝導率を有する固体電解質結晶の構造解析を行った。特に、新規材料の探索を試みて、酸化物材料以外の複合アニオン系の材料を合成し、その結晶相を同定した。</p> <p>マイクロ波を用いた革新的低環境負荷型製錬、廃棄物同士の組み合わせによるリサイクルプロセス、古代技術の再生と経験知のサイエンス、リン資源の有効利用に関する研究、環境配慮型低融点金属材料の開発と基礎熱物性測定、産業廃液のリサイクル、メカノケミカル反応を援用した高機能材料の開発を行う上で、主に反応メカニズムを解明するために材料の構造解析を行った。</p> <p>粒子径に依存して様々な光物性を示す半導体量子ドットに銅イオンを数%ドープした新規II-VI属半導体である硫化亜鉛(ZnS)ナノ結晶を合成し、光照射前後における結晶状態の解析を行った。銅イオンをドープしたZnSナノ結晶の固体粉末は、光照射によって光物性が変化することを見出しており、その化学反応過程を詳細に明らかにするためXRD測定を行った。</p> <p>また、難水溶性薬物塩及び共結晶が、消化管模擬溶液中で結晶転移するメカニズムの解明のため、結晶転移薬物のXRD測定を行った。</p>
利用成果	<p>【原著論文（査読あり）】</p> <ol style="list-style-type: none"> Vanadium Diphosphide as a Negative Electrode Material for Sodium Secondary Batteries, Shubham Kaushik, Kazuhiko Matsumoto, Yuki Orikasa, Misaki Katayama, Yasuhiro Inada, Yuta Sato, Kazuma Gotoh, Hideka Ando, and Rika Hagiwara, <i>J. Power Sources</i>, 483, 229182 (2021). Single Atomic Co Coordinated with N in Microporous Carbon for Oxygen Reduction Reaction Obtained from Co/2-methylimidazole Anchored to Y Zeolite as a Template, Yexin Zhu, Koji Miyake, Yasuhiro Shu, Koki Moroto, Yuichiro Hirota, Yoshiaki Uchida, Shunsuke Tanaka, Tao Zheng, Misaki Katayama, Yasuhiro Inada, Emilia Morallón, Diego Cazorla-Amorós, Chang Yi Kong, and Norikazu Nishiyama, <i>Mater. Today Chem.</i>, 20, 100410 (2021). Chemical State Analysis on Ni Species Supported on Carbon During Electrochemical Reduction Process, Takaya Ishida, Takuya Tsujii, Hirona Yamagishi, Yusaku Yamamoto, Misaki Katayama, and Yasuhiro Inada, <i>Memoirs of the SR Center</i>

- Ritsumeikan Univ.*, **23**, 3 (2021).
4. Cu K- and L-edge XAFS Analysis on Conversion Process between Copper Chloride(II) and Metallic Copper, Takuto Nishikawa, Shinji Okamoto, Hirona Yamagishi, Yusaku Yamamoto, Misaki Katayama, and Yasuhiro Inada, *Memoirs of the SR Center Ritsumeikan Univ.*, **23**, 9 (2021).
 5. Discharge Condition Dependence of In-Plane Inhomogeneous Cathode Reaction Analyzed by X-Ray Absorption Near Edge Structure Imaging, Misaki Katayama, Takuto Nishikawa, Hirona Yamagishi, Shogo Yasuda, Tomoya Sano, Takashi Kameyama, Yuki Oriksa, and Yasuhiro Inada, *J. Power Sources*, **506**, 230256 (2021).
 6. Valence Control of Charge and Orbital Frustrated System YbFe_2O_4 with Electrochemical Li^+ Intercalation, Satoshi Murase, Y. Yoshikawa, Kosuke Fujiwara, Yukimasa Fukada, Takashi Teranishi, Jun Kano, Tatsuo Fujii, Yasuhiro Inada, Misaki Katayama, Kenji Yoshii, Takuya Tsujii, Daiju Matsumura, and Naoshi Ikeda, *J. Phys. Chem. Solids*, **in press** (2021).
 7. Nobuyuki Mizuno, Shoki Kosai, Eiji Yamasue: “Microwave-based Extractive Metallurgy to Obtain Pure Metals: A Review”, *Cleaner Engineering and Technology*, **5**, 100306 (2021).
 8. Nobuyuki Mizuno, Shoki Kosai, Eiji Yamasue: “Microwave-based approach to recovering zinc from electric arc furnace dust using silicon powder as a non-carbonaceous reductant”, *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society*, **73**, 1828-1835 (2021).
 9. Shoki Kosai, Shiho Fujimura, Shunsuke Kashiwakura, Shugo Nishimura, Kei Mitsuhashi, Masaru Takizawa, Eiji Yamasue: “Evaluating influences of impurities on hydrogen production in Si-water reaction”, *International Journal of Hydrogen Energy*, **46(11)**, 7722-7732 (2021).
 10. Maaya Omori and Kiyohiko Sugano, "Solution-Mediated Phase Transformation on Crystal Facets of Carbamazepine–Saccharin Cocrystals", *Crystal Growth & Design*, **21(11)**, 6237-6244 (2021).
 11. Phase Evolution of Trirutile $\text{Li}_0.5\text{FeF}_3$ for Lithium-Ion Batteries, Yayun Zheng, Shinya Tawa, Jinkwang Hwang, Yuki Oriksa, Kazuhiko Matsumoto, Rika Hagiwara, *Chem. Mater.*, **33**, 868-880 (2021).
 12. Cu-Pb Nanocomposite Cathode Material toward Room-Temperature Cycling for All-Solid-State Fluoride-Ion Batteries, D. T. Zhang, T. Yoshinari, K. Yamamoto, Y. Kitaguchi, A. Ochi, K. Nakanishi, H. Miki, S. Nakanishi, H. Iba, T. Watanabe, T. Uchiyama, Y. Oriksa, K. Amezawa, Y. Uchimoto, *Acs Applied Energy Materials*, **4**, 3352-3357 (2021).
 13. Accelerated lithium ions diffusion at the interface between LiFePO_4 electrode and electrolyte by surface-nitride treatment, K. Yamamoto, T. Yoshinari, A. Kuwabara, E. Kato, Y. Oriksa, K. Nakanishi, T. Uchiyama, K. Maeda, H. Kageyama, T. Ohta, Y. Uchimoto, *Solid State Ionics*, **373**, 115792 (2021).
 14. Fluoride-ion Conductivity Analysis of Yb-F-S Multiple-anion Compounds, Shintaro

- Tachibana, Kazuto Ide, Takeshi Tojigamori, Yusaku Yamamoto, Hidenori Miki, Hisatsugu Yamasaki, Yukinari Kotani, Yuki Oriksa, *Chem. Lett.*, **50**, 120-123 (2021).
15. CaMn7O12 Quadruple Perovskite Oxides Proceed by Two-Active-Site Reaction Mechanism for the Oxygen Evolution Reaction, Y. D. Ren, K. Kashihara, T. Uchiyama, Y. Oriksa, T. Watanabe, K. Yamamoto, T. Takami, T. Matsunaga, Y. Nishiki, S. Mitsushima, Y. Uchimoto, *Chelectrochem*, **8**, 4605-4611 (2021).
 16. Quantitative Evaluation of the Activity of Low-Spin Tetravalent Nickel Ion Sites for the Oxygen Evolution Reaction, Y. D. Ren, T. Horiguchi, T. Uchiyama, Y. Oriksa, T. Watanabe, K. Yamamoto, T. Takami, T. Matsunaga, Y. Nishiki, S. Mitsushima, Y. Uchimoto, *Acs Applied Energy Materials*, **4**, 10731-10738 (2021).
 17. The Effect of Cation Mixing in LiNiO₂ toward the Oxygen Evolution Reaction, Yadan Ren, Ryusei Yamaguchi, Tomoki Uchiyama, Yuki Oriksa, Toshiki Watanabe, Kentaro Yamamoto, Toshiyuki Matsunaga, Yoshinori Nishiki, Shigenori Mitsushima, Yoshiharu Uchimoto, *ChemElectroChem*, **8**, 70-76 (2021).
 18. Reactivity with Water and Bulk Ruthenium Redox of Lithium Ruthenate in Basic Solutions, Reshma R. Rao, Michał Tułodziecki, Binghong Han, Marcel Risch, Artem Abakumov, Yang Yu, Pinar Karayaylali, Magali Gauthier, María Escudero-Escribano, Yuki Oriksa, Yang Shao-Horn, *Adv. Funct. Mater.*, **31**, 2002249 (2021).
 19. Fluoride-Ion Shuttle Battery with High Volumetric Energy Density, Hiroyuki Nakano, Toshiyuki Matsunaga, Takuya Mori, Koji Nakanishi, Yoshiyuki Morita, Kazuto Ide, Ken-ichi Okazaki, Yuki Oriksa, Taketoshi Minato, Kentaro Yamamoto, Zempachi Ogumi, Yoshiharu Uchimoto, *Chem. Mater.*, **33**, 459-466 (2021).
 20. Tomographic reconstruction of oxygen orbitals in lithium-rich battery materials, H. Hafiz, K. Suzuki, B. Barbiellini, N. Tsuji, N. Yabuuchi, K. Yamamoto, Y. Oriksa, Y. Uchimoto, Y. Sakurai, H. Sakurai, A. Bansil, V. Viswanathan, *Nature*, **594**, 213-216 (2021).
 21. Analyzing Sulfur-doped Li₃InCl₆ Solid Electrolytes by X-ray Absorption Spectroscopy, Mariya Yamagishi, Shintaro Tachibana, Takeshi Shimizu, Kei Mitsuhashi, Yuki Oriksa, *Memoirs of the SR Center Ritsumeikan University*, **23**, 19-22 (2021).
 22. Changes in Crystal Structure and Battery Performance of MIL-101 (Fe) upon Introduction of Substituent NH₂, Takeshi Shimizu, Ayako Murakami, Misaki Yamamura, Hiroshi Imamura, Hirona Yamagishi, Yusaku Yamamoto, *Memoirs of the SR Center Ritsumeikan University*, **23**, 15-18 (2021).
 23. Excited-state dynamics of dipyrrolyldiketone difluoroboron complexes, Ryota Sato, Hajime Okajima, Shinya Sugiura, Yohei Haketa, Yusuke Kinoshita, Hitoshi Tamiaki, Akira Sakamoto, Hiromitsu Maeda, Yoichi Kobayashi, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2022**, 24, in press. DOI: 10.1039/d1cp04804j

24. Origin of the Anomalous Temperature Dependence of the Photochromic Reaction of Cu-Doped ZnS Nanocrystals, Yusuke Sanada, Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, *J. Phys. Chem. Lett.*, **2021**, *12*, 8129–8133.
25. Dynamic spin-spin interaction observed as interconversion of chemical bonds in stepwise two-photon induced photochromic reaction, Katsuya Mutoh, Shota Toshimitsu, Yoichi Kobayashi, Jiro Abe, *J. Am. Chem. Soc.*, **2021**, *143*, 13917–13928.
26. Ion-pairing π -electronic systems: ordered arrangement and noncovalent interactions of negatively charged porphyrins Yoshifumi Sasano, Hiroki Tanaka, Yohei Haketa, Yoichi Kobayashi, Yukihide Ishibashi, Tatsuki Morimoto, Ryuma Sato, Yasuteru Shigeta, Nobuhiro Yasuda, Tsuyoshi Asahi, Hiromitsu Maeda *Chem. Sci.*, **2021**, *12*, 9645–9657.
27. Dipyrrolyldiketone PtII Complexes: Ion-Pairing π -Electronic Systems with Various Anion-Binding Modes Atsuko Kuno, Goki Hirata, Hiroki Tanaka, Yoichi Kobayashi, Nobuhiro Yasuda, Hiromitsu Maeda *Chem. Euro. J.* **2021**, *27*, 10068–10076.
28. Extending the lifetimes of charge transfer states generated by photoinduced heterolysis of photochromic radical complexes, Yasuki Kawanishi, Katsuya Mutoh, Jiro Abe, Yoichi Kobayashi, *Asian J. Org. Chem.* **2021**, *10*, 891–900.

【原著論文（査読なし）】

1. Study on the Chemical State of Polyimide Resin Films Containing Ni-Co Alloy Nanoparticles Synthesized by Liquid Phase Reduction Method, Daiki Fujioka, Kosuke Kaneko, Yusaku Yamamoto, Misaki Katayama, Yasuhiro Inada, Kazuo Kojima, and Tomonori Hanasaki, *Memoirs of the SR Center Ritsumeikan Univ.*, **23**, 27 (2021).
2. Discharge Condition Dependence of Reaction Distribution of Lithium Iron Phosphate Cathode, Takuto Nishikawa, Misaki Katayama, and Yasuhiro Inada, *Memoirs of the SR Center Ritsumeikan Univ.*, **23**, 28 (2021).
3. Evaluation of Window Material for Operando Double-Edge DXAFS Experiments, Misaki Katayama and Yasuhiro Inada, *Memoirs of the SR Center Ritsumeikan Univ.*, **23**, 29 (2021).
4. 山末英嗣, 光斎翔貴, 柏倉俊介, 中野勝行, 橋本征二, 「身近な水銀利用製品としての照明」, 金属, 90(12), 1022-1026 (2020).
5. 山末英嗣, 光斎翔貴, 柏倉俊介, 松八重一代, 「黄リン製造の歴史的変遷と今後の課題」, 金属, 2021年11月号.

【国際会議発表】

1. S. Kashiwakura, S. Kosai, K. Nakajima E. Yamasue: "Effects of electricity mix on total material requirement of hydrogen steelmaking process", The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment (Cuute-1), 14-17 December 2021, Nara, Japan.
2. Shoki Kosai, Daiki Kurogi, Keita Kozaki, Eiji Yamasue: "Development of distributed recycling system for alkaline batteries by using microwave technology", EcoDesign2021, 1-3 December 2021, Nara (Online), Japan.

3. Shunsuke Kashiwakura, Eiji Yamasue: “Total material requirement of crude steel production toward CO₂ emission control in 2050”, EcoDesign2021, 1-3 December 2021, Nara (Online), Japan.
4. Keita Hamasuna, Shoki Kosai, Shunsuke Kashiwakura, Eiji Yamasue: “Life cycle resource use of air conditioner from the perspective of total material requirement”, EcoDesign2021, 1-3 December 2021, Nara (Online), Japan.
5. Direct Observation of Silver Dendrite Formation in Glass Electrolyte Using X-Ray Computed Tomography of All-Solid-State Battery, Yusuke Sakurai, Yuya Sakka, Takeshi Shimizu, Yuki Orikasa, *239th the Electrochemical Society*, Digital Meeting, May-Jun, 2021.
6. Three-dimensional Analysis for LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O₂ Composite Cathode of All-Solid-State Batteries By X-ray Computed Tomography, Yuya Sakka, Takuma Uno, Takeshi Shimizu and Yuki Orikasa, *239th the Electrochemical Society*, Digital Meeting, May-Jun, 2021
7. Lithium-Ion Conductivity of Mixed-Anion Chloride Solid Electrolyte, Mariya Yamagishi, Shintaro Tachibana, Takeshi Shimizu, and Yuki Orikasa, *239th the Electrochemical Society*, Digital Meeting, May-June, 2021.
8. X-ray Computed Tomography Study on NCM Cathode of All-Solid-State Batteries, Yuya Sakka, Takuma Uno, Takeshi Shimizu and Yuki Orikasa, *72nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry*, Jeju (Korea), August, 2021
9. Mixed-Anion Effects on Lithium-Ion Conductivity of Chloride-Based Solid Electrolyte, Mariya Yamagishi, Shintaro Tachibana, Takeshi Shimizu, and Yuki Orikasa, *72nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry*, Jeju (Korea), August, 2021.
10. Direct Observation of Ag Dendrite Growth in Glass Electrolyte Using X-Ray Tomography of All-Solid-State Battery, Yusuke Sakurai, Koji Kandori, Takeshi Shimizu, Yuki Orikasa, *72nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry*, Jeju (Korea), August, 2021.
11. X-ray Computed Tomography on LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O₂ Composite Cathode of All-Solid-State Batteries, Yuya Sakka, Takuma Uno, Hisao Yamashige, and Yuki Orikasa, *9th International Conference of the Indonesian Chemical Society*, Lombok (Indonesia), August, 2021.
12. Direct Observation of Dendrite Formation in AgI-Ag₂O-P₂O₅ Glass Electrolyte Using X-Ray Computed Tomography, Yusuke Sakurai, Yuya Sakka, Takeshi Shimizu, Yuki Orikasa, *9th International Conference of the Indonesian Chemical Society*, Lombok (Indonesia), August, 2021.
13. Mixed-Anion Doping on Chloride-based Lithium-ion Conductor, Mariya Yamagishi, Shintaro Tachibana, Takeshi Shimizu, and Yuki Orikasa, *9th International Conference of the Indonesian Chemical Society 2021*, Lombok (Indonesia), August, 2021.
14. Analysis of Lithium Insertion and Deinsertion in Photo-charging Battery System, Nur Chamidah, Yuki Orikasa, *9th International Conference of The Indonesian Chemical Society 2021*, Lombok (online) , August, 2021
15. Preparation and Electrical Properties of La-Sr-F-S compounds for Fluoride Ion

- Conductor, Shintaro Tachibana and Yuki Orikasa, *The 9th International Conference of the Indonesian Chemical Society*, Lombok(Online meeting), Aug, 2021.
16. Fluoride-ion Conduction of La-Sr-F-S Mixed Anion Compound, Shintaro Tachibana, Kazuto Ide, Hisatsugu Yamasaki, Takeshi Tojigamori, Hidenori Miki, Takashi Saito, Takashi Kamiyama, and Yuki Orikasa, *Pacificchem 2021*, Hawaii (Online meeting), Dec, 2021.
 17. Lithium intercalation analysis of photo-charging lithium-ion battery, Nur Chamidah, Yuki Orikasa, *Pacificchem 2021*, Hawaii (online) , December 2021
 18. Direct observation of silver dendrite formation in glass electrolyte using X-ray tomography, Yusuke Sakurai, Yuya Sakka, Koji Kandori1, Hisao Yamashige, Yuki Orikasa, *The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021*, Honolulu (Hawaii), December, 2021.
 19. Synthesis and Electrical Properties of fluorosulfide compound $\text{Ba}_{18}\text{F}_{18}\text{In}_8\text{S}_{21}$, Tomoki Tsukamoto, Shintaro Tachibana, Takeshi Shimizu , and Yasuhiro Inada, *The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies*, Honolulu (Hawaii), December 2021.
 20. Sulfur Doping Effects on Fluoride-ion Conductivity of Tysonite-type Structure $\text{La}_{0.9}\text{Ba}_{0.1}\text{F}_{2.9}$, Ryogo Ohashi, Masashi Nakano, Takeshi Shimizu, and Yuki Orikasa, *The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021*, Honolulu (Hawaii), December, 2021.
 21. Mixed-Anion Doping on Chloride-based Lithium-ion Solid Electrolyte, Mariya Yamagishi, Shintaro Tachibana, Takeshi Shimizu, and Yuki Orikasa, *The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021*, Honolulu (Hawaii), December, 2021.
 22. Electrochemical Behavior in Calcium Aqueous Electrolyte of vegetables, Iori Takashima, Yuki Orikasa, *The International Chemical Congress of Pacific Basin Society*, Hawaii (online meeting), December, 2021.
 23. X-ray Computed Tomography Study on NCM Cathode of All-Solid-State Batteries, Yuya Sakka, Takuma Uno, Takeshi Shimizu and Yuki Orikasa, *The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021*, Honolulu (Hawaii), December, 2021.
 24. 「Green and far-red-light induced electron injection from perylene bisimide to wide-bandgap semiconductor nanocrystals with stepwise two-photon absorption processVisible and Near Infrared Light Induced Electron Injection from Perylene Bisimide to ZnS Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process」 , Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, Photonics in Chemical Physics, ポスター、2021年9月。
 25. 「Origin of the Anomalous Temperature Dependence of the Photochromic Reaction of Cu-Doped ZnS Nanocrystals」 , Yusuke Sanada, Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, 11th Asian Photochemistry Conference, ポスター、2021年11月.
 26. 「Excited State Dynamics of Dipyrrolydiketone Difluoroboron Complexes」 , Ryota Sato, Shinya Sugiura, Yohei Haketa, Hiromitsu Maeda, Yoichi Kobayashi, 11th Asian Photochemistry Conference, ポスター、2021年11月.

27. 「Visible and Far-Red Light Induced Electron Injection from Perylene Bisimide to Wide-Bandgap Semiconductor Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process」, Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, 11th Asian Photochemistry Conference, ポスター、2021年11月.
28. 「Visible and Near Infrared Light-Induced Electron Extraction from Perylene Bisimide to CdS Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process」, Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, The 22nd Ries-Hokudai International Symposium, ポスター、2021年12月.

【国内学会発表】

1. 炭素担持塩化銅の電気化学的酸化還元過程の XAFS 解析, 稲田康宏, 岡本真治, 山岸弘奈, 山本悠策, 片山真祥, 折笠有基, 第 34 回日本放射光学会, オンライン開催, 2021 年 1 月 8-10 日.
2. リン酸鉄リチウム担持ニッケルの合成と化学状態解析, 大井達也, 大崎友裕, 山岸弘奈, 山本悠策, 片山真祥, 稲田康宏, 2020 年度量子ビームサイエンスフェスタ, オンライン開催, 2021 年 3 月 9-11 日.
3. 炭素に担持した Ni 化学種の XAFS 法による解析, 中門康亮, 北澤啓和, 山本悠策, 稲田康宏, 2020 年度量子ビームサイエンスフェスタ, オンライン開催, 2021 年 3 月 9-11 日.
4. リチウムイオン電池正極反応分布の充放電条件依存性, 片山真祥, 西川琢斗, 折笠有基, 稲田康宏, 020 年度量子ビームサイエンスフェスタ, オンライン開催, 2021 年 3 月 9-11 日.
5. Ni-Co 合金ナノ粒子含有ポリイミド樹脂フィルムの液相還元法による合成, 藤岡大毅, 金子光佑, 山本悠策, 片山真祥, 稲田康宏, 小島一男, 花崎知則, 化学工学会 第 86 年会, オンライン開催, 2021 年 3 月 20-22 日.
6. 二次電池正極の不均一な反応分布に関するイメージング XAFS 法による定量化, 西川琢斗, 片山真祥, 折笠有基, 稲田康宏, 第 81 回分析化学討論会, オンライン開催, 2021 年 5 月 22-23 日.
7. 炭素に担持した Ni 化学種の電気化学的酸化還元過程の XAFS 解析, 石田貴也, 山岸弘奈, 山本悠策, 片山真祥, 稲田康宏, 第 24 回 XAFS 討論会, オンライン開催, 2021 年 9 月 1-3 日.
8. 立命館大学 SR センターにおける軟 X 線 XAFS データベースの構築, 家路豊成, 柴田大輔, 山岸弘奈, 光原圭, 片山真祥, 稲田康宏, 小島一男, 太田俊明, 第 24 回 XAFS 討論会, オンライン開催, 2021 年 9 月 1-3 日.
9. MCl_2 と M (M = Cu, Ni) の間での塩化物イオンの脱離・挿入過程, 西川琢斗, 杉村悠樹, 荒井輝人, 岡本真治, 山岸弘奈, 山本悠策, 稲田康宏, 第 24 回 XAFS 討論会, オンライン開催, 2021 年 9 月 1-3 日.
10. 濱砂圭汰, 佐藤 公紀, 光斎翔貴, 柏倉俊介, 山末英嗣:「エアコンの採掘活動から見た資源効率」, 第 16 回日本 LCA 学会研究発表会, オンライン開催, 2021 年 3 月 3-5 日.
11. 柏倉俊介, 山末英嗣:「蓄電池と無変換直流給電を併用した太陽光電力の安定供給に係るシナリオ分析」, 第 16 回日本 LCA 学会研究発表会, オンライン開催, 2021 年 3 月 3-5 日.
12. 黒木大暉, 光斎翔貴, 山末英嗣:「マイクロ波炉を用いたアルカリマンガン

- 電池の分散型リサイクルシステムの構築」，第 16 回日本 LCA 学会研究発表会，オンライン開催，2021 年 3 月 3-5 日。
13. 濱砂圭汰，佐藤 公紀，光斎翔貴，柏倉俊介，山末英嗣：「エアコンの採掘活動から見た資源効率」，第 16 回日本 LCA 学会研究発表会，オンライン開催，2021 年 3 月 3-5 日。
 14. 柏倉俊介，山末英嗣：「レーザー分析によるエシェログラムと機械学習による金属スクラップの高速相互選別」，資源・素材学会 2021 年度春季大会，オンライン開催，2021 年 3 月 8-10 日。
 15. 西澤一輝，柏倉俊介，光斎翔貴，山末英嗣：「LIBS と機械学習を併用した自動車部品の高速金属種分別」，資源・素材学会 2021 年度春季大会，オンライン開催，2021 年 3 月 8-10 日。
 16. 中浦雅史，光斎翔貴，柏倉俊介，山末英嗣：「炭酸リチウムを媒介とした鉄鋼スラグの全利用プロセスの提案」，日本鉄鋼協会第 181 回講演大会，オンライン開催，2021 年 3 月 17-19 日。
 17. 梅垣遼一，光斎翔貴，柏倉俊介，山末英嗣：「鉄の微細構造が反応経路に与える影響」，日本鉄鋼協会第 181 回講演大会，オンライン開催，2021 年 3 月 17-19 日。
 18. 渡辺善友，柏倉俊介，光斎翔貴，山末英嗣：「マイクロ波炉を用いた酸化ニッケルの炭素還元の挙動分析」，日本金属学会第 168 回講演大会、オンライン開催，2021 年 3 月 16-19 日。
 19. 谷上周，柏倉俊介，光斎翔貴，山末英嗣：「マイクロ波を用いた鉛バッテリーのリサイクル」，日本金属学会第 168 回講演大会、オンライン開催，2021 年 3 月 16-19 日。
 20. 朱仁杰，山末英嗣，平木 岳人，柏倉俊介，光斎翔貴：「難処理性アルミニウムドロスの熱重量特性と乾式処理の可能性」，日本金属学会第 168 回講演大会、オンライン開催，2021 年 3 月 16-19 日。
 21. 益野颯仁，辻野太周，八木洸紀，Sharma Bhupendra，川畠美絵，山末英嗣，飴山恵：「SUS316L 調和組織材料の高温変形挙動」，日本金属学会第 168 回講演大会、オンライン開催，2021 年 3 月 16-19 日。
 22. 人工消化管液の pH および緩衝能がダントロレンナトリウムの過飽和特性に与える影響，市川夏海，菅野清彦，2021 年度日本薬学会関西支部会。
 23. ポピュレーションバランスモデルによる塩基性薬物の消化管内析出シミュレーション，山元響己，菅野清彦，2021 年度日本薬学会関西支部会。
 24. Helicity resolved Raman spectroscopy in MoS₂，根間裕史，藤井康裕，齋藤匠悟，大石栄一，是枝聰肇，第 61 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェンシンポジウム，オンライン，2021 年 9 月。
 25. 「Ba₁₈In₈F₁₈S₂₁ の合成と F K-edge XANES スペクトル」，塚本友輝，橘慎太朗，清水剛志，折笠有基，第 34 回 日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム，オンライン開催，2021 年 1 月。
 26. 「X 線吸収分光法を用いた青果物における電気化学反応の解析」，高嶋井央吏，折笠有基，第 34 回 日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム，オンライン，2021 年 1 月。
 27. 「希土類フッ化硫化物 La-Sr-F-S の合成と導電メカニズム解析」，橘慎太朗，井手一人，當寺ヶ盛健志，山崎久嗣，三木秀教，齊藤高志，神山崇，折笠有基，日

- 本セラミックス協会 2021 年会, 大阪(オンライン), 2021 年 3 月.
28. 「新規フッ化物イオン伝導体 La-Sr-F-S の合成と電気化学特性評価」, 橋慎太朗, 井手一人, 山崎久嗣, 當寺ヶ盛健志, 三木秀教, 齊藤高志, 神山崇, 折笠有基, 電気化学会第 88 回大会, オンライン開催, 2021 年 3 月.
 29. 「フッ化硫化物 Ba-In-F-S の合成と F K-edge XANES スペクトル測定」, 塚本友輝, 橋慎太朗, 折笠有基, 立命館 SR 研究成果報告会, オンライン開催, 2021 年 6 月.
 30. 「X 線吸収分光法を用いた青果物における電気化学的挙動の解析」, 高嶋井央吏, 折笠有基, 立命館大学 SR 研究成果報告会, オンライン, 2021 年 6 月.
 31. 「新規フッ化物イオン伝導体 La-Sr-F-S の合成と導電メカニズム解析」, 橋慎太朗, 井手一人, 山崎久嗣, 當寺ヶ盛健志, 三木秀教, 齊藤高志, 神山崇, 折笠有基, 2021 年電気化学秋季大会, 北海道(オンライン), 2021 年 9 月.
 32. 「X 線コンピューター断層撮影を用いた銀イオンガラス固体電解質におけるデンドライトの成長機構観察」, 櫻井祐輔, 作花勇也, 神鳥浩司, 折笠有基, 2021 年電気化学秋季大会, 北海道, 2021 年 9 月.
 33. X 線コンピューター断層撮影法による $\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ 複合電極を用いた全固体電池の圧力依存性解析, 作花勇也, 宇野拓真, 山重寿夫, 折笠有基, 2021 年電気化学秋季大会, 北海道, 2021 年 9 月.
 34. 「X 線 CT 法を用いたガラス電解質における銀デンドライト成長機構 3 次元解析」, 櫻井 祐輔, 作花 勇也, 山重 寿夫, 折笠 有基, 第 62 回電池討論会, 横浜, 2021 年 11-12 月.
 35. X 線 CT 法による複合電極を用いたバルク型全固体電池の圧力依存性解析, 作花勇也, 山重寿夫, 折笠有基, 第 62 回電池討論会, 横浜, 2021 年 11-12 月.
 36. 「有機電極を用いた水系カリウムイオン電解質における電気化学反応解析」, 高嶋井央吏, 折笠有基, 2021 年第 3 回関西電気化学研究会, オンライン, 2021 年 12 月.
 37. 「共沈法によって合成された $\text{La}_{1-x}\text{Ba}_x\text{F}_{3-x}$ の導電特性評価」, 塚本友輝, 橋慎太朗, 折笠有基, 2021 年第 3 回関西電気化学研究会, 2021 年 12 月.
 38. 「複合アニオン化合物 $\text{La}_2\text{SrF}_4\text{S}_2$ におけるフッ化物イオン伝導経路の解析」, 橋慎太朗, 井手一人, 山崎久嗣, 當寺ヶ盛健志, 三木秀教, 齊藤高志, 神山崇, 折笠有基, 第 47 回固体イオニクス討論会, 徳島, 2021 年 12 月.
 39. 「Visible and Near Infrared Light Induced Electron Injection from Perylene Bisimide to ZnS Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process」、Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi、2021 年 web 光化学討論会、口頭 2021 年 9 月.
 40. 「T-type Photochromism of ZnO Nanocrystals」、Hiroki Ito, Yoichi Kobayashi、2021 年 web 光化学討論会、ポスター、2021 年 9 月.
 41. 「Mechanistic Studies on Temperature Dependence of Photochromism of Cu-Doped ZnS Nanocrystals」、Yusuke Sanada, Yoichi Kobayashi、ポスター、2021 年 web 光化学討論会、2021 年 9 月.
 42. 「ペリレンビスイミド誘導体の高次励起状態ダイナミクス」、福田大樹、小林洋一、2021 年 web 基礎有機化学討論会、ポスター、2021 年 9 月.
 43. 「ジピロリルジケトンフッ化ホウ素錯体の励起状態ダイナミクス」、佐藤亮太、杉浦慎哉、羽田洋平、前田大光、小林洋一、2021 年 web 基礎有機化学討論

会、ポスター、2021年9月.

44. 「可視及び近赤外光の段階的二光子吸収過程によるペリレンビスイミドからZnS 半導体ナノ結晶への電子注入」、吉岡大祐、小林洋一、2021年第40回固体・表面光化学討論会、口頭2021年9月.

【博士学位論文】

なし

【修士学位論文】

1. 逢坂駿介、「化学状態に不均一性を持つシリカ担持 Ni 粒子の酸化還元特性」、修士（理学 立命館大学）、2021年3月。
2. 岡本真治、「炭素に担持した塩化銅の電気化学的反応過程の解析」、修士（工学 立命館大学）、2021年3月。
3. 川畠永喬、「シリカ担持 Ni 触媒を用いた NO-CO 反応活性における粒子サイズの効果」、修士（工学 立命館大学）、2021年3月。
4. 辻拓也、「コンバージョン電池活物質としての炭素担持 Ni 化学種の充放電反応の解析」、修士（工学 立命館大学）、2021年3月。
5. 福島颯太、「4-メルカプトピリジンを架橋サイトとする Au-Cu クラスター合成法の開発」、修士（理学 立命館大学）、2021年3月。
6. 朱仁杰、「難処理性アルミニウムドロスの熱重量特性と乾式処理の提案」、修士（工学 立命館大学）、2021年3月。
7. 中川奈那美、「採掘活動を考慮した電力の資源効率評価」、修士（工学 立命館大学）、2021年3月。
8. 黒木大輝、「マイクロ波炉を用いたアルカリマンガン電池の分散型リサイクルシステムの構築に関する研究」、修士（工学 立命館大学）、2021年3月。
9. 鷹田祐京、「ライフサイクルシミュレーションによる車載用 LiB の採掘活動から見た資源効率最適化」、修士（工学 立命館大学）、2021年3月。
10. 表勇毅、「電極活物質の反応機構と全電池不可逆反応の相関性」、修士（工学 立命館大学）、2021年3月。
11. 高田尚輝、「軟 X 線吸収分光測定を用いたアルカリ水電解触媒劣化機構の解析」、修士（工学 立命館大学）、2021年3月。
12. 橘慎太朗、「フッ化硫化物を用いた新規フッ化物イオン固体電解質の材料設計」、修士（理学 立命館大学）、2021年3月。
13. 川西康貴、「カルバゾール骨格を用いたフォトクロミックラジカル複合体の合成と光物性」、修士（工学 立命館大学）、2022年3月。
14. 福田大樹、「ペリレンニル基を置換したペリレンビスイミド誘導体の合成と励起状態ダイナミクス」、修士（工学 立命館大学）、2022年3月。
15. 吉岡大祐、「ペリレンビスイミドが配位した半導体ナノ結晶の合成と電子移動ダイナミクス」、修士（工学 立命館大学）、2022年3月。

大型研究装置成果報告書

装置名	セルソーター (BD FACS Aria III)
研究責任者 (所属・役職・氏名)	生命科学部・教授・川村 晃久
研究テーマ	体細胞初期化および幹細胞分化の分子機構とその再生医学への応用
研究の概要	<p>成人の体細胞を初期化することで得られる人工多能性幹 (iPS) 細胞は、未分化な状態で無限増殖させることでき、分化誘導により人体を構成するあらゆる細胞を作製することができる。さらに、患者の体細胞から作製された iPS 細胞は、患者の遺伝子情報を保持するため、拒絶反応のない再生医療、病態解析やテラーメード医療、さらには、薬効評価や副作用の判定を含む創薬への応用に大きな期待が寄せられている。その一方で、再生医療への実用化に向けては、コストの削減や安全性の検証など種々の課題も残されている。これらの問題を解決するためには、iPS 細胞の作製原理をより深く理解することで、その安全性や分化効率などを高めていく必要がある。研究責任者は、最近、iPS 細胞誘導過程で生じる多様な細胞運命決定機構を解析し、初期化過程で将来的に iPS 細胞になる可能性の高い細胞と、初期化はされないが移植後腫瘍形成が低く組織前駆細胞が誘導される新規の細胞集団とに選別する方法を開発し、これらの細胞集団を用いて、iPS 細胞への初期化成功重要な経路として、低酸素誘導因子 HIF1 を介した代謝経路や microRNA と標的遺伝子の経路などが見出された。さらに、iPS 細胞の有効な臨床応用へ向けた心臓組織などへの分化誘導研究や、がん免疫療法の開発に関する基礎研究も展開する。</p>
利用成果	<p>(学術論文、査読あり)</p> <p>1) Harada Y, Tanaka T, Arai Y, Isomoto Y, Nakano A, Nakao S, Urasaki A, Watanabe Y, Kawamura T, Nakagawa O. ETS-dependent enhancers for endothelial-specific expression of serum/glucocorticoid-regulated kinase 1 during mouse embryo development <i>Genes Cells</i> 2021;26(8):611-626. doi: 10.1111/gtc.12874.</p> <p>2) Akagi Y, Mori N, Kawamura T, Takayama Y, Kida YS. Non-invasive cell classification using the Paint Raman Express Spectroscopy System (PRESS) <i>Sci Rep.</i> 2021;11(1):8818. doi: 10.1038/s41598-021-88056-3.</p> <p>3) Ishida T, Nakao S, Ueyama T, Harada Y, Kawamura T. Metabolic remodeling during somatic cell reprogramming to induced pluripotent stem cells: involvement of hypoxia-inducible factor 1. <i>Inflamm Regen.</i> 2020;40:8. doi: 10.1186/s41232-020-00117-8. eCollection 2020.</p>

(国際学会、査読あり)

- 1) NAKAO Shu, YANAGISAWA Kazuki, UEYAMA Tomoe, HASEGAEA Koji, KAWAMURA Teruhisa. Beta-3 adrenergic receptors in the sinoatrial node for heart rate regulation.

26th Annual Scientific Meeting of the International Society of Cardiovascular Pharmacotherapy.

Online meeting, Kuala Lumpur, SINGAPORE、2021年7月24～25日（WEB開催、25日、口頭発表）

- 2) ISHIDA Tomoaki, UEYAMA Tomoe, BABA Ai, HASEGAWA Koji, KAWAMURA Teruhisa.

The role of isocitrate dehydrogenases in direct reprogramming to cardiomyocytes.

26th Annual Scientific Meeting of the International Society of Cardiovascular Pharmacotherapy.

Online meeting, Kuala Lumpur, SINGAPORE、2021年7月24～25日（WEB開催、誌面発表）

(国内学会、査読あり)

- 1) 柳澤和輝、石田智明、植山朋恵、土井晃大、馬場 藍、長谷川浩二、中尾 周、川村晃久

β 3アドレナリン受容体の心拍制御への関与

第6回日本心血管協会学術集会

2021年4月24～25日（WEB開催、25日一般演OP3-3）

- 2) 植山朋恵、石田智明、原田恭弘、中原正登、水田友里、馬場 藍、長谷川浩二、中尾 周、川村晃久

心筋ダイレクトプログラミングにおける好気性代謝制御因子IDHの役割

第6回日本心血管協会学術集会

2021年4月24～25日（WEB開催、25日一般演OP3-2）

- 3) 柳澤和輝、植山朋恵、馬場 藍、石田智明、中尾 周、川村晃久

β 3アドレナリン受容体の心拍制御への関与

Involvement of β 3-adrenergic receptors in the control of heart rate

第44回日本分子生物学会年会、横浜市、2021年12月3日（ポスター発表、FJ1891）

(修士論文)

- 1) 田中 裕樹 修士（理学）

論題：マウス胚における心室筋細胞の起源に関する研究

- | | |
|--|---|
| | <p>2) 永江 友登 修士（理学）
論題：マウス心筋梗塞モデルにおける低酸素シグナルの役割に関する研究</p> <p>3) 長嶋 彩花 修士（理学）
論題：がんモデルカニクイザルを用いた腫瘍浸潤T細胞からの腫瘍殺傷能力をもつT細胞受容体遺伝子の単離</p> <p>4) 柳澤 和輝 修士（理学）
論題：ダイレクトリプログラミングによる心臓ペースメーカ細胞の作製法および評価法の検討</p> <p>5) 湯浅 夏斗 修士（理学）
論題：iPS細胞形成過程で乳酸代謝が果たす役割の解析</p> |
|--|---|

大型研究装置成果報告書

装置名	核磁気共鳴装置 (ECS400)
研究責任者 (所属・役職・氏名)	生命科学部・准教授・小林洋一
研究テーマ	<ul style="list-style-type: none">・新規光機能材料の創出（生命科学部応用化学科 小林洋一）・新規な機能性有機材料を設計・合成しその応用の可能性を探る（生命科学部応用化学科 花崎知則）・分子集積体の階層的構造制御技術の開発とそれに基づく高分子材料の多機能・高性能化（生命科学部応用化学科 堤治）・生薬の活性成分の研究（生命科学部生命科学科 西澤幹雄）生体分子と人工分子の融合による化学反応場の構築（生命科学部応用化学科 越山友美）・糖質関連分子プローブの創製による糖鎖機能の解明（生命科学部生物工学科 武田陽一）・ソルバトクロミズム・フォトクロミズムの光励起ダイナミクスの機構解明と応用（生命科学部応用化学科 長澤 裕）・天然薬用資源の開発と応用（薬学部薬学科 田中謙）・脱リンスラグからのリンの抽出形態の解明（理工学部機械工学科 山末英嗣・柏倉俊介）・糖鎖構造を持つ生理活性物質の合成（薬学部薬学科 梶本哲也）
研究の概要	NMR は、化学のすべての分野において必須の実験設備である。有機化学では、合成の各段階における化合物の同定にルーチンに用いている。また、高分子化合物・天然物等の複雑な化合物の分子構造解析や金属核 NMR の測定にも用いている。有機機能性材料、高分子材料、天然物、および生薬の活性成分を同定するために、NMR 測定を行って分子構造を決定した。
利用成果	<p>【原著論文（査読あり）】</p> <ol style="list-style-type: none">1. Construction of Acyclic All-Carbon Quartenary Stereocenter Based on Asymmetric Michael Addition of Chiral Amine, Aya Niki, Minoru Ozeki, Akiko Kuse, Shiho Nakagawa, Shui Aoi, Takashi Shigeta, Tetsuya Kajimoto, Hiroki Iwasaki, Naoto Kojima, Kenji Arimitsu, Shinzo Hosoi, Manabu Node, Masayuki Yamashita, Ikuo Kawasaki, <i>Chem. Pharm. Bull.</i>, 69, 926-930 (2021).2. “Microwave-based Extractive Metallurgy to Obtain Pure Metals: A Review”, Nobuyuki Mizuno, Shoki Kosai, Eiji Yamasue: Vol.5 <i>Cleaner Engineering and Technology</i>, (2021), 1003063. “Microwave-based approach to recovering zinc from electric arc furnace dust using silicon powder as a non-carbonaceous reductant”, Nobuyuki Mizuno, Shoki

- Kosai, Eiji Yamasue: *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society (JOM)*, vol.73, (2021), 1828-1835
4. “Evaluating influences of impurities on hydrogen production in Si-water reaction”, Shoki Kosai, Shiho Fujimura, Shunsuke Kashiwakura, Shugo Nishimura, Kei Mitsuhasha, Masaru Takizawa, Eiji Yamasue: *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol.46, No.11, (2021), pp.7722-7732
 5. Ultrafast Dynamics of a Solvatochromic Dye, Phenol Blue: Tautomerization and Coherent Wavepacket Oscillations, Chikashi Ota, Akifumi Matsumoto, Tsubasa Hidaka, Keita Sugihara, Takahiro Teramoto, and Yutaka Nagasawa, *J. Phys. Chem. B*, **125**, 10832–10842 (2021)
 6. Comparison of the anti-inflammatory activities of furanocoumarins from the roots of *Angelica dahurica*. Ryo Okada, Hazuki Abe, Tetsuya Okuyama, Yuto Nishidono, Toshinari Ishii, Tatsuki Sato, Saki Shirako, Ken Tanaka, Yukinobu Ikeya, Mikio Nishizawa. *Bioactive Compounds in Health and Disease*. 4(12): 287-300 (2021). DOI: <https://www.doi.org/10.31989/bchd.v4i12.866>
 7. Acridine N-Heterocyclic Carbene Gold(I) Compounds: Tuning from Yellow to Blue Luminescence, Moulali Vaddamanu, Arruri Sathyaranayana, Yamane Masaya, Shohei Sugiyama, Ozaki Kazuhisa, Kavitha Velappan, Muneshwar Nandeshwar, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, Ganesan Prabusankar, *Chem: Asian J.*, **16**, 521–529 (2021); doi: 10.1002/asia.202001380
 8. Single-component white-color photoluminescence from liquid crystal polymers: color tuning by a combination of luminescence thermo- and mechanochromism, Osama Younis, Osamu Tsutsumi, *Dyes and Pigments*, **188**, 109189 (2021); doi: 10.1016/j.dyepig.2021.109189
 9. Wideband reflection wavelength tuning by bending of cholesteric liquid crystal elastomer films, Masayuki Kishino, Norihisa Akamatsu, Ryo Taguchi, Shoichi Kubo, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, Atsushi Shishido, *J. Appl. Phys.*, **129**, 164701 (2021); doi: 10.1063/5.0044216
 10. Environmentally Stable Chiral-Nematic Liquid-Crystal Elastomers with Mechano-Optical Properties, Kyosun Ku, Kyohei Hisano, Seiya Kimura, Tomoki Shigeyama, Norihisa Akamatsu, Atsushi Shishido, Osamu Tsutsumi, *Appl. Sci.*, **11**, 5037 (2021); doi: 10.3390/app11115037
 11. Mechano-optical Sensors Fabricated with Multilayered Liquid Crystal Elastomers Exhibiting Tunable Deformation Recovery, Kyohei Hisano, Seiya Kimura, Kyosun Ku, Tomoki Shigeyama, Norihisa Akamatsu, Atsushi Shishido, Osamu Tsutsumi, *Adv. Funct. Mater.*, 2104702 (2021); doi: 10.1002/adfm.202104702
 12. Fascinating Phenomena towards Single-Component White-Light Emission through Luminescent Thermochromism, Osama Younis, Hussain Sami, Yui Maruoka, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, *Dyes and Pigments*, **194**, 109621 (2021); doi: 10.1016/j.dyepig.2021.109621
 13. Liquid crystal polymers as luminescent coatings: Single-component white-light photoluminescence and corrosion inhibition, Osama Younis, Mohamed Abdel-Hakim, Marwa M. Sayed, Osamu Tsutsumi, Kamal I. Aly, *Journal of Luminescence*, **239**, 118361 (2021); doi: 10.1016/j.jlumin.2021.118361
 14. Aggregation-enhanced direct S_0-T_n transitions and room-temperature phosphorescence in gold(I)-complex single crystals, Akihiro Ando, Kazuhisa Ozaki, Urara Shiina, Eikichi Nagao, Kyohei Hisano, Kenji Kamada, Osamu Tsutsumi, *Aggregates*, e125 (2021), doi: 10.1002/agt2.125
 15. Effect of Crosslinkers on Optical and Mechanical Behavior of Chiral Nematic Liquid Crystal Elastomers, Kyosun Ku, Kyohei Hisano, Kyoko Yuasa, Tomoki

- Shigeyama, Norihisa Akamatsu, Atsushi Shishido, Osamu Tsutsumi, *Molecules*, **26**, 6193 (2021); doi: 10.3390/molecules26206193
16. Gold(I) 1,2,3-Triazolylidene Complex Featuring the Interaction Between Gold and Methine Hydrogen, Mannem Adi Narayana, Moulali Vaddamanu, Arruri Sathyanarayana, Kumar Siddhant, Shohei Sugiyama, Ozaki Kazuhisa, Aravind Kumar Rengan, Kavitha Velappan, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, Ganesan Prabusankar, *Dalton Trans.*, **50**, 16514–16518 (2021); doi: 10.1039/D1DT02827H
 17. Negative Thermal Quenching of Photoluminescence from Liquid-Crystalline Molecules in Condensed Phase, Hussain Sami, Osama Younis, Yui Maruoka, Kenta Yamaguchi, Kumar Siddhant, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, *Crystals*, **11**, 1555 (2021); doi: 10.3390/crust11121555
 18. Chiral acidic amino acids as tethers for intramolecular glycosylation. K Fukushima, T Kikuma, Y Takeda. *Journal of Carbohydrate Chemistry* DOI:10.1080/07328303.2021.2015364
 19. Development of the original whey-based vinegar using rapeseed meal or wheat bran as a raw material for koji. Y Kawamata, Y Toyotake, D Ogiyama, Y Takeda, M Wakayama. *Journal of Food Processing and Preservation*, e16097, 2021 DOI:10.1111/jfpp.16097.
 20. L-tryptophan-histidine synthesis by Pseudomonas serine peptidase, an amino acid ester hydrolase of the peptidase family S9. K Maki, MS Hossain, T Tanaka, Y Takeda, K Takagi, M Wakayama. *Enzyme and Microbial Technology* 147, 109785, 2021 DOI: 10.1016/j.enzmictec.2021.109785
 21. Excited-state dynamics of dipyrrolyldiketone difluoroboron complexes, Ryota Sato, Hajime Okajima, Shinya Sugiura, Yohei Haketa, Yusuke Kinoshita, Hitoshi Tamiaki, Akira Sakamoto, Hiromitsu Maeda, Yoichi Kobayashi, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2022**, 24, in press. DOI: 10.1039/d1cp04804j
 22. Origin of the Anomalous Temperature Dependence of the Photochromic Reaction of Cu-Doped ZnS Nanocrystals, Yusuke Sanada, Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, *J. Phys. Chem. Lett.*, **2021**, 12, 8129–8133. DOI: 10.1021/acs.jpclett.1c02386
 23. Dynamic spin-spin interaction observed as interconversion of chemical bonds in stepwise two-photon induced photochromic reaction, Katsuya Mutoh, Shota Toshimitsu, Yoichi Kobayashi, Jiro Abe, *J. Am. Chem. Soc.*, **2021**, 143, 13917–13928. DOI: 10.1021/jacs.1c06775
 24. Ion-pairing π-electronic systems: ordered arrangement and noncovalent interactions of negatively charged porphyrins Yoshifumi Sasano, Hiroki Tanaka, Yohei Haketa, Yoichi Kobayashi, Yukihide Ishibashi, Tatsuki Morimoto, Ryuma Sato, Yasuteru Shigeta, Nobuhiro Yasuda, Tsuyoshi Asahi, Hiromitsu Maeda *Chem. Sci.*, **2021**, 12, 9645–9657. DOI: 10.1039/D1SC02260A
 25. Dipyrrolyldiketone PtII Complexes: Ion-Pairing π-Electronic Systems with Various Anion-Binding Modes, Atsuko Kuno, Goki Hirata, Hiroki Tanaka, Yoichi Kobayashi, Nobuhiro Yasuda, Hiromitsu Maeda, *Chem. Euro. J.* **2021**, 27, 10068–10076. DOI: 10.1002/chem.202100855
 26. Extending the lifetimes of charge transfer states generated by photoinduced heterolysis of photochromic radical complexes, Yasuki Kawanishi, Katsuya Mutoh, Jiro Abe, Yoichi Kobayashi, *Asian J. Org. Chem.* **2021**, 10, 891–900. DOI:

- 10.1002/ajoc.202100032
27. Electrorheological Effect of Gold Nanoparticles Coated with Fluorescent Mesogenic Groups Dispersed in Nematic Liquid Crystal, Kosuke Kaneko, Kosuke Yamashita, Daiki Fujioka, Kimiyoshi Kaneko, Kiyomi Fuchigami, Takeshi Hashishin, Tomonori Hanasaki, *Crystals*, **11**, 192 (2021).
 28. Helical Network Polymers Embodying High Dissymmetry Factors in Circularly Polarized Luminescence. Photocrosslinking Polymerization of Acrylate Derivatives in Chiral Smectic Liquid Crystal, Hiromasa Yamamoto, Takuya Inagaki, Jinwoo Park, Satoru Yoshida, Kosuke Kaneko, Tomonori Hanasaki, Kazuo Akagi, *Macromolecules*, **54**, 8977–8986 (2021).
 29. Dielectric dispersion in a dual-frequency smectic A liquid crystal PPEP(3F6)-CN/P(CN)P6-6 mixture, Yoshinori Takikawa, Kosuke Kaneko, Ryota Adachi, Hiroshi Orihara, Makoto Iwata, *Japanese Journal of Applied Physics*, **60** 125503 (2021).
 30. Triflimide-Promoted Nucleophilic C-Arylation of Halopurines to Access *N*⁷-Substituted Purine Biaryls, Toshitaka SHOJI, Kosuke FUKUSHIMA, Takayuki MENJO, Yoichi YAMADA, Tomonori HANASAKI, Kotaro, KIKUSHIMA, Naoko TAKENAGA, Toshifumi DOHI, *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, **69**(9), 886–891 (2021)

【原著論文（査読なし）】

1. 山末英嗣, 光斎翔貴, 柏倉俊介, 中野勝行, 橋本征二:「身近な水銀利用製品としての照明」, 金属, Vol.90, No. 12, (2020), pp.1022-26
2. 山末英嗣, 光斎翔貴, 柏倉俊介, 松八重一代「黄リン製造の歴史的変遷と今後の課題」, 金属, 2021年11月号

【招待講演】

1. Approaches to Investigate Pharmacological Effects of Crude Drugs Used in Japanese Kampo Medicine. Mikio Nishizawa. *Symposium on Organic and Applied Chemistry 2021*. Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Brawijaya University, オンライン, 2021年12月22日
2. 「柔軟な秩序体を利用する力の可視化」, 堤治, 精密ネットワークポリマー研究会:ソフトクリスタルとネットワークポリマー, オンライン, 2021年6月
3. Crystallization Dynamics of Au(I) Complexes Observed by Crystal-Structure-Sensitive Aggregation-Induced Room-Temperature-Phosphorescence, Osamu Tsutsumi, Yuki Kuroda, Kyohei Hisano, The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacificchem), オンライン, 2021年12月
4. Fast Photochromic Reactions of Zinc-Based Colloidal Nanocrystals, Yoichi Kobayashi, Third Indian Materials Conclave and 32nd Annual Meeting of MRSI, オンライン, 2021年12月20日

5. Fast T-Type Photochromism of Colloidal Cu-Doped ZnS Nanocrystals, Yoichi Kobayashi, LIA/IRP NanoSynergetics seminar, オンライン, 2021年4月16日

【国際会議発表】

1. S. Kashiwakura, S. Kosai, K. Nakajima E. Yamasue: "Effects of electricity mix on total material requirement of hydrogen steelmaking process", The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment (Cuute-1), 14-17 December 2021, Nara, Japan
2. Shoki Kosai, Daiki Kurogi, Keita Kozaki, Eiji Yamasue: "Development of distributed recycling system for alkaline batteries by using microwave technology", EcoDesign2021, 1-3 December 2021, Nara, Japan (Online)
3. Shunsuke Kashiwakura, Eiji Yamasue: "Total material requirement of crude steel production toward CO₂ emission control in 2050", EcoDesign2021, 1-3 December 2021, Nara, Japan (Online)
4. Keita Hamasuna, Shoki Kosai, Shunsuke Kashiwakura, Eiji Yamasue: "Life cycle resource use of air conditioner from the perspective of total material requirement", EcoDesign2021, 1-3 December 2021, Nara, Japan (Online)
5. Excited state dynamics of trans-cis isomerization of indigo derivatives, Yu Kihara, Yuto Masaoka, Tsubasa Hidaka, Keita Sugihara, Yutaka Nagasawa, Pacifichem 2021, Honolulu (USA), Poster, December, 2021.
6. Comparison of Thermochromism and Photochromism of a Spiropyran derivative, SBP-β-NP, Tetsuya Yamamoto, Yusuke Kasai, Yu Kihara, and Yutaka Nagasawa, *The 11th Asian Photochemistry Conference (APC 2020)*, Seoul (Korea), Poster, November, 2021.
7. Photochromic E ⇌ Z isomerization dynamics of hemiindigo derivatives studied by time-resolve transient absorption spectroscopy, Yamato Higashi, Yu Kihara, Kazuki Hinago, and Yutaka Nagasawa, *The 11th Asian Photochemistry Conference (APC 2020)*, Seoul (Korea), Poster, November, 2021.
8. Time-resolved transient absorption studies of trans ⇌ cis isomerization dynamics of indigo derivatives, Yu Kihara, Yamato Higashi, Shuntaro Tani, and Yutaka Nagasawa, *The 11th Asian Photochemistry Conference (APC 2020)*, Seoul (Korea), Poster, November, 2021.
9. Excited state dynamics of trans→cis and cis→trans isomerization of an indigo derivative, Yu Kihara, Yamato Higashi, Yuto Masaoka, Tsubasa Hidaka, Keita Sugihara, Yutaka Nagasawa, *International Conference on Photochemistry (ICP2021)*, Geneva (Switzerland), July, 2021.
10. Ultrafast nonradiative decay of a solvatochromic dye, phenol blue observed by femtosecond transient absorption spectroscopy, Chikashi Ota1, Akifumi Matsumoto, Tsubasa Hidaka, Keita Sugihara, Takahiro Teramoto, and Yutaka Nagasawa, *International Conference on Photochemistry (ICP2021)*, Geneva (Switzerland), July, 2021.
11. E ⇌ Z isomerization dynamics of photochromic hemiindigo derivatives, Yamato Higashi, Yu Kihara, Kazuki Hinago, Yutaka Nagasawa, *Sixteenth International*

- Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP21)*, Kusatsu (Japan), June, 2021.
12. Thermochromism and Photochromism of a Spiropyran derivative SBP- β -NP, Tetsuya Yamamoto, Yusuke Kasai, Yu Kihara, Yutaka Nagasawa, *Sixteenth International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP21)*, Kusatsu (Japan), June, 2021.
 13. Dynamics of trans \rightleftharpoons cis isomerization of an indigo derivative studied by time-resolved transient absorption spectroscopy, Yu Kihara, Shuntaro Tani, Yamato Higashi and Yutaka Nagasawa, *Sixteenth International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP21)*, Kusatsu (Japan), June, 2021.
 14. Anti-inflammatory Effects of Furanocoumarins From the Roots of *Angelica dahurica*. Tatsuki Sato, Ryo Okada, Saki Shirako, Mikio Nishizawa. *Symposium on Organic and Applied Chemistry 2021 (Joint Student Symposium)*. Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Brawijaya University, オンライン, 2021 年 12 月 22 日
 15. Optical Properties of Cholesteric-Liquid-Crystal Elastomers with Precisely Controlled Molecular Orientation by Photopolymerization, Maki Yanagihara, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, 19th Optics of Liquid Crystals (OLC2021), オンライン, "2021/9/28, 29"
 16. Aggregation Enhanced Room-Temperature Phosphorescence with Dual Emission from Rod-Like Gold(I) Complexes, Andriani Furaida, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, 19th Optics of Liquid Crystals (OLC2021), オンライン, 2021 年 9 月
 17. Cholesteric-Liquid-Crystal Polymer Particles with Controlled Orientation of Helical Axis and Their Application to Deformation Analyse, Naoya Fukui, Tomoki Shigeyama, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi , 19th Optics of Liquid Crystals (OLC2021), オンライン, 2021 年 9 月
 18. Control of molecular orientation response in liquid crystal elastomers with multi-layered system, Yudai Fuwa, Kyohei Hisano and Osamu Tsutsumi, 19th Optics of Liquid Crystals (OLC2021), オンライン, 2021 年 9 月
 19. Super-Monodispersed Cholesteric-Liquid-Crystal Polymer Microparticles with Three-Dimensionally Controlled Molecular Orientation, Tomoki Shigeyama, Kyohei Hisano, and Osamu Tsutsumi, 19th Optics of Liquid Crystals (OLC2021), オンライン, 2021 年 9 月
 20. Quantification of internal strain in bent silicone elastomers via selective reflection of cholesteric liquid crystals, Masayuki Kishino, Norihisa Akamatsu, Ryo Taguchi, Shoichi Kubo, Koyhei Hisano, Osamu Tsutsumi, Atsushi Shishido, 19th Optics of Liquid Crystals (OLC2021), オンライン, 2021 年 9 月
 21. Fast and Slow Tuning of Molecular Recovery Response of Cholesteric Liquid Crystal Elastomers in Layered System, Kyohei Hisano, Seiya Kimura, Norihisa Akamatsu, Atsushi Shishido, Osamu Tsutsumi, 19th Optics of Liquid Crystals (OLC2021), オンライン, 2021 年 9 月
 22. Control of molecular orientation in super-monodispersed polymer particles consist of cholesteric liquid crystals, Tomoki Shigeyama, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem), オンライン, 2021 年 12 月
 23. Structure-properties relationship in the luminescence of gold(I) isocyanide complexes, Andriani Furaida, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, The 2021

- International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacificchem), オンライン, 2021 年 12 月
24. Two-dimensional control of helical axis orientation in cholesteric-liquid-crystal films, Yuki Shikata, Maki Yanagihara, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacificchem), オンライン, 2021 年 12 月
 25. Rational Design and Control of Helical Axis Orientation in Cholesteric Liquid Crystals, Kyohei Hisano, Tomoki Shigeyama, Shohei Sugiyama, Maki Yanagihara, Osamu Tsutsumi, The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacificchem), オンライン, 2021 年 12 月
 26. Yuki Mera, Takashi Kikuma; Yoichi Takeda. Synthesis of a caged CMP-3-deoxy-D-manno-octulosonic acid (CMP-Kdo) derivative as a substrate for Kdo transferases. The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021 (Pacificchem 2021)
 27. Rina Ueshima, Nahoko Toda; Peter Greimel; Takashi Kikuma; Yoichi Takeda, Synthesis of molecular probes to understand a biosynthetic mechanism of Lyso-phosphatidyl-β-D-glucoside The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021 (Pacificchem 2021)
 28. Yoichi Takeda. Selenoprotein F recognition of endoplasmic reticulum glucosyltransferase analyzed using a His-tag specifically introduced photoreactive crosslinker. The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021 (Pacificchem 2021)
 29. Yuji Hashiguchi; Sato Tada; Yukishige Ito, Yoichi Takeda, Takashi Kikuma. Analysis of α1,2-mannosidase in *Saccharomyces cerevisiae* by gene disruption. The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021 (Pacificchem 2021)
 30. Green and far-red-light induced electron injection from perylene bisimide to wide-bandgap semiconductor nanocrystals with stepwise two-photon absorption processVisible and Near Infrared Light Induced Electron Injection from Perylene Bisimide to ZnS Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process, Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, Photonics in Chemical Physics, Poster, September, 2021.
 31. Origin of the Anomalous Temperature Dependence of the Photochromic Reaction of Cu-Doped ZnS Nanocrystals, Yusuke Sanada, Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, 11th Asian Photochemistry Conference, Poster, November, 2021.
 32. Excited State Dynamics of Dipyrrolydiketone Difluoroboron Complexes, Ryota Sato, Shinya Sugiura, Yohei Haketa, Hiromitsu Maeda, Yoichi Kobayashi, 11th Asian Photochemistry Conference, Poster, November, 2021.
 33. Visible and Far-Red Light Induced Electron Injection from Perylene Bisimide to Wide-Bandgap Semiconductor Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process, Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, 11th Asian Photochemistry Conference, Poster, November, 2021.
 34. Visible and Near Infrared Light-Induced Electron Extraction from Perylene Bisimide to CdS Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process, Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, The 22nd Ries-Hokudai International Symposium, Poster, December, 2021.

35. Helicity control of poly(3,4-ethylenedioxythiophene)s using photo-invertible chiral liquid crystal field, Satoru Yoshida, Masatomo Hidaka, Santa Morikawa, Kosuke Kaneko, Kimiyoshi Kaneko, Tomonori Hanasaki, and Kazuo Akagi, *The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacificchem)*, Honolulu (USA), Oral, December, 2021.
36. Synthesis of helical network polymers exhibiting circularly polarized luminescence through photo-crosslink polymerization in chiral liquid crystal field, Hiromasa Yamamoto, Takuya Inagaki, Ken Kusunoki, Jinwoo Park, Kosuke Kaneko, Tomonori Hanasaki, and Kazuo Akagi, *The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacificchem)*, Honolulu (USA), Oral, December, 2021.
37. Synthesis and photophysical properties of discotic liquid crystals with Cyanostilbene moieties, Chihiro Mitani, Kosuke Kaneko, Daiki Fujioka, Kimiyoshi Kaneko, and Tomonori Hanasaki, *The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacificchem)*, Honolulu (USA), Poster, December, 2021.
38. Effect of solvent addition on liquid crystal behavior of DEME based dimeric ionic liquid, Shohei Miyata, Daichi Ninomiya, Yukihiro Yoshimura, Kazuyoshi Kaneko, Akio Shimizu, Kosuke Kaneko, and Tomonori Hanasaki, *The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacificchem)*, Honolulu (USA), Poster, December, 2021.
39. Preparation of spherical liquid crystalline elastomers and observation of shape change under electric field, Takayuki Menjo, Yushi Inaba, Kosuke Kaneko, Kiyomi Fuchigami, Daiki Fujioka, Kimiyoshi Kaneko, and Tomonori Hanasaki, *The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacificchem)*, Honolulu (USA), Poster, December, 2021.
40. Synthesis of ABA triblock copolymers by using ATRP method and its application to suspension polymerization, Ichiro Yamamoto, Tetsuya Yoshida, Kiyomi Fuchigami, Kosuke Kaneko, and Tomonori Hanasaki, *The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacificchem)*, Honolulu (USA), Poster, December, 2021.
41. Efficient arylation of halo purines and related electrophiles facilitated by Brønsted acid in fluoroalcohols, Toshitaka Shoji, Aki Morita, Takayuki Menjo, Yoichi Yamada, Naoko Takenaga, Tomonori Hanasaki, Toshifumi Dohi, *The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacificchem)*, Honolulu (USA), Poster, December, 2021.

【国内学会発表】

- 「L-イズロン酸の簡易合成法と L-イズロニル化反応の開発」、Du Tianqi、吉武典将、梶本哲也、第 142 回日本薬学会年会（名古屋）、2022 年 3 月（開催予定）。
- 濱砂圭汰、佐藤 公紀、光齋翔貴、柏倉俊介、山末英嗣：「エアコンの採掘活動から見た資源効率」、第 16 回日本 LCA 学会研究発表会、オンライン開

- 催, 2021年3月3-5日
3. 柏倉俊介, 山末英嗣:「蓄電池と無変換直流給電を併用した太陽光電力の安定供給に係るシナリオ分析」, 第16回日本LCA学会研究発表会, オンライン開催, 2021年3月3-5日
 4. 黒木大暉, 光斎翔貴, 山末英嗣:「マイクロ波炉を用いたアルカリマンガン電池の分散型リサイクルシステムの構築」, 第16回日本LCA学会研究発表会, オンライン開催, 2021年3月3-5日
 5. 濱砂圭汰, 佐藤公紀, 光斎翔貴, 柏倉俊介, 山末英嗣:「エアコンの採掘活動から見た資源効率」, 第16回日本LCA学会研究発表会, オンライン開催, 2021年3月3-5日
 6. 柏倉俊介, 山末英嗣:「レーザー分析によるエシェログラムと機械学習による金属スクラップの高速相互選別」, 資源・素材学会2021年度春季大会, オンライン開催, 2021年3月8-10日
 7. 西澤一輝, 柏倉俊介, 光斎翔貴, 山末英嗣:「LIBSと機械学習を併用した自動車部品の高速金属種別」, 資源・素材学会2021年度春季大会, オンライン開催, 2021年3月8-10日
 8. 中浦雅史, 光斎翔貴, 柏倉俊介, 山末英嗣:「炭酸リチウムを媒介とした鉄鋼スラグの全利用プロセスの提案」, 日本鉄鋼協会第181回講演大会, オンライン開催, 2021年3月17-19日
 9. 梅垣遼一, 光斎翔貴, 柏倉俊介, 山末英嗣:「鉄の微細構造が反応経路に与える影響」, 日本鉄鋼協会第181回講演大会, オンライン開催, 2021年3月17-19日
 10. 渡辺善友, 柏倉俊介, 光斎翔貴, 山末英嗣:「マイクロ波炉を用いた酸化ニッケルの炭素還元の挙動分析」, 日本国金属学会第168回講演大会, オンライン開催, 2021年3月16-19日
 11. 谷上周, 柏倉俊介, 光斎翔貴, 山末英嗣:「マイクロ波を用いた鉛バッテリーのリサイクル」, 日本国金属学会第168回講演大会, オンライン開催, 2021年3月16-19日
 12. 朱仁杰, 山末英嗣, 平木岳人, 柏倉俊介, 光斎翔貴:「難処理性アルミニウムドロスの熱重量特性と乾式処理の可能性」, 日本国金属学会第168回講演大会, オンライン開催, 2021年3月16-19日
 13. 益野颯仁, 辻野太周, 八木洸紀, Sharma Bhupendra, 川畠美絵, 山末英嗣, 飴山恵:「SUS316L調和組織材料の高温変形挙動」, 日本国金属学会第168回講演大会, オンライン開催, 2021年3月16-19日
 14. 「SBP- β -NPのサーモクロミズムとフォトクロミズム」, 山本哲也、笠井友輔、木原優、長澤裕、第15回分子科学討論会、2021年9月。
 15. 「インジゴ誘導体の trans ⇌ cis 異性化フォトクロミズムのグローバル解析」, 木原優、東岳斗、谷駿太朗、長澤裕、2021年光化学討論会、2021年9月。
 16. 「コヒーレントな核波束運動とともにうへミインジゴ誘導体の超高速 E ⇌ Z 異性化反応」, 東岳斗、木原優、日名子一起、長澤裕、2021年光化学討論会、2021年9月。
 17. 「オンジの初代培養肝細胞における一酸化窒素誘導を抑制する成分の検討」, 忠海奏、増田佳奈、白子紗希、池谷幸信、西澤幹雄、第67回日

- 本生化学会近畿支部例会、2021年5月。
18. 「初代培養肝細胞における一酸化窒素誘導を抑制するチモの成分の探索」、梶村 美月、坪田 朋也、白子 紗希、池谷 幸信、西澤 幹雄、第67回日本生化学会近畿支部例会、2021年5月。
 19. 「初代培養肝細胞における一酸化窒素誘導抑制作用を持つゼンコの成分の探索」、尾崎 大夢、前迫 貴徳、中村 海渡、白子 紗希、池谷 幸信、西澤 幹雄、第67回日本生化学会近畿支部例会、2021年5月。
 20. 「光と力を利用したキラル液晶高分子のらせん軸配向制御」、不破雄大、柳原真樹、久野恭平、堤治、第70回高分子学会年次大会、オンライン、2021年5月
 21. 「高分子分散型液晶エラストマーのメカノ・オプティカル挙動」、中野葉、久野恭平、堤治、第70回高分子学会年次大会、オンライン、2021年5月
 22. 「単分散コレステリック液晶微粒子における分子配向の3次元精密制御」、茂山友樹、久野恭平、堤治、第70回高分子学会年次大会、オンライン、2021年5月
 23. 「凝集誘起発光団を導入したエラストマーの力による発光挙動制御」、正木里奈、久野恭平、堤治、第70回高分子学会年次大会、オンライン、2021年5月
 24. 「光強度勾配を利用したキラル液晶高分子の精密分子配向制御」、四方優輝、久野恭平、堤治、第70回高分子学会年次大会、オンライン、2021年5月
 25. 「コレステリック液晶エラストマー微粒子の合成」、林聖大、茂山友樹、久野恭平、堤治、第70回高分子学会年次大会、オンライン、2021年5月
 26. 「光重合によるコレステリック液晶エラストマーのらせん軸の精密配向制御」、柳原真樹、久野恭平、堤治、第70回高分子学会年次大会、オンライン、2021年5月
 27. 「キラル液晶高分子微粒子をプローブとした変形解析」、福井直弥、茂山友樹、久野恭平、堤治、第70回高分子学会年次大会、オンライン、2021年5月
 28. 「コレステリック液晶高分子の多次元分子配向制御技術と光学・力学機能」、久野恭平、茂山友樹、柳原真樹、堤治、第70回高分子学会年次大会、オンライン、2021年5月
 29. Investigation of Mechanism for Styrene Polymerization Initiated by Stable Aryl Radicals Catalytically Generated in Interlayer Space of Clays, Kyohei Hisano, Yugo Okada, Osamu Tsutsumi, Fuminao Kishimoto, 第70回高分子学会年次大会、オンライン、2021年5月
 30. 「液晶モノマーの光重合によって形成される新奇な周期構造」、四方優輝、久野恭平、堤治、第70回高分子討論会、オンライン、2021年9月
 31. 「分子配向を精密制御した単分散架橋液晶高分子微粒子の合成と機能」、林聖大、茂山友樹、久野恭平、堤治、第70回高分子討論会、オンライン、2021年9月
 32. 「キラルネマチック液晶微粒子をプローブとした変形解析」、福井直弥、茂山友樹、林聖大、久野恭平、堤治、第70回高分子討論会、オンライン、2021年9月
 33. 「光重合により誘起されるキラルネマチック液晶高分子の高次構造と力・光学機能」、柳原真樹、久野恭平、堤治、第70回高分子討論会、オンライン、2021年9月
 34. 3-Dimensional Alignment Control of Chiral-Nematic-Liquid-Crystal in

- Monodispersed Microparticles, Tomoki Shigeyama, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, 第 70 回高分子討論会, オンライン, 2021 年 9 月
35. 「光重合により分子配向を制御したコレステリック液晶エラストマーの力・光学機能」, 柳原真樹, 久野恭平, 堤治, 2021 年日本液晶学会討論会, オンライン, 2021 年 9 月
36. 「高分子キラルネマチック液晶微粒子中のらせん軸配向形成メカニズム」, 茂山友樹, 久野恭平, 堤治, 2021 年日本液晶学会討論会, オンライン, 2021 年 9 月
37. 「コレステリック液晶エラストマーの湾曲による広帯域反射光波長制御」, 岸野真之, 赤松範久, 田口諒, 久保祥一, 久野恭平, 堤治, 宮戸厚, 2021 年日本液晶学会討論会, オンライン,
38. 「分子配向を精密に制御した単分散架橋高分子液晶微粒子の合成と機能」, 林聖大, 茂山友樹, 久野恭平, 堤治, 2021 年日本液晶学会討論会, オンライン, 2021 年 9 月
39. 「液晶モノマーの光重合により誘起される新奇な周期構造」, 四方優輝, 久野恭平, 堤治, 2021 年日本液晶学会討論会, オンライン, 2021 年 9 月
40. 「凝集誘起性メソゲンを組み込んだ主鎖型液晶エラストマーの発光挙動」, 正木里奈, 久野恭平, 堤治, 2021 年日本液晶学会討論会, オンライン, 2021 年 9 月
41. 「分子配向が精密制御された単分散高分子液晶微粒子への架橋構造の導入と機能評価」, 林聖大, 茂山友樹, 久野恭平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン, 2021 年 10 月
42. 「主鎖型コレステリック液晶高分子の機械-光学特性とひずみセンシングへの応用」, 中野葉, 久野恭平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン, 2021 年 10 月
43. 「単分散キラルネマチック液晶微粒子内の三次元分子配向」, 茂山友樹, 久野恭平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン, 2021 年 10 月
44. 「単分散キラルネマチック液晶微粒子内の三次元分子配向」, 茂山友樹, 久野恭平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン, 2021 年 10 月
45. 「主鎖型エラストマーに組み込まれた凝集誘起発光団の発光挙動」, 正木里奈, 久野恭平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン, 2021 年 10 月
46. 「粘土層間に生成する安定ラジカルを用いた新規ラジカル重合系の開発」, 岡田悠吾, 久野恭平, 岸本史直, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン, 2021 年 10 月
47. 「キラルネマチック液晶エラストマーにおける分子配向制御と力・光学機能」, 柳原真樹, 久野恭平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン, 2021 年 10 月
48. 「種々の置換基を有する三核金錯体の液晶性と凝集誘起発光」, 山口健太, 久野恭平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン, 2021 年 10 月
49. 「凝集誘起発光現象を利用した三核金錯体の結晶化過程の解明」, 椎名麗, 久野恭平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン, 2021 年 10 月
50. 「三核金錯体の光結晶化」, 若狭耀生, 久野恭平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン,
51. 「光強度勾配により誘起される周期的な分子配向構造」, 四方優輝, 久野恭

- 平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン, 2021 年 10 月
52. 「環状三核金錯体の発光特性および液晶性に及ぼす置換基効果」, 山口健太, 久野恭平, 堤治, 錯体化学会第 71 回討論会, オンライン, 2021 年 9 月
53. 「環状三角金錯体の光による結晶成長制御」, 若狭耀生, 久野恭平, 堤治, 錯体化学会第 71 回討論会, オンライン,
54. 「三核金(I)錯体の凝集誘起発光現象を利用した結晶成長ダイナミクスの観察」, 椎名麗, 久野恭平, 堤治, 錯体化学会第 71 回討論会, オンライン, 2021 年 9 月
55. 米良優希、菊間隆志、武田陽一 「トップダウン酵素化学法の開発と糖タンパク質糖鎖の機能解析」第 41 回 日本糖質学会年会（鹿児島）2021 年 10 月 27 日
56. 「可視及び近赤外光の段階的二光子吸収過程によるペリレンビスイミドから ZnS 半導体ナノ結晶への電子注入」、吉岡大祐、小林洋一、2021 年第 40 回固体・表面光化学討論会、口頭 2021 年 12 月 1 日.
57. 「Visible and Near Infrared Light Induced Electron Injection from Perylene Bisimide to ZnS Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process」、Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi、2021 年 web 光化学討論会、口頭、2021 年 9 月 16 日.
58. 「T-type Photochromism of ZnO Nanocrystals」、Hiroki Ito, Yoichi Kobayashi、2021 年 web 光化学討論会、ポスター、2021 年 9 月 16 日.
59. 「Mechanistic Studies on Temperature Dependence of Photochromism of Cu-Doped ZnS Nanocrystals」、Yusuke Sanada, Yoichi Kobayashi、ポスター、2021 年 web 光化学討論会、2021 年 9 月 14 日.
60. 「ペリレンビスイミド誘導体の高次励起状態ダイナミクス」、福田大樹、小林洋一、2021 年 web 基礎有機化学討論会、ポスター、2021 年 9 月 22 日.
61. 「ジピロリルジケトンフッ化ホウ素錯体の励起状態ダイナミクス」、佐藤亮太、杉浦慎哉、羽毛田洋平、前田大光、小林洋一、2021 年 web 基礎有機化学討論会、ポスター、2021 年 9 月 22 日.
62. 「SNAr 反応を利用したプリン骨格を有する新規ビアリール化合物の合成」、莊司俊貴、福島康介、校條貴之、花崎知則、菊鳶孝太郎、武永尚子、土肥寿文、第 118 回有機合成シンポジウム、オンライン、2021 年 6 月 23～24 日.
63. 「両親媒性トリブロックコポリマーの合成とその懸濁重合における合一阻止効果の検討」、藤田映里、金子光佑、藤岡大毅、渕上清実、花崎知則、第 70 回高分子討論会、オンライン、2021 年 9 月 6 日～8 日.
64. 「キラルスマクチック液晶場でのヘリカルネットワークポリマーの合成とその円偏光発光特性の評価」、山本大誠、稻垣拓也、Park Jinwoo、吉田 悟、金子光佑、花崎知則、赤木和夫、2021 年日本液晶学会討論会、オンライン、9 月 15 日～17 日.
65. 「光応答性キラルネマチック液晶におけるキラリティー誘起のメカニズム」、吉田 悟、森川陽太、植田健太、金子光佑、花崎知則、赤木和夫、2021 年日本液晶学会討論会、オンライン、9 月 15 日～17 日.
66. 「側鎖型ポリシロキサン系二周波駆動液晶の合成とその電気粘性効果」、伊井祐貴、金子光佑、金子喜三好、深尾浩次、花崎知則、2021 年日本液晶学

会討論会、オンライン、9月15日～17日。

【特許】

1. 液晶高分子微粒子及び液晶高分子微粒子の製造方法、出願人：学校法人立命館、発明者：堤治、久野恭平、茂山友樹、林聖大、特願2021-079160、出願日：2021年5月7日
2. フォトルミネッセント材料として有用なポリマー、出願人：学校法人立命館、発明者：堤治、オサマ モハマド ユニス、特許第6918352号、登録日：2021年7月27日

【博士論文】

1. KU Kyosun, Strain Sensing by Means of Mechano-optical Response of Cholesteric Liquid Crystal Elastomers, 博士（工学）、2021年9月
2. HUSSAIN Sami, Photoluminescence Behavior of Rod-like Liquid-crystalline Molecules with Biphenylacetylene Core in Condensed Phases, 博士（工学）、2022年3月

【修士論文】

1. 朱仁杰、「難処理性アルミニウムドロスの熱重量特性と乾式処理の提案」、修士（工学 立命館大学）、2021年3月
2. 中川奈那美、「採掘活動を考慮した電力の資源効率評価、修士（工学 立命館大学）、2021年3月。
3. 黒木大輝、「マイクロ波炉を用いたアルカリマンガン電池の分散型リサイクルシステムの構築に関する研究」、修士（工学 立命館大学）、2021年3月。
4. 鷹田祐京、「ライフサイクルシミュレーションによる車載用LiBの採掘活動から見た資源効率最適化」、修士（工学 立命館大学）、2021年3月
5. 木原 優、「対称・非対称インジゴ誘導体の光異性化反応ダイナミクス」、修士（工学 立命館大学）、2022年3月。
6. ANDRIANI Furoida, Aggregation-Induced Emission from Au(I) Complexes Having Rod-Like Mesogenic Unit of Two-Ring System, 修士（理学）、2022年9月
7. 木村聰希、ゼオライト細孔を利用した有機分子の発光制御、修士（工学）、2022年3月
8. 林 聖 大、Synthesis and Properties of Monodispersed Cross-Linked Liquid-Crystalline Polymer Particles with Controlled Molecular Orientation, 修士（工学）、2022年3月
9. 正木里奈、凝集誘起発光団を組み込んだエラストマーの変形による発光挙動変化、修士（工学）、2022年3月
10. 柳原真樹、分子配向制御したコレステリック液晶エラストマーの光学特性、修士（工学）、2022年3月
11. 山口健太、環状三核金錯体の液晶性と発光特性におよぼす置換基効果、修士（工学）、2022年3月
12. 米良優希、「cytidine 5'-monophosphate-3-deoxy-D-manno-octulosonic acid 誘導体の化学合成」、修士（工学 立命館大学）、2021年3月。

13. 川西康貴、カルバゾール骨格を用いたフォトクロミックラジカル複合体の合成と光物性、修士（工学 立命館大学）、2022年3月。
14. 福田大樹、ペリレニル基を置換したペリレンビスイミド誘導体の合成と励起状態ダイナミクス、修士（工学 立命館大学）、2022年3月。
15. 吉岡大祐、ペリレンビスイミドが配位した半導体ナノ結晶の合成と電子移動ダイナミクス、修士（工学 立命館大学）、2022年3月。
16. 伊井 祐貴、「側鎖型ポリシロキサン系二周波駆動液晶の合成とその電気粘性効果」、修士（工学 立命館大学）、2022年3月。
17. 三谷 千優、「シアノスチルベンコアを有する円盤状分子の液晶性とその発光特性の評価」、修士（工学 立命館大学）、2022年3月。
18. 宮田 翔平、「DEME系カチオンを有するダイマー型イオン液体の液晶挙動に対する溶媒添加効果」、修士（工学 立命館大学）、2022年3月。
19. 校條 貴行、「二周波駆動液晶を用いた球状液晶エラストマーの合成と電場印加下における形状の観察」、修士（工学 立命館大学）、2022年3月。
20. 山本 一郎、「両親媒性トリブロック共重合体の合成およびそれを用いたビーズポリマーの合成」、修士（工学 立命館大学）、2022年3月。
21. 山本 大誠、「キラルスマクチック液晶場でのヘリカルネットワークポリマーの合成と性質」、修士（工学 立命館大学）、2022年3月。

【その他】

1. 「ソフトロボット創製を目指したひずみセンサーの開発」、久野恭平、堤治、*高分子*, **70**, 432–433 (2021)
2. 「キラル液晶エラストマーフィルム実証」、堤治、*電波新聞*, 2021年10月28日, 8面

大型研究装置成果報告書

装置名	600 MHz 核磁気共鳴装置
研究責任者 (所属・役職・氏名)	生命科学部・教授・民秋 均
研究テーマ	1) 天然クロロフィル分子の代謝経路の解析 2) 天然ならびに合成有機化合物の構造と物性解析
研究の概要	<p><多岐に渡るので、研究テーマ1に関する論文2の要約のみを示す></p> <p>緑色光合成細菌における主たる光収穫アンテナ（クロロゾーム）は、バクテリオクロロフィル <i>c</i>・<i>d</i>・<i>e</i> と呼ばれる特殊なクロロフィル色素の自己集積体によって構成されている。この色素分子の合成経路では、BciC 酵素によって、13²位の脱メトキシカルボニル化が行われているが、その反応機構はまだ明確になっていない。そこで、基質分子となりうる金属クロロフィル <i>a</i> 誘導体を新たに合成し、その生体外での酵素反応を検討して、その反応機構の解明を目指した。</p> <p>BciC 酵素による生体内反応では、17位上にカルボキシ基を有するマグネシウム錯体が基質として用いられているが、そのメチルエステルの亜鉛錯体でも生体外酵素反応が進行することが判明している。今回、13¹位のオキソ基を欠く基質に対して、BciC 酵素による生体外反応を検討したところ、(13²<i>S</i>)-メトキシカルボニル体のみが立体選択的に脱離して、13²-ヒドロキシ体に変換されたことが判った。また、13¹位にヒドロキシ基を導入したところ、(13¹<i>S</i>)体だけで13²位での加水分解が進行し、(13¹<i>R</i>)体では全く反応が進行しないことも判った。</p>
利用成果	<p>利用成果（多数に渡るので、研究テーマ1に関するもののみ示す）</p> <p>論文</p> <ol style="list-style-type: none"> M. Hirose, J. Harada, H. Tamiaki, "Detection of 13²-carboxy-chlorin produced by the <i>in vitro</i> BciC enzymatic hydrolysis of zinc chlorophyllide," <i>Bioorg. Med. Chem. Lett.</i>, 40, 127931 (2021). M. Hirose, J. Harada, H. Maeda, H. Tamiaki, "Physicochemical and biochemical properties of synthetic zinc 13¹-(un)substituted chlorophyll-<i>a</i> derivative," <i>Tetrahedron</i>, 88, 132151 (2021). <p>国内学会</p> <ol style="list-style-type: none"> M. Hirose, J. Harada, H. Maeda, H. Tamiaki, "BciC enzymatic reactions of synthetic zinc 13¹-(un)substituted chlorophyll-<i>a</i> derivatives," SNCPP21, S-2/P-19 (オンライン, 2021年6月). M. Hirose, J. Harada, H. Maeda, H. Tamiaki, "Physico- and biochemical properties of synthetic zinc 13¹-(un)substituted chlorophyll-<i>a</i> derivatives," 21st Tetrahedron

Symposium, P2-41 (オンライン, 2021 年 6 月).

3. M. Hirose, M. Teramura, J. Harada, H. Tamiaki, "Elucidation of BciC enzymatic reaction mechanism," Pacificchem 2021 (オンライン, 2021 年 12 月).

国内学会

1. 廣瀬光了、原田二朗、民秋 均、「バクテリオクロロフィル *c, d, e* 分子の生合成経路で働く BciC 酵素反応機構の解明」、第 11 回日本光合成学会年会、1A-2(オンライン, 2021 年 5 月).

博士論文

該当なし

修士論文

該当なし

大型研究装置成果報告書

装置名	強力 X 線装置
研究責任者 (所属・役職・氏名)	生命科学部・教授・堤 治
研究テーマ	<ul style="list-style-type: none"> • 分子集積体の階層的構造制御技術の開発とそれに基づく高分子材料の多機能・高性能化（生命科学部応用化学科 堤治） • 新規光機能材料の創出（生命科学部応用化学科 小林洋一） • 新規 π 電子系の合成と超分子集合体の創製（生命科学部応用化学科 前田大光・羽毛田洋平） • 新規な機能性有機材料を設計・合成しその応用の可能性を探る（生命科学部応用化学科 花崎知則）
研究の概要	いろいろな有機・高分子材料に関して、分子レベルから巨視的レベルにおける各階層において精密に構造制御を行うことで革新的な性能・機能の創発を目指した研究を行った。本装置では、結晶中における分子構造（コンフォメーション）と分子のパッキング構造をナノメーターレベルで決定し、分子構造と分子凝集構造が材料物性に与える影響に関する知見を得た。
利用成果	<p>【原著論文（査読あり）】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Acridine N-Heterocyclic Carbene Gold(I) Compounds: Tuning from Yellow to Blue Luminescence, Moulali Vaddamanu, Arruri Sathyanarayana, Yamane Masaya, Shohei Sugiyama, Ozaki Kazuhisa, Kavitha Velappan, Muneshwar Nandeshwar, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, Ganesan Prabusankar, <i>Chem: Asian J.</i>, 16, 521–529 (2021); doi: 10.1002/asia.202001380 2. Single-component white-color photoluminescence from liquid crystal polymers: color tuning by a combination of luminescence thermo- and mechanochromism, Osama Younis, Osamu Tsutsumi, <i>Dyes and Pigments</i>, 188, 109189 (2021); doi: 10.1016/j.dyepig.2021.109189 3. Wideband reflection wavelength tuning by bending of cholesteric liquid crystal elastomer films, Masayuki Kishino, Norihisa Akamatsu, Ryo Taguchi, Shoichi Kubo, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, Atsushi Shishido, <i>J. Appl. Phys.</i>, 129, 164701 (2021); doi: 10.1063/5.0044216 4. Environmentally Stable Chiral-Nematic Liquid-Crystal Elastomers with Mechano-Optical Properties, Kyosun Ku, Kyohei Hisano, Seiya Kimura, Tomoki Shigeyama,

- Norihisa Akamatsu, Atsushi Shishido, Osamu Tsutsumi, *Appl. Sci.*, **11**, 5037 (2021); doi: 10.3390/app11115037
5. Mechano-optical Sensors Fabricated with Multilayered Liquid Crystal Elastomers Exhibiting Tunable Deformation Recovery, Kyohei Hisano, Seiya Kimura, Kyosun Ku, Tomoki Shigeyama, Norihisa Akamatsu, Atsushi Shishido, Osamu Tsutsumi, *Adv. Funct. Mater.*, 2104702 (2021); doi: 10.1002/adfm.202104702
 6. Fascinating Phenomena towards Single-Component White-Light Emission through Luminescent Thermochromism, Osama Younis, Hussain Sami, Yui Maruoka, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, *Dyes and Pigments*, **194**, 109621 (2021); doi: 10.1016/j.dyepig.2021.109621
 7. Liquid crystal polymers as luminescent coatings: Single-component white-light photoluminescence and corrosion inhibition, Osama Younis, Mohamed Abdel-Hakim, Marwa M. Sayed, Osamu Tsutsumi, Kamal I. Aly, *Journal of Luminescence*, **239**, 118361 (2021); doi: 10.1016/j.jlumin.2021.118361
 8. Aggregation-enhanced direct S_0-T_n transitions and room-temperature phosphorescence in gold(I)-complex single crystals, Akihiro Ando, Kazuhisa Ozaki, Urara Shiina, Eikichi Nagao, Kyohei Hisano, Kenji Kamada, Osamu Tsutsumi, *Aggregates*, e125 (2021), doi: 10.1002/agt2.125
 9. Effect of Crosslinkers on Optical and Mechanical Behavior of Chiral Nematic Liquid Crystal Elastomers, Kyosun Ku, Kyohei Hisano, Kyoko Yuasa, Tomoki Shigeyama, Norihisa Akamatsu, Atsushi Shishido, Osamu Tsutsumi, *Molecules*, **26**, 6193 (2021); doi: 10.3390/molecules26206193
 10. Gold(I) 1,2,3-Triazolylidene Complex Featuring the Interaction Between Gold and Methine Hydrogen, Mannem Adi Narayana, Moulali Vaddamanu, Arruri Sathyanarayana, Kumar Siddhant, Shohei Sugiyama, Ozaki Kazuhisa, Aravind Kumar Rengan, Kavitha Velappan, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, Ganesan Prabusankar, *Dalton Trans.*, **50**, 16514–16518 (2021); doi: 10.1039/D1DT02827H
 11. Negative Thermal Quenching of Photoluminescence from Liquid-Crystalline Molecules in Condensed Phase, Hussain Sami, Osama Younis, Yui Maruoka, Kenta Yamaguchi, Kumar Siddhant, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, *Crystals*, **11**, 1555 (2021); doi: 10.3390/crust11121555
 12. Excited-state dynamics of dipyrrolyldiketone difluoroboron complexes, Ryota Sato, Hajime Okajima, Shinya Sugiura, Yohei Haketa, Yusuke Kinoshita, Hitoshi Tamiaki, Akira Sakamoto, Hiromitsu Maeda, Yoichi Kobayashi, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **24**, 1685–1691 (2022); 10.1039/d1cp04804j.
 13. Self-assemblies of anionic-unit-introduced anion-responsive π -electronic molecules, Hiromitsu Maeda, Yohei Haketa, Tomoki Murata, Eriko Ohta, Tai

- Murata, Nobuhiro Yasuda, *Org. Biomol. Chem.*, **19**, 7369–7373 (2021); 10.1039/d1ob01094h.
14. Dianion complexes of pyrrole-based anion receptors: [2+1]-Type complexes that form ion-pairing assemblies; Ryohei Yamakado, Hiromitsu Maeda, *J. Porphyrins Phthalocyanines*, **25**, 1126–1132 (2021); 10.1142/S1088424621501078.
 15. Pyrrole-bridged quinones: π -electronic systems that modulate electronic structures by tautomerism and deprotonation, Shinya Sugiura, Hiromitsu Maeda, *Chem. Commun.*, **57**, 6983–6986 (2021); 10.1039/d1cc02691g.
 16. Ion-pairing π -electronic systems: ordered arrangement and noncovalent interactions of negatively charged porphyrins, Yoshifumi Sasano, Hiroki Tanaka, Yohei Haketa, Yoichi Kobayashi, Yukihide Ishibashi, Tatsuki Morimoto, Ryuma Sato, Yasuteru Shigeta, Nobuhiro Yasuda, Tsuyoshi Asahi, Hiromitsu Maeda, *Chem. Sci.*, **12**, 9645–9657 (2021); 10.1039/d1sc02260a.
 17. Dipyrrolyldiketone Pt^{II} Complexes: Ion-Pairing π -Electronic Systems with Various Anion-Binding Modes; Atsuko Kuno, Goki Hirata, Hiroki Tanaka, Yoichi Kobayashi, Nobuhiro Yasuda, Hiromitsu Maeda, *Chem. Eur. J.*, **27**, 10068–10076 (2021); 10.1002/chem.202100855.
 18. π -Electronic Ion-Pairing Assemblies of Deprotonation-Induced Anions, Nobuhiro Fumoto, Yohei Haketa, Hiroki Tanaka, Nobuhiro Yasuda, Hiromitsu Maeda, *Org. Lett.*, **23**, 3897–3901 (2021); 10.1021/acs.orglett.1c00996.
 19. Ground- and excited-state dynamic control of an anion receptor by hydrostatic pressure, Tomokazu Kinoshita, Yohei Haketa, Hiromitsu Maeda, Gaku Fukuhara, *Chem. Sci.*, **12**, 6691–6698 (2021); 10.1039/d1sc00664a.
 20. Photoisomerization-induced patterning of ion-pairing materials based on anionic azobenzene and its complex with fluorescent π -electronic system, Ryohei Yamakado, Issei Kitamura, Mitsuo Hara, Shusaku Nagano, Takahiro Seki, Hiromitsu Maeda, *Chem. Commun.*, **57**, 4287–4290 (2021); 10.1039/d0cc07640f.
 21. Syntheses and Physical Properties of Cationic BN-Embedded Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Hajime Gotoh, Soichiro Nakatsuka, Hiroki Tanaka, Nobuhiro Yasuda, Yohei Haketa, Hiromitsu Maeda, Takuji Hatakeyama, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **60**, 12835–12840 (2021); 10.1002/anie.202103488.
 22. Supramolecular Assemblies of Dipyrrolyldiketone Cu^{II} Complexes, Yohei Haketa, Hiromitsu Maeda, *Molecules*, **26**, 861 (2021); 10.3390/molecules26040861.
 23. Nitro-Substituted Dipyrrolyldiketone BF₂ Complexes as Electronic-State-Adjustable Anion-Responsive π -Electronic Systems, Atsuko Kuno, Hiromitsu Maeda, *Molecules*, **26**, 595 (2021); 10.3390/molecules26030595.

24. Conformation-Changeable π -Electronic Systems with Metastable Bent-Core Conformations and Liquid-Crystalline-State Electric-Field-Responsive Properties, Kazuto Nakamura, Shinya Sugiura, Fumito Araoka, Satoshi Aya, Yoichi Takanishi, Go Watanabe, Ryuma Sato, Yasuteru Shigeta, Hiromitsu Maeda, *Org. Lett.*, **23**, 305–310 (2021); DOI: 10.1021/acs.orglett.0c03791.
25. Excited-state dynamics of dipyrrolyldiketone difluoroboron complexes, Ryota Sato, Hajime Okajima, Shinya Sugiura, Yohei Haketa, Yusuke Kinoshita, Hitoshi Tamiaki, Akira Sakamoto, Hiromitsu Maeda, Yoichi Kobayashi, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2022**, 24, in press. DOI: 10.1039/d1cp04804j
26. Origin of the Anomalous Temperature Dependence of the Photochromic Reaction of Cu-Doped ZnS Nanocrystals, Yusuke Sanada, Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, *J. Phys. Chem. Lett.*, **2021**, 12, 8129–8133. DOI: 10.1021/acs.jpclett.1c02386
27. Dynamic spin-spin interaction observed as interconversion of chemical bonds in stepwise two-photon induced photochromic reaction, Katsuya Mutoh, Shota Toshimitsu, Yoichi Kobayashi, Jiro Abe, *J. Am. Chem. Soc.*, **2021**, 143, 13917–13928. DOI: 10.1021/jacs.1c06775
28. Dipyrrolyldiketone PtII Complexes: Ion-Pairing π -Electronic Systems with Various Anion-Binding Modes, Atsuko Kuno, Goki Hirata, Hiroki Tanaka, Yoichi Kobayashi, Nobuhiro Yasuda, Hiromitsu Maeda, *Chem. Euro. J.* **2021**, 27, 10068–10076. DOI: 10.1002/chem.202100855
29. Extending the lifetimes of charge transfer states generated by photoinduced heterolysis of photochromic radical complexes, Yasuki Kawanishi, Katsuya Mutoh, Jiro Abe, Yoichi Kobayashi, *Asian J. Org. Chem.* **2021**, 10, 891–900. DOI: 10.1002/ajoc.202100032

【総説等（査読あり）】

1. 荷電 π 電子系を構成ユニットとした集合体の創製, 山角和久, 杉浦慎哉, 田中宏樹, 前田大光, 有機合成化学協会誌, **80**, in press (2022).
2. Charged Porphyrins: π -Electronic Systems That Form Ion-Pairing Assembled Structures, Kazuhisa Yamasumi, Hiromitsu Maeda, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **94**, 2252–2262 (2021); DOI: 10.1246/bcsj.20210232.

【総説等（査読なし）】

1. ソフトロボット創製を目指したひずみセンサーの開発, 久野恭平, 堤治, *高分子*, **70**, 432–433 (2021)

【書籍】

1. 光応答性荷電 π 電子系集合体の設計, 山門陵平, 前田大光, 「刺激応答性高分子の開発動向」 CMC, 9 章, 113–119 (2021).

【特許】

1. 液晶高分子微粒子及び液晶高分子微粒子の製造方法, 出願人: 学校法人立命館, 発明者: 堤治, 久野恭平, 茂山友樹, 林聖大, 特願 2021-079160, 出願日: 2021 年 5 月 7 日
2. フォトルミネッセント材料として有用なポリマー, 出願人: 学校法人立命館, 発明者: 堤治, オサマ モハマド ユニス, 特許第 6918352 号, 登録日: 2021 年 7 月 27 日
3. 新規化合物, 出願人: JSR 株式会社, 学校法人立命館, 発明者: 中村一登, 大橋幸恵, 前田大光, 羽田野洋平, 上田健太郎, 特願 2021-097108, 出願日: 2021 年 6 月 10 日

【招待講演】

1. 柔軟な秩序体を利用する力の可視化, 堤治, 精密ネットワークポリマー研究会: ソフトクリスタルとネットワークポリマー, オンライン, 2021 年 6 月
2. Crystallization Dynamics of Au(I) Complexes Observed by Crystal-Structure-Sensitive Aggregation-Induced Room-Temperature-Phosphorescence, Osamu Tsutsumi, Yuki Kuroda, Kyohei Hisano, The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacificchem), オンライン, 2021 年 12 月
3. 「Ion-Pairing Materials of Charged π -Electronic Systems」, Hiromitsu Maeda, *The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies*, The Live Virtual Congress, December 16–21, 2021.
4. 「Pyrrole-Based Anion-Responsive π -Electronic Molecules: Assembly, Dynamic Behavior, Sensing, and Catalysis」, Hiromitsu Maeda, *The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies*, The Live Virtual Congress, December 16–21, 2021.
5. 「荷電 π 電子系のイオンペアリング集合化」, 前田大光, 大阪大学講演会, オンライン, 2021 年 5 月 21 日
6. Fast Photochromic Reactions of Zinc-Based Colloidal Nanocrystals, Yoichi Kobayashi, Third Indian Materials Conclave and 32nd Annual Meeting of MRSI, オンライン, 2021 年 12 月 20 日
7. Fast T-Type Photochromism of Colloidal Cu-Doped ZnS Nanocrystals, Yoichi Kobayashi, LIA/IRP NanoSynergetics seminar, オンライン, 2021 年 4 月 16 日

【国際会議発表】

1. Optical Properties of Cholesteric-Liquid-Crystal Elastomers with Precisely Controlled Molecular Orientation by Photopolymerization, Maki Yanagihara, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, 19th Optics of Liquid Crystals (OLC2021), オンライン, "2021/9/28, 29"
2. Aggregation Enhanced Room-Temperature Phosphorescence with Dual Emission from Rod-Like Gold(I) Complexes, Andriani Furoida, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, 19th Optics of Liquid Crystals (OLC2021), オンライン, 2021 年 9 月
3. Cholesteric-Liquid-Crystal Polymer Particles with Controlled Orientation of Helical Axis and Their Application to Deformation Analyses, Naoya Fukui, Tomoki Shigeyama, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi , 19th Optics of Liquid Crystals (OLC2021), オンライン, 2021 年 9 月
4. Control of molecular orientation response in liquid crystal elastomers with multi-layered system, Yudai Fuwa, Kyohei Hisano and Osamu Tsutsumi, 19th Optics of Liquid Crystals (OLC2021), オンライン, 2021 年 9 月
5. Super-Monodispersed Cholesteric-Liquid-Crystal Polymer Microparticles with Three-Dimensionally Controlled Molecular Orientation, Tomoki Shigeyama, Kyohei Hisano, and Osamu Tsutsumi, 19th Optics of Liquid Crystals (OLC2021), オンライン, 2021 年 9 月
6. Quantification of internal strain in bent silicone elastomers via selective reflection of cholesteric liquid crystals, Masayuki Kishino, Norihisa Akamatsu, Ryo Taguchi, Shoichi Kubo, Koyhei Hisano, Osamu Tsutsumi, Atsushi Shishido, 19th Optics of Liquid Crystals (OLC2021), オンライン, 2021 年 9 月
7. Fast and Slow Tuning of Molecular Recovery Response of Cholesteric Liquid Crystal Elastomers in Layered System, Kyohei Hisano, Seiya Kimura, Norihisa Akamatsu, Atsushi Shishido, Osamu Tsutsumi, 19th Optics of Liquid Crystals (OLC2021), オンライン, 2021 年 9 月
8. Control of molecular orientation in super-monodispersed polymer particles consist of cholesteric liquid crystals, Tomoki Shigeyama, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacificchem), オンライン, 2021 年 12 月
9. Structure-properties relationship in the luminescence of gold(I) isocyanide complexes, Andriani Furoida, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacificchem), オンライン, 2021 年 12 月
10. Two-dimensional control of helical axis orientation in cholesteric-liquid-crystal films, Yuki Shikata, Maki Yanagihara, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, The 2021

- International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem), オンライン, 2021 年 12 月
11. Rational Design and Control of Helical Axis Orientation in Cholesteric Liquid Crystals, Kyohei Hisano, Tomoki Shigeyama, Shohei Sugiyama, Maki Yanagihara, Osamu Tsutsumi, *The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem)*, オンライン, 2021 年 12 月
 12. Ion-Pairing Assemblies Based on Charged Porphyrins, Hiroki Tanaka, Hiromitsu Maeda, *The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies*, The Live Virtual Congress, December 16–21, 2021.
 13. Pyrrole-bridged quinones: π -electronic systems that modulate electronic structures by tautomerism and deprotonation, Shinya Sugiura, Hiromitsu Maeda, *The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies*, The Live Virtual Congress, December 16–21, 2021.
 14. Ion Pairing of Covalently Linked π -Electronic Cation Dimer, Kazuhisa Yamasumi and Hiromitsu Maeda, *Sixteenth International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP21)*, Online, June 21, 2021.
 15. Pyrrole-Bridged Quinones: π -Electronic Systems That Modulate Electronic Structures by Tautomerism and Deprotonation, Shinya Sugiura and Hiromitsu Maeda, *Sixteenth International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP21)*, Online, June 21, 2021.
 16. Noncovalent Interactions in π -Electronic Ion-Pairing Assemblies and Resulting Physical Properties, Hiroki Tanaka, Yoshifumi Sasano, Yohei Haketa, and Hiromitsu Maeda, *Sixteenth International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP21)*, Online, June 21, 2021.
 17. Self-Associating Anion-Responsive Molecules with π -Extended Anionic Unit, Yosuke Miyamoto, Yohei Haketa, and Hiromitsu Maeda, *Sixteenth International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP21)*, Online, June 21, 2021.
 18. Assemblies of Nitrogen-Containing π -Electronic Systems Derived from 1,3-Diketone Skeleton, Taichi Abiko and Hiromitsu Maeda, *Sixteenth International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP21)*, Online, June 21, 2021.
 19. Synthesis of Norcorroles with Assembling Ability, Soh Ishikawa and Hiromitsu Maeda, *Sixteenth International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP21)*, Online, June 21, 2021.

20. Porphyrin Zwitterions: Electronic Properties and Ordered Arrangement, Naoya Hiraishi, Yohei Haketa, and Hiromitsu Maeda, *Sixteenth International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP21)*, Online, June 21, 2021.
21. Peripheral Modifications of Charged Porphyrins as Building Units of Ion-Pairing Assemblies, Ryota Fujii and Hiromitsu Maeda, *Sixteenth International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP21)*, Online, June 21, 2021.
22. Ion-Pairing Assemblies of π -Electronic Cations Based on Heteroporphyrins, Masaki Fujita and Hiromitsu Maeda, *Sixteenth International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP21)*, Online, June 21, 2021.
23. Green and far-red-light induced electron injection from perylene bisimide to wide-bandgap semiconductor nanocrystals with stepwise two-photon absorption processVisible and Near Infrared Light Induced Electron Injection from Perylene Bisimide to ZnS Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process, Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, Photonics in Chemical Physics, Poster, September, 2021.
24. Origin of the Anomalous Temperature Dependence of the Photochromic Reaction of Cu-Doped ZnS Nanocrystals, Yusuke Sanada, Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, 11th Asian Photochemistry Conference, Poster, November, 2021.
25. Excited State Dynamics of Dipyrrolydiketone Difluoroboron Complexes, Ryota Sato, Shinya Sugiura, Yohei Haketa, Hiromitsu Maeda, Yoichi Kobayashi, 11th Asian Photochemistry Conference, Poster, November, 2021.
26. Visible and Far-Red Light Induced Electron Injection from Perylene Bisimide to Wide-Bandgap Semiconductor Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process, Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, 11th Asian Photochemistry Conference, Poster, November, 2021.
27. Visible and Near Infrared Light-Induced Electron Extraction from Perylene Bisimide to CdS Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process, Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, The 22nd Ries-Hokudai International Symposium, Poster, December, 2021.

【国内学会発表】

1. 「光と力を利用したキラル液晶高分子のらせん軸配向制御」, 不破雄大, 柳原真樹, 久野恭平, 堤治, 第 70 回高分子学会年次大会, オンライン, 2021 年 5 月

2. 「高分子分散型液晶エラストマーのメカノ・オプティカル挙動」, 中野葉, 久野恭平, 堤治, 第 70 回高分子学会年次大会, オンライン, 2021 年 5 月
3. 「単分散コレステリック液晶微粒子における分子配向の 3 次元精密制御」, 茂山友樹, 久野恭平, 堤治, 第 70 回高分子学会年次大会, オンライン, 2021 年 5 月
4. 「凝集誘起発光団を導入したエラストマーの力による発光挙動制御」, 正木里奈, 久野恭平, 堤治, 第 70 回高分子学会年次大会, オンライン, 2021 年 5 月
5. 「光強度勾配を利用したキラル液晶高分子の精密分子配向制御」, 四方優輝, 久野恭平, 堤治, 第 70 回高分子学会年次大会, オンライン, 2021 年 5 月
6. 「コレステリック液晶エラストマー微粒子の合成」, 林聖大, 茂山友樹, 久野恭平, 堤治, 第 70 回高分子学会年次大会, オンライン, 2021 年 5 月
7. 「光重合によるコレステリック液晶エラストマーのらせん軸の精密配向制御」, 柳原真樹, 久野恭平, 堤治, 第 70 回高分子学会年次大会, オンライン, 2021 年 5 月
8. 「キラル液晶高分子微粒子をプローブとした変形解析」, 福井直弥, 茂山友樹, 久野恭平, 堤治, 第 70 回高分子学会年次大会, オンライン, 2021 年 5 月
9. 「コレステリック液晶高分子の多次元分子配向制御技術と光学・力学機能」, 久野恭平, 茂山友樹, 柳原真樹, 堤治, 第 70 回高分子学会年次大会, オンライン, 2021 年 5 月
10. Investigation of Mechanism for Styrene Polymerization Initiated by Stable Aryl Radicals Catalytically Generated in Interlayer Space of Clays, Kyohei Hisano, Yugo Okada, Osamu Tsutsumi, Fuminao Kishimoto, 第 70 回高分子学会年次大会, オンライン, 2021 年 5 月
11. 「液晶モノマーの光重合によって形成される新奇な周期構造」, 四方優輝, 久野恭平, 堤治, 第 70 回高分子討論会, オンライン, 2021 年 9 月
12. 「分子配向を精密制御した単分散架橋液晶高分子微粒子の合成と機能」, 林聖大, 茂山友樹, 久野恭平, 堤治, 第 70 回高分子討論会, オンライン, 2021 年 9 月
13. 「キラルネマチック液晶微粒子をプローブとした変形解析」, 福井直弥, 茂山友樹, 林聖大, 久野恭平, 堤治, 第 70 回高分子討論会, オンライン, 2021 年 9 月
14. 「光重合により誘起されるキラルネマチック液晶高分子の高次構造と力・光学機能」, 柳原真樹, 久野恭平, 堤治, 第 70 回高分子討論会, オンライン, 2021 年 9 月

15. 3-Dimensional Alignment Control of Chiral-Nematic-Liquid-Crystal in Monodispersed Microparticles, Tomoki Shigeyama, Kyohei Hisano, Osamu Tsutsumi, 第 70 回高分子討論会, オンライン, 2021 年 9 月
16. 「光重合により分子配向を制御したコレステリック液晶エラストマーの力・光学機能」, 柳原真樹, 久野恭平, 堤治, 2021 年日本液晶学会討論会, オンライン, 2021 年 9 月
17. 「高分子キラルネマチック液晶微粒子中のらせん軸配向形成メカニズム」, 茂山友樹, 久野恭平, 堤治, 2021 年日本液晶学会討論会, オンライン, 2021 年 9 月
18. 「コレステリック液晶エラストマーの湾曲による広帯域反射光波長制御」, 岸野真之, 赤松範久, 田口諒, 久保祥一, 久野恭平, 堤治, 宮戸厚, 2021 年日本液晶学会討論会, オンライン,
19. 「分子配向を精密に制御した単分散架橋高分子液晶微粒子の合成と機能」, 林聖大, 茂山友樹, 久野恭平, 堤治, 2021 年日本液晶学会討論会, オンライン, 2021 年 9 月
20. 「液晶モノマーの光重合により誘起される新奇な周期構造」, 四方優輝, 久野恭平, 堤治, 2021 年日本液晶学会討論会, オンライン, 2021 年 9 月
21. 「凝集誘起性メソゲンを組み込んだ主鎖型液晶エラストマーの発光挙動」, 正木里奈, 久野恭平, 堤治, 2021 年日本液晶学会討論会, オンライン, 2021 年 9 月
22. 「分子配向が精密制御された単分散高分子液晶微粒子への架橋構造の導入と機能評価」, 林聖大, 茂山友樹, 久野恭平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン, 2021 年 10 月
23. 「主鎖型コレステリック液晶高分子の機械-光学特性とひずみセンシングへの応用」, 中野葉, 久野恭平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン, 2021 年 10 月
24. 「単分散キラルネマチック液晶微粒子内の三次元分子配向」, 茂山友樹, 久野恭平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン, 2021 年 10 月
25. 「単分散キラルネマチック液晶微粒子内の三次元分子配向」, 茂山友樹, 久野恭平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン, 2021 年 10 月
26. 「主鎖型エラストマーに組み込まれた凝集誘起発光団の発光挙動」, 正木里奈, 久野恭平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン, 2021 年 10 月
27. 「粘土層間に生成する安定ラジカルを用いた新規ラジカル重合系の開発」, 岡田悠吾, 久野恭平, 岸本史直, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021,

- オンライン, 2021 年 10 月
28. 「キラルネマチック液晶エラストマーにおける分子配向制御と力・光学機能」, 柳原真樹, 久野恭平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン, 2021 年 10 月
 29. 「種々の置換基を有する三核金錯体の液晶性と凝集誘起発光」, 山口健太, 久野恭平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン, 2021 年 10 月
 30. 「凝集誘起発光現象を利用した三核金錯体の結晶化過程の解明」, 椎名麗, 久野恭平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン, 2021 年 10 月
 31. 「三核金錯体の光結晶化」, 若狭耀生, 久野恭平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン,
 32. 「光強度勾配により誘起される周期的な分子配向構造」, 四方優輝, 久野恭平, 堤治, 第 11 回 CSJ 化学フェスタ 2021, オンライン, 2021 年 10 月
 33. 「環状三核金錯体の発光特性および液晶性に及ぼす置換基効果」, 山口健太, 久野恭平, 堤治, 錯体化学会第 71 回討論会, オンライン, 2021 年 9 月
 34. 「環状三角金錯体の光による結晶成長制御」, 若狭耀生, 久野恭平, 堤治, 錯体化学会第 71 回討論会, オンライン,
 35. 「三核金(I)錯体の凝集誘起発光現象を利用した結晶成長ダイナミクスの観察」, 椎名麗, 久野恭平, 堤治, 錯体化学会第 71 回討論会, オンライン, 2021 年 9 月
 36. 「ピロールユニットを基盤としたキノンの合成と開殻系への展開」, 杉浦慎哉, 前田大光, 日本化学会 第 102 春季年会, オンライン, 2022 年 3 月 23–26 日
 37. 「活性化された荷電 π 電子系のイオンペア集合化」, 田中宏樹, 前田大光, 日本化学会 第 102 春季年会, オンライン, 2022 年 3 月 23–26 日
 38. 「アニオン応答性部位を有する直交型 π 電子系の合成」, 津田栄里, 羽毛田洋平, 前田大光, 日本化学会 第 102 春季年会, オンライン, 2022 年 3 月 23–26 日
 39. 「ヒュスゲン環化付加によるアニオン応答性 π 電子系の合成とイオンペア集合化」, 西村忠紘, 羽毛田洋平, 前田大光, 日本化学会 第 102 春季年会, オンライン, 2022 年 3 月 23–26 日
 40. 「側鎖に硫黄ユニットを導入したアニオン応答性 π 電子系の合成」, 前田大光, 岡田歩偉, 羽毛田洋平, 日本化学会 第 102 春季年会, オンライン, 2022 年 3 月 23–26 日
 41. 「非平面構造を誘起するアニオン応答性 π 電子系の合成とイオンペア集合化」, 前田大光, 釣崎梨央, 羽毛田洋平, 日本化学会 第 102 春季年会, オン

	ライン, 2022 年 3 月 23–26 日
42.	「金属錯化によるらせん状荷電 π 電子系の合成」, 前田大光, 橋本遥加, 羽毛田洋平, 日本化学会 第 102 春季年会, オンライン, 2022 年 3 月 23–26 日
43.	「立体障害を軽減した荷電ポルフィリンの合成」, 前田大光, 橋本祐也, 田中宏樹, 羽毛田洋平, 日本化学会 第 102 春季年会, オンライン, 2022 年 3 月 23–26 日
44.	「両親媒性ポルフィリン Au^{III} 錯体を基盤としたイオンペア集合体の創製」, 前田大光, 丸山優斗, 田中宏樹, 羽毛田洋平, 日本化学会 第 102 春季年会, オンライン, 2022 年 3 月 23–26 日
45.	「 π 電子系を拡張したアニオン応答性ジピロリルジケトン Pt^{II} 錯体の合成」, 前田大光, 村上優, 羽毛田洋平, 日本化学会 第 102 春季年会, オンライン, 2022 年 3 月 23–26 日
46.	「ピロール架橋キノンの π 拡張」, 前田大光, 森未来, 杉浦慎哉, 日本化学会 第 102 春季年会, オンライン, 2022 年 3 月 23–26 日
47.	「分子内相互作用により安定化した π 電子系アニオンの周辺修飾」, 前田大光, 横山未結, 羽毛田洋平, 日本化学会 第 102 春季年会, オンライン, 2022 年 3 月 23–26 日
48.	「含窒素非平面型 π 電子系の自己組織化」, 安孫子太一, 羽毛田洋平, 前田大光, 基礎有機化学会 若手オンラインシンポジウム (第 1 回), オンライン, 2021 年 11 月 19 日
49.	「荷電 π 電子系の規則配列と物性」, 田中宏樹, 羽毛田洋平, 前田大光, 基礎有機化学会 若手オンラインシンポジウム (第 1 回), オンライン, 2021 年 11 月 19 日
50.	「ヘテロポルフィリンを基盤とした π 電子系カチオンのイオンペア集合化」, 藤田雅輝, 前田大光, 第 31 回基礎有機化学討論会, オンライン, 2021 年 9 月 21–23 日
51.	「集合化能を有するノルコロールの合成」, 石川壯, 羽毛田洋平, 前田大光, オンライン, 2021 年 9 月 21–23 日
52.	「1,3-ジケトン骨格から誘導される含窒素湾曲 π 電子系」, 安孫子太一, 前田大光, 第 31 回基礎有機化学討論会, オンライン, 2021 年 9 月 21–23 日
53.	「 π 電子系イオン共有結合 2 量体のイオンペア形成」, 山角和久, 前田大光, 第 31 回基礎有機化学討論会, オンライン, 2021 年 9 月 21–23 日
54.	「ポルフィリン双性イオン:電子物性と規則配列」, 平石直也, 羽毛田洋平, 前田大光, 第 31 回基礎有機化学討論会, オンライン, 2021 年 9 月 21–23 日
55.	「 π 電子系イオンペア集合体の規則配列と物性」, 田中宏樹, 羽毛田洋平, 前田大光, 第 31 回基礎有機化学討論会, オンライン, 2021 年 9 月 21–23 日
56.	「ジピロリルジケトンフッ化ホウ素錯体の励起状態ダイナミクス」, 佐藤

- 亮太・杉浦慎哉・羽毛田洋平・前田大光・小林洋一, 第 31 回基礎有機化学討論会, オンライン, 2021 年 9 月 21–23 日
57. 「ピロール架橋型キノン:互変異性とイオンペア集合体」, 杉浦慎哉・前田大光, 第 31 回基礎有機化学討論会, オンライン, 2021 年 9 月 21–23 日
58. 「互変異性による物性制御を可能とするピロール架橋キノンの合成」, 杉浦慎哉, 前田大光, 第 41 回有機合成若手セミナー, オンライン, 2021 年 8 月 4 日
59. 「アニオン認識超分子センサーの静水圧による動的制御」, 木下智和, 羽毛田洋平, 前田大光, 福原学, 第 18 回 ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム, オンライン, 2021 年 6 月 26–27 日
60. 「ピロール架橋型キノン:互変異性とイオンペア集合体」, 杉浦慎哉, 前田大光, 第 18 回 ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム, オンライン, 2021 年 6 月 26–27 日
61. 「 π 電子系イオンペア集合体における非共有結合相互作用と物性」, 田中宏樹, 羽毛田洋平, 前田大光, 第 18 回 ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム, オンライン, 2021 年 6 月 26–27 日
62. 「ポルフィリン双性イオン:電子物性と規則配列」, 平石直也, 羽毛田洋平, 前田大光, 第 18 回 ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム, オンライン, 2021 年 6 月 26–27 日
63. 「 π 電子系カチオン共有結合 2 量体のイオンペア形成」, 山角和久, 前田大光, 第 18 回 ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム, オンライン, 2021 年 6 月 26–27 日
64. 「ヘテロポルフィリンを基盤とした π 電子系カチオンのイオンペア集合化」, 藤田雅輝, 前田大光, 第 18 回 ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム, オンライン, 2021 年 6 月 26–27 日
65. 「イオンペア集合体の構成ユニットとなる荷電ポルフィリンの周辺修飾」, 藤井良多, 前田大光, 第 18 回 ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム, オンライン, 2021 年 6 月 26–27 日
66. 「集合化能を有するノルコロールの合成」, 石川壮, 前田大光, 第 18 回 ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム, オンライン, 2021 年 6 月 26–27 日
67. 「1,3-ジケトン骨格から誘導される含窒素 π 電子系の集合化」, 安孫子太一, 前田大光, 第 18 回 ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム, オンライン, 2021 年 6 月 26–27 日
68. 「可視及び近赤外光の段階的二光子吸収過程によるペリレンビスイミドから ZnS 半導体ナノ結晶への電子注入」, 吉岡大祐, 小林洋一, 2021 年第 40 回固体・表面光化学討論会, 口頭 2021 年 12 月 1 日.
69. 「Visible and Near Infrared Light Induced Electron Injection from Perylene

- Bisimide to ZnS Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process」, Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi, 2021 年 web 光化学討論会, 口頭, 2021 年 9 月 16 日.
70. 「T-type Photochromism of ZnO Nanocrystals」, Hiroki Ito, Yoichi Kobayashi, 2021 年 web 光化学討論会, ポスター, 2021 年 9 月 16 日.
 71. 「Mechanistic Studies on Temperature Dependence of Photochromism of Cu-Doped ZnS Nanocrystals」, Yusuke Sanada, Yoichi Kobayashi, ポスター, 2021 年 web 光化学討論会, 2021 年 9 月 14 日.
 72. 「ペリレンビスイミド誘導体の高次励起状態ダイナミクス」, 福田大樹, 小林洋一, 2021 年 web 基礎有機化学討論会, ポスター, 2021 年 9 月 22 日.

【その他】

1. 新聞報道 : 堤治, 「キラル液晶エラストマーフィルム実証」, 電波新聞, 2021 年 10 月 28 日, 8 面

【博士論文】

1. KU Kyosun, Strain Sensing by Means of Mechano-optical Response of Cholesteric Liquid Crystal Elastomers, 博士 (工学), 2021 年 9 月
2. HUSSAIN Sami, Photoluminescence Behavior of Rod-like Liquid-crystalline Molecules with Biphenylacetylene Core in Condensed Phases, 博士 (工学), 2022 年 3 月

【修士論文】

1. ANDRIANI Furuida, Aggregation-Induced Emission from Au(I) Complexes Having Rod-Like Mesogenic Unit of Two-Ring System, 修士 (理学), 2022 年 9 月
2. 木村聰希, ゼオライト細孔を利用した有機分子の発光制御, 修士 (工学), 2022 年 3 月
3. 林聖大, Synthesis and Properties of Monodispersed Cross-Linked Liquid-Crystalline Polymer Particles with Controlled Molecular Orientation, 修士 (工学), 2022 年 3 月
4. 正木里奈, 凝集誘起発光団を組み込んだエラストマーの変形による発光挙動変化, 修士 (工学), 2022 年 3 月
5. 柳原真樹, 分子配向制御したコレステリック液晶エラストマーの光学特性, 修士 (工学), 2022 年 3 月
6. 山口健太, 環状三核金錯体の液晶性と発光特性におよぼす置換基効果, 修士 (工学), 2022 年 3 月

7. 小松海風, リン光発光を示すアニオン応答性 π 電子系のイオンペア集合体, 修士 (理学 立命館大学), 2022 年 3 月
8. 津田栞里, アニオン応答性部位を有する直交型 π 電子系の合成, 修士 (理学 立命館大学), 2022 年 3 月
9. 西村忠紘, ヒュスゲン環化付加によるアニオン応答性 π 電子系の合成とイオンペア集合化, 修士 (理学 立命館大学), 2022 年 3 月
10. 宮本耀介, アニオン性ユニットを導入したアニオン応答性 π 電子系の自己会合, 修士 (理学 立命館大学), 2022 年 3 月
11. 川西康貴, カルバゾール骨格を用いたフォトクロミックラジカル複合体の合成と光物性, 修士 (工学 立命館大学), 2022 年 3 月
12. 福田大樹, ペリレニル基を置換したペリレンビスイミド誘導体の合成と励起状態ダイナミクス, 修士 (工学 立命館大学), 2022 年 3 月
13. 吉岡大祐, ペリレンビスイミドが配位した半導体ナノ結晶の合成と電子移動ダイナミクス, 修士 (工学 立命館大学), 2022 年 3 月

大型研究装置成果報告書

装置名	核磁気共鳴装置 (ECZ500)
研究責任者 (所属・役職・氏名)	薬学部・准教授・古徳直之
研究テーマ	<ul style="list-style-type: none"> ・持続可能な合成手法の開発と有用物質の創製研究 (薬学部創薬科学科 土肥寿文) ・薬用植物の多様性の解析と応用 (薬学部薬学科 林宏明) ・有機合成化学を基盤としたケミカルバイオロジー研究 (薬学部薬学科 古徳直之)
研究の概要	<p>NMRは有機化合物の構造解析において必須の分析手法であり、本装置は以下の研究において、合成化合物の構造決定および天然物の同定などに利用した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・環境調和と持続可能性を志向した有機合成法の開発研究の一環として、ヨウ素超原子価種が示す遷移金属様の反応挙動に着目した革新的な有機化学的手法の独自開発、およびそれらを用いた医農薬中間体や機能性有機分子の創出を目指した研究を行なった。 ・カンゾウやマオウなどの薬用植物に関する有効成分含量や成分組成解析、および生理活性に関する構造活性相関研究を指向した含有成分の単離・構造解析を行なった。 ・新規医薬リード化合物の創製、および未知の生命現象開拓につながるツール分子の開拓を指向して、生物活性天然物を基盤とした全合成研究および創薬化学研究、ならびにそれら化合物の作用メカニズムを解明するためのケミカルバイオロジー研究を行なった。
利用成果	<p>原著論文</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) K. Kikushima, K. Matsuki, Y. Yoneda, T. Menjo, K. Kaneko, T. Hanasaki, T. Dohi, Polyfluoroarene-capped thiophene derivatives via fluoride-catalyzed nucleophilic aromatic substitution. <i>Heterocycles</i>, 2021, 103(2), 878-892. (Prof. Kita's Special Issue) 2) K. Kikushima, H. Koyama, K. Kodama, T. Dohi, Nucleophilic aromatic substitution of polyfluoroarene to access highly functionalized 10-phenylphenothiazine derivatives. <i>Molecules</i>, 2021, 26(5), 1365-1378. (Special Issue: 25th Anniversary of Molecules - Recent Advances in Organic Synthesis) 3) T. Shoji, K. Fukushima, T. Menjo, Y. Yamada, T. Hanasaki, K. Kikushima, N. Takenaga, T. Dohi, Triflimide-promoted nucleophilic

- C-arylation of halopurines to access N^7 -substituted purine biaryls. *Chem. Pharm. Bull.*, 2021, 69(9), 886-891.
- 4) T. Kamitanaka, K. Tsunoda, Y. Fujita, T. Dohi, Y. Kita, [3+2] Coupling of quinone monoacetals with vinyl ethers effected by tetrabutylammonium triflate: Regiocontrolled synthesis of 2-oxygenated dihydrobenzofurans. *Org. Lett.*, 2021, 23(23), 9025-9029.
 - 5) H. Sasa, K. Mori, K. Kikushima, Y. Kita, T. Dohi, μ -Oxo hypervalent iodine-catalyzed oxidative C-H amination for synthesis of benzolactam derivatives. *Chem. Pharm. Bull.*, 2022, 70(2), in press.
 - 6) Kabe Y, Koike I, Yamamoto T, Hirai M, Kanai A, Furuhata R, Tsugawa H, Harada E, Sugase K, Hanadate K, Yoshikawa N, Hayashi H, Noda M, Uchiyama S, Yamazaki H, Tanaka H, Kobayashi T, Handa H, Suematsu M, Glycyrrhizin derivatives suppress cancer chemoresistance by inhibiting progesterone receptor membrane component 1. *Cancers* **13**, Article 3265, (2021) doi: 10.3390/cancers13133265
 - 7) Baba M, Ito M, Cloning of the cytochrome P450 enzyme from Perilla frutescens involved in nothoapiole biosynthesis. *J. Nat. Med.* **75** (3), 577-589 (2021) doi: 10.1007/s11418-021-01503-3
 - 8) Nose M, Hisaka S, Tsuge A, Hayashi H, Effect of glucoglycyrrhizin on IgE-mediated immediate hypersensitivity in mice. *J. Nat. Med.* **75** (4), 994-997 (2021) doi: 10.1007/s11418-021-01523-z
 - 9) H. Matsumoto, T. Hisa, K. Toda, R. Ishida, A. Setiawan, M. Arai, N. Kotoku, Fasciospyrinadinone and Fasciospyrinadinol, Novel 3-Alkylpyridine Sesquiterpenoids from an Indonesian Marine Sponge, as Selective Growth Inhibitors of the Cancer Cells under Nutrient Starvation. *Heterocycles*, 2021, 103(2), 878-892. (Prof. Kita's Special Issue)
 - 10) Y. Sumii, K. Kamiya, T. Nakamura, K. Tanaka, T. Kaji, J. Mukomura, N. Kotoku, M. Arai, Study of the Structure-Activity Relationship of an Anti-Dormant Mycobacterial Substance 3-(Phenethylamino)Demethyl(oxy)aaptamine to Create a Probe Molecule for Detecting Its Target Protein. *Marine Drugs*, 2022, 20(2), 98. doi: 10.3390/md20020098

総説

- 1) N. Takenaga, H. China, R. Kumar, T. Dohi, Azido, cyano, nitrato cyclic hypervalent iodine(III) reagents in heterocycle synthesis. *Heterocycles*

- 2021, 103, 144-164. (Prof. Kita's Special Issue)
- 2) R. Kumar, F. V. Singh, N. Takenaga, T. Dohi, Asymmetric direct/stepwise dearomatization reactions involving hypervalent iodine reagents. *Chem.-Asian J.* 2022, 17, in press (Feature Cover).
 - 3) Rimi, S. Soni, B. Uttam, H. China, T. Dohi, V. V. Zhdankin, R. Kumar, Recyclable hypervalent iodine reagents in modern organic synthesis. *Synthesis* 2022, 54, in press.

著書

- 1) T. Dohi, Y. Kita, "Catalytic and Asymmetric Dearomatization Reactions Employing Hypervalent Iodine Reagents" in *Iodine Catalysis in Organic Synthesis* (Eds: Kazuaki Ishihara and Kilian Muniz), John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK (2022).
- 2) H. China, T. Dohi, R. Kumar, "Comprehensive Chemistry for Electrochemical Enzyme Biosensors" in *Multifaceted Bio-sensing Technology* (Eds: Smita S Kumar, Lakhveer Singh, Durga Madhab Mahapatra), Elsevier, Amsterdam, Netherland (2022).

学会発表(国内)

- 1) 「SNAr 反応を利用したプリン骨格を有する新規ビアリール化合物の合成」、共同発表、第 118 回有機合成シンポジウム (2021 年 6 月)
- 2) 「芳香族求核置換反応を活用する多置換フェニルフェノチアジン誘導体の合成」、共同発表、第 118 回有機合成シンポジウム (2021 年 6 月)
- 3) 「有機光触媒として作用するフェニルフェノチアジン誘導体のメタルフリー合成」、共同発表、第 10 回 JACI/GSC シンポジウム、神戸 (2021 年 6 月)
- 4) 「トリメトキシフェニルヨードニウム (III) アセタートを用いたジアリールエーテルの効率的合成法」、共同発表、第 10 回 JACI/GSC シンポジウム、神戸 (2021 年 6 月)
- 5) 「超原子価ヨウ素触媒を用いた脱芳香族スピロラクタム化反応：電解反応への展開」、共同発表、第 10 回 JACI/GSC シンポジウム、神戸 (2021 年 6 月) (GSC ポスター賞)
- 6) 「超原子価ヨウ素反応剤を用いたエナミンの酸化的カップリングによる 1,4-ジカルボニル化合物の合成」、共同発表、第 41 回 有機合成若手セミナー、オンライン (2021 年 8 月)

- 7) 「高反応性トリメトキシフェニルヨードニウム塩によるフェノール類の効率的O—アリール化反応」、共同発表、第41回 有機合成若手セミナー、オンライン（2021年8月）（優秀研究発表賞）
- 8) 「Aryl(TMP)iodonium acetate as a chemospecific aryl transfer reagent to sulfonamides」、共同発表、第71回 日本薬学会関西支部大会、近畿大学（2021年10月）
- 9) 「フルオロカルボン酸類とジアリールヨードニウム塩の反応による含フッ素化合物の新規合成法」、共同発表、第71回 日本薬学会関西支部大会、近畿大学（2021年10月）
- 10) 「ジアリールヨードニウム塩を用いる含フッ素β—ケト酸誘導体の脱炭酸型アリール化反応」、共同発表、第71回 日本薬学会関西支部大会、近畿大学（2021年10月）
- 11) 「ジアリールヨードニウム塩を用いたベンズアミド類のN—及びO—アリール化反応」、共同発表、第71回 日本薬学会関西支部大会、近畿大学（2021年10月）
- 12) 「化学的および電解酸化条件による超原子価ヨウ素触媒脱芳香族スピロラクタム化反応」、共同発表、第54回 酸化反応討論会、東北大学（2021年10月）
- 13) 「高反応性ジアリールヨードニウム塩を用いた効率的O—アリール化反応」、共同発表、第119回 有機合成シンポジウム、オンライン（2021年11月）
- 14) 「TMP—ヨードニウム塩を用いるジフルオロ酢酸誘導体のアリール化反応」、共同発表、第119回 有機合成シンポジウム、オンライン（2021年11月）
- 15) 「アンモニウム塩を用いたイミノキノンモノアセタールの活性化によるオルト置換アニリン誘導体と多置換インドールの効率的合成」、共同発表、日本薬学会 第142年会、オンライン（2022年3月）
- 16) 「ジアリールヨードニウム塩による非環状アミド類の選択的N—及びO—アリール化反応」、共同発表、日本薬学会 第142年会、オンライン（2022年3月）
- 17) 「トリメトキシフェニルヨードニウム(III)アセタートを用いたスルホンアミドのN—アリール化反応」、共同発表、日本薬学会 第142年会、オンライン（2022年3月）
- 18) 「トリメトキシフェニルヨードニウム(III)塩を用いた芳香環への脱炭酸型ジフルオロカルボニル基導入」、共同発表、日本薬学会 第142年会、オンライン（2022年3月）

- 19) 「メチルヨードニウム塩（III）を用いたスルフィドのアリール化による芳香族スルホニウム塩の合成」、共同発表、日本薬学会 第142年会、オンライン（2022年3月）
- 20) 「高反応性ジアリールヨードニウム塩を用いるヘテロ原子求核剤のメタルフリーアリール化」、共同発表、日本薬学会 第142年会、オンライン（2022年3月）
- 21) 「超原子価ヨウ素触媒を用いる酸化的芳香環C-Nカップリング反応：電解触媒への応用」、共同発表、日本薬学会 第142年会、オンライン（2022年3月）
- 22) 馬場まり子、白川実咲、林宏明、Shukurova Musavvara、Fattokhov Inoyat、Saidov Madibron：タジキスタン産マオウにおける非アルカリイド成分の分析、日本薬学会第142年会（名古屋、Web開催）2022年3月
- 23) 堀江あゆみ、馬場まり子、林宏明：グリチルリチン酸生合成変異83-555-2系統の成分解析、日本薬学会第142年会（名古屋、Web開催）2022年3月
- 24) 中谷有輝、木俣智世、古徳直之：
3-(phenethylamino)demethyl(oxy)aaptamine の全合成、日本薬学会第142年会（名古屋、Web開催）2022年3月

学会発表（国際）

- 1) “Efficient arylation of oxygen nucleophiles through diaryliodonium(III) intermediates” 共同発表, CSJ, Pacificchem 2021, Hawaii (online). (2021年12月)
- 2) “Efficient synthesis of diaryl ethers using trimethoxyphenyl (TMP) diaryliodonium(III) acetates” 共同発表, CSJ, Pacificchem 2021, Hawaii (online). (2021年12月)
- 3) “Selective arylation using diaryliodonium(III) salts bearing ortho-substituted dummy aryl ligand” 共同発表, CSJ, Pacificchem 2021, Hawaii (online). (2021年12月)
- 4) “Aryl phenothiazine derivatives through nucleophilic aromatic substitution toward polyfluoroarenes” 共同発表, CSJ, Pacificchem 2021, Hawaii (online). (2021年12月)
- 5) “Anodically generated μ -oxo hypervalent iodine catalyst for oxidative dearomatizing reaction” 共同発表, CSJ, Pacificchem 2021, Hawaii (online). (2021年12月)
- 6) “Synthesis of new uracil derivatives through the generation of

- “uracilyne”” 共同発表, CSJ, Pacifichem 2021, Hawaii (online). (2021 年 12 月)
- 7) “Oxidative cross-coupling of silyl enolates with enamines using hypervalent iodine reagent” 共同発表, CSJ, Pacifichem 2021, Hawaii (online). (2021 年 12 月)
 - 8) “Efficient synthesis of highly functionalized anilines and indoles by mild activation methods of iminoquinone monoacetals” 共同発表, CSJ, Pacifichem 2021, Hawaii (online). (2021 年 12 月)
 - 9) “Efficient arylation of halopurines and related electrophiles facilitated by Brønsted acid in fluoroalcohols” 共同発表, CSJ, Pacifichem 2021, Hawaii (online). (2021 年 12 月)
 - 10) “Catalytic application of 2-iodosobenzoic acid for selective p-quinone synthesis” 共同発表, CSJ, Pacifichem 2021, Hawaii (online). (2021 年 12 月)
 - 11) “Synthesis of anti-mycobacterial 3-(2-arylethylamino)quinolines inspired by marine natural product” J. Mukomura, H. Nonaka, K. Nishioka, H. Sato, M. Arai, N. Kotoku, AIMECS2021, Tokyo (online). (2021 年 11 月)
 - 12) “Synthesis and biological evaluation of novel analogs of arenastatin A by late-stage functionalization” K. Hatta, M. Kishimoto, Y. Mihara, N. Kotoku. AIMECS2021, Tokyo (online). (2021 年 11 月)

- ・学位論文タイトル (博士、修士)
(博士・薬学)
- ・酸素架橋型超原子価ヨウ素触媒を用いる芳香環への効率的ヘテロ原子導入反応の開発
(修士・薬科学)
- ・芳香族求電子置換反応による含フッ素フェニルフェノチアジン誘導体の合成研究
 - ・オルト含フッ素アルコキシフェニルヨードニウム塩の選択的カップリング反応の開発
 - ・ヨードソ安息香酸/Oxone®反応系によるアルコキシアレーン類のパラ位選択的酸化反応の開発
 - ・海洋天然物を基盤とした新規抗結核薬リード化合物の合成

大型研究装置成果報告書

装置名	レクセル共同利用施設
研究責任者 (所属・役職・氏名)	薬学部・教授・藤田 卓也
研究テーマ	非密封 RI を用いた薬物動態研究 GLP-1 による骨格筋細胞株 C2C12 における中性アミノ酸輸送システム L の輸送活性調節機構に関する研究
研究の概要	<p>1. GLP-1 による骨格筋細胞株 C2C12 における中性アミノ酸輸送システム L の輸送活性調節機構に関する研究</p> <p>本研究では、BCAA の輸送に関わる system L (Na⁺ 非依存性中性アミノ酸トランスポーター LATs) に着目し、マウス横紋筋細胞 C2C12 を用いて system L を介した leucine の輸送特性と活性調節機構を検討した。C2C12 細胞における [3H]leucine の輸送において、Na⁺ 依存性は認められず、leucine 濃度依存的に取り込み量が増大し、一定濃度以上で飽和性を示した。速度論的解析の結果、[14C]leucine の取り込みには二相性が見られることが確認された。System L アミノ酸トランスポーターの分子種を特定するため RT-PCR を行ったところ、C2C12 細胞には LAT1 および LAT3 mRNA の発現が認められた。GLP-1 を 4 時間処理することにより、Na⁺ 非依存的 [3H]leucine の取り込みは上昇したが、24 時間処理ではその取り込みの上昇が認められなかった。また、RT-qPCR により LAT1 mRNA の発現を検討したところ、GLP-1 処理 8 時間までは若干の増大が認められたが、24 時間では対照群と差異が認められなかった。</p>
利用成果	<p>論文</p> <p>1. Chikage Iida, Yuki Kawasaki, Ryosuke Negoro, Yusuke Kono, Takuya Fujita. Regulation of system L amino acid transporters by glucagon in C2C12 cells. In preparation.</p>
研究責任者 (所属・役職・氏名)	薬学部・教授・桂 敏也
研究テーマ	非密封 RI を用いた薬物動態研究 関節炎モデルマウスにおける薬物代謝酵素/薬物トランスポーターの発現および機能の変動
研究の概要	関節リウマチ患者では薬物の体内動態が変動することが知られており、このメカニズムとして炎症が薬物代謝酵素や薬物トランスポーターの発現を変動させていると考えられている。しかし、機能に直接影響する発現変動に

	<p>について詳細は不明である。そこで本研究では、関節リウマチのモデルである抗コラーゲン抗体誘導関節炎 (CAIA) モデルマウスにおける薬物代謝酵素および薬物トランスポーターの発現変動について検討した。CAIA マウスの肝臓において複数の薬物代謝酵素および薬物トランspoーターの mRNA 発現量が変動した。中でも、取り込みトランspoーターである organic anion transporter (Oat) 2 の mRNA 発現量が、コントロールマウスの肝臓と比較し顕著に増加した。そこで、OAT2 の特異的基質である [³H] cyclic guanosine monophosphate (cGMP) を用いて、CAIA マウスの肝細胞における OAT2 輸送活性の変動を評価した。その結果、CAIA マウスの肝細胞における [³H] cGMP の取り込みは、コントロールマウスの肝細胞における [³H] cGMP の取り込みと比較して差がないことが明らかになった。以上より、CAIA マウスの肝臓において Oat2 の mRNA 発現量は顕著に増加したものとの輸送活性は変動しないことが示された。一方、CAIA マウスの肝臓における OAT2 のタンパク質発現変動について検討したところ、コントロールマウスの肝臓と比較して有意な変動は認められなかった。翻訳過程など、遺伝子発現から機能を得るまでの過程についておよびそれらの相関性について精査する必要がある。以上より、関節炎モデルマウスにおける OAT2 の遺伝子発現変動は必ずしも輸送機能の変動に直結しないことが明らかとなった。</p>
利用成果	<p>論文</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Chieri Fujino, Satoshi Ueshima, Toshiya Katsura. Variations in expression of drug-metabolizing enzymes and drug transporters in mice with collagen antibody-induced arthritis: inconsistency between changes in gene expression and function of organic anion transporter 2. (投稿準備中) <p>国内学会</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 藤野 智恵里、上島 智、桂 敏也「関節炎モデルマウスにおける薬物代謝酵素および薬物トランスポーターの発現変動」日本薬物動態学会第36回年会、オンライン、2021.11.16-19

大型研究装置成果報告書

装置名	ヒューマンカロリーメーター・人工環境試験室（低酸素チャンバー）
研究責任者 (所属・役職・氏名)	真田 樹義（スポーツ健康科学部・教授）
研究テーマ	<ol style="list-style-type: none"> 1. 運動時におけるエネルギー消費量の変化の動態（ヒューマンカロリーメーターを使用した研究） 2. 低酸素環境や暑熱環境で実施する運動の効果検証（低酸素チャンバーを使用した研究）
研究の概要	<ol style="list-style-type: none"> 1. ヒューマンカロリーメーター内で実施する一過性の運動が、エネルギー消費量に及ぼす影響を解析している。ヒューマンカロリーメーターを使用することで、運動後の日常生活内におけるエネルギー消費量の変化を長時間（運動後 24 時間）にわたり高精度に検討することが可能となる。 2. 低酸素環境や暑熱環境下で実施する運動が全身でのエネルギー代謝（酸素摂取量、二酸化炭素産生量）および局所（活動筋）における酸素動態や血流量、体温調節、代謝や体液バランス、内分泌応答、消化器機能などに及ぼす影響を検討している。
利用成果	<p>論文（すべて査読あり）</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Yamaguchi K, Kasai N, Hayashi N, Yatsutani H, Girard O, Goto K. Muscle oxygenation during repeated cycling sprints in a combined hot and hypoxic condition. International Journal of Sports Medicine, 2022(印刷中) 2. Yamaguchi K, Imai T, Yatsutani H, Goto K. A Combined Hot and Hypoxic Environment during Maximal Cycling Sprints Reduced Muscle Oxygen Saturation: A Pilot Study. Journal of Sports Science & Medicine, 2022(印刷中) 3. Kasai N, Tanji F, Ishibashi A, Ohnuma H, Takahashi H, Goto K, Suzuki Y. Augmented muscle glycogen utilization following a single session of sprint training in hypoxia. European Journal of Applied Physiology, 121 (11): 2981-2991, 2021. 4. Yamaguchi K, Sumi D, Hayashi N, Ota N, Ienaga K, Goto K. Effects of combined hot and hypoxic conditions on muscle blood flow and muscle oxygenation during repeated cycling sprints. European Journal of Applied Physiology, 121 (10): 2869-2878, 2021. 5. Sumi D, Hayashi N, Yamaguchi K, Badenhorst CE, Goto K. Hepcidin response to three consecutive days of endurance training in hypoxia. European Journal of Applied Physiology. 121: 1197-1205, 2021.

理工学研究所委員会構成

2021 年度	所長	三原 久明	生命科学部 生物工学科
	副所長	塩澤 成弘	スポーツ健康科学部 スポーツ健康科学科
	委員	今田 真	理工学部 物理科学科
		渡辺 圭子	理工学部 機械工学科
		宗本 晋作	理工学部 建築都市デザイン学科
		上原 哲太郎	情報理工学部 情報理工学科
		服部 宏充	情報理工学部 情報理工学科
		稻田 康宏	生命科学部 応用化学科
		石水 肇	生命科学部 生物工学科
		小池 千恵子	薬学部 創薬科学科