第５６０回生存圏シンポジウム

生存圏ミッションシンポジウム

２０２６年２月２６・２７日

京都大学 生存圏研究所

Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH)
Kyoto University

560th SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE HUMANOSPHERE

第560回 生存圏シンポジウム

生存圏ミッションシンポジウム

現地開催のみ

（令和8年）
2026年 2月26/27日㊍㊎

来聴歓迎　参加無料

京都大学宇治キャンパス　おうばくプラザ きはだホール　京阪黄檗駅・JR黄檗駅より徒歩10分

日程	セッション名	時間（暫定）	演者
2月26日	所長挨拶・研究所紹介	9:30～9:40	山本 衛 （京都大学生存圏研究所）
	セッション①　ミッション1「森林圏と大気圏の物質循環」	9:40～11:10	杉山暁史（京都大学生存圏研究所）
			伊藤雅之（京都大学生存圏研究所）
			高梨聡（（国研）森林研究・整備機構）
	セッション②　ミッション2　「太陽エネルギー変換・高度利用」	11:10～12:40	三谷友彦 （京都大学生存圏研究所）
			王 正明（産業技術総合研究所）
			榎本 有希子（東京大学 大学院農学生命科学研究科）
			今井 友也（京都大学 生存圏研究所）
	セッション③　ミッション3　「宇宙生存環境」	13:30～15:00	小嶋浩嗣 （京都大学生存圏研究所）
			三宅 洋平 (神戸大学大学院システム研究科)
			畑 俊充 （京都大学生存圏研究所）
			Yikai Hsieh （京都大学生存圏研究所）
			居田克巳(核融合科学研究所)
	セッション④　ミッション4　「リグノセルロース資源の持続的利用を目指した材料開発」	15:10～16:40	梅村研二 （京都大学生存圏研究所）
			山内秀文（秋田県立大学木材高度加工研究所）
			陳 碩也（京都大学生存圏研究所）
			Md. Iftekhar Shams（クルナ大学 バングラデシュ）
			田中聡一（京都大学生存圏研究所）
	共同研究ポスター発表　＠２Fハイブリットスペース	17:00～	生存圏科学共同研究　１９件 ミッション専攻研究員　３件

日程	セッション名	時間（暫定）	演者
2月27日	セッション⑤　未来開拓研究センター「生存圏科学と産業・社会」	10:00～11:30	桑島修一郎 （京都大学生存圏研究所）
			手嶋達也（日立製作所）
			植木健司（福島イノベーション・コースト構想推進機構）
			鬼頭雅征（京都大学生存圏研究所）
	閉会挨拶	11:30～11:35	小嶋浩嗣 （京都大学生存圏研究所）
	生存圏フォーラム 総会	11:35～12:05	

問い合わせ　京都大学生存圏研究所　ミッションシンポジウム事務局
TEL 0774-38-3603　E-mail rish-kyoten-office@rish.kyoto-u.ac.jp

詳細はHPよりご確認ください

第５６０回　生存圏シンポジウム
生存圏ミッションシンポジウム

（1日目）

令和8年2月26日(木)　　きはだホール

	時間（暫定）		演者	タイトル
所長挨拶・研究所紹介	9:30	9:40	山本 衛（京都大学生存圏研究所）	
ミッション1「森林圏と大気圏の物質循環」	9:40	10:10	杉山暁史（京都大学生存圏研究所）	トマト根圏における合成微生物コミュニティーの設計と検証
	10:10	10:40	伊藤雅之（京都大学生存圏研究所）	熱帯泥炭湿地林（地球の炭素銀行）の変化と大気環境への影響
	10:40	11:10	高梨聡（（国研）森林研究・整備機構）	微気象観測タワーによる森林-大気間の物質循環観測
ミッション2「太陽エネルギー変換・高度利用」	11:10	11:15	三谷友彦（京都大学生存圏研究所）	セッション概要
	11:15	11:40	王 正明（産業技術総合研究所）	バイオマス由来炭素量子ドットの機能化及び環境分野への応用
	11:40	12:05	榎本 有希子（東京大学 大学院農学生命科学研究科）	リグニン分解物を用いた高性能高分子材料
	12:05	12:30	今井 友也（京都大学 生存圏研究所）	PETaseはセルラーゼに学べるか？—biomimetic biologyで目指すプラスチック分解の未来
	12:30	12:40	総合討論	
休　憩				
ミッション3「宇宙生存環境」	13:30	13:40	小嶋浩嗣（京都大学生存圏研究所）	セッション概要
	13:40	14:00	三宅 洋平（神戸大・大学院システム研究科）	将来の月有人探査・活動に向けた月面帯電環境の計算機実験研究
	14:00	14:20	畑 俊充（京都大学生存圏研究所）	木から炭へ、そして宇宙へ — 木質材料は過酷環境でどこまで使えるか —
	14:20	14:40	Yikai Hsieh（京都大学生存圏研究所）	Formation of the Spectral Gap Around 0.5 electron cyclotron frequency of Chorus Waves Under the Stationary Wave Condition
	14:40	15:00	居田克巳(核融合科学研究所)	ハイパースペクトルカメラ(HySCAI-1, HySCAI-2)によるオーロラ分光観測の現状と将来計画
休　憩				
ミッション4「リグノセルロース資源の持続的利用を目指した材料開発」	15:10	15:20	梅村研二（京都大学生存圏研究所）	セッション概要
	15.20	15.40	山内秀文（秋田県立大学木材高度加工研究所）	木質材料と接着 ～接着技術から見る新しい木質材料科学の展開～
	15:40	16:00	陳 碩也（京都大学生存圏研究所）	木質材料の品質管理に向けた画像認識AIモデルの構築
	16:00	16:20	Md. Iftekhar Shams（Khulna University　クルナ大学　バングラデシュ）	Production and properties of jute stick composites reinforced with plant derived cellulose nanofibers.
	16:20	16:40	田中聡一（京都大学生存圏研究所）	木材の物理加工による物性制御に向けたマルチスケール構造解析

ポスターセッション	共同研究ポスター発表	17:00		生存圏科学共同研究　　１９件 ミッション専攻研究員　　３件	生存圏研究所が令和7年度に公募・採択した「生存圏科学共同研究」とミッション専攻研究員による研究成果(全22件)を発表します。 17時30分からは研究者を対象とする交流会を行います。
	交流会（ポスター発表）	17:30	19:00		

（2日目）

令和8年2月27日（金）　　きはだホール

	時間（暫定）			タイトル
未来開拓研究センター「生存圏科学と産業・社会」	10:00		桑島修一郎（京都大学生存圏研究所）	
	10:00	10:30	手嶋達也（日立製作所）	生存圏科学と産業・社会①　企業における学際研究マネジメント
	10:30	11:00	植木健司（福島イノベーション・コースト構想推進機構）	生存圏科学と産業・社会②　地域課題へのアプローチ
	11:00	11:30	鬼頭雅征（京都大学生存圏研究所）	生存圏科学と産業・社会③　CNFの早期社会実装を目指した産学連携
閉会挨拶	11:30	11:35	小嶋浩嗣（京都大学生存圏研究所）	
生存圏フォーラム	11:35	12:05	生存圏フォーラム 総会	

第 560 回生存圏シンポジウム
生存圏ミッションシンポジウム要旨集

開催日：令和 8 年 2 月 26 日（木）・27 日（金）
開催場所：京都大学宇治キャンパスきはだホール

9)「水生植物や藻類の状態が湖沼の炭素・窒素循環に与える影響の解明」
坂部 綾香（京都大学 農学研究科）
10)「シコニン生合成のナフタレン環形成ステップにおける新規生合成中間体の探索」
庄司　翼（富山大学 和漢医薬学総合研究所）
11)「水中プラズマとファインバブルの組み合わせによる水処理技術の開発」
高橋 克幸（岩手大学 理工学部）
12)「コケ植物ゼニゴケの生殖組織における細胞外ポリマーの生理学的意義の解明」
巽　奏（京都大学 生存圏研究所）
13)「スギ伝統林産地「秋田」の土壌が持つカルシウム貯蔵効率」
谷川 東子（名古屋大学 大学院生命農学研究科）
14)「代謝工学と化学工学の連携によるリグニンの高付加価値利用の促進」
飛松 裕基（京都大学 生存圏研究所）
15)「日常生活下の食習慣と紫外線暴露量から推定される大学生の体内ビタミン D 濃度に関する研究」
中島 英彰（国立環境研究所 地球システム領域）
16)「MU レーダー鉛直流データを用いた上部対流圏大気の研究」
西　憲敬（福岡大学 理学部）
17)「*Asaia bogorensis* のセルロース合成酵素複合体の配列様式解明」
水野 正浩（信州大学 工学部）
18)「将来の月有人探査・活動に向けた月面帯電環境の計算機実験研究」
三宅 洋平（神戸大学 大学院システム情報学研究科）
19)「*Rhodococcus wratislaviensis* T301 株由来芳香族エステラーゼ系酵素遺伝子の単離とプラスチック分解能向上への試み」
渡邊 崇人（京都大学 生存圏研究所）

2-2 ミッション専攻研究員　・・・

ミッション１：森林圏と大気圏の物質循環

高橋　けんし、杉山　暁史
京都大学 生存圏研究所

地球の大気圏と森林圏は物質循環を通じて密接に相互作用しており、その理解と機能の活用は、持続可能な社会の構築に向けた重要な基盤となります。植物は光合成によって大気中の二酸化炭素を固定して酸素を放出し、土壌中の微生物は窒素固定により大気中窒素をアンモニアに変換して、生物が利用可能な形態とします。これらのプロセスは大気圏・森林圏相互作用の代表例であり、私たちは長年にわたりその恩恵を受けてきました。近年では、温室効果気体の収支変動や、揮発性有機化合物を介した物質動態が気候や生態系機能に及ぼす影響が強く認識されるようになっています。

本セッションでは、大気、植物、土壌といった個別コンパートメントで得られてきた知見を統合し、生存圏における物質変動・物質循環という視点から、大気圏・森林圏の相互作用に寄与する植物および微生物の機能に関する研究成果を紹介します。これらの相互作用の基本構造と機能を理解することが、持続可能な社会の実現にどのように貢献しうるのかについて議論します。

「トマト根圏における合成微生物コミュニティーの設計と検証」

京都大学生存圏研究所・森林圏遺伝子統御分野　杉山　暁史

植物根近傍の土壌は根圏とよばれ、大気・植物・土壌の密接な相互作用の場となります。植物根から分泌される多様な代謝物の影響により、特徴的な微生物コミュニティーが形成されます。根圏微生物は植物の成長に影響を与えるだけでなく、大気–植物間の物質循環にも寄与しています。本発表では、植物生育解析、微生物ゲノム解析、モデリングを統合した根圏の合成微生物コミュニティー（Synthetic microbial communities ; SynComs）最適化についての研究を紹介します。モデル植物としてトマトを用い、細菌および根圏代謝物から構成される SynCom と温度条件の組み合わせについて、800 以上の条件を評価し、予測モデルを構築しました。本モデルに基づいて設計した新規 SynCom を、実験室および圃場条件で検証した結果、圃場における植物生育の促進や高温ストレス耐性の向上が確認されました。特に、トマト根圏のスフィンゴビウム属の役割について解析を進めています。

「熱帯泥炭湿地林（地球の炭素銀行）の変化と大気環境への影響」

京都大学生存圏研究所・大気環境情報分野　伊藤　雅之

熱帯林は植物など炭素や水の貯蔵庫・生物多様性のゆりかごとして、地域や地球環境にとって重要な生態系ですが、東南アジアの熱帯林では急速な伐採と、アブラヤシなど農園への転換が進んでいます。このアブラヤシの実はからは私たちの生活に欠かせない「パーム油」など多くのものが作られています。では「熱帯林からプランテーションへの転換」は、地域や地球環境にどのような影響を及ぼすのでしょうか？特に東南アジアには、一般的に認識されるような熱帯林だけでなく、「熱帯泥炭湿地林」も多く存在します。ここでは長年にわたって植物の光合成により固定された炭素が、地上部や地下部に数千年にもわたり蓄積されてきた特殊な生態系があり、地球の「炭素銀行」とも考えることができます。近年は大規模な排水を伴った、湿地林からアブラヤシ農園への転換も進んでおり、私たちはこのダイナミックな変化の過程が、二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガス排出を通じて大気環境にどのような影響を与えるか、ということについて調査・研究を進めています。

「微気象観測タワーによる森林-大気間の物質循環観測」

（国研）森林研究・整備機構森林総合研究所
関西支所・森林環境研究グループ　高梨聡

将来の気候変動抑制に対して、森林が持つ二酸化炭素吸収機能や蒸発散作用による気候緩和機能等の多面的機能を発揮させることが期待されています。そうした状況の中、渦相関法をはじめとする微気象観測タワーを用いたフラックス観測により、森林群落レベルでの森林の二酸化炭素(CO_2)・水蒸気(H_2O)輸送量(フラックス)を連続観測が可能となってきており、世界各地のフラックス長期観測データが蓄積されて来ています。森林総合研究所では、日本国内 5 カ所の試験地で、CO_2 フラックス測定を中心とした観測研究を約 25 年以上続けています。本発表では、暖温帯落葉広葉樹林（京都府木津川市）に設置された観測タワーでの観測事例を紹介します。同森林は、明治時代に砂防事業の一環としてはげ山だった地域を整備したもので、コナラを中心とした二次林が広がっています。渦相関法による CO_2 フラックスの観測結果からは、測定初期の 2000-2003 年ごろの年間 130 gC m^{-2} 程度の吸収量から漸増を続け、2018-2019 年では約 400 gC m^{-2} 程度へと増加していることが分かりました。現在では、CO_2 のみならず、他の温室効果ガスのフラックス測定手法を開発中であり、観測研究を進めています。

ミッション２：太陽エネルギー変換・高度利用

三谷友彦
京都大学　生存圏研究所

1. ミッション概要

本ミッションは、図1に示すように太陽エネルギーを変換して高度利用するために、マイクロ波応用工学やバイオテクノロジー、化学反応などを活用して、太陽エネルギーを直接に電気・電波エネルギーや熱などに変換する研究を進め、さらに、光合成による炭素固定化物であるバイオマスを介して、高機能な物質・材料に変換して有効利用する研究にも取り組む。特に高機能物質への変換を重点化し、要素技術のみでなく全体システムへの展開を目指す。

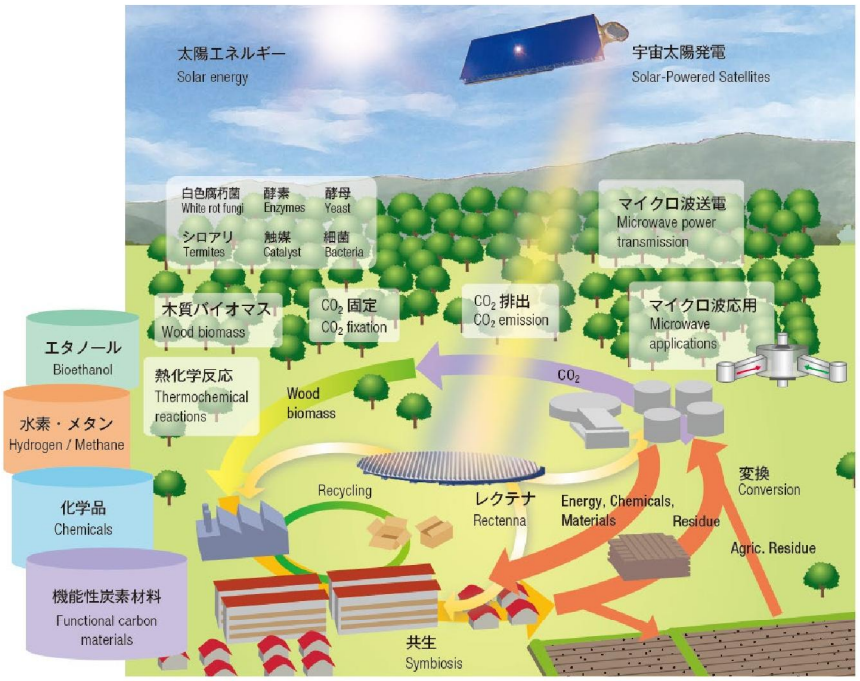


図１：ミッション２概要図

2. ミッション２の取り組み

ミッション２では、「太陽エネルギー変換・高度利用」に資する基礎的あるいは萌芽段階の研究課題の育成に主眼を置き、ミッション２活動の推進を図っている。ここ５年間で取り組んだミッション２関連の主な研究テーマを以下に列挙する。

・マイクロ波加熱の電磁界・熱連成解析の基礎検討
・難分解性塩素系ポリマー PVDC に対する微生物分解候補の探索
・PET リサイクル技術革新

・化学反応用マイクロ波加熱容器の研究開発
・リグニン構造単純化によるイネ科バイオマスの高付加価値化
・バイオマスの資源化を志向したアシル化リグニンの化学構造解析
・環境汚染物質分解細菌の芳香族エステラーゼ系酵素の機能解析
・セルロースと PET の比較研究
・細胞壁架橋構造抑制ゲノム編集イネのバイオマス分解特性
・バイオリファイナリーへ向けた生体触媒、人工触媒の開発
・バクテリアセルロース合成酵素の複合体構成に関する研究
・木質ペレット由来ガス化残渣の賦活による活性炭の製造
・細胞壁内リグニン分布構造解析から木材の構造-物性相関解析への展開
・賦活による窒素ドープササ炭素の CO_2 吸着量の向上

またミッション 2 では、先進素材開発解析システム(ADAM)共同利用・共同研究および生存圏フラッグシップ共同研究「バイオマス・物質変換のためのマイクロ波高度利用共同研究」との合同で、毎年シンポジウムを開催している。木質バイオマス利用、マイクロ波加熱、木質炭素利用、微生物利用、分析関係など、ミッション 2 に関連する様々な分野の研究者を講師として迎えるとともに、日本電磁波エネルギー応用学会などの学会からの協賛を得たシンポジウムを開催することで生存圏科学のコミュニティー拡大に貢献している。

今年度のミッションシンポジウムにおいては以下のセッションを構成し、ミッション 2 関連の研究の最新動向を提供する。

王 正明（産業技術総合研究所）
バイオマス由来炭素量子ドットの機能化及び環境分野への応用
榎本 有希子（東京大学 大学院農学生命科学研究科）
リグニン分解物を用いた高性能高分子材料
今井 友也（京都大学 生存圏研究所）
PETase はセルラーゼに学べるか？
—biomimetic biology で目指すプラスチック分解の未来

3. 今後の展開

ミッション 2 では基礎研究から応用研究までを幅広く実施し、ミッション 2 が着目する研究領域を多面的に捉えてミッション研究を推進した。太陽エネルギーの高度利用は、生存圏科学を醸成する上でも重要なミッションであるとともに、持続可能な開発目標(SDGs)においてもエネルギー、インフラ・産業・イノベーション、陸上資源等に貢献する。

ミッション３「宇宙生存環境」

小嶋浩嗣
京都大学 生存圏研究所

生存圏研究所では、人類の未来の生存圏という立場と、地上での人間生活と宇宙との関わりあいという意味も含んで、「宇宙圏」というものを定義してきました。地球周辺の宇宙空間の利用というのは、居住域としての国際宇宙ステーションであったり、衛星放送、気象衛星、そして、最近は、位置捕捉のための GPS や準天頂衛星であったり、すでに私たちの生活に深く関わり合いをもっています。しかし、現在、人類が利用している宇宙空間は、空間スケール的には、まだまだ地球表面に張り付いているくらいのスケールにあります。気象衛星などの静止衛星でさえ、せいぜい地球の半径の6倍程度しか離れていません。ましてや国際宇宙ステーションは、地球の表面ぎりぎりを周回しているといっても過言ではありません。人類が、宇宙空間を、いよいよ生存環境として捉え、利用していく時、まだまだ多くの課題をクリアにしていく必要があります。ミッション 3 では、この宇宙を生存環境としてさらに拡大していくことを見通して、物理素過程の解明、宇宙環境の計測技術、宇宙で利用する材料開発、未知の領域をシミュレーションで明らかにする環境シミュレーションなどの研究を展開してきました。

本年度は、このミッション 3 に関連して、本研究所で、そして、本研究所との共同研究で取り組まれている研究課題を俯瞰して、4 件の講演をお願いしました。

「将来の月有人探査・活動に向けた月面帯電環境の計算機実験研究」
三宅 洋平 (神戸大・大学院システム研究科)

「木から炭へ、そして宇宙へ — 木質材料は過酷環境でどこまで使えるか —」
畑 俊充 （京都大学生存圏研究所）

「Formation of the Spectral Gap Around 0.5 electron cyclotron frequency of Chorus Waves Under the Stationary Wave Condition」
Yikai Hsieh （京都大学生存圏研究所）

「ハイパースペクトルカメラ(HySCAI-1, HySCAI-2)によるオーロラ分光観測の現状と将来計画」
居田克巳(核融合科学研究所)

人類の次の宇宙生存環境は、月面にある、ということは、多くの人が認めるところです。しかし、この月面は地球表面と異なり、大気がないため宇宙環境が直接影

響します。特に月面はレゴリスという細かで、電気を通しにくい物質で覆われており、宇宙環境や太陽の影響で、電気を帯びた状態にあります。神戸大学の三宅洋平様は、場所、場所で電気を帯びた環境が異なり、また、太陽などの影響で時々刻々変化する月面の環境をシミュレーションで究明されています。三宅様には、月面での人間活動に影響を与えるこの電気を帯びた環境についての計算機シミュレーションの研究成果についてお話をしていただきます。

開発という点で、当研究所の畑俊充講師には、木質材料の宇宙空間での利用について話をしてもらいます。木材そのものは、希ガスの発生や導電性が低いなど、そのままでは宇宙空間での利用には不向きな点もありますが、畑講師は、木質材料から導電性をもつ材料を形成する技術をもち、それを宇宙空間で利用することが、金属よりも軽量で耐久性の高い材料、宇宙空間の環境にもやさしい材料の実現につながると見込まれています。畑講師には、最新の研究成果を踏まえて、木質材料をどこまで宇宙空間で有効に使えるかについて紹介してもらいます。

本研究所の Yikai Hsieh 講師からは、放射線帯に代表される地球の内部磁気圏におけるミクロ素過程のシミュレーションについて発表してもらいます。内部磁気圏、特に、放射線帯は、その裾野が、静止衛星軌道にかかっているだけでなく、人類が、月や火星と地球を往復する際に必ず通り抜けなければならない領域です。そこでは、プラズマ波動と電子とのエネルギー授受が環境の変化に大きな影響を与えていることがわかりつつあります。本発表では、その環境を変化させていくミクロプロセスについて最新の研究成果を紹介してもらいます。

宇宙環境という意味では、そのダイナミックな変化を地上から知る、その手段となる現象には、オーロラや地磁気変動などがあります。特に、オーロラは、宇宙空間から地球の極域上空に降り込む高エネルギーの粒子により発生しますが、その複雑な様相と物理的なメカニズムについては、まだ未解明な部分が多くあります。核融合科学研究所の居田克巳様には、このオーロラの地上からの光学観測に関する、まったく新しい観測器の話をしていただきます。もともと、核融合プラズマを計測するために開発されたカメラを、オーロラ観測に応用したもので、従来、「波長-一次元空間」でしか観測できなかったオーロラを、「波長-二次元空間」で観測可能とした画期的なカメラ(ハイパースペクトルカメラ)です。核融合プラズマと宇宙プラズマという、似て非なるプラズマ状態の両者にまたがった形で技術応用が成功した例です。

以上の 4 件は生存圏研究所や、ともに共同研究を展開していただいている研究内容の一部ではありますが、これらは、まったく異なる研究ベクトルや手法によるものです。本シンポジウムを通して、生存圏研究所の宇宙圏における研究展開を垣間見ていただければと思います。

ミッション４：リグノセルロース資源の持続的利用を目指した材料開発

梅村 研二
京都大学　生存圏研究所

生存圏研究所が掲げる５つの研究ミッションのうち、ミッション４「循環材料・環境共生システム」では、環境共生とバイオマテリアルの利活用を両立させるために、循環型生物資源のなかでも主として木材などのリグノセルロース資源の持続的利用を目指した研究を進めています。木材は、大気中の二酸化炭素を取り込み生長した樹木から得られるため、地球温暖化の抑制に貢献しています。利用後は最終的に焼却されて二酸化炭素を放出しますが、利用と並行して新たに植林すれば、樹木が再び二酸化炭素を取り込み生長するため、カーボンニュートラルな資源として注目されています。

FAO（国連食糧農業機関）の統計[1)]によると、2024年の世界の丸太生産量は約40億m^3であり、そのうち約半分が産業用として木質材料の原料や製材、紙、パルプなどに使用されています。例えば、木質材料のなかの合板やパーティクルボード、ファイバーボードといった木質パネルの生産量は、統計が開始された1961年から2024年にかけて約16倍に増加しており、著しい伸びを示しています。2024年の生産量は約3億9000万m^3に達し、これは産業用丸太の約20%に相当しています。さらに、最近の報告[2)]によると、木質パネルの世界的な生産量は2050年にかけて増加すると予想されており、今後ますます有用な材料になると考えられます。

図　WOOD-BASED PANELS

GLOBAL FOREST PRODUCTS FACTS AND FIGURES 2024 p.13

一方で、世界の森林面積は長期的に減少傾向にあります。森林面積の回復において植林は有効な手段の一つであるものの、現状では世界の森林全体の約8%にとどまっています。森林は、物質生産機能に加え、生物多様性保全や地球環境保全といった多面的な機能を有しています。そのため、今後、森林資源保護の観点から伐採制限が広がれば、木材需給の逼迫が懸念されます。こうした背景から、木材のさらなる有効利用に加え、草本系植物などの他のリグノセルロース資源の利用に関する

料開発に取り組んでいる国内外の４名の先生に話題提供をいただくこととしました。まず、秋田県立大学木材高度加工研究所の山内教授より「木質材料と接着 ～接着技術から見る新しい木質材料科学の展開～」と題し、木質材料の設計における接着剤の重要性や課題、さらには将来展望についてご講演いただきます。先生は木質材料開発の第一人者であり、新たな接着技術にも取り組まれています。次に、当研究所の陳助教より、「木質材料の品質管理に向けた画像認識 AI モデルの構築」と題し、近年著しい進展を見せる AI 技術を活用した木質材料の物性予測や品質管理などについて最近の研究成果をご紹介いただきます。木質材料の分野において AI 技術を活用した研究は、近年ようやく注目を集め始めたばかりですが、先生は日本国内において最前線で取り組まれている研究者の一人です。続いて、バングラデシュ・クルナ大学の Md. Iftekhar Shams 教授からは、「Production and properties of jute stick composites reinforced with plant derived cellulose nanofibers」というタイトルで、バングラデシュで多く栽培されているジュート（黄麻）の収穫後に残る茎の有効利用を目指した木質ボードの開発研究についてご紹介いただきます。先生は、農産廃棄物の材料化や各種ナノファイバーを用いた研究など幅広い分野でご活躍されており、当研究所の客員教授も務めておられます。最後に、当研究所の田中助教より、「木材の物理加工による物性制御に向けたマルチスケール構造解析」と題し、バルク木材の長期利用を念頭に置いた材料開発について、最新の解析技術とともにご説明いただきます。先生は、木材の変形加工に関する研究に長年取り組まれており、近年は小角 X 線散乱測定による構造解析を研究手法に取り入れるなど、今後のさらなる研究の進展が期待されています。

いずれの先生方もリグノセルロース資源を用いた材料開発に関する研究の最前線でご活躍されており、本セッションのタイトルにふさわしいお話を伺えるものと大いに期待しております。

参考文献

1） Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), FAOSTAT (https://www.fao.org/faostat/en/#data)

2） FAO, Global forest sector outlook 2050, Assessing future demand and sources of timber for a sustainable economy, 2022, pp.10, ISBN 978-92-5-136950-0.

生存圏未来開拓研究センター：生存圏科学と産業・社会

桑島 修一郎
京都大学生存圏研究所 生存圏未来開拓研究センター

京都大学生存圏研究所は、生存圏科学を推進する共同利用・共同研究拠点として、研究所設立当初から異なる研究分野が協力してミッション志向の研究を推進する学際研究体制を構築している。2022 年度には、研究所内の独立組織として生存圏未来開拓研究センターを設立し、学際研究を通じた新領域開拓の推進体制を整備している。中核研究部の研究環境から一旦離れ、独自の視点で新領域を開拓する中堅・若手教員を中心に３年間を単位としてセンターに所属し、スモールアイランド型研究ユニットを形成する。2025 年度より第 2 期ユニット体制に移行し、現在５つのユニットが所属している。第 2 期の特徴は、中核研究部より移籍してきた教員とともに、同センター生存圏科学・イノベーション部門に所属する実務経験豊富な教員が参画している点にあり、以下、学際性の多義性を踏まえた運営を行っている。

Multidisciplinarity（MD 性）: 研究対象や解決を必要とする理論的・実践的な問題が、2 つ以上の無関係なディシプリンの視点から、相互に影響し合うことなく、連続的かつ分離してアプローチされること。

Interdisciplinarity（ID 性）: 2 つ以上の確立された学問分野を持ち込むことで、それらがダイナミックに相互作用し、与えられた研究対象の複雑さを説明、分析、理解できるようにすること。

Transdisciplinarity（TD 性）: 次の 2 つの主要かつ補完的な方向性。1 つ目は認識論的、理論的に既存学問の境界を越えて知るプロセスであり学問区分を大きく再構成すること。2 つ目はより実践的、参加的、応用的であり、政治的、社会的、経済的なアクターや一般市民を、「問題解決」の観点から研究プロセスそのものに参加させること。

同センターのさらなる機能強化を図るには、アカデミアと産業、行政、市民といった社会構成員が対等に参加し、相互に新たな知を生み出し共有する TD 性の理解が不可欠である。そのためには、TD プロセスを基軸とする科学と実践との効果的な協働モデルを構築することが必要となる。ここで、研究活動としての学際研究と学際性の多義性について考えてみる。図に示すように、異分野間または異セクター間の学際研究は「実践」に、MD 性,ID 性,TD 性といった学際性の理解は「理論」に分類することができる。一方、参画者の観点からは、学術内からの参画として大学や公的研究機関の研

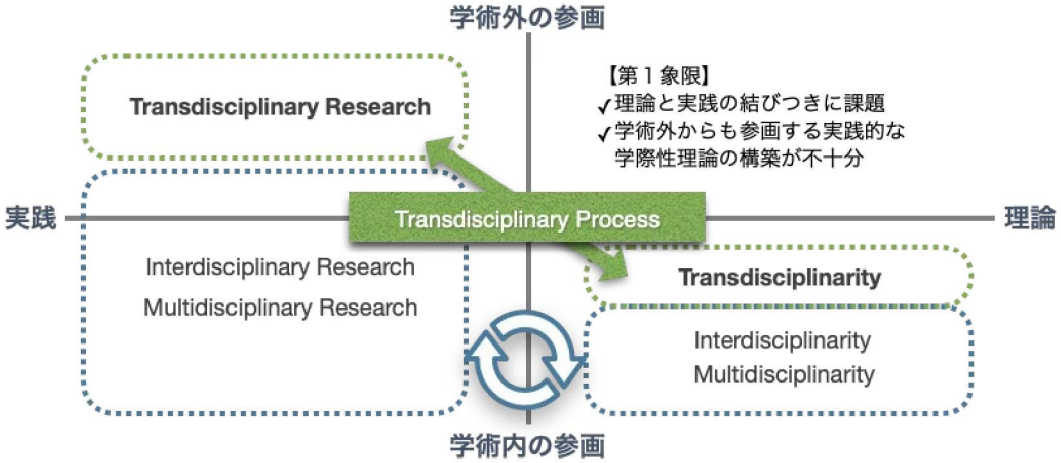


図　学際性と学際研究およびそれぞれの参画属性の分類

究者が該当し、学術外からの参画とは行政、市民、企業など非学術界の社会アクターを意味する。一般的に、MD 研究と ID 研究における参画者の多くは学術内の研究者であるが、企業などの研究者が参画することも可能であること、TD 研究は学術外のアクターの参画を前提とすることから、「実践」としての学際研究には学術内および外からの幅広い参画を得ることができる。一方、「理論」としての学際性の理解については、社会科学分野といった一部の学術内研究者により実施されていることが一般的であることから、この図に従えば、第 1 象限にあたる TD 性の理解に向けた学術外からの参画に課題があるといえる。

本セッションでは「生存圏科学と産業・社会」と題し、産業・社会といった学術外の視点を持つ主要なアクターから話題提供をいただく。長年、日立製作所で自ら研究開発に従事し、その後、マネジメントの立場から自社の研究開発を俯瞰してきた手嶋達也氏には、「企業における学際研究マネジメント」と題して、同社における学際研究の実践と課題について報告していただく。次に、経済産業省から福島イノベーション・コースト構想推進機構に出向中の植木健司氏には、「地域課題へのアプローチ」と題して、復興という国策レベルの地域活性化における学際性の必要性について報告していただく。最後に、トヨタ紡織と生存圏研究所研究員の二足の草鞋を履く鬼頭雅征氏には、生存圏科学における代表的な研究分野であるセルロース・ナノファイバー(CNF)の基幹産業におけるイノベーションをテーマに、「CNF の早期社会実装を目指した産学連携」と題して、社会実装に向けた学際研究の本質的な課題について報告していただき、総じて、第 1 象限の克服に向けた検討を行う。

参考

桑島修一郎，上田義勝，仲上祐斗，学際研究マネジメントに関する実践と考察，研究・イノベーション学会第 40 回年次学術大会講演要旨集，195-199(2025).

TEMPERATURE SENSITIVITY OF TREE TRUNKS METHANE PRODUCTION AND EMISSION

1. Research team

Leader: EPRON Daniel (GS Agriculture)
Collaborators: TAKAHASHI Kenshi (RISH)
MOCHIDOME Takumi (GS Agriculture)
OHTAKE Yuuta (GS Agriculture)

2. Related missions

Mission 1: Environmental Diagnosis and Regulation of Circulatory Function
Mission 5: Quality of the Future Humanosphere

3. Abstract

Methane (CH_4) emitted from the surface of the trunks of living trees can be produced internally by methanogenic archaea. Our previous studies revealed large interspecific, interindividual and within trees heterogeneity of trunk CH_4 emission. While temporal variations have also been observed, little is known about the temperature sensitivity of trunk CH_4 emission and methanogenesis. Trunk CH_4 emission was measured in summer and late autumn in the Ashiu experimental forest (35°N, MAT 10.3°C) on 6 species and in the Teshio experimental forest of Hokkaido University (45°N, MAT 5.0°C) on 5 species (6 trees per species, 66 trees, five position on each trunk in summer). This combination of measurements allowed us to infer the seasonal dynamics of trunk CH_4 emission and the long-term adaptation (latitudinal difference). The temperature sensitivity varied between individuals but did not differ significantly between the species and between the two sites. The median apparent Q10 value was 1.64. This value will be useful for extrapolating spaced-out measurements over time to the entire year. However, the observed variability between individuals suggests that other factors than temperature account for the seasonal variations in trunk CH_4 emissions. Further research is needed to determine whether a multi-year trend related to the progression of heartwood decay overlaps with the seasonal cycle.

4. Background and purpose of the research

The role of trees in the global methane budget is still unrecognized. Until recently, trees were considered passive conduits through which CH_4 produced in the soil in anoxic conditions. In addition to CH_4 originating from the soil, CH_4 that accumulates in tree stems and emits to the atmosphere is produced endogenously by methanogenic archaea in the heartwood where anaerobic conditions prevail. We recently found that the mcrA gene of methanogenic archaea was amplified from wood samples of several species from the Ashiu forest. Although methanogenesis is temperature dependent like all biological processes involving enzymatic reactions, CH_4 emission results from both direct and more complex indirect interactions of microbial and abiotic drivers. Long-term influence of global warming may be driven by changes in substrate availability or changes in the size and composition of CH_4-related microbial communities. The objective of this study was to characterize the influence of temperature on tree trunks methane production and emission at different time scales.

We hypothesized that the amplitude of trunk CH_4 emission would be similar at the two sites if the microbial communities living in tree trunks are acclimated to their local environment. We further hypothesized that trunk CH_4 emissions are higher in summer than in late autumn and that the temperature sensitivity varied between species and between sites.

5. Results and discussion

Contrary to first second hypothesis, the amplitude of trunk CH_4 emission in summer was three time greater at Teshio (20.1 nmol m^{-2} s^{-1}) than at Ashiu (6.3 nmol m^{-2} s^{-1}; Fig.1, left). However, for the only species measured at both sites (*Quercus crispula*), the amplitude was similar (2.3 nmol m^{-2} s^{-1}).

Consistent with our second hypothesis, trunk CH_4 emissions were higher in summer (average air temperature during the measurement campaign: 24.0°C at Ashiu and 23.2°C at Teshio) than in late autumn (6.4°C at Ashiu and 3.7°C at Teshio). No significance difference in temperature sensitivity (Q_{10}) were observed between the species and between the two sites but the interindividual variability was very large (Fig.1, right).

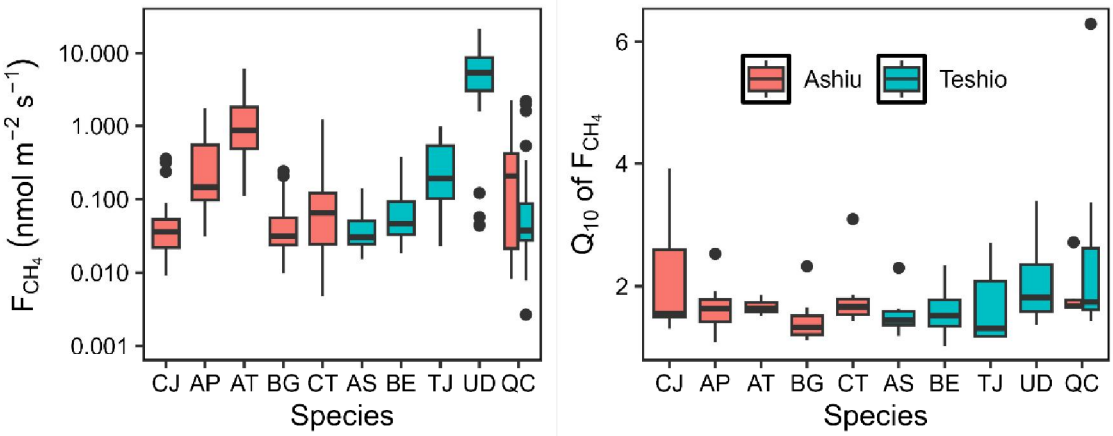


Figure 1 The left panel shows the trunk CH_4 emissions measured on trees in the experimental forests of Ashiu (6 species: *Cryptomeria japonica*, *Acer pictum*, *Aesculus turbinata*, *Betula grossa*, *Carpinus tschonoskii*, and *Quercus crispula*) and Teshio (5 species: *Abies sachalinensis*, *Betula ermanii*, *Tilia japonica*, *Ulmus davidiana*, and *Q. crispula*) in summer. For each species, measurements were conducted on at least 6 trees and 5 positions on each tree. The right panel shows the Q_{10} estimated by remeasuring fluxes on some trees in late autumn (7 measurements were conducted for each species in late autumn).

6. Future directions

We initially planned to sample wood cores from all the trees to incubate the inner heartwood at different temperature in anoxic conditions, with the aim of measuring the immediate temperature response of potential methane production. We also planned to extract DNA from the inner heartwood immediately after incubation to quantify the methanogen maker gene mcrA. We postponed this sampling by two years to be able to monitor the same trees, without sampling bias, for at least the two additional growing seasons and thus infer the inter-annual dynamics of trunk methane emission as a function of the progression of wood decay. To this end, we have already monitored the health status of all the trunks using acoustic tomography this year, and Yuuta Ohtake will continue this monitoring during his master's studies (2026 and 2027). It will reveal a multi-year trend in trunk CH_4 emission related to the progression of heartwood decay overlaps with the seasonal cycle.

7. Reference

8. Notes

The results will be presented at the Annual meeting of the Ecological Society of japan in April by Yuuta Ohtake.

植物由来分子を用いた高速光応答性分子集合体の構築と DDS キャリアへの応用

1. 研究組織

代表者氏名：赤松允顕（京都大学 生存圏研究所）
共同研究者：吾郷万里子(鳥取大学大学院 工学研究科)

2. 関連ミッション

ミッション４：循環材料・環境共生システム
ミッション５：高品位生存圏

3. 研究概要

光刺激に応答する両親媒性物質の分子集合体は、ドラッグデリバリーシステムのキャリアとして応用が期待できる。本研究では、桂皮酸、糖、グリセリンといった植物由来分子の分子間相互作用に着目し光応答性分子集合体の構築を検討した。

4. 研究の背景と目的

光応答性分子集合体は、薬剤を目的とする時間・場所・量を制御して送達し、副作用を低減できるドラッグデリバリーシステム（DDS）のキャリアや化粧品として応用が期待される（図 1）[1]。一方、従来の光応答性界面活性剤はアゾベンゼンといった有色の光応答性部位を導入するため、応用展開に制限がある。また、これまでの光応答性分子集合体の代表例であるミセルは、そのサイズから低分子薬剤の内包に限られ、近年注目されている中～高分子薬剤を対象とすることが困難である。

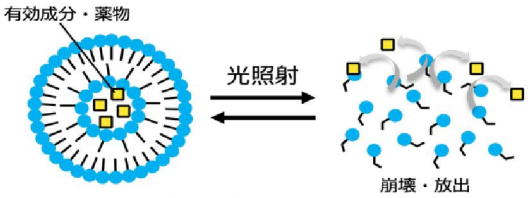


図 1. 光応答性分子集合体の概念図.

本研究では、(1) 植物由来原料であるシクロデキストリン（CD）と桂皮酸の誘導体の包接錯体から形成される光応答性分子集合体の構築を検討した。また、(2) 植物油から得られるグリセリンを骨格に持つ高速光応答性分子集合体の構築を検討した。これにより、水酸基の水素結合能形成による高次元の分子集合体の構築が期待でき、ナノスケールの内部空隙を用いた中～高分子薬剤の光刺激にともなう高速内包・放出制御を試みる。

5. 研究の結果および考察

5-1 桂皮酸誘導体と CD から形成される光応答性分子集合体の構築

桂皮酸は樹皮から抽出できる無色の光応答性分子であり、*trans-cis* 光異性化を起こす。また、CD は環状オリゴ糖の一種で、環の外側が親水性、内側が疎水性であり、適合するサイズの疎水性分子を分子間相互作用により包接できる。そこで我々

は、ドデシル基を導入した桂皮酸誘導体を合成し、β-CD のコンプレックス形成により疑似的な光応答性界面活性剤を構築し、分子集合体の形成を試みた。その結果、桂皮酸誘導体と β-CD の混合により、均一な水分散液が得られた（図 2b）。動的光散乱および透過型電子顕微鏡（TEM）測定より、直径約 200 nm のベシクルの形成が確認された（図 2c）。続いて、光照射にともないベシクルの崩壊が TEM 測定より観測された。以上より、桂皮酸とシクロデキストリンからなる光応答性分子集合体の構築に成功した。

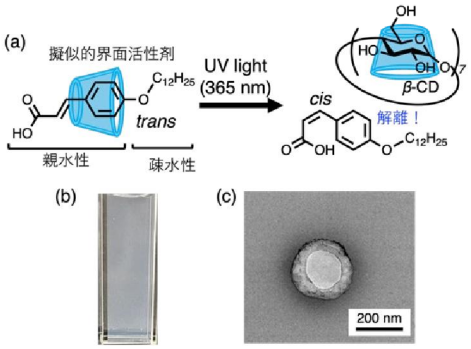


図 2. (a)桂皮酸と CD から形成される光応答性分子集合体. (b)水分散液の外観と(c)TEM 画像.

5-2 グリセリン骨格を持つ高速光応答性分子集合体の構築

我々は親水基が導入された両親媒性ロフィンダイマー（**3PEG3-LPD**、図 3）を合成し、自己組織化にともなうミセル形態とモデル薬物放出の高速光制御を達成した[2]。本研究では、グリセリン部位を親水基として持つ両親媒性ロフィンダイマーを合成し、モノグリセリン体（**GL1-LPD**）を得た（図 3）。偏光顕微鏡観察の結果、**GL1-LPD** と前駆体である **ProGL1-LPD** が水中で液晶形成することが分かった。

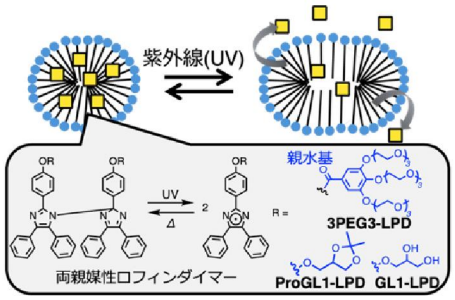


図 3. 両親媒性ロフィンダイマーの分子構造と分子集合体構造の光制御.

6. 今後の展開

桂皮酸誘導体と CD から形成されたベシクルを用い、薬物の放出制御を検討する。また、グリセリン基を持つ両親媒性ロフィンダイマーについて、形成した液晶構造とその光応答性を小角 X 線・中性子散乱測定により評価する。

7. 引用文献

1) Chen, S, Costil, R., Leung, F. K.-C., Feringa, B. L., Self-Assembly of Photoresponsive Molecular Amphiphiles in Aqueous Media, *Angew. Chem. Int. Ed.* **60**, 2–26, 2021.
2) Akamatsu, M., Kobayashi, K., Iwase, H., Sakaguchi, Y., Tanaka, R., Sakai, K., Sakai, H., Rapid controlled release by photo-irradiation using morphological changes in micelles formed by amphiphilic lophine dimers, *Sci. Rep.* **11**, 10754, 2021.

8. 付記（学会発表）

出水大稀、赤松允顕、田中理紗、酒井健一、酒井秀樹、伊福伸介、吾郷万里子、両親媒性ロフィンダイマーが形成する高速光応答性分子集合体：親水基構造の影響、材料技術研究会討論会、島根県民会館、2025 年 12 月 6 日.

ウルトラファインバブルがカボチャ道管液内の物質および成分に及ぼす影響

1. 研究組織

代表者氏名：伊藤彩菜（京都大学大学院 農学研究科）
共同研究者：上田義勝（京都大学 生存圏研究所）

2. 関連ミッション

ミッション１：環境診断・循環機能制御

3. 研究概要

ウルトラファインバブル（以下、UFB と表記）が植物の生育に及ぼす影響を明らかにするため、UFB を添加した養液で栽培したカボチャの道管液に含まれる成分を解析した。さらに、カボチャの地上部/地下部の生育および光合成活性の計測結果と合わせて、UFB が植物の生育に及ぼす影響のメカニズムについての考察を行った。

UFB を添加した養液で栽培したカボチャの道管液中のカリウム、カルシウム、マグネシウムの濃度、EC 値、Brix 値、地下部（根）でのカリウム濃度、茎径（地際から 4cm 地点）、着花数が、対照区より有意に大きくなった。また、異なる CO_2 濃度下でのカボチャの光合成速度を測定した結果、最大光合成速度および気孔コンダクタンスは UFB 施用区で高い値をとる傾向にあった。

本結果から、UFB は植物の道管液の成分に影響を及ぼし、地上部の生育や光合成活性に変化をもたらす可能性が示された。

4. 研究の背景と目的

先行研究において、UFB を施用することで植物の生育が促進されるという成果が多数報告されており、特に UFB を根圏に施用した場合、根の生育が促進されるということが明らかになっている [1)]。しかし、UFB による植物の道管液の変化に着目した先行研究は今までにない。道管液とは道管を通って根から地上部へと流れる液体のことであり、そこに含まれるミネラルやその他の成分は、UFB による根への影響を強く受け、さらに地上部の植物の生育にも大きな影響を及ぼすものと考えられる。道管液の変化を解析することで、UFB による影響の根圏から地上部へどのように伝わるのかが明らかとなり、地上部および地下部の生育や光合成活性の変化の情報を統合することで、UFB が植物の生育を促進するメカニズムの解明に繋がる可能性がある。本研究の目的は、UFB が植物道管液内の成分や植物体の生育、光合成活性に及ぼす影響を明らかにし、UFB による植物の生育促進メカニズムの解明に寄与することである。

5. 研究の結果および考察

UFB 施用区と対照区の道管液の成分を比較したところ、UFB 施用区では道管液中のカリウム、カルシウム、マグネシウム濃度、EC 値、および Brix 値が有意に大きくなった。また、UFB 施用区の植物体の地下部でのカリウム濃度が高かった。以上の結果により、UFB によって根圏からのカリウム吸収量が増加し、ミネラル以外の道管液成分にも変化が生じている可能性が示された。

栽培試験の結果、地上部および地下部の生重量に有意な差は認められなかったが、UFB 施用区では地際から上に 4cm 地点での茎径が対照区の 1.3 倍程度に大きくなり（図 1)、採取された道管液量、および播種後 56 日後の着花数も多くなった。

また、カボチャの光合成速度を測定したところ、UFB 施用区では対照区よりも光合成速度だけでなく、気孔コンダクタンスや葉内二酸化炭素濃度も大きくなった（図 2)。気孔開度の増大は植物体内で十分に水が保持されていることを表し、UFB によってカボチャ体内への水分吸収が促進されたことを示している。

UFB 施用区で着花数が多くなった理由として、道管液や植物体内のリン酸イオン濃度に差が無かったことから、光合成速度の増加によって光合成産物が増加し、植物体内の C/N 比が大きくなったことで生殖成長への移行が早まった可能性がある。

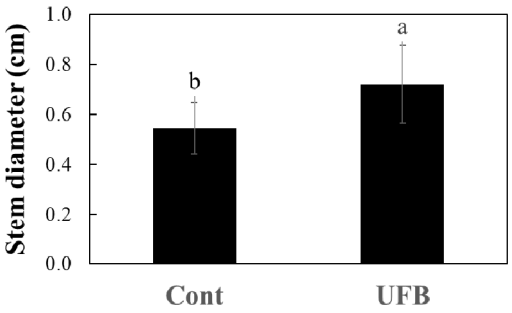


図 1 ：UFB が茎径に及ぼす影響

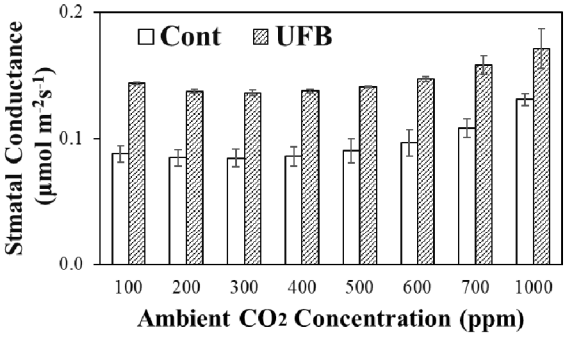


図 2 ：UFB が気孔開度に及ぼす影響

6. 今後の展開

UFB が植物の生育に及ぼす効果のメカニズム解明に向けて、道管液中の糖組成やアミノ酸組成などの変化の解析を実施する予定である。

7. 引用文献

1) Iijima et al., Promotive or suppressive effects of ultrafine bubbles on crop growth depends on bubble concentration and crop species, *Plant Production Science*, 1, 25, 78-83, 2022.

8. 付記

口頭発表．伊藤 彩菜，上田 義勝，他．ウルトラファインバブルのカボチャ道管液内における検出および機能性の解明に向けた試み．農業情報学会 2025 年度次大会．2025 年 5 月 23 日

ナノセルロースの表面グラフト重合による機能性材料開発と木材利用の推進

1. 研究組織

代表者氏名：伊福伸介（京都大学 生存圏研究所）
共同研究者：井澤浩則（宮崎大学 工学部）
赤松允顕（京都大学 生存圏研究所）

2. 関連ミッション

ミッション４：循環材料・環境共生システム
ミッション５：高品位生存圏

3. 研究概要

本研究では、セルロースナノファイバー（CNF）とメタクリル酸メチル（MMA）を乳化し、紫外光照射による表面グラフト重合により CNF-*g*-PMMA を作製した。重合後には CNF に被覆されたナノ粒子が形成され、熱プレスにより透明フィルムへ成形可能であった。CNF-*g*-PMMA は PMMA 単体と比較して弾性率および破断応力が向上し、ガラス転移温度の上昇と線熱膨張係数の低下が確認された。これらは CNF による分子鎖運動および熱膨張の抑制に起因する。

4. 研究の背景と目的

セルロースを機械的に解繊することによりナノスケールに微細化されたセルロースナノファイバー（CNF）が得られる。CNF は伸び切り鎖結晶構造を持つため高強度、高弾性、低熱膨張である。そのため強化材として複合することで樹脂の機械的、熱的特性を向上できる。CNF の機能性の付与や物性の制御の手段として化学修飾が有効である。Abe らは紫外（UV）光照射によって開始剤を使用することなく、CNF 表面にビニルポリマーをグラフトすることに成功した。また、CNF は乳化能を備え、油滴を水中で安定に分散できる（ピッカリングエマルション）。この二つの知見を融合して、開始剤フリーで乳化グラフト重合を行えば、簡便なプロセスで CNF 強化プラスチックが得られるだろう。本研究では、CNF で透明材料の原料であるメタクリル酸メチル（MMA）を乳化した O/W エマルションを作製し、開始剤フリーでグラフト重合した（Fig. 1）。得られる複合体を成形し、機械的ならびに熱的特性を評価した。

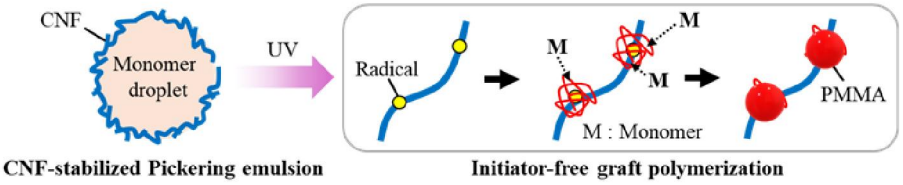


Fig. 1. CNF の乳化能を用いた CNF/PMMA 複合体の合成スキーム

5. 研究の結果および考察

CNF水分散液とMMAはホモジナイザーによって乳化されて均一な分散液が得られた（Fig. 2 上）。エマルションの平均直径は 9.69 ± 4.06 μm であった。エマルションにUV光照射することにより乳白色の重合生成物が得られた（CNF-*g*-PMMA）。走査型電子顕微鏡（SEM）像からCNFに覆われた均一なポリマーを確認した（Fig. 2 下）。重合後のポリマー微粒子の平均粒径は 104 ± 28.0 nm であり、重合前から大幅に減少した。このような重合による粒径の大幅な減少は、連鎖重合の過程で生成したポリマーが油滴から微粒子として分裂していると推測される。その微粒子は熱プレスにより透明フィルムに成形できるため、グラフトした PMMA が熱流動していることが示唆される。引張試験の結果、PMMA 単体と比較して CNF-*g*-PMMA では破断応力及び弾性率が大幅に向上した。すなわち、PMMA 微粒子表面の CNF が補強材として機能していた。DSC 測定の結果、PMMA 単体のガラス転移温度（Tg）が 108.9 ℃であったのに対し、CNF-g-PMMA では 124.6 ℃に上昇した。これは、CNF が PMMA 主鎖の熱運動を拘束しているためである。同様の理由で DMA の結果についても、CNF-g-PMMA では Tg に相当する損失正接（tan δ）のピークが高温側にシフトした。また、CNF-g-PMMA ではゴム状態においても tan δ＜1 であり弾性的挙動を維持した。TMA 測定において、PMMA と CNF-*g*-PMMA のガラス状態（30~70 ℃）における線熱膨張係数はそれぞれ、108 ppm/℃と 65 ppm/℃であり、CNF により熱寸法安定性が向上した。これは、PMMA の熱膨張を高弾性、低熱膨張の CNF が抑制しているためである。また、モノマー転化率は UV 光照射時間に依存して増加した。

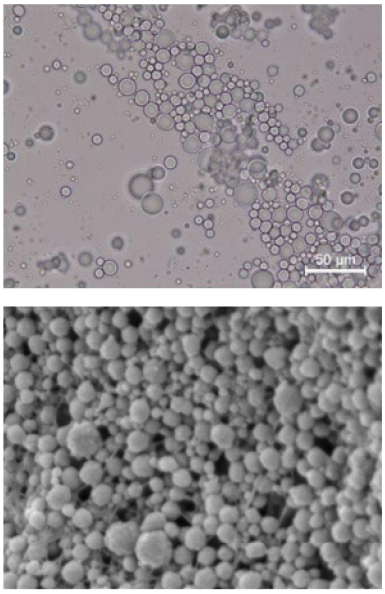


Fig. 2. （上）重合前と（下）重合後の微粒子の形状

6. 今後の展開

CNF で MMA を乳化した O/W エマルションに UV 光を照射することにより開始剤を用いることなくグラフト重合できた。重合生成物は熱形成可能であり、そのフィルムは高弾性で低熱膨張の CNF の補強効果により PMMA の機械的特性と熱的特性が向上した。今後はポリ酢酸ビニルを用いた複合材料開発を試みる。次いで、このナノセルロースのグラフトポリマーをけん化してポリビニルアルコールに変換することにより、水分散性の向上や架橋剤によるゲル化特性を付与する。更にアセタール化により、ナノセルロースの耐水性、耐熱性、強度・弾性率を向上させる。

セルラーゼに学ぶ PET 加水分解酵素の機能向上

1. 研究組織

代表者氏名：今井友也（京都大学 生存圏研究所）
共同研究者：田所大輔（京都大学 生存圏研究所）
藤原　進（京都工芸繊維大学　材料化学系）

2. 関連ミッション

ミッション１：環境診断・循環機能制御
ミッション２：太陽エネルギー変換・高度利用
ミッション４：循環材料・環境共生システム
ミッション５：高品位生存圏

3. 研究概要

近年、汎用プラスチックの一つであるポリエチレンテレフタラート（PET）を分解できる酵素、PETase（ペターゼ）が自然界から複数発見され、その機能解析と改良が進められている。本研究では、セルラーゼを効率的高分子分解のお手本として捉え、PETase による PET 分解効率化を目指す。

4. 研究の背景と目的

プラスチックは生活のあらゆる場面で使われている、人間にとって必要不可欠の材料だが、石油由来の材料であること、環境中に流出するとその低い分解性のために環境汚染を引き起こすことから、非持続可能材料である。このようなプラスチック材料を継続して利用するには、その持続可能材料化が必須であるが、その実現のために必要な技術の一つは使用済みプラスチックのリサイクルシステムである。本研究では汎用プラスチック、特に PET のリサイクルを、酵素を使って行う方法の開発を最終目的とする。

近年、PET を分解する酵素として、PETase の研究が活発に行われている。その主な手法は、メタゲノム解析や機械学習による分子進化を使った新規アミノ酸配列の網羅的探索だが、本提案ではセルラーゼに学ぶアプローチを採用する。セルロースは地球上に数億年以上存在することから、現代のセルラーゼも同様の時間をかけて洗練されてきた。よって地球上に出現してせいぜい 100 年の PET の分解に、セルロースの生分解系から学ぶことは多いと想定される。実際に、固体吸着ドメイン（図１）による結晶性セルロースの分解促進、異なる分解モードの酵素を混合することで生まれるシナジー効果（1+1>2 となる現象のこと）が知られており [1)]、これらの生物戦略が PET 分解でも有効ではと考えた。そこで複数の PETase の分解特性について、PET 構造の観点から研究を行った。

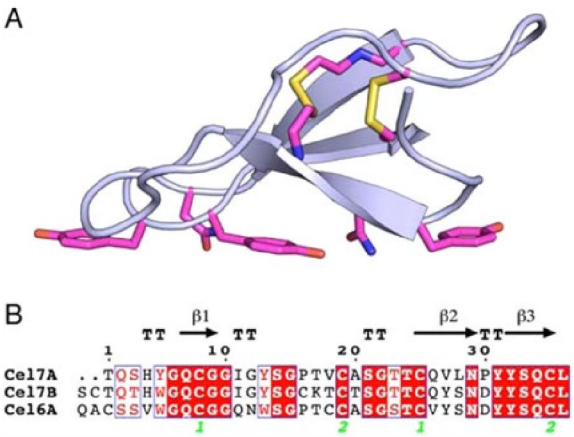


図１　CBM1 ファミリーに属するセルロース結合ドメインの構造 [2]。高度に保存された３つのチロシン残基(B)が 1 nm 間隔で直線状に並んでおり(A)、セルロース中のグルコピラノース環と疎水的相互作用を結ぶと考えられている。PET 中のテレフタル酸残基とも相互作用が期待できる。

5.　研究の結果および考察

今年度はこれまで分析を進めてきた FastPETase [3]に加えて、611 [4]および *Trichoderma reesei* 由来のセルロース結合ドメイン（TrCBM1）を融合した FastPETase（FastPETase-TrCBM1）を分析対象に加えた。これらの酵素により分解された PET フィルムを走査型電子顕微鏡（SEM）、小角 X 線散乱（SAXS）により分析を進めたところ、611 も FastPETase-TrCBM1 も、FastPETase による分解 [5]とは異なる分解特性を示した。シナジー効果を期待できる結果である。

また PET 固体表面と CBM1 あるいは PETase との相互作用制御の重要性が課題として見えてきたため、その分子シミュレーションによる解析も進めている。

6.　今後の展開

代表者はミッション２研究としてセルロースの生分解研究を行ってきた。様々な分解モードのセルラーゼが効率的に結晶性高分子であるセルロースを分解する様は、PET の酵素分解の参考になると考えている。本研究は代表者のセルロース研究での経験をポリエステルに展開し、ケミカルリサイクルなど高分子材料を持続可能社会に適合させるための研究課題であり、生存圏科学として重要な課題である。

7.　引用文献

1) Teeri, T. T. *Trends Biotechnol.*, **15**, 160-167, 1997

2) Payne, C. M., *et al. Chem. Rev.*, **115**, 1308-1448, 2015

3) Lu, H., *et al. Nature*, **604**, 662-667, 2022

4) Erickson, E., *et al. Nature Communications*, **13**, 7850, 2022

5) Tadokoro, D., Imai, T. *Polymer Journal*, 10.1038/s41428-025-01111-y2025

8.　付記

昨年度からの継続課題であり、昨年度までの内容を高分子学会の英文誌 *Polymer Journal* に掲載した（引用文献 5　https://doi.org/10.1038/s41428-025-01111-y）

SEM 観察は CAN-DO を、SAXS は SPring-8 を利用して行った。

金属ナノ粒子複合化によるナノセルロースの植物病害防除における利用技術開発

1. 研究組織

代表者氏名：上中弘典（鳥取大学 農学部）
共同研究者：伊福伸介（京都大学 生存圏研究所）

2. 関連ミッション

ミッション４：循環材料・環境共生システム
ミッション５：高品位生存圏

3. 研究概要

ナノセルロースの表面に抗菌性を備えた金属である銅のナノ粒子を担持させる新たな還元方法を確立する。得られたナノセルロース複合体の化学・物理的評価を行い、担持状態の評価や金属量の測定を行う。これら材料の分散液を処理した植物について、病原菌に対する抗菌性や接種実験系を用いた病害防除効果の評価を実施する。これらの研究成果を基に、ナノセルロースの新たな用途開発を目指す。

4. 研究の背景と目的

植物病害防除にはボルドー液に代表される銅などの抗菌性を備えた金属が（殺菌剤）として用いられてきたが、高濃度の金属の利用による環境負荷が問題となっている。銅ナノ粒子を表面に担持させたキチンナノファイバーでは、1/10 以下の銅使用量にも関わらず、ボルドー液と同程度の植物病害防除効果が認められた[1)]。セルロースとキチンは構成糖が異なるだけで、構造的に類似した多糖であり、セルロースナノファイバーもナノキチン同様の改質が可能である。本研究では、グリーンケミストリーを利用した還元方法を用いて表面に銅ナノ粒子を担持させたセルロースナノファイバー複合体を製造し、その植物病害防除能に関する評価を行う。その際、同様に銅ナノ粒子を複合化したキチンナノファイバーとの比較を行う。これらの研究により、複合化した銅の抗菌性を利用したナノセルロースの新たな用途開発を目指す。

5. 研究の結果および考察

グリーンケミストリーとしてアスコルビン酸とクエン酸を利用した水中での還元反応[2)]を参考に反応系を新たに構築し、銅ナノ粒子を表面に担持させたナノセルロース(CuNP-CNF)とナノキチン(CuNP-ChNF)を調製した（図１）。得られたサンプルについては、熱重量分析、広角 X 線散乱法による解析、および走査電子顕微鏡(FE-SEM)での観察を行った。熱重量分析の結果、添加した硝酸銅の量依存的に銅ナノ粒子が

担持されており、図１の写真での色の変化と一致していた。FE-SEM での観察では、CuNP-ChNF については担持された銅ナノ粒子を確認できたが、CuNP-CNF については表面がマスクされてしまっており、ナノセルロース表面の観察ができなかった（図２）。材料として用いたナノセルロースの分散性がナノキチンと比べ低かったことが原因の可能性がある。アブラナ科黒すす病菌(*Alternaria brassicicola*)に対する抗菌性については、0.1M の硝酸銀を用いて作成した CuNP-CNF と CuNP-ChNF の両方で、胞子発芽を完全に抑制した。

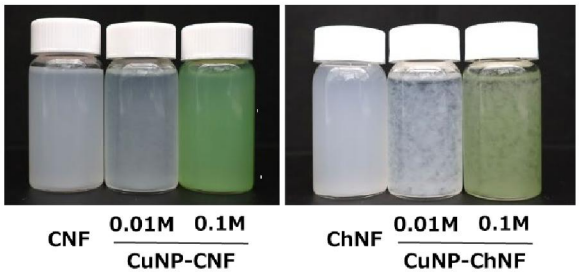


図１：ナノセルロース(CNF)とナノキチン(ChCNF)と表面に銅ナノ粒子を担持させたCNF(CuNP-CNF)及びChNF(CuNP-ChNF)。濃度は複合化反応の際に添加した硝酸銅の濃度を示す。

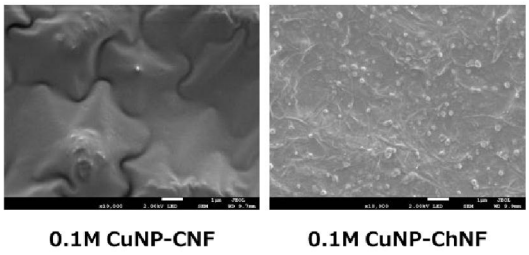


図２：銅ナノ粒子を担持させたCNF(CuNP-CNF)及びChNF(CuNP-ChNF)の走査電子顕微鏡像。濃度は複合化反応の際に添加した硝酸銅の濃度を示す。

6. 今後の展開

今後は使用するナノセルロース材料の変更や、化学・物理的評価に供試するサンプルの調製法の再検討を行い、再評価を行うことで最終的なデータを得たい。また、植物病害防除能の評価には時間がかかるため、継続して評価を実施し、新しい銅ナノ粒子複合化ナノセルロースとナノキチンの作成方法、および化学・物理的評価結果とともに学術論文として報告する予定である。

7. 引用文献

1) Egusa, M., Watanabe, S., Li, H., Zewude, D.A., Ifuku, S., Kaminaka, H., Production of copper nanoparticle-immobilized chitin nanofibers and their role in plant disease control, *J. Pestic. Sci.*, 48, 86-92, 2023.
2) Yokoyama, S., Motoyama, K., Takahashi, H., Tohji, K., Green synthesis of Cu micro/nanoparticles for low-resistivity Cu thin films using ascorbic acid in aqueous solution, *J. Mater. Chem. C*, 31, 7494-7500, 2016.
3) Phan, DN., Dorjjugder, N., Khan, M.Q., Saito, Y., Taguchi, G., Lee, H., Mukai, Y., Kim, IS., Synthesis and attachment of silver and copper nanoparticles on cellulose nanofibers and comparative antibacterial study, *Cellulose*, 26, 6629-6640, 2019.

8. 付記

（講演）

・上中弘典：ナノファイバー化技術を用いた未利用資源の農業分野での利活用，第 555 回生存圏シンポジウム・第 19 回生存圏フォーラム特別講演会「海洋圏バイオマスの恵みとヘルスケア，京都大学吉田キャンパス，2025 年 11 月 1 日

持続可能な社会に向けた租税政策の実証研究

1. 研究組織

代表者氏名：河瀬　豊（神戸学院大学 経営学部）
共同研究者：西村耕司（京都大学 生存圏研究所）

2. 関連ミッション

ミッション１：環境診断・循環機能制御
ミッション４：循環材料・環境共生システム
ミッション５：高品位生存圏

3. 研究概要

本研究では、各種租税について所期の効果が得られたか否かを検証する評価手法を構築することを目指す。これまで、住宅借入金等特別控除制度（住宅ローン減税）について大阪府および兵庫県のデータを用いて検証を行い、同税制が住宅購入者の利益になっていないことを示唆する結果を得ていた[1,2]。今年度はさらに同結論が地域を超えて一般的に成立しているかを検証するため、データ解析の範囲を全国へ拡大し、いずれの地域についても同様の結果が得られることを確認した[3]。このことから、住宅ローン控除制度は住宅購入者を補助しておらず、事実上、住宅販売者に対する補助になっているということが示された。

本研究結果は国立情報学研究所が主催する学術会議（IDR ユーザーフォーラム）において報告され、企業賞を受賞した。

4. 研究の背景と目的

人類共通の課題であるサステナビリティの実現には、技術革新だけでなく、制度設計を通じて人々の行動を適切に誘導する仕組みが不可欠である。とりわけ税制は、価格を介して市場参加者の意思決定に影響を与えるため、政策目的に照らして、実際に何が起きたのかということを定量的に検証する必要がある。しかし、現実には、租税や補助金制度の多くが、導入後に十分な実証評価が行われないまま継続され、効果の帰属（誰が利益を得たか）や効率性が不明確なまま制度が固定化される傾向がある。

本研究は、租税制度が市場価格へどの程度資本化し、最終的な受益者が誰になるのかを推定する実証枠組みを整備することを目的とする。具体的には、住宅ローン控除制度を対象として、制度適用が住宅取引価格に与える影響を推定し、購入者支援として設計された税制が、価格を通じて販売者側に帰属していないかを検証する。

5. 研究の結果および考察

住宅ローン控除制度適用可能な物件はそうでないものに比べて、約 11%（t-value: 約 16.2）高い価格で販売されていることが確認できた。これにより、特定の地域だけでなく、全国的に住宅ローン控除制度の恩恵が住宅販売者に帰属していることが明らかになった。

6. 今後の展開

本研究で推定された控除適用物件の約 11%の価格プレミアムについて、控除上限との比較から、税額控除による利益の帰属だけでは説明しにくい可能性がある。例えば、住宅ローン控除の適用要件を満たす物件は、築年数、構造、床面積などの観点で相対的に高品質であるなど、本質的な価値が高い可能性がある。このため、観測された価格差は、減税による影響と物件品質など他の要因による影響が混在している可能性があるため、両者を識別して検討する必要がある。そこで次年度は、① 地域・物件属性別の異質性分析、② 制度改正・適用要件の変化を用いたイベント分析、③ 階層ベイズ等を用いた推定の安定化、を組み合わせ、価格資本化の経路を識別する。つまり、推定された価格プレミアムが、対象物件の品質差、買い手側、売り手側のいずれによって生じたものかを切り分けを試みる。

併せてデータ提供機関との連携を強化し、継続的な価格データ取得体制を整備した上で、住宅政策に限らない租税政策の定量評価枠組みへ拡張する。

7. 引用文献

1) 河瀬豊（2023），伏在税の推計，会計プログレス,24:59-72.
2) 河瀬豊（2025a），住宅ローン控除制度が不動産価格に与える影響,SSRN *Working Paper Series* 5123684.
3) 河瀬豊（2026），*Forthcoming*.

8. 表彰

河瀬豊（2025b），住宅ローン制度は住宅購入者の利益になっているか（ポスター発表），IDR ユーザーフォーラム 2025，国立情報学研究所主催，於一橋講堂，企業賞受賞.

（https://www.nii.ac.jp/dsc/idr/userforum/2025.html）

イネ科植物に特有のリグニン部分構造獲得の起源と分子機構に関する研究

1. 研究組織

代表者氏名：木村ゆり（山形大学 農学部）
共同研究者：飛松裕基（京都大学 生存圏研究所）

2. 関連ミッション

ミッション１：環境診断・循環機能制御
ミッション２：太陽エネルギー変換・高度利用
ミッション５：高品位生存圏

3. 研究概要

木質バイオマスの主要成分であるリグニンは、化石資源に代わる芳香族系材料や化成品の供給原料として期待されている。しかし、リグニンの複雑多様な化学構造が、その有効利用を阻害する主要因となっている。イネ科植物は、その成長速度の速さから木質バイオマス原料植物として大きな期待を集めているが、とりわけ複雑なリグニン構造を有している点が課題である。リグニンの利用価値の向上には代謝工学を用いたリグニンの化学構造制御が有効と考えられるが、そのためにはリグニン構造の植物種間差を生み出す分子機構の理解が不可欠である。本研究では、イネ科植物のリグニン構造に着目し、近縁種との比較を通して、その多様性を調査する。さらに、分子系統樹に基づいた生化学実験を組み合わせることで、イネ科植物におけるリグニン生合成の進化機構を明らかにすることを目指す。

4. 研究の背景と目的

リグニンは、二次細胞壁を構成する芳香族ポリマーであり、植物の支持機能や水分通道という必要不可欠な役割を担うが、その構造は植物種間で大きく異なる。被子植物のリグニンは、G 型および S 型モノリグノールの重合により形成される G/S 型リグニンからなる。一方で、イネ科植物をはじめとする特定の植物は、G/S 型リグニンに加え、芳香族カルボン酸によりアシル化修飾されたリグニン構造を有する。このアシル化リグニンは、アシル基により修飾されたモノリグノールの重合により形成される（図 1a）。アシル基の種類においては、イネ科植物では *p*-クマル酸（*p*CA）がほとんどであるが、イネ科植物に近縁のヤシにおいては *p*CA に加え、*p*-ヒドロキシ安息香酸（*p*HB）など複数種が混在していることが知られている（図 1b）[1)]。これは進化の過程でのアシル化リグニン形成に関わる酵素群の基質特異性の変化に起因すると予想されるが、その詳細は不明である。本研究では、イネ科近縁種におけるアシル基の多様性の背景にある分子メカニズムの解明を目的としている。

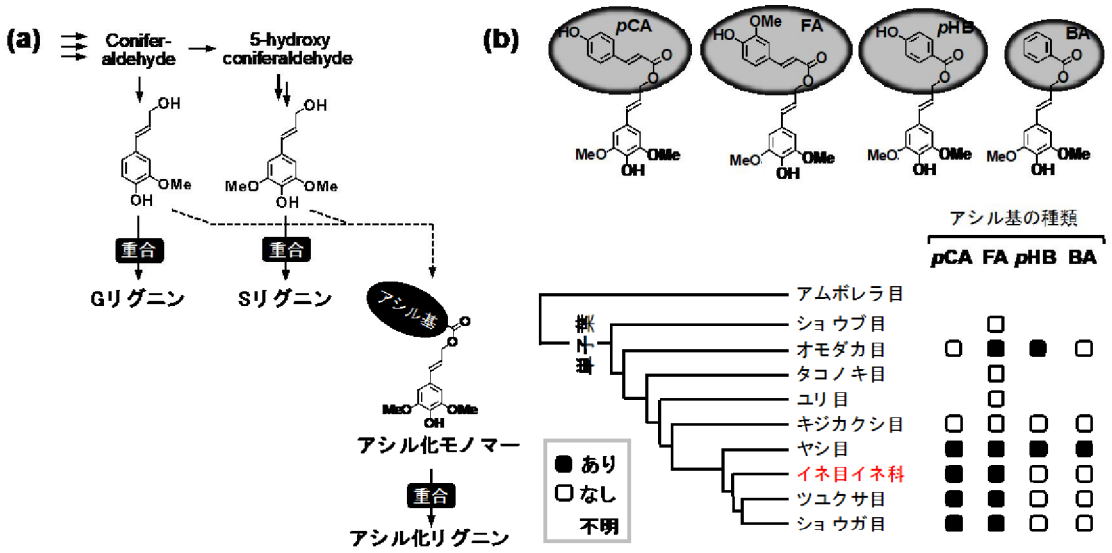


図１：アシル化リグニン生合成経路の概略（a）とアシル化の種類および分布（b）

5. 研究の結果および考察

イネ科植物に近縁植物群におけるリグニン結合型アシル基の分布解析を行ったところ、既報[1)]のとおりヤシ科、バショウ科、カヤツリグサ科などの植物において多様なアシル化修飾構造が存在することが明らかとなった。我々はこれまでに、アシル化リグニン形成に関与する遺伝子について大規模な分子系統樹解析を行い、多様なアシル化構造との関連が予想される遺伝子の重複パターンを見出している[2)]。そこで、単子葉植物の進化に伴う本酵素の特性比較を目的として、イネ科植物およびその近縁種（ヤシ）からアシル化リグニン生合成酵素遺伝子群のクローニングを進めてきた。さらに、ベンサミアナタバコの一過的タンパク質発現系を用い、合成生物学的手法による基質特異性評価系の構築にも取り組んでいる。これまでに、一部のアシル化リグニンについては生合成の再構築に成功しており、現在は異なるアシル基を有する構造を対象に、再構築実験を継続している。

6. 今後の展開

本研究を通じて多様なリグニン構造が生み出される分子メカニズムが解明されれば、代謝工学を通じたリグニンの利用価値向上へと展開することが期待される。

7. 引用文献

1) Karlen, S.D., Smith, R.A., Kim, H., Padmakshan, D., Bartuce, A., Mobley, J.K., Free, H.C.A., Smith, B.G., Harris, P.J., Ralph, J. Highly Decorated Lignins in Leaf Tissues of the Canary Island Date Palm *Phoenix canariensis*. *Plant Physiology*, **175**, 1058–1067, 2017.

2) Takeda-Kimura, Y., Moore, B., Holden, S., Deb, S.K., Barrett, M., Lorence, D., de Oliveira, M.V.V., Grimwood, J., Williams, M., Boston, L.B., Jenkins, J., Plott, C., Shu, S., Barry, K., Goodstein, D.M., Schmutz, J., Moscou, M.J., McKain, M.R., Leebens-Mack, J.H., Maeda, H.A., Genomes of Poaceae sisters reveal key metabolic innovations preceding the evolution of grasses. bioRxiv. doi: https://doi.org/10.1101/2024.11.06.622220, 2024.

水生植物や藻類の状態が
湖沼の炭素・窒素循環に与える影響の解明

1. 研究組織

代表者氏名：坂部綾香（京都大学 農学研究科）
共同研究者：伊藤雅之（京都大学 生存圏研究所）
尾坂兼一（滋賀県立大学 環境科学部）

2. 関連ミッション

ミッション１：環境診断・循環機能制御
ミッション５：高品位生存圏

3. 研究概要

温暖化や富栄養化といった人間活動に伴う環境変化は、湖沼の炭素・窒素循環を駆動する一次生産者の活動に多大に影響する。一次生産者の差異は、流下する水質や大気と交換する温室効果ガスの量を変化させる可能性があるが、現地観測に基づく理解は未だ不十分である。本研究は、植生状況の異なる複数の池を調査し、植生や藻類の有無が湖沼の炭素・窒素循環に与える影響を解明することを目指す。

4. 研究の背景と目的

水圏生態系からのメタン放出量は、全球のメタン放出量の約半分に寄与すると推定されているが(Rosentreter et al., 2021)、放出量の推定には未だ大きな不確実性があり、制御要因の理解も不十分である。本研究は、水深が同程度であるが、農閑期の人為的な排水が行われるため池と排水しない湖で渦相関法によるメタン放出量を観測し、排水がメタン放出量に与える影響を明らかにすることを目的とした。観測は兵庫県加古川市に位置する布池と滋賀県近江八幡市に位置する西の湖にて行った。布池は、面積 0.06 km^2 の池であり、夏季にはアオコが発生する富栄養な池である。農繁期には水が溜められており水深は約 1.6 m となる。10 月頃に人為的な排水が行われ、春先に再び水位が上昇し始める。一方、西の湖は面積 2.8 km^2 の琵琶湖最大の内湖である。集水域は主に農地から成り、布池と同様にアオコが発生する。大規模な排水は行われず、年間を通じて水深は約 1.5 m である。

5. 研究の結果および考察

布池からのメタン放出量は、水位の高い夏から秋にかけて、温度に対して指数関数的な放出量の増加がみられ、年間のメタン放出量は湿地や水田といった他の水圏生態系に比べて大きいことが明らになった。布池のクロロフィル a 濃度は先行研究の他の湖沼よりも高く、メタンの基質となりうるアオコなどの有機物の供給の多い

富栄養な池であることが、大きなメタン放出量の要因となったと考えられた。また秋の排水は、池底での嫌気的な環境を解消し、翌春のメタン放出量の抑制に繋がることが示された。西の湖でも、メタン放出量は布池と同様の季節変化を示したが、西の湖のメタン放出量は布池に比べて小さかった。西の湖では、表層および底層の酸素飽和度がしばしば100%を超えており、布池よりも好気的な環境にあったことが、メタン放出量を抑制した要因であると考えられた。

6. 今後の展開

布池と同程度の水深でアオコが発生する西の湖では、布池に比べメタン放出量が小さかった。今後、湖沼からのメタン放出量の制御要因として、水深、アオコの有無に加えて、面積、水循環、栄養状態等の違いに着目した解析を行う予定である。これらの湖沼に加えて、植生タイプの異なる 7 つの湖沼にて、集水域の土地利用、栄養塩濃度、植生や藻類の生育状況の違いが、湖沼の炭素・窒素循環に与える影響の解明に取り組んでいる。今後、これらの植生タイプの異なる複数の池を比較し、植生や藻類の生育状況が炭素・窒素循環に与える影響を明らかにする予定である。

7. 引用文献

1) Rosentreter, J.A., Borges, A.V., Deemer, B.R. et al., Half of global methane emissions come from highly variable aquatic ecosystem sources, *Nature Geoscience*, 14, 225-230, 2021

8. 付記

本課題に関連して、以下の学会発表が行われた。

1) Gen Yamamoto, Naoya Miyashita, Ayaka Sakabe, Yoshiko Kosugi, Masayuki Itoh (2025) “Analysis of carbon and nitrogen dynamics in a eutrophic farm pond using stable isotopic signature”, Japan Geoscience Union Meeting 2025, Oral presentation, May 29 2025.
2) Naoya Miyashita, Gen Yamamoto, Ayaka Sakabe, Yuichiro Oku, Masayuki Itoh (2025) “Diel and seasonal variation of partial pressure of carbon dioxide in surface water of an agricultural reservoir”, Japan Geoscience Union Meeting 2025, Oral presentation, May 29 2025.
3) 尾坂兼一, 坂部綾香, 徳井勇斗, 大林和暉, 永田鈴奈, 後藤直哉, 伊藤雅之 (2025) “西の湖における溶存 CO_2・CH_4 濃度と渦相関法を用いた CO_2・CH_4 放出量推定”, 日本陸水学会, ポスター発表, Sep 27 2025.
4) Ayaka Sakabe, Masayuki Itoh, Yoshiko Kosugi (2025) “Seasonal variation in methane emission from a farm pond in Japan measured using eddy covariance method”, AsiaFlux, Oral presentation, Oct 24 2025.

シコニン生合成のナフタレン環形成ステップにおける新規生合成中間体の探索

1. 研究組織

代表者氏名：庄司　翼（富山大学 和漢医薬学総合研究所）
共同研究者：杉山暁史（京都大学 生存圏研究所）
矢﨑一史（京都大学 生存圏研究所）
中西浩平（富山大学 和漢医薬学総合研究所）

2. 関連ミッション

ミッション１：環境診断・循環機能制御
ミッション５：高品位生存圏

3. 研究概要

植物成分は多種多様な生理活性を示すことから医薬品や機能性食品として人々の生活に利用されている。絶滅危惧植物ムラサキが生産するシコニンは、多様な薬理活性を示す天然色素であり、古来より医薬品や染料として利用されてきた。本研究では、シコニンの持続可能な生産利用に向けた生合成機構の解明を目指して、ナフタレン環形成ステップにおける新規生合成中間体の探索を行った。

4. 研究の背景と目的

絶滅危惧植物ムラサキ（*Lithospermum erythrorhizon*）は、赤色色素のシコニンを生産・蓄積する。シコニンは抗菌作用や抗炎症作用、肉芽形成促進作用といった薬理活性を示すことから、生薬や軟膏、化粧品などに利用されている。一方、持続可能な生産系の確立には至っておらず、その実現には生合成機構の解明が不可欠である。シコニン生合成経路は未だ不明な点が多く、特に 3″-hydroxygeranylhydroquinone（GHQ-3″-OH）以降のナフトキノン骨格形成に関する知見は乏しい。GHQ-3″-OH は、シコニン代謝の主要分岐点の一つであるエキノフラン代謝との共通中間体である[1)]。そのため、ナフタレン環形成はシコニンの安定生産を目指した代謝工学の基盤となる重要ステップと考えられる。本研究では、前年度、新規生合成遺伝子として同定した*ポリフェノールオキシダーゼ 1*（*PPO1*）に着目し、本酵素の基質の同定を目指した。

5. 研究の結果および考察

PPO1 のゲノム編集毛状根の代謝物解析を行った結果、シコニン類の生産量が顕著に減少した一方で、GHQ-3″-OH までを共通の経路とするエキノフラン類の生産量は変動しなかった。このことから、少なくとも PPO1 は GHQ-3″-OH 以降のナフトキノ

ン骨格形成に関与することが示唆された。しかし、PPO1 の基質となり得る化合物の蓄積は見られなかった。これらの結果から、*PPO1* のゲノム編集毛状根では PPO1 の直接の基質が蓄積しない可能性が示唆された。そこで次に、ムラサキ細胞における PPO1 の機能を理解すべく、細胞内局在解析に着手した。PPO1 の N 末端には、葉緑体への局在シグナルと考えられる保存配列が存在する。そこで、PPO1 の C 末端に蛍光タンパク質 GFP（green fluorescent protein）を融合した植物発現用コンストラクトを作製し、ベンサミアナタバコの葉を用いて細胞内局在を解析した。その結果、植物細胞内において PPO1 は葉緑体に局在することが明らかになった。従前、シコニン生合成はペルオキシソームや細胞質、小胞体、ミトコンドリアなど複数のオルガネラを介して進行すると考えられてきたが、本研究により、さらに葉緑体を介して生合成されることが示唆された。

6. 今後の展開

今後は PPO1 の機能特性をさらに理解すべく、候補となる化合物を用いた酵素活性試験を実施する。ベンサミアナタバコの葉において *PPO1* を一過的に発現させ、候補基質をフィーディングすることで目的化合物が生成されるかを検証する。また、代謝工学においてオルガネラ間の基質移動は極めて重要な要素となる。PPO1 の基質を明らかにすることで、シコニン代謝における化合物の動態の理解に貢献したい。

7. 引用文献

1) Manabe, M., Watanabe, B., Oshikiri, H., Takanashi, K. “Tracer experiment revealed that (E)-3″-hydroxygeranylhydroquinone is not an intermediate of the shikonin/alkannin and shikonofuran biosynthetic pathways in *Lithospermum erythrorhizon*.” *Plant Biotechnol*., **41**:315-317, 2024.

8. 付記

本研究の成果ついて、一報の論文発表と一件の学会発表を行った。

1) Nakanishi, K., Takano, Y., Yamamoto, K., Yano, M., Mito, K., Ichino, T., Tatsumi, K., Li, H., Ohara, K., Munakata, R., Suzuki, H., Sakurai, N., Shibata, D., Osakabe, K., Watanabe, B., Okada, T., Shimomura, K., Takanashi, K., Sugiyama, A., Yazaki, K. “CRISPR/Cas9-mediated genome editing reveals the involvement of a polyphenol oxidase in the shikonin-specific biosynthesis in *Lithospermum erythrorhizon*.” Preprint at *bioRxiv*, https://doi.org/10.1101/2025.07.30.667576, 2025.
2) 中西浩平，高野祐希，山本恭子，松田悠希，佐々木佳菜子，小原一朗，市野琢爾，巽奏，李豪，棟方涼介，刑部敬史，下村講一郎，杉山暁史，高梨功次郎，矢崎一史“ムラサキのシコニン生合成遺伝子と共発現する銅含有ポリフェノールオキシダーゼの機能解析”第 42 回日本植物バイオテクノロジー学会，神戸，2025 年 9 月 7 日

水中プラズマとファインバブルの組み合わせによる水処理技術の開発

1. 研究組織

代表者氏名：高橋克幸（岩手大学 理工学部）
共同研究者：上田義勝（京都大学 生存圏研究所）
石川奈緒（岩手大学 農学部）

2. 関連ミッション

ミッション１：環境診断・循環機能制御
ミッション２：太陽エネルギー変換・高度利用

3. 研究概要

本研究では、プラズマとファインバブルの組み合わせ技術の開発を目的に、液面上パルス放電による PFOA の分解特性を検討した。比較対象として酢酸ナトリウム溶液を用い、アルゴン雰囲気下で印加電圧の極性および放電エネルギーを変化させた。その結果、PFOA は正極性印加時にのみ顕著に分解した。一方，酢酸ナトリウムは正負いずれの極性でも分解し、極性依存性は小さい。PFOA は疎水性により液面近傍に局在し、正極性時にシースで加速された正イオンが高エネルギーで衝突することで、酸化反応ではなく物理的エネルギーが分解に寄与すると考えられる。

4. 研究の背景と目的

水に混入した難分解性化合物の分解や菌の不活化は、環境水、下水、畜産排水の処理のみならず、水耕栽培培養液や食品工場における洗浄水など非常に広い領域で必要とされている。しかし、既存技術ではコストや反応速度、薬品の投与による排水や作業者への毒性など課題が多く、革新的な新規技術の開発が急務である。水中プラズマ処理方式は、汚水中の難分解性有機化合物の高速処理が可能でその効果も高く、新たな処理方法として期待できる。しかし、水の絶縁破壊電圧が高く高電圧・大電流が必要でありエネルギー効率が低いことに課題がある。

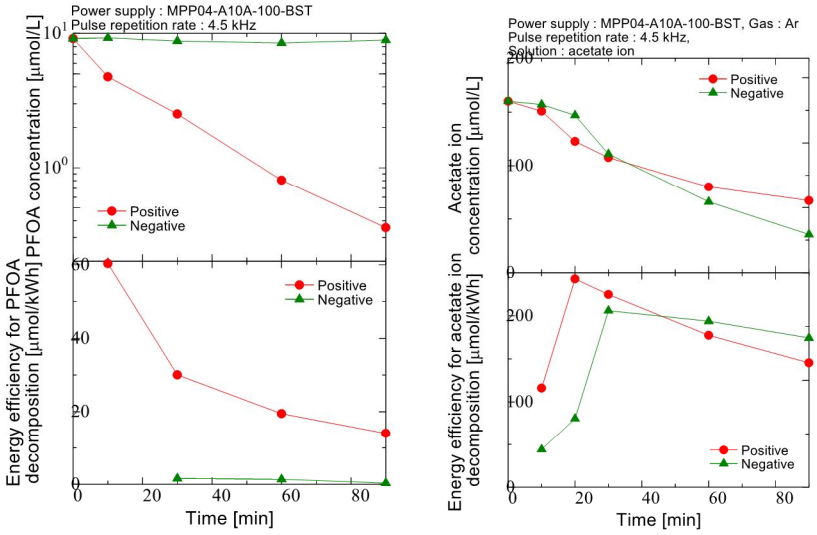
本研究の目的は、環境分野やバイオ関係への展開が活発なプラズマを水中で発生させ、それにより生成したラジカルを利用し、溶存する難分解性化合物の分解を、高効率で可能とする水処理技術の開発を行うことである。具体的には、ファインバブルを導入することによる液中へのラジカル供給輸送過程を明らかにする。また、ファインバブルの特性を利用することで、有害性が高い疎水性有機化合物である有機フッ素化合物を気泡表面に局所化することが期待できる。ここにプラズマ処理をすることで、その分解処理効率を向上する新たな組みあわせ技術を開発する。さらに、実用化を視野に入れ、バッチ処理だけではなく、循環系に電極を組み込んだ際の処理特性の向上を試みる。

5. 研究の結果および考察

処理対象として、PFOA（Perfluorooctanoic acid）溶液（6mg/L、30mL）および酢酸ナトリウム溶液（10mg/L、30mL）を用いた。溶液をポリプロピレン製容器に入れ、アルゴン雰囲気下で液面上にパルス放電を印加し、分解特性を評価した。PFOA の分解要因としてラジカル反応および熱分解が考えられる。そのため、印加電圧の極性および放電エネルギーなどの電気的パラメータを変化させて検証した。

図 1 に、処理時間による(a) PFOA 溶液および(b)酢酸ナトリウム溶液の、溶質濃度および分解効率の変化を示す。図より、PFOA 溶液では正極性でのみ PFOA が分解する。一方、酢酸ナトリウム溶液では正負いずれの極性でも分解する。酢酸ナトリウム溶液では分解効率に大きな差はない。

プラズマで生成されたヒドロキシラジカルなどのラジカルは、溶液中へ輸送された後、有機化合物を酸化分解する。しかし、PFOA は結合エネルギーが高く、ヒドロキシラジカルとの反応性が低いが、疎水性が高く液面近傍に局在する。印加電圧を正極性とした場合、気液界面に形成されるシース領域により、プラズマで生成された正イオン(Ar^+)が加速され、高エネルギーで液面に衝突する。これにより、酸化反応だけではなく物理的エネルギーが PFOA の分解に寄与することが考えられる。そのため、PFOA は正極性において顕著に分解すると考えられる。



(a)PFOA 溶液　　(b)酢酸ナトリウム溶液

図 1 処理時間による溶質濃度と分解効率の変化

6. 今後の展開

液面プラズマの照射により従来の方式よりも高い効率で PFOA の分解処理が可能であることを見いだした。その反応は、従来定義されてきた単純なラジカル溶解反応ではなく、液面へのイオン衝突など物理的反応が強く関与することを明らかにした。今後は、流体力学・化学反応を複合した数値計算を新たな課題解決手法として加え気液界面現象の解明に挑む。

コケ植物ゼニゴケの生殖組織における細胞外ポリマーの生理学的意義の解明

1. 研究組織

代表者氏名：巽　奏（京都大学 生存圏研究所）
共同研究者：梶川昌孝（近畿大学 生物理工学部）

2. 関連ミッション

ミッション１：環境診断・循環機能制御
ミッション２：太陽エネルギー変換・高度利用

3. 研究概要

細胞外ポリマーは陸上植物が共通に有する脂肪酸や芳香族化合物が重合した生体高分子である。本研究では雌雄異株の植物であるコケ植物ゼニゴケ (*Marchantia polymorpha*) をモデルに細胞外ポリマーの生合成酵素 MpCYP704 の機能解析を通じて、コケ植物の有性生殖における ω-ヒドロキシ脂肪酸ひいては細胞外ポリマーの生理学的意義を明らかにする。

4. 研究の背景と目的

約 5 億年前に水中から陸上に進出した祖先植物は紫外線や乾燥から自分自身を保護する必要に迫られ細胞外ポリマーを分泌する能力を獲得した。現生の被子植物シロイヌナズナは最外層の表面、根の内部、花粉、二次細胞壁に細胞外ポリマーとしてクチン、スベリン、スポロポレニン、リグニンをそれぞれ蓄積する。近年の研究から陸上植物のより基部で分岐したコケ植物も細胞外ポリマーを有すること、その生合成経路の中核は陸上植物間で保存されていることが示された[1,2]。しかし、シロイヌナズナ以外の各植物における細胞外ポリマーの化学構造や生理学的意義は明らかでない。進化の履歴が異なる植物種の細胞外ポリマーの機能とその生合成の分子機構を明らかにすることは、植物がその進化の過程でどのような代謝産物を獲得してきたのか、すなわちその代謝戦略を紐解くことに繋がる。本研究ではゼニゴケの生殖組織における細胞外ポリマーの生理学的意義を明らかにすることを目指して、細胞外ポリマー生合成酵素 CYP704 に着目し、生殖器托におけるその機能の解明を目的とした。

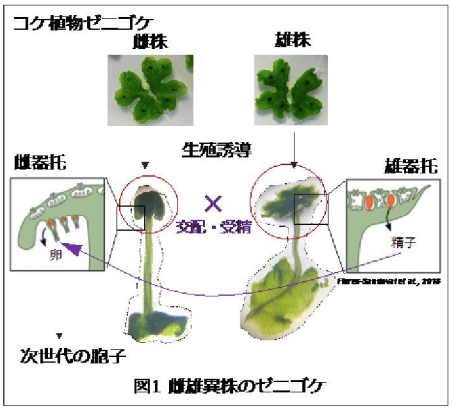


図1 雌雄異株のゼニゴケ

5. 研究の結果および考察

MpCYP704 の酵素活性試験

MpCYP704 が ω-ヒドロキシ脂肪酸の生成に関与するか、その酵素機能を検証するために酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*)を用いた異種発現法により MpCYP704 タンパク質を発現させた。その酵母から膜画分であるマイクロソームを精製し、その画分に対して酵素アッセイ試験を行った。結果として、すでに ω-ヒドロキシラーゼ活性が報告されているシロイヌナズナの AtCYP704B1 では酵素活性が検出されたものの、MpCYP704 ではヒドロキシラーゼ活性は検出されなかった (図 2)。今後、発現ベクターの見直しなどを行う予定である。

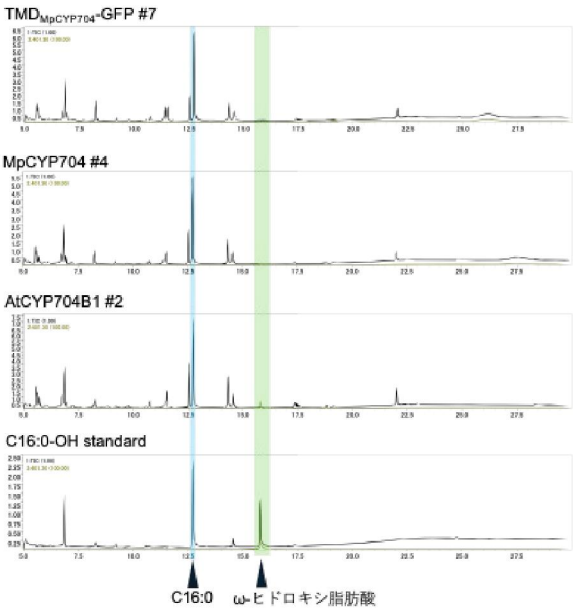


図2 ゼニゴケおよびシロイヌナズナCYP704の酵素活性試験

ゼニゴケの細胞外ポリマー組成解析

ゼニゴケの細胞外ポリマーがどのような分子種のモノマーで構成されてるのか、明らかにするべく細胞外ポリマーの組成解析を行った。本年は主に実験系の確立を目指し、寒天培地で 1 ヶ月生育させたゼニゴケ葉状体をサンプルとして条件検討を行った。分析の結果、芳香族化合物としては *p*-クマル酸およびフェルラ酸、脂肪酸誘導体としてはパルミチン酸や CYP704 の生成物であるヒドロキシ脂肪酸が検出され、ゼニゴケ葉状体の細胞外ポリマーがこれら複数種のモノマーから構成されることが示唆された。

6. 今後の展開

本年に確立した細胞外ポリマー組成解析系を活かして、ゼニゴケ生殖組織の細胞外ポリマー組成を明らかにする。また、MpCYP704 を欠損したゼニゴケ変異体の生殖器托の形成や次世代の稔性を解析し、ω-ヒドロキシ脂肪酸ならびに MpCYP704 の生理学的な機能を解明する予定である。

7. 引用文献

1) Renault H, Alber A, Horst NA, Basilio Lopes A, Fich EA, Kriegshauser L, Wiedemann G, Ullmann P, Herrgott L, Erhardt M, Pineau E, Ehlting J, Schmitt M, Rose JK, Reski R, Werck-Reichhart D. A phenol-enriched cuticle is ancestral to lignin evolution in land plants. *Nat Commun*. 8:14713. 2017.

2) Knosp S, Kriegshauser L, Tatsumi K, Malherbe L, Erhardt M, Wiedemann G, Bakan B, Kohchi T, Reski R, Renault H. An ancient role for CYP73 monooxygenases in phenylpropanoid biosynthesis and embryophyte development. *EMBO J*. 43:4092-4109. 2024.

スギ伝統林産地「秋田」の土壌が持つカルシウム貯蔵効率

1. 研究組織

代表者氏名：谷川東子（名古屋大学大学院 生命農学研究科）
共同研究者：杉山暁史（京都大学生存圏研究所）
山下　満（兵庫県立工業技術センター）

2. 関連ミッション

ミッション１：環境診断・循環機能制御

3. 研究概要

「森林は土壌を育む」と広く信じられているが、多くの人工林では交換性カルシウム（Ca）が減少し、土壌酸性化が進むことが明らかになりつつある。人工林を持続的に利用し天然林への伐採圧を抑えるためにも、土壌酸性化を抑制し、植物の生育に必須な交換性 Ca を安定的に維持できる人工林の育成が必要である。

土壌の酸緩衝能は、交換性アルミニウム濃度（酸性度指標）と土壌塩基（主に交換性 Ca）濃度の 2 軸により評価され、前者が低く後者が高い土壌は酸緩衝能が高い肥沃な土壌に分類され、逆は酸緩衝能が高く痩せ土壌に分類される。秋田県では 20 年前の土壌調査により、県内広域に「肥沃土壌」が分布することが示されている。加えて、江戸期以降にスギ造林が奨励され、長期にわたってスギ人工林施業が継続してきた地域もある。これらから、秋田県にはスギに適した立地が広く存在する可能性がある。

植物は、母岩風化で供給された Ca を吸収し、落葉として土壌へ還元する。この循環により、再利用されやすく酸性化を緩和しうる交換性 Ca が土壌に蓄積する。本研究では、秋田県のスギ林土壌が一般的な林業地より高い Ca 貯蔵効率を示すかを検証した。もし効率が高ければ、他地域のスギ連作では秋田ほどの Ca 貯蔵が期待できず、土壌酸性化リスクが高まる可能性が暗示される。

その結果、秋田県の Ca 貯蔵効率は、先行研究で報告された関西地域の肥沃土壌の値と大差ないことが明らかになった。これは、秋田に固有の特別な要因が交換性 Ca の維持を可能にしているのではなく、他地域でも立地条件が整えばスギ林の Ca 貯蔵機能が十分に発揮され得ることを示唆する。本研究の結果は、秋田を「例外」として位置づけるものではなく、交換性 Ca を維持しやすい立地と維持しにくい立地（酸性化リスクの高い立地）を見分けるための基礎情報を提供する。今後は、調査地にスギ連作地が含まれているかどうかの地歴を確認することで、Ca 貯蔵効率の高さが「立地の素性（母岩・土壌型）」によるものなのか、それとも「連作履歴（施業の継続）」の影響を受けているのかを切り分けられる。これにより、交換性 Ca の維持が見込める立地条件を一般化し、酸性化リスクの高い立地では伐採・更新方法や養分収支に配慮した施業指針を提示することを目指す。

4 . 研究の背景と目的

植物―土壌間相互作用を通じて土壌は肥沃化すると広く信じられてきた。しかし実際には、多くの人工林で交換性塩基の減少を伴う土壌酸性化が進行し得ることを我々は報告してきた [1,2]。一方、長期にわたり単一樹種による林業が成立している伝統林業地では、樹種

と土壌の相互作用を通じて、土壌酸性度を緩和する交換性カルシウム(Ca)の貯蔵が相対的に維持されている可能性がある。そこで本研究では、スギの伝統林業地である秋田を対象に、土壌―樹木(スギ)間相互作用の帰結として土壌の Ca 貯蔵効率が高く維持されているかを検証することを目的とする。

5. 研究の結果および考察

秋田県の 4 林分から採取したスギ林土壌は、交換性アルミニウム濃度と交換性塩基濃度の 2 軸による基準(図 1)に基づき、肥沃土壌に分類された。土壌試料を微粉砕し、蛍光 X 線分析(XRF)により全 Ca 濃度を測定した。土壌中の交換性 Ca 含量と全 Ca 含量の比で定義される Ca 貯蔵効率は、秋田の肥沃土壌と関西の肥沃土壌で大差がなく、関西の痩せ土壌より高かった(図 2)。以上より、本研究は秋田を例外視する必要がないことを示し、スギ連作における交換性 Ca 維持の可否と酸性化リスクは、地域差ではなく立地(土壌・母岩)条件に基づいて判別すべきであることが示された。

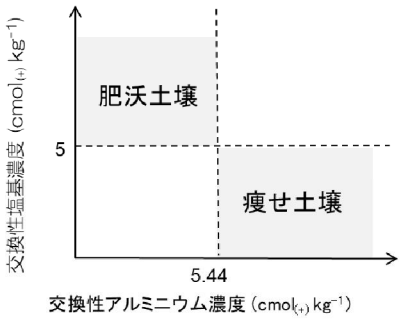


図 1　土壌の肥沃度(縦軸)・酸性度(横軸)の2軸で示す土壌カテゴリ (Takahashi et al. 2001を改変)

縦軸である交換性塩基濃度の主体は交換性Caである。本研究で対象としている秋田県スギ林4林分の土壌はいずれも、「肥沃土壌」に分類される。

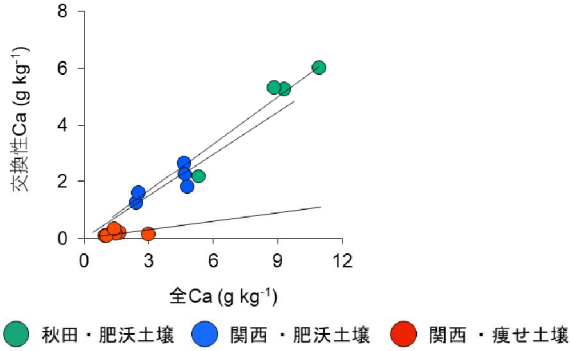


図2　酸緩衝能が高い土壌と低い土壌における全Ca濃度と交換性Ca濃度の関係

6. 今後の展開

対象森林について、航空写真・古地図・施業履歴等から前植生を特定し、スギ第二世代以上の林分を抽出する。これにより、連作(再造林の反復)の有無を独立に確認した上で、Ca 貯蔵効率や酸性化指標との関係を評価し、連作の影響を明確化する。

7. 引用文献

1) Tanikawa T, Sobue A, Hirano Y. (2014) Acidification processes in soils with different acid buffering capacity in *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* forests over two decades. *Forest Ecology and Management* **334**, 284-292.

2) Tanikawa T, Ito Y, Fukushima S, Yamashita M, Sugiyama A, Mizoguchi T, Okamoto T, Hirano Y (2017) Calcium is cycled tightly in *Cryptomeria japonica* stands on soils with low acid buffering capacity. *Forest Ecology and Management* **399**, 64–73.

8. 付記

佐藤大地(2026)修士論文(名古屋大学大学院)「樹種転換と土壌酸性度勾配がカルシウム循環に与える影響」

代謝工学と化学工学の連携によるリグニンの高付加価値利用の促進

1. 研究組織

代表者氏名： 飛松裕基（京都大学 生存圏研究所）
共同研究者： Pingping Ji（京都大学 生存圏研究所）
Bing Xie（京都大学大学院 農学研究科）
Kai Nie （徳洲学院 生物繊維及び環境調和型繊維開発国家重点研究室）

2. 関連ミッション

ミッション１：環境診断・循環機能制御
ミッション２：太陽エネルギー変換・高度利用
ミッション５：高品位生存圏

3. 研究概要

木質バイオマスの主要成分であるリグニンは、多種多様なサブストラクチャーから成る複雑な構造を有しており、これがバイオマスの成分分離や有用芳香族化成品への変換を阻む大きな要因となっている。本研究では、代謝工学により芳香核組成を単純化した一連のリグニン改変植物を基質として用い、種々の成分分離・分解反応を適用する。これにより、単純化されたリグニン組成および各ユニットの反応性に合致した変換プロセスを選定し、リグニンの分離効率と芳香族化成品への変換効率の相乗的向上を図る。本研究で得られる知見は、生存圏科学が目指す木質バイオリファイナリー技術を通じた、持続可能な社会の実現に寄与するものと期待される。

4. 研究の背景と目的

木質バイオマスの主要成分であるリグニンは、地球上で最も豊富な天然芳香族資源であり、化石資源代替のプラスチック原料や燃料へと変換可能な芳香族系化成品としての利用が期待されている。しかし、多種多様なサブストラクチャーから成る複雑な分子構造が、バイオマスからの単離や有用化合物への変換効率を著しく低下させており、実用化に向けた最大のボトルネックとなっている[1)]。当研究グループでは、モデル植物におけるリグニン生合成代謝経路の解析を進め、代謝工学によって複雑多様なリグニン構造を特定の芳香核ユニットへと単純化した様々なリグニン改変植物の作出に成功している[1,2)]。本研究では、これら一連のリグニン改変植物を基質として、種々のバイオマス成分分離・分解反応を適用する。これにより、単純化されたリグニンの化学構造及び各ユニットの反応性に適合した化学変換プロセスを確立し、特にリグニン成分の分離効率と芳香族化成品への変換効率を相乗的に向上させることを目的とする。

5. 研究の結果および考察

マルチプレックスゲノム編集を用いたリグニン生合成遺伝子への多重変異導入によって、グアイアシル（G）型及びシリンギル（S）型リグニンの比率をそれぞれ大幅に増強したイネ株を作出した[2)]。本イネ株を基質として、アルカリ、酸、および高圧熱水を用いた前処理後の酵素糖化試験を行った。その結果、野生型と比較して、G 型増強株ではアルカリ前処理時に約 40%、S 型増強株では高圧熱水前処理時に約 50%の糖化効率向上が認められた。これらの向上は、各前処理条件における G 型および S 型リグニンの反応性の違いが、効率的なリグニンの除去やリグノセルロース構造の緩和に寄与したためと考えられる。一方、アルカリ性ニトロベンゼン酸化（ANO）法による低分子芳香族化合物（安息香酸およびベンズアルデヒド類）への変換試験では、野生型に比べ、G 型増強株で約 30%の G 型化合物収率向上が確認された。特筆すべきは S 型増強株であり、S 型化合物の収率が約 130%向上するという顕著な向上効果が認められた。これは、S 型増強株におけるリグニン芳香核組成の単純化に加え、ANO 反応で効率的に分解される β–O–4 結合の含有率が増加したことによる相乗効果と考えられる。

6. 今後の展開

以上のように、代謝工学によってリグニン構造を単純化・最適化することで、リグニンの分離反応や有用芳香族化合物への変換効率を劇的に改善できることを実証した[5,6)]。現在、新規バイオマス変換プロセスとして期待されている、電解メディエーター（EMS）酸化反応[3)]や深共晶溶媒（DES）[4)]を用いた試験を進めている。さらに、リグニン芳香核組成の単純化をより高度に推し進めた、新たなゲノム編集イネ株の作出にも着手している[7,8)]。

7. 引用文献

1) Umezawa T, Metabolic engineering of *Oryza sativa* for lignin augmentation and structural simplification. *Plant Biotechnol.*, 41, 89-101, 2024.
2) Ji P. et al. Stacked mutations disrupting syringyl and *p*-coumaroylated lignin biosynthesis result in lignin dominated by guaiacyl units in rice. *New Phytol.*, 247, 2163–2179, 2025.
3) Xie et al. Electro-oxidation of synthetic lignin with linoleic acid and co-catalyst. *J. Wood Sci.*, 71, 6, 2025.
4) Song et al. A green degumming approach for lignocellulosic kenaf bast using ethanolamine deep eutectic solvent. *Int. J. Biol. Macromol.*, 311, 143717, 2025.

8. 付記（本研究に関する業績）

論文発表：上記研究論文 2), 3)及び 4)；学会発表：5) Ji et al. The 3rd FTMB (Forest Tree Molecular Biology and Biotechnology) Conference (Harbin, China), 2025 年 8 月. 6) Ji et al., 第 42 回日本植物バイオテクノロジー学会大会（神戸）2025 年 9 月. 7) You et al., The 10th Asia Research Node (ARN) Symposium on Humanosphere Science (Tainan, Taiwan), 2025 年 9 月. 8) You et al., 第 76 回日本木材学会大会（広島） 2026 年 3 月（予定）.

日常生活下の食習慣と紫外線暴露量から推定される大学生の体内ビタミンD濃度に関する研究

1. 研究組織

代表者氏名：中島英彰（国立環境研究所）
共同研究者：高橋けんし（京都大学 生存圏研究所）
佐々木徹（国立環境研究所）
江藤宏美（長崎大学 生命医科学域保健学系）
近藤英明（長崎大学 病院総合診療科）

2. 関連ミッション

ミッション１：環境診断・循環機能制御
ミッション５：高品位生存圏

3. 研究概要

最近日本人の若年女性の間で太陽紫外線を避ける風潮が広まり、その結果として VD 栄養状況の悪化が報告されてきている。我々はこれまでに、妊婦を対象として、日光照射時間と血中ビタミンD（VD）との関係をしらべ、結果を論文で報告してきた（Nakajima et al., 2023）1)。本研究では別の切り口として、九州地方で生活している大学生について関して同様の解析を行い、太陽紫外線から生成すると想定される VD 量と実際の血中に存在する VD 量との間の関係に、妊婦と大学生とで違いがあるかないかを明らかにすることを目的とした。

4. 研究の背景と目的

最近日本人の若年女性の間で太陽紫外線を避ける風潮が広まり、その結果として VD 栄養状況の悪化が報告されてきている（Tsugawa et al., 2022） 2)。申請者らはこれまでの研究において、実際の太陽紫外線観測データから体内で生成する VD 量を、放射伝達計算を用いて推定する手法を開発してきた（中島, 2020）3)。これまでの研究では、大学病院の産婦人科を受診する妊婦さんを対象に、その日に浴びたと思われる太陽紫外線量を紫外線実測データから求め、妊婦の体内に生成したと思われる VD 量を計算によって求め、それと実際に妊婦の採血によって測定された血中 VD 量との関係を調べた（Nakajima et al., 2023）1)。その結果、妊婦さんたちは日光照射時間から想定されるほどは、血中で VD が存在していないことが明らかとなった。今回の計画では、長崎大学大学院保健学専攻に在籍する大学生・大学院生を対象にアンケートと血液検査を行い、直近の日光照射時間と VD 含有食品の摂取量と、体内の VD 濃度との相関解析を行う。アンケート結果をもとに、直前 2 週間の外出履歴と日光照射時間を推定し、大学生の体内で産出されたと想定される VD 量を計算する。これと、血液検査から求められた実際の

血中 VD 量の相関を解析する。このことにより、食事からの VD 摂取量と紫外線からの VD 生成量と大学生の血中 VD 量の間に、どのような関係があるのかを解析する。以前に行った妊婦に関する調査では、日光浴から想定される VD 生成量に比べ、血液検査から求めた血中 VD 濃度が明らかに低いという結果が得られた。このことにより、母体に取り込まれた VD は赤ちゃんの骨の生成に消費されているのではないかという仮説が考えられた。本研究を行う事によって、赤ちゃんの骨の生育には関係ない大学生についての新たな相関関係が得られることが期待され、世界的に見ても新たな知見が得られるものと期待される。また実際の太陽照射と大学生の血中 VD 量の有意な相関関係が得られれば、大学生の健康のために画期的な知見となる。

5. 研究の結果および考察

調査は、紫外線照射量が多い夏季（7～9 月）と、少ない春季（3～4 月）の 2 回に分けて行った。長崎大学保健学科及び大学院修士課程に在学中の 28 名の女性を対象として調査を行った。食事からの VD 摂取量は、簡易型自記式食事歴訪質問票を用いて評価した。また、行動記録を元に、推定紫外線暴露量を推定した。肌の露出面積、サンスクリーン塗布の有無、スキンタイプを考慮し、肌での VD 生成量を推定した。春季の被験者の血中 VD 濃度の平均は 8.9 ng/mL だったのに対し、夏季のそれは 15.5 ng/mL と有意に高値であった。食事からの VD 摂取量の中央値は、エネルギー摂取量補正を行った値で春季が 8.5 μg/day、夏季が 6.2 μg/day と、有意な差はなかった。紫外線からの VD 生成量の中央値は、春季が 10.5 μg/day、夏季が 17.0 μg/day と、有意に増加した。春季と夏季の紫外線からの VD 生成量と血中 VD 濃度との Spearman 順位相関係数は、それぞれ $\rho=0.04$ ($P=0.85$)と $\rho=0.27$ ($P=0.17$)であった。1 日当たりの紫外線からの VD 生成量と食事からの摂取量の和である生体利用 VD 量と血中 VD 濃度との Spearman 順位相関係数は、春季が $\rho=0.11$ ($P=0.54$)、夏季が $\rho=0.45$ ($P=0.02$)であった。夏季にはこれらの係数の間に、有意な相関関係が見られることが判った。

6. 引用文献

1) Nakajima, H., Y. Sakamoto, Y. Honda, T. Sasaki, Y. Igeta, D. Ogishima, S. Matsuoka, S. -G. Kim, M. Ishijima, and K. Miyagawa, Estimation of the vitamin D (VD) status of pregnant Japanese women based on food intake and VD synthesis by solar UV-B radiation using a questionnaire and UV-B observations, *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.*, **229**, 106272, 2023, doi:10.1016/j.jsbmb.2023.106272.
2) Tsugawa, N., A. Kuwabara, H. Ogasawara, M. Nishino, K. Nakagawa, M. Kamao, H. Hasegawa, and K. Tanaka, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **68**, 172-180, 2022.
3) 中島英彰、「（総説）日光よるビタミンDの生成」, *ビタミン*, **94**, 469-491, 2020.

MU レーダー鉛直流データを用いた上部対流圏大気の研究

1. 研究組織

代表者氏名：西　憲敬（福岡大学 理学部）
共同研究者：Hubert Luce（京都大学 生存圏研究所）

2. 関連ミッション

ミッション１：環境診断・循環機能制御
ミッション５：高品位生存圏

3. 研究概要

厳格な品質管理を行って整理した 38 年間の MU レーダーの鉛直流データを用いて、ジェット気流付近のデータにみられる自然現象のシグナルと測定時のバイアスの区別に関する分析を行う。また、同じ高度帯でみられる中間規模東進波などの擾乱に伴って発生する上層雲とその周辺の上昇流分布について、統計的研究を行う。

4. 研究の背景と目的

MU レーダーの鉛直流データは、長期間にわたる蓄積をもっている。両申請者によって近年、厳密な品質管理が施された、長期統計研究に適したデータセットが構築されており、それを用いた研究成果も報告されている [1)]。本研究では、このデータを用いて、上部対流圏の大気現象の解明に取り組む。まず、ジェット気流付近でみられる、風速最大高度の上下で鉛直流の向きが反転する現象について、自然現象に起因する部分と、VHF レーダー観測特性に起因する部分を分離して評価する。さらに、上部対流圏に局在する波動である中間規模東進波動に伴う雲変動に与える鉛直流の役割について、このデータを大気再解析データ(ERA5)と組み合わせることによって明らかにする。

5. 研究の結果および考察

1. 鉛直流の長期平均における、観測バイアスと大気現象に由来するシグナルの分離

38 年間にわたる MU レーダーのデータを解析した結果、ジェット気流の最大高度付近において、平均鉛直流(W)プロファイルが反転し、12 km 以下では負、12 km 以上では正となるという、よく知られた特徴が、従来報告されていた冬季だけでなく、ほぼ毎月発生していることが分かった。

Muschinski（1996）[2]による経験的モデルを補完する改良モデルを新たに開発した。このモデルは、対称な斜めビーム間のパワーバランスを考慮したものである。その結果、高度約 4.0 km 以上の月平均 W プロファイルは、水平風シアに由来する混入の影響を受けていることが確認された。さらに、ERA5 再解析データ 30 年分の解析から、等温位面に沿った断熱的な上昇・下降運動が、冬季には W の反転を引き起こし得ることも示された。この気候学的平均としての W は、MU レーダーで観測される値よりもはるかに弱く、長期的な効果としては、風シアによって生じる層の傾きが支配的であることが示唆された(図 1)。

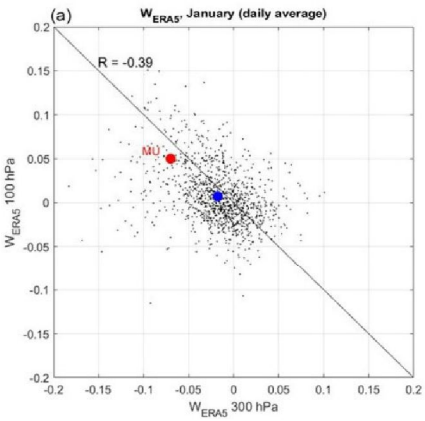


図 1　ERA5 再解析による MU レーダー付近の 1987-2023 年 1 月の日々の 300hPa（横軸）と 100hPa（縦軸）の鉛直流．青点はその平均．赤点は MU レーダー観測によるほぼ同高度の鉛直流の平均．

2. 上層雲変動に伴う鉛直流の解析

本資料作成時点では、MU レーダーを用いたまとまった結果を示す段階には達していない。この波動による鉛直流の値は、数 cm/s から大きくても 15cm/s 程度だとみられるので、解析は大振幅時に限られると考えられる。あわせて、総観規模擾乱についての解析も行っている。

6. 今後の展開

MU レーダーで観測される鉛直流を気候データとして確立していくための試みを続けていく。また、上部対流圏にみられる擾乱について、このデータを用いた解析を継続する。

7. 引用文献

1) Luce, H., N. Nishi, & H. Hashiguchi, 2024: A climatological study of thefrequency spectra of vertical winds from MU radar data (1987–2022). *Journal of Geophysical Research*: *Atmospheres*, **129**, e2024JD041677.　https://doi.org/10.1029/2024JD041677.

2) Muschinski, A. (1996). Possible effect of Kelvin‐Helmholtz Instability on VHF radar observations of the mean vertical wind. *Journal of Applied　Meteorology*, **35**(12), 2210‐2217. https://doi.org/10.1175/1520-0450(1996)035<2210:PEOKHI>2.0.CO;2

8. 付記（業績）

Luce, H., N. Nishi, & H. Hashiguchi, 2025:. A re-examination of the reversal invertical velocity profiles at 12 km altitude measured by the middle and upper atmosphere radar over a 38-year period (1987-2024). *J. Geophys. Res. Atmospheres*, **130**, e2025JD044896. https://doi.org/10.1029/2025JD044896.

山田ななみ, 西　憲敬, 2025: 上層雲の変動における中間規模東進波の役割. 日本気象学会 2025 年秋季大会, 福岡, 2025/11/08.

Asaia bogorensis のセルロース合成酵素複合体の配列様式解明

1. 研究組織

代表者氏名：水野正浩（信州大学 工学部）
共同研究者：丹 和磨（信州大学 総合医理工学研究科）
今井友也（京都大学 生存圏研究所）

2. 関連ミッション

ミッション２：太陽エネルギー変換・高度利用
ミッション４：循環材料・環境共生システム
ミッション５：高品位生存圏

3. 研究概要

本研究では，*Asaia bogorensis* が有するセルロース合成酵素 BcsA を免疫標識し，細胞膜上でのセルロース合成複合体（Bcs）の配列様式を明らかにすることを目的とする。複数の顕微鏡法を用いて BcsA の膜内での分布を可視化・解析し，特有な配列様式を解明することで，細菌セルロース合成の多様性に関する理解を深める。

4. 研究の背景と目的

セルロース生合成研究では，BcsA によるセルロース鎖伸長の分子機構の理解が大きく進展した。一方で，セルロース I 型のミクロフィブリルが形成される結晶化機構，とりわけ Bcs 複合体の細胞膜上での空間的配置や配列様式が果たす役割については，依然として未解明である。従来の研究は主に *Komagataeibacter* 属をモデルとして進められてきたが，Bcs 複合体の配列様式を体系的に比較できるモデルは確立されていない。*Asaia bogorensis* は *Komagataeibacter* 属よりもさらに微細（5–20 nm）なセルロース（**図 1a**）を産生し，*bcs* 遺伝子構成にも独自性を有する（**図 1b**）[1]ことから，セルロース結晶化機構解明にとって重要な菌となりうる。そこで，本研究では *A. bogorensis* を用い，BcsA の免疫蛍光標識とフリーズフラクチャー法により可視化することで，Bcs 複合体の細胞膜上での空間組織化と微細結晶セルロース形成との関係解明を目指す。

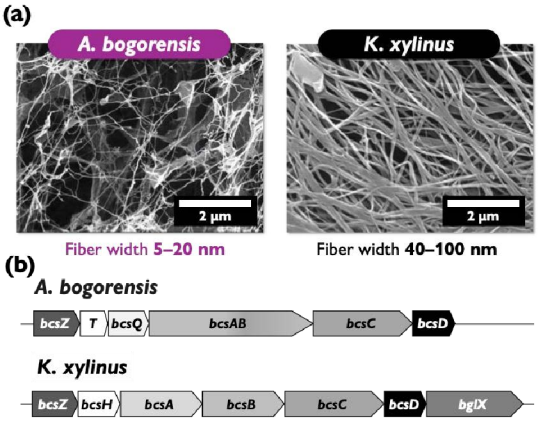


図 1 *A. bogorensis* および *K. xylinus* における (a) セルロース繊維の SEM 画像，(b) *bcs* オペロン

5. 研究の結果および考察

A. bogorensis に対する，抗 BcsA 抗体（ウサギ由来）を 1 次抗体として用いた免疫蛍光染色を行なった。観察の結果，2 次抗体に由来する蛍光が菌体の極に局在する細胞が高い頻度で確認された（**図 2a**）。これは *Komagataeibacter* 属の菌が示す菌体の長軸にまたがる直線型の Bcs 配列様式とは明らかに異なる。また，フリーズフラクチャー法によって *A. bogorensis* および *Komagataeibacter xylinus* ATCC53524 の凍結割断レプリカを作製し，形態観察を行なった。*K. xylinus* ATCC53524 のレプリカでは比較的容易に直線型の秩序構造が観察されるのに対し，*A. bogorensis* のレプリカでは同様な観察条件において秩序構造は観察できなかった（**図 2b**）。以上の結果から，*A. bogorensis* は *Komagataeibacter* 属の菌とは異なる Bcs の空間的配置を有している可能性が高いと考えられる。また *A. bogorensis* において，BcsA は細胞極に局在していることがわかった。これまでに，*A. bogorensis* が有する BcsQ が細胞極に局在することがわかっており（データ未発表），BcsA の細胞極局在の要因となっている可能性が予想される。

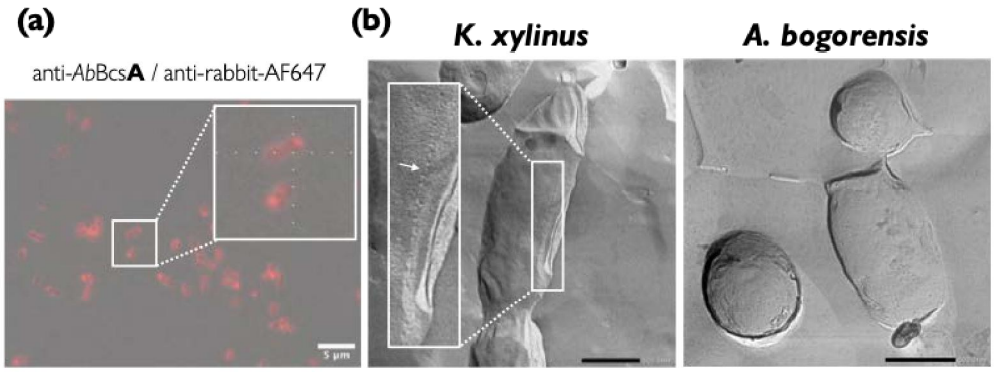


図 2　(a) *A. bogorensis* に対する BcsA 抗体を用いた免疫蛍光染色画像，
(b) *K. xylinus* および *A. bogorensis* のレプリカ TEM 画像

6. 今後の展開

フリーズフラクチャー法における免疫標識の条件最適化を行い，*A. bogorensis* における BcsA の局在について解析していく必要がある。また，BcsA が細胞極に局在する要因として BcsQ をはじめ，他の細胞質タンパク質の関与も考えられることから，配列様式の解明と並行して配列“機構”の解明も行なっていく予定である。

7. 引用文献

1) Kumagai, A. *et al*., Ultrafine cellulose fibers produced by *Asaia bogorensis*, an acetic acid bacterium. *Biomacromolecules*, **12**, 2815–2821, 2011.

将来の月有人探査・活動に向けた月面帯電環境の計算機実験研究

1. 研究組織

代表者氏名：三宅洋平（神戸大学 大学院システム情報学研究科）
共同研究者：栗田 怜（京都大学 生存圏研究所）
中園 仁（神戸大学 大学院法学研究科）

2. 関連ミッション

ミッション３：宇宙生存環境

3. 研究概要

国際有人宇宙探査の本格始動により、月や火星といった天体が将来の人類生存圏領域としての性格を帯び始めている。本年度の共同研究では代表者らが実施する数値シミュレーションにより、宇宙プラズマが月面に接触し、帯電が生じる物理過程の現象再現とその特徴抽出を行う。数値研究では、荷電粒子の運動論解析において長年の実績がある粒子法に、月面などの非プラズマ境界の数値モデルを追加した独自のシミュレーションプログラム EMSES を用いる。かぐや衛星観測や OMNI 太陽風データから抽出した代表パラメータ上で複数回の数値シミュレーションを実施することで、正負の帯電極性の切り替わりや一定以上の帯電強度を誘発するパラメータ範囲を明らかにする。

4. 研究の背景と目的

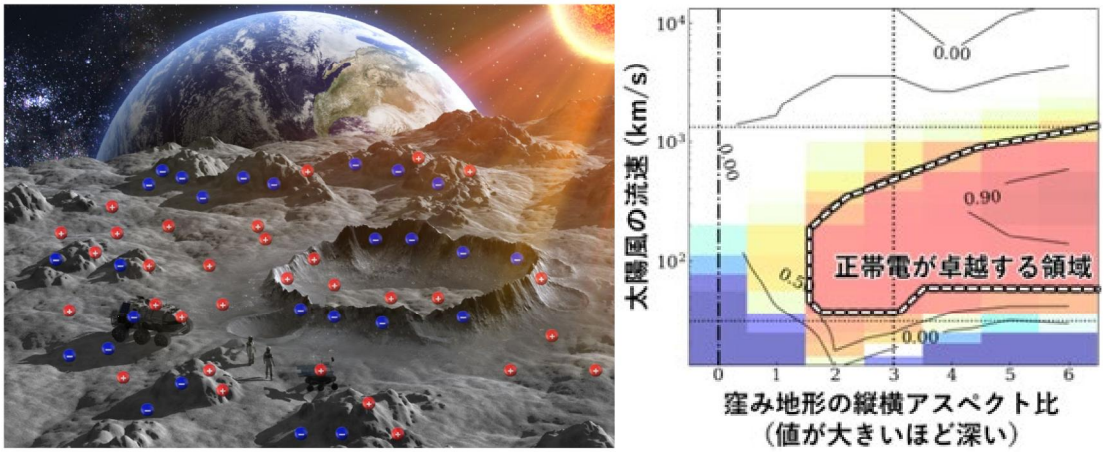
月は宇宙から飛来する荷電粒子を遮るものがないため、それらに常時直接的に晒され複雑な帯電環境を形成する。今後、月面で予想される人類活動では、宇宙特有の帯電現象や帯電した月土壌の飛散がミッション機器や人体に与える影響を定量的に把握し、備えなければならない。本研究の目的は、複雑な地形・表面形態で生じる月面帯電現象の物理特性を解明することである。特色として、代表者らが長年技術を蓄積してきた第一原理計算機実験解析技術と生存圏研究所が有する電波科学計算機実験装置（AKDK）を活用し、将来的な月面「その場」観測での実証を想定した物理指標での月面静電気環境評価を展開する。

5. 研究の結果および考察

太陽活動度に応じて変化する太陽風パラメータに依存した帯電状態とその応答メカニズムを 100 回超の計算機実験解析で調べ上げた。その結果、起伏に富んだ月面において広く存在しうる窪み地形の内部に蓄えられる静電気量と、太陽風の速度特性のつながりを規定する物理法則を特定した。

具体的には、太陽風速度が非常に①「遅い条件」と非常に②「速い条件」では、顕

著な静電気の蓄積は見られず、その③「中間の速度条件」においてのみ、窪み地形底部に顕著な正電荷の蓄積が認められた。これは①の「遅い条件」ではイオンと電子の両者が窪みの内部に侵入できないのに対し、③の「中間の速度条件」ではイオンのみが窪みの内部に侵入できることに起因する。



左図．太陽活動に左右される月面帯電現象と着陸探査領域の静電気環境©月面静電気・放射線調査チーム (LERIT)。右図．窪み形底底面電圧の太陽風流速依存性。「遅すぎず」「速すぎない」速度条件で窪み底面の正帯電は卓越する（赤：正帯電、青：負帯電）。

6. 今後の展開

本研究で得られた物理的知見は、将来的に月面における最頻および最悪帯電条件の事前評価に還元しうる可能性を有しており、今後人類の宇宙生存領域の一部となる月面の環境リスク評価を進める上で重要な成果である。今後は自然状態での環境予測に加えて、探査機器の運用によって生じる能動電圧が月面荷電粒子環境と如何に相互作用するかにも焦点を当て、応用研究を展開する計画である。

7. 引用文献

1) Miyake, Y., & H. Usui, New electromagnetic particle simulation code for the analysis of spacecraft-plasma interactions, Phys. Plasmas, 16(6), 62904, 2009.
2) 三好由純他， 将来の月周回・月面観測および開発における 帯電環境計測と評価に向けて，遊・星・人，34(1)，27-42，2025.

8. 付記（成果公表状況）

3) Nakazono, J., Y. Miyake, & W. J. Miloch, Electrostatic Charging of Lunar Cavities Governed by the Flow-to-Thermal Speed Ratio: 3D PIC Simulations and a Free-Fall Model, J. Geophys. Res., 130(10), e2025JA034302, 2025.
4) Miyake, Y., Physical processes in a space plasma-solid boundary layer: a numerical research approach and its application to 'Lunar Electrostatics', LASP Science Seminars, University of Colorado, Boulder, US, 2026 (invited).

Rhodococcus wratislaviensis T301 株由来芳香族エステラーゼ系酵素遺伝子の単離とプラスチック分解能向上への試み

1. 研究組織

代表者氏名：渡邊崇人（京都大学 生存圏研究所）
共同研究者：高橋克幸（岩手大学 理工学部）
上田義勝（京都大学 生存圏研究所）

2. 関連ミッション

ミッション１：環境診断・循環機能制御
ミッション２：太陽エネルギー変換・高度利用

3. 研究概要

近年，プラスチックによる環境汚染が深刻化している．特に直径 5 mm 以下のマイクロプラスチックは，ポリ塩化ビフェニル (PCB) やダイオキシンなどの残留性有機汚染物質 (POPs) を吸着して「運び屋」となり，生態系や人の健康へ悪影響を及ぼす可能性が指摘されている．

プラスチックの生分解に目を向けると，ポリオレフィン系樹脂は炭素-炭素結合のみで構成されるため分解が極めて困難であるのに対し，ポリエステル系樹脂はエステル結合を有することから，加水分解酵素による分解が期待される．我々はこれまで，ビフェニル/PCB 分解細菌の遺伝・生化学的解析を進めてきたが，これらの細菌は難分解性芳香族化合物に対する高い代謝能と多様な酸化･加水分解酵素群を持つことから，プラスチック分解に寄与し得る酵素を保有すると考えられる．本研究では，ビフェニル/PCB 分解細菌 *Rhodococcus wratislaviensis* T301 株のゲノム情報に基づき，ポリエステル系プラスチックの分解に関与する酵素遺伝子の探索を行った．

4. 研究の背景と目的

分別されていない複数種のプラスチックが混在する家庭ごみや，環境中へ拡散した廃プラスチックは，既存のリサイクル手法では処理が難しい．特に，環境中に流出したプラスチックは，自然界の物質循環へ速やかに戻す必要がある．

我々は，プラスチック分解には物理化学的前処理と微生物酵素による生分解の組み合わせが有効であると考えている．前年度には，ペットボトル片を唯一の炭素源として生育可能な *R. wratislaviensis* T301 株に対し [1]，プラズマ前処理を施すことでペットボトル片の分解が促進され得ることを示唆する結果を得た．

本年度は，さらなる分解能向上の一環として，特に酵素活性の向上を見据えた分子育種の基盤構築を目的とし，T301 株のポリエチレンテレフタレート (PET) を含む

プラスチック分解に関与する酵素遺伝子の単離を目指した.

5. 研究の結果および考察

まず，PET 分解細菌 *Ideonella sakaiensis* 201-F6 株由来の PETase[2] をクエリ配列として T301 株ゲノムを BLASTP 解析したが，相同性を示す配列は得られなかった. 一方，最近報告された海洋性細菌 *Rhodococcus pyridinivorans* P23 株由来 PET esterase[3] をクエリ配列とした場合，高い相同性を示す 9 種類のタンパク質がヒットしたため，これらを *Rw*-Est1～9 と命名した.

さらに，これらのうち 2 種類は開始コドンが GTG であり，またアミノ酸配列長は P23 株酵素よりも短いものから長いものまで多様であった. N 末端側には疎水性領域が存在し，EST/Abhydrolase_3 系酵素に特徴的なモチーフ (HGGG，GDSAG) も確認された.

以上より，*Rw*-Est1～9 は典型的な PETase とは異なる系統に属し，膜アンカー型構造を有するエステラーゼ群である可能性が示唆された.

6. 今後の展開

現在，*Rw*-Est1～9 の構造予測を分子モデリングによって進めるとともに，異種発現系の構築に取り組んでいる. P23 株の PET esterase では大腸菌による発現が報告されているが，*Rw*-Est1～9 にはシグナルペプチドや膜貫通領域をコードする可能性があるため，同属の *Rhodococcus* 属細菌を発現宿主として選定した. 現在，これら全ての遺伝子の *Rhodococcus* 属発現ベクターを構築中である.

発現が得られた場合，PET を含むポリエステル系プラスチックに対する分解能の評価を行い，酵素活性の特徴づけと分解機構の解明を進める予定である.

7. 引用文献

1) 渡邊崇人 (2023) プラスチック廃棄物の微生物分解の効率化を目指した生化学・工学的アプローチ，*IFO Res. Commun.*, **37,** 151.
2) Yoshida, S., Hiraga, K., Takehana, T., Taniguchi, I., Yamaji, H., Maeda, Y., Toyohara, K., Miyamoto, K., Kimura, Y., and Oda, K. (2016). A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate). *Science*, **351,** 1196-1199. https://doi.org/10.1126/science.aad6359
3) Guo, W., Duan, J., Shi, Z., Yu, X., and Shao, Z. (2023). Biodegradation of PET by the membrane-anchored PET esterase from the marine bacterium *Rhodococcus pyridinivorans* P23. *Commun. Biol.*, **6,** 1090. https://doi.org/10.1038/s42003-023-05470-1

薬用植物の生物活性二次代謝産物が駆動する森林圏土壌圏相互作用

1. 研究組織

代表者氏名：中村直人（京都大学 生存圏研究所）
共同研究者：杉山暁史（京都大学 生存圏研究所）

2. 関連ミッション

ミッション１：環境診断・循環機能制御
ミッション５：高品位生存圏

3. 研究概要

外来植物の侵入は土壌微生物群集の改変を伴う。また改変された土壌微生物群集が外来植物の侵略を促進する例も知られている。そのため、植物と土壌微生物の相互作用を明らかにすることは外来植物の個体群動態の理解や生態系への影響評価の観点から重要である。植物による土壌改変においては根から分泌される二次代謝産物が重要な役割を担うと知られているが、その詳細なメカニズムは分かっていない。本研究では、外来植物に由来する二次代謝産物が根圏土壌微生物群集に与える影響を、代謝物添加実験・DNA 分析及び二次代謝産物分析を用いたアプローチにより解明した。さらに二次代謝産物によって変化した微生物群集を植物に接種することにより、二次代謝産物が微生物群集改変を介して植物の生育に与える影響の解明を試みた。本研究成果は植物による土壌圏微生物の機能的変化の解明に寄与するとともに（ミッション１・「環境診断・循環機能制御」）、二次代謝産物の生態学的役割を明らかにする。これは生態学のみならず薬理学的な視点から新しい治療法・利用法の可能性を探求する重要なステップであり、人間の健康促進と安全な社会形成に貢献する（ミッション 5-1）。

4. 研究の背景と目的

研究の背景

植物の根圏微生物群集は、植物が分泌する物質や土壌環境の影響を受けながら構築され、植物の栄養吸収・病害抑制・ストレス耐性向上など、多様な生態系機能を担っている。特に、植物が根から分泌する二次代謝産物（plant specialized metabolites, PSM）は、特定の微生物の増殖を促したり抑制したりすることで、根圏微生物群集の構成を決定する重要な要因であることが知られている。近年の研究では、クマリン、フラボノイド、サポニンなどの PSM がそれぞれ異なる微生物群に影響を与えることが報告されており、これらの物質が根圏微生物の選択圧として働くことが示唆されている。しかし、これまでの研究の多くは農地を対象としたものであり、森林土壌に

おける PSM と根圏微生物群集の関係についてはほとんど明らかにされてこなかった。

研究の目的

本研究では、薬理活性二次代謝産物の生態学的役割を解明するために、マンリョウ（*Ardisia crenata*）をモデル植物としている。マンリョウは東アジア原産の耐陰性低木であり、根に豊富なトリテルペノイド系サポニン（ardisiacrispin A および ardisiacrispin B）を蓄積することが知られている。これらのサポニンは抗菌・抗炎症作用を持ち、医薬品としての利用価値も高い。著者らはこれまでの研究で常緑低木であるマンリョウ（*Ardisia crenata*） に着目し、根および根圏土壌におけるサポニンの含有量の生育ステージによる変動を明らかにするとともに、実験室環境下でサポニンが土壌微生物群集に与える影響を解明した [1]。さらに、自然条件下で、ardisiacrispin A および ardisiacrispin B が土壌中の *Dyella* 属細菌や *Paraburkholderia* 属細菌を選択的に誘引することを明らかにした。本年度の研究では、１）異なるタイプの森林土壌におけるサポニンの土壌微生物叢への影響の解明、及び２）サポニンにより変化した微生物叢がマンリョウの生育に与える影響の解明を目的とした。

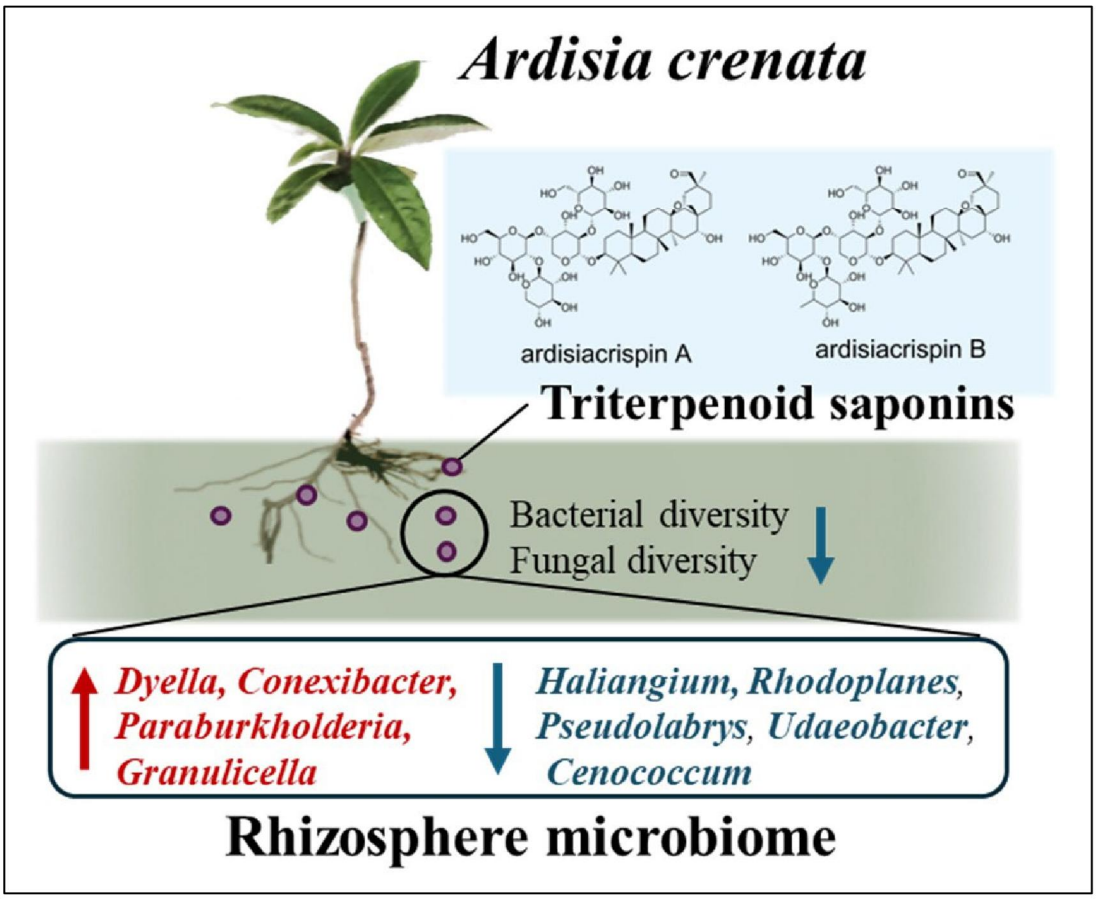


図１：マンリョウ由来の二次代謝産物による土壌微生物叢改変

5. 研究の結果および考察

・異なるタイプの森林土壌におけるサポニンの土壌微生物叢への影響

林冠木組成が異なる３つの森林サイト（山口、京都、伊豆）において、マンリョウ近傍の土壌サンプルを採取し、サポニン標品を添加・培養した。2 週間後にアンプリコンシーケンスにより土壌細菌群集を比較した、その結果、サポニン添加により集積された細菌属のうち、Phenylobacterium 属のみが３サイトで共通していた（図２）。その他、Dyella 属、Paraburkholderia 属など４属が２サイトで共通しており、各サイトでのみ集積が確認されたのは合計で１９属であった。この結果はサポニンの土壌微生物群集への影響が、土壌物理特性や初期微生物群集組成によって変動することを示す一方で、*Phenylobacterium* 属、*Dyella* 属、*Paraburkholderia* 属などがサポニン代謝など、何らかの重要な機能を持っている可能性を示唆している。サイト間で共通して増加した細菌属のうち、*Dyella* 属、*Paraburkholderia* 属、*Leifsonia* 属に関しては土壌からの単離に成功しており、サポニンの資化能試験を実施している。

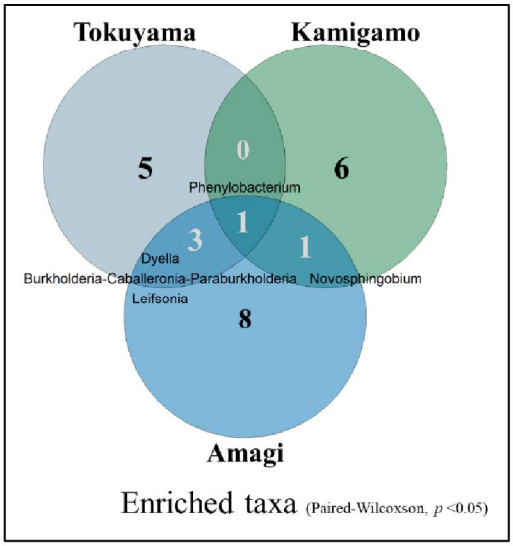


図２：サポニン添加試験の結果

・植物-土壌フィードバック実験

サポニン添加試験を行った土壌をマンリョウ実生（播種後５ヵ月）に接種し、6 ヶ月間 DASH システムで生育し、その影響をコントロール及び滅菌処理土壌とで比較した。その結果、非滅菌の土壌を接種した場合、サポニン添加の有無にかかわらず死亡率が増加した（$p < 0.05$）。サポニン添加土壌（非滅菌）とコントロール土壌（非滅菌）を比較した場合には、有意ではないが、サポニン添加土壌で宿主の死亡率が低下する傾向が見られた。これらの結果は、１）日本において、マンリョウが実生段階で負の植物-土壌フィードバックを受けていること、そして２）その負のフィードバック効果が、サポニンによって増加する微生物により緩和される可能性を示した。３月に栽培を終了し、宿主のバイオマスや微生物叢等についても、処理区間でどのような違いがあるかを測定する予定である。

以上の結果から、マンリョウが分泌するサポニンは、異なる森林タイプにおいても特定の根圏微生物を選択的に誘引することが示された。またこれらの微生物が、自然生態系における負のフィードバックを緩和する可能性が示された。これは農地における二次代謝産物と微生物群集の関係を超えて、自然生態系においても植物の根圏化学物質が植物個体群動態に重要な役割を果たしていることを示唆する重要な知見である。

また、マンリョウが東アジア原生であり米国で侵略的外来種となっていることを考慮すると[2,3]、日本においてマンリョウ実生が負の植物-土壌フィードバックを受けていることは、侵略生態学において重要である、原生地-侵略地間の個体群動態の違いの解明に寄与する。今後の研究として、米国におけるマンリョウの植物-土壌フィードバック、また日-米のマンリョウ個体群間における二次代謝産物組成の違いを明らかにすることにより、侵略を駆動する要因の解明につながるだろう。

6. 引用文献

1. Nakamura, N. & Sugiyama, A. Developmental stage-specific triterpenoid saponin accumulations in Ardisia crenata rhizosphere and its influence on rhizosphere microbial communities. *Plant Biotechnol.* advpub, (2025).
2. Kitajima, K., Fox, A. M., Sato, T. & Nagamatsu, D. Cultivar selection prior to introduction may increase invasiveness: Evidence from Ardisia crenata. *Biol. Invasions* 8, 1471-1482 (2006).
3. Nakamura, N., Toju, H. & Kitajima, K. Leaf, root, and soil microbiomes of an invasive plant, Ardisia crenata, differ between its native and exotic ranges. *Front. Microbiol.* 14, 1-13 (2023).

7. 付記

学術論文

*__N. Nakamura__ and A. Sugiyama, ”Developmental stage-specific triterpenoid saponin accumulations in Ardisia crenata rhizosphere and its influence on rhizosphere microbial communities. Plant Biotechnology (Tokyo, Japan), 25.0504a.

招待講演

中村 直人，杉山 暁史「根圏ケミカルコミュニケーションから迫る植物-微生物間相互作用」種生物学会 東京大会2025 シンポジウム「生態系の土台：植物と微生物が織りなす世界」

国内学会ポスター発表

中村直人，杉山暁史 “外来植物による、二次代謝産物を介した土壌微生物群集改変機構の解明” 植物微生物研究会，第34回研究交流会，筑波，2025年8月

中村直人， 杉山暁史“外来植物が産生する二次代謝産物による土壌微生物群集組成の変化“ 日本生態学会，札幌，2025年3月

総説

中村直人 「侵略的外来植物由来の二次代謝産物が駆動する植物-根圏微生物間相互作用」『生存圏研究-Sustainable Humanosphere』2025 年 11 月

Diol-assisted fractionation (DAF) 法を活用したリグニン構造への新規モチーフ構造の導入によるリグニン由来生理活性化合物の創出

1. 研究組織

代表者氏名：岡部由美（京都大学 生存圏研究所）
共同研究者：岸本崇生（京都大学 生存圏研究所）
Peter J. Deuss（University of Groningen, The Netherlands）
Mirjam Kabel (Wageningen University & Research, The Netherlands)

2. 関連ミッション

ミッション２：太陽エネルギー変換・高度利用
ミッション５：高品位生存圏

3. 研究概要

化石資源から創り出してきたものを、植物細胞壁成分の 1 つであるリグニンから創り出そうとする研究が世界中で盛んに行われており、様々なアプリケーション開発が報告されている。一方で、高付加価値利用の 1 つである農薬や医薬品等の創薬に向けたリグニン研究は、未だ拡大・発展の余地が多く残されているトピックスである。

本研究では、有機合成したリグニンモデル化合物を材料とし、新規モチーフ構造の導入による効果的な生理活性化合物の創出を目指す。分解物の再重合を抑制すると報告されている diol-assisted fractionation (DAF) 法をモデル化合物分解に用いることで、構造解析の困難さを低減しながら、リグニン構造とモチーフ構造の生理活性に与える影響を明らかにすることを目的とする。本研究で得る知見を礎として、リグニン構造を最大限に活かした創薬資源化に貢献する。

4. 研究の背景と目的

バイオマスの産業利用を目指すスキームであるバイオリファイナリーにおいては、高付加価値なアプリケーション開発が望まれている。植物細胞壁成分の 1 つであるリグニンからも、様々なものを創り出そうとする研究が世界中で盛んに行われており、プラスチック類や接着剤等の様々なアプリケーション開発が報告されている。一方で、リグニンは、複数の芳香核単位（H 核, G 核, S 核）が、多様な結合様式（例：β-*O*-4 結合, β-5 結合）で結合することで複雑な構造を形成しており、リグニン由来画分・化合物の高選択的創出および構造解析が困難である。そのため、特に医薬品のような化合物構造と作用機序の解明が重要となる利用法に向けたリグニン研究は、未だ拡大・発展の余地が多く残されているトピックスである。

代表者の先行研究では、木質バイオマスからの生理活性物質創出を行ってきた。バ

イオマス変換方法であったマイクロ波ソルボリシス（加溶媒分解）において、ジオールを含む混合溶媒を用いていたことから、本研究の共同研究者である Peter J. Deuss 博士らの研究チームによる報告である、diol-assisted fractionation (DAF) 法[1–3] による再重合を抑制した効果的なリグニン分解および芳香族化合物創出に興味を持った。これを受けて、本研究では、DAF を用いた生理活性物質の創出・単離を目的とする。化合物の単離・構造決定を単純化するために、リグニンモデル化合物を材料とし、リグニン構造への新規モチーフ構造の導入を行うことで効果的な生理活性化合物の創出を目指す。

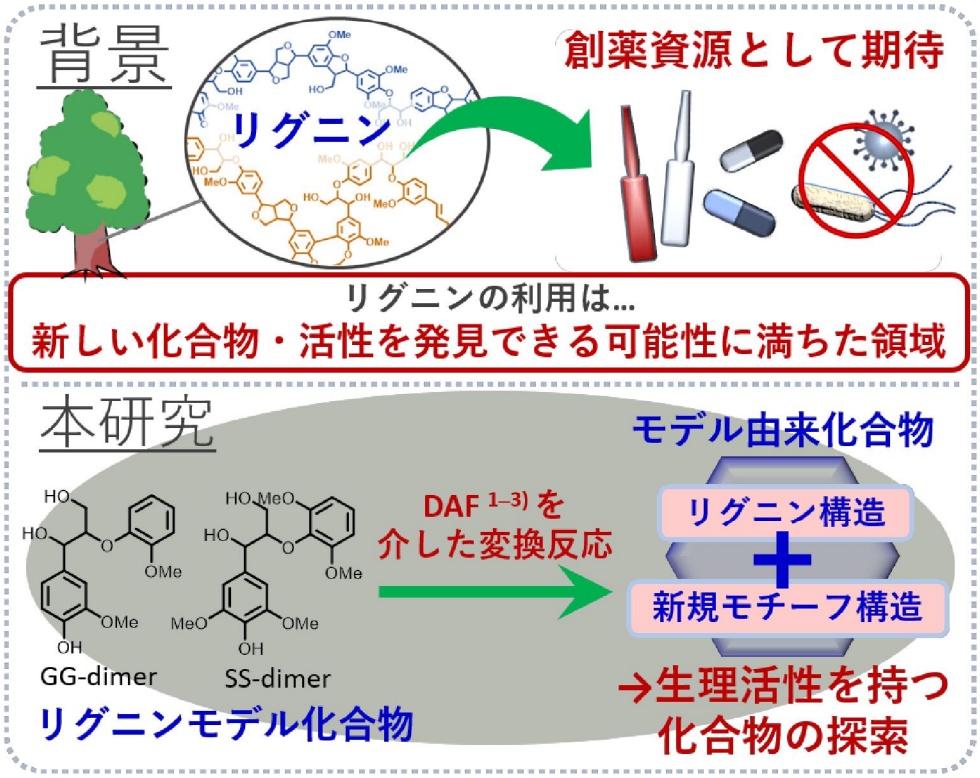


図１：背景と本研究の概要（生存圏だより No.25 より引用・改変）

5. 研究の結果および考察

はじめに、岸本らの手法[4] に基づき、一部改変を加えて、リグニンの二量体モデルである GG-dimer (1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-(2-methoxyphenoxy)propane-1,3-diol) および SS-dimer (2-(2,6-dimethoxyphenoxy)-1-(4-hydroxy-3,5-dimethoxyphenyl)propane-1,3-diol) の合成および最適化を試みた。

現在は、得られた精製物を原料とし、DAF を適用することで、ターゲットとしているモチーフ構造を持つ複数の目的化合物の合成を試みている。DAF では、β-*O*-4 結合

の切断および構造導入が生じるため[1–3]、モデル化合物の分解、およびモチーフ構造が導入されたモノマー化合物が生成されると予想し、検討を進めている。

得られた粗生成物は、生理活性評価に供試予定である。本研究では、抗植物病原微生物活性を対象とする。現在、生理活性評価に向けて準備を進めている。

6. 今後の展開

目的化合物の合成を目指して、引き続き検討を進める。得られた複数の粗生成物の生理活性評価を実施することで、候補となる粗生成物を選抜する。選抜後は、化合物の単離・構造解析を実施予定である。単離した化合物の生理活性評価を実施することで、リグニンの基本構造である G 核、S 核、そして導入したモチーフ構造の違いによる生理活性への影響の解明を目指す。

バイオマスからの生理活性物質創出には、バイオマスの種類・変換方法・化合物・生理活性のように複数のファクターが関わっており、得られる化合物およびその活性情報は膨大となる。本研究で得る知見を礎として、リグニン構造を最大限に活かした創薬資源化を目指す研究に繋げられるよう、検討を進める（図 2）。

図 2：バイオリファイナリーとリグニン研究[5]

7. 引用文献

1) Deuss, P. J. *et al.*, Aromatic Monomers by in Situ Conversion of Reactive Intermediates in the Acid-Catalyzed Depolymerization of Lignin. *J. Am. Chem. Soc.*, 137 (23), 7456–7467, 2015.

2) De Santi, A.*et al.*, Lignin-First Fractionation of Softwood Lignocellulose Using a Mild Dimethyl Carbonate and Ethylene Glycol Organosolv Process. *ChemSusChem*, 13 (17), 4468–4477, 2020.

3) De Santi, A. *et al*., New Mechanistic Insights into the Lignin β-O-4 Linkage Acidolysis with Ethylene Glycol Stabilization Aided by Multilevel Computational Chemistry. *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 9 (5), 2388–2399, 2021.
4) 岸本崇生, ”3.2 リグニンモデル化合物の合成” in 「植物細胞壁実験法」, 石井忠ら編著, 弘前大学出版会, pp. 108–112 (総頁数 403頁), 2016.

5) 岡部由美, リグニンの創薬資源化（Utilization of lignin for drug discovery), 生存圏研究（Sustainable Humanosphere）, 21 巻 pp. 21–26, 2025.

8. 付記

国際シンポジウム発表（ポスター発表）

○Yumi Okabe, Eriko Ohgitani, Kenta Yamamoto, Osam Mazda, and Takashi Watanabe, Bioactivities of microwave solvolysis lignin from woody biomass. The 10th Asia Research Node (ARN) Symposium on Humanosphere Science, Tainan, Taiwan, September, 2025.

所内発表

○岡部由美, リグニン構造の最大限活用を伴う創薬資源化を目指して, 第 325 回京都大学生存圏研究所 定例オープンセミナー, オンライン, 2025 年 7 月.

総説

岡部由美, リグニンの創薬資源化（Utilization of lignin for drug discovery), 生存圏研究（Sustainable Humanosphere）, 21 巻 pp. 21–26, 2025.

機械学習を用いた東・東南アジアの電離圏イオノグラムの自動読取と電離圏モデルの補正

1. 研究組織

代表者氏名：劉　鵬（京都大学 生存圏研究所）
共同研究者：横山竜宏（京都大学 生存圏研究所）
寺内　充（京都大学 情報学研究科）
春名健太郎（京都大学 情報学研究科）

2. 関連ミッション

ミッション１：環境診断・循環機能制御
ミッション３：宇宙生存環境

3. 研究概要

本研究では、世界中のイオノゾンデ観測から得られるイオノグラムから、電離圏パラメータを自動かつリアルタイムで高精度に抽出するための新しいスケーリング手法を提案した。この手法は、機械学習に基づくインスタンスセグメンテーション（Instance Segmentation）技術を活用し、「ノイズ除去」「エコー検出」「座標系復元」の 3 ステップで構成されている。19 局のイオノゾンデ（東・東南アジア地域）により 2000 年～2025 年に観測されたデータを用いて評価した結果、提案手法は既存の自動スケーリング手法（例：Global Ionospheric Radio Observatory（GIRO）の ARTIST ツール、情報通信研究機構（NICT）の自動読取手法）を上回る性能を示した。最大性能として検出精度 89.8%、処理速度 143.89 フレーム/秒を達成し、リアルタイム観測システムに取り込むことも可能になった。また、手動読取値を基準として提案手法で導出した臨界周波数（foF2 など）の平均誤差は 1 MHz 未満、見かけ高度（h′F2 など）の誤差は 25 km 以下であり、国際標準電離圏モデル（IRI2020）のリアルタイム補正などの応用も見込まれる。

4. 研究の背景と目的

電離圏は、高度 60～1000 km に広がる弱電離プラズマ領域であり、短波通信や衛星信号に大きな影響を与える。イオノゾンデは、垂直入射方式で短波帯（HF）信号を送信し、その反射エコーから電離圏の電子密度分布を推定する最も歴史的かつ広く普及した観測装置である。しかし、世界中のイオノゾンデはメーカー・設置場所・設定条件が異なり、イオノグラムのノイズ特性や可視化スタイルが大きく異なるため、汎用的な自動スケーリング手法の開発は困難であった。

従来の自動スケーリング手法（例：ARTIST）は処理速度が遅く（1 枚あたり数十秒）、最近の 1 分間隔の高速イオノゾンデのシステムには適合しない。また、深層学

習を用いた先行研究も、特定の観測局に特化したものが多く、世界的な汎用性や宇宙天気現象（例：スプレッド F、スポラディック E 層）への対応は十分ではない[1)]。

本研究の目的は、こうした課題を克服し、世界中のイオノゾンデの観測データに対して、高速・高精度・多機能な自動スケーリングを実現することである。特に、正常波・異常波（O/X）モードの分離、複数電離圏領域（E, F1, F2）の識別、多重反射、宇宙天気イベントの検出などを同時に処理できる統合的手法の構築を目指した。

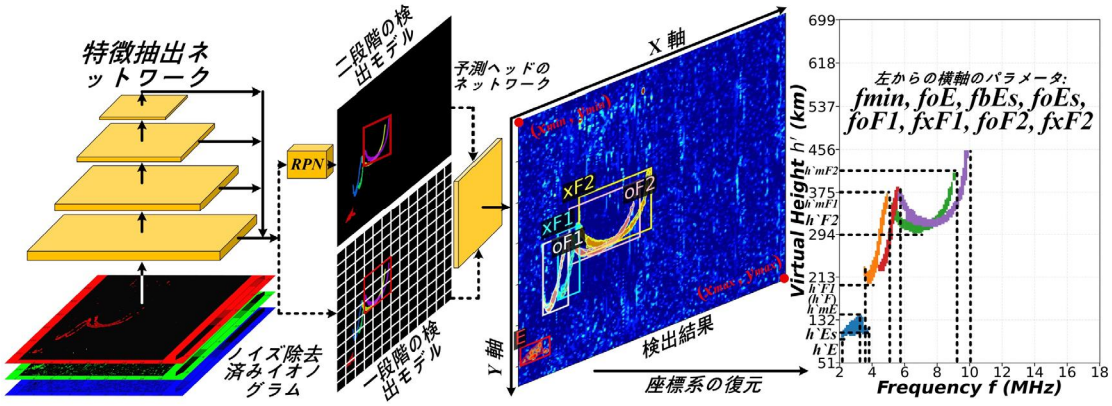


図１：本研究で提案したイオノグラム自動読取手法の流れ

5. 研究の結果および考察

本研究で提案された自動イオノグラムスケーリング手法は、「ノイズ除去」「エコー検出」「座標系復元」の 3 つの主要ステップから構成される。詳細について以下に述べる。

まず、ノイズ除去においては、従来のフーリエ変換やウェーブレット変換による周波数領域フィルタでは、縦方向ノイズと電離圏エコーが同じ周波数帯域に存在するため、信号とノイズを区別して分離することはできなかった。これに対し、本研究では四次多項式フィッティングによる方向選択的なノイズ推定法を導入した。この手法により、各周波数における垂直方向のノイズ強度分布を局所的にモデル化し、それを観測データから減算することで、エコー構造を保ちつつノイズを抑制することに成功した。比較実験結果によって、従来手法ではエコーも減衰してしまうのに対し、本手法では明瞭なエコー形状が維持されており、後続の AI 検出精度向上に大きく寄与している。

次に、インスタンスセグメンテーションによるエコー検出では、YOLO-v8～v12 および Mask R-CNN など複数の深層学習モデルを同一データセット（1600 組の手動アノテーション付き画像）で訓練・評価した[2)]。その結果、最新の YOLO-v12X モデルがmAP_{box}^{50}=89.8%という最高精度を達成し、処理速度も 143.89 フレーム/秒（NVIDIA H100 GPU の実行環境）のリアルタイム性を両立した。特に注目すべき点は、O/X モードの分離、E/F1/F2 領域の識別、多重反射（nE/nF）、さらにはスプレッド F やスポ

ラディック E 層といった宇宙天気現象の検出までを、一つのモデルで同時に行える点である。従来の手法（例：NICT のセマンティックセグメンテーション手法や GIRO の ARTIST 手法）はこれらの情報を個別に処理する必要があり、統合的な解析が困難であった[3)]。

さらに、座標系復元により、ピクセル座標から物理量座標系（臨界周波数・見かけ高度）への正確な変換を実現した。これにより、foF2 や h′F2 などの 16 種類の電離圏パラメータを自動抽出可能となった。実際の観測データ（日本・中国・韓国・東南アジアの 19 観測点）を用いた検証では、提案手法の出力は手動スケーリング結果と高い一致を示し、臨界周波数の平均誤差は 1 MHz 未満、見かけ高度の誤差は 25 km 以下と、宇宙天気予報に十分な精度を達成した。また、IRI2020 モデル[4)]との比較では、季節変化・太陽活動・地磁気擾乱への応答がより速くかつ正しく捉えられており、長期間の宇宙気候モデルの代わりに短期間の宇宙天気予報レベルのリアルタイム電離圏モデリングへの適用可能性が強く示唆された。

特に興味深い知見として、NICT の既存自動スケーリング結果と比較して、本手法ではノイズをエコーと誤認する過大検出（上回り外れ値）や多重反射を F 領域と誤認する過小検出（下回り外れ値）が大幅に減少した。これは、ノイズ除去とインスタンス認識の統合的設計が、実運用環境における安定性を高めていることを示している。

以上のように、本手法は単なる精度向上にとどまらず、世界中の異なるメーカー・設定のイオノゾンデにも汎用的に適用可能な柔軟性を持ち、将来的にはグローバル電離圏観測網の基盤技術として活用されることが期待される。

6. 今後の展開

本研究で確立された手法は、世界中のイオノゾンデネットワーク（GIRO, NICT, SEALION など）に即時適用可能であり、将来的にはリアルタイム IRI モデル（Weather-level IRI）の実現に貢献すると考えられる。具体的には、提案アルゴリズムを各観測局に導入し、得られた高頻度・高精度なスケーリング結果を IRI モデルに同化することで、宇宙天気予報の精度向上が期待できる。

さらに、現在は主に東アジア・東南アジアのデータで訓練されているが、転移学習（Transfer Learning）により、全世界の他の地域のイオノグラムにも簡単に適用が可能である。今後は、極域や赤道域など特殊な電離圏環境での検証、および MSTID（中規模伝搬性電離圏擾乱）やプラズマバブルなどの微細構造の自動検出機能の拡張も計画されている。

本手法は、宇宙天気の観測・通信障害の予測・衛星測位誤差の補正など、社会インフラの安定運用にも直結する技術として、今後広く活用される可能性が高い。

7. 引用文献

1) 加藤久雄，滝口結花，深山大元，清水由紀子，丸山隆，石井守；電離圏ファクタ自動解析ソフトウェアの開発；情報通信研究機構季報，Vol.55，Nos.1-4，2009.
2) X. Le, X. Ren, D. Mei, F. Hu, A. Shinbori, M. Nishioka, S. Perwitasari, Y. Otsuka, and X. Zhang, "Intelligent detection and propagation parameter calculation of medium-scale traveling ionospheric disturbances based on yolo and feature matching," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 63, pp. 1–14, 2025.
3) R. Sherstyukov, S. Moges, A. Kozlovsky, and T. Ulich, "A deep learning approach for automatic ionogram parameters recognition with convolutional neural networks," *Earth and Space Science*, vol. 11, no. 10, p. e2023EA003446, 2024.
4) D. Bilitza, M. Pezzopane, V. Truhlik, D. Altadill, B. W. Reinisch, and A. Pignalberi, "The international reference ionosphere model: A review and description of an ionospheric benchmark," *Reviews of Geophysics*, vol. 60, no. 4, p. e2022RG000792, 2022.

8. 付記

本研究の成果について、下記の論文と発表を行った。

和文論文：

1) 劉鵬，横山竜宏，人工知能時代の電離圏研究，生存圏研究，2025，21 巻，pp. 34-39，公開日 2025/11/26，Online ISSN 2758-4259，Print ISSN 1880-649X，https://doi.org/10.69212/humanosphere.21.0_34

英文論文：

2) Peng Liu, Tatsuhiro Yokoyama, Dieter Bilitza, Mamoru Yamamoto, Chun-Yen Huang, Erlu Chuai, Michi Nishioka, "Automatic real-time ionogram scaling method for global ionosondes based on artificial intelligence," *AGU Advances*, Under Review.
3) Chun-Yen Huang, Jann-Yenq Liu, Tatsuhiro Yokoyama, Peng Liu, Chi-Yen Lin, Fu-Yuan Chang, Yuh-Ing Chen, "Global Characteristics of the Saturation Effect in the TEC Response to Solar Activity," *Geoscience Letters*, Under Review.

国内会議：

4) 劉鵬，横山竜宏，山本衛，機械学習を用いた東・東南アジアの電離圏イオノグラムの自動読取，2025 年度 SGEPSS 秋学会，神戸，November 2025.

国際会議：

5) Mitsuru, Terauchi; Peng, Liu; Tatsuhiro, Yokoyama; "Long-term Statistical Analysis of Shigaraki Ionosonde Observations Using Machine Learning Models," Japan Geoscience Union Meeting, Chiba, May 2025.