

第515回生存圏シンポジウム  
**生存圏ミッションシンポジウム**

2024年2月28-29日



京都大学 生存圏研究所

---

Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH)  
Kyoto University

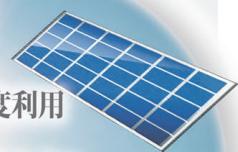
## 515th SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE HUMANOSPHERE

# 生存圏 ミッション シンポジウム

## ミッション2

## 太陽エネルギー変換・高度利用

Mission 2

Advanced Development of Science and Technology  
towards a Solar Energy Society

## ミッション1

## 環境診断・循環機能制御

Mission 1

Environmental Diagnosis and Regulation of  
Circulatory Function

## ミッション5

## 高品位生存圏

Mission 5

Quality of the Future Humanosphere



## ミッション3

## 宇宙生存環境

Mission 3

Sustainable Space Environments for Humankind



## ミッション4

## 循環材料・環境共生システム

Mission 4

Development and Utilization of Wood-based Sustainable  
Materials in Harmony with the Human Living Environment

2024年

2月28日(水)・2月29日(木)

同時にオンライン配信あり

京都大学宇治キャンパス 宇治おうばくプラザ きはだホール

来聴  
歓迎参加  
無料京阪黄檗駅・JR黄檗駅  
より徒歩10分

1日目：2月28日(水)

10:00~10:10  
所長挨拶・研究所紹介

山本 衛(京都大学生存圏研究所 所長)

10:10~10:40  
研究ミッション 活動紹介

篠原 真毅(京都大学生存圏研究所)

10:40~11:10  
共同利用・共同研究 活動報告

橋口 浩之(京都大学生存圏研究所)

11:10~11:40  
未来開拓研究センター 活動報告

乗島 修一郎(京都大学生存圏研究所)

11:40~12:00  
生存研国際活動  
&アジアリサーチノード 成果報告

大村 和香子(京都大学生存圏研究所)

13:00~13:30  
生存圏フォーラム総会生存圏科学共同研究 18件  
ミッション専攻研究員 3件

現地のみ

16:00  
共同研究ポスター発表生存圏科学共同研究 18件  
ミッション専攻研究員 3件

現地のみ

17:30  
交流会(ポスター発表)10:00~12:00  
セッション①

生存圏科学とスタートアップ

(座長) 乗島 修一郎(京都大学生存圏研究所)  
高崎 宏之(京都大学生存圏研究所、Acwest Inc.)  
仲上 祐斗(日本知財標準事務所)  
西村 裕志(京都大学生存圏研究所)  
木村 建次郎(神戸大学、Integral Geometry Science)  
乗島 修一郎(京都大学生存圏研究所)13:30~15:00  
セッション②

生存圏:月

(座長) 小嶋 浩嗣(京都大学生存圏研究所)  
佐藤 達保(株式会社竹中工務店)  
仲内 悠祐(立命館大学総合科学技術研究機構)  
栗田 恵(京都大学生存圏研究所)15:00~16:30  
セッション③

生存圏科学の視点で見た低分子有機化合物

(座長) 杉山 晴史(京都大学生存圏研究所)  
棟方 涼介(京都大学生存圏研究所)  
増口 潔(京都大学化学研究所)  
肥塚 崇男(山口大学大学院創成科学研究科)

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515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6年2月28日(水)

きはだホール・ハイブリッド形式

	時間 (暫定)		演者	タイトル
所長挨拶・研究所紹介	10:00	10:10	山本 衛（京都大学生存圏研究所）	
研究ミッション 活動紹介	10:10	10:40	篠原真毅（京都大学生存圏研究所）	
共同利用共同研究活動報告	10:40	11:10	橋口浩之（京都大学生存圏研究所）	
未来開拓研究センター 活動報告	11:10	11:40	桑島修一郎（京都大学生存圏研究所）	
生存研国際活動＆アジアリサーチノード 成果報告	11:40	12:00	大村和香子（京都大学生存圏研究所）	
休憩				
生存圏フォーラム総会	13:00	13:30	総会	

セッショ ン ショ ン	共同研究ポスター発表	16:00	生存圏科学共同研究 18件 ミッション専攻研究員 3件	生存圏研究所が令和5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21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	19:30	

**(2日目)**

令和6年2月29日(木)

きはだホール・ハイブリッド形式

	時間 (暫定)		演者	タイトル
セッショ ン①	生存圏科学とスタートアップ	10:00	10:05 《座長》 桑島修一郎（京都大学生存圏研究所）	イントロダクション
		10:05	10:30 高崎宏之（京都大学生存圏研究所、Acwest Inc.）	宇宙ビジネスにおける生存圏科学の可能性
		10:30	10:55 仲上祐斗（日本知財標準事務所）	標準化に見る知の創出と社会実装の環境変化
		10:55	11:20 西村裕志（京都大学生存圏研究所）	植物バイオマスがつくるサステナブルな未来、アカデミアから社会実装へ
		11:20	11:55 木村建次郎（神戸大学、Integral Geometry Science）	【基調講演】透視の理論と方法 ～みえないものを見る～
		11:55	12:00	クロージング
休憩				

セッショ ン②	生存圏:月	13:30	13:40 《座長》 小嶋浩嗣(京都大学生存圏研究所)	生存圏:月
		13:40	14:05 佐藤達保(株式会社竹中工務店)	Lunar Tower(月面居住でのQOL実現に向けて)
		14:05	14:30 仲内悠祐(立命館大学総合科学技術研究機構)	月面での水の存在の証拠と月極域探査機LUPEX
		14:30	14:55 栗田 恵(京都大学生存圏研究所)	月面の静電環境とダスト
		14:55	15:00	総合討論

セッショ ン③	生存圏科学的視点で見た低分子有機化合物	15:00	15:10 《座長》 杉山暁史(京都大学生存圏研究所)	イントロダクション
		15:10	15:35 棟方涼介(京都大学生存圏研究所)	柑橘類が生理活性成分を生産する仕組み
		15:35	16:00 増口 潔(京都大学化学研究所)	根圈共生シグナルと植物ホルモンとして機能するストリゴラクトンの生合成およびその制御機構
		16:00	16:25 肥塚崇男(山口大学大学院創成科学研究科)	酵素の機能進化から見た植物の香気成分多様性獲得機構
		16:25	16:30	総合討論

# 第 515 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 6 年 2 月 28 日（水）・29 日（木）

開催場所：京都大学宇治キャンパスきはだホール（ハイブリット開催）

## 1. ミッション推進委員会活動報告

篠原真毅（京都大学 生存圏研究所）・・・・・・・・・・・・ 1

## 2. 共同利用・共同研究拠点活動報告

橋口浩之（京都大学 生存圏研究所）・・・・・・・・・・・・ 3

## 3 生存圏未来開拓研究センター

桑島修一郎（京都大学 生存圏研究所）・・・・・・・・・・・・ 5

## 4. 國際活動&生存圏アジアリサーチノード

大村和香子（京都大学 生存圏研究所）・・・・・・・・・・・・ 7

## 5. 口頭発表セッション

### 5-1 セッション 1 「生存圏科学とスタートアップ」

桑島修一郎（京都大学 生存圏研究所）・・・・・・・・・・・・ 9

### 5-2 セッション 2 「生存圏：月」

小嶋浩嗣（京都大学 生存圏研究所）・・・・・・・・・・・・ 10

### 5-3 セッション 3 「生存圏科学的視点で見た低分子有機化合物」

杉山暁史（京都大学 生存圏研究所）・・・・・・・・・・・・ 12

## 6. 共同研究ポスター発表 ( ) ポスター番号

### 6-1 生存圏科学共同研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 13

- (1) 『Production and diffusion of methane in trees: spatial distribution of CH<sub>4</sub> sources inside the trunks』

Daniel EPRON（京都大学 農学研究科）

- (2) 『長期太陽黒点観測スケッチのデジタル画像データベースの構築』

浅井 歩（京都大学 理学研究科）

- (3) 『ムラサキの脂質輸送機構を利用した植物細胞における代謝産物の輸送エンジニアリング』

市野琢爾（神戸薬科大学 薬学部）

- (4) 『木質材料創製のための前処理としての木材褐色腐朽の可能性』

今井友也（京都大学 生存圏研究所）

- (5) 『微細気泡の精密計測による基礎特性の解明』

- 上田義勝（京都大学 生存圏研究所）

(6) 『国内稠密 GNSS 受信機網データを用いた中規模伝搬性電離圏擾乱およびその測位への影響に関する研究』  
大塚雄一（名古屋大学 宇宙地球環境研究所）

(7) 『高強度部材成形を目的とした高密度木材の流動成形性の検討』  
梶川翔平（電気通信大学 大学院情報理工学研究科）

(8) 『ため池が温室効果ガス動態を通じて地域の炭素循環に果たす役割の解明』  
坂部綾香（京都大学 農学研究科）

(9) 『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）

(10) 『木材の物性とマルチスケール時空間構造の関係解明に向けた SAXS 解析』  
田中聰一（京都大学 生存圏研究所）

(11) 『環境放射能の歩行サーベイにおけるリアルタイム位置捕捉技術の開発』  
谷垣 実（京都大学 複合原子力科学研究所）

(12) 『越境大気汚染によるイオウ酸化物の飛来が森林土壤のイオウ蓄積量に与える影響の評価』  
谷川東子（名古屋大学 生命農学研究科）

(13) 『細胞壁改変組換え植物で迫るリグノセルロース超分子構造の構築機構』  
飛松裕基（京都大学 生存圏研究所）

(14) 『紫外線計測データと外出記録に基づく新生児の紫外線照射量と体内ビタミン D 濃度との関係に関する研究』  
中島英彰（国立環境研究所）

(15) 『DNA ナノ構造体を足場とした人工コンパートメントの創製』  
中田栄司（京都大学 エネルギー理工学研究所）

(16) 『ダイズのセシウム蓄積に関わる候補遺伝子の探索』  
二瓶直登（福島大学 食農学類）

(17) 『2022 年 1 月のフンガ・トンガ=フンガ・ハアパイ火山噴火に伴う成層圏気候変動の研究』  
藤原正智（北海道大学 大学院地球環境科学研究院）

(18) 『微生物と物理化学的な前処理を組み合わせた廃プラスチック類の分解』  
渡邊崇人（京都大学 生存圏研究所）

- (MS-1) 『網羅解析による木造建築の耐震性能に与える生物劣化の影響の見える化』  
井上 涼 (現職:熊本大学大学院先端科学研究院 助教)

(MS-2) 『炭素安定同位体を用いた樹木炭素蓄積量に影響する要因の解明』  
田邊智子

(MS-3) 『新規なリグニン分解反応系の開発とリグニン改変植物への適用』  
謝 冰 (XIE Bing)

# ミッション推進委員会活動報告

京都大学生存圏研究所

篠原真毅

## 1. 委員会組織

委員長：篠原 真毅（京都大学生存圏研究所）

委 員：畠 俊充（京都大学生存圏研究所）

田中 聰一（京都大学生存圏研究所）

## 2. 委員会概要

生存圏研究所では、「環境診断・循環機能制御」、「太陽エネルギー変換・高度利用」、「宇宙生存環境」、「循環材料・環境共生システム」、「高品位生存圏」の 5 つのミッションを設定し、研究成果の実装を含めた社会貢献をめざしている。平成 28 年度に新設したミッション 5 「高品位生存圏」は、社会とのつながりや国際化、物質・エネルギーの循環を、これまでよりも重視している。各ミッションの活動報告は本報告書の熱ページを参照いただきたい。ミッション推進委員会はこれら 5 つのミッションの円滑な推進と情報発信を行うことを目的として活動している。研究所のミッションは 2004 年の研究所発足より活動しており、3 期 18 年にわたり、発展しながら継続してきた。2022 年度より大学中期計画第 4 期に入るに際し、ミッション研究の内容解析とコミュニティの充実を行い、生存圏科学の可視化、情報発信を行っていく計画である(図 1)。

## 3. 2023 年度の活動状況

ミッション推進委員会では上記のミッション研究の他、生存圏フラッグシップ共同研究、アジアリサーチノード共同ラボ(ARN)、オープンセミナーを所轄する。これまでそれぞれに予算措置を行い、研究やセミナーを実施してきた。2023 年度は昨年度に引き続き、ミッション 1-4 に各 50 万円、ミッション 5 に 100 万円の予算措置を行った。しかしこれは一昨年度に比べ約 88% 減という厳しいものであり、残念ながらフラッグシップ共同研究や ARN への予算措置もできなかった。昨年度に比べると早期の予算措置は実現したものの、来年度は予算の増加を目指し、ミッション研究の活性化を目指す。

オープンセミナーは生存圏科学や圏間融合研究に重要な分野横断型セミナーであり、誰でも気軽に参加できるセミナーである。コロナ以後はオンラインで実施しており、2023 年度もほぼ例年なみの 14 回開催し、延べ参加人数 468 名(1 回平均 33 名)で盛況に開催された。オープンセミナーのうち、講演者の許可が取れたものは YouTube で公開し、生存圏研究所の広報、生存圏科学の発展に寄与している。現在 YouTube Channel

「京都大学生存圏研究所」でオープンセミナーの動画が 5 本公開されており、その他公開されている研究所の様々な動画と合わせ、この 1 年間で各動画は 400 回以上再生回数を上澄みしている[1]。

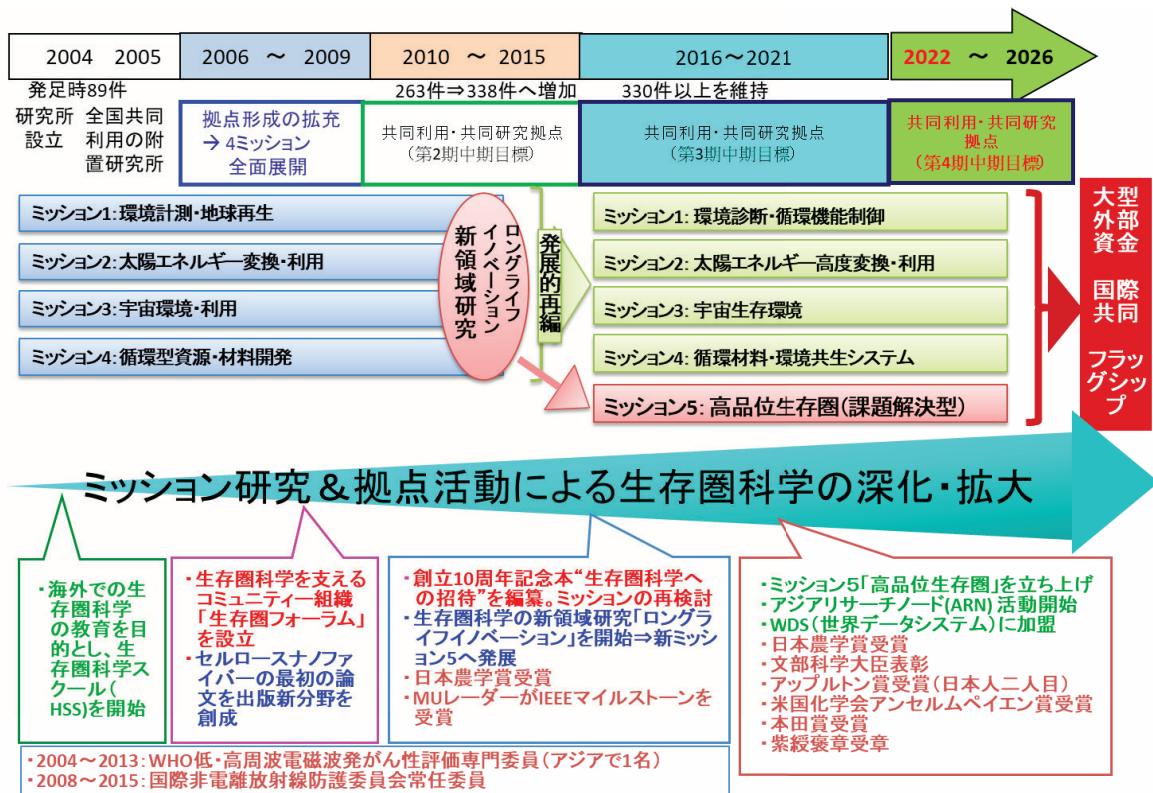


図 1 生存圏科学の共同利用・共同研究拠点におけるミッション研究

#### 4. 引用文献

[1] YouTube Channel 京都大学 生存圏研究所

<https://www.youtube.com/@user-tg5zp9kj8j/featured>

## 共同利用・共同研究拠点活動報告

京都大学生存圏研究所  
橋口浩之（共同利用・共同研究拠点委員会 委員長）

### 1. 活動の概要

生存圏研究所では、共同利用・共同研究拠点として、次の3タイプの共同利用・共同研究事業を国内外の多様な分野の専門家と連携して継続的に実施している。1) 大型の観測・実験設備の共用を中心とした「設備利用型共同利用・共同研究」、2) 電子データベース・実体資料のアーカイブと発信を核とした「データベース利用型共同利用・共同研究」、3) 学際的、融合的、萌芽的なプロジェクト研究を開拓・推進する「プロジェクト型共同研究」。これらの事業を通して、年間約300の共同利用・共同研究課題を国内170以上、海外20以上の機関と実施してきた。

研究所の設立当初は設備共同利用が中心であったが、近年では大型の設備を利用しない共同研究も活発化してきている。従来、共同利用・共同研究拠点の運営体制として、主として設備・データベースの共同利用については開放型研究推進部(推進部)が、学際融合研究などの共同研究については生存圏学際萌芽研究センター(センター)が対応してきた。センターが果たすべき研究の学際性、萌芽性を指向する方向性と、推進部で実施される共同利用の成果の活用とをうまく融合させるため、令和4年度より、推進部とセンター内の運営委員会を統合して共同利用・共同研究拠点委員会(共共拠点委員会)を設け、拠点運営を一元化して所掌することとした。また、4) 拠点活動の研究成果の公開や生存圏科学の啓発のための「生存圏シンポジウム」の公募・運営も共共拠点委員会で所掌している。

#### 1) 設備利用型共同利用・共同研究

研究所発足前から全国共同利用を実施していた「MUレーダー」、「先端電波科学計算機実験装置(A-KDK)」、「METLAB/SPSLAB」を継続発展させるとともに、平成17年度に新たにインドネシアの「赤道大気レーダー(EAR)」、「木質材料実験棟」、鹿児島県にある「生活・森林圏シミュレーションフィールド(LSF)」、「居住圏劣化生物飼育棟(DOL)」の共同利用を開始した。平成18年度には、「森林バイオマス評価分析システム(FBAS)」、平成19年度には「持続可能生存圏開拓診断(DASH)システム」を設置し、平成20年度から共同利用を開始した。平成23年度には「先進素材開発解析システム(ADAM)」、「高度マイクロ波エネルギー伝送実験装置(A-METLAB)」、「宇宙圏電磁環境計測装置性能評価システム(PEMSEE)」の共同利用を開始した。令和3年度には「バイオナノマテリアル製造評価システム(CAN-DO)」の共同利用を開始し、合計14の大型装置・設備や施設において、毎年200課題以上の共同利用が行なわれている。

#### 2) データベース利用型共同利用・共同研究

昭和19年以来、約80年にわたって収集されてきた標本である材鑑データ、MUレーダーなど大気観測のレーダーデータ、GEOTAIL衛星による宇宙プラズマに関する衛星データなどの生存圏にかかる多種多様な情報を統括して「生存圏データベース」として管理・運営している。科学技術利

用目的の場合は、とくに制限を設げずにデータを公開しており、年間2.5億アクセス、約250TBのデータがダウンロードされている。なお、本研究所は平成28年よりISC(国際学術会議)のWDS(世界科学データシステム)の正会員として認定されている。

### 3) プロジェクト型共同研究

生存圏ミッションを進展させるために、「生存圏科学共同研究」を公募・実施している。公募要項・応募様式の英語化を図り、外国の研究者による応募も可能としている。令和5年度は18件の研究課題を採択した。

### 4) 生存圏シンポジウムの開催

生存圏研究所の設立以来、毎年多数の「生存圏シンポジウム」を公募・運営し、共同利用・共同研究拠点活動の研究成果の公開、生存圏科学の啓発と関連コミュニティの拡大に努めてきた。令和5年度には27件をサポートし、今年度末までの累計は523回に達する。

## 2. 共同利用・共同研究拠点委員会構成

### (所外委員)

村山泰啓 (情報通信研究機構 NICT ナレッジハブ)  
 白井英之 (神戸大学 大学院システム情報学研究科)  
 藤野義之 (東洋大学 理工学部電気電子情報工学科)  
 中島史郎 (宇都宮大学 地域デザイン科学部)  
 堀澤栄 (高知工科大学 環境理工学群)  
 佐野雄三 (北海道大学 大学院農学研究院)  
 谷川東子 (名古屋大学 大学院生命農学研究科)  
 岸本崇生 (富山県立大学 工学部生物工学科)  
 岡久陽子 (京都工芸繊維大学 繊維学系 バイオベースマテリアル学専攻)  
 藤本清彦 (森林研究・整備機構 森林総合研究所 木材加工・特性研究領域木材機械加工研究室)

### (所内委員)

橋口浩之 (MU レーダー／赤道大気レーダー共同利用・共同研究専門委員会 委員長)  
 海老原祐輔 (電波科学計算機実験共同利用・共同研究専門委員会 委員長)  
 篠原真毅 (マイクロ波エネルギー伝送実験装置共同利用・共同研究専門委員会 委員長)  
 五十田博 (木質材料実験棟共同利用・共同研究専門委員会 委員長)  
 大村和香子 (居住圏劣化生物飼育棟／生活・森林圏シミュレーションフィールド共同利用・共同研究専門委員会 委員長)  
 今井友也 (生存圏データベース共同利用・共同研究専門委員会 委員長)  
 杉山暁史 (持続可能生存圏開拓診断／森林バイオマス評価分析システム共同利用・共同研究専門委員会 委員長)  
 三谷友彦 (先進素材開発解析システム共同利用・共同研究専門委員会 委員長)  
 矢野浩之 (バイオナノマテリアル製造評価システム共同利用・共同研究専門委員会 委員長)  
 小嶋浩嗣 (プロジェクト型共同研究専門委員会 委員長)

# 生存圏未来開拓研究センターについて

京都大学生存圏研究所 生存圏未来開拓研究センター  
桑島 修一郎

## 1. 概要

京都大学生存圏研究所では、生存圏学際萌芽研究センターを中心とする活動体制から、新興領域・融合領域・学際領域の開拓および産官学共同研究の強化を目的として、2022年4月より生存圏未来開拓研究センターに移行した。共同利用・共同研究拠点における学際性や萌芽性を活かした新分野開拓を行うとともに拠点の運営体制を効率化することを目指している。中核研究部の中堅・若手専任教員がセンターに移籍し、スマートアイランド型研究ユニットを主導することにより、研究所の既定路線に捉われない新領域探究に注力する環境を構築する。2022年11月に研究所の研究領域外からセンター長を、2023年6月には民間企業とのクロスアポイントメントにより副センター長をそれぞれ配置している（図1）。

## 2. 活動内容

研究ユニットは3年間で新陳代謝を図りながら、既存研究ユニットは中核研究部に帰還し本格的な研究展開を行うとともに、新規研究ユニットが継続的に新領域を探索するという、持続的なエンジン機能を持たせている。現在、4つの研究ユニットが学問分野間の「相互作用」の観点から、独自のアプローチで新たな学際分野の探索中である（図2）。また、中核研究部との相互作用を強化するために、2022年度に引き続き、センターが主導するかたちで双方の中堅、若手教員による公開講座「サステナブルな未来を創る新しい材料のはなし」を継続中である。

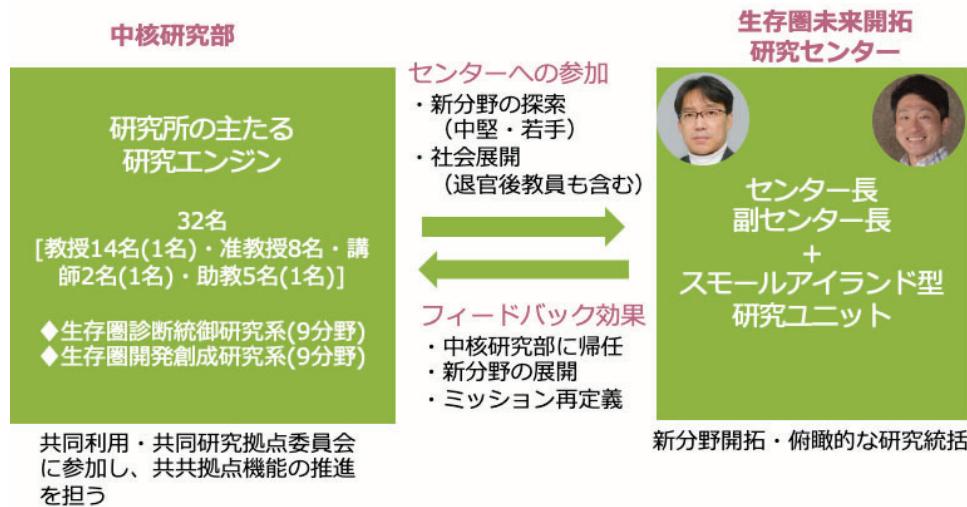


図1 センターの役割



図2 研究ユニット

### 3. 今後の方向性

欧州を中心に、確実に社会変革へつながるイノベーション（トランスフォーマティブ・イノベーション）を実現するためのミッション志向型施策へのシフトが顕著である。日本においても、第6期科学技術・イノベーション基本計画で「総合知」といった新しい考え方が提案され、第7期ではさらに学際研究の必要性が再確認されることが予想される。これまでにも学際教育研究の先進的な取り組みが提案及び実行してきたことは周知であるが、持続的な機能として確立する本格的な試みは緒についたところである。生存圏研究所は設立以来、学際性を推進し国内外の科学技術政策を先取りしてきたとともに、共同利用・共同研究拠点として研究所外の生存圏科学コミュニティに対して学際研究を先導してきた実績を活かし以下の点を強化する。

- ✓ 新分野開拓加速に向けたスマールアイランド型研究体制の強化
- ✓ 学際研究展開システムの構築に向けた方法論開発
- ✓ トランスフォーマティブ・イノベーションを見据えた柔軟なミッション設定  
課題設定段階から多様なステークホルダーを取り込み社会との接点を設けておくことにより、将来的に社会的訴求力を発揮し得る基礎・基盤研究環境の構築を目指す。また、名目的な連携を超えた、共同事業創出等を可能とする実質的な学外連携に向けて、大型産学連携のみならずスタートアップを中心とした連携も模索する。

以上

# 国際活動&アジアリサーチノード成果報告

京都大学生存圏研究所

大村和香子、Hubert LUCE、横山竜宏、渡邊崇人、田鶴寿弥子

## 1. 概要

生存圏科学の国際化、特にアジア展開を進めるべく、2016年度から「生存圏アジアリサーチノード（Humanosphere Asia Research Node（以下、ARN））」プログラムをスタートさせた。これは、インドネシアに ARN を整備・運営することで、生存圏科学を支え、さらに発展させる国際的な人材育成を進めるとともに、国際共同研究のハブ機能を強化することを目指している。「日 ASEAN 科学技術イノベーション共同研究拠点 – 持続可能開発研究の推進」(JASTIP)など既に推進中のプロジェクトと連携して、旧インドネシア科学院(LIPI)の生物機能材料研究センター内に「生存圏アジアリサーチノード共同ラボ」を設置し、インドネシア国内の研究拠点（赤道大気レーダー、LAPAN 研究センター、建築研等）で国際共同研究やキャパシティビルディング等の活動を推進してきた。昨年度、インドネシアに於いて LIPI や LAPAN 等からインドネシア国家研究イノベーション庁（BRIN）への統合・改組がなされ、これに伴い学術交流協定（MoU）の再締結等を進めているところである。

## 2. 国際活動

### 2. 1 学術交流協定（MoU）締結状況

海外機関との人的交流・共同研究を促進するため、学術交流協定を積極的に締結している。現在締結中の 25 件（うち主担当 21 件）のうち 20 件がアジア諸国との協定である。

### 2. 2 國際共同研究プロジェクト

赤道ファウンテン、熱帯バイオマスの生産・循環利用・環境保全、生存圏データベースの国際共同研究の 3 つのサブ課題に関する国際共同研究プロジェクトを推進している。

### 2. 3. キャパシティビルディング

2023 年 9 月 25 日にドイツ・レーゲンスブルク大学の Heidrun Stoeger 教授が来所され、Stoeger 教授らのグループが行っている「Global Talent Mentoring」について紹介いただいた（対面およびオンラインでのハイブリッド形式セミナーとして実施）。このメンタリング・プログラムは世界中の STEM 分野のメンターと、メンティーとして特に 16 歳以下を対象として両者をマッチングし、10 年間という長期にわたり、オンラインを利用した個別教育を行うというものである。大学サイドへは当該教育システムへの理解とともに、メンターとしての役割を期待されている。（参考：Global Talent Mentoring homepage: <https://globaltalentmentoring.org/> ）

また、生存研で定例開催しているオープンセミナーの一部を、ビデオ会議システム Zoom を利用して、宇治から国内各研究機関のほか、インドネシア BRIN に双方向配信し、最新

研究の情報共有に努めた。

### 3. 生存圏アジアリサーチノード国際シンポジウム

国内外で国際シンポジウムや国際ワークショップ、生存圏科学スクールを開催して、生存圏科学を支える国際的な人材を育成するもことも ARN の重要な活動の一つである。

2017 年 2 月にはマレーシア理科大学と連携して、マレーシア・ペナンで第 1 回 ARN 国際シンポジウムを、2017 年 7 月には京都大学宇治キャンパスで第 2 回同シンポジウムを、2018 年 9 月には台中市の国立中興大学において第 3 回同シンポジウムを、2019 年 12 月 26 日～27 日には中国南京市において南京林業大学と共に第 4 回同シンポジウムを開催した。2020 年度は、新型コロナウィルス感染拡大に伴い、Web 会議システム Zoom と Remo を用いて、2020 年 12 月 22 日～23 日に第 5 回をオンライン開催、2021 年度は 2021 年 9 月 20 日～21 日に、赤道大気レーダー(EAR)の完成から 20 周年を記念した赤道大気に関するインドネシア国立航空宇宙研究所・京都大学国際シンポジウムと併催する形で第 6 回をオンライン (Zoom) 開催、2022 年度は、LIPI や LAPAN などの BRIN への改組と、当研究所の新センター設置を受け、相互の研究組織の現状と将来の方向性を討議するための第 7 回を開催した。なお第 7 回は第 10 回地球規模課題セミナー (10<sup>th</sup> Sustainable Development Seminar (SDS)) との併催とし、特に日本側の若手研究者と大学院学生を主な対象として、東南アジア地域特にインドネシアの科学及び社会情勢などに関する最新情報を提供する場を設けた。本年度は、2023 年 10 月 29 日に第 2 回環境と持続的発展に関する国際会議 (The 2nd International Conference on Environment and Sustainable Development (2<sup>nd</sup> ICESD)) との共催で、インドネシア・マカッサルの Hasanuddin 大学において、対面とオンラインのハイブリットで開催した。BRIN や Hasanuddin 大学のスタッフの協力のもと、現地・オンラインあわせて 80 名が参加し盛会となった。プログラムとしてはセッション 1 (大気・エネルギー) とセッション 2 (マテリアル・環境) を設け、持続可能な生存圏の構築に貢献する関連科学分野の最新科学技術について議論した。なお、2<sup>nd</sup> ICESD は京都大学 ASEAN 拠点主催の第 18 回東南アジアネットワークフォーラムとも共催され、第 8 回 ARN 開催の前日の 2023 年 10 月 28 日に同じく Hasanuddin 大学にて開催された。

### 4. 今後の計画

国際的な学術交流の観点から、アジア諸国、欧米諸国、日本国内の様々な研究機関と研究者や大学院生の対面でのコミュニケーションの場を増やすとともに、オンラインのメリットを活かして、生存圏科学スクール(HSS)や国際生存圏科学シンポジウム(ISSH)等による若手教育の機会を提供していきたい。また、ARN に関する国際シンポジウムの企画や赤道大気レーダーを中心とする日本・インドネシア・諸外国の研究者との国際共同研究の継続、生存圏データベースの国際化を推進するための講義・セミナーなどを実施していきたい。

## トピック1 生存圏科学とスタートアップ<sup>◦</sup>

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

2022年6月7日に閣議決定された「新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画～人・技術・スタートアップへの投資の実現～」の大きな柱の一つとしてスタートアップの育成が位置付けられたことを受け、同年11月28日に「スタートアップ育成5か年計画」が決定された。これまでもベンチャー企業育成として度々政策のトピックとして挙がってきたが、昨今の日本経済の深刻さから国が主導するかたちで急速にスタートアップ育成が進んでいる。

生存圏未来開拓研究センターでは、スマールアイランド型研究体制による生存圏科学の新領域探索を試みており、当然ながら产学連携に象徴される社会との接点を増やしていく中で、生存圏科学の意義を浮かび上がらせることも期待されている。大企業を中心とする既存企業との連携のみならず、スタートアップという手段を用いて、大学の「知」を社会に対して訴求していくことも必要であり、逆に、すでに活動するスタートアップを通じて社会の課題を的確に捉えることも必要となってくる。

本セッションでは「生存圏科学とスタートアップ」と題して4人の話題提供者をお招きし、当センター活動におけるスタートアップとの連携可能性について議論する。当センター特任准教授でもある高崎宏之氏は、外資系大手コンサルタントを経て、現在はAcwest社の代表を務める傍ら、宇宙天気AI予報技術の深化に向けた研究開発及び活用方法に関する探索活動に従事、本格的な宇宙ビジネスへの展開を加速中である。仲上祐斗氏は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）を若くして退職し、現在はAIPE認定知財アナリストとして、社会課題解決と産業が両立するエコシステム構築の観点から、スタートアップ等の知財・標準戦略づくりに従事している。当センター特任准教授の西村裕志氏は、バイオマスプロダクトツリー产学共同研究ユニット活動を通してバイオマス利用を目指したスタートアップの可能性を探求中である。また、基調講演をお願いする、神戸大学数理・データサイエンスセンター教授の木村建次郎氏は、応用数学の未解決問題であった「散乱の逆問題」に対し、10年がかりで数学的な計算方法を確立し、2012年に「Integral Geometry Science」を立ち上げ、現在は数十億円規模の資金調達を可能とするまでに事業を拡大している。

これらの講演を通じて、事業化およびその拡大が困難とされるディープテック・スタートアップとの連携に向けた「生存圏科学」の意義について考える。

## トピック2 生存圏：月

小嶋 浩嗣

京都大学 生存圏研究所

人類はアポロ計画以来、初めて月に戻ろうとしています。それは、冷戦下での宇宙開発競争で実現したアポロ計画とは、また、一つ違った意味合いをもっています。宇宙空間の環境は、まだまだ未知の部分がありますが、宇宙利用の推進という立場では、「月」が、次の大きなターゲットであり、また、米国を中心として国際協力の下進められている ALTEMIS 計画は、その重要なマイルストーンです。ALTEMIS 計画は、月周回拠点としてのステーション(GATEWAY)、月面-ステーション往還機、月面キャンプからなります。月は、人類の宇宙空間における拠点、そして、火星へと向かう中継地としてとらえられています。しかし、月、特に、「月面」の環境は、地球上はもとより、これまで人類が宇宙に長期滞在した地球を周回する国際宇宙ステーションとは、まったく異なっています。それを理解した上で利用していく準備も、月拠点確立のミッションと並行して進める必要があります。

人類は、これまで最長で 3 日間しか月面に滞在していません。これからはもっと長期の滞在を行うことになるでしょう。それでは月面の環境は、地球上の環境とどう違うでしょうか。例えば、月の重力は地球の約六分の一しかありません。これは月面上に構造物を建設する場合プラスに働くかもしれません。一方で、地球は、地表に宇宙空間環境が直接影響を及ぼさないようにしてくれる二つのものをもっています。それは、「大気」と「磁場」です。月には、この両方がありません(局所的な磁場はありますが、地球のようなグローバルな磁場構造はありません)。宇宙空間は、プラズマという電離気体で満たされていますし、また、太陽高エネルギー粒子や銀河宇宙線のような放射線も存在します。地球では大気と磁場がこの両者から地表を守ってくれています。このバリアが月面にはないため、宇宙プラズマや放射線が直接人類の生活空間に影響することになります。放射線については、例えば火星に向かう宇宙飛行士とほぼ同じ環境といえますが、宇宙プラズマの直接的な影響は、月面における特有な現象へつながります。月面は、レゴリスというガラスに似た成分でできた細かい砂粒で覆われていることが知られています。このレゴリスに宇宙プラズマが接触することで、容易に帯電させてしまいます。帯電したレゴリス上を宇宙飛行士が歩くと、ダストとして舞い上がり宇宙服の表面に、べったりと静電気で付着してしまいます。このダストは、機器を故障させたり、宇宙服を傷つけたり、人間が吸い込むと健康上の問題を引き起こしたりと、地球では想像できないことが発生します。

月面を人類の次の生存圏として開拓していく場合、これらの環境とその人間活動に与える影響を評価する必要があるのと同時に、人間が生活していく上での基盤、すな

わち、生活空間を保証する構造物、生命維持の重要なファクターである「水」の確保、など、様々な視点から考えていく必要があります。

本セッションは、「生存圏：月」と題して、月面での「居住空間」、「水資源」、「ダスト環境」という3つの点に絞りました。「居住空間」については、竹中工務店 佐藤達保様より月面でのQOLを保証する建築物について、「水資源」については、立命館大学の仲内悠祐様より月における水資源とその探査について、「ダスト環境」については、当研究所の栗田怜よりダスト発生とその原因となる静電環境について講演を行っていただきます。本セッションが、国際的にも次の宇宙利用先として注目されている月について、「生存圏」という立場で考えていくきっかけになればと思います。

## トピック3 生存圏科学的視点で見た低分子有機化合物

杉山 晓史

京都大学 生存圏研究所

植物が生産するバイオマス資源の中で、セルロースやリグニン等の高分子化合物は生産量も高く、エネルギーや工業材料、機能性材料へと変換され、持続的な資源として利用されており、またその高度利用に向けた研究開発も盛んに行われています。一方、植物が生産する低分子化合物は、セルロースやリグニンと比較すると生産量は低いですが、極めて多様な化学構造を有し、その種類は100万を超えるとされます。生存圏の中で、これらの低分子化合物の中には大気圏・森林圏・土壤圏の物質循環に関わるものや、植物の生長や作物生産に深く関わるもの、さらには、医薬品の原料や機能性成分、香料、染料などとしてヒトの生活の質を向上させるものも多く知られています。生存圏研究所のDASH/FBASでは、これら低分子化合物がどのように生産され、輸送・蓄積し、さらに植物から分泌されて機能するのかについて、モデル植物や実用植物の遺伝子組換え体を用いて研究に取り組み、持続可能な生存圏へつながる知見を見出しました。

本セッションではDASH/FBASの分析装置と組換え温室、培養室を用いた研究の概要を紹介した後、生存圏の中で機能する低分子有機化合物についての講演を設定しました。京都大学生存圏研究所の棟方涼介助教からは「柑橘類が生理活性成分を生産する仕組み」というタイトルで、柑橘類の有するプレニル化酵素の発見と、プレニル化酵素を利用して機能性成分を作る、または、植物に含まれる毒性成分を減らす手法について紹介して頂きます。次に、京都大学化学研究所の増口潔助教に「根圏共生シグナルと植物ホルモンとして機能するストリゴラクトンの生合成およびその制御機構」というタイトルで講演をお願いしました。ストリゴラクトンは生存圏の中で重要な役割を担う化合物ですが、その生合成経路や制御機構は極めて複雑です。今回は、イネやシロイヌナズナを用いて明らかになってきたストリゴラクトン生合成に関する新しい酵素の発見や、その制御機構に関する知見をお話しして頂きます。最後に山口大学大学院創成科学研究科の肥塚崇男准教授から「酵素の機能進化から見た植物の香気成分多様性獲得機構」というタイトルで、植物由来の香りについて講演して頂きます。香りは人の暮らしになくてはならない重要な植物由来の低分子有機化合物ですが、植物が香りを作り出す能力やその多様性は、植物が進化の過程で獲得した生存戦略の一つです。香り成分の多様性に寄与するメチル化反応に関わる酵素の機能進化を例に、植物がいかにして多様な香気成分を作り出すようになったのかについて紹介して頂きます。

# Production and diffusion of methane in trees: spatial distribution of CH<sub>4</sub> sources inside the trunks

## 1. Research team

Leader: EPRON, Daniel (Kyoto University, Graduate School of Agriculture)

Collaborators: TAKAHASHI, Kenshi (Kyoto University, RISH)

MOCHIDOME, Takumi (Kyoto University, Graduate School of Agriculture)

ASAKAWA, Susumu (Nagoya University, Graduate School of Bioagricultural)

## 2. Related missions

Mission 1: Environmental Diagnosis and Regulation of Circulatory Function

Mission 5: Quality of the Future Humanosphere

## 3. Abstract

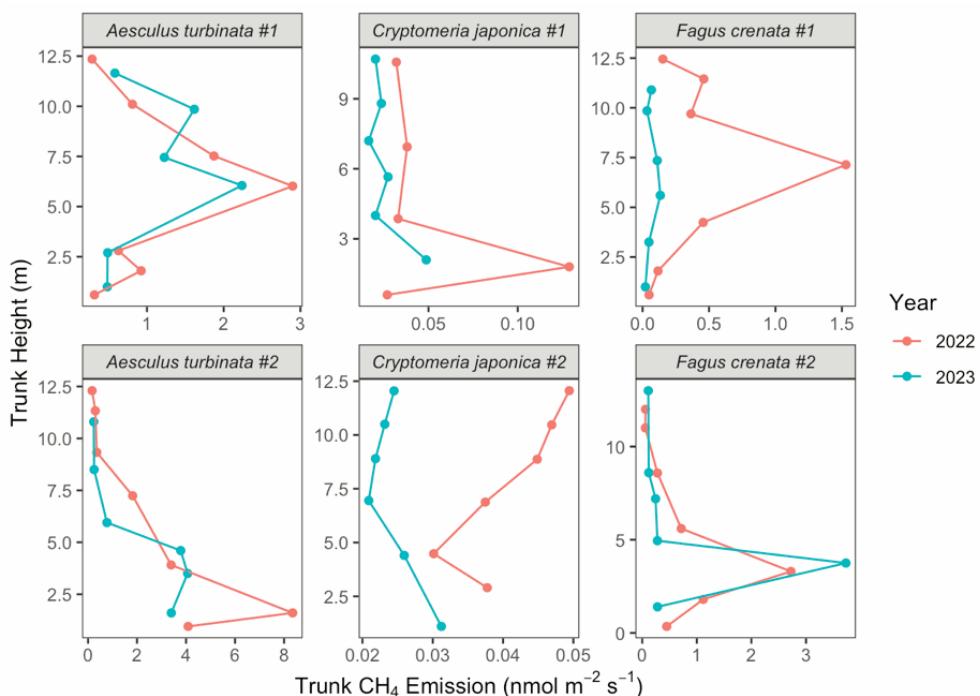
The trunks of trees species can harbor methanogenic archaea, produce CH<sub>4</sub> internally and emit it to the atmosphere but little is known about CH<sub>4</sub> transport in tree trunk. Physical modeling of CH<sub>4</sub> transport in tree trunk had not yet been attempted and for this, it was necessary to locate the sources of CH<sub>4</sub> within the trunk. Our objective was therefore to characterize the vertical profile of tree CH<sub>4</sub> production within the trunk and use it to simulate the vertical pattern of CH<sub>4</sub> emission from the trunk surface. Using a cherry picker, we measured the vertical profile of tree trunk CH<sub>4</sub> emissions up to 12 meters, discovering that the upper part of the trunk emitted CH<sub>4</sub>. To determine whether this emission originated from local CH<sub>4</sub> production or axial transport from the lower trunk, we quantified the vertical profile of CH<sub>4</sub> production within the trunk by wood core incubation under anoxic conditions. In two of the three target species, the vertical profiles of production and emission were similar. We also measured the vertical profile of heartwood CH<sub>4</sub> concentration, employing it as input for a mathematical model simulating CH<sub>4</sub> transport, including diffusion and advection, which outputs the vertical profile of emission at steady state.

## 4. Background and purpose of the research

CH<sub>4</sub> is the second most significant anthropogenic greenhouse gas, and its atmospheric concentration has rapidly increased in recent years. Upland forest soils represent the largest biological sink for atmospheric CH<sub>4</sub>, offering a crucial ecosystem service. Mountain forests cover nearly two-thirds of Japan land area, but we still know little about the role of trees in their CH<sub>4</sub> budget. However, trees emit CH<sub>4</sub>, and it is essential to clarify their role to establish a comprehensive methane balance for forest ecosystems. In the Ashiu experimental forest, the trunks of various tree species host methanogenic archaea, internally produce CH<sub>4</sub>, and release it into the atmosphere. CH<sub>4</sub> production within a tree varies, and axial transport, including diffusion and advection, leads to a complex vertical pattern of stem CH<sub>4</sub> emissions. This study aims to determine whether local CH<sub>4</sub> production or axial transport is the primary source of trunk CH<sub>4</sub> emissions in the upper part of the trunk. We characterized the vertical profile of CH<sub>4</sub> emission from the trunk and compared it to the vertical profile of CH<sub>4</sub> production within the trunk by measuring the potential of methane production, internal CH<sub>4</sub> concentration and methanogenic archaeal communities in the wood at different heights all along the trunk using a cherry picker to access the top of the trees.

## 5. Results and discussion

Trunk CH<sub>4</sub> flux was consistently positive, emitting, up to 12 meters, with peak emissions occurring at 6 to 7 meters above ground in two trees (Figure 1). The vertical patterns of CH<sub>4</sub> emission and internal CH<sub>4</sub> production were similar in two species and the vertical pattern of CH<sub>4</sub> emission was successfully simulated with a physical model of CH<sub>4</sub> transport. Varying parameters related to axial transport in the simulations did not change dramatically the vertical emission pattern. Therefore, we concluded that the distribution of CH<sub>4</sub> production plays a more critical role than axial CH<sub>4</sub> transport in determining this vertical emission pattern. Additionally, we suggested that the CH<sub>4</sub> production hot spots inside trunks are related to either wood rot or species-dependent limitations in O<sub>2</sub> supply related to wood wetness. The characterization of the methanogenic archaeal communities in the wood cores which were incubated is on going and expected to be finished in March.



**Figure 1:** Vertical profiles of trunk CH<sub>4</sub> emission on two trees from three species

## 6. Future directions

We concluded that the vertical profile of CH<sub>4</sub> production is a key factor in determining the vertical emission profile, which might be generalized to trees in upland forests. For scaling emissions to the stand level, understanding the distribution of CH<sub>4</sub> production is therefore essential. One approach can be establishing a robust relationship between CH<sub>4</sub> production and both wood rot development and wood water content as proxies for the CH<sub>4</sub> production potential of trees, across multiple tree locations and species.

## 7. References

## 8. Notes

Results will be presented at the Annual meeting of Agricultural Meteorology of Japan in Tohoku (March 2024) and at the Japan Geoscience Union Annual Meeting in Chiba (May 2024)

# 長期太陽黒点観測スケッチのデジタル画像データベースの構築

## Digital Image Database Construction of Long-Term Sketch Observation of Sunspots

### 1. 研究組織

代表者氏名：浅井 歩（京都大学 理学研究科）  
 共同研究者：海老原祐輔（京都大学 生存圏研究所）  
 上野 悟（京都大学 理学研究科）  
 鈴木美好（元三重県立津高等学校）  
 北井礼三郎（立命館大学）

### 2. 関連ミッション

ミッション3：宇宙生存環境  
 ミッション5：高品位生存圏

### 3. 研究概要

鈴木美好氏による 60 年間以上にわたる太陽全面の黒点のスケッチ資料が蓄積されている。また、1987 年からは、写真観測（図 1）も同時に記録されている。本研究では、これらの太陽活動の長期連続観測資料をデジタル化してデータベースを構築し世界に公開する。また、このデータベースを活用して、太陽活動の長期変動について調べる。特に活動領域（黒点）ごとの太陽面での位置変化を調査し黒点出現の特徴を調べる。鈴木氏による均質な長期連続観測資料は、太陽活動・地球環境の長期変動を研究するための貴重な資料である。構築するデータベースは、生存圏研究所が主要機関参加している IUGONET を介して公開する。地球環境を支配する太陽エネルギー研究の基礎資料となるデータベースの公開は価値が大きい。

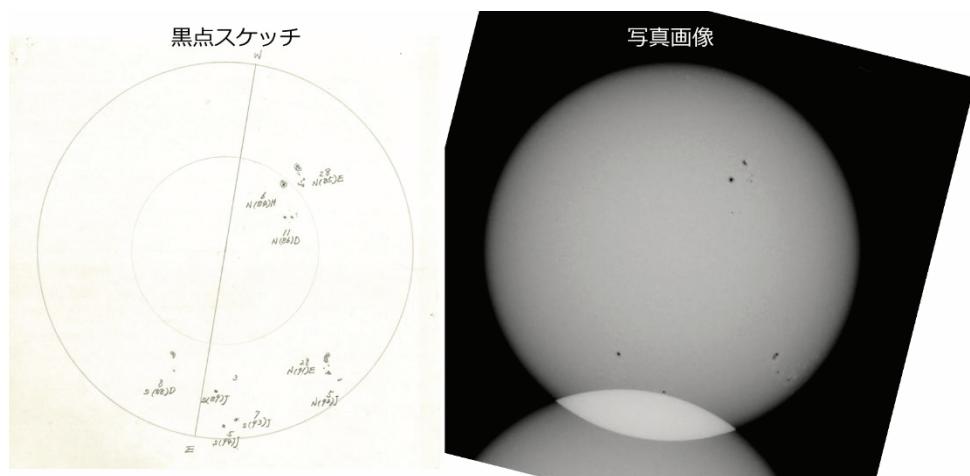


図 1：鈴木氏による太陽黒点スケッチ(左)と同日の太陽白色光写真画像(右)。1998 年 4 月 10 日撮影。

#### 4. 研究の背景と目的

太陽黒点の出現は約 11 年で盛衰を繰り返す。太陽活動は太陽からの紫外線放射量を変動させ、地球に照射するエネルギーを増減させる。しかし、この盛衰の根本原因は未解明であり、観測的な立場から長期間観測記録の整備が必要である。太陽黒点の観測は、1600 年代のガリレオ・ガリレイの時代にまでさかのぼれる。近年においては、小山ひさ子氏による「40 年にわたる黒点スケッチ観測」<sup>1)</sup>が世界的に知られており、それを引き継いで、鈴木美好氏による 60 年を超える黒点スケッチ観測が存在する。1987 年からは、写真観測も同時に行っている。SILSO<sup>2)</sup>は世界的な太陽黒点観測のとりまとめを実施しているが、過去の太陽黒点数の再評価の際には、鈴木氏の観測結果が貢献した。本研究の目的は、この鈴木氏の観測のデジタル画像データベースを構築して、世界的研究ネットワークに原資料を提供することにある。また、この長期連続観測情報から、太陽活動の長期変動について調べる。

#### 5. 研究の結果および考察

本年度は、1987 年から 1998 年にかけての 1000 コマの写真フィルム画像（図 1）をデジタルスキャンした。加えて、1998 年および 2003 年に出現した活動領域（黒点）ごとの太陽面での位置変化を調査した記録をデジタル化し、黒点出現の特徴を調べた（図 2）。

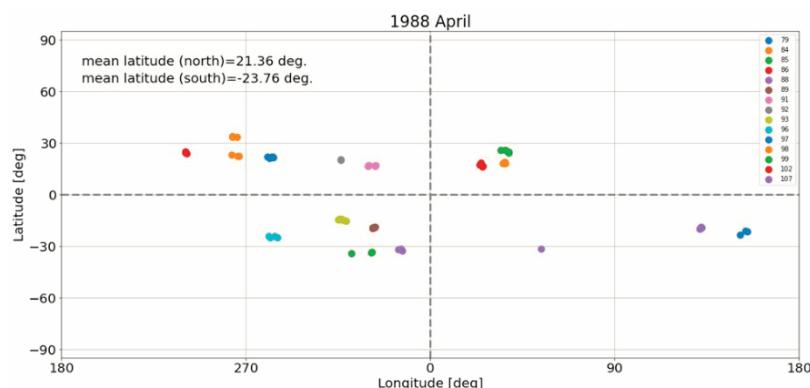


図 2：1988 年 4 月に出現した活動領域のキャリントンマップ上の位置。

#### 6. 今後の展開

フィルム撮像画像は約 45,000 コマ存在しており、効率的に重要なフィルムを選別しつつ残りの画像をスキャンする。これらのデータを理学研究科附属天文台のデータサーバー上に画像データベース・メタデータデータベースを構築し公開する。また、活動領域の出現経度に特徴（活動経度）がないかを調査する。

#### 7. 引用文献

- 1) 小山ヒサ子, 太陽黒点観測報告 : 1947–1984, 河出書房新社, 1985.
- 2) SILSO (Sunspot Index and Long-term Solar Observations) Webページ：  
<https://wwwbis.sidc.be/silso/>

# ムラサキの脂質輸送機構を利用した 植物細胞における代謝産物の輸送エンジニアリング

## 1. 研究組織

代表者氏名：市野琢爾（神戸薬科大学 薬学部）

共同研究者：矢崎一史（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

我々人間は、天然に存在する生理活性物質を香料や医薬品原料、機能性成分として利用している。植物細胞を用いた代謝工学は、これらの有用成分を化石資源に頼らずに持続的に生産するための解決策となりうる。本研究では、代謝工学の新たなアプローチとして、植物細胞が生来備えている代謝産物の輸送能力の改変を試みる。多量の脂質を分泌している薬用植物ムラサキから単離した輸送因子を異種植物に導入することによって、細胞の輸送能力を改変し、生産・蓄積する代謝産物の量を制御できるかどうかを検証した。

## 4. 研究の背景と目的

地球環境に負荷をかけずに有用成分を生産することは、持続可能な社会の実現に向けた重要な課題の一つである。それ故、微生物や植物細胞をホストとした代謝工学は、化石燃料に依存しない物質生産法として近年益々注目を浴びている。これまでの代謝工学では、酵素機能や代謝経路といった代謝生合成の改変に焦点が当てられてきたが、細胞を使ったものづくりにおいては、生合成だけでなく、輸送や蓄積の細胞機能も肝要である。そこで、有用成分の高生産に向けた新たなアプローチの礎となるべく、植物細胞の輸送能力を自在に制御することを目標とした。

薬用植物ムラサキ (*Lithospermum erythrorhizon*) は、脂溶性の特化代謝産物シコニン類を細胞重量の 10%に及ぶ程多量に生産し、細胞外に分泌している。同時に、ムラサキの細胞は、中性脂質トリアシルグリセロールを細胞外に分泌する<sup>1)</sup>。本研究では、ムラサキが有する脂質の大量分泌能力を駆動している輸送装置が種の垣根を越えて植物細胞における代謝産物の輸送能力を強化できるのかどうかを検証する。具体的には、ムラサキにおいてシコニン分泌への関与が期待される輸送因子を同定し、タバコ (*Nicotiana tabacum*) にこれら輸送因子を導入することにより、代謝産物の分布に変化が生じるのかどうかを検証する。

## 5. 研究の結果および考察

ムラサキにおいて脂質分泌を担う輸送因子候補の探索を行った。まず、トランスクリプトーム解析とプロテオーム解析を行い、シコニンの生産条件下で発現が誘導される遺伝子及びタンパク質を選抜した<sup>2)</sup>。この中から、脂溶性代謝産物の主要な輸送経路である輸送体と小胞を介した分泌<sup>3)</sup>に着目し、候補遺伝子 16 個を単離した。発現解析と局在解析を行い、脂質分泌因子候補を 8 つに絞り込んだ。

次いで、タバコの形質転換を行った。これまでにムラサキ由来 8 遺伝子のそれを過剰発現する形質転換植物を作製した。タバコから分泌される代謝産物を調べるために、本葉をクロロホルム：メタノール = 2 : 1 溶液に 30 秒間浸することで表層脂質を抽出し、GC-MS により網羅的に定量した。その結果、輸送因子#3 あるいは#8 の導入により、アルカン類の細胞外蓄積量を相対的に増強させることに成功した。さらに、輸送因子#4 と#9 はタバコにおける主要な特化代謝産物であるニコチンの分泌量を増加させる傾向が認められた。

ニコチン分泌能への効果を裏付けるため、組織内外のニコチンの定量を進めている。これまでに野生型のタバコ植物体を栽培し、その本葉から上述の方法で細胞外に分泌されたニコチンと組織内のニコチンをそれぞれ抽出した。現在、LC-MS を用いた定量分析系を確立中である。

## 6. 今後の展開

確立した分析系を用いて、輸送遺伝子#4 と#9 の過剰発現タバコにおける組織内外のニコチンを定量し、これらの輸送因子が分泌能力を強化したのか、あるいは総生産量そのものを増加させたのか、その仕組みを追究する。

細胞ホストの物質生産系において、輸送に着目した代謝工学アプローチは、従前の生合成改変では成し得なかったブレイクスルーになる可能性を秘めている。

## 7. 引用文献

- 1) Tatsumi, K., Ichino, T., Isaka, N., Sugiyama, A., Moriyoshi, E., Okazaki, Y., Higashi, Y., Kajikawa, M., Tsuji, Y., Fukuzawa, H., Toyooka, K., Sato, M., Ichi, I., Shimomura, K., Ohta, H., Saito, K., Yazaki, K., Excretion of triacylglycerol as a matrix lipid facilitating apoplastic accumulation of a lipophilic metabolite shikonin, *J. Exp. Bot.*, **74** (1), 104–117 (2023).
- 2) Takanashi, K., Nakagawa, Y., Aburaya, S., Kaminade, K., Aoki, W., Saida-Munakata, Y., Sugiyama, A., Ueda, M., Yazaki, K., Comparative Proteomic Analysis of *Lithospermum erythrorhizon* Reveals Regulation of a Variety of Metabolic Enzymes Leading to Comprehensive Understanding of the Shikonin Biosynthetic Pathway, *Plant Cell Physiol.*, **60** (1), 19–28 (2019).
- 3) Ichino, T., Yazaki, K., Modes of secretion of plant lipophilic metabolites via ABCG transporter-dependent transport and vesicle-mediated trafficking, *Curr. Opin. Plant Biol.*, **66**, 102184 (2022).

# 木質材料創製のための前処理としての木材褐色腐朽の可能性

## Potential of brown rot fungi treatment for the creation of new wooden material

### 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：田鶴寿弥子（京都大学 生存圏研究所）

Shengcheng ZHAI（南京林業大学）

Yu-na KAN（南京林業大学）

### 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

木材腐朽菌の一種である褐色腐朽菌はセルロースを優先的に分解することが知られており、著しい化学成分の変化と構造の変化を伴う。本提案では、木質材料作製の前処理として褐色腐朽を利用する材料開発研究への展開を目指し、褐色腐朽菌による木材の組織・細胞壁構造および化学成分変化を詳細に解明する。

### 4. 研究の背景と目的

木質資源はその再生可能という性質から、現在の石油資源を代替できる大変魅力的で有望な資源であり、その利用をますます広める必要がある。建材や紙・パルプとして現在も利用されている成熟した技術・製品利用が今後も重要であることは疑いないが、一方で、木質資源の使い方をより一層広めていくためには、今までとは全く異なる設計思想による材料開発も重要である。

そこで新規の木質資源の利用方法として、褐色腐朽菌を前処理に採用した木材の新規利用方法について検討を行う。褐色腐朽菌は木材腐朽菌の一タイプであり、セルロースやヘミセルロースなど多糖を優先的に分解するため、腐朽の後期では木材中のリグニン含量は高くなる。Zhai 博士（南京林業大学・生存圏研究所 OG）は、この褐色腐朽を受けた高リグニン木材を液化し材料へと転換する処方を提案しているが<sup>1)</sup>、その材料物性安定化のためには腐朽の程度を制御する必要がある。そこで褐色腐朽菌による木材の微細構造および化学成分変化を詳細に分析し、木材の褐色腐朽を精密に解明する。

## 5. 研究の結果および考察

木材試料として、中国産マツ (*Pinus massoniana* Lamb) 及びトウヒ (*Picea* spp.) を用いた。これらの木材ブロックを所定の時間、代表的な褐色腐朽菌の一つである *Gloeophyllum trabeum* (キチリメンタケ) で処理を行った。異なる処理時間 (2~14 週間) の試料を準備し、以降の分析に供した。

重量損失や成分分析に加えて、SEM/AFM 観察、広角 X 線回折 (WAXD)、窒素吸着分析の結果、分解に伴う木材の変化は 8 週までは緩やかで、10 週から分解挙動が顕著になる様子が観察された（重量減少、ポアサイズの拡大、サブミクロンサイズの空隙の成長など)<sup>2)</sup>。またセルロースの構造変化については、最初の 4 週で重合度が大きく減少する、8 週まで結晶性は向上した後に一気に減少に転じるなど、特徴的な変化が観察された。前者の劣化初期における重合度低下現象はすでに報告がある<sup>3)</sup>。その原因としてエンドグルカナーゼ活性あるいは Fenton 反応が候補として考えられるが、結晶性の向上が見られたことから、前者がよりもっともらしいと考えられる。

この褐色腐朽による木材の変化をより詳細に分析するために、TEM 観察、FTIR 測定、NMR 測定、X 線光電子分光分析 (XPS)、熱重量測定分析 (TG)、小角 X 散乱測定 (SAXS) を行った。当日はこれらのデータをもとに、褐色腐朽のメカニズムに関する考察を行う予定である。

## 6. 今後の展開

初めに述べたように、本提案は木材腐朽という通常は忌避される現象を材料創製に生かすことを最終目的としている。しかしそのためにはいまだ分かっていないことが多い褐色腐朽のメカニズムを正しく理解することが重要だと考え、基礎研究として本研究を行った。今後は腐朽処理時間の異なる木材の液化処理との比較を行うことで、褐色腐朽による木材の構造変化のどのような点が液化に影響するのかを把握したい。

生物素材の循環において重要な役割を持つ木材腐朽菌を材料開発に活用することを目的とする本提案は、現在の生存圏の維持に資するのみならず、人類の生活圏を宇宙にまで拡大する上でも有望な手法の構築を目指すものであり、生存圏科学の重要課題に位置づけられるものである。

## 7. 引用文献

- 1) Zhai, S., et al. *Industrial Crops and Products*, **192**, 115982, 2023
- 2) Kan, Y. N., et al. *Industrial Crops and Products*, **208**, 117843, 2024
- 3) Kleman-Leyer, K., et al. *Applied & Environmental Microbiology*, **58**, 1266-1270, 1992

## 8. 付記

関連研究で論文発表を一件行った（上記引用文献 2）。

# 微細気泡の精密計測による基礎特性の解明

## Elucidation of Fundamental Characteristics through Precise Measurement of Ultra Fine Bubbles

### 1. 研究組織

代表者氏名：上田義勝（京都大学 生存圏研究所）  
 共同研究者：今井友也（京都大学 生存圏研究所）  
                  三谷友彦（京都大学 生存圏研究所）  
                  徳田陽明（滋賀大学 教育学部）  
                  谷垣 実（京都大学 複合原子力科学研究所）

### 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3：宇宙生存環境

### 3. 研究概要

サブミクロンスケールの微細気泡水の特性については、我々は独自に内部圧力計測<sup>1)</sup>のほか、水の誘電率や気泡帶電の変化など様々な計測を行ってきている。現在問題となっている点として、気泡の数密度分布などが計測機器により変化し、相対的な評価しか行えなかった点にある。本研究課題では、過去の課題をまとめつつ、新しい計測も行いながら絶対値としての数密度分布計測を目指す。

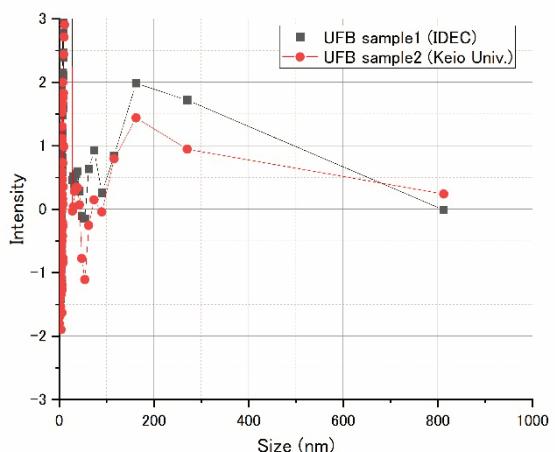
### 4. 研究の背景と目的

概要にて述べたとおり、ウルトラファインバブル（ナノバブル）などのサブミクロンスケールの微細気泡については、絶対精度での計測が現状行われていない状況にある。微細気泡の作用機序解明には、現状では様々な計測データを比較し、そこから統合的に気泡特性を確認していく必要がある。そのため、今年度においては、小角X線散乱(SAXS)を用いた水中の微細気泡計測の他、誘電率や計算機シミュレーションによる第一原理計算等を行い、気泡特性についての解析を行っていく。また、応用実験として微生物活性への影響についても確認しつつある。

### 5. 研究の結果および考察

計測の一例として、SAXSによる微細気泡の計測結果について図1に示す。計測したサンプルとしては、2種の微細気泡水を使っての計測を行っている。双方ともにサンプルは生成後に冷却輸送し、常温にて3日程度保管したものを、SPring-8に持ち込み計測を行った。気泡の数密度としては双方ともに $10^9$ 個/mLを示す高い気泡濃度サンプルを用いている。現時点では、強度が非常に弱いものの、200nm弱の気泡

径部分に若干のピークを観測できている事から、散乱による特性計測の可能性は示されている。その一方で、通常の微細気泡水は  $10^7$  個/mL から  $10^8$  個/mL 程度であるため、感度が弱くなってしまう事から、今後はより高い濃度の微細気泡水を用意して計測を行う必要もある。



## 6. 今後の展開

微細気泡の精密計測については、気泡濃度の調整が必要であり、校正のためのサンプル生成も非常に重要な研究課題の一つと考えている。一方で気泡濃度が高くない場合でも、内部圧力の計測の他、誘電率への影響もあり、また応用研究として微生物活性への影響（ミッション 5-1）も確認できている事から、気泡が水自体に与える影響についても計測評価する必要があると考えている。

## 7. 引用文献

- 1) M. Tanigaki, T. Yamakura, D. Hayashi, Y. Ueda, A. Taniguchi, Y. Ohkubo and Y. Tokuda, Direct Measurement of the Internal Pressure of Ultrafine Bubbles Using Radioactive Nuclei, Chemical Engineering and Technology, 10.1002/ceat.202300070, 2023/7/19

## 8. 付記

- 1) [招待講演]上田 義勝, ファインバブルの基礎と応用技術 および産業展開の最新動向 <オンラインセミナー> (2. ファインバブルの発生原理 3. ファインバブルを利用した応用研究事例), 日本テクノセンター オンラインセミナー, 2023 年 12 月 13 日
- 2) 上田 義勝, 微細気泡の帶電特性に関する報告, 2023 年度静電気学会九州支部・放電プラズマによる水処理研究委員会合同研究会 第 502 回生存圏シンポジウム (第 5 回プラズマ・ファインバブル研究会) 2023 年 12 月 8 日
- 3) [基調講演]上田 義勝, 德田 陽明, 杉山 晓史, 微細気泡の数密度と水の特性との相関解析, 混相流シンポジウム 2023, 2023 年 8 月 24 日

# 国内稠密 GNSS 受信機網データを用いた中規模伝搬性電離圏擾乱 およびその測位への影響に関する研究

Study of Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbance  
and Its Effects on GNSS Positioning Using Dense GNSS  
Receiver Networks in Japan

## 1. 研究組織

代表者氏名：大塚雄一（名古屋大学 宇宙地球環境研究所）

共同研究者：横山竜宏（京都大学 生存圏研究所）

山本 衛（京都大学 生存圏研究所）

Fu Weizhen（名古屋大学 宇宙地球環境研究所）

## 2. 関連ミッション

ミッション3：宇宙生存環境

ミッション5：高品位生存圏

## 3. 研究概要

日本国内において国土地理院とソフトバンク社が運用している多数の全球測位衛星システム(Global Navigation Satellite System; GNSS)受信機網のデータから電離圏全電子数を求め、トモグラフィーの手法により、E領域とF領域における電離圏電子密度変動を分離して取得することにより、電離圏電子密度変動の空間構造を明らかにし、その生成原因を調べる。また、GNSS測位に対する電子密度変動の影響を調べる。

## 4. 研究の背景と目的

GPSをはじめとするGNSSは、カーナビゲーションや携帯端末などで用いられ、広く一般に普及している。GNSS測位にとって、電離圏電子密度の変動は誤差の原因となるが、電離圏には、水平波長数百 km の中規模伝搬性電離圏擾乱(Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbance; MSTID)と呼ばれる電子密度の変動が伝搬する現象が発生する。近年の研究では、スカラディック E(Es)層と F 領域の間で電磁力学的な不安定が生じ、その不安定が夜間のMSTIDの原因であると考えられている。しかし、MSTIDの空間スケールに対応する数百 km の Es 層の水平構造を直接観測する手段がこれまで無かった。本研究では、稠密 GNSS 受信機網データで得られた複数 GNSS データから全電子数を観測し、トモグラフィーの手法により Es 層と F 層の電子密度変動を分離することにより、F 領域における MSTID の水平構造だけでなく、対応する Es 層の水平構造を明らかにし、MSTID 生成機構における Es 層-F 領域間結合について考察する。また、MSTID が測位に与える影響を調べる。

## 5. 研究の結果および考察

GNSS データから、衛星受信機間の電子密度の積分量である全電子数を算出することができる。多数の GNSS 受信機データを用いることにより、全電子数の水平二次元構造が明らかにされてきた。Fu et al. (2022)は、全電子数変動

が E 層と F 層の二層に存在すると仮定し、トモグラフィーの手法を用いてそれぞれの層における全電子数変動の水平分布を求める手法を開発した。本研究では、従来使われていた国土地理院 GEONET 観測網データに加え、ソフトバンク社が整備している受信機データを用いた。その結果、空間分解能を緯度経度で、E 層では  $0.15^\circ$  から  $0.1^\circ$ 、F 層では  $0.5^\circ$  から  $0.3^\circ$  に向上することに成功した。一例を図 1 に示す。MSTID による F 層全電子数の変動に加え、それに関連すると思われる E 層全電子数変動の水平構造も見ることができる(Fu et al. (2003)に発表済み)。

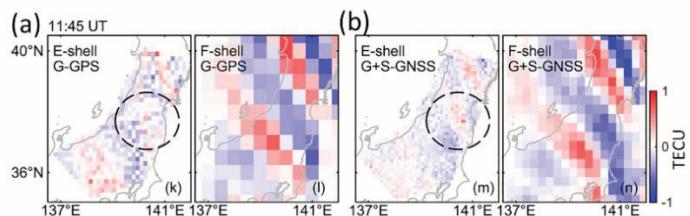


図 1: (a)国土地理院 GNSS 受信機網で得られた GPS データを用いて推定された E 層(左)と F 層(右)の全電子数変動。(b)ソフトバンク社の GNSS 受信機観測網で得られた複数 GNSS データを用いたもの(Fu et al. 2003)。

## 6. 今後の展開

十数 km 離れた位置にある GNSS 受信機データを用いキネマティック測位を行い、測位誤差を調べた。全電子数変動の振幅が 2~3TECU 程度の大きさをもち、南西方向に伝搬する MSTID が観測された 2022 年 7 月 3 日夜間に、50cm 以上の上下方向の測位誤差が観測された。今後、異なる方向に位置する受信を選んでキネマティック測位を行い、受信機の基線方向と MSTID の波面の関係が測位誤差に与える影響を明らかにする。

## 7. 引用文献

- 1) Fu, W., Yokoyama, T., Ssessanga, N., Yamamoto, M., & Liu, P., On using a double-thin-shell approach and TEC perturbation component to sound night-time mid-latitude E-F coupling. *Earth, Planets and Space* 74(1):1–17 (2022).

## 8. 付記

本研究による成果を以下の論文として発表した。

- 1) Fu, W., Y. Otsuka, A.ki Shinburi, Michi Nishioka & Septi Perwitasari, Performance of the double-thin-shell approach for studying nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances using two dense GNSS observation networks in Japan. *Earth Planets Space* 76, 7 (2024).

謝辞: 本研究で使用したソフトバンクの独自基準点の後処理解析用データは、「ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアム」の枠組みを通じてソフトバンク株式会社およびALES株式会社より提供を受けたものです。

## 高強度部材成形を目的とした高密度木材の流動成形性の検討

### 1. 研究組織

代表者氏名：梶川翔平（電気通信大学 大学院情報理工学研究科）

共同研究者：久保木孝（電気通信大学 大学院情報理工学研究科）

田中聰一（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

ウリンなどの高密度木材は、高い強度および耐腐朽性を持つ一方、高強度がゆえに、複雑な形状に加工することが難しい。本研究では、ウリンのような高密度木材の加工法として、流動成形を提案する。流動成形によって円筒容器を作製し、その際の成形性を調査した。供試材として気乾状態のウリンとスギを用いた。試験片のプレス方向は、纖維方向および半径方向とした。結果として、材料やプレス方向によって成形性が大きく変化した。ウリンの場合は、いずれのプレス方向においても流動変形が生じ、一様な密度を有する深底容器を成形することができた。スギの場合は流動変形が生じず、密度分布が一様な容器を成形することはできなかった。以上の結果より、気乾状態の材を流動成形する場合、ウリンのような高密度木材は、他の一般的な密度の木材に比べて高い成形性を有する可能性が示された。

### 4. 研究の背景と目的

熱帯雨林にて伐採されるウリンなどの高密度木材は、高い強度および耐腐朽性を持つため、材料として非常に優れている。一方、高い強度がゆえに、切削や曲げ加工などによって、複雑な形状に加工することが難しく、利用用途が建材などに限定されている。そこで、高密度木材の加工に流動成形を適用する。流動成形は、金型を用いて高い圧力を加えることによって、木材の細胞間を滑らせて大変形させる技術である<sup>1)</sup>。本研究では、ウリンの流動成形実験を行い、高強度な部品を成形するにあたって適正な加工条件を明らかにするとともに、建築部材などとして利用されることが多いスギと変形挙動を比較した。

### 5. 研究の結果および考察

後方押し出しによる容器の流動成形を試みた。供試材として、気乾状態のウリンおよびスギを用いた。図1および図2に、パンチの押込み量Sにともなう変形形状の

変化を示す。繊維方向にプレスすると、ウリンの場合は  $S=40\text{ mm}$  以降で流動変形が生じているものの、スギの場合は流動変形が生じず、中央部分が圧縮されるのみであった。半径方向にプレスした場合も、ウリンの場合のみ流動変形が生じ、スギの場合は側壁部が成形されなかった。ウリンから得られた成形品の密度分布を調査した結果、底部から側壁部にかけて密度は  $1.3\sim1.5\text{ g/cm}^3$  であり、密度がおおむね均一であることが確認された。以上の結果より、ウリンは優れた流動成形性を有することが示された。

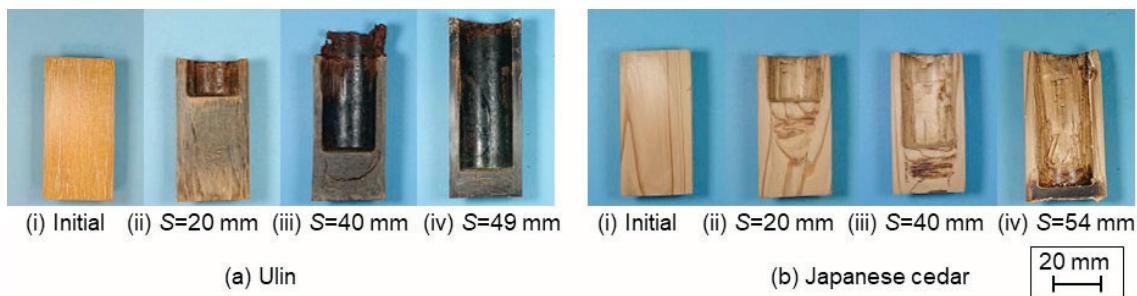


図 1：パンチの押込み量  $S$  にともなう形状の変化（繊維方向にプレス、温度  $180^\circ\text{C}$ ）

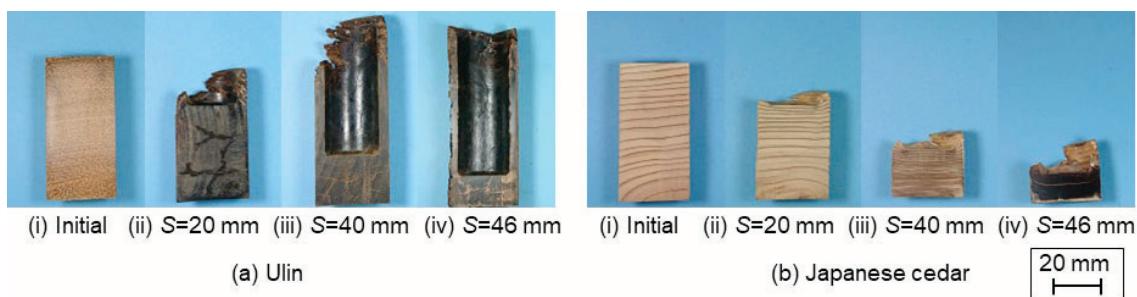


図 2：パンチの押込み量  $S$  にともなう形状の変化（半径方向にプレス、温度  $180^\circ\text{C}$ ）

## 6. 今後の展開

電子顕微鏡による観察や、材料の分析などを通じて、流動成形におけるウリンの変形メカニズムを明らかにする。さらに、より複雑かつ大型の部品の成形を試み、ウリンの加工に対する流動成形の有効性を検証する。

## 7. 引用文献

- 1) Miki, T., Sugimoto, H., Shigematsu, I., Kanayama, K., International Journal of Nanotechnology, 11, 509-519, 2014.

## 8. 付記

### 【学会発表】

- 1) 植嶋日奈子, 久保木孝, 梶川翔平, 第 74 回塑性加工連合講演会講演論文集, 69-70, 2023.

# ため池が温室効果ガス動態を通じて 地域の炭素循環に果たす役割の解明

## 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）

高橋けんし（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

瀬戸内の少雨地域には農業用ため池が多く存在し、藻類の光合成は二酸化炭素吸収に、嫌気的な底泥がメタン放出に寄与する可能性がある。しかし、これらのガス収支を実測した研究例はなく、放出量削減に向けた制御要因の解明が必要である。自然界の湖沼と比較して、ため池は生活圏に密接して存在し、人為的な要因によって水質、貯水量が変化しやすいという特徴がある。例えば、集水域の土地利用の違いが池に供給される栄養塩、炭素の量や質に影響し、その結果、二酸化炭素収支を左右すると考えられる。また、メタンは重要な温室効果ガスであるが、ため池底層では嫌気的環境が形成され、特に高温期には強力なメタン放出源となっていると考えられる。そして、人為的な水位調節は池内の嫌気的エリアを変化させ、メタン放出量に影響する可能性がある。

本研究では、兵庫県加古川市に位置する農業用ため池において、微気象学的手法である渦相関法を用いた池からの二酸化炭素、メタンガス交換量の観測を行った。併せて、ガス交換量の変動要因を探るために、気温、降水量、放射エネルギー量、気圧といった各種気象の観測、水温、溶存酸素濃度(DO)、水位といった池内環境の観測を行った。また、農地・森林をため池の水供給源とする特徴的な池を対象とし、栄養塩、溶存炭素、クロロフィルa(Chl-a)濃度について水質分析を行った。ため池での水質形成プロセスが池の栄養状態の変化や藻類の増減を通じてメタン、二酸化炭素ガス交換量に与える影響の解明に取り組んだ。

## 4. 研究の背景と目的

ため池は農業用水の供給源、希少生物の生息場所、雨水貯留による洪水被害の軽減、レクリエーションの場といった様々な生態系サービスが期待される。しかし、ため池における物質循環が炭素循環に果たす役割はこれまで注目されてこなかった。本研究の目的は、農業という人間活動によって造成される「ため池」が二酸化炭素

吸収源あるいは放出源、メタン放出源として地域の炭素循環に果たす役割を明らかにすることである。そこで、兵庫県加古川市に位置するため池(布池)からのメタン、二酸化炭素ガス交換量を観測するとともに、環境要因の観測と水質分析を行い、ガス交換量の制御要因の解明に取り組んだ。

## 5. 研究の結果および考察

観測期間を通じて布池からはメタン放出が観測され、夏に放出量が増加する季節変化を示した。池底層水温の上昇に応じて、指數関数的にメタン放出速度が増加したことから、池底での嫌気的環境下ではメタン生成菌によるメタン生成が起こっており、水温の上昇に応じてメタン生成菌による活動が活発になった結果であると考えられた。2023年夏の平均メタン放出速度は  $0.42 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  であり、水田からのメタン放出速度<sup>1)</sup>に匹敵する量であった。一方、藻類や植物プランクトン量の指標である Chl-a 濃度が増加する 6 月以降、表層水の DO は過飽和な状況が続いていたことから、底層で生成されたメタンの一部は、酸化的環境でメタン酸化菌により酸化された可能性が考えられた。また、Chl-a 濃度が増加する夏季に、二酸化炭素吸收が日中増加する傾向がみられ、藻類による光合成の影響が示唆された。森林に位置する池においては、水中の CO<sub>2</sub> 分圧は冬に大気レベルを上回っていたが、夏に大気レベルを下回ることがあり、光合成による二酸化炭素吸收が示唆された。

## 6. 今後の展開

本研究によって、主に農業排水が流入し、富栄養化状態といえるため池のメタン放出量とその制御要因が明らかになった。今後は、水質形成機構がため池の温室効果ガス交換量に与える影響をより詳細に解析することで、ため池からの温室効果ガス放出量を削減する効果的な方策について提言を行う。

## 7. 引用文献

- 1) Miyata, A., Carbon dioxide and methane fluxes from an intermittently flooded paddy field, *Agricultural and Forest Meteorology*, **102**, 287–303, 2000.

## 8. 付記

本課題に関連して、以下の学会発表が行われた。

- 1) 宮下直也、伊藤雅之、坂部綾香、山本彦 (2023) ため池の溶存炭素動態と二酸化炭素放出・吸収機構、日本陸水学会第 86 回大会、ポスター発表、大分県大分市、2023 年 10 月 13 日
- 2) 山本彦、坂部綾香、宮下直也、勝山正則、小杉綠子、伊藤雅之 (2023) 播磨地域のため池が流下する有機物と栄養塩に与える影響、日本陸水学会第 86 回大会、ポスター発表、大分県大分市、2023 年 10 月 13 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

## Development of water treatment system using plasma and fine bubble

### 1. 研究組織

代表者氏名：高橋克幸（岩手大学理 工学部 システム創成工学科）  
 共同研究者：上田義勝（京都大学 生存圏研究所）  
 渡邊崇人（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3：宇宙生存環境

### 3. 研究概要

本研究では、水中プラズマ方式の課題である、エネルギー効率の低さを解決する目的で、ファインバブルを液中に導入することによって、プラズマ生成に関わるエネルギーバランスの改善を試みた。ファインバブルを導入した場合、部分放電開始およびアーク放電にいたる電圧が著しく低下することがわかった。また、アルゴンを用いてファインバブルを発生した場合、空気を用いた場合と比較し絶縁破壊電圧が低下することがわかった。これらのことから、部分放電においては電極近傍に存在する気泡内において放電が発生していることが寄与するとともに、水中においても電離の促進により放電の進展を促進することがわかった。

### 4. 研究の背景と目的

水中の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広い領域で必要とされている。水中プラズマを用いた水処理方式は、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、種々の応用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および、菌の不活化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。高電圧パルスパワーを用いた水中プラズマの生成は、水に流れる導電電流により水が気化し電極近傍で微小気泡が生成されることが発端であるが、導電電流はラジカル生成に寄与せず効率低下の主要因となる。ファインバブルを導入した場合、導電電流による気泡生成が不要になるとともに、プラズマ形成に必要な絶縁破壊電圧が著しく低下するこ

とにより、ラジカルの生成効率が飛躍的に向上することが期待できる。本稿では、ファインバブルを液中に導入することによって、プラズマ生成に関わるエネルギーバランスの改善を可能とする、プラズマとファインバブルの複合方式を開発する目的で、ファインバブルが水中プラズマの形成に及ぼす影響の詳細を評価した。

## 5. 研究の結果および考察

針体平板電極を有するリアクタを用い、ファインバブルを用いた場合に水中プラズマの発生(絶縁破壊)促進の効果を評価した。印加電圧はブルームライン型 PFN を用い、パルス幅を  $4\mu\text{s}$  一定とした。ファインバブルの粒径は顕微鏡を用いた観測により、中央値が  $27\mu\text{m}$  であることがわかった。

図 1 に、空気もしくはアルゴンファインバブルの有無による、印加電圧と部分放電の確率の関係を示す。図より、ファインバブルの導入により、絶縁破壊電圧が著しく低下することがわかる。また、アルゴンを用いた場合に空気よりも絶縁破壊電圧が低下することがわかる。また、放電遅れ時間を評価したところ、ファインバブルの存在により、放電遅れが短縮されることがわかった。気相において、アルゴンは空気よりも絶縁破壊電圧が低い。これらのこと、水中放電の発生は、電極付近の気泡が水中放電の発生に寄与していると考えられる。

図 2 に、空気もしくはアルゴンファインバブルの有無による、印加電圧とアーク放電発生確率の関係を示す。図より、電極間距離が短いほどファインバブルの存在によりアーク開始電圧が低下することがわかる。このときの放電抵抗を評価したところ、ファインバブルを導入した場合抵抗値が低くなり、安定することがわかった。このことから、ファインバブルの導入によって、放電進展が促進されアーク形成が安定することが考えられる。

## 6. 今後の展開

今後は、ファインバブルを用いた場合のプラズマ生成機構のより詳細な検証や、液面放電とファインバブル水との関係性など及び、有機物の分解および微生物に与える影響(殺菌など)を十分に得られる条件を見いだす必要がある。

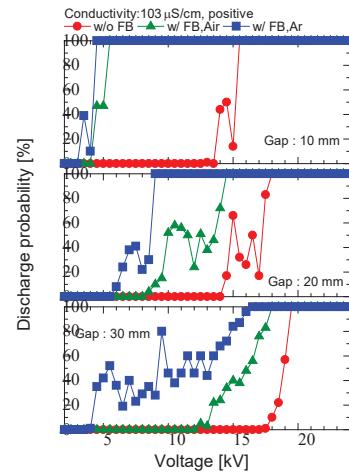


図 1 電圧と部分放電確率の関係

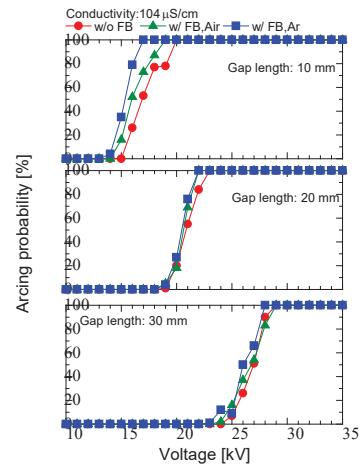


図 2 電圧とアーク放電確率の関係

# 木材の物性とマルチスケール時空間構造の関係解明に向けた SAXS 解析

## 1. 研究組織

代表者氏名：田中聰一（京都大学 生存圏研究所）

共同研究者：今井友也（京都大学 生存圏研究所）

神代圭輔（京都府立大学 大学院生命環境科学研究科）

村田功二（京都大学 大学院農学研究科）

## 2. 関連ミッション

ミッション3：宇宙生存環境

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

申請者らは、木材物性を時空間スケールで統一的に理解するための学問体系の確立を目指している。そのためには、木材の階層構造を同時に評価する手法の確立が不可欠である。本研究ではそのための手法として有望な SAXS (X 線小角散乱法) を用いて階層構造を評価し、基礎的知見として木材に変形を与えたときの階層構造変化について解析を行った。

## 4. 研究の背景と目的

木材の物性は、瞬時～長期に及ぶ時間スケールにおける理解（分子論的）とミクロ～マクロに及ぶ空間スケールの理解（解剖学的）がそれぞれ体系立てられているが、時空間スケールを統一的に理解するための学問体系は構築されていない。それには木材の階層構造の同時評価手法の確立が不可欠である。SAXS は合成高分子の構造解析とその物性の相關解析において長い歴史を持つが、木材では階層構造と入射 X 線の複雑な相互作用により散乱パターンの解釈が困難だった。近年、WoodSAS モデル<sup>1)</sup>による解析手法の進展に伴い、木材の階層構造（微細構造～組織構造）の同時評価の可能性が見出されつつある。一方、SAXS で評価した階層構造と木材物性の関係解明は十分に進んでいない。そこで本研究では、変形を与えたときの木材の階層構造について SAXS 解析を試みた。

## 5. 研究の結果および考察

木材に曲げ変形を付与し、圧縮側、中立軸、引張側の SAXS 像を取得する。そのために、変位増加に伴い中立軸が動かないように支点と力点を上下反転させた 3 点曲げ試験装置を自作し、曲げ変形を与えつつ、Spring-8 にて SAXS 測定を行った。

赤道方向の散乱強度を積分して、一次元 ( $q$ - $I$  プロット) 化した。試験片の R 方向への投影原子密度が得られ、S2 層のミクロフィブリルのマトリクス内配置を、放射壁、接線壁まとめて平均化した情報を得た。

WoodSAS モデルで  $q$ - $I$  プロットをフィッティングすることにより、微細構造（ミクロフィブリル径 ( $2R$ )、ミクロフィブリル間隔 ( $a$ )）、壁層構造（マトリクス中のミクロフィブリルからの散乱強度 ( $A$ )）、細胞構造（細胞内腔表面からの散乱強度 ( $C$ )）、未分別構造 ( $A, C$  以外の構造による散乱強度 ( $B$ )) と解釈しうる情報を得ることができる。

シンポジウムでは、WoodSAS モデルも用い、木材の変形挙動と微細構造の関係について報告予定である。

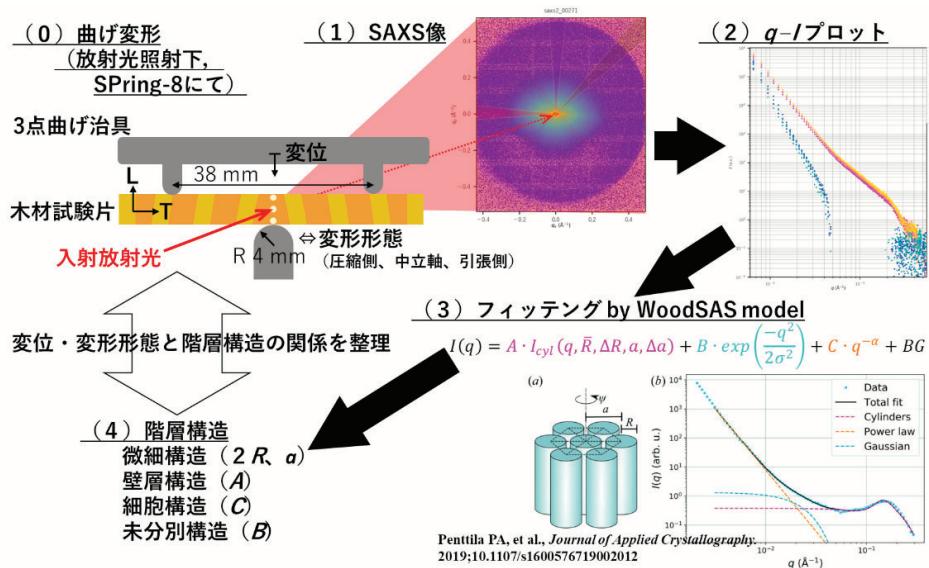


図 1 : SAXS 測定および解析方法

## 6. 今後の展開

木材物性の解剖学的理解（空間）と分子論的理理解（時間）を結びつけるため、今後は、高速時分割 SAXS 測定により、変形時または変形後の微細構造変化を高時間分解能で追跡する実験を計画している。それを通じて木材物性を時空間スケールで統一的に理解することを目指している。

## 7. 引用文献

- 1) Penttila PA, et al., Journal of Applied Crystallography. 2019;  
10.1107/s1600576719002012

## 8. 付記

- 1) 投稿準備中 3 本
- 2) 学会発表 3 件（日本木材加工技術協会第 41 回年次大会 2 件、第 74 回日本木材学会年次大会 1 件）

# 環境放射能の歩行サーベイにおける リアルタイム位置捕捉技術の開発

## Development of Real-Time Motion Tracking for Environmental Radioactivity Walking Surveys with KURAMA-II

### 1. 研究組織

代表者氏名：谷垣 実（京都大学 複合原子力科学研究所）  
 共同研究者：二瓶直登（福島大学 食農学類）  
 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

歩行サーベイによる環境放射能計測はGPSを用いた計測を行っているが、山間部などGPS電波が届かない場所では計測位置にずれが生じる。本申請では、フォトグラメトリ手法の他、AR(Augmented Reality, 拡張現実)手法によるリアルタイム位置捕捉を行う。これらの技術は、特に斜面などの傾斜値に於いて強力な計測手法となる。

### 4. 研究の背景と目的

2011年に発生した原発事故による福島県周辺の環境放射能汚染の経時的変化について、これまで生存圏研究所と福島大学、複合原子力科学研究所と共同で、歩行サーベイ(KURAMA-II, Kyoto University RAdiation MApping system-II)による環境放射能のリアルタイム測定を行ってきた。森林や山間部における歩行サーベイでは、GPSからの電波が届きにくく、計測位置がずれてしまう事が多い。また、山間部にはホットスポットと呼ばれる環境放射能が傾斜面にて集積している場所などがあり、傾斜状態の状況を確認できれば、新しい計測技術としても非常に有効な手法となる。

### 5. 研究結果と考察

我々はこれまでに3次元マッピングを行う事で、計測位置情報を計測してきている。昨年度用いた手法では、撮像データを一旦パソコンに取り込み、その後時間をかけて位置情報を検出していたため、リアルタイム計測手法としては欠点が多くかった。

今年度においては、環境放射能計測とリアルタイム位置捕捉技術の統合を目指している。その主要な取り組みとして、KURAMA-IIシステムによる放射能計測と、スマートフォンを活用したMotion Trackingによる位置情報の同時取得技術の開発が進行中である。現時点では、Googleが開発したARCoreプラットフォームを使用し、Visual Odometry技術を駆使してスマートフォンのカメラ位置と姿勢をリアルタイムで追跡する事を目標

としている。開発には Unity プラットフォームの構築が必須であり、この環境構築は複数の文献を参照しながら進めつつある。現在、Unity プロジェクトの開始時に発生するエラーの解決を行っている段階である。また、アプリ起動時のカメラ機能の暗転という問題に直面している。

現時点での開発方針について、詳細に紹介する。ARCore 拡張現実を実現するツールであり、直接位置検出をするためのものではない。そのため、位置捕捉を行う際には、ARCore がもつ、相対位置検出機能を利用する。その際、デバイスの動き（傾きや移動）をスマートフォン側のセンサから認識させる。また、カメラ画像を利用した平面検出や空間認識の技術を利用する事で、固定点（アンカーポイント）を設定する事で、絶対的な位置検出を行う事が可能になる。また、スマートフォンの GPS 検出機能も併用する事で、より精度の高い位置捕捉が可能となる（図参照）。

## 6. 付記

### ・学会発表

上田 義勝, 研究会とシンポジウムの 10 年間の講演の変遷, 福島県への支援取り組み及び放射線マッピング研究会 2023（第 510 回生存圏シンポジウム）, 2023 年 12 月 21 日

### ・出前授業

子どもの好奇心をくすぐる体験授業「出前・受入授業」, 東日本大震災に関する研究（福島県での復興支援研究）, 京丹波町立瑞穂中学校(中学 3 年生 19 人), 京都府, 2023/11/17

### ・自ら企画した研究集会

第 510 回生存圏シンポジウム 第 3 回 福島県への支援取り組み及び放射線マッピング研究会（第 13 回東日本大震災以降の福島県の現状及び支援の取り（第 13 回東日本大震災以降の福島県の現状及び支援の取り組みについて）, 2023/12/21-22

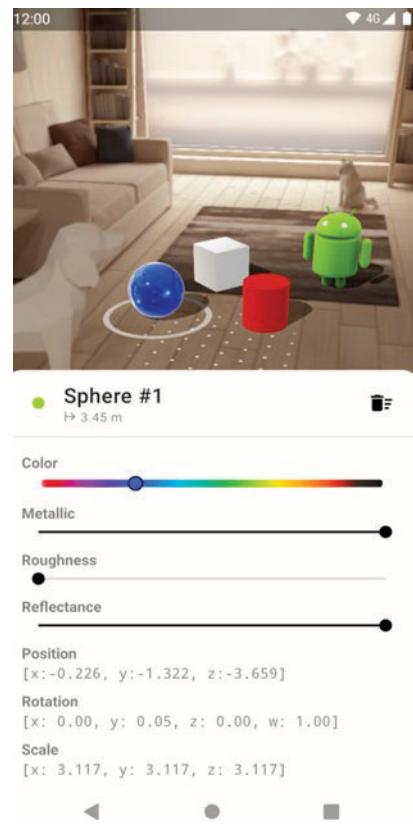


図: AR Toolbox による位置捕捉事例

<https://github.com/SimonMarquis/AR-Toolbox>

# 越境大気汚染によるイオウ酸化物の飛来が 森林土壤のイオウ蓄積量に与える影響の評価

## 1. 研究組織

代表者氏名：谷川東子（名古屋大学 生命農学研究科）

共同研究者：山下 満（兵庫県立工業技術センター）

杉山暁史（京都大学 生存圏研究所）

塩出晏弓（名古屋大学 生命農学研究科）

## 2. 関連ミッション

ミッション1：環境診断・循環機能制御

## 3. 研究概要

東アジアでは、大気汚染がもたらす生存圏への影響は、人類が生態系サービスを享受し続けられるか否かにかかわる重大な関心事である。大陸で発生した汚染物質は日本にも多量に飛来し、「越境大気汚染による年間イオウ負荷量への寄与率は、我が国では30~65%」と環境省は見積もっている。同省の酸性雨長期モニタリングにおいて「酸性化のリスクが高い地域」に指定されている加治川集水域では、陸水の質が盛んに報告されている。加治川集水域における越境大気汚染のイオウ負荷量への寄与率は48%にのぼり、冬季にイオウ負荷量が高くなるにもかかわらず、溪流水質の季節性は見当たらないことから、土壤におけるイオウ蓄積能が緩衝機構として働いていると推察されている。大量にイオウを蓄積した土壤は長期にわたり溪流水質を変化させ、また土壤の許容量を超えたイオウ負荷は「土壤からの有害なアルミニウムイオン放出」を誘発するため、越境大気汚染下の森林土壤におけるイオウ蓄積実態の解明は急務となっている。

本研究は、加治川集水域土壤のイオウ蓄積実態を解明することを目的とし、今年はまず、土壤3断面から計12層位（表層から基岩まで）の土壤試料を採取し、蛍光X線分析法によって全イオウ濃度を測定した。得られた値は日本の褐色森林土がもつ一般的な数値の範囲内であり、国内での大気汚染が深刻であった伊自良湖集水域の土壤とは異なる傾向が見られた。これは、加治川集水域ではイオウ流出が過多であること、伊自良湖集水域土壤が高いイオウ吸着能を持つことが主な原因として考えられる。越境大気汚染に対する森林土壤の反応を把握し、土壤からの硫酸イオン放出量を今後予測していくためには、加治川集水域土壤に含まれる硫酸イオンの吸着量や有機態イオウ化合物の分解作用に対する安定性を、評価していく必要がある。

#### 4. 研究の背景と目的

大陸で発生した大気汚染物質が飛来する「越境大気汚染」は、新潟・加治川集水域におけるイオウ負荷量の48%にのぼる。大量にイオウを蓄積した土壤は、長期にわたり溪流水質を変化させ、また土壤の許容量を超えたイオウ負荷は土壤からの有害なアルミニウムイオン放出を誘発する。本研究は、加治川集水域土壤のイオウ蓄積実態を解明することを目的とし、今回は土壤の全イオウ蓄積量を明らかにした。

#### 5. 研究の結果および考察

土壤3断面から採取した計12層位（表層から基岩まで）の土壤試料について蛍光X線分析法によって全イオウ濃度を測定し、Tanikawa et al. (2022)で調査された「国内最大級のイオウ負荷量を受けた伊自良湖集水域土壤」および谷川ら（2003）で調査された「特殊なイオウ負荷環境下にはない普通の森林土壤」の全イオウ濃度と比較した。加治川集水域土壤は、イオウ沈着量は多い地域であるが、土壤のイオウ蓄積量は伊自良湖土壤ほど高くなく、「特殊なイオウ負荷環境下にはない普通の森林土壤」と同程度であった。その原因は、加治川集水域ではイオウの流出量が多く、生態系に保持されるイオウが少ないためであると考えられる。このイオウの挙動の差異は、土壤の特性の違いにより生じると考えられ、今後、加治川集水域土壤において保持されているイオウの化学性と土壤特性との関係を解明する必要がある。

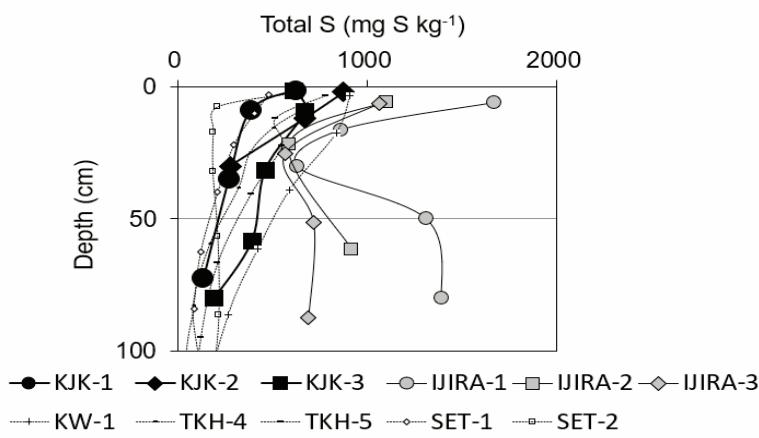


図1. 加治川集水域土壤の全イオウ濃度

黒、加治川集水域土壤；灰色、伊自良湖集水域土壤；その他、「特殊なイオウ負荷環境下にはない普通の森林土壤」

#### 6. 今後の展開

加治川集水域土壤の吸着態硫酸イオンの現存量や有機態イオウとしての安定性を評価することで、越境大気汚染によって供給されたイオウの土壤における可動性について解明する。

#### 7. 引用文献

- Tanikawa et al., Sulfur accumulation in soil in a forested watershed historically exposed to air pollution in central Japan. Geoderma, 407, 2022.  
 谷川東子・高橋正通・今矢明宏・稻垣善之・石塚和裕 (2003) アンディソルとインセプティソルにおける硫酸イオンの土壤断面分布と現存量 一吸着態および溶存態硫酸イオンについて一. 日本土壤肥料学雑誌, 74, 149-155.

# 細胞壁改変組換え植物で迫る リグノセルロース超分子構造の構築機構

## 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： 山本千莉（京都大学 生存圏研究所）  
                   今井友也（京都大学 生存圏研究所）  
                   梅澤俊明（京都大学 生存圏研究所）  
                   久住亮介（森林研究・整備機構 森林総合研究所）  
                   小林加代子（京都大学 農学研究科）  
                   Laura E. Bartley（ワシントン州立大学 生物化学研究所）

## 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

本研究は、木質細胞壁の機能及びバイオマスとしての利用性を含む諸物性の基盤となるリグノセルロース超分子構造の詳細解明を目的とする。リグニン組成やリグニン-多糖架橋構造を改変した種々の細胞壁改変組換え植物試料に対して固体NMRやX線を用いた種々の固体高次構造解析を行い、リグノセルロース超分子構造の詳細とそれに及ぼすリグニンやリグニン-多糖架橋構造の寄与を明らかにする。

## 4. 研究の背景と目的

木質細胞壁中で、多糖とリグニンは共有・非共有結合を介して複合化し、ナノスケールからマクロスケールのオーダーで高度に集積した階層的高次構造（リグノセルロース超分子構造）を形成している<sup>1,2)</sup>。そのようなリグノセルロース超分子構造の構築が細胞壁の機能発現の基盤であり、バイオマスとしての利用性を含む木質の特性の重要な決定因子として寄与していると考えられているが、その分子レベルでの理解は進んでいない。リグノセルロース超分子構造の詳細解明は、陸上植物の環境適応や進化と密接に関係する細胞壁の構造・機能の解明を目指す基礎研究のみならず、細胞壁を持つ続型社会構築に必須の循環型バイオマス資源として捉え、その利活用のイノベーションを図る応用研究においても重要である。研究代表者らは、種々の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、代謝工学的手法により、リグニンやリグニン-多糖架橋構造を様々なに改変した多数の組換え植物を得ている。本研究では、これ

ら細胞壁改変組換え植物から調製した細胞壁試料に対して固体 NMR や X 線を用いた種々の固体高次構造解析を行い、リグノセルロース超分子構造にリグニンの芳香核構造やリグニン-多糖架橋構造の変化が及ぼす効果を明らかにする。

## 5. 研究の結果および考察

リグニンの芳香核組成<sup>4-6)</sup> やフェルラ酸 (FA) を介したリグニン-ヘミセルロース架橋構造 (FA 架橋構造)<sup>7-8)</sup> を改変したイネ変異株及び組換え株の細胞壁の広角 X 線回折 (WAXD) 及び固体 <sup>13</sup>C-CP/MAS-NMR スペクトル解析による結晶構造解析を行ったところ、特に FA 架橋構造低減株においてセルロースの結晶性が顕著に低下することが分かった。さらに、固体 NMR によるスピ格子緩和時間 ( $T_1$ ) 測定に基づくリグノセルロース成分の分子運動性の評価を行ったところ、リグニン芳香核組成改変株では顕著な変化は見られなかった一方で、FA 架橋構造低減株ではセルロース成分の分子運動性が上昇する傾向が見られた。このことから、FA 架橋構造低減株では、細胞壁構造に緩みが生じていることがさらに支持された。また、SAXS によるナノ-メソスケールでのリグノセルロースの集合状態の解析を行ったところ、解析を行った多くのイネ株の細胞壁で顕著な散乱プロファイルの変化は見られなかった一方で、一部の FA 架橋構造量低減株において、セルロースミクロフィブリル (CMF) に由来する散乱ピークの不鮮明化が観察され、CMF の配向や分布に顕著な乱れが生じていることが示唆された。以上の解析結果から、リグニンや FA 架橋構造の量や構造の変化、特に FA 架橋構造の減少が細胞壁中のセルロースの結晶構造だけでなく、セルロースの分子運動性や CMF のパッキング構造に顕著に影響を及ぼすことが示唆された。

## 6. 今後の展開

木質細胞壁の機能及びバイオマスとしての利用性を含む諸物性の発現機構の分子レベルでの理解を目指し、今後、細胞壁改変組換え植物を用いたリグノセルロース超分子構造のさらなる解析を進めるとともに、バイオマス利用特性との相関についても解析を進める予定である。

## 7. 引用文献

- 1) Kang et al. *Nat. Commun.* 10:347 (2019); 2) Martin et al. *Plant Physiol.* 191:70 (2023); 3) 山本ら、第73回日本木材学会大会 (2023); 4) Takeda et al., *Plant J.*, 97:543 (2019); 5) Takeda et al., *Planta* 246:337 (2017); 6) Takeda et al. *Plant J.* 95:796 (2018); 7) Afifi et al. *Plant Physiol.* 190:2155 (2022); 8) 山本ら、第72回日本木材学会大会 (2022); 9) Horiyama et al. *J. Wood Sci.* 68:52 (2022).

## 8. 付記

- 1) 山本ら、細胞壁改変イネのリグノセルロース超分子構造の比較解析、第 74 回日本木材学会大会、2024 年 3 月（発表予定）

# 紫外線計測データと外出記録に基づく新生児の紫外線照射量と 体内ビタミンD濃度との関係に関する研究

## 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）

坂本優子（順天堂大学 医学部附属練馬病院）

本田由佳（慶應義塾大学 政策・メディア研究科）

## 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た。本研究ではさらに研究を進め、妊婦から生まれてきた赤ちゃんについて、同様の日光照射時間と血中VD量との関係を調べるとともに、お母さんのVD栄養状態との関係も調べ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., 2020)<sup>1)</sup>。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)<sup>2)</sup>。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、採血前の外出アンケート結果をもとに、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量との関係を調べて論文に発表した(Nakajima et al., 2023)<sup>3)</sup>。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。本研究ではその研究をさらに発展させるために、妊婦から生まれてきた新生児に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、妊婦と新生児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。

## 5. 研究の結果および考察

今回の研究では、順天堂大学練馬病院を受診した妊婦さんから生まれた、出産後6ヶ月の赤ちゃん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った。アンケート結果とともに、直前2週間の外出履歴と日光照射時間を推定し、実際にその日の直近2週間前までの近傍の観測点における紫外線強度観測データから、対象者の体内で産出されたと想定されるVD量を計算した。これと、血液検査から求められた実際の体内VD量の相関を解析した。このことにより、計算によるVD生成量と実際の体内VD量の間に、どのような関係があるのかを解析した。さらに、食事によるVD摂取量もアンケート調査によって推定し、食事と日光のどちらからより効率的にVDを摂取できているかを推定した。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。本研究によって、その結果がある程度正しかったという事が証明された。

## 6. 今後の展開

以前の研究によって、最近の妊婦の間には幅広くVD欠乏状態が広がっていることが明らかとなった。また妊婦の多くは推奨量以上のVDを、食事や日光照射によって取り込んでいると推定されているにも関わらず、血中VD濃度は全季節を通して欠乏状態であることが判明した。さらに本研究によって、日本の新生児も慢性的にVD欠乏状態にあることが判明した。今後は今回得られた結果を幅広く世の中に周知していくことで、国民の特に若年女性や赤ちゃんの間で広がっているVD欠乏状態を改善し、骨の健康にとってより好ましい生活を進めていくことが求められている。

## 7. 引用文献

- 1) Tsugawa, N., A. Kuwabara, H. Ogasawara, M. Nishino, K. Nakagawa, M. Kamao, H. Hasegawa, and K. Tanaka, Vitamin D status in Japanese young women in 2016-2017 and 2020: Seasonal variation and the effect of lifestyle including changes caused by the COVID-19 pandemic, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **68**, 172-180, 2022.
- 2) 中島英彰、「(総説) 日光によるビタミンDの生成」, ビタミン, **94**, 469-491, 2020.
- 3) 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.

# DNA ナノ構造体を足場とした人工コンパートメントの創製

## 1. 研究組織

代表者氏名：中田栄司（京都大学 エネルギー理工学研究所）  
 共同研究者：森井 孝（京都大学 エネルギー理工学研究所）  
     今井友也（京都大学 生存圏研究所）  
     Zhang Shiwei（京都大学 エネルギー理工学研究所）  
     Lin Peng（京都大学 エネルギー理工学研究所）

## 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

細胞内で特定の代謝経路に関与する酵素群は、ある区画（コンパートメント）で空間的に密接したような複合体を形成して、多段階反応を効率よく進行させることができている。このようなコンパートメントを人為的に作成して高効率な代謝反応を実現する人工コンパートメントを構築する。

## 4. 研究の背景と目的

生体内で見られるような高効率な多段階代謝反応を、試験管内でも高効率に進行させるためのシステム構築を目指す。DNA ナノ構造体<sup>1)</sup>を足場とし、我々が開発した DNA ナノ構造体へのタンパク質配置技術「モジュール型アダプター」<sup>2)</sup>を用いることで、分子数を制御して配置することが可能である。この技術を用いて、どのようなパラメータに注目してシステムを構築すれば良いかの基礎的知見を得て、持続可能社会での環境負荷の少ない物質生産システムとして活用する。

## 5. 研究の結果および考察

リポソームによって内包する 3 次元の DNA ナノ構造体を DNA オリガミ法<sup>1)</sup>で構築した(図 1, sample 1)<sup>3)</sup>。その構造を原子間力顕微鏡(AFM)、透過電子顕微鏡 (TEM)、ゲル電気泳動によって評価し、期待通りの構造体が構築できていることを確認した。次に内外を区画化するために DNA ナノ構造体をリポソームで内包した(図 1, sample 2)。DNA ナノ構造体を内包したリポソームを密度勾配超遠心によって単離精製後、その構造を TEM、ゲル電気泳動によって評価し、期待通り DNA ナノ構造体を内包したリポソーム(コンパートメント)の構築を確認した。さらに、コンパートメント内外の物質輸送を実現するために、トランスポーターの一種である OmpF をリポソームに挿入した。OmpF が挿入されたコンパートメント(図 1, sample 3)の構造も TEM およびゲル電気泳動によって確認した。OmpF を挿入したコンパートメントの機能評価は、pH 感受性の

蛍光色素およびpH不感受性の蛍光色素で標識したDNAナノ構造体を用いて、DNAナノ構造体のみ、リポソームで内包されたDNAナノ構造体、およびOmpFを挿入したDNAナノ構造体内包リポソームに対して、外部のpHを変化させ、リポソーム内部に存在する蛍光標識DNAナノ構造体のpH応答でおこなった。その結果、DNAナノ構造体はリポソームによって完全に内外を隔離できており、OmpFを介してのみ内部のpH変化が誘起されることを確認した。さらには、分子量サイズの異なるインターラーカーがOmpFの分子量分画に従って選択的に内部に送達されることを確認した。このことから、本手法により、効率よくDNAナノ構造体を内包したコンパートメントが構築できることが明らかとなった<sup>4)</sup>。

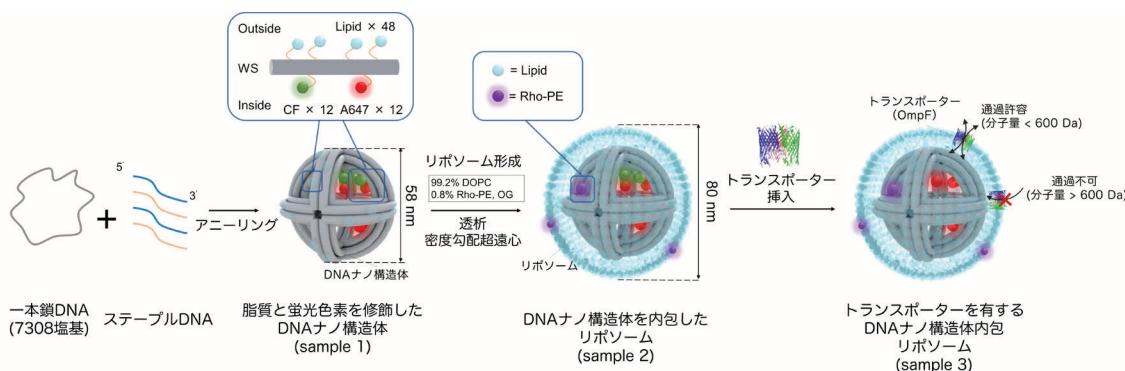


図1. トランスポーターを搭載したDNAナノ構造体内包リポソームの調製

## 6. 今後の展開

DNAナノ構造体上に代謝酵素をモジュール型アダプター<sup>2)</sup>を介して高効率に配置し、コンパートメント化の有無およびOmpFの有無により、その代謝反応の効率がどのように変化するかを比較評価することで、コンパートメント化が代謝反応効率に及ぼす影響について定量的に評価する。

## 7. 引用文献

- 1) Rothemunds, P.W.K. Folding DNA to create nanoscale shapes and patterns, *Nature* **440**, 297-302, 2006.
- 2) Ngo, T. A., et al., Protein adaptors assemble functional proteins on DNA scaffolds, *Chem. Commun.* **55**, 12428-12446, 2019.
- 3) Perrault, S. D., Shih, W. M. Virus-Inspired membrane encapsulation of DNA nanostructures to achieve *in vivo* stability, *ACS Nano* **8**, 5132–5140, 2014.
- 4) Zhang, S., Nakata, E., Lin, P., Morii, T. An Artificial Liposome Compartment with Size Exclusion Molecular Transport. *Chem. Eur. J.* e202302093, 2023.

## 8. 付記

[学会発表] Zhang S, Nakata E, Lin P, Morii T. Artificial Liposome Compartment with DNA Origami Scaffold for Size Exclusion Molecular Transport, The 50 th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry, Miyazaki, Japan, November 1–3, 2023.

## ダイズのセシウム蓄積に関わる候補遺伝子の探索

### 1. 研究組織

代表者氏名：二瓶直登（福島大学 食農学類）

共同研究者：杉山暁史（京都大学 生存圏研究所）

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

2011年東京電力福島第一原発事故により放射性セシウム(RCs)が生存圏に放出し、農地に降下したRCsは外部被ばくだけでなく作物を通じて内部被ばくの恐れがある。これまでに、カリウム(K)欠乏時に発現する輸送体がCs吸収に関わっていることを報告した。本研究ではK欠乏でない栽培でのCs輸送に関わる遺伝子を探索してCsを吸収しにくいダイズ産出を目的とした。世界、日本の主要な318品種・系統を通常栽培で2年間栽培し、葉と子実の $^{133}\text{Cs}$ 濃度結果をもとにGWAS解析を実施した。の解析結果であるマンハッタンプロットの2ヶ年を比較し、両年とも $-\log_{10}(p)$ が3より高いQTLを探した。その結果、葉でChr3の $0.12 \times 10^7$ 付近、Chr8の $1.22 \times 10^7$ 付近、子実ではChr12の $0.68 \times 10^7$ 付近、Chr16の $0.70 \times 10^7$ 付近で2ヶ年とも高かった。soybase等のデータベースを利用して各QTL近辺の遺伝子を探索したが、イオン輸送等に関わる遺伝子は存在してなく、Cs輸送に関わる遺伝子を特定できなかった。

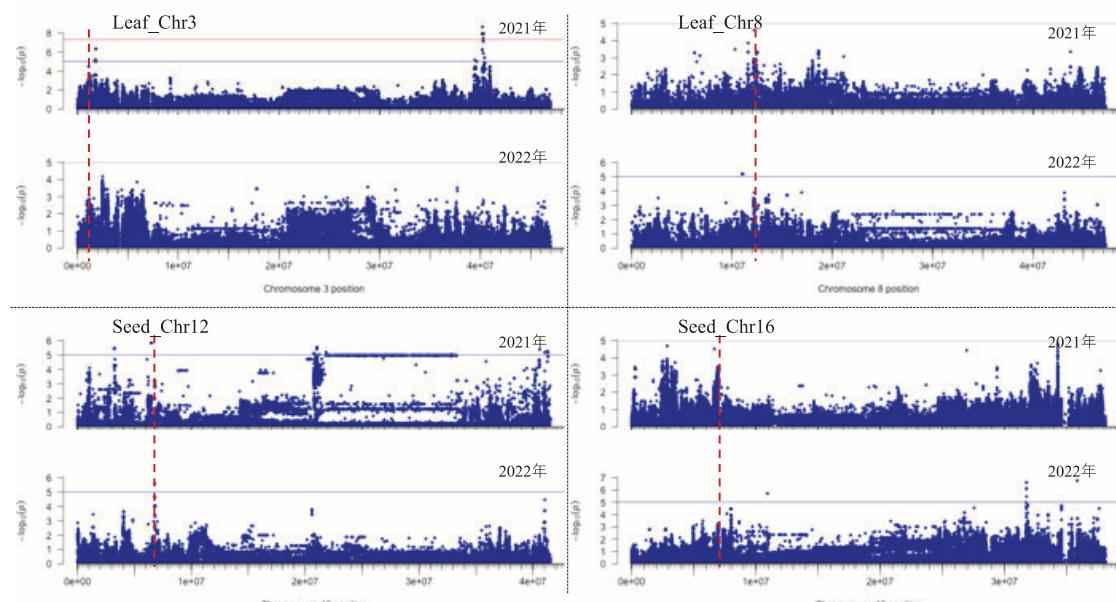


図1 葉（上段）と子実（下段）の $^{133}\text{Cs}$ 濃度によるGWAS解析で2ヶ年とも高い値を示すQTL領域

#### 4. 研究の背景と目的

申請者はこれまでに、他作物と比較して Cs 濃度が高い傾向にあるダイズの Cs 吸収メカニズムを明らかにするため、共同研究者（杉山, 上田）と共にカリウム輸送体の関与を明らかにした。しかし、K 輸送体以外の分子メカニズムの関与が想定されるため、外国および日本で栽培される主要な 318 品種・系統を測定し、ゲノムワイド関連解析(GWAS)を実施した。本年度は、2 年間の GWAS 解析結果を比較し、両年とも共通に高い QTL 領域について、アミノ酸変異や既知情報による遺伝子の働きなどから Cs 輸送に関連する候補遺伝子を絞りこむ。

#### 5. 研究の結果および考察

世界、日本の主要な 318 品種・系統を通常栽培で 2 年間栽培し、葉と子実の  $^{133}\text{Cs}$  濃度結果をもとに GWAS 解析を実施した。の解析結果であるマンハッタンプロットの 2 ケ年を比較し、両年とも  $-\log_{10}(p)$  が 3 より高い QTL を探した。その結果、葉で Chr3 の  $0.12 \times 10^7$  付近、Chr8 の  $1.22 \times 10^7$  付近、子実では Chr12 の  $0.68 \times 10^7$  付近、Chr16 の  $0.70 \times 10^7$  付近で 2 ケ年とも高かった。soybase 等のデータベースを利用して各 QTL 近辺の遺伝子を探索したが、イオン輸送等に関わる遺伝子は存在してなく、Cs 輸送に関わる遺伝子を特定できなかった。

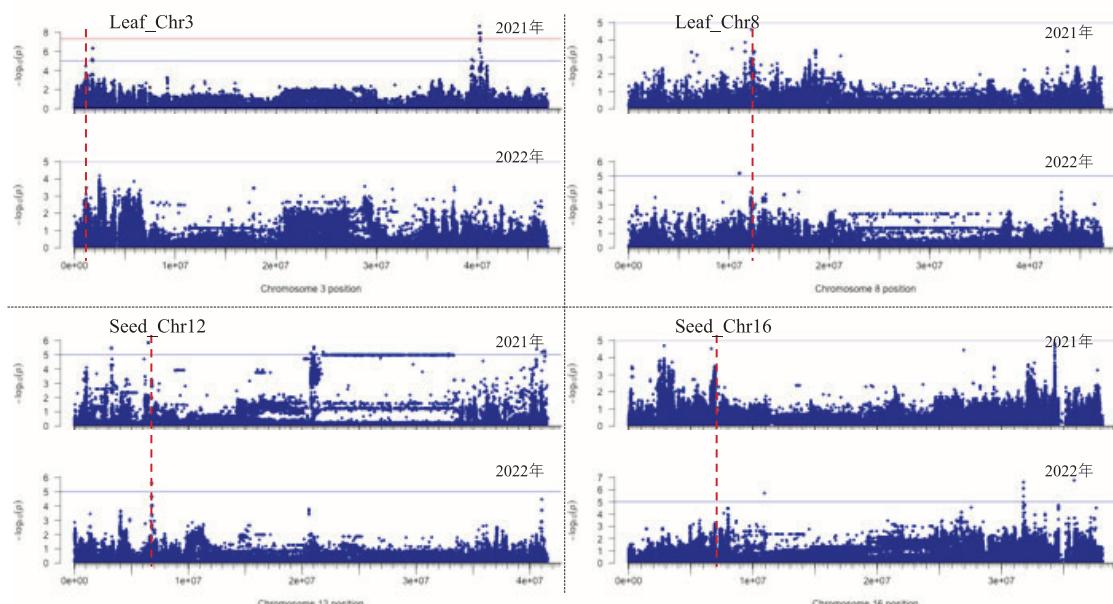


図 2 葉と子実の  $^{133}\text{Cs}$  濃度による GWAS 解析で 2 ケ年とも高い値を示す QTL 領域

#### 6. 今後の展開

葉と子実の比についても GWAS 解析を行い、子実への Cs 蓄積（転流）に関わる候補遺伝子の探索をし、Cs を蓄積しにくいダイズ開発を行う。

#### 7. 引用文献

Nihei, N. *Agricultural Implications of Fukushima Nuclear Accident (IV)*, 9-15 ,2023

#### 8. 付記

2023 年度日本土壤肥料学会にて発表

# 2022年1月のフンガ・トンガ=フンガ・ハアパイ火山噴火に伴う成層圏気候変動の研究

## 1. 研究組織

代表者氏名：藤原正智（北海道大学 大学院地球環境科学研究院）  
 共同研究者：酒井 哲（気象庁気象研究所）  
                  白石浩一（福岡大学 理学部）  
                  秋吉英治（国立環境研究所）  
                  高橋けんし（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

2022年1月に起きたフンガ・トンガ=フンガ・ハアパイ海底火山（南太平洋、トンガ、 $20.5^{\circ}\text{S}$ ）の噴火後の2年間について、地上・衛星観測データ、複数の全球大気再解析データ（JRA-3Q, JRA-55, ERA5, MERRA-2）を解析するとともに、化学気候モデルを用いた数値実験をおこなうことにより、成層圏の気候とオゾン層が受けた影響を明らかにする。

## 4. 研究の背景と目的

熱帯における大規模な火山噴火は成層圏の硫酸エアロゾル粒子を激増させ、熱帯成層圏を昇温し、オゾン層を破壊し、地表気温を低下させることが知られている。20世紀後半で最大規模の噴火は1991年のフィリピン・ピナトゥボ火山噴火であった。昨年2022年1月に起きたフンガ・トンガ=フンガ・ハアパイ海底火山（南太平洋、トンガ、 $20.5^{\circ}\text{S}$ ）の大噴火では、成層圏のエアロゾル増大量はピナトゥボ噴火の40分の1程度であったものの、成層圏に多量の水蒸気を注入した（全球成層圏水蒸気量10%程度）という点で観測史上前代未聞の事象となった<sup>1)</sup>。成層圏に注入された水蒸気は硫酸エアロゾル粒子とは逆の効果、すなわち成層圏を低温化し地表気温を上昇させる可能性がある。本研究では、噴火後の2年間について、地上・衛星観測データ、複数の全球大気再解析データ（JRA-3Q<sup>2)</sup>, JRA-55<sup>3)</sup>, ERA5<sup>4)</sup>, MERRA-2<sup>5)</sup>）を解析するとともに、化学気候モデルを用いた数値実験をおこなうことにより、成層圏の気候とオゾン層が受けた影響を明らかにする。

## 5. 研究の結果および考察

今年度は4つの全球再解析データについて、非断熱加熱率（短波放射、長波放射、他を合わせたすべて）とオゾン混合比データを取得し、月平均東西平均データセッ

トを作成した。また、気温を含めて他の力学・熱力学変数の月平均東西平均データセットについては、再解析比較データセット（RID<sup>6)</sup>）より取得した。その上で、気温、オゾン、残差子午面循環図の南北成分と鉛直成分などの変数それぞれについて、1991年～2020年の30年間の気候値からの偏差を求めた。

4つの再解析すべてにおいて、フンガ・トンガ噴火の影響は2022年の一年間に限られていたようであることが分かった。気温については、20 hPaを中心として10 hPa～30 hPaの範囲において、南緯30度付近から南緯60度付近にかけて、4 Kを超える低温化のシグナルが共通に見られた。オゾンについては、30 hPa付近において、やはり南緯30度付近から南緯60度付近にかけて、0.4 ppmv程度の低濃度化のシグナルが共通に見られた。残差子午面循環については、噴火とともに顕著なシグナルは見られなかった。ただし、赤道準二年振動やエルニーニョ南方振動に伴う変動を引き去ることで、有意なシグナルが見える可能性があり、今後の課題である。

化学気候モデルを用いた数値実験については、実験設定を決める定期的な国際オンライン会議に参加すると同時に、MIROC3.2 化学気候モデルを用いて成層圏エアロゾル注入によるジオエンジニアリングを念頭に置いた数値実験を行うことにより、フンガ・トンガ火山噴火影響シミュレーションの準備を進めた。

## 6. 今後の展開

本研究結果は最終的に、国際誌上にて発表するとともに、2つの国際的な評価報告書（2025年出版予定の WCRP/SPARC Hunga-Tonga Stratospheric Impacts Activityによる報告書、および2026年版の WMO/UNEP Ozone Assessment Report）への日本からの貢献となる<sup>7)</sup>。

## 7. 引用文献

- 1) Fleming, E. L., et al.: Stratospheric temperature and ozone impacts of the Hunga Tonga-Hunga Ha'apai water vapor injection. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 129, e2023JD039298, 2024.
- 2) Kosaka, Y., et al.: The JRA-3Q Reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, 102, 49–109, 2024.
- 3) Kobayashi, S., et al.: The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, 93, 5-48, 2015.
- 4) Hersbach, H., et al.: The ERA5 global reanalysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 146, 1999-2049, 2020.
- 5) Gelaro, R., et al.: The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2). *J. Climate*, 30, 5419-5454, 2017.
- 6) Martineau, P.: Reanalysis Intercomparison Dataset (RID), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <https://www.jamstec.go.jp/RID/thredds/catalog/catalog.html>, 2022. (last access: 30 January 2024)
- 7) Zhu, Y., et al.: Announcement of a new SPARC Hunga-Tonga stratospheric impacts activity, *SPARC Newsletter*, 60, 10-11, 2023.

## 微生物と物理化学的な前処理を組み合わせた 廃プラスチック類の分解

### 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
- ミッション5：高品位生存圏

### 3. 研究概要

海洋を始め環境中の廃プラスチック問題が深刻化している。我々はこの問題を解決するため、「生分解の主役となる微生物の分解能をどうすれば向上させることができるのか？」という「分解する側」と「廃プラスチック類をどうすれば生分解されやすくなるのか？」という「分解される側」の両方に焦点を当てることが重要と考えている。研究代表者は、これまでにビフェニル/PCB 分解細菌を含め、数多くの環境汚染物質分解細菌の遺伝・生化学的研究及びゲノム解析を行ってきた。本研究では、これらの分解細菌が廃プラスチック類の分解にも利用できるかどうかに注目した。まず、既に得られているゲノム情報により、プラスチック類やそれらの原料の分解に関与すると推定される酵素遺伝子を探査した。その内、候補となる分解酵素遺伝子の一部について単離及び異種発現を試みた。一方、微生物の分解促進のためにプラスチック類の物理化学的な処理（前処理）にも注目し、今回細かく裁断したペットボトル（PET 片）に対して様々なプラズマ処理を行い、処理した PET 片に対して微生物による資化性等に変化があるのかどうかを検討した。

### 4. 研究の背景と目的

環境中に廃棄されたプラスチック類が深刻な環境汚染を引き起こしている。特に、大きさが直径 5 mm 以下のマイクロプラスチックは、目には見えない（見えにくい）ため、魚や海洋動物だけではなく、食物連鎖を通じてヒトの体内にも蓄積することから、単に環境汚染やゴミの問題ではなく、ヒトの健康にも悪影響があると指摘されている。これらの原因の一つは、プラスチック類が生分解（主に微生物によって分解）されにくいためにある。従って、本研究では、微生物を用いた環境低負荷なプラスチック類の分解法の開発を目指す。特に、生分解の主役である微生物の育種や分解酵素の機能改変という「分解する側」の研究アプローチだけではなく、物理化

学的な処理により廃プラスチック類の物性を変化させるという「分解される側」の研究アプローチも実施する。これらを組み合わせることで微生物分解の加速化の可能性を探ることを目的とする。

## 5. 研究の結果および考察

ビフェニル/ポリ塩化ビフェニル (PCB) 分解細菌の内, *Rhodococcus wratislaviensis* T301 株においては、最小無機塩培地に裁断したペットボトル（以後 PET 片と表記）を唯一の炭素源として加えると生育することを発見した。そこで、T301 株のゲノム情報を精査したが、国内外で注目されているポリエチレンテレフタレート (PET) 分解酵素の PETase やクチナーゼ等<sup>1)</sup>と相同な酵素遺伝子は見つからなかった。しかしながら、最近、木材腐朽菌が低密度ポリエチレン (LDPE) を分解する報告等があり<sup>2)</sup>、その分解に関与するリグニン分解酵素が T301 株にも存在するかどうかを調べた。その結果、複数の色素脱色型ペルオキシダーゼ遺伝子をゲノム上に保持していたことから、(ポリ) エステラーゼ系酵素ではなく、リグニン分解酵素系の酸化型酵素による分解の関与が示唆された。そこで、これらの遺伝子を単離し、*Rhodococcus* 属細菌の宿主ベクター系で異種発現及び発現酵素の精製に成功した。

一方、プラスチックが表面侵食 (surface erosion) によって分解されると指摘されていることから、プラスチックの表面処理として様々なプラズマ処理法を用いて PET 片を処理し、プラズマ処理した PET 片を唯一の炭素源として用いて T301 株を培養した。その結果、未処理の PET 片を用いた場合と比較して、特に、アーク放電処理した PET 片において生育が最大で約 3 倍向上した。これらの結果は、プラズマ処理によって PET 片の物性変化 (表面改質等) により、微生物や酵素の付着性 (アクセスのし易さ) が高まったと考えられ、前処理の重要性が示唆された。

## 6. 今後の展開

今後、T301 株の色素脱色型ペルオキシダーゼが PET 片を含め様々なプラスチックを酸化分解するかどうかを確認したい。また、プラスチックの物性を変えるためにプラズマを始め、マイクロ波やファインバブルによる物理化学的なプラスチックの前処理法の最適化を行い、微生物分解の加速化に繋げたい。

## 7. 引用文献

- 1) 河合富佐子, 織田昌幸, ポリエチレンテレフタレート (PET) 分解酵素の特性とプラスチックリサイクルへの展望, バイオサイエンスとインダストリー, 77, 360-363, 2019.
- 2) Perera, P., Herath, H., Paranagama, P. A., Wijesinghe, P, Attanayake, R. N., Wood decay fungi show enhanced biodeterioration of low-density polyethylene in the absence of wood in culture media, *PLoS One*, 18(7):e0288133, 2023: doi: 10.1371/journal.pone.0288133.

## 網羅解析による木造建築の耐震性能に与える 生物劣化の影響の見える化

### 1. 研究組織

代表者氏名：井上 涼（現職：熊本大学 大学院先端科学研究所）

共同研究者：中川貴文（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

木造住宅は腐朽や蟻害といった生物劣化の影響を受けることによって耐震性能が低下する。住宅ストックの有効活用のためには残存耐震性能を把握し、状態に応じて適切な補修を施す必要があるが、耐震診断の際に生物劣化がみられた木造住宅の残存性能を詳細に把握する手法は定まっていない。

本研究の目的は、生物劣化の箇所や劣化度合い、劣化内容などの違いが木造住宅の耐震性能に与える影響を明らかとすることである。生物劣化を受けた構造要素の実験結果を反映した網羅解析の結果を分析することにより、劣化内容に応じた詳細な評価が可能となること、さらに耐震診断やその後の耐震補強における指針の作成に寄与するデータの作成を目指している。

### 4. 研究の背景と目的

既存住宅を長期利用するためには、残存耐震性能を適切に評価し、状況に応じた適切な耐震補強・補修を施す必要がある。木造住宅は腐朽や蟻害といった生物劣化を受けることによって耐震性能が低下するが、そのような木造住宅の残存性能を詳細に評価する手法は定まっていない。

現在の残存耐震性能評価は、劣化が疑われる部分にドライバーを直接突き刺し、その刺さり具合によって劣化度を判断するなど、診断者の感覚に頼る部分が多い。さらに、現状の耐震診断における耐力壁の劣化に関わる低減係数は、接合部の強度性能値を低下させた解析結果を基に定められており、実験的な根拠はない。

これを受け、より定量的な評価を目指して劣化診断機器としてピン貫入抵抗測定装置を取り上げ、木材や接合部、耐力壁の残存性能などとの関係についてデータの蓄積が進められている状況であり<sup>例えば1)</sup>、これを用いた耐震性能評価が可能となることが望まれる。

また、生物劣化がよく見られる個所として、水回り付近や仕上げにクラックがみられた開口部付近の部材などといった水分が供給されやすい場所であることが知ら

れているが、劣化の箇所によっては構造的には大きく影響しないなど、劣化箇所や程度、組み合わせが耐震性能に与える影響についての分析が必要である。

本研究では、生物劣化の箇所や劣化度合い、劣化の内容などの違いが木造住宅の耐震性能に与える影響を明らかとすることを目的とする。生物劣化を受けた構造要素の実験結果を反映した網羅解析の結果を分析することにより、劣化内容に応じた詳細な評価が可能となること、さらに耐震診断やその後の耐震補強における指針の作成に寄与するデータの作成を目指す。

今後蓄積が進むと期待している実物件の劣化状況と併せて整理することで、これまで定量的に評価することが難しかった生物劣化を受けた住宅の耐震性能の評価手法を示し、耐震補強の促進に資する資料となることを期待しているところである。

## 5. 研究の結果および考察

本研究は、次の流れで進める計画である。まず、現在蓄積を進めている生物劣化処理を施した耐力壁や接合部などの実験データを整理し、住宅の解析モデルに入力するための復元力特性のモデルを作成する。次に、実物件の平面図を基に住宅の解析モデルを作成し、実験結果を基に作成した劣化した耐力要素の復元力特性を用いて、劣化度合いや劣化箇所を解析パラメータとした網羅的な解析をおこなう。

まず、強制腐朽処理を施した実大耐力壁試験体についてせん断実験をおこない、性能値のデータを蓄積した。住宅の振動解析のために劣化した耐力壁の骨格曲線を作成することを想定し、特徴点の荷重および対応する変形の変化率をまとめるとともに、より実態に則した耐力低減係数を検討した。

耐力壁のせん断実験の様子を写真 1 に示す。試験体は幅 910mm、高さ 2730mm とし、厚さ 9mm の針葉樹合板を用いた合板耐力壁、3 つ割り筋かい（筋かい厚さ 30mm）、2 つ割り筋かい（筋かい厚さ 45mm）の 3 種について、柱脚部に腐朽処理を施した後、せん断実験に供した。なお、実験は実住宅の重量<sup>2)</sup>を想定した載荷式で実施した。

合板耐力壁については、釘接合部および引張力が作用する柱脚部、筋かい耐力壁においては、引張力が作用する柱脚部の腐朽や筋かい端部、その接合部周りの腐朽が耐力壁としての性能に与える影響



写真 1 耐力壁のせん断実験の様子



写真 2 筋かいの引張破壊

が大きい傾向がわかった。腐朽が著しい場合には、柱脚のほぞのせん断破壊や写真 2 に示すような筋かいの引張破壊、圧壊などといった脆性的な破壊がみられ、強度特性値が大幅に減少した。

図 1 に例として、引張力を受ける 2 つ割り筋かいについて、実験結果に基づき骨格曲線の折れ点の変化率を取り、健全時の骨格曲線にかけ合わせた結果と、短期許容せん断耐力の低減率を示す。なお、劣化度はピロディンの打ち込み深さに応じて健全から劣化度 3 までの 4 種を提案している<sup>1)</sup>。既存住宅の残存耐震性能を調査するための指標として、日本建築防災協会が出版している「木造住宅の耐震診断と補強方法」がある<sup>3)</sup>。この中の耐力壁の劣化に関する項目において、生物劣化がみられた耐力壁の耐力低減係数について、接合部の強度性能値を低下させた解析結果を基に、例えば基準耐力が 4.0 から 6.0kN/m の耐力壁で上階のある条件では 0.7 としている。実験結果を基に耐力低減係数を提案すると、劣化の進んだ試験体では、全体的に 0.5 度程、引張筋かいでは 0.3 度となり、既存指標と比較して耐力低下が大きくなる場合があることを確認した。

地震応答解析は、特定箇所の劣化を考慮できる木造住宅倒壊解析ソフトウェア Wallstat<sup>4)</sup>を用いて実施する。ここでは、1 階の水回りと隅柱の柱脚部付近が劣化したと仮定して、地震時の応答に与える影響を模擬的に検討した。図 2 に示す延面積 118m<sup>2</sup>、壁量充足率 1.4 (X 方向) の木造住宅を対象に、耐力壁を 2 つ割り筋かいと合板壁のみとして解析

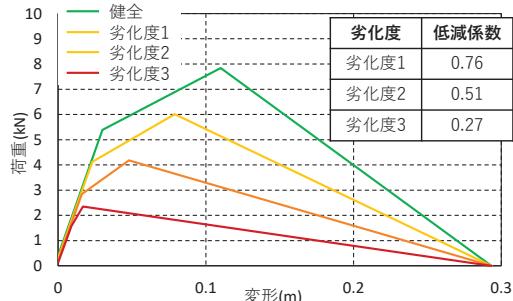


図 1 2 つ割り筋かい引張側の性能曲線と耐力低減係数

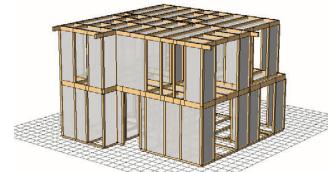


図 2 解析モデル

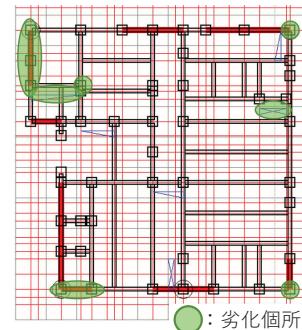


図 3 解析モデルの劣化想定箇所

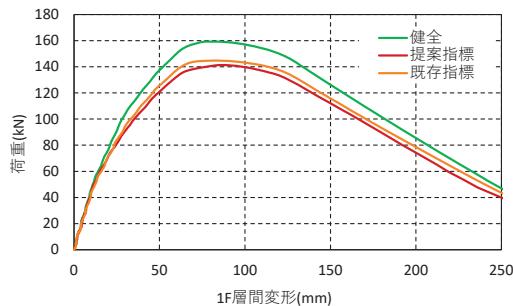


図 4 プッシュオーバー解析の結果

表 1 BSL2 波 (85%) X 方向入力結果

	1 層の最大応答変形
健全	55.1mm (1/50rad)
既存低減率	75.8mm (1/36rad)
提案低減率	90.6mm (1/30rad)

した。1階平面図と劣化想定箇所を図3に示す。解析条件は、劣化なしの場合、劣化が著しい場合を想定し既存指標を参考として仮に骨格曲線を一律0.7倍とした場合、本研究で得られた変化率（劣化度3）をかけ合わせた場合の3種とした。

プッシュオーバー解析によって得られた1層の荷重変形関係を図4に示す。健全の場合と比較して、復元力の低下が表れることを確認した。本検討では、既存指標と提案指標の差は小さくなつたが、耐力要素がより耐力低下が大きい筋かいの場合には、既存指標と比較して住宅の耐力低下が大きくなると考える。また、筋かいの方向に偏りがある場合には、特に耐力低下が大きい引張力を受ける筋かいの影響が大きくなる可能性がある。また、BSL波（第二種地盤）の85%をX方向に入力した場合の1層の最大応答変形を表1に示す。今回の解析条件においては、劣化がある場合の方が最大応答変形が増加した。最大応答変形については入力地震波の影響が大きいものの、健全の場合と比較して応答増加の可能性があることを確認した。

## 6. 今後の展開

解析モデルに入力するための劣化した耐力壁の性能曲線を作成するなど、解析のための準備を進めた。次のステップとして、木造住宅の平面プランを基に、劣化度合い及び劣化箇所をパラメータとした地震応答解析を網羅的に実施し、感度分析によってその影響を考察する予定である。

これまでの取り組みにおける課題点として、多数の部材1つ1つが劣化した場合について解析し、耐震性能への影響を分析することが困難であったため、解析結果の蓄積量が十分ではなかつたこと、詳細な劣化調査は破壊を伴うことから、調査可能な物件が制限されており、分析のために必要な棟数や生物劣化の事例が集まらなかつたことが挙げられる。これに対して、本研究では解析にスーパーコンピュータを用いることで、一度に大量の解析結果が得られる。網羅的な解析によって様々な劣化パターンについて検証することが可能となり、データの更なる拡張が期待できる。得られた膨大なデータは機械学習を取り入れた手法によって効率的に分析が可能となる見込みであり、数ある生物劣化パターンから影響度の高いものが抽出できることを考えている。

## 7. 引用文献

- 1) 西野進, 他5名: 生物劣化を受けた木質構造物の残存性能評価に資するデータベースの提案, 日本建築学会大会学術講演便概集(東北), pp. 609-610, 2018.
- 2) 青井秀樹, 他4名: 木造住宅の構造部材に生じる各種応力の許容応力度に対する割合(第1報)一般地域に建設された住宅の柱と土台, 木材学会誌, Vol. 54, No. 4, pp. 208-215, 2008.
- 3) 建築防災協会: 木造住宅の耐震診断と補強方法 指針と解説編, pp. 79-81, 2012.
- 4) 中川貴文: 大地震時における木造軸組構法住宅の倒壊解析手法の開発, 建築研究資料, 第128号, 2010.

## 炭素安定同位体を用いた樹木炭素蓄積量に影響する要因の解明

### 1. 研究組織

代表者氏名：田邊智子（京都大学 生存圏研究所）

共同研究者：高橋けんし（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

樹木の炭素固定量とその気候応答解析は全球的な喫緊の課題である。従来の研究では、ある高さの幹の肥大量を指標とし、気候との関係を網羅的な統計解析により指摘するに留まっていた。本研究の目的は、樹木成長量に直接影響を与える光合成期間を特定することにある。幹と枝の伸長量と肥大量に着目し、成長期間をフェノロジーで区切ったうえで、各成長に使われる炭素がいつの光合成に由来するかを明らかにする。樹木成長量の気候応答解析の際に着目すべき期間を、根拠を持って提示できるようになることが期待できる。今後起こるとされる環境変動に対して、樹木成長量がどのように変化し得るかといった予測への直接的な貢献が期待できることから、ミッション1: 環境診断・循環機能制御に関わる研究課題である。

### 4. 研究の背景と目的

人為由来で放出された CO<sub>2</sub> は陸域と海域が吸収し、残りが大気に蓄積される。過去 80 年間において、人為由来の CO<sub>2</sub> 放出量と海域による吸収量はほぼ一定の右肩上がりを示すが、陸域による吸収量は顕著な年変動を示し、誤差範囲も一番大きい<sup>1)</sup>。したがって、全球的な炭素循環予測を改善するためには、陸域の巨大な炭素プールである森林の炭素蓄積能を確からしく推定することが不可欠である。

樹木は光合成により大気中の炭素を吸収する。取り込まれた炭素は、分裂組織の異なる伸長成長と肥大成長というふたつの成長に使われると長期間樹体内に蓄積される。そのため樹木成長量は、地球の炭素循環を考えるうえで長期的に炭素を留めておく要素の一つとして重要である。樹木成長量の年変動は、幹の高さ 1.3 m(胸高)の肥大量を指標とした評価が主流であり、それらと気象要素との網羅的な統計解析を行うことで、成長量に影響しうる気象要因が抽出されてきた<sup>2)</sup>。

一方で、胸高の幹肥大量の多い年に、幹伸長量や枝肥大量も多いとは限らない<sup>3,4)</sup>。つまり、ある高さの幹肥大量では、個体全体の成長量の年変動を正しく評価できていない可能性がある。またこれまで月別の気象データを用いた解析が踏襲されてきたが、同じ月でも上旬と下旬では成長段階が異なるため、月別の期間は樹木の成長開始や停止といった成長フェノロジーと対応していない。

本研究では、従来の解析では見過ごされてきた幹肥大量以外の成長にも着目したうえで、樹木の成長量を大きく左右する光合成期間を明らかにすることを目的とした。具体的には幹と枝の伸長量と肥大量を対象に、成長フェノロジーの測定と炭素安定同位体を利用した光合成産物の追跡を繰り返し行うことで、樹木の時間軸で期間を区切ったうえで、その間の光合成産物の行き先を照合する。各器官の成長量に直結する光合成期間が分かれば、その間の気温や日射量といった環境要因が、それぞれの成長量に大きく関与していることが示唆される。

## 5. 研究の結果および考察

京都大学北白川試験地(京都府京都市左京区)を調査地とした。3年生のモミ(*Abies firma*) 苗80個体を準備し、2023年1月にひと個体ずつ鉢に植えた。

成長フェノロジー測定は5個体を対象とし、2023年成長期について計測を行った。肥大量は、幹の字際から5cm位置および樹冠下部の一次枝基部にマイクロデンドロメーター(MIJ-02LMS; Environmental Measurement, Fukuoka, Japan)を装着して直径変化をロガーに記録した。伸長量は、幹および樹冠上部の一次枝と樹冠下部の一次枝を対象とし、試験地へ通い物差しで当年枝長を計測した。

炭素安定同位体を利用した光合成産物の追跡は、 $^{13}\text{CO}_2$ をトレーサーとして用いた。大型ビニール袋で個体を覆い、高濃度の $^{13}\text{CO}_2$ を光合成により葉から吸わせることで炭素をラベルした。ラベリングは2023年成長期に計9回行い(3/10, 3/22, 4/10, 4/17, 4/28, 5/9, 5/24, 6/7, 10/17)、それぞれ異なる3個体を対象とした。

成長の開始時期は、伸長成長と肥大成長とで異なった(図1)。伸長成長の開始日は、幹でDOY82(3月23日)、枝でDOY83(3月24日)であった。肥大成長の開始時期は、幹でDOY145(5月25日)、枝でDOY137(5月17日)であった。

伸長成長の成長停止時期は、幹でDOY154(6月3日)、枝でDOY147(5月27日)であった。肥大成長の停止時期は不明瞭であったため、停止時期の定義を検討中である。いずれにしても伸長成長と

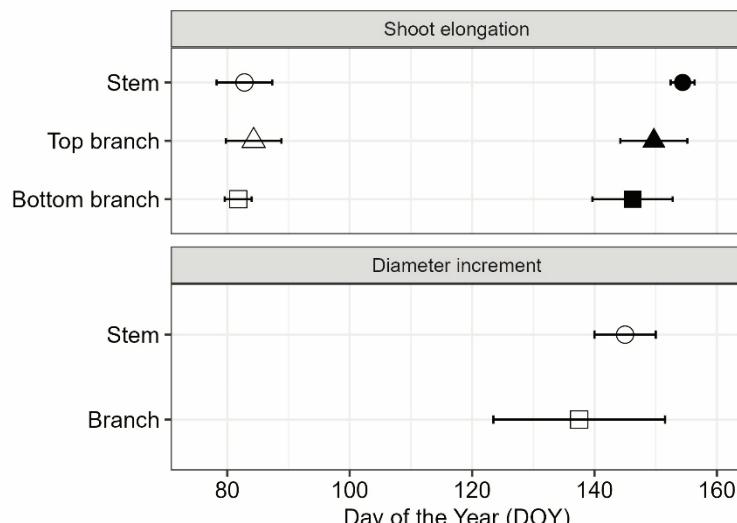


図1：伸長量と肥大量の成長フェノロジー。上段は伸長成長を、下段は肥大成長を表す。白抜きの印(○, △, □)は成長開始日を、塗潰しの印(●, ▲, ■)は成長停止日を示す。エラーバーは標準偏差を示す。

肥大成長は、幹枝とともに成長時期が異なることが明らかになった。

## 6. 今後の展開

成長フェノロジーの計測結果に基づいて分割した期間（図 2, i ~iv）にラベリングを実施した個体を対象に、同位体分析を行う。伸長成長は当年伸長部の軸を採取し、肥大成長は当年の年輪内から木片を採取して同位体分析を行う。それぞれの期間に取り込まれた  $^{13}\text{C}$  が、幹枝の伸長と肥大部分といった各器官で検出されるかを明らかにする。 $^{13}\text{C}$  の濃度を当年成長量に乗じて、 $^{13}\text{C}$  の固定された量を算出し、各器官への配分割合を推定する。分配割合の低い器官には、ラベルした期間の光合成は重要ではないことが分かる。

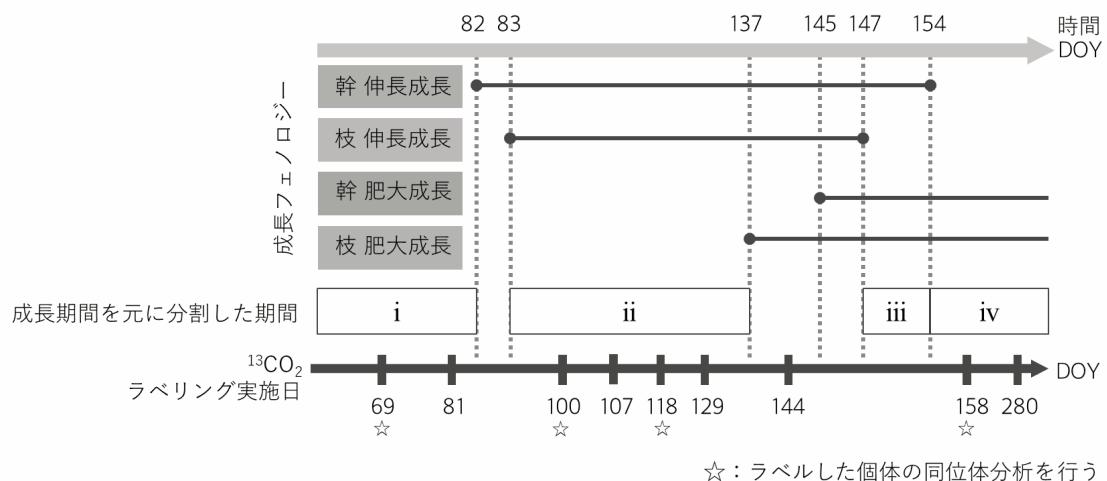


図 2：実験の全体像と現状況

## 7. 引用文献

- 1) Friedlingstein, P. et al., Global carbon budget 2022, *Earth Syst. Sci. Data Discuss.* 2022, 1–159, 2022.
- 2) Cook, E. R. & Kairiukstis, L. A., Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences, *Springer Science & Business Media*, 394pp, 1990.
- 3) Mäkinen, H. & Colin, F. Predicting branch angle and branch diameter of Scots pine from usual tree measurements and stand structural information. *Can. J. For. Res.* 28, 1686–1696, 1998.
- 4) Vennetier, M. et al. Climate change impact on tree architectural development and leaf area. *Clim. Chang. realities, impacts over ice cap, sea Lev. risks.* Rijeka, Croat. InTech, 103–126, 2013.

## 8. 付記

総説論文 :

1. 田邊智子. (2023) <総説> 樹木地上部における炭素蓄積量の年変動推定. *生存圏研究*, 19, 29-34.

学会発表 :

2. Tanabe, T., Dannoura, M., Kurachi, N., Matsuura, Y. "Interannual dynamics of aboveground production classified by apical and cambium growths and its drivers in *Picea mariana*", The International Boreal Forest Research Association (IBFRA) Conference, Finlandia, Helsinki, August 2023.
3. 田邊智子, 檀浦正子, 松浦陽次郎.“幹の伸長量・肥大量が多い年は枝成長量も多いのか : クロトウヒの例”, 第 135 回日本森林学会, 東京都, 2024 年 3 月.
4. 神代花穂, 田邊智子, 隅田明洋. “モミ苗木における幹枝の形態とフェノロジー”, 第 135 回日本森林学会, 東京都, 2024 年 3 月.
5. 檀浦正子, 能勢美峰, 福田有樹, 松下通也, 三嶋賢太郎, 南尊正, 田邊智子, Epron Daniel, 香川聰, 高梨聰, 小南裕志. “<sup>13</sup>C パルスラベリングを用いたスギ 2 品種の炭素配分の季節変動”, 第 135 回日本森林学会, 東京都, 2024 年 3 月.
6. 檀浦正子, 能勢美峰, 福田有樹, 松下通也, 三嶋賢太郎, 南尊正, 田邊智子, Epron Daniel, 香川聰, 高梨聰, 小南裕志. “スギ 2 系統の地上部地下部における構造性・非構造性炭水化物の季節変動”, 第 58 回根研究集会, 兵庫県, 2023 年 11 月.

その他講演 :

7. 田邊智子. “樹体のさまざまな位置の成長量に着目して樹木生産量の年変動を考える”, 北海道大学名寄セミナー, オンライン, 2024 年 1 月 26 日.
8. 田邊智子. “中学三年生にむけて—森林とわたしたち—”, 私立横浜雙葉中学校総合学習, 神奈川県, 2024 年 1 月 15 日.

競争的資金 :

9. 公益財団法人市村清新技術財団 植物研究助成, 「樹木による炭素蓄積量とその年変動を定量評価するための指標検討」, 1472 千円, 2024 年 4 月-2027 年 3 月 (代表)
10. 公益財団法人日本科学協会 海外発表促進助成, “Interannual dynamics of aboveground production classified by apical and cambium growths and its drivers in *Picea mariana*”, 360 千円, 2023 年 8 月-2023 年 9 月 (代表)

## 新規なリグニン分解反応系の開発とリグニン改変植物への適用

### 1. 研究組織

代表者氏名：謝　冰（京都大学 生存圏研究所）  
 共同研究者：飛松裕基（京都大学 生存圏研究所）  
 高野俊幸（京都大学 農学研究科）

### 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

持続型社会の構築に向けて、化石資源に代えて再生可能資源である木質バイオマスを様々な有用化成品に変換するバイオリファイナリーシステムの開発研究が世界的に加速している。木質バイオマスの主要成分であるリグニンは、地球上で最も豊富に存在する芳香族ポリマーであることから、プラスティックや燃料等に変換可能な芳香族系化成品の原料としての利用が期待されている。本研究では、持続型社会構築に寄与するリグニンの高度利用に向けたリグニン分解反応系の開発を行う。申請者がこれまで開発を行ってきた電解メディエーターシステム(EMS)酸化反応の実用化に向けた各種バイオマス試料への適用を行うとともに光触媒等を用いた新たなリグニン分解反応系を探索する。さらに、これらリグニン分解反応系を生存圏研究所で開発されたリグニンの構造を改変した遺伝子組換え植物や変異体に適用し、反応系の最適化と原料リグニンの構造制御の相乗効果によるリグニン分解効率の向上を図る。

### 4. 研究の背景と目的

化石資源過剰消費に起因する地球温暖化問題や環境汚染、資源枯渇に対する不安など、様々な側面から、化石資源に代えて、木質バイオマス等再生可能資源から化成品・マテリアル・燃料を製造する効率的なバイオリファイナリーシステムの開発が急務の課題になっている。木質バイオマスを構成する三大成分の一つであるリグニンは、再生可能芳香核資源として、種々の有用芳香族化成品に変換し、利用することが期待されている。

リグニンは種々のC-C及びC-O-C結合からなる複雑かつ多様な高分子構造を持つことから、従来のリグニンの低分子変換法では、過酷な反応条件（高温・高圧）が必要とされ、副反応が制御できない、生成物の選択性が低い、生成物の再重合の進行、生成物の分離と精製に関する課題など問題点が多数あった。現在多くのリグニン分解研究が、高選択性で温和な条件下で、リグニンを特定の化学品に直接変換できる解重合プロセスの開発に着目している。このようなリグニン分解反応には、例えば逆アルドール反応、水素化、触媒的好気性酸化、電気触媒酸化、光触媒酸化などが含まれる。

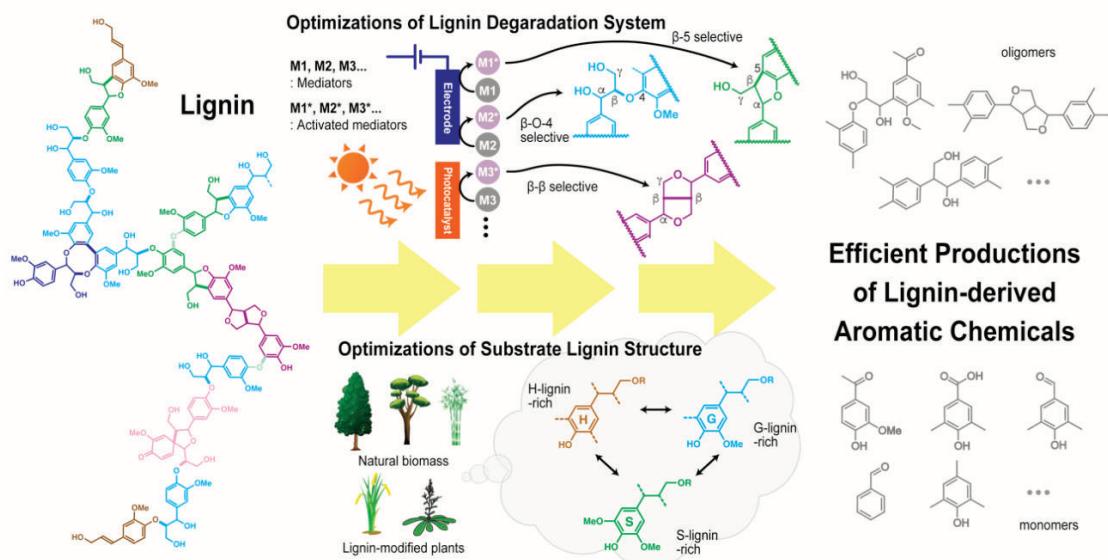


図1. 本研究課題の概念図

研究代表者は、バイオミメティックなリグニンの酸化分解反応システムとして、電解メディエーターシステム（EMS）酸化反応の開発を行ってきた。これまで、各種メディエーターを利用したリグニンモデル化合物のEMS酸化を検討し、リグニンのEMS酸化に有効なメディエーターを複数見出すとともに、異なるメディエーターがリグニンの主要結合様式に対して異なる反応選択性を示すことを明らかにしてきた<sup>1-2</sup>。本研究では、生存圏研究所が有する高度なバイオマス構造解析技術と有用なリグニン改変植物リソースを活用して、EMS酸化反応の実用化に向けた更なる検討を行うとともに、光触媒等に着目した新規な環境調和型リグニン酸化分解反応系の探索を行う。さらに、これらリグニン分解反応系を生存圏研究所で開発されたリグニンの構造を改変した遺伝子組換え植物や変異体に適用し、反応系の最適化と原料リグニンの構造制御の相乗効果によるリグニン分解効率の向上を図る（図1）。これらのアプローチの達成により、生存圏研究所が目指す木質バイオマス資源の利活用を通じた持続的社会の実現に貢献できると考えている。

## 5. 研究の結果および考察

これまで、各種メディエーターを用いたリグニンモデル化合物のEMS酸化を検討し、特にリグニンの主要結合様式（β-O-4結合、β-5結合、β-β結合）に対して高い反応性を示すメディエーターとして、ABTS<sup>1</sup>、鉄ビピリジン[Fe(bpy)<sub>3</sub>]<sup>2</sup>、LA/HBT併用系を見出している。さらに、高分子リグニンモデル化合物（G-DHP）のEMS酸化実験から、ABTSは、β-O-4結合とβ-β結合を優先的に酸化する

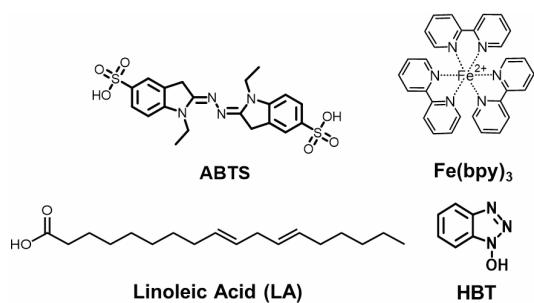


図2. 各種 EMS 酸化用メディエーター

こと、 $\text{Fe}(\text{bpy})_3$  は  $\beta-\text{O}-4$  結合、 $\beta-5$  結合、 $\beta-\beta$  結合すべてを効率的に分解すること、LA/HBT 併用系では、 $\beta-\text{O}-4$  結合と  $\beta-5$  結合の酸化が優先的に起こることが分かっている（表 1）。

本研究では、上記のメディエーターを用いた EMS 酸化反応のバイオマス及び単離リグニン試料への適用を検討している。昨年 12 月に着任後、これまでに、針葉樹スギから MWL (milled wood lignin) を調製し、ABTS、 $\text{Fe}(\text{bpy})_3$ 、LA/HBT 併用系を介した EMS 酸化反応を実施した。現在、電解酸化反応の進行を確かめるために、電解残渣の 2D HSQC NMR 解析及び GPC 分析を行っているところである。また、電解酸化反応により生成した低分子芳香族化合物を定量評価するため、電解反応後にリグニン由来の低分子芳香族化合物を効率よく抽出する後処理条件と GC-MS 解析条件の検討、広葉樹ユーカリ及びイネ科植物タケからの MWL の調製も進めている。

**表 1. G-DHP の EMS 酸化反応前後における 2D HSQC NMR スペクトル上の主要結合様式及び末端構造由来シグナルの強度変化**

<b>Residue</b>	<b><math>\beta-\text{O}-4</math></b>	<b><math>\beta-5</math></b>	<b><math>\beta-\beta</math></b>	<b>Coniferyl alcohol</b>	<b>Conifer-aldehyde</b>	<b>Benz-aldehyde</b>
	<b><math>A_\alpha</math></b>	<b><math>B_\alpha</math></b>	<b><math>C_\alpha</math></b>	<b><math>X_\gamma</math></b>	<b><math>X'_\gamma</math></b>	<b><math>X''_\alpha</math></b>
<b>Original G-DHP</b>	<b>13</b>	<b>32</b>	<b>6</b>	<b>33</b>	<b>2</b>	-
<b>ABTS</b>	<b>6</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>33</b>	<b>8</b>
<b><math>\text{Fe}(\text{bpy})_3</math></b>	<b>5</b>	-	-	<b>6</b>	-	<b>12</b>
<b>LA/HBT</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

## 6. 今後の展開

EMS 酸化反応については、引き続き、針葉樹（スギ）、広葉樹（ユーカリ）、イネ科（タケ）のバイオマス及び単離リグニン試料への適用を検討する。反応前後のバイオマス試料及びリグニン試料の構造変化を、高分子成分については主に 2D HSQC NMR 分析及び GPC 分析によって、低分子成分については主に LC-MS 及び GC-MS 分析によって解析し、特にリグニンの各主要結合様式の分解に着目して、定性・定量評価を行う。メディエーターの種類とともに反応条件（電解温度・溶媒・電極・酸化助剤の添加など）を検討し、リグニンの効率的かつ結合様式選択性的な分解に向けて最適化する。また、リグニンの構造を様々に改変したイネ組換え株及び変異株<sup>3,4</sup> のバイオマス及び単離リグニン試料の EMS 酸化も実施し、上記の天然バイオマス試料の検討と同様に反応前後のリグニンの構造変化を定量的に評価する。反応選択性の異なるメディエーターの適用と原料リグニン構造制御（芳香核組成・結合様式分布）の相乗効果により、リグニンの酸化分解効率の向上を図る。

また、新たなリグニンの酸化分解反応系の探索も行う。太陽エネルギーを利用した光触媒反応は、温和かつクリーン、エネルギー効率が高く、かつ技術的にシンプルで低コストな反応として期待されていることから<sup>5</sup>、特に光触媒メディエーターシステムを用いたリグニンの分解を検討する予定である。

## 7. 引用文献

- 1) Xie B, Tobimatsu Y, Kamitakahara H, et al. Reaction selectivity in electro-oxidation of lignin dimer model compounds and synthetic lignin with different mediators for the laccase mediator system (PZH, NHPI, ABTS), *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, **10**, 6633-6641, 2022.
- 2) Xie B, Tobimatsu Y, Narita K, et al. Electro-oxidation of lignin model compounds and synthetic lignin with transition-metal complexes (manganese and iron complexes), *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, **10**, 16701-16708, 2022.
- 3) Takeda Y, Suzuki S, Tobimatsu Y, et al. Lignin characterization of rice *CONIFERALDEHYDE 5 - HYDROXYLASE* loss-of-function mutants generated with the CRISPR/Cas9 system, *The Plant Journal*, **97**, 543-554, 2019.
- 4) Anderson NA, Tobimatsu Y, Ciesielski PN, et al. Manipulation of guaiacyl and syringyl monomer biosynthesis in an *Arabidopsis* cinnamyl alcohol dehydrogenase mutant results in atypical lignin biosynthesis and modified cell wall structure, *The Plant Cell*, **27**, 2195-2209, 2015.
- 5) Li S, Park S, Sherman B D, et al. Photoelectrochemical approaches for the conversion of lignin at room temperature. *Chemical Communications*, **59**, 401-413, 2023.

## 8. 付記

### 国内学会における発表

- 1) 謝冰, 飛松裕基, 寺本好邦, 高野俊幸, 過酸化脂質を媒介とするリグニンの electrolytic mediator system (EMS) 酸化反応, 第 74 回日本木材学会, 2024 年 3 月 (発表予定)