

第490回生存圏シンポジウム  
生存圏ミッションシンポジウム

令和5年(2023年)3月6日-7日



京都大学 生存圏研究所

---

Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH)  
Kyoto University

第490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5年3月6日(月)

ハイブリッド形式

		時間		演者	タイトル
所長挨拶		10:00	10:10	山本衛 (京大大学生存圏研究所)	
研究ミッション 活動紹介		10:10	10:40	篠原真毅 (京大大学生存圏研究所)	
未来開拓研究センター 活動報告		10:40	12:00	桑島修一郎、他 (京大大学生存圏研究所)	
休憩					
セッション①	「生存圏科学と科学技術・イノベーション」	13:00		桑島修一郎 (京大大学生存圏研究所)	はじめに
		13:00	13:30	斉藤卓也氏 (理化学研究所 経営企画部)	「大規模研究所におけるイノベーションマネジメント」
		13:30	14:00	小沼良直氏 (公益財団法人未来工学研究所)	「企業を中心とするイノベーション創出と調査研究の課題」
		14:00	14:15	総合討論	
セッション②	「生存圏科学の国際展開 - 植物バイオマス利用研究における国際共同と国際連携-」	14:15	14:30	飛松裕基 (京大大学生存圏研究所)	はじめに: 趣旨説明と生存研における国際共同バイオマス研究の紹介
		14:30	14:55	梅澤俊明 (京大大学生存圏研究所)	リグノセルロースバイオマスの持続的生産利用に関する国際協同研究
		14:55	15:20	松井南氏 (理化学研究所 環境資源科学研究センター)	理研環境資源科学研究センターの国際共同研究の紹介 一天然ゴムの持続的生産を通じた国際連携研究を中心に
		15:20	15:30	総合討論	
休憩 (10分)					
セッション③	「レーダーによる大気リモートセンシング、その現状と未来」	15:40		山本衛 (京大大学生存圏研究所)	はじめに
		15:40	16:00	橋口浩之 (京大大学生存圏研究所)	「MULレーダー/赤道大気レーダーの現状と未来」
		16:00	16:15	横山竜宏 (京大大学生存圏研究所)	「MULレーダーと赤道大気レーダーによる電離圏観測」
		16:15	16:35	小川泰信氏 (国立極地研究所 先端的レーダー研究推進センター)	「EISCAT_3Dレーダー計画の現状と展望」
		16:35	16:55	堤雅基氏 (国立極地研究所)	「MFLレーダーを用いた流星エコー観測の新展開」

(2日目)

令和5年3月7日(火)

ハイブリッド形式

		時間		演者	タイトル
共同利用共同研究活動報告		10:00	10:30	橋口浩之 (京大大学生存圏研究所)	
生存研国際活動&アジアリサーチノード 成果報告		10:30	11:00	梅澤俊明 (京大大学生存圏研究所)	
ポスターセッション	共同研究ポスター発表 (遠隔開催 zoom・ブレイクアウトルーム)	11:00	12:00	フラッグシップ共同研究 5件 生存圏科学共同研究 15件 ミッション専攻研究員 3件	
休憩					
生存圏フォーラム総会		13:00	13:30	総会	

# 第490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4年3月6日（月）・7日（火）

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. 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）	3
2-1 木材科学文理融合ユニット	
田鶴寿弥子（京都大学 生存圏研究所）	5
2-2 大気圏森林圏相互作用ユニット	
高橋けんし、杉山暁史（京都大学 生存圏研究所）	7
2-3 先端計測技術開発ユニット	
上田義勝（京都大学 生存圏研究所）	9
2-4 バイオマスプロダクトツリー産学共同研究ユニット	
西村裕志、他（京都大学 生存圏研究所）	11
3. 口頭発表セッション	
3-1 セッション1「生存圏科学と科学技術・イノベーション」	
桑島修一郎（京都大学 生存圏研究所）	13
3-2 セッション2「生存圏科学の国際展開－植物バイオマス利用研究における国際共同 と国際連携－」	
飛松裕基（京都大学 生存圏研究所）	15
3-3 セッション3「レーダーによる大気リモートセンシング、その現状と未来」	
山本 衛（京都大学 生存圏研究所）	16
4. 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）	18
5. 生存圏アジアリサーチノード	
梅澤俊明（京都大学 生存圏研究所）	21
6. 共同研究ポスター発表	
6-1 生存圏フラグシップ共同研究	25
1「熱帯植物バイオマスの持続的生産利用に関する総合的共同研究」	
梅澤俊明（京都大学 生存圏研究所）	

- 2 「マイクロ波応用によるエネルギーの輸送・物質変換共同研究」  
篠原真毅（京都大学 生存圏研究所）
- 3 「バイオナノマテリアル共同研究」  
矢野浩之（京都大学 生存圏研究所）
- 4 「宇宙生存圏におけるエネルギー輸送過程に関する共同研究」  
大村善治（京都大学 生存圏研究所）
- 5 「赤道ファウンテン」  
山本 衛（京都大学 生存圏研究所）
- 6-2 生存圏科学共同研究 . . . . . 47
- 1 「Methane budget of a complex mountainous forest: look up and down.」  
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 「誘電率計測による微細気泡水の特性解析」  
上田義勝（京都大学 生存圏研究所）
- 4 「熱帯荒廃草原におけるイネ科バイオマス資源の持続的生産に基づく炭素隔離」  
梅澤俊明（京都大学 生存圏研究所）
- 5 「マルチスケール構造を考慮した木材の大変形挙動に関する数値シミュレーション手法の開発」  
梶川翔平（電気通信大学）
- 6 「合理的代謝フロースイッチングによる芳香族生理活性物質の生産」  
肥塚崇男（山口大学 創成科学研究科）
- 7 「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）
- 8 「プロジェクションマッピングを適用した環境放射能の歩行サーベイ計測」  
谷垣 実（京都大学 複合原子力科学研究所）
- 9 「第一原理計算を用いた固液界面及び気液界面の静電ポテンシャル解析」  
徳田陽明（滋賀大学 教育学部）
- 10 「紫外線計測データに基づく母体と赤ちゃんのビタミンD生成量の推定と  
血中ビタミンD濃度との関係に関する研究」  
中島英彰（国立環境研究所）
- 11 「セシウム蓄積に関わるダイズのイオノーム解析」  
二瓶直登（福島大学 食農学類）
- 12 「マイクロ間隙流路を用いたコロイド粒子挙動に関する研究」  
濱本昌一郎（東京大学 農学生命科学研究科）
- 13 「アジア圏界面エアロゾル層（ATAL）の影響研究：2003～2021年夏季の  
日本でのライダー連続観測に基づいて」  
藤原正智（北海道大学 地球環境科学研究所）
- 14 「国内産カラスビシャク系統から調製した生薬半夏と中国産市販半夏中の低分

子成分の比較解析」

松岡 健（九州大学 農学研究院）

15 「心材ノルリグナン類の生合成遺伝子の同定」

山村正臣（徳島大学 社会産業理工学研究部）

6-3 ミッション専攻研究員 . . . . . 77

1 「Evolution and possible interactions of the electron zebra stripes in the Earth's inner magnetosphere」

Megha Mahendra Pandya

2 「万能アンテナの開発」

氏原秀樹

3 「酵母を用いた植物由来抗がん薬パクリタキセル生合成のカスタムデザイン」

草野博彰

## 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. 委員会組織

委員長：篠原 真毅（京都大学生存圏研究所）

委員：畑 俊充（京都大学生存圏研究所）

田中 聡一（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別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ケーションの充実を行い、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. 2022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が、2022年度は残念ながら電気代の高騰、国際情勢の不安定化、円安等々の理由により、年度当初に予算措置はなく、2023年1月にミッション1-4に各50万円、ミッション5に100万円の予算措置ができたのみであった。これは前年度に比べ約88%減という厳しいものであり、予算措置も大変遅かった。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。来年度は早期の予算措置と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、2022年度も15回開催し、延べ参加人数586名(1回平均39名)で盛況に開催された。オ

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。YouTube Channel「京都大学生存圏研究所」ではオープンセミナーの動画以外に様々な動画を公開しており、現在動画 22 本、うちオープンセミナー 5 本が公開されている[1]。

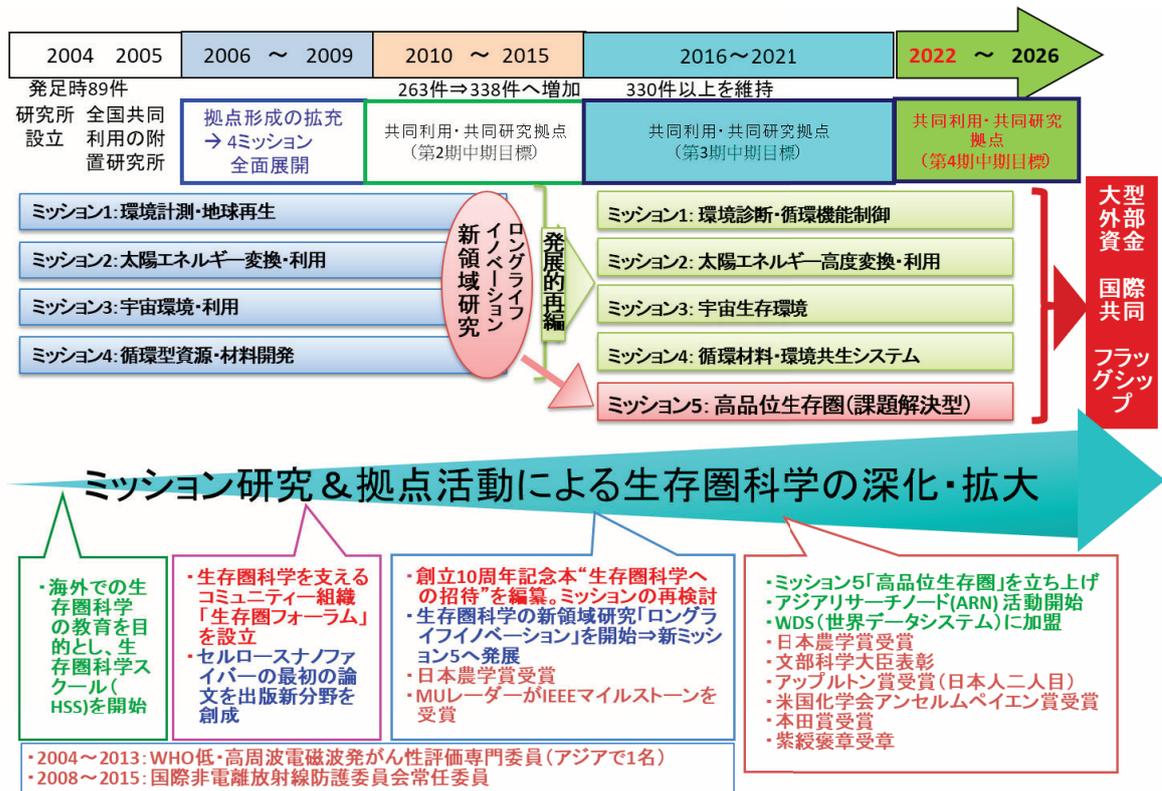


図 1 生存圏科学の共同利用・共同研究拠点におけるミッション研究

#### 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>

## 生存圏未来開拓研究センターについて

生存圏未来開拓研究センター長 桑島 修一郎  
京都大学 生存圏研究所

### 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することを目的として、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す。新センターでは、中核研究部の中から候補となる研究グループ（研究ユニット）が所属し新分野の探索を試みる。センター内の研究ユニットは恒常的なものとはせず、3年毎を目途に活動の見直しを行い、中核研究部との人事交流を図りながら、新たなユニットの創設を推進する。

そのために次の2つの機能を重視している。変化の激しい社会情勢の中で、広範な基礎的知見を提供し得る学際研究機能と実効的な社会連携機能である。前者では研究分野間の交流のみならず、温故知新といった時間軸にまで拡張した学際性が、後者では国や産業界に加えて多様な社会との連携が、それぞれ重要となる。これら2つが有効に機能することで、持続的な新分野開拓を促し、生存圏科学の新たな一面を生み出していくことを可能とする。

表 1 センター構成員

センター長	五十田 博	2022.4 - 2022.10
	桑島 修一郎	2022.11 -
木材科学文理融合ユニット	田鶴 寿弥子	
大気圏森林圏相互作用ユニット	高橋 けんし	
	杉山 暁史	
先端計測技術開発ユニット	上田 義勝	
バイオマスプロダクトツリー	渡辺 隆司	他 化学研究所、エネルギー
産学連携共同研究ユニット	西村 裕志 他	ギー理工学研究所

### 2. 課題と今後の方向性

前身の「生存圏学際萌芽研究センター」の名称からも分かるように、研究所設立当初から学際性が強く意識され、研究分野間の融合は十分に実施されてきたと言える。また、いち早く課題解決を意図したミッション研究体制を構築し、2016年度には4つのミッション研究を統合した5つ目のミッション「高品位生存圏」を独自に創成するなど、国の科学技術政策動向を先取りするように学際研究体制を構築して

きた。しかしながら、直近の評価における指摘「8つの共同利用・共同研究拠点専門委員会の独立性が高く、学際融合科学として位置付けられた生存圏科学として、異分野融合研究への研究施設全体での包括的な取組は限定的である」や「今後は、国際化、人材養成、新分野創成、異分野融合等の観点から、人的交流を含めて研究施設内の各分野を更に横断又は連携させ、学際融合的な共同研究の推進が可能となる組織的な仕組み作りのための具体的な方策についての検討が望まれる」から読み取れることとして、近年、課題自体の任意性が高まり、単に異分野による学際研究を実施しただけでは具体的な課題解決に結びつけることが困難になったことを想像する。言い換えれば、異分野のさらなる融合を進める前に、課題設定自体を新しく適切なものにしていく必要があると考える。学際性に関する研究からも同様のことが知られており、これまで一般的であった学際性（interdisciplinarity）では、学問分野間の相互作用により、共通の研究対象に対して協力的かつ統合的にアプローチして新しい知識を共同で生産することが重視されてきた。しかしながら、第5期および第6期科学技術基本計画の中心コンセプトに据えられた Society 5.0 から類推されるように、かつてはエネルギーや環境といった一部のグローバル課題解決に適用されてきた拡張された学際性（transdisciplinarity）が多くの分野にも必要とされはじめていることを示しており、研究プロセスそのものに科学分野以外の政治的、社会的、経済的なアクターの参加が不可欠となってくる。生存圏未来開拓研究センターでは、この拡張された学際性（transdisciplinarity）に基づく社会との連携のアプローチから生存圏科学を捉えることを考えている。

### 3. オンライン公開講座の実施

センターが中心となりオンライン公開講座「先人の才知に学ぶサステナビリティ」を企画、実施した。オンライン形式とし、開始時刻を夕刻とすることで高校生や大学生さらには一般の方も含め、合計 160 名（第1回～3回）の参加があった。一方、話題提供側は、自身の研究における「持続性（サステナビリティ）」に対する考え方をアカデミア以外にも問いかけることに留意し、新たな学際性探究の契機となった。

表 2 オンライン公開講座

第1回（11/25）	農業を支えてきた土の中の微生物 ～畑の土×最先端分析～	杉山 暁史
第2回（12/16）	オーロラの神秘を解き明かすカギは、古記録にあり？	海老原 祐輔
第3回（1/20）	文化財を紐解く ～木材×歴史×科学～	田鶴 寿弥子
第4回（※中止）	地球上で一番巨大な生物から古くて新しく強い材料が生まれる話	阿部 賢太郎

以上

## 人と木とのあいをみつめる

田鶴 寿弥子

京都大学 生存圏研究所

### 1. 研究の背景と目的

日本は木の国である、と日本人の多くがそう感じているのではないだろうか。実際、世界遺産法隆寺に代表される歴史的建造物や様々な木製文化財、そして身近な生活必需品など、私たちは木材に囲まれて生活している。そして四季折々表情を変える樹木は、現代のあわたましい生活を生きる私たちにとって、季節を感じさせてくれる重要な存在でもある。しかし今、指数関数的な速度でテクノロジーが発展しつづける社会にあって、人と木との実質的な距離が広がりつつある中、木が私たちの文化の基盤を支えてきたことに気づき、木との本来の関係を深く知る日本人は多くはないのではないだろうか。そのような現代において、人が木と共生する長い歴史の中で獲得してきた「物事の本質を捉える能力」や「精神を支える文物における用材観」を、木という鏡を通して改めて学際的に考究することで、未来の開拓に必要な、温故知新型かつ文化的な知見の深化を目指したいと考えている。

木材科学文理融合ユニットでは、悠久の時代を超えて今に伝わる文物に使われる木に改めて注目する。人と木とが共に歩んだ歴史や環境、木を選ぶにあたっての人々の観念や思想までが込められている木製文化財に対し、学際的視座から樹種や年代調査をはじめとした科学的アプローチを行う（図1）。そこで得られるデータには、古の人々に備わった適所適材の用材観や、生存圏の過去の諸相まで読み解くための文理融合型のヒントが含まれるはずである。特に本ユニットでは、信仰や文化の象徴でもある木彫像や建造物などの文化財に目を向け、これら日本文化の根底を支えてきた文化財をとおして、当時の文化交流、植生、用材観、信仰の地域的な相違などを紐解くべく、研究を進めていく。

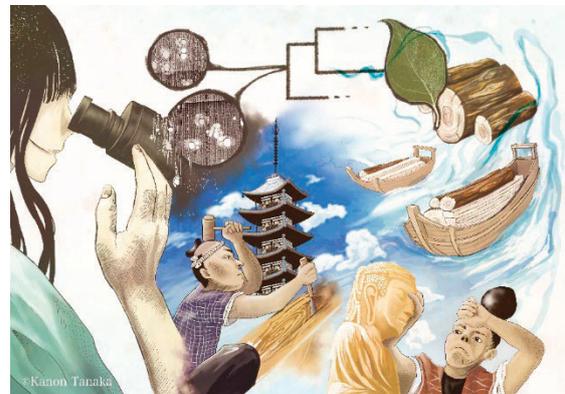


図1 文化財のかけらを通してみつめる古代の人と木とのあわり

### 2. 現在すすめている研究

現在すすめている研究には、東アジアの木彫像調査や歴史的建造物調査などが含まれるが、ここでは木彫像調査について紹介する。日本では、東京国立博物館や森林総合研

究所などにより 8 世紀から 10 世紀頃に制作された一木彫像の多くに、カヤが使用されていることが明らかとされた。一方同じく仏教を信仰した中国や韓国の古代の仏像に一体どのような樹種が使用されていたのかは不明であった。筆者らが欧米の美術館らとともに継続して研究を行ってきた結果、日本と中国では木彫像用材だけを比較しても異なる用材観が見て取れた。また日本においては、仏教に触発されて制作されたとされる神道彫刻の調査も行ってきたが、仏像と同様カヤやヒノキが多用される一方、地域や時代によって、ある特定の樹種が使用されている傾向も見えてきた。このような用材観の研究は古代の人と木との関係を紐解く上で、重要な知見になると期待される。これらの木彫像調査については、欧米の美術館はじめ、国内の国立博物館や国宝修理所美術院、各都道府県文化財保護課などとの研究協力体制が整っており、今後も継続したデータの蓄積をすすめていく。

### 3. 今後の展開

いつの時代も人とともにあり、文化の構築に欠かせなかった木を中心に考究することで、古代から現代にいたるまでの人と木とのあわいを明らかにしようと研究を進めてきたが、まだまだ研究は十分とは言えず、長い歴史の中の氷山の一角を見ているにすぎないと感じている。これまで科学的調査が行われてこなかった文化財にも目を向けることで、現代の私たちが知らない、人と木とのあわいに流れる強固なつながりや日本人が構築してきた木の文化の底力を今ここで改めて考究していきたい。

### 4. 文献

#### 著書

田鶴寿弥子、ひとかけらの木片が教えてくれること 木材×科学×歴史、淡交社、232 頁、2022 年

#### 論文

Suyako Tazuru, Mechtild Mertz, Takao Itoh, Junji Sugiyama, Wood Identification of Japanese and Chinese Wooden Statues Owned by the Museum of Fine Arts, Boston, USA, *Journal of Wood Science* 68(11) 2022

Mechtild Mertz, Suyako Tazuru, Shiro Ito, Cynthea Bogel, A Group of Twelfth-Century Japanese Kami Statues and Considerations of Material Intentionality: Collaborative Research Among Wood Scientists and Art Historians, *Journal of Asian Humanities at Kyushu University (JAH-Q)*, 127-158, 2022

Suyako Tazuru, Mechtild Mertz, Hiromi Kinoshita, Takao Itoh, Junji Sugiyama, Wood identification of Chinese Buddhist statues in the Philadelphia Museum of Art, *文化財科学*, 83, 109-119, 2021

## 大気圏森林圏相互作用ユニット

高橋 けんし, 杉山 暁史  
京都大学 生存圏研究所

### 1. 研究概要

地球の大気圏と森林圏の相互作用を理解するとともに、その機能の有効な活用方法を探索することは、持続可能な社会の構築を目指すうえで、非常に重要な視点である。植物が光合成により大気中の二酸化炭素を固定し、酸素を放出することや、微生物が窒素固定により大気中の窒素を生物が利用できる形態に変換することは、大気圏・森林圏の相互作用の代表例である。植物や微生物の機能は、人類の長い歴史を支えてきたと言えよう。本ユニットでは、温室効果気体の収支や揮発性有機化合物を介した物質変動の研究や、大気圏・森林圏の相互作用に寄与する植物や微生物の機能に関する研究を推進している。大気や植物、土壌といった個別のコンパートメントでの研究成果を、生存圏の物質変動・物質循環という視点に広げて捉え、持続可能な社会としてあるべき姿における大気圏・森林圏の相互作用の基本的構造と機能を理解することを目指す。本ユニットはまた、ミッション1「環境診断・循環機能制御」の活動とも密接に関連している。

### 2. 研究成果

近年、ある種の樹木表面からメタン(CH<sub>4</sub>)ガスが放出されるというユニークな現象が注目されている。大気中のCH<sub>4</sub>は、地球の放射収支に作用する主要な温室効果気体であるため、その大気濃度に影響する発生源の特定と定量化は、自然科学にとどまらず社会的にも喫緊の課題となっている。我々は、暖温帯林に自生する湿地性樹木のハンノキ(*Alnus japonica* (Thunb.) Steud.)の樹幹からCH<sub>4</sub>が放出されていることを見出し、その放出量の時間変動や樹木間個体差を詳しく調べている。放出量の計測は、近赤外半導体レーザー分光法と閉鎖循環チャンバー法を組み合わせたシステムを構築し、完全自動化している。グラニエ法による樹液流束の計測も行っている。

先行研究では、樹幹からのメタン放出量に日周変動があるとする報告と、無いとする報告が混在している。日周変動の有無は、樹種や樹木の生育環境などに依る可能性が

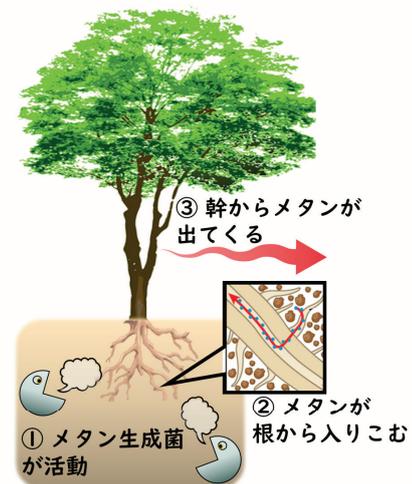


図1 湿地性樹木からメタンガスが出てくるメカニズムの模式図

あるが、我々の観測実験ではハンノキが展葉している5-11月にのみCH<sub>4</sub>放出量に日周変動が出現することを発見した。こうしたメカニズムの解明は、湿地性樹木が大気中のCH<sub>4</sub>濃度に与える将来的な影響を、植物学的なメカニズムもきちんと考慮したプロセスベースモデルで評価していくために、非常に重要な貢献となる。

我々はまた、大気圏・森林圏の相互作用に密接に関係する植物と微生物の相互作用に着目した研究を進めている。植物の根からは光合成で獲得した炭素のうち5~20%程度が土壌中に分泌される。これらの代謝物は根近傍領域である根圏の微生物の栄養源となる他、相互作用のシグナル分子としても機能する。これまでに、ダイズやトマト等の作物を用いて、根から分泌されるイソフラボン、サポニン等の植物特化代謝産物が根圏微生物叢の形成に働くことを見出し、これらの代謝物を介した相互作用が植物の生育に与える影響を圃場環境で解析してきた。本ユニットでは、対象とする植物特化代謝産物を揮発性化合物にも広げ、根から放出される揮発性化合物を採取・解析方法の確立と機能解析を行う。今年度は、圃場環境のトマト根圏で揮発性化合物の測定を行った。

### 3. 今後の展開

研究課題の推進に加えて、生存圏研究所の共同利用研究集会として「土壌・植物・大気を跨ぐ物質の循環と機能に関するワークショップ」を開催することを計画している。個別の所属学会ではなかなか出会う機会のない「大気」「森林」「土壌微生物」の研究者が一堂に会し、幅広く分野横断の議論と情報交換を行うことにより、各々の領域での先端知を“生存圏の物質循環”という俯瞰的視点からシームレスにとらえることを目指す。これにより、ユニークな切り口やベクトルを持った新しい生存圏科学の研究課題の萌芽が期待できる。同時に、こうした活動を通じて、生存圏研究所のアクティビティを学内外へ広く知って頂くことにより、生存圏科学のコミュニティ拡大を目指したいと考えている。

### 4. 成果発表

K. Takahashi, A. Sakabe, W. Azuma A., M. Itoh, T. Imai, Y. Matsumura, M. Tateishi, Y. Kosugi, Insights into the mechanism of diurnal variations in methane emission from the stem surfaces of *Alnus japonica*, *New Phytologist* (2022) 235: 1757-1766, doi: 10.1111/nph.18283

プレスリリース「木の中にガスパイプライン？ーガス漏れの場所を特定せよ！ー」, <https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2022-07-15>, 2022年7月15日

杉山 暁史, 作物頑健性に寄与する根圏ケミカルワールドの機能, 日本学術会議農芸化学分科会・植物科学分科会シンポジウム「SDGs 達成に向けた農芸化学の挑戦」, オンライン, 2022年11月29日. (招待講演)

## 先端計測技術開発ユニット

上田 義勝

京都大学 生存圏研究所

### 1. ユニットの研究理念

未来開拓研究センター 先端計測技術開発ユニットでは、計測技術を基礎として様々な研究テーマを設定し、課題解決を目指している。一般的に研究や教育には、計測は必須の技術であり、だからこそ幅広いテーマ設定が可能となる。ただし、研究・教育としての大きな目的を考えた場合（例えば環境改善など）、計測そのものは単なる手段になってしまうことが多い（大気汚染計測など）。そのため、目的と手段を混同することなく、理念としての目標をしっかりと定める事が、本ユニットとしての研究・教育活動にとってより重要であると考えている。

### 2. 研究課題

本ユニットでの研究課題については、目的に合わせた先端計測技術の利用、もしくはその開発を行い、分野横断型の研究課題を設定しながら、研究をすすめていく。現在のユニットとしての研究課題として、「人類生存圏の環境回復」を大きな目的として設定している。また、キーワードとしては「環境放射能（東日本大震災関連として）」「微細気泡」の2つを採択しているが、これらのキーワードに関わる課題として、生存圏科学共同研究からは6課題、また企業との共同研究もいくつか進めている。



図 1 現在のユニットのテーマ設定

### 3. 「手段」としての先端計測

各研究課題として取り組んでいる課題の報告については、主には生存圏科学共同研究の要旨としてまとめているが、本ユニットでは、特徴的な一つの新しい分野横断課題について紹介する。今年度は新しい分野横断型研究課題として、「微細気泡」の中でもさらに「プラズマ」と「微生物」を融合させたテーマを設定した。ここ数年は殺菌や消毒などは大変注目される単語であり、我々も初めは COVID-19 の殺菌・不活性化についてテーマを模索していた。一方で、各分野の研究者同士での議論を進めたところ[1]、微生物を不活性化するのではなく、微生物そのものを利用して環境応用に特化させる研究課題が新たに産まれる事となった。特に、環境負荷をかけずにマイクロプラスチック

クを分解する新規研究として、電気、化学、情報学、生命科学分野の研究者が一体となって進める形となり、本ユニットの新しい成果として紹介できるものとなっている。

#### 4. 今後の展開

その他、生存圏科学の今後の方針を考えるうえで、これまでの生存圏科学としての本研究所の活動をキーワード解析し、その傾向もまとめていきたい。今年度、言語の統計解析を利用して既に報告しているが、新しい生存圏科学の目的設定のため、この解析結果を発展させ、今後に繋がる研究課題として広げていきたい。

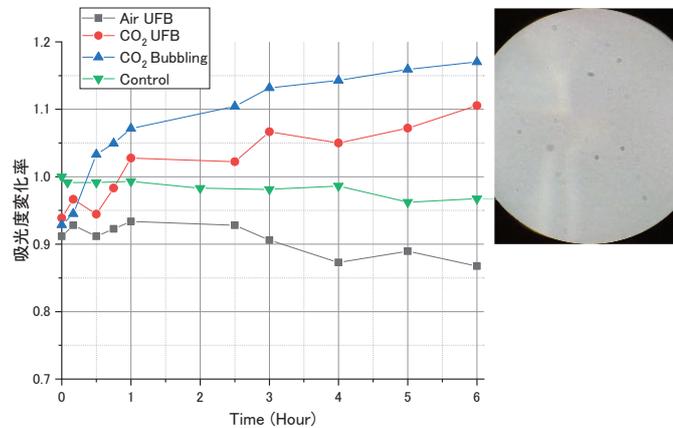


図 2 微生物の直接観測（右上写真）と、微生物気泡による微生物活性の変化（吸光度計測による）

#### 5. 引用文献

[1] 渡邊 崇人, 「生存圏科学における環境汚染物質分解細菌の有効利用 -廃プラスチック類分解のための模索-」, 第482回生存圏シンポジウム, 2022年10月28日

#### 6. 業績等

##### 投稿論文

Ueda, Y., et al., Fine soil particle aggregation in ultra-fine bubble irrigated paddy fields. *Water Supply*, 2022. 22(11): p. 7972-7981.

上田 義勝, 梅澤 俊明, 生存圏ミッション研究のキーワード統計解析, 京大生存圏研究所, 18, 35-45, 2022

##### 著書

上田 義勝, 佐藤 岳彦, 高木 浩一, 高橋 克幸, 泡の生成・消泡の基礎と産業利用(第9章 ファインバブルを用いた殺菌・ウイルス不活化), ISBN 978-4-7813-1677-2, 2022

##### 主な招待講演

Hideaki Ohgaki, Yoshikatsu Ueda, Environment-friendly water treatment by fine bubbles, Aiming for Environmental Friendly and Carbon Neutral System of Desalination and Water Treatment, Japan Pavilion Seminar, COP27, Nov 8, 2022

【基調講演】上田義勝, ファインバブルの基礎と応用 - 最新の研究事例について -, [モノづくり力徹底強化検討会] 入門ファインバブルセミナー, モノづくり日本会議 (日刊工業新聞社), 2022年9月21日

## バイオマスプロダクトツリー産学共同研究ユニットの取り組み

西村裕志、黒田慶子、斎藤香織、小林直子、南陽平、橋爪知弘、渡辺隆司  
京都大学 生存圏研究所

### 1. 研究概要

森林から土壌、河川、海洋そして大気、宇宙へと広がる生存圏において、地球環境と調和した産業の構築が切実に求められている。バイオマスプロダクトツリー共同研究ユニットでは、その中心を担う植物バイオマスからプロダクトツリーを創る技術開発を行う。木質バイオマスを温和な条件で溶解し、新素材、機能性製品を創る研究や、分子変換による機能性化合物の創出、精密な分子構造解析やバイオテクノロジーによる変換などに取り組む。2050年のカーボンニュートラル実現による新産業創出と豊かな森の恵みによる農林水産業の活性化を通じた地域環境、地域経済への貢献を目指した研究開発を進める。幅広い産官学の連携と、オープンイノベーションによって、バイオマスに新しい付加価値を創り、持続的で豊かな社会の創成に貢献する研究を行う。

### 2. 研究の背景と目的

生存圏未来開拓センターのバイオマスプロダクトツリー産学共同研究ユニットは、京都大学と株式会社ダイセルとの包括連携協定（2021年10月）のもと、共同研究拠点として京都大学宇治キャンパス内の化学研究所、エネルギー理工学研究所と協力して、学際的な研究領域の研究者が集い、産業界、地域社会と連携したハブ拠点形成を目的として設置、研究開発を推進している（図1）。



図1：バイオマスプロダクトツリー産学共同研究の概要図

### 3. 研究の結果および考察

研究成果の概要を以下①～②に記載する。

① リグニンは植物細胞壁を構成する主要成分で、地球上で最も多い芳香族高分子である。リグニンは細胞壁の二次壁内部および細胞間層に多く存在しており、多糖成分と密に相互作用している。針葉樹、広葉樹、草本系など多様な種類の試料を用いて、ギ酸などの有機酸を用いた温和な条件下での溶解により、木粉から成形体を作製した。成形体としては、モールド、フィルム、ペーパーなどである。図2に代表例を示す。ユーカリ由来のプラスチック様フィルムではアクリル樹脂に匹敵する強度を示した。

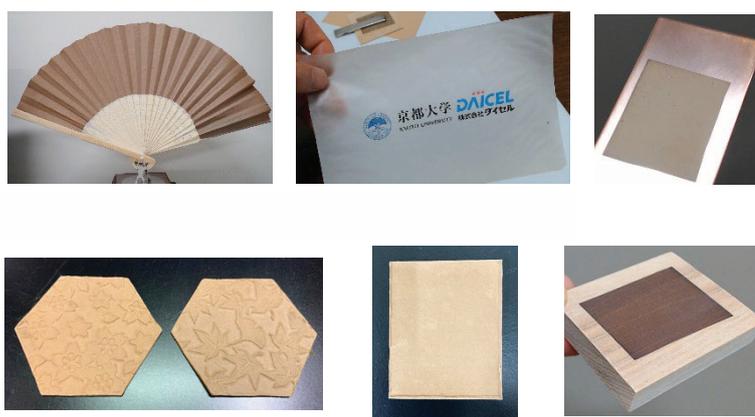


図2：溶解木粉からのウッドペーパー、ウッドモールドの創製

② 木質バイオマスに適用可能な、アミノ酸をベースとした安価で環境に優しい深共晶溶媒を新たに開発した。特に主成分であるセルロースの新規深共晶溶媒による溶解機構、分子量分布や化学構造変化の解析を行った。(Saito K. *et al.*, *Chem Lett*, 51, 407, 2022.) また、リグニンのオリゴマーモデル化合物である DHP の重合反応条件と分子構造に関する知見を詳細に解析した。反応スケール、pH、重合酵素活性、有機溶媒条件、Zutropf (ZT) モードと Zulauf (ZL) モードによる合成法について解析を行った。(Tokunaga Y. *et al.*, *Holzforchung*, 77, 51-62, 2022.)

#### 4. 今後の展開

バイオマスプロダクトツリー産学共同研究として、木質バイオマスや農業水産業における未利用バイオマスを有用な化学品や高機能な材料に変換し、自然と共生する低炭素社会の実現、地域活性化、新産業創出へ展開する。

## セッション1 生存圏科学と科学技術・イノベーション

生存圏未来開拓研究センター長 桑島 修一郎  
京都大学 生存圏研究所

### 講演概要

イノベーションの前提となる新結合を駆動する新たなテクノロジーへの期待から、イノベーションと科学技術政策との関係性は複雑にならざるを得ない。日本においても、1996年から始まる科学技術基本計画は、第3期までは重点分野へ集中投資することで日本が優位にある科学技術レベルをさらに高める方針から、第4期は社会課題の方に焦点が当てられはじめる。科学技術はそれら課題を解決する手段としての位置付けへと移り、第5期では Society5.0 に象徴されるように、科学技術政策のスコープは社会課題から国の将来像にまで拡張され、それを実現するための重要な基盤として科学技術に大きな期待が寄せられてきた。そして、第6期から科学技術・イノベーション基本計画に名称を変え、それまで科学技術政策の対象外であった人文・社会科学分野にまで対象を広げ、トランスフォーマティブ・イノベーション（社会変革をもたらすイノベーション）実現を目指すことになっている。第6期基本計画で言及されている、新たな知の体系「総合知」は、それ自体の定義は未だに明確とは言えないが、異分野融合や文理融合といった学際性が生み出す新たな価値に期待していることがわかる。

一方、大学と科学技術政策、特にイノベーション政策との関係性にも注視する必要がある。2000年代初頭までは、イノベーションは主に産業界を中心とした政策要素であったが、同時期に産業政策に導入された新しい概念であるオープン・イノベーションの影響もあり、2010年の文科省産学官連携基本戦略小委員会において、オープン・イノベーションのいち形態として産官学連携が位置付けられるようになる。

このような背景の中、本トピックでは、京大生存圏研究所において2004年の法人化以来進めてきた生存圏科学の確立について、科学技術・イノベーション政策の変遷との関係において考えてみる。

### 生存圏科学とは

人類の生存を支え人類と相互作用する場を「生存圏」と定義し、「生存圏」の現状を包括的に理解し、将来を予測して具体的な解決策（治療）を提示する学問「生存圏科学」を創成し、これを実践することをミッションとする。

一つの視点は、科学技術によるイノベーション創出への期待に対し、基礎研究から

イノベーション創出まで広範な役割を担う特定国立研究開発法人である理化学研究所に注目し、経営企画部長の斉藤卓也氏をお招きする。斉藤氏は、文科省地域支援・産業連携課長、徳島大学副学長を歴任し、現在は理化学研究所において、経営企画部長の他に、理事長室調査役、未来戦略室長、ダイバーシティ推進室参事という立場で、「大規模研究所におけるイノベーションマネジメント」について講演いただく。

もう一つの視点は、日本の産業界における研究開発とイノベーション創出との関係性について理解を深めるため、日本を代表する科学技術政策シンクタンクである公益財団法人未来工学研究所から小沼良直氏をお招きする。小沼氏は、東京ガスにおいて研究職を経た後、政策系シンクタンクにおいて、これまで数多くの国の調査事業を手掛けている。また、業種・業界を越えた産業界のネットワーク構築にも尽力してきており、そのネットワークを活かして、企業におけるイノベーション創出について本質的な課題を浮き彫りにしている。特に企業における研究開発の実態について膨大な知見を有しており、2010年度の経済産業省産業技術調査において、当時、過度な成果主義の影響により企業の研究開発が短期化傾向にあることを明らかにした。その結果は、経産省の大型研究開発プロジェクトである「未来開拓研究事業」（後の戦略的イノベーション創出プログラム（SIP））の実現に貢献した。今回は「企業を中心とするイノベーション創出と調査研究の課題」について講演いただく。

これら2つの講演を通じて、「生存圏科学」が対象とすべき課題を明らかにし、的確なイノベーションへのアプローチについて考える機会とする。

以上

## 生存圏科学の国際展開

### — 植物バイオマス利用研究における国際共同と国際連携 —

飛松 裕基

京都大学 生存圏研究所

#### 趣旨と概要

昨今、再生可能資源を用いたエネルギー・マテリアル供給システムの確立への希求が世界的に高まっています。様々な再生可能資源の中でも、化学物質（液体・固体燃料及び工業原材料）供給性を有するものは植物バイオマス資源（特にリグノセルロースバイオマス）を措いて現状ほかにはありません。近年、ゲノム科学における技術革新やバイオテクノロジーと IT（情報技術）との融合により、バイオテクノロジーが広範な産業の基盤を支える「バイオエコノミー社会」の実現が期待されています。バイオテクノロジーによる植物バイオマス利用のイノベーションに向けた基盤研究として、植物体内においてバイオマス成分が作り出されるメカニズムの解明やその人為的制御技術の開発に関わる基礎研究が世界各国で進められています。特に最近の生物系の植物バイオマス研究においては、進展著しい植物バイオテクノロジー（ゲノム解読、遺伝子産物の網羅解析、遺伝子組換え、ゲノム編集等）、タンパク質工学、バイオインフォマティクス、バイオマス構造解析技術等を併用して研究を進めることが必須となりつつあり、国内外の複数の研究グループが各々の強み（得意とする研究ツールや独自の研究リソース）を提供し合い協働的に研究プロジェクトを推進する必要性が増しており、必然的に、国際共同研究を推進する重要性が増しています。生存圏研究所においては、科学先進国をパートナーとした植物バイオマス利用に関わる先端的な国際共同研究を推進しています。また同時に、我が国におけるバイオマス生産利用の重要なパートナーとしてインドネシア他東南アジア諸国との連携も重視し、様々な国際連携事業（JST JASTIP や JST/JICA SATREPS 等）を通じて、植物バイオマス研究の国際共同研究拠点としての機能強化にも取り組んできました。

本セッションでは、生存圏研究所が進める植物バイオマス研究における国際共同研究の最近の事例を幾つか座長（飛松）から紹介するとともに、東南アジア諸国と進めているリグノセルロースバイオマスの持続的生産利用に向けた国際連携事業について梅澤俊明教授から紹介します。さらに、先鋭的な植物バイオマス研究を進めている理化学研究所環境資源科学研究センターの活動を同センター合成ゲノミクスグループディレクターの松井南博士から紹介していただきます。

## セッション3 レーダーによる大気リモートセンシング、その現状と未来

山本 衛

京都大学 生存圏研究所

### 1. 生存圏研究所における大気研究

本研究所における大気研究の中心にはレーダーによる大気リモートセンシングがあります。「大気を観測するレーダー」の源流は、1970年代における京都大学流星レーダーの研究開発でした<sup>1)</sup>。信楽の国有林内（現在の信楽 MU 観測所にほど近いところ）にレーダー本体を設置したトレーラーを持ち込み、周囲に八木アンテナを配置し、宿泊用の簡易ハウスを準備して泊まり込みで観測活動が行われました。MU レーダーが 1984年に完成し全国共同利用が開始されると研究環境が目覚ましく変わり、全国のみならず諸外国からも注目をあつめ、多くの研究者が集うことになりました<sup>2)</sup>。

MU レーダーは世界初のアクティブ・フェーズド・アレイ方式のレーダーという際立った特徴があり、研究成果も非常に大きいものであったため、2015年には優れた電気電子情報分野の開発や発明に与えられる IEEE マイルストーンを獲得しました<sup>3)</sup>。大気レーダーの開発は以後も継続され、2000年頃には小型の境界層レーダーが気象庁のウインドプロファイラー観測網に採用されました。2001年にはインドネシアに赤道大気レーダーが完成しています<sup>2)</sup>。

本研究所以外では、国立極地研究所と東京大学が共同で南極昭和基地大型大気レーダー計画 PANSY を実施中です（2012年ごろからデータ取得）<sup>4)</sup>。また国立極地研究所は、それに先立つ 1996年に名古屋大学と共同で EISCAT 科学協会に加盟し、北欧にある EISCAT レーダーの全国共同利用を開始しました<sup>5)</sup>。全体としてみると、我が国は、北欧・日本・インドネシア・南極と全世界にわたるレーダー観測網を有しています。さらに将来に向けて、図 1 に示すように、本研究所では赤道大気レーダーの感度と機能を飛躍的に向上する「赤道 MU レーダー」の設置を文部科学省に提案中です<sup>6)</sup>。また国立極地研では、次世代のレーダーシステムである「EISCAT\_3D レーダー」の設置を 6カ国の国際共同で進めています<sup>6)</sup>。

### 2. 特別セッションの内容

上記の状況を鑑みて、今回のミッションシンポジウムにおいては、限られた時間ではありますが、レーダーによる大気リモートセンシングの現在と未来についての理解を深めていただくことを企図して、関係者による招待講演をあつめた特別セッションを企画しました。

本セッションでは 5 件の招待講演を設定しました。冒頭には、本研究所の橋口浩

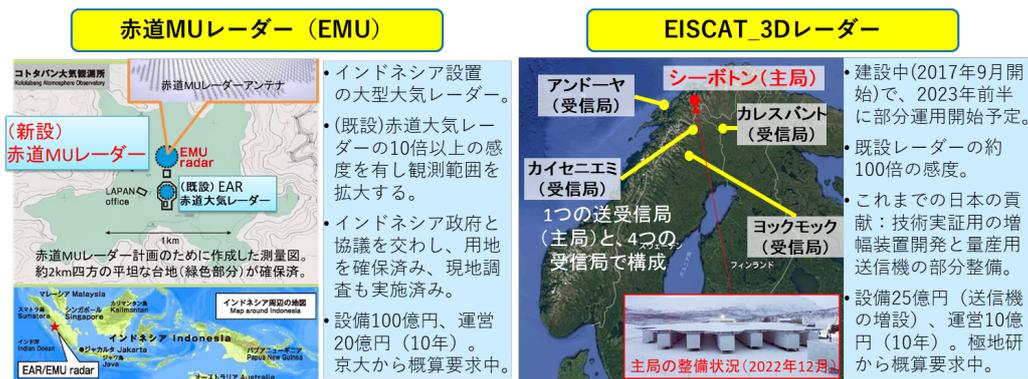


図1 赤道 MU レーダーと EISCAT\_3D レーダーの計画概要

之教授から、MUレーダーと赤道大気レーダーの現状についてのご報告をお願いしています。将来計画である赤道MUレーダーにも触れていただく予定です。2番目の講演は本研究所の横山竜宏准教授から、MUレーダーと赤道大気レーダーによる電離圏研究の状況をレビューしていただきます。3番目の講演は国立極地研究所の小川泰信教授から、いま国際共同で推進中のEISCAT\_3Dレーダー計画の現状と展望についてお話いただきます。最後の講演は国立極地研究所の堤雅基教授にお願いしました。高度60~100kmの中層大気の観測に強みを持つ中波レーダー(MFレーダー)を用いて先進的な流星飛跡エコー観測を実現し、これまでの常識を超えた品質の風データを得ておられますので、新しいレーダー観測技術としてご報告をいただく予定にしています。本セッションにおける講演と議論から、レーダーを用いた大気研究が活発に実施されている状況と将来計画を知っていただくことを期待しております。

### 3. 引用文献

- 1) 津田敏隆, 電波リモートセンシング技術による大気擾乱の観測的研究 - 2016年度日本気象学会藤原賞受賞記念講演 -, 天気, Vol.63, No.12, 945-955, 2016.
- 2) MUレーダーと信楽MU観測所, 赤道大気レーダー, [https://www.rish.kyoto-u.ac.jp/joint\\_usage-research\\_center/facilities2022/mu-ear2022/](https://www.rish.kyoto-u.ac.jp/joint_usage-research_center/facilities2022/mu-ear2022/)
- 3) H. Kawahigashi *et al.*, "History of Development of the MU (Middle and Upper Atmosphere) Radar, the First Large-Scale Atmospheric Radar with Two-Dimensional Active Phased Array Antenna System", 2017 IEEE HISTory of ELectrotechnology CONference (HISTELCON), Kobe, Japan, 2017, pp. 47-52, doi:10.1109/HISTELCON.2017.8535930.
- 4) 南極昭和基地大型大気レーダー計画PANSY, <https://pansy.eps.s.u-tokyo.ac.jp/>
- 5) 国立極地研究所 先端的レーダー研究推進センター, <https://www.arcc.nipr.ac.jp/>
- 6) 大型研究「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」, <https://www.rish.kyoto-u.ac.jp/scpsts/>

## 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

### 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展開・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、70年以上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わ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、とくに制限を設けずにデータを公開しており、年間4億アクセス、約400TB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4年度は15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4年度には24件をサポートし、今年度末までの累計は496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)
- 臼井英之 (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)
- 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)
- 渡邊隆司 (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)

## 生存圏アジアリサーチノード

梅澤俊明、Hubert LUCE、大村和香子、横山竜宏、渡邊崇人

### 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、チビノンにある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、バンドンの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。本年度は、主に以下の3サブ課題を実施しているが、インドネシアに於いてLIPIやLAPAN等がインドネシア国家研究イノベーション庁(BRIN)に改組されたこと、並びに当研究所に新センターが設置されたことを受け、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ARNシンポジウムを開催した。

#### (1) 熱帯バイオマスの生産・循環利用・環境保全共同研究

東南アジア地域は熱帯雨林をはじめ豊かな生態系を有しており、熱帯産早生樹などのバイオマスを高度に利用して、森林環境の保全・育成と新産業の創成、安心で安全かつ資源循環型社会の場を提供する大きな可能性を秘めている。インドネシアをはじめとする東南アジア地域の研究者と日本の研究者が連携し、熱帯バイオマスの特質を理解しつつ、有用熱帯植物の育種、生理活性物質の生産、バイオマスエネルギーの創出、木質材料の開発、機能性材料への変換を検討するとともに、熱帯材の劣化制御法や安価で高強度な木造住宅の建築法を開発することで、熱帯バイオマスの生産・循環利用・環境保全に貢献することを目指している。現在進行中のJASTIP-Netプロジェクトでは、熱帯バイオマスの有効利用法の研究を国内や東南アジア諸国の研究機関と推進した。SATREPS(熱帯荒廃草原の植生回復によるバイオマスエネルギーとマテリアル生産)では、インドネシア研究者との定期的なオンライン会議を通して共同研究を進めた。

#### (2) 赤道ファウンテン共同研究

赤道域で地表から放出される大気物質は、対流圏を循環しつつ積雲や巻雲の生成・発達に寄与し、さらに対流圏界面を通過して成層圏に噴出され中高緯度に広く輸送される。赤道対流圏を源泉とする大気波動は中層大気の特異な長周期・不規則変動を駆動する。電離圏では中性風によるダイナモ電場が地球磁場と相互作用してプラズマを噴き上げる。このような赤道域で特徴的な物質・エネルギーフローを「赤道ファウンテン」として総括的に

捉え、その変動が特に激しい熱帯アジア・西太平洋域で、西スマトラ州のコッタバンに設置された赤道大気レーダー拠点観測に加えて、広域ネットワーク観測、衛星データ、数値モデルを駆使して、その動態を解明し、全球に及ぶ大気変動を引き起こすメカニズムの解明を目指している。

なお、「赤道ファウンテン」は生存圏フラッグシップ共同研究の課題としても採択されており、その詳細については別途報告する。

### **(3) 生存圏データベースの国際共同研究**

生存圏科学においては、個別の研究成果を蓄積し相互参照を推進するデータベースの整備が重要である。「生存圏データベース」は研究所が蓄積してきたデータの集大成で、生存圏に関する様々な電子データや材鑑調査室の木質標本データから成る。電子データの年間のアクセス回数は1億回に達しており、ARNでもこれらを用いた国際共同研究のさらなる発展を目指している。生存圏データベースのうち独自に取得している一次データ（MUレーダー、EAR）をデータ記録装置（RAID, 140TB）にコピーし、データ管理用パソコンとともにインドネシア・バンドンにあるBRIN（旧 LAPAN）の研究センターに設置している。これにより、インドネシア国内からのアクセス性を向上させるとともに、データの保護を図っている。さらに、データ交換システムであるIUGONET（超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究）の機能を活用して、インドネシア国内で生存圏データベースの活用を進めた。IUGONETで開発されたデータ解析ソフトウェアは従来IDL（Interactive Data Language）ベースであったが、特に東南アジア域の研究者からの高い要望に応じて、MATLABベースの解析ソフトウェアがリリースされ、生存圏データベースの活用もより一層進むものと期待される。

## **2. 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回アジアリサーチノード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催で第4回同シンポジウムを開催した。2020年度は、新型コロナウイ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回同シンポジウムをオンライン開催した。2021年度も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、ANRシンポジウムをオンライン（Zoom）開催した。本年度は、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ARNシンポジウムを開催した。なお、例年、生存圏科学スクー

The 487th symposium on Sustainable Humanosphere  
**The 7<sup>th</sup> Asia Research Node Symposium on Humanosphere Science** — jointly with —  
**The 10<sup>th</sup> Sustainable Development Seminar**

**Virtual Symposium** December 21, 2022

**Welcome Speech**  
 (JST/WIB: 10:00-10:30/08:00-8:30)  
**Prof. Mamoru Yamamoto** (Director of RISH, Kyoto Univ., Japan)  
**Prof. Agus Haryono** (Deputy of BRIN, Indonesia)  
**Prof. Yasuyuki Kono** (Vice Chancellor of Kyoto Univ., Japan)

**The 7<sup>th</sup> Asia Research Node Symposium on Humanosphere Science**  
 (JST/WIB: 10:40-14:10/08:40-12:10)  
*Invited speakers:*  
**Prof. Shuichiro Kuwajima** (CF PH, RISH, Kyoto Univ., Japan)  
**Dr. Albertus Sulaiman** (BRIN, Indonesia)  
**Dr. Ratih Asmana Ningrum** (BRIN, Indonesia)  
**Dr. Akbar Hanif Dawan Abdullah** (BRIN, Indonesia)

**The 10<sup>th</sup> Sustainable Development Seminar**  
 (JST/WIB: 14:10-16:30/12:10-14:30)  
*Invited speakers:*  
**Ms. Ayumu Ohshima** (JICA, Japan)  
**Dr. Noersomadi** (BRIN, Indonesia)  
**Dr. Masaru Kobayashi** (Grad. Sch. Agric., Kyoto Univ., Japan)  
**Dr. Andes Hamurahy Rozak** (BRIN, Indonesia)  
**Prof. I Made Sudiana, M.Sc** (BRIN, Indonesia)  
**Dr. Safendri Komara Ragamustari** (BRIN, Indonesia)

**Closing Remarks**  
 (JST/WIB: 16:30-16:40/14:30-14:40)  
**Prof. Toshiaki Umezawa** (RISH, Kyoto Univ., Japan)

JST: Japan Standard Time; WIB: Indonesian Western Standard Time

**Organized by**  
 Academic Exchange Committee and Asia Research Node,  
 Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto Univ.  
**URL:** <https://www.rish.kyoto-u.ac.jp/am7>  
**Contact person:** Toshiaki Umezawa (tomezawa@rish.kyoto-u.ac.jp)

図 1. 第 7 回 ARN 国際シンポジウム／第 10 回地球規模課題セミナー（オンライン開催）

ル(HSS)および国際生存科学シンポジウム(ISSH)をインドネシアで LIPI とともに共同開催しているが、今年度はインドネシアにおける新型コロナウイルスの感染状況を考慮して中止とした。これに代わり、ARN シンポジウムと併催する形で、第 10 回地球規模課題セミナー[10<sup>th</sup> Sustainable Development Seminar (SDS)]を実施し、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。

### 3. キャパシティビルディング

研究プロジェクト (JASTIP, SATREPS 等) に関連したキャパシティビルディングとしてセミナー等を実施した。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他、インドネシアの LIPI バイオマテリアル研究センターや LAPAN バンドン研究センターに双方向配信した。インドネシア

側からの参加者は毎回それぞれ 10 名を超え、多くの質疑が交わされ、有益な時間となった。数年前からオンラインセミナーを開催してきており、出張が困難なコロナ禍の状況でもセミナーを定期開催することができた。

赤道大気観測に関するキャパシティビルディングの一環として、例年、研究所スタッフがインドネシアを訪問し、インドネシア国内から研究者を招へいして、赤道大気レーダーやラジオゾンデによる観測実習などを実施してきた。新型コロナウイルス感染症拡大による渡航制限のためにしばらく中止していたが、今年度は BRIN の研究者 2 名を研究所に招へいし、赤道大気レーダーのデータ解析演習を実施した。

#### 4. 今後の計画

今後も、生存圏アジアリサーチノードに関する国際シンポジウムを開催し、アジア諸国、欧米諸国、日本国内の様々な研究機関から共同研究者や大学院生を招へい（あるいはオンライン参加）し、生存圏科学の国際展開を議論して、新たな国際共同研究の発掘と国際研究コミュニティの拡大、国際的な若手人材の育成、アジアリサーチノード機能の拡大を目指したい。また、Web 会議システムを用いて英語による講義・セミナーなどを積極的に配信し、現地での会議を補うものとしても活用していきたい。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を継続するとともに、生存圏データベースの国際化をより推進するための講義・セミナーなどの実施も検討したい。

## 熱帯植物バイオマスの持続的生産利用に関する総合的共同研究

梅澤俊明

京都大学 生存圏研究所

### 1. 研究組織

代表者氏名：梅澤俊明（京都大学 生存圏研究所）

共同研究者：梅村研二（京都大学 生存圏研究所）

畑 俊充（京都大学 生存圏研究所）

大村和香子（京都大学 生存圏研究所）

渡邊隆司（京都大学 生存圏研究所）

飛松裕基（京都大学 生存圏研究所）

小林 優（京都大学 大学院農学研究科）

坂本正弘（京都大学 大学院農学研究科）

サフェンドリ コマラ ラガムスタリ（インドネシア研究イノベーション庁）

### 2. 研究概要

バイオエコノミー時代に在って、化石資源に代わり再生可能資源に対する依存度を上昇させることへの必然性は、既に世界的共通認識となっている。熱帯地域における木質バイオマス生長量は温帯域のそれをはるかに上回っており、熱帯木質バイオマスの効率的生産利用が、再生可能資源依存型社会において極めて重要となる。本共同研究では、従来生存圏研究所で過去30年以上蓄積してきた熱帯人工林に関する個別の成果に基づき、熱帯木質バイオマス資源の持続的生産利用基盤の確立を最終目的として総合的研究を実施している。

### 3. 研究の背景と目的

[背景]

世界の年間木材（リグノセルロース）利用量は約20億トンと見積もられており<sup>1)</sup>、非木材系（主としてイネ科バイオマス植物）のリグノセルロース（木質）生産量は36億トンと見積もられている<sup>2)</sup>。世界の原油使用量が41億トン／年程度であるので、木材生産量は原油使用量を凌駕する。一方世界の人工林からの用材生産量は全生産量の半分に満たず、未だ天然林からの大量の用材取得は続いている。今後天然林伐採は一層厳しく制限され、さらに、バイオマスリファイナリー構築のため、現在の木質需要に上積みし、バイオマスリファイナリー仕向け分を増産する必要がある。そこで、単位面積当たりの収量の高いバイオマス植物種の植林・栽培や、単位面積収量増加、荒廃・未利用地における持続的植林・バイオマス生産などの技術革新が必須となる。すなわち、アグロフォレストリーを含めた生態

的に多様なバイオマス持続的生産系の確立、植栽樹種の多様性の増大、耐病性個体の育種・選抜、病害抵抗性且つ高生産性の樹木やイネ科バイオマス植物の増産など、持続的生産・利用と周辺地域の環境保全、さらに我が国へのバイオマス輸送方法の確立、我が国における消費システムの確立に向けた様々な技術革新などが求められる。加えて、言うまでもなく、これらに加えてバイオマス生産地域住民の利益向上を図る必要がある。

熱帯地域は温帯地域に比べはるかに木質バイオマスの生産性が高いが、熱帯産業造林は未だ持続的施業技術確立の途上にあり、樹病の発生など持続性の問題が急速に顕在化してきている。さらに、熱帯天然林の伐採跡地は、略奪的な焼畑耕作が無秩序かつ短期間に繰り返された結果、イネ科のアランアラン（チガヤ、*Imperata cylindrica*）を主体とする荒廃草原が大規模に広がっている。東南アジア全体の荒廃草原は 3500 万 ha（内、インドネシアは 1000 万 ha）に上る。天然林伐採によるバイオマス生産を厳しく制限し、すでに成立してしまっている荒廃草原をバイオマス生産地に転換することが極めて重要である。

バイオマス生産性に関して、樹木（年間で最大 20 ton ha<sup>-1</sup>程度）よりイネ科の大型バイオマス植物（年間最大 100 ton ha<sup>-1</sup>）の方が数倍高い<sup>1)</sup>。この荒廃草原に、年間 100 ton ha<sup>-1</sup>の生産性を有するイネ科バイオマス植物（ソルガム）を植栽すると、単純計算であるが、年間 35 億トンという世界の原油消費量に比肩する数値が得られる。この数値は変換効率他を全く無視した単なる計算値であるが、イネ科バイオマスの重要性並びに荒廃草原の持続的活用の重要性を示していると言える。加えて、イネ科バイオマス植物は、リグノセルロース成分の分離特性が木材系リグノセルロースに比べて高く、将来的なバイオマスリファイナリー利用に適すると考えられる<sup>1)</sup>。さらにイネ科バイオマス植物では、穀物、ショ糖、飼料の生産も可能であり、生産に携わる地域住民の短期的な利便にも資するところが大きい。

以上のように、熱帯地域における持続的木質バイオマス生産には、人類が持続的に生存を続けるうえで必須の資源の生産という課題解決のみならず、地域住民の経済振興のような社会問題など生存圏全体に関わる様々な課題の開設に資する。そして、本研究の方向性は科学技術イノベーション（STI）に基づく持続可能な開発目標（SDGs）の達成や社会的共通資本（SCC）の構築にも資するものであり、バイオエコノミーの概念にも適合する。

#### 4. 研究の結果および考察

本年度は、昨年度に引き続き、（国研）科学技術振興機構（JST）／（独）国際協力機構（JICA）の地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）傘下の熱帯荒廃草原の植生回復によるバイオマスエネルギーとマテリアル生産に関する国際共同研究・政府開発援助プロジェクト研究をインドネシア国家研究イノベーション庁（旧インドネシア科学院）と共同で推進した。本年度は最終年度として 7 月中旬まで実施した。5 月には 3 年ぶりにインドネシアに渡航し、JICA による最終評価会に臨んだ。また、7 月には JST による最終評価会（遠隔開催）に臨んだ。令和 4 年 12 月 22 日には、第 13 回熱帯バイオマスフラグシップシンポジウム The 13th Tropical Biomass Flagship Symposium（第 488 回生

存圏シンポジウム) (The 488th Symposium on Sustainable Humanosphere)を Zoom による遠隔会議方式にて開催した。このシンポジウムでは、当所の SATREPS プロジェクトに加え、アジア・アフリカを対象地域とした植物バイオマス・食糧生産関係の SATREPS プロジェクト関係者が参集し、プロジェクトの紹介を行うと共に、総合討論により共通する問題点の解決や新たな研究の方向性の立案に資する議論を行った。

個別の研究としてアランアラン草原における栽培を最終目的とし、大型イネ科バイオマス植物のリグノセルロースの解析と高発熱型リグニンを有するイネ科熱帯バイオマス植物の分子育種に関する研究を一層進めた。これらの成果の一部は総説等で公表すると共に学会等で発表した。さらに、本年度は農産廃棄物のオイルパーム幹などを原料に用い、その成分を活かした接着技術を用いて優れた物性を有する木質材料の開発を行った。さらに、天然系接着剤の開発についても検討した。また、木材害虫による研究も継続し、特に木材穿孔害虫による木材の食害機構、特に腸内共生微生物による木材成分の分解機構について検討し、成果の一部を公表した。さらに、インドネシア及び日本に分布するイエシロアリ属兵蟻の体表における体毛分布の種間差と微細構造を明らかにした。同じく両国に生育する早生広葉樹チャンチン (*Toona sinensis*) 心材のシロアリ及び木材腐朽菌に対する抵抗性を精査した。一方、熱帯バイオマス、未利用バイオマスの変換法および化学品、機能性材料、バイオ燃料への利活用に関する研究を JASTIP、e-Asia プロジェクトなどを通じた東南アジア諸国との国際共同研究により推進した。

## 5. 今後の展開

個々の研究の一層の継続により、持続型社会の構築に資する有機物資源の環境対応型持続的生産利用システムの確立に向けて、展開を図る。

## 6. 引用文献

- 1) Umezawa, T., Lignin modification *in planta* for valorization, *Phytochem. Rev.*, **17**, 1305-1327, 2018.
- 2) Tye, Y.Y., Lee, K.T., Abdullah, W.N.W., Leh, C.P., The world availability of non-wood lignocellulosic biomass for the production of cellulosic ethanol and potential pretreatments for the enhancement of enzymatic saccharification *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **60**, 155-172, 2016.

## 7. 付記

B. Wikantyoso, T. Imai, S. Khoirul Himmi, Sulaeman Yusuf, T. Hata and T. Yoshimura, Ultrastructure and distribution of sensory receptors on the nonolfactory organs of the soldier caste in subterranean termite (*Coptotermes* spp.), *Arthropod structure & development*, **70**, 101201 (2022)

Andri Fadillah Martin, Yuki Tobimatsu, Pui Ying Lam, Naoyuki Matsumoto, Takuto Tanaka, Shiro Suzuki, Ryosuke Kusumi, Takuji Miyamoto, Yuri Takeda-Kimura, Masaomi Yamamura, Taichi Koshiba,

Keishi Osakabe, Yuriko Osakabe, Masahiro Sakamoto, Toshiaki Umezawa, Lignocellulose molecular assembly and deconstructions of lignin-altered CALDOMT- and CAD-deficient rice mutants, *Plant Physiology*, 191, 70-86 (2023)

Reza Ramdan Rivai, Takuji Miyamoto, Tatsuya Awano, Arata Yoshinaga, Shuoye Chen, Junji Sugiyama, Yuki Tobimatsu, Toshiaki Umezawa, Masaru Kobayashi, Limiting silicon supply alters lignin content and structures of sorghum seedling cell walls, *Plant Science*, 321, 111325 (2022)

梅澤俊明, リグニン代謝工学によるイネ科バイオマス植物の育種 -リグニンの量と構造の改変-, *化学と生物*, 60, 565-572 (2022)

梅澤俊明, 再生可能バイオマス資源の形成と利用, *京都大学環境報告書 2022*, pp. 29 (2022)

Rahma Nur Komariah, Ni Putu Ratna Ayu Krishanti, Tsuyoshi Yoshimura, Kenji Umemura, Characterization of Particleboard Using the Inner Part of Oil Palm Trunk (OPT) with a Bio-based Adhesive of Sucrose and Ammonium Dihydrogen Phosphate (ADP), *BioResources*, 17(3), 5190-5206 (2022)

Firda A. Syamani, Agus Z. Arifqi, Sasa S. Munawar, Sudarmanto Sudarmanto, Lilik Astari, Kurnia W. Prasetyo, Mohamad Gopar, Ismadi Ismadi, Sukma S. Kusumah, Mohd. H. Hussin, Subyakto Subyakto, Yusuf S. Hadi, Kenji Umemura, Utilization of Citric Acid as Bonding Agent in Sembilang Bamboo (*Dendrocalamus giganteus* Munro) Particleboard Production, *Indonesian Journal of Forestry Research* 9(1):99-120 (2022)

Nguyen, H., Kondo, K., Yagi, Y., Iseki, Y., Okuoka, N., Watanabe, T., Mikami, B., Nagata, T. and Katahira, M. (2022) Functional and structural characterizations of lytic polysaccharide monoxygenase, which cooperates synergistically with cellulases, from *Ceriporiopsis subvermispora*, *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 10(2), 923-934.

Chotirotsukon, C., Sadat M. R. Khattab, Kobayashi, N., Katahira, M., Laosiripojana, N., Champreda, V., Watanabe, T. (2022) Microwave-accelerated glycerolysis of sugarcane trash using Lewis acid, AlK(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, for bioethanol production, *Ind Crops Prod*, 190, 115849.

Bramantyo Wikantyo, Tomoya Imai, Wakako Ohmura : Morphology and Ultrastructure Analysis of Soldier Caste Sensory Receptors (Sensilla) in Subterranean Termite (*Coptotermes*, Isoptera), *Abstracts of 34<sup>th</sup> Annual Meeting on Japan Environmental Entomology and Zoology*, 50 (2022)

Raufelina Febriama, Wakako Ohmura: Decay and Termite Resistance of Microwave Extract of *Toona sinensis*, *Abstracts of 34th Annual Meeting on Japan Environmental Entomology and Zoology*, 51 (2022)

Toshiaki Umezawa, Grass lignin metabolic engineering for sustainable lignocellulose valorization, *The 20th IUFRO Tree Biotech and the 2nd Forest Tree Molecular Biology and Biotechnology (FTMB) Conference*, Harbin, Jul 7-9, 2022

梅澤俊明, 植物バイオマスのエネルギー利用, *グリーンエネルギーファーム産学共創パートナーシップランチセミナー*, 京都 (オンライン), 2022年12月3日.

梅澤俊明, リグノセルロースバイオマスの持続的生産・利用にむけて -化学・代謝工学の観点から-, 第73回日本木材学会大会 (福岡大会) 一般公開シンポジウム森林と木材が拓くネガティブエミッションの新世界, 2023年3月14-16 (15)日 (発表予定)

# マイクロ波応用によるエネルギーの 輸送・物質変換共同研究

篠原真毅

京都大学 生存圏研究所

## 1. 研究組織

代表者氏名：篠原真毅（京都大学 生存圏研究所）

共同研究者：渡辺隆司（京都大学 生存圏研究所）

三谷友彦（京都大学 生存圏研究所）

今井友也（京都大学 生存圏研究所）

畑 俊充（京都大学 生存圏研究所）

渡邊崇人（京都大学 生存圏研究所）

西村裕志（京都大学 生存圏研究所）

真田 篤（大阪大学）

西川健二郎（鹿児島大学）

堀越 智（上智大学）

塚原保徳（大阪大学）

樫村京一郎（中部大学）

椿 俊太郎（九州大学）

松村竹子（ミネルバライトラボ）

## 2. 研究概要

本共同研究の目的は、通常は通信やレーダーで用いられるマイクロ波を、エネルギーとして利用し、ワイヤレスのエネルギー輸送(マイクロ波送電・ワイヤレス給電)や、マイクロ波加熱による物質変換(木質バイオマスからのバイオエタノール、バイオケミカルス生成の高効率化、及び無機系の材料創生)である(図 1)。本共同研究は、生存圏研究所の特色を生かし、マイクロ波工学と化学研究者、及び物質構造解析の研究者が参加することにより、マイクロ波エネルギー応用科学の発展と応用技術開発を目指す。本共同研究は、研究所でこれまで行なわれてきたフラグシップ共同研究「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」を発展させたものである。本共同研究やこれまで ADAM 共同利用やミッション 2 研究とリンクして行なわれてきたが、今後はさらに METLAB 共同利用やミッション 5-2 等とも協力を深め、生存圏科学の展開を目指す。

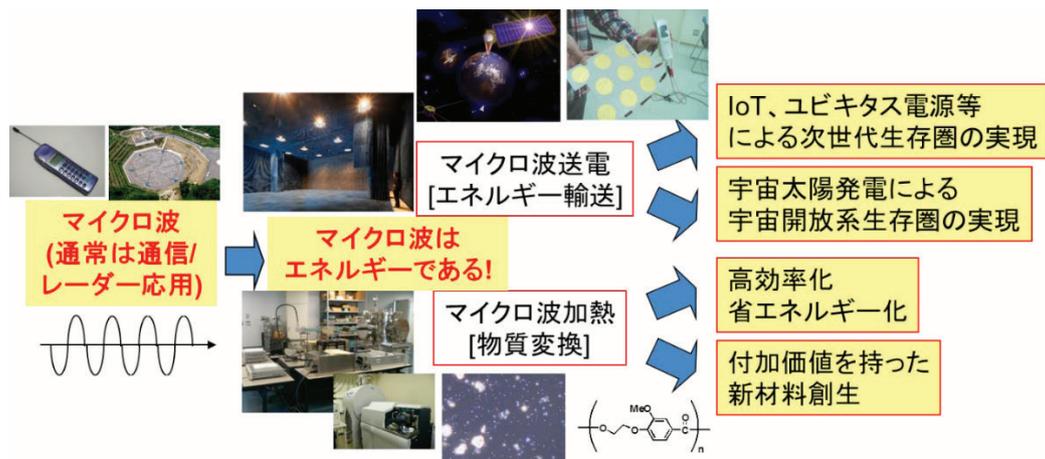


図1 本フラッグシップ共同研究の全体図

### 3. 研究の背景と目的

これまでのフラッグシップ共同研究では研究所のミッション2やADAM全国共同利用をベースとし、マイクロ波を用いたバイオマス・物質変換の研究を推進してきた。その研究は日本電磁波エネルギー応用学会の活動にも影響を与え、NEDOやCREST等大型研究プロジェクトへと繋がってきた。今後さらにこの共同研究を発展させるべく、マイクロ波のエネルギー的な応用へと範囲を広げ、マイクロ波無線送電等の研究も合わせ、新しい研究領域としてマイクロ波応用によるエネルギーの物質輸送・変換共同研究の確立を目指すべく活動を行なう計画である。このような包括的な取り組みは世界的にも珍しく、生存圏科学ならではの領域設定である。

H23.4-R4.1の主な研究活動の成果は以下の通りである。

[国際] IEEE Wireless Power Transfer Week 設立(2011-)と運営。IEEE MTTTS Technical Committee 26 (現25) 設立(2011)と運営(Chair, 2018-2019)。IEEE MTTTS WPT Initiative 設立と運営(2020-)。IEEE MTTTS AdCom Elected Member (2022-)。IEEE WPT Initiativeの設立と運営(2023-)。URSI (Union of Radio Science International) commission D chair (2021-)。国際論文誌Wireless Power Transfer 発刊(2013-)と運営(Executive Editor)。IEEE MTTTS Distinguish Lecturer(DML; 2016-18)(世界で10名程) 2016-2018で世界中で54回のDML実施。

[国内] 電子情報通信学会WPT研初代委員長(2014-2015)。SSPS学会設立(2014)と運営(理事長, 2022-)。日本電磁波エネルギー応用学会理事長(2018-2020)、理事

[学外] 日本学術会議第24-25期URSI分科会特任連携会員。日本学術振興会・電磁波励起反応場R024委員会 設立メンバー・委員 (2020- 旧188委員会(2014-2019))。

(財)J-Spacesystems (旧USEF) 太陽光発電無線送受電技術委員会 委員長(2009-)。(独) 科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業研究領域「微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出」(CREST・さきがけ複合領

域) アドバイザー (2015-2022)。(独) 科学技術振興機構(JST) 「IoT、ウェアラブル・デバイスのための環境発電の実現化技術の創成」(研究成果最適展開支援プログラムA-STEP) 領域アドバイザー (2015-2021)。ワイヤレス電力伝送実用化コンソーシアム 代表 (2013-)。ワイヤレス パワーマネジメントコンソーシアム 代表 (2013-)。有機太陽電池研究コンソーシアム 幹事 (2013-)。一般社団法人 海洋インバースダム協会理事 (2014-)

等

#### 4. 研究の成果

今年度は以下の大きな研究プロジェクトに関連して研究を行なった。

- ・ 2018-2022 年度 内閣府(JST、NEDO 等)戦略的イノベーション創造 プログラム (SIP) 「IoE (Internet of Energy) 社会のエネルギーシステム」に参加し、その中のビーム型ワイヤレス給電(WPT)の研究を行う「ドローン WPT システム (代表: 東京電力 HD 濱田浩氏)」のグループのメンバーとして研究開発を開始した。京都大学ではビーム方向を制御できる高効率フェーズドアレーアンテナの開発や高効率小型受電整流アンテナ (レクテナ) の開発、新しいビームフォーミング手法の開発を行いつつ、実用化のための既存システムとの共存検討評価を行った。SIP 全体としてワイヤレス給電が CO<sub>2</sub> 削減にどれほど寄与できるかの定量的な評価を行い、エネルギーマネジメントとワイヤレス給電の組み合わせによって大幅な CO<sub>2</sub> 削減効果があることを示した。また、本研究の成果の一部を利用して、空間伝送型ワイヤレス給電に関する電波法の省令の改正が 2022 年 5 月 26 日に行われ、ワイヤレス給電が世界で初めて適法化され、ビジネスを始めることができるようになった。京都大学が関係する(株)Space Power Technologies 社も免許を受け、ビジネスを展開している。
- ・ 2021 年度- 現在 NICT 受託研究「完全ワイヤレス社会実現を目指したワイヤレス電力伝送の高周波化および通信との融合技術」(ソフトバンク、京都大学、金沢工業大学)において、B5G/6G へのワイヤレス電力伝送 (WPT) 拡張機能実装を目指し、2025 年までにミリ波ワイヤレス電力伝送とミリ波通信の連携・融合の基礎検討を完了し、爆発的普及が見込まれる IoT デバイスへの電力利用インフラ構築の礎とすることを目標として研究開発を行っている。京都大学では 28GHz 簡易型フェーズドアレーアンテナシステムの開発を目指し、簡易アレーアンテナの開発、新しい位相制御アルゴリズムの提案と実証、低損失小型移相器の開発をと行っている。
- ・ 2018 年 6 月に京都大学イノベーションキャピタル株式会社を引受先として第三者割当増資等を実施し、マイクロ波無線電力伝送を事業とするベンチャー会社翔エンジニアリングを設立した。さらに次の発展を目指すために、開発リソースの集中

を目的として商品開発と受託事業を別会社として独立運営することを決断し、翔エンジニアリングを子会社化して、新たに親会社としてスペースパワーテクノロジー社を2019年5月9日に設立し、発展的改組を行った。平行して増資も行った結果、イノベーション京都2016投資事業有限責任組合、合同会社K4 Ventures、イノベーションC投資事業有限責任組合、京都市スタートアップ支援投資事業有限責任組合等から増資を受けることとなり、現在で資本金1億円のベンチャー会社となった。研究所教授は顧問としてこのベンチャー企業の運営に関与する。

- ・2014-2024年度NEDO・ISMA大型プロジェクト・革新的構造材料における「チタン製錬におけるマイクロ波技術応用の探索」において、中部大学との連携のもとで、合理的な加熱用途マイクロ波技術を開発した。大手鉄鋼メーカーと技術成果の社会実装に向けた検討を開始した。
- ・加熱応用を目的としたマイクロ波照射技術を開発し、セラミクス・粉末冶金・建設分野における新しい適用例を開拓した。得られた基礎学理を専門誌にて公開し、マイクロ波加熱技術の材料創成用途の開発に貢献した。また、マイクロ波と材料間の電気的な相互作用を材料合成に応用する学派（東京医科歯科大・材料研、京大・化研など）と加熱作用を材料合成に応用する学派（電磁波エネルギー応用学会、学振R024委員会(旧188委員会)など）との研究交流を推進し、マイクロ波を用いた新規な材料合成の流れ創出に寄与した。
- ・マイクロ波反応をバイオマス変換に応用する産学連携研究を推進し、様々なマイクロ波反応装置を設計開発するとともに、大型マイクロ波反応装置を備えたバイオマス変換ベンチプラントを建設した。また、バイオマスからバイオエタノールや機能化学品を生産するプロセスを開発し、ベンチプラントで実証実験を行った。さらに、マイクロ波によるバイオマス変換プロセスを組み込んだタイ、インドネシア、ラオス、日本の4カ国からなる国際共同研究e-Asia研究を実施するとともに、マイクロ波反応によりバイオマスから抗ウイルス物質や抗腫瘍物質を生産する医農連携研究を進め、論文を出版した。

（主な外部資金プロジェクト）

NEDO バイオマスエネルギー先導技術研究開発（H17-H20）選択的白色腐朽菌・マイクロ波ソルボリシスによる木材酵素糖化前処理法の研究開発

NEDO バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発（H24-H26）木質バイオマスからの高効率バイオエタノール生産システムの研究開発

NEDO 新エネルギーベンチャー技術革新事業（H26）建築廃材からのバイオエタノール生産の技術開発

NEDO 非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発（H24-R1）木質バイオマスから各種化学品原料の一貫製造プロセスの開発

CREST プロジェクト（H23-H28）電磁波応答性触媒反応を介した植物からのリグ

ニン系機能性ポリマーの創成

NEDO 先導研究プログラム (H30) 分子触媒システムによる木質バイオマス変換プロセスの研究開発

ALCA プロジェクト (H27-H31) 海洋微生物酵素群によるリグニン分解高度化と人工漆材料への展開

e-Asia プロジェクト (H31-R4) サトウキビ収穫廃棄物の統合バイオリファイナリー

他にも多数の共同研究や受託研究を行なっている。

## 5. 今後の展開

これらの活動を統括し、「マイクロ波応用によるエネルギーの輸送・物質変換」領域を確立する。マイクロ波のエネルギー利用、加熱や無線送電の利用のためには生存圏科学をベースとした国際連携が不可欠である。マイクロ波を含むすべての電波利用は国際的に割り当てが決まっており、商用化を進めようとするとう電波法の壁に当たる。工学系の科学技術の発展は個別研究や学会の発展だけでは難しく、産業界の支えが必須であり、産業発展のためには国際連携が必要となる。具体的には現在 International Telecommunication Union (ITU) での無線送電の議論に当研究所から日本代表として参加しており、この活動をさらに広げることが生存圏科学の発展に繋がる。ITUでの議論のために米国IEEE学会や米国ベンチャー企業、中国の関係研究機関等とも連携を図っている。また大阪大発ベンチャーであるマイクロ波化学とも連携し、マイクロ波加熱の実用化を促進している。このように、マイクロ波のエネルギー応用のために学会のみならず産業界とも連携し、国際化をはかり、法整備を目指しつつのイノベーションを目指す。

## 生存圏フラグシップ共同研究 「バイオナノマテリアル共同研究」

矢野浩之

京都大学 生存圏研究所

### 1. 研究組織

代表者氏名：矢野浩之（京大大学生存圏研究所）

共同研究者：中坪文明（京大大学生存圏研究所）

：阿部賢太郎（京大大学生存圏研究所）

：田中聡一（京大大学生存圏研究所）

：白杵有光（京大大学生存圏研究所）

：北川和男（京都市産業技術研究所）

：仙波 健（京都市産業技術研究所）

（他 50 名）

### 2. 研究概要

セルロースナノファイバー（CNF）は、植物が陸に上がる何億年も前から、地球環境における炭素循環システムの一翼を担う形で作り上げてきた軽量・高強度のナノ繊維である（図1）。その持続性、資源的豊富さ、製造過程でのCO<sub>2</sub>固定を考えると、CNFは石油由来の素材に代わり21世紀の社会を支える高性能素材となるであろう。温室効果ガス2050ゼロエミッションの達成に向けて、その産業的利用にますます多くの関心が集まっている。

鋼鉄の1/5の軽さで5倍強く、カーボンニュートラルなナノ繊維であるCNFは、樹脂補強用フィラーとしての期待が大きい。しかし、実のところ強い親水性を有するCNFは、最終製品においてその優れた特性を発現させることが難しい。原料木材に関する知識から始まり、パルプ化の手法やその解繊技術、化学変性技術、樹脂組成を含む複合化技術、樹脂成型品の射出成形や押出成形、ブロー成形といった加工技術等、まさに森林から街までの長い距離を走りぬく幅広い専門性が求められる。

京大大学生存圏研究所では、京都市産業技術研究所と共同で2004年から生存圏シンポジウムやナノセルロース塾などを通じて、CNFの構造用途に関する複数の大型プロ

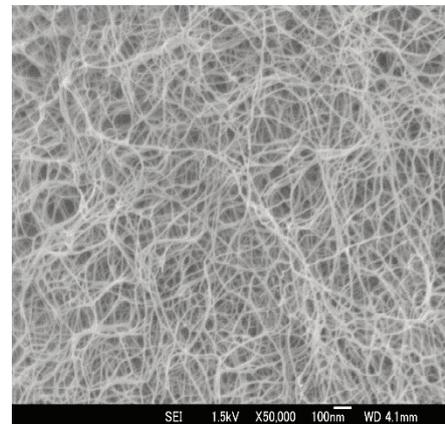


図1 木材細胞壁中のセルロースナノファイバー。

図中のバーは100nm。

プロジェクトの成果を透明 CNF 材料や食品・化粧品添加用 CNF などに関する国内外の最新研究とともに紹介してきた。また、多くの企業と産学共同研究の実績を積んできた。このような活動が評価され、2020 年度から始まった経済産業省事業地域オープンイノベーション拠点選抜制度において”京都大学バイオナノマテリアル共同研究拠点“は CNF 材料の開発、社会実装に関するオープンイノベーションを支援する拠点に選抜され、2003 年度からの延長も決まった。本稿では、その活動について紹介する。詳細については本拠点の HP(<https://www.rish.kyoto-u.ac.jp/bionanomat/>)を参照いただきたい。

本拠点の主たる活動は、①ナノセルロース塾、ナノセルロースシンポジウム、NEDO 講座を通じた普及活動、②複数の大型プロジェクトで構築した CNF 材料に特化した“バイオナノマテリアル製造評価システム”を活用する生存圏研究所全国共同利用活動、③経産省や環境省の大型プロジェクトによる産学共同研究、④企業や公的研究機関を対象とした技術相談である。これらの活動をナノセルロースジャパンや地域の CNF 拠点と連携して行っている（図 2）。以下に各活動について紹介する。

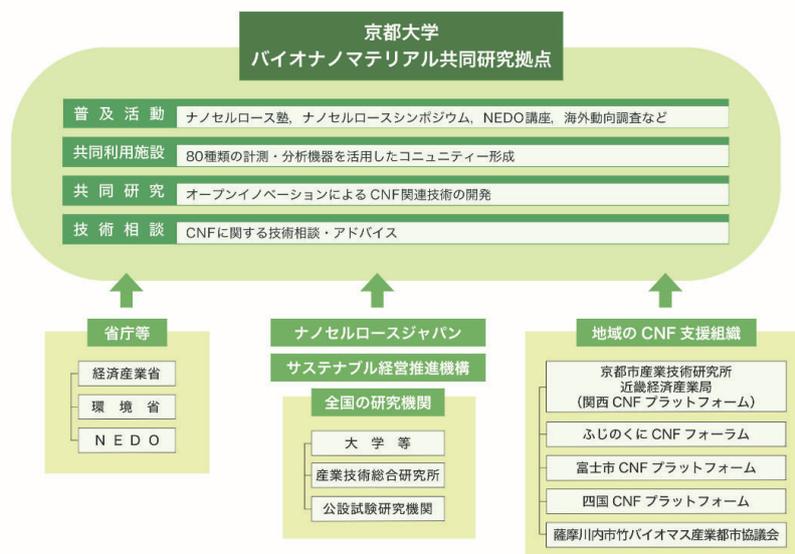


図 2 京都大学バイオナノマテリアル共同研究拠点

### 3. CNF 普及活動

CNF 材料に特化したシンポジウムとして 2004 年からナノセルロースシンポジウムを毎年開催している。世界的に見ても最も古くから行っている CNF 普及活動である。最初は 100 数名の参加者で始まったが、年ごとに参加者が増え、会場を拡大し、現在は対面とオンラインのハイブリッド形式で毎回 800 名を越える参加者を得ている。過去 10 年のシンポジウムについては、講演要旨を本拠点のホームページに掲載している。

4 年前からは、CNF 関連企業がオープンイノベーション活動を円滑に進める場づくりとしてオープンイノベーション“ナノセルロース塾”を開講している。こちらは

100名の定員で、年6-8回の講義をCNF以外の異分野技術に関する専門家も招聘することで、異なる技術領域との融合や複合によりCNFの新たな活用に関するヒントを得る場としている。本塾の特徴は、その半分を受講者からのプレゼンテーションの時間とし、将来の共同研究開発等のシーズ開拓やマーケット開拓のヒントを得る、ネットワーキングの場としている点である。2021年度からはナノセルロースジャパン(NCJ)が主催となり、NCJ企業会員には無料で公開している。

2020年度からは、NEDO講座を東京大学、産総研広島、京都市産技研と合同で開講している。本講座はCNF関連のNEDOプロジェクトで蓄積した技術・スキルを活用し、CNFの社会実装を迅速かつ効果的に推進するため、企業でのCNF関連製品開発の中心を担う即戦力人材を育成し、CNFの幅広い分野での実用化や普及を加速させ、新たな市場の早期創出に繋げることを目的としている。正式名称は、「NEDOプロジェクトを核とした人材育成、産学連携等の総合的展開／セルロースナノファイバー先端開発技術者養成に係る特別講座」である。1期の受講生は20社(原則20名)。CNFは、原料、製造方法、用途が多岐にわたることが特徴であり、企業におけるCNFの専門家となるためには、それら全てを理解する必要がある。

本講座の特徴は、座学に加え、実技実習とワークショップを実施することである。ワークショップでは、受講生がプレゼンを行いCNFに関するこれまでの取り組み、問題点、今後の展開等について積極的な発信を行う。それを基に講師と受講生が議論することで、より実践的な知見を得るとともに、参加者間のネットワークを築く事が可能となる。これまで受講対象を企業のみに限定してきたが、今年度から公設試研究者の座学へのオンライン参加を認めている。

本拠点では、海外の技術動向調査も進めており、その報告書をHPに掲載している。その他、HPではセルロースナノファイバー材料に関する図解資料も多数掲載しており、セルロースナノファイバーの基礎からCNF材料製造、自動車部材への展開、バイオプラスチックとの複合化に関する情報を得ることができる。

#### 4. 全国共同利用設備：CAN-DO

生存圏研究所では、2005年にスタートした大型プロジェクトの中で15年かけてセルロースナノファイバー材料の製造・加工・分析に特化した装置群を導入してきた。その80以上に及ぶ製造装置、分析機器をユニット化し、バイオナノマテリアル製造評価システム(Cellulosic Advanced Nanomaterials Development Organization: CAN-DO)として2021年より、生存圏研究所共同利用設備として提供している。ユニットは、CNF製造ユニット、CNF強化樹脂製造・加工ユニット、CNF化学分析ユニット、CNF構造解析ユニット、CNF材料構造解析ユニット、CNF強化樹脂特性評価ユニットとなっている。CAN-DOの中心には原料の木質バイオマスから始まり自動車・情報家電用材料等の製造までを一気通貫で行う京都プロセステストプラントがあり、各ユニットと組み合わ

せることで、製造工程ごとに材料の構造・特性を評価しながら新規バイオナノマテリアルの開発に取り組むことが出来る。

## 5. 産学共同研究

京大生存圏研究所では木質科学研究所時代から産学共同研究を積極的に行ってきた。最初は2002年に京都大学が三菱化学、ローム、日立製作所、パイオニア、NTTと共同で立ち上げた有機エレクトロニクスデバイスの開発に関する包括的アライアンスにおけるCNF強化透明樹脂の開発である。この材料については有機EL(OLED)ディスプレイの透明基板への応用について検討し、2004年には数々の処理プロセスの改良を経てバクテリアセルロース補強透明材料上で有機ELを発光させることに成功した。その後、CNFは木材由来CNFへと移っている。これらの成果について拠点HPで紹介している。

CNFの利用でもっとも期待されているポリウムゾーンは、軽量、高強度、低熱膨張という特性を生かした自動車部材や家電部材、建材などの構造用途である。とりわけCNFによる樹脂補強には大きな期待が寄せられている。現在、世界のプラスチック需要量は年間3億トンを超えており、この5%をCNFが占めるとすると、10兆~15兆円の市場になる。

京大生存圏研究所では、京都市産業技術研究所と共同で、構造用CNF材料の開発に関する産学共同研究を2005年の経済産業省地域新生コンソーシアムから始め現在まで18年間にわたり切れ目なく行っている。その中で、パルプ直接混練法“京都プロセス”が開発された。また、3年半かけてCNF材料を出来るだけ多く使用したクルマ、ナノセルロースヴィークルを試作し、2019年末に走行テストを行った。その結果、CNF材料の使用により一般的な車に比べ16%軽量化し燃費は11%向上することが明らかになった。これらの一連の研究成果はナノセルロースシンポジウムで毎年紹介するとともに、その要旨集や各プロジェクトの報告書を拠点HPで公開している。

2021年度からは、CNF材料の社会実装を目的に、環境省事業としてナノセルロースプロモーション(NCP)事業を行っている。本事業では、選定したアドバイザー企業にCNF材料を提供し、加工性、成形品性能等について評価を受け、それに基づき、材料のカスタマイズを行い、部材への適合性を高めるとともに、LCA評価を行い、その部材を使用することに因るCO2排出削減効果について企業側にデータを提供している。

## 6. 技術相談

CNF強化樹脂の製造や評価を希望する企業や公的機関に対しては秘密保持契約を締結し、詳細な特性を伝えてCNF強化樹脂材料を提供し、結果について議論している。また、高い専門性が求められるナノ構造の分析や成分分析を本拠点で行い研究開発を支援している。

## 宇宙生存圏におけるエネルギー輸送過程に関する共同研究

大村善治、小嶋浩嗣、海老原祐輔

京都大学 生存圏研究所

### 1. 研究組織

代表者氏名：大村善治（京都大学 生存圏研究所）

共同研究者：小嶋浩嗣（京都大学 生存圏研究所）

海老原祐輔（京都大学 生存圏研究所）

田中高史（九州大学）

加藤雄人（東北大学 理学研究科）

### 2. 研究概要

本共同研究の目的は、太陽風からオーロラ及び放射線帯に至るエネルギー輸送過程を明らかにし、地上の送電網やパイプラインなどへの影響を評価することにより生存圏の安心・安全の担保に貢献することにある。

### 3. 研究の背景と目的

オーロラ爆発は地球近傍の宇宙空間を流れる大電流によって引き起こされる壮麗な現象であるが、その誘導電流で地上の送電網やパイプラインなどに悪影響を及ぼすことが知られている。また、地球の磁場は太陽や銀河から飛来する有害な宇宙線から守ってくれる反面、高エネルギー粒子を捕捉して放射線帯を形成し、そこを通過する宇宙船や宇宙飛行士に被害を与えるという副作用がある。

オーロラや放射線帯のエネルギー源は全て太陽風と呼ばれる太陽から吹き出すプラズマにある。太陽風のエネルギーが地球磁気圏に取り込まれ、複雑なエネルギー輸送・変換過程を経て、オーロラや放射線帯という最終形態に至る。生存圏の安心・安全を担保する上で、オーロラ爆発の規模は何が決めるのか、いつ放射線帯が強まるのかを知ることが重要であるが、明確な答えが得られていない。太陽風とオーロラまたは放射線帯との間に単純な相関関係すら示されていないのは、そのエネルギー変換・輸送過程が極めて複雑であることを暗示している。本研究では、衛星観測と計算機シミュレーションを駆使して、太陽風からオーロラ・放射線帯へのエネルギーの流れと物理過程の理解を目指す。

### 4. 研究の結果および考察

**内部磁気圏のエネルギー輸送・放射線帯形成過程に関与するプラズマ波動の研究**

ホイッスラーモード・コーラス放射は地球の内部磁気圏で頻繁に観測される電磁波であり、磁気圏尾部から注入される高エネルギー電子によって励起され、その発生過程において高エネルギー電子の一部は非常に効率よく相対論的エネルギーまで加速されて、地球放射線帯を形成している。2022年度はこのコーラス波動の生成過程に関する計算機実験を通じて、波動の発生条件について新しい知見を得た<sup>1), 2)</sup>。コーラス放射の周波数変動を駆動する機構は、これまではダイポール磁場であると考えられてきたが、なめらかに周波数が上昇するライジングトーンおよび周波数が下降するフォーリ

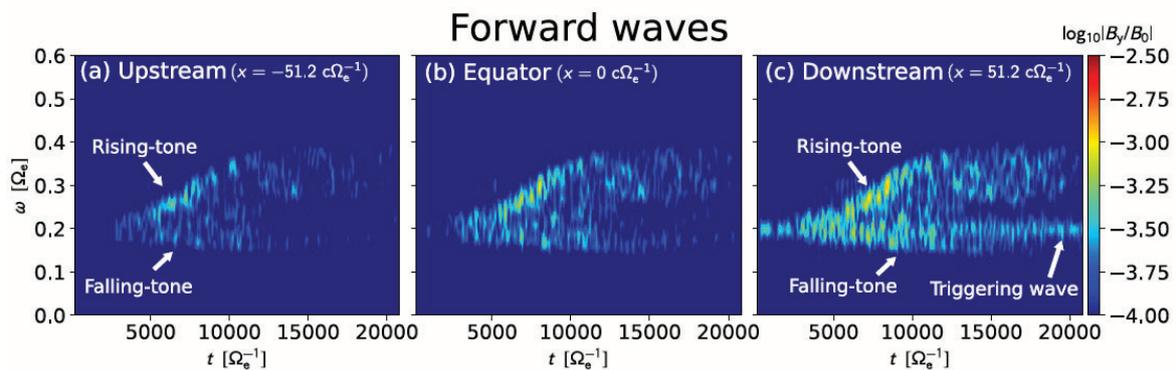


図1 一様磁場中で発生したライジングトーン放射とフォーリングトーン放射

ングトーンが一様な磁場モデルにおいても発生することを電磁粒子シミュレーションによって再現させることに成功した(図1)。このような周波数変動は高エネルギー電子がホイッスラーモード波とのサイクロトロン二次共鳴により位相捕捉されて共鳴電流が発生することによって起こっており、外部磁場の勾配は赤道付近の周波数変動によって不安定になった波束が下流へと伝搬する過程でさらに大きく成長することを助ける役割を果たしていることが判明した<sup>3)</sup>。このような非線形波動粒子相互作用による波動の成長は、異なる周波数で多くのホイッスラーモード波束が同時に発生するプラズマ圏ヒス放射の生成過程においても起こっていることを電磁粒子シミュレーションによって検証し<sup>4)</sup>、このヒスの多くの波束によって放射線帯の相対論的電子フラックスが変動することをテスト粒子シミュレーションによって再現した<sup>5)</sup>。コーラス放射および電磁イオンサイクロトロン(EMIC)放射によって放射線帯の電子が短い時間スケールで極域へ降下することをテスト粒子シミュレーションと衛星観測のデータ解析によって示した<sup>6, 7)</sup>。ULF波動が磁場勾配の変化を引き起こすことによりコーラス波動の生成条件が変化することをデータ解析により発見し、非線形波動成長理論との比較を行った<sup>8, 9)</sup>。また、内部磁気圏のみならず磁気圏のシース領域においてもホイッスラーモード波が電子との非線形サイクロトロン共鳴によって発生していることをMMS衛星のデータ解析から明らかにした<sup>10)</sup>。

## 太陽風から極域電離圏に至るエネルギーの輸送と変換過程

極域電離圏（一部が電離した超高層大気）では 100 万アンペア近くの電流が流れ、 $10^{11}$  W もの膨大なエネルギーがジュール熱として散逸することがある。そのエネルギーの究極的な源は太陽風にあり、沿磁力線電流を伴い極域電離圏に流入していることは明白であるが、太陽風から極域電離圏に至るエネルギーの輸送と変換過程はよく分かっていない。沿磁力線電流を担うアルベン波のパケットを追跡して発生領域を特定するという新しい方法を電磁流体シミュレーションに適用し、二つの主要な輸送・変換モードを明らかにした。

一つ目は惑星間空間磁場が南を向いたときに現れるもので、「Region 1 型沿磁力線電流」と関係がある（図 2a）<sup>11)</sup>。磁気圏低緯度境界の脇腹（フランク）と呼ばれる領域で太陽風起源のプラズマが再結合したばかりの地球の磁力線を引っ張り、低周波の電磁波動であるアルベン波を励起する（G1 領域）。磁気圏起源のプラズマも加速を受け、アルベン波を励起するようになる（G2 領域）。

二つ目は磁気圏近尾部で磁場の再結合がおきたときに現れるもので、「サブストーム・カレントウェッジ型沿磁力線電流」と関係がある（図 2b）<sup>12)</sup>。磁気圏近尾部で磁気再結合がおこると地球向き的高速プラズマ流が発生する。高速プラズマ流は地球に近づくと東西方向に分流し、地球の磁力線を引っ張り、アルベン波を励起する。

前者は磁気圏の脇腹（フランク）と呼ばれる磁気圏低緯度境界付近でおこり、後者は磁気圏近尾部でおこる。領域は全く異なるが、二つの領域には以下の共通点がある。①プラズマが磁気張力に対して負の仕事をする（プラズマが磁力線を引っ張ること）。②垂直電流から沿磁力線電流への変換がおこること。③沿磁力線電流が発生すること ( $\partial J_{\parallel} / \partial t \neq [-\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} / \mu_0]_{\parallel}$ )。ここで  $J_{\parallel}$  は沿磁力線電流、 $\mathbf{E}$  は電場である。この 3 つの条件を満たす領域を我々は沿磁力線電流 (FAC) ダイナモ領域と名付けた。FAC ダイナモ領域で生成された沿磁力線電流はプラズマに乗った系で磁場方向に進み、極域電離圏に流入する。この FAC ダイナモこそが太陽風のエネルギーを極域電離圏に導く要であり、電離圏でジュール加熱として散逸するエネルギーの直接的な供給源であることを提案した。

(a) 磁気圏フランク・沿磁力線電流ダイナモ (b) 地球近傍・沿磁力線電流ダイナモ

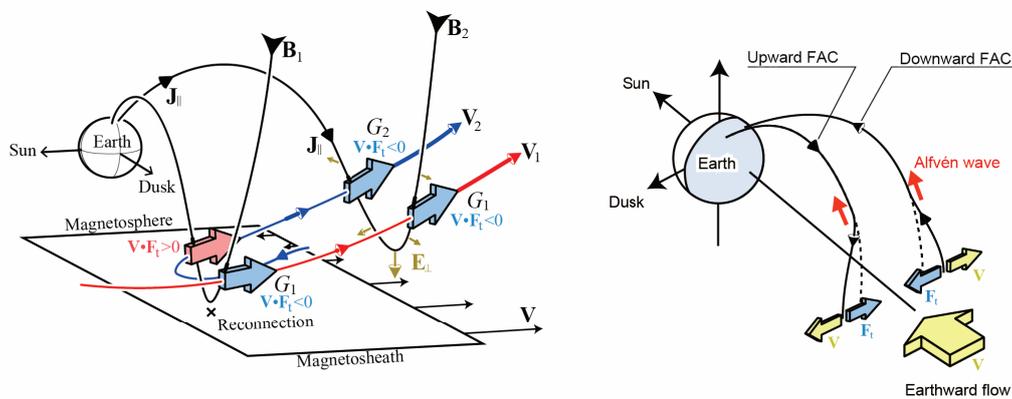


図 2 : (a) 惑星間空間磁場が南を向いたときに現れる「磁気圏フランク・沿磁力線電流ダイナモ」の模式図<sup>11)</sup>。磁気圏フランク（磁気圏低緯度境界付近）で太陽風プラズマが再結合したばかりの地球磁場を引っ張り、アルベン波を励起する（G1 領域）。磁気圏起源のプラズマも加速され、アルベン波の励起に関わる（G2 領域）(b) 磁気圏近尾部で磁場再結合がおきたときに現れる「地球近傍・沿磁力線電流ダイナモ」の模式図<sup>12)</sup>。地球向き的高速流（大きい黄色の矢印）が東西方向に分流し（小さい黄色の印）、磁力線を引っ張る。磁気張力（青色の矢印）と反対方向にプラズマは運動するため、磁気張力に対して負の仕事をする。すなわちアルベン波を励起する。

## 5. 今後の展開

ERG 衛星の 4 年以上にわたる観測期間において、ほぼすべてのパスで、ホイッスラーモードコーラス波動と電子、EMIC 波動と電子の相互作用に関するデータの取得に成功している。今後、令和元年度のデータ較正手法等の確立をベースに定量的なエネルギー交換量の計算を推進していく<sup>10)</sup>。

これまでの放射線帯の波動粒子相互作用のモデリングは、電子加速過程と電子散乱過程に分かれて研究を行ってきたが、実際に磁気圏では、これらの過程が同時に進行していることが予測される。相対論的電子のコーラス波動による加速過程と EMIC 波によるピッチ角散乱過程の両方を取り入れたテスト粒子計算を行い、グリーン関数のデータベースを充実させ、様々な磁気圏の変動パターンにおいて実際に観測されている放射線帯の電子フラックスの変動を再現することを目指す。

太陽風・地球相互作用を解くことができるグローバルなシミュレーション、異なるプラズマ領域が接合した領域を解くことができるローカルなシミュレーション、イオンや電子の分布関数を解くことができる移流シミュレーションを組みあわせ、太陽風から電離圏、内部磁気圏に至るエネルギーの流れを明らかにし、オーロラ、放射線帯、リングカレント変動など磁気圏でおこる様々な擾乱現象を包括的にとらえていきたい。

## 6. 発表論文

- 1) Y. Fujiwara, T. Nogi, and Y. Omura, Nonlinear triggering process of whistler-mode emissions in a homogeneous magnetic field, *Earth, Planets and Space* 74, 95, 2022.
- 2) Y. Fujiwara, Y. Omura, and T. Nogi (2023), Triggering of whistler-mode rising and falling tone emissions in a homogeneous magnetic field, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 128, e2022JA030967.
- 3) T. Nogi, and Y. Omura (2023), Upstream shift of generation region of whistler-mode rising-tone emissions in the magnetosphere, *J. Geophys. Res. Space Physics*, in press.
- 4) Y. Liu, and Y. Omura (2022), Nonlinear wave Growth of whistler-mode hiss emissions in a uniform magnetic field, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 127, doi: 10.1029/2022JA030428.
- 5) M. Tobita, and Y. Omura, Scattering of energetic electrons through nonlinear cyclotron resonance with coherent whistler-mode hiss emissions, *Phys. Plasmas* 29, 112901, doi: 10.1063/5.0106004, 2022.
- 6) Y.-K. Hsieh, Y. Omura, and Y. Kubota (2022). Energetic electron precipitation induced by oblique whistler mode chorus emissions. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 127, e2021JA029583.
- 7) S. Nakamura, Y. Miyoshi, K. Shiokawa, Y. Omura, T. Mitani, T. Takashima et al. (2022). Simultaneous observations of EMIC-induced drifting electron holes (EDEHs) in the Earth's radiation belt by the Arase satellite, Van Allen Probes, and THEMIS. *Geophysical Research Letters*, 49, e2021GL095194.
- 8) L. Li, Y. Omura, X.-Z. Zhou, Q.-G. Zong, R. Rankin, C. Yue, S.-Y. Fu (2022). Nonlinear wave growth analysis of chorus emissions modulated by ULF waves, *Geophysical Research Letters*, 49, e2022GL097978.
- 9) L. Li, Y. Omura, X.-Z. Zhou, Q.-G. Zong, R. Rankin, C. Yue, S.-Y. Fu, and J. Ren (2023), Chorus wave generation modulated by field line resonance and mirror-mode ULF waves. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 128, e2022JA031127.
- 10) N. Kitamura, T. Amano, Y. Omura, S. A. Boardsen, D. J. Gershman, Y. Miyoshi, M. Kitahara, Y. Katoh, H. Kojima, S. Nakamura, M. Shoji, Y. Saito, S. Yokota, B. L. Giles, W. R. Paterson, C. J. Pollock, A. C. Barrie, D. G. Skeberdis, S. Kreisler, O. Le Contel, C. T. Russell, R. J. Strangeway, P.-A. Lindqvist, R. E. Ergun, R. B. Torbert, and J. L. Burch, Direct observations of energy transfer from resonant electrons to whistler-mode waves in magnetosheath of Earth, *Nature Communications*, 13:6259, 2022.
- 11) Y. Ebihara and T. Tanaka (2022). Where is Region 1 field-aligned current generated?, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 127, e2021JA029991. doi:10.1029/2021JA029991.
- 12) Y. Ebihara and T. Tanaka (2023). Generation of field-aligned currents during substorm expansion: An update. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 128, e2022JA031011. doi:10.1029/2022JA031011.

## 7. 付記

日本学術振興会 科研費基盤研究 (S) 「宇宙プラズマ中の電磁サイクロトロン波による電子加速散乱機構の実証的研究」(2017~2022年度) 代表: 大村善治

日本学術振興会 科研費基盤研究 (A) 「極域における地球電離大気流出のエネルギー源」(2021~2024年度) 代表: 小嶋浩嗣

日本学術振興会 科研費基盤研究 (B) 「宇宙-地球連結シミュレーションを軸とした放射線帯変動メカニズムの実証的研究」(2020~2024年度) 代表: 海老原祐輔

# 赤道ファウンテン

山本 衛

京都大学 生存圏研究所

## 1. 研究組織

代表者氏名：山本 衛（京都大学 生存圏研究所）

共同研究者：津田敏隆（京都大学 生存圏研究所）

橋口浩之（京都大学 生存圏研究所）

横山竜宏（京都大学 生存圏研究所）

大村善治（京都大学 生存圏研究所）

Albertus Sulaiman（インドネシア国立研究革新庁（BRIN）

気候・大気研究所（PRIMA）

小川泰信（国立極地研究所）

塩川和夫（名古屋大学 宇宙地球環境研究所）

吉川顕正（九州大学 理学研究院）

## 2. 研究概要

本課題では、太陽エネルギー（太陽放射と太陽風）が地球に流入する過程、ならびにそれに対する地球の大気圏・宇宙圏（電離圏・磁気圏を含む）の応答過程について、レーダー観測を中心に、地上観測網、衛星データ解析および数値モデル研究を活用して解明する。オールジャパンで推進している大型研究計画「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」の一部でもある。この大型研究計画は、(1)赤道ファウンテン、(2)極域電離圏・磁気圏、(3)全球観測、で構成されており、本課題では(2)、(3)との協力によりプロジェクトを総合的に推進する。また日本学術会議の「大型研究計画マスタープラン」において、2014年、2017年、2020年に連続して重点大型研究計画の認定を得てきた。

本課題では、これまで赤道大気の長期観測により蓄積された知見を基礎に、イノベーションを推進することで社会還元を目指す。また大気環境の多様・大量の観測データベースを、日本が中心に推進している WDS (World Data System) から公開し、地球科学の分野での Big Data の実例を目指す。地表付近の環境変動の影響が超高層大気では増大して現れるため、長期観測結果は特に温暖化の環境監視等の変化予測に貢献する。いずれも当研究所が目指す方向性と一致しており、国際化とイノベーションの両方の強化に資すると考えられる。

### 3. 研究の背景

太陽地球結合系におけるエネルギーと物質の流入、再配分、輸送に関する定量的理解を目指すには、個別の領域研究を融合した end-to-end システムの総合的研究の推進が重要である<sup>1)</sup>。生存研は特に、インドネシアにおけるフィールド観測をもとに、以下に説明する「赤道ファウンテン」の研究を国際的に先導している。

太陽からの放射エネルギーは赤道域の地表を暖め活発な積雲対流を生み

大気波動を発生する。大気波動のエネルギーと運動量は中層大気を上方伝搬し電離圏まで到達するが、その過程で大気圏、宇宙圏に重要な影響を与えている。一方、全球の地表から放出される大気物質は、対流圏で積雲や巻雲の生成・発達に寄与し、赤道域の対流圏界面を通過して中層大気に噴出され、中高緯度まで広く循環する。赤道を中心として、大気の全高度域に現れるエネルギー・物質フローを、図1に概念図を示す「赤道ファウンテン」としてとらえ、解明していくことが重要である<sup>1)</sup>。

日本は世界で唯一、中緯度(MUレーダー)、南極昭和基地(PANSY)、低緯度(赤道大気レーダー)全てに大型レーダーを有する。北極でも、欧州以外から初めて EISCAT 科学協会に加盟し研究・運営に参画してきた。本課題に関わる2つの大型レーダー(EMUレーダーと EISCAT\_3Dレーダー)は、アクティブ・フェーズド・アレイ・アンテナを技術基盤とする。これは1984年完成のMUレーダーを源流とし、電気・電子・通信分野の卓越したイノベーションとしてIEEEマイルストーン等の榮譽を受けている<sup>2), 3), 4)</sup>。日本は広域観測にも強く、流星・MF・VHFレーダー観測網、磁気経度210度と磁気赤道沿いの地磁気観測網を有し南米やアフリカにも展開中である。さらに、これらの観測により収集される大量のデータのメタデータ情報を共有し、データベースの共同利用を推進するシステム(IUGONET)も大学間連携事業として運用している。

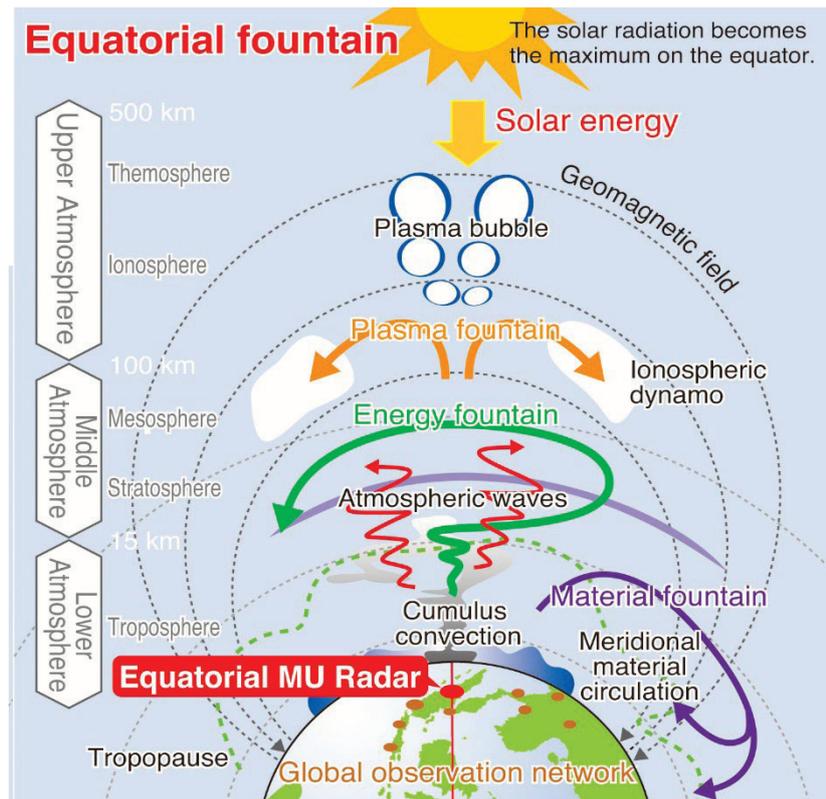


図1：赤道ファウンテン概念図

#### 4. プロジェクトの状況

我々は、インドネシアで赤道大気研究を 1980 年代よりインドネシア航空宇宙庁 (LAPAN) 他と共同で実施してきた実績を有しており、2001 年から赤道大気レーダー (EAR: Equatorial Atmosphere Radar) を共同運用してきた。これまで数多くの研究成果を論文として公表している<sup>5)</sup>。2021 年にインドネシア側の大規模な組織変更があり、現在は国立研究革新庁 (BRIN) 傘下の気候大気研究所 (PRIMA) が EAR 運営に関する対応機関となった。現在、EAR 運営協定書の改訂を進めている。

本課題では、EAR を中心とする共同利用・共同研究を推進し、新たに赤道 MU (EMU: Equatorial Middle and Upper atmosphere) レーダーの実現を目指す。EMU レーダーに向けた努力として、インドネシア科学技術大臣と 2 回にわたって面談した結果、LAPAN が責任対応組織として指示され、覚書が 2014 年に交わされた。2016 年 8 月に EAR 15 周年記念行事をジャカルタにおいて開催した際にもインドネシア政府との議論を行い、さらに在インドネシア日本大使館に対して計画の説明を行った。レーダー設置場所の調査や許認可関係の準備、八木アンテナの試作などの準備も実施している。2019 年 3 月にバンドンにおいて赤道大気研究に関する国際スクールを参加総数 170 名規模で成功裏に開催した。2021 年 9 月には EAR の 20 周年記念行事とシンポジウムをオンライン開催し、関連研究のプロモーションを実施した。

本研究は大型研究課題「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」に直結している。生存研がインドネシア・西スマトラ州に EMU レーダーを設置する一方、国立極地研究所と名古屋大学宇宙地球環境研究所 (ISEE) が連携し、国際協力によりスカンジナビア北部に EISCAT\_3D (European Incoherent Scatter 3 Dimensional) レーダーを建設する。同時に ISEE と九州大学国際宇宙惑星環境研究センター (i-SPES) を中心に、赤道から極域までをつなぐ広域地上観測網を構築する。さらに最近では ISEE による次世代太陽風観測装置の新規導入を含めた計画とした。以上の観測機器からのデータを IUGONET によって集約・利用して行く。国際的な賛同を得ている優れたプロジェクトであり、これまで日本学術会議のマスタープラン 2014、2017、2020 の全てで重点大型研究計画に採択された<sup>6), 7) 8)</sup>。現在はマスタープラン後継の「未来の学術振興構想」に提案中である。また 2023 年に予想される文部科学省のロードマップ 2023 へも提案予定である。大型の科研費などの研究費獲得を含め、今後も予算獲得を目指していく。

#### 5. 今後の展開

EMU レーダーは完成すれば全国・国際共同利用に供する。本課題は「生存圏アジアリサーチノード」の発展形である。生存圏科学の国際化の強化に貢献していく。

本課題に関連する研究コミュニティは、学内では理学、情報学、工学研究科、宇宙総合学研究ユニット、国内では極地研、名大、九大、東北大等を密接に協力しており、国立極地研と名古屋大学宇宙地球環境研とともに共同利用体制を整備している。

## 6. 引用文献

- 1) Tsuda, T., M. Yamamoto, H. Hashiguchi, K. Shiokawa, Y. Ogawa, S. Nozawa, H. Miyaoka, and A. Yoshikawa (2016), A proposal on the study of solar-terrestrial coupling processes with atmospheric radars and ground-based observation network, *Radio Sci.*, 51, 1587-1599, doi:10.1002/2016RS006035.
- 2) IEEEマイルストーン : The MU (Middle and Upper atmosphere) radar, 1984  
[http://ethw.org/Milestones:The\\_MU\\_\(Middle\\_and\\_Upper\\_atmosphere\)\\_radar,\\_1984](http://ethw.org/Milestones:The_MU_(Middle_and_Upper_atmosphere)_radar,_1984)
- 3) 電子情報通信学会マイルストーン「MUレーダ」(項番B-62)  
[http://www.ieice.org/jpn/100th/ieice\\_milestone\\_booklet.pdf](http://www.ieice.org/jpn/100th/ieice_milestone_booklet.pdf)
- 4) 電気学会第11回でんきの礎「MUレーダー(中層超高層大気観測用大型レーダー)」  
<http://www2.iee.or.jp/ver2/honbu/30-foundation/data02/index11.php>
- 5) 赤道大気レーダー等関連論文リスト : 全369編 [http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/ear/EAR\\_paper\\_list.html](http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/ear/EAR_paper_list.html)
- 6) 日本学術会議 マスタープラン2014  
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-t188-1.pdf>
- 7) 日本学術会議 マスタープラン2017  
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/kohyo-23-t241-1.html>  
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-t241-1-19.pdf>
- 8) 日本学術会議 学術の大型研究計画に関するマスタープラン2020(公表文書)  
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/kohyo-24-t286-1.html>
- 9) 文部科学省 学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想ーロードマップ2014ー、[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu4/toushin/1351171.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu4/toushin/1351171.htm)

## 7. 付記

本課題に関連する主な研究プロジェクト(種別、課題名、代表者、期間)

基盤研究(A)「赤道域における積雲対流と大気重力波の国際共同観測」津田敏隆、1999-2000.

特定領域研究「赤道大気上下結合」計画研究「赤道域の大気波動の四次元構造とエネルギー輸送の研究」津田敏隆、2001-2006.

特定領域研究「赤道大気上下結合」計画研究「赤道大気レーダー長期連続観測による赤道大気波動の解明」山本衛、2001-2006.

JSPS アジアアフリカ学術基盤形成事業「赤道大気圏のアジア域地上観測ネットワーク構築」津田敏隆、2008-2010.

特別経費「超高層大気長期変動の全球地上観測根ネットワーク観測・研究(IUGONET)」津田敏隆、2009-2014.

基盤研究(A)「中間圏・下部熱圏における大気波動のレーダーネットワーク観測」津田敏隆、2010-2014.

JST 科学技術戦略推進費「インドネシア宇宙天気研究の推進と体制構築」山本衛、2010-2012.

基盤研究(B)「インドネシア海洋大陸における雨滴粒径分布の地上ネットワーク観測」橋口浩之、2011-2013.

JSPS 二国間交流事業共同研究・セミナー「大型大気レーダーによる赤道大気上下結合の日本インドネシア共同研究」山本衛、2014-2016.

基盤研究(A)「新・衛星=地上ビーコン観測と赤道大気レーダーによる低緯度電離圏の時空間変動の解明」山本衛、2015-2019.

京都大学全学経費(特別協力経費)「赤道 MU レーダー実現に向けた国際研究集会・国際レーダースクール開催」、2018-2019.

基盤研究(A)「レーダー観測網・複数衛星・モデル計算を総合した赤道域電離圏変動特性の国際共同研究」山本衛、2020-2025.

## Methane budget of a complex mountainous forest: look up and down

### 1. Research team

Leader: EPRON Daniel (Fac. of Agriculture, Kyoto Univ.)  
 Collaborators: TAKAHASHI Kenshi (RISH, Kyoto Univ.)  
 SAKABE Ayaka (Hakubi Research Centre, Kyoto Univ.)  
 MOCHIDOME Takumi (M1, Fac. of Agriculture, Kyoto Univ.)

### 2. Related missions

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

### 3. Abstract

Methane (CH<sub>4</sub>) is the second most important anthropogenic greenhouse gas. Soils in upland forests are the largest biological sink for atmospheric CH<sub>4</sub>, providing a valuable ecosystem service. However, CH<sub>4</sub> emission by trees weaken the sink strength of forests, becoming nowadays a major concern. Our first goal was to characterize the vertical profile of tree CH<sub>4</sub> emission by measuring fluxes all along the trunk and at the foliage using a cherry picker to access the top of the trees. We have also implemented the measurement of soil CH<sub>4</sub> flux considering the complexity of the topography and hydrological system. We measured the trunk CH<sub>4</sub> fluxes of eight trees of four species at several heights up to 15 m. All trees emitted CH<sub>4</sub> at all sampling heights along the trunk, while foliage showed virtually no CH<sub>4</sub> emission. Overall, the trunk CH<sub>4</sub> emissions measured at the base of the trunk (0 to 2.0 m above the soil) was significantly related to the estimated trunk emission at tree level. We also measured soil CH<sub>4</sub> fluxes across the landscape, using different transects that covered the ridge, hillslope, riparian zone and wetland as part of examining the influence of topography on CH<sub>4</sub> fluxes. We mainly observed negative net soil CH<sub>4</sub> fluxes, which means that overall the soils in riparian zone, hillslopes and ridges were CH<sub>4</sub> sinks. Hotspots of CH<sub>4</sub> emissions were found in wetlands. At first glance, soils in Ashiu experimental forest are a biological sink for atmospheric CH<sub>4</sub> but emissions of methane from trees weaken the sink strength of this forest.

### 4. Background and purpose of the research

Stem CH<sub>4</sub> emission has been measured for two years (from August 2020 to now) in the Ashiu experimental forest (upper Yura River watershed) and we showed that the trunks of the major species at this site emit CH<sub>4</sub>, with a large variability among species, among trees for a given species, and within a tree<sup>1)</sup>. For the vast majority of the trees, CH<sub>4</sub> was produced internally and did not originate from the soil.

Our priority was therefore to continue measuring tree emissions, including not only the lower part of the stem as we did until now, but also the upper part, branches and foliage, which have been overlooked in most studies around the world. We have used a cherry picker to access the upper part of the tree trunks and their foliage (Figure 1), taking advantage of the numerous trees lining the forest dirt roads in our working area. We measured the trunk CH<sub>4</sub> fluxes of eight trees



Figure 1: A Cherry picker is used to access the upper part of the tree trunks and foliage



## 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

### 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）

鈴木三好（元三重県立津高校教諭）

西田圭佑（京都大学 理学研究科）

玉澤春史（京都大学 文学研究科）

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

太陽黒点の観測は、1600年代のガリレオ・ガリレイの頃にまでさかのぼれる。近年においても、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年にわたる黒点スケッチ観測が存在している(図1)。SILSO (Sunspot Index and Long-term Solar Observations)<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を行った際には、鈴木氏の観測整約の結果が貢献した。

本研究では、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提供する。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。

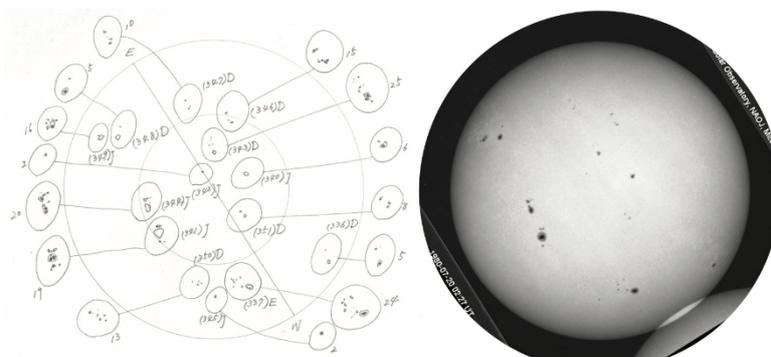


図1：鈴木氏による黒点スケッチ(左)と国立天文台三鷹で太陽光球像(右)。

#### 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。また、黒点数に比例する太陽活動は、太陽からの紫外線放射量と同期しており、地球に照射するエネルギーを増減させることにつながる。しかし、この盛衰の根本原因は未だ解明されておらず、観測的な立場からは長期間にわたる観測記録の整備が必要である。本研究の目的は、60 年にわたる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。鈴木氏は、自宅の 10cm 口径屈折望遠鏡を用いて、太陽全面に出現した黒点のスケッチを継続観測して蓄積してきた。この均質な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、生存圏研究所が主要機関参加している IUGONET を介して世界に公開することを目的とする。

#### 5. 研究の結果および考察

本年度は、残されていた 1996 年から 2020 年にわたる、約 25 年間の観測データについて、スケッチ画像をデジタルスキャンしてデジタル画像に変換した。加えて、観測日時や条件などの情報を、メタデータとしてエクセルファイルに格納した。1960 年から 1996 年の黒点相対数は図 2 の通りである。

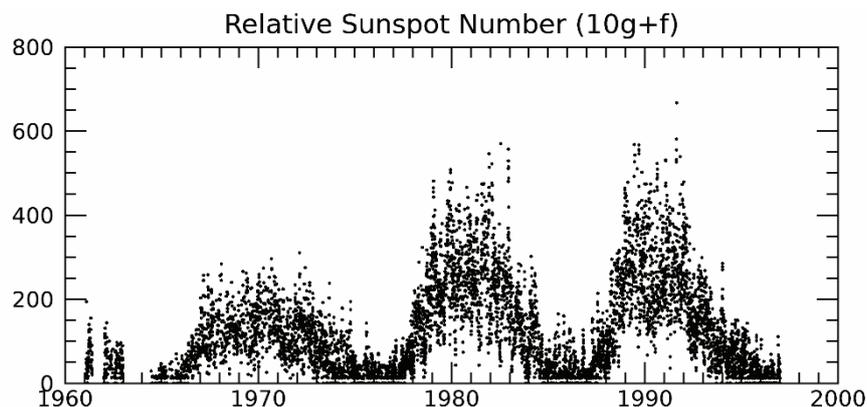


図 2：鈴木氏の黒点スケッチに基づいた 1960 年から 1996 年の黒点相対数。

#### 6. 今後の展開

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・メタデータベースを構築し公開する。エクセルファイルのメタデータは、IUGONET が採用している SPASE 形式の XML ファイルに変換したのち、検索サーバーに登録して公開する。

#### 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 Webページ：<https://wwwbis.sidc.be/silso/>

## 誘電率計測による微細気泡水の特性解析

### 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：三谷友彦（京都大学 生存圏研究所）

高橋克幸（岩手大学 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3：宇宙生存環境

### 3. 研究概要

ファインバブルなどの微細気泡については、環境用途や農業用途での研究利用が進みつつある。気泡安定性や特性については仮説がいくつかあるが、決定的な結論はまだ出ていない。気泡の内圧について先行して我々が行った計測事例はあるが、別途計測している気泡のゼータ電位との関係性は現在も研究途上にある。ゼータ電位は、気泡表面の帯電状態を見ているわけではない。実際には、液体中のイオンと気泡帯電との間で生じる等電位面が関与し、イオンが拡散せずに気泡周辺に留まる「すべり面」の電位を観測しており、実際の界面を直接計測できていない。

我々はサブミクロンスケールの微細気泡（ウルトラファインバブル, UFB）の帯電状況をもっと精度良く計測する事を目標とし、マイクロ波帯（500MHz から 50GHz）の誘電率を計測し、気泡と水とが織りなす電気的特性を直接計測した。中でも微細気泡による誘電率の変化を再確認した他、微細気泡生成時の水の誘電率の変化について確認した。

### 4. 研究の背景と目的

UFB の気泡特性としては、これまでに気泡の濃度分布の他、表面の帯電状態としてのゼータ電位計測、また内部圧力などの計測を行ってきたが、水との相互作用により生じる誘電率の変化などは確認できていない。我々は過去に誘電率変化について計測を行った事があるが、通常の水との違いは細かく確認できなかった。特に温度条件の違いや保存期間による変化をその場で計測していなかったため、本研究では生成直後の大気 UFB 水の特性の違いと、生成装置が稼働している最中に誘電率がどう変化するかを確認した。UFB は長期間保存が可能であると言われているが、応用研究結果にはばらつきも多い事例がある事から、これらの誘電率の変化が応用研究成果に関係する可能性も考えられるため、非常に重要な計測研究事例となるはずである。

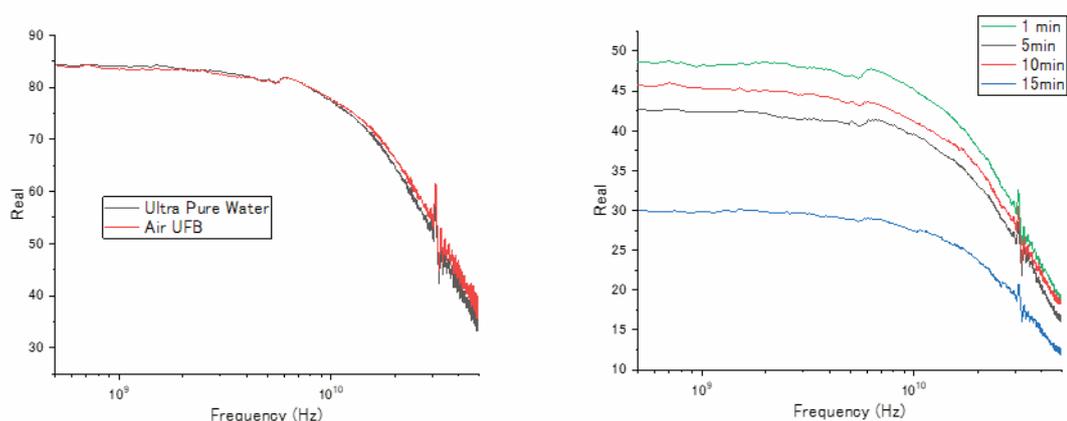


図 1. 空気 UFB 水の生成直後の誘電率（実部）（左図）と、UFB 生成装置稼働中の誘電率（実部）の変化

## 5. 研究の結果および考察

図 1 は本研究において計測した大気 UFB 水の実部誘電率の計測結果と、生成途中の誘電率の変化を示している。誘電率計測にはネットワークアナライザ (Agilent Technologies, E8634C) を用い、500MHz から 50GHz までの周波数帯の誘電率を、slim probe kit を用いて計測している。UFB 水の生成には、加圧溶解型生成装置 (RMUTL-KVM-10) を用いた。生成条件としては、高純度精製水 (古河薬品工業 クリーン&クリーン) 1L から、大気流量を 50mL/min として生成した。また、生成中の誘電率の確認のため、生成装置タンクに、slim probe を設置し、装置稼働中の誘電率の時間変化についても図 1 右図として計測している。大気 UFB 水の特性については、高周波帯 (10GHz 以上) において若干の現象がみられた。また、生成稼働時には稼働時間に応じた誘電率の低下を確認しているが、こちらは接地条件などもあるため、水だけの特性を示しているのか、もしくは静電気などの効果による計測エラーなのかを今後確認する必要がある。尚、生成稼働時は水循環のためのポンプによる温度上昇もあるが、これまでの生成データからは、15 分でおおよそ 2-3℃ 程度の上昇であり、水温による誘電率の変化はそれほど大きくないと考える。

## 6. 今後の展開

本年度においては、高周波帯の誘電率計測を確認し、その変化について確認したが、気体を変えた場合の変化の他、LCR メータなどを用いた低周波帯における特性の違いについても計測準備を進めている。特に生成装置稼働中の誘電率の大きな変化については、計測エラーの可能性はあるものの、水の特性が静電気により大きく変化している可能性を示すものであり、非常に興味深い結果が得られた。

## 熱帯荒廃草原におけるイネ科バイオマス資源の持続的生産に基づく炭素隔離

### 1. 研究組織

代表者氏名：梅澤俊明（京都大学 生存圏研究所）  
 共同研究者：小西哲之（京都大学 生存圏研究所）  
 梅村研二（京都大学 生存圏研究所）  
 小林優（京都大学 大学院農学研究科）  
 飛松裕基（京都大学 生存圏研究所）  
 八木重郎（京都大学エネルギー理工学研究所）  
 サフェンドリ コマーラ ラガムスタリ（インドネシア研究イノベーション庁）  
 レザ ラムダン リバイ（京都大学生存圏研究所、インドネシア研究イノベーション庁）

### 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

熱帯荒廃草原を活用したバイオマスエネルギーの生産に適し、さらに炭素隔離に適するイネ科バイオマス植物を開発するとともに、高発熱型草本バイオマスの吸熱炭化ガス化処理システムを開発することによる、先進エネルギーとバイオマス生産、炭素隔離の持続可能システムの構築を推進した。

### 4. 研究の背景と目的

我が国をはじめ世界各国に於いて、2050年頃までの社会全体でのカーボンニュートラル達成に向けた様々な動きが急加速している。この目標達成には化石資源依存を可能な限り削減することが必須であり、代替資源としてのリグノセルロースバイオマスの持続的生産と利用が必須である。そして、リグノセルロースバイオマス資源の持続的生産には、インドネシアなどの東南アジアの熱帯林伐採跡地に既に広大に発生してしまっている荒廃草原（1000万ha）の利用が必須となっている。

以上に鑑み、研究代表者梅澤と研究分担者梅村・小林らは、インドネシア研究イノベーション庁と熱帯荒廃草原の植生回復とバイオマスエネルギー・木質材料生産に関する国際共同研究をJICA/JSTの支援の下で実施してきた。一方、小西らはバイオマスと核融合や太陽光発電などを組み合わせた炭素隔離プロジェクトを別途進めてきた。今後大幅にかつ積極的に大気中二酸化炭素濃度を削減するためには、地球

上の炭素サイクルの系外に炭素を排出するいわゆる炭素隔離が本質的に重要であり、梅澤らの進めてきたバイオマスの持続的生産と小西らの進めてきた炭素隔離研究を融合した持続的体系の構築が強く求められる。

そこで、本研究では、熱帯荒廃草原を活用したバイオマスエネルギーの生産や炭素隔離に適するイネ科バイオマス植物の開発、及び高発熱型草本バイオマスの吸熱炭化ガス化処理システムの開発を進め、先進エネルギーとバイオマス生産、炭素隔離の持続可能システムを構築することを目的として活動を進めた。

## 5. 研究の結果および考察

イネの代謝工学とソルガムの選抜育種について、イネにおいてリグニン合成活性型転写因子をコードすると推定される候補遺伝子を選抜し、それらの過剰発現イネの作出を行った。現在 T1 世代の栽培を進め、種子を増殖すると共に、化学成分分析の予備試験を行った。またイネをモデルとして得られたリグニン含有量増加に寄与する遺伝子情報に基づき、ソルガム変異体集団から、対応する遺伝子の変異体の選抜を進めた。なお、これらの一連の研究内容を取りまとめた総説を執筆する<sup>1)</sup>と共に国際会議にて発表した<sup>2)</sup>。

バイオマス炭化と炭素隔離に関しては、高炭素含量バイオマス作物の作出、作出した作物を用いた熱帯地域におけるエネルギー物質サイクルを完結するための見直し並びに当該地域の土地利用と所有に関する討議・解析を総合的に進め、外部資金獲得に向けた活動を進めた。この討議の成果は書籍（編集：地球環境学堂 森晶寿）に取りまとめた（査読中）。一方、バイオマスの処理について、小規模で近未来に利用可能な技術として、マイクロ波によるガス化・炭化装置を試作し、ソルガム及び京都府産の竹を用いた炭化反応に成功した。マイクロ波からのエネルギー変換機構について引き続き基礎研究を実施し、機構の解明と効率の向上を目指す。本研究は一部京都市との協力事業として放置竹林の処理対策の可能性を検討している。

## 6. 今後の展開

本課題は、バイオマス生産・育種・利用研究と核融合研究に関する国際協働研究であり、荒廃草原の植生回復と二酸化炭素固定量増加の両面に貢献する世界に類例のない独自の異分野協働型総合的研究である。今後も上記の研究を一層推進する計画である。

## 7. 付記

- 1) 梅澤俊明, リグニン代謝工学によるイネ科バイオマス植物の育種 リグニンの量と構造の改変, 化学と生物, Vol. 60, pp. 565-572, 2022
- 2) Umezawa, T., Grass lignin metabolic engineering for sustainable lignocellulose valorization, The 20th IUFRO Tree Biotech and the 2nd Forest Tree Molecular Biology and Biotechnology (FTMB) Conference, Harbin, Jul 7-9, 2022

## マルチスケール構造を考慮した木材の大変形挙動に関する 数値シミュレーション手法の開発

### 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：田中聡一（京都大学 生存圏研究所）

久保木 孝（電気通信大学 大学院情報理工学研究科）

三木恒久（（国研）産業技術総合研究所）

### 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

木材の変形加工における加工条件の適正化や変形メカニズムの解明には、数値シミュレーション技術の活用が有効である。しかしながら、木材は複雑な階層的構造を有しているため、数値解析によって木材の変形挙動をシミュレーションすることは難しい。本研究では、木材の階層的構造を簡易的に模擬したモデルを構築し、有限要素法（FEM）および離散要素法（DEM）による連成解析を行うことによって、木材の圧縮時における変形挙動のシミュレーションを試みた。さらに、実験結果を比較することによって、解析結果の妥当性を検証した。その結果、木材の空隙構造を模した格子形状のモデルを用い、格子のサイズを適正化することによって、年輪傾角が圧密時の変形形状に及ぼす影響を再現することができた。以上の結果より、木材の変形挙動を再現するにあたって、空隙構造を有したモデルを用いた FEM・DEM 連成解析が有効である可能性が示された。

### 4. 研究の背景と目的

圧密や曲げ木など、木材の変形加工は様々な産業分野における木材加工に用いられており、中でも近年開発された流動成形技術は、組織の分離・再結合を促進することによって、従来工法では不可能だった大変形加工を実現している<sup>1)</sup>。一方、木材は複雑な階層的構造を有しているため、数値解析によって木材の大変形挙動をシミュレーションすることは難しい。これに対し、金属材料の場合、木材よりも構造が均質かつ空隙がほとんどなく、数値解析による変形挙動の再現が容易であるため、加工の適正化やメカニズムの解明などが効率的に行われている<sup>2)</sup>。木材の変形加工における加工条件の適正化やメカニズムの解明にあたっては、木材の変形挙動を再現可能な数値シミュレーション手法の開発が望まれる。本研究では、数値解析にて木材の大変形挙動を

再現するため、木材の階層的構造を考慮したモデルを構築し、有限要素法（FEM）および離散要素法（DEM）による連成解析を行った。実験結果と比較することによって、提案手法の妥当性を検証した。

## 5. 研究の結果および考察

早材部および晩材部から構成される年輪構造を模した2種類の解析モデルAおよびBを作成した。モデルAは早材および晩材を材料特性の違いによって表現する一方、モデルBでは木材の空隙構造を模した格子形状とし、格子の寸法を調整することによって早材部および晩材部を表現した。表1に木材試験片を圧縮した際の変形挙動の比較を示す。モデルBを用いることによって、年輪傾角が圧密時の変形形状に及ぼす影響を再現できた。圧縮時における荷重に関しても、図1に示すように、モデルBにて圧密開始から完了後の荷重急増に至るまでの挙動を再現できた。一方、荷重急増に至った際のストロークは実験よりモデルBによる解析の方が早かった。これは、モデルBの密度が実験における試験片の密度よりも高いためと考えられる。

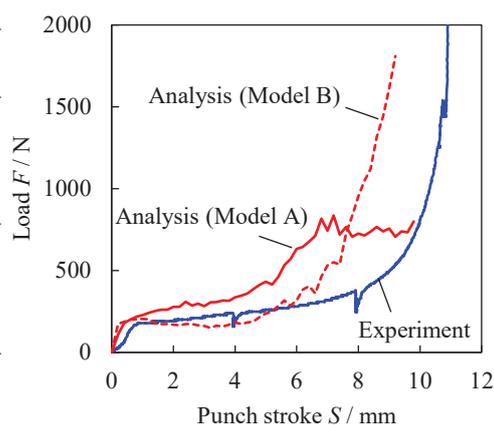
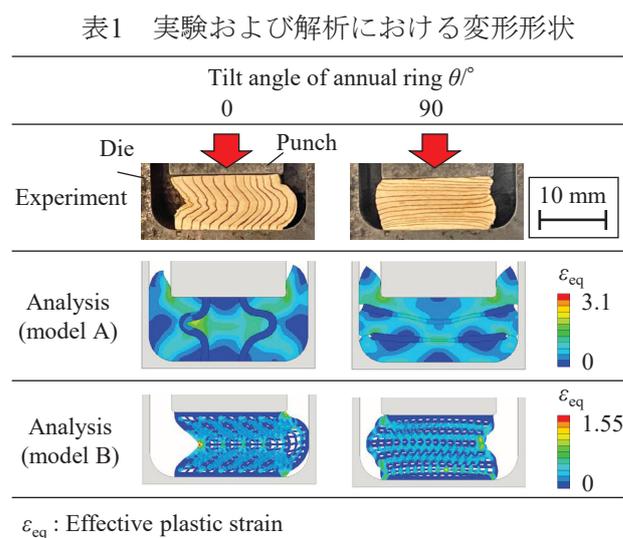


図1 荷重-ストローク線図  
(年輪傾角 $\theta=90^\circ$ )

## 6. 今後の展開

解析モデルにおける密度や格子の形状をより実際の木材に近づけることによって、解析精度の向上を目指す。さらに、圧密完了後の流動変形についてもシミュレーションできる方法を開発する。

## 7. 引用文献

- 1) 三木恒久, 木質系材料を用いた塑性加工技術, ぷらすとす, 1 (5), pp. 342-347, 2018.
- 2) 久保木孝, 塑性加工解析に必要なFEM⑦管の引抜き・押出しの解法, 塑性と加工, 55 (646), pp. 989-994, 2014.

## 合理的代謝フロースイッチングによる芳香族生理活性物質の生産

### 1. 研究組織

代表者氏名：肥塚崇男（山口大学 大学院創成科学研究科）

共同研究者：市野琢爾（京都大学 生存圏研究所）

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

植物分子育種を基盤とした代謝工学により、植物バイオマス由来の色素成分への代謝フローを生理活性香気物質への生産にスイッチングすることで、人の健康維持に重要な生理活性物質の生産プラットフォームを構築する。さらに、ストレス応答や組換え技術を駆使した代謝工学による植物内在性基質の増強を行うことで、植物の潜在的代謝力を最適化する。

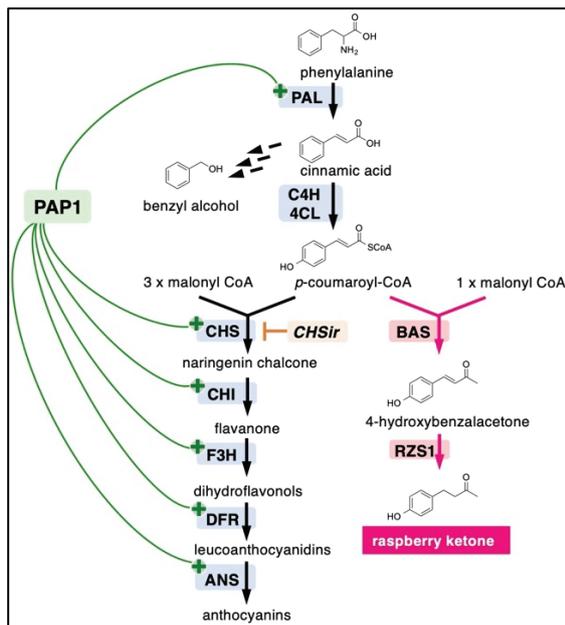
### 4. 研究の背景と目的

稀少植物を含めた天然資源に由来する生理活性物質、特に揮発性の芳香族香気物質は、長引くコロナ禍での生活習慣病予防など人の健康維持に欠かせない機能性成分として注目されている。本研究では、人の健康と稀少な植物資源の保護、環境保全への貢献を目指し、進化の過程で獲得した植物が有する潜在的代謝力を分子レベルで理解し、最大限に利活用することを目的とし、持続的且つ効率的な生理活性物質の生産プラットフォームを構築する。近年、海外では、稀少植物に由来する天然香料の代替品として、バイオテクノロジー技術によって生産されるバイオ香料が注目されつつある。一方、その生産性は外部からの多量の炭素源供給に依存しており、エネルギー源の投資が多いことが問題となっている。しかし、植物細胞内の代謝フラックスを合理的に改変、また、ストレス誘導的に高まる植物に秘められた代謝力を最大限に引き出すことができれば、植物バイオマスに由来する効率的な生産システムの構築が可能となる。そこで、申請者らは世界に先駆けて発見した生合成遺伝子の活用を特色として、代謝経路の分岐点に着目した合理的代謝工学により、植物バイオマスとして豊富に存在する色素成分を生理活性物質の生成へと利活用することを本研究の目的とした。

### 5. 研究の結果および考察

現在までに、色素成分や香気成分を含めた多様な芳香族化合物が生合成中間体で

ある *p*-クマロイル CoA を経由する同じ経路を共有していることが知られている。しかし、これら芳香族化合物の代謝フラックスの変化が各化合物の生成量にどのように影響するのかは未解明であった。本研究では、ナス科のモデル植物であるタバコを発現宿主として、芳香族香気物質であるラズベリーケトンの生合成遺伝子 (BAS, RZS) を 35S プロモーター下で過剰発現させた形質転換体を作成し、色素成分であるアントシアニンから香気成分のラズベリーケトンへと代謝フローをスイッチングすることに成功している (2.4  $\mu\text{g/gFW}$ )<sup>1)</sup>。さらに、転写因子 (PAP1) を利用した細胞内基質の強化により、香気成分の生成量が高まるという知見を得ている (5.6  $\mu\text{g/gFW}$ )。また、色素成分への代謝フローを遮断したカルコン合成酵素遺伝子 (CHS) の抑制形質転換体においても、同様の結果が得られた (5.0  $\mu\text{g/gFW}$ )。同様の代謝工学デザインを色素成分の生産性が活発な紫ペチュニア (*Petunia hybrida* cv. Baccara)、トマト (*Solanum lycopersicum* cv. Micro-Tom) などに応用し、それぞれ 6 個体 (T0 世代)、11 個体 (T0 世代) の形質転換体を作成した。トマトにおいては、果実の完熟期、特に果皮でラズベリーケトンが蓄積することを明らかにした (7.0  $\mu\text{g/gFW}$ )。



本研究で実施した代謝工学デザイン

## 6. 今後の展開

本研究結果から、色素成分から香気成分への代謝フロースイッチングがナス科植物で広く有効であることが示唆された。今後は、形質転換体に植物ホルモン処理や光ストレス処理を行い、細胞内基質濃度が誘導的に高まる条件を確立し、生産性の向上を図るとともに、ナス科植物以外の異なる発現宿主においても同様の代謝工学デザインが適応可能かどうかを検討する。さらに、代謝経路の分岐点に着目した合理的代謝フロースイッチングが香気成分以外の他の芳香族生理活性物質の生産への応用が可能かについても明らかにしていく。

## 7. 引用文献

- 1) Koeduka, T., Takarada, S., Fujii, K., Sugiyama, A., Yazaki, K., Nishihara, M., Matsui, K., *Metab. Eng. Commun.*, **13**, e00180, 2021.

## 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、絶縁破壊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。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とから、ファインバブルによる絶縁破壊の低下の要因としては、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していると考えられる。また、ファインバブルを導入することにより、水中放電によるインジゴカルの脱色速度が2倍程度速くなった。このことから、水中放電の発生とともにラジカル生成を促進することがわかった。

### 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員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、ファインバブルによる水中プラズマとヒドロキシラジカルの生成の促進効果を評価した。

## 5. 研究の結果および考察

図1に示すような、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。図2に、ファインバブルを発生させない場合(赤●)および、室内空気(緑▲)、アルゴン(青■)をそれぞれ用いファインバブルを発生した場合の印加電圧による放電確率の変化を示す。絶縁破壊の発生は、フォトダイオードを用いることにより観測した。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。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とから、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。

プラズマによる酸化力を評価する目的で、インジゴカルミン溶液(700 mL、0.05 mM)に3時間の放電処理を行ったところ、アルゴンガスを用いてファインバブルを発生した場合、ファインバブルを用いない場合と比較し2倍程度脱色量が増加することがわかった。このことから、ファインバブルは放電の形成とともにラジカルの発生を促進していることがわかる。

## 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と、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。

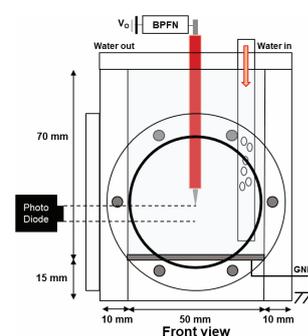


図1 リアクタ概略図

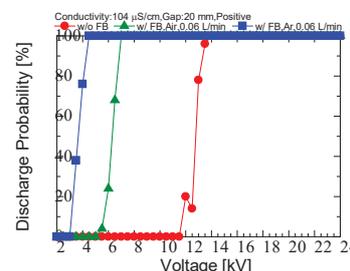


図2 電圧による放電確率の変化

## プロジェクションマッピングを適用した 環境放射能の歩行サーベイ計測

### 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：上田義勝（京都大学 生存圏研究所）

二瓶直登（福島大学 食農学類）

### 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調査のため、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これまで行ってきた。本研究テーマでは、森林や山間部において問題となるGPS位置補正エラーを解決するため、カメラ撮影により3次元マッピングも同時に行う事で、位置情報を高精度に行いたい。KURAMA-IIについてはこれまでの計測経験があるが、特にフォトグラメトリー手法の適用については新しく取り入れる手法であり、新しい計測技術の研究開発となる。



図1：動画解析の一例（福島大学内での歩行解析）

#### 4. 研究の背景と目的

福島県周辺の環境放射能汚染は、2022年現在も未だ山間部などの森林圏を中心に残っているのが現状である。時間経過による環境放射能のモニタリングや、環境回復のための連携研究は今後も重要な課題であり、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、KURAMA-IIによる環境放射能のリアルタイム測定を行っている。山間部における歩行サーベイでは、KURAMA-IIに搭載されているGPS受信機の計測ミスにより、位置情報がずれてしまう事があった。そのため、山間部でも誤差なくマッピングするため、カメラ撮影画像による位置解析を同時に行う事を想定している。マッピングについては、ソフトウェア 3DF Zepher を用いたフォトグラメトリー手法を使い、位置情報を検出する。最終的には新しいマッピング手法と、KURAMA-IIのGPSによる位置検出データと比較しながら、計測位置を精度よく検出していく。

#### 5. 研究の結果および考察

今年度においては、歩行時に撮影した動画を解析するため、福島大学や宇治キャンパス内にて動画を撮影し、その歩行サーベイについて解析を行った。図1,2がその結果になるが、雪が降り積もる雑木林においても、精度よく位置検出が出来ている事がわか

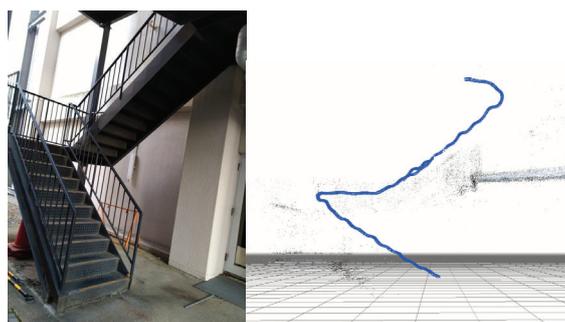


図2. フォトグラメトリー解析による3次元歩行解析

る(図1)。また、階段などの上下方向の解析についても同様に成功しており、特に高さ方向の位置補正も上手くいくことがわかった(図2)。ただし、現状の問題点としては、動画撮影時に特徴が分かりにくい空間(青空など)やよく似た建物が多く存在した場合や、カメラ撮影方向と、移動方向が一定しない場合に、検出エラーが多かった。この事は、森林地帯では、高性能なカメラを用いて360度カメラを用いれば、かえって画像差分として検出できる可能性が高く、山間部におけるフォトグラメトリー手法としては長所として考えることもできる。今後は最終的にリアルタイム検出を行う手法についての検討も考えている。

#### 6. 今後の展開

本研究においてはフォトグラメトリーが有効であることが分かったが、撮影時のカメラの選定や位置検出に有効な目標点の設定などを考慮しつつ、KURAMA-IIとの同時計測を今後考えていく必要がある。

## 第一原理計算を用いた固液界面及び気液界面の静電ポテンシャル解析

### 1. 研究組織

代表者氏名：徳田陽明（滋賀大学 教育学部）

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

ミッション3：宇宙生存環境

### 3. 研究概要

固体表面と水とが生成する静電ポテンシャル特性や、気泡が内在した液体との気液界面相互作用については、実験的に表面計測を行う事が困難である。そのため、物質の基礎特性を解析的に求める第一原理計算を使って、静電ポテンシャルの特性を計算機シミュレーションから求め、実験評価につながる解析を行う。

### 4. 研究の背景と目的

固液界面や気液界面における帯電現象については、すべり面における電位計測（ゼータ電位）によりおおよその状態を計測する事ができるが、界面表面の直接の状態を計測する事は困難である。また、シリカガラスなどに代表される様に、酸・塩基などの化学的表面处理によって濡れ性が変化するものがあり、細かな特性を求めするためには計算機による特性計測を行う方が良い場合もある。1985年にCarとParrinelloによって、電子間、原子核間、および電子-原子核間のクーロン相互作用から出発し、量子力学の基本法則に立脚した電子状態理論を使って電子分布を決め、物質の諸性質を計算する第一原理計算が提唱されている。この第一原理計算は実験的条件が不要であり、物質の基礎特性をパラメータとすることで、界面の状態を計算できるという利点がある。そのため、本研究では固液界面や気液界面における静電ポテンシャルの変化を、第一原理計算によって求めていく。また、計算により求められたパラメータと、実測で得られるゼータ電位などの値との比較も同時に行っていく

研究事例として、微細気泡水の基礎特性との関係性が現在着目されており、本研究は固液-気液界面の複雑な相互作用を理解するための第一歩となる。尚、本研究は今年度より開始する新しい先端計測計算機実験として、ソフトウェアの立ち上げ準備をしつつ、基礎シミュレーションを段階的に行いながら準備を進めたい。

第一原理計算の手法には近年色々なツールがあるが、本テーマでは使用実績がある Phase/0 (<https://azuma.nims.go.jp/cms1>) ソフトウェアを用いた電荷密度計算を行う。研究のための計算機環境のセットアップについては、基礎計算では滋賀大学の並列計算機システムを利用する。

尚、計算の際に各分子のエネルギー情報などは疑ポテンシャルデータとして既に

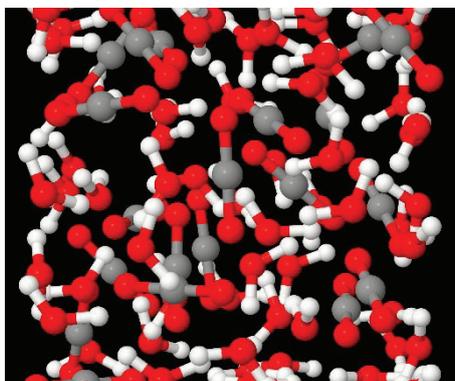


図1：水分子と二酸化炭素分子の初期配置（白：水素、赤：酸素、灰色：炭素）

用意されたものを用いている。また表面サイズなどは、計算機環境に依存する部分もあるため、ある程度仮想的な状態で計算して評価を行う必要がある。

## 5. 研究の結果および今後の予定

計算機実験環境を構築し、Phase/0 を用いた Si 結晶構造における電荷密度計算や、構造解析などを行ってきた。また、他の共同研究との連携も考慮し、現在は水分子と二酸化炭素のランダム配列情報を初期値として準備し、その安定化後の挙動を確認する予定である。水分子と二酸化炭素分子の配列初期値については、packmol ソフトウェア(<https://m3g.github.io/packmol/>)により生成している（図1）。現時点では水分子 60 個に対し、二酸化炭素分子 20 個を用意しているが、気泡生成条件などは今後最適なパラメータ設定も行う必要がある。また、帯電条件や相界面における状態など、パラメータを増やして今後解析を行う必要もある。その他、第一原理計算ソフトウェアとして LAMMPS(<https://www.lammps.org/>)などもあるため、使用目的に合わせて柔軟に開発を進めていきたい。

## 紫外線計測データに基づく母体と赤ちゃんのビタミンD生成量の推定と血中ビタミン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 地球システム領域）

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 地球システム領域）

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、日本人の特に若年女性の間でビタミンD（以下「VD」という）不足が問題と  
なっている。その原因の一つとして、紫外線の有害性を恐れるあまり日光浴を  
忌諱する風潮が考えられる。適度な日光浴によりVDは十分生成できるはずであるが、  
その指針は国内各機関も現時点では明確に示せていない。申請者らはこれまでに、  
太陽紫外線から1日の生活に必要なVDを体内で生成するために必要な日光浴時間  
を計算で求める手法の開発を行ってきた。本研究では研究を進め、関東の産婦人科  
病院を受診する妊婦を対象に、アンケートによって得た直近の日光浴時間を実際の  
近隣の紫外線観測データと合わせて解析することで、体内で生成したと思われるVD  
量を推定する。これと実際に妊婦の血液中で測定されたVD濃度の相関関係を導出す  
る。そのことによって、日本各地で各季節に、健康のためにはどの程度の日光浴が  
必要かという知見を得ることが出来るものと期待される。

### 4. 研究の背景と目的

1980年代の南極オゾンホールが発見以降、有害紫外線（UV-B）の増加が危惧され  
るようになってきた。紫外線は浴びすぎると肌や目に悪影響を及ぼす一方で、紫外  
線には皮膚でVDを生成するという働きもある。VDの摂取には食事からの摂取と紫  
外線照射による皮膚での生成があり、厚生労働省では食事からの摂取目安量として  
1日8.5 μgを推奨している。一方紫外線照射による皮膚でのVD生成量には、季節、  
緯度、天候、時間、肌の色など様々な要因が関連しており、各組織も目安となる日光  
照射時間を提示することが出来ずにいた。2000年代以降、特に肌の美容の観点を重  
視する若年女性の間で紫外線を避ける風潮が広がり、その結果、最近では日本の若  
年女性を中心にVD不足や欠乏が広がってきていることが報告されてきている。VD欠  
乏は自分で認知することが出来ず、VD欠乏の結果骨の健康状態が悪化し、骨折など

を起こして初めてVD欠乏を認識することが可能となる。そこで我々は、日本人の妊婦のVD健康状態を把握し、その不足や欠乏要因を推定するための研究を実施することにした。

## 5. 研究の結果および考察

我々は、都内の大学病院の産婦人科を受診した妊婦309人について、VD栄養状況の調査を行った。まずアンケートから、妊婦の食事からのVD摂取量の推定を行った。次に、妊婦の過去2週間の外出履歴をもとに、近くの紫外線観測点における実際の紫外線観測データをもとに、妊婦の外出時の太陽紫外線による皮膚におけるVDの生成量の推定を行った。この推定には、我々がこれまでの研究で開発してきた、太陽紫外線により皮膚で生成されるVDの推定方法を用いた<sup>1),2),3)</sup>。食事で得られたVDと、外出時の太陽紫外線によって生成されたVDの合計値と、妊婦のVD栄養状態の指標となる、採取した血液中の25(OH)D濃度との間の相関関係を調べた。その際、太陽紫外線の強度によって紫外線が強い時期、中ぐらいの時期、弱い時期の3つに分けて解析を行った。

その結果、食事からのVD摂取量と血中VD濃度には年間を通じて弱い相関があることが判った。一方、紫外線によるVD生成とVD濃度は、紫外線強度の強い夏のみ強い相関があり、中ぐらいの時期や弱い時期には統計的に有意な相関関係は見られないことが明らかとなった。また、妊婦は厚生労働省が推奨する以上の量のVDを平均的には摂取しているにもかかわらず、血中のVD濃度はその大半が欠乏状態にあることが判った。

## 6. 今後の展開

日本では、妊婦の多くが推奨する以上のVDを摂取しているにもかかわらず、VD欠乏状態にあることが判った。その理由の一つとして考えられるのは、妊婦においては摂取したVDの大部分が、赤ちゃんの骨の生成に消費される可能性がある。今後は妊婦以外に生まれてくる赤ちゃんも対象を広げて解析を行い、日本人のVD健康状態の把握とその改善に努めていきたい。

## 7. 引用文献

- 1) 宮内正厚, 中島英彰, 平井千津子, *ビタミン*, **88**, 349-357, 2014.
- 2) Miyauchi, M., and H. Nakajima, *Photochem. and Photobiol.*, **92**, 863-869, 2016.
- 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.

## 8. 付記

本研究の結果は、以下の論文にまとめて、現在印刷中である。

Nakajima, H., et al., *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.*, 2023, in press.

## セシウム蓄積に関わるダイズのイオノーム解析

### 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年の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。Csを吸収しにくいダイズ産出を目的として、世界、日本の主要な品種・系統を熟期により2分割(標準型、晩生型)して栽培した。葉と子実の元素分析を行い、分析結果をもとにGWAS解析を実施した。葉のCs濃度は標準型、晩生型とも同様の分布であったが、子実のCs濃度は晩生で全体的に高く、分布も広がりが見られた。葉、子実の全元素を含めたネットワーク解析を行うと、5つのモジュールに分かれた(図1)。子実のCsは標準型、晩生型とも微量元素(B, Cu, Co, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn)と同じモジュールに入り、特にルビジウムと強い相関が見られた。GWAS解析の結果、標準型の葉では3番染色体、晩生の子実では1番染色体にp値が高い強いピークが見られた(図2)が、他の微量元素と同様の位置にGWASのピークは見られなかった。

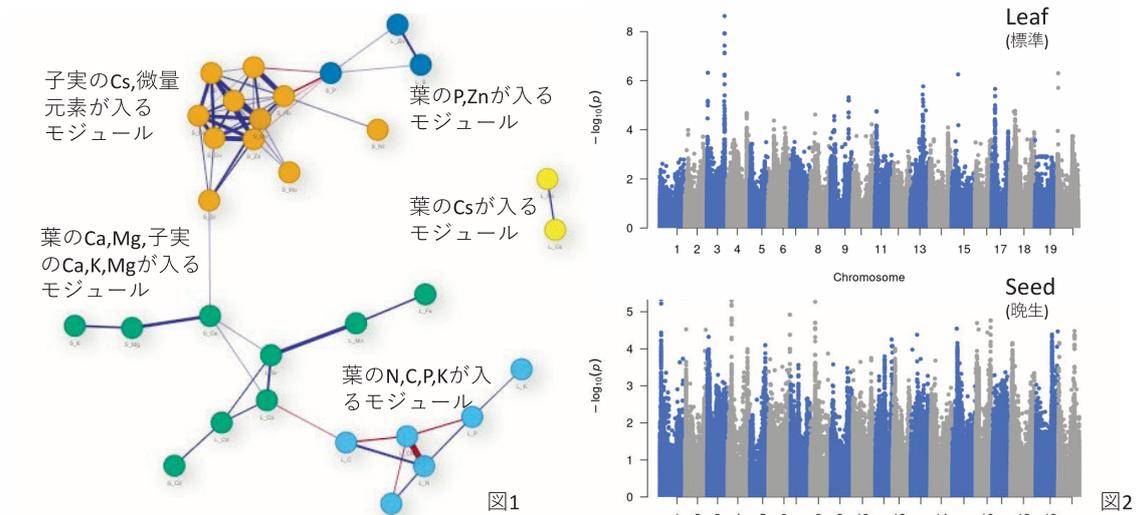


図1 全元素を含めたネットワーク解析（青は正、赤は負の相関を示し、太さは相関の強さを示す。元素の色が同じものは同じモジュールを示す）

図2 葉（標準型）と子実（晩生型）のCs濃度のマンハッタンプロット

#### 4. 研究の背景と目的

2011年の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。ダイズは子実にミネラルを蓄積しやすく、Cs濃度も他作物と比較して高い<sup>1),2)</sup>。Csを吸収しにくいダイズ産出を目的として、Cs輸送に関する候補遺伝子を探索するため、世界のコアコレクション(89品種・系統)、日本のコアコレクション(94品種・系統)、および日本の奨励、在来品種から成る福大コレクション(141品種・系統)を熟期により2分割(標準型、晩生型)して栽培した。葉(8月下旬に展開葉から2枚下を採取)と子実の元素分析を行い、分析結果をもとにGWAS解析を実施した。

#### 5. 研究の結果および考察

葉のCs濃度は標準型、晩生型とも同様の分布であったが、子実のCs濃度は晩生で全体的に高く、分布も広がりが見られた(図3)。葉、子実の全元素を含めたネットワーク解析を行うと5つのモジュールに分かれた。子実のCsは標準型、晩生型とも微量元素(B, Cu, Co, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn)と同じモジュールに入り、特にルビジウム(Rb)と強い相関が見られた(図4)。GWAS解析の結果、標準型の葉では3番染色体、晩生の子実では1番染色体にp値が高い強いピークが見られた(図5)が、他の微量元素と同様の位置にGWASのピークは見られなかった。

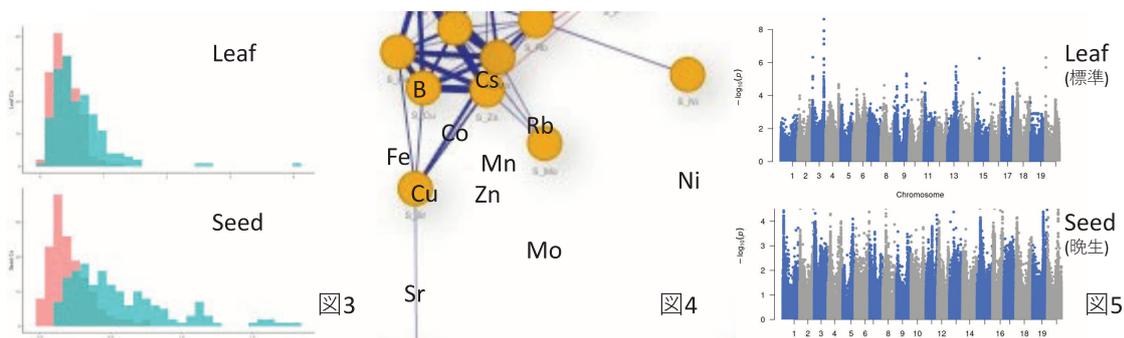


図3 葉と子実のCs濃度のヒストグラム(赤:標準型、青:晩成型)

図4 子実(標準型)の全元素を含めたネットワーク解析(青は正、赤は負の相関を示し、太さは相関の強さを示す。元素の色が同じものは同じモジュールを示す)

図5 葉(標準型)と子実(晩生型)のCs濃度のマンハッタンプロット

#### 6. 今後の展開

強いピークが見られたローカス内の遺伝子について、その機能やアミノ酸配列を精査して候補遺伝子を選抜する。他イオンの候補遺伝子との比較や、候補遺伝子のノックアウト株を用いた遺伝子の機能解明を行い、Csを蓄積しにくいダイズ開発を行う。

#### 7. 引用文献

- 1) Nihei, N. et al. *Plant Production Science*, 1-6, 2018
- 2) Nihei N, Sugiyama A., et al.. *Radioisotope*, 66, 235-242, 2017

#### 8. 付記

第254回日本作物学会にて発表

## マイクロ間隙流路を用いたコロイド粒子挙動に関する研究

### 1. 研究組織

代表者氏名：濱本昌一郎（東京大学 農学生命科学研究科）

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

土壌中では、粘土粒子などナノ・マイクロスケールの微粒子が存在している。土壌内の汚染物質の移動性評価を行う上で、コロイド粒子およびコロイド粒子担体汚染物質挙動の理解は重要である。本研究では、固液界面近傍で陽イオン交換反応が生じるときのコロイド粒子の挙動を明らかにすることを目的とし、マイクロ流路モデルを用いたコロイド輸送実験を行った。1価のNa溶液条件よりも2価の陽イオン溶液条件で、マイクロ流路内のピラー表面におけるコロイド粒子沈着効率が増加した。低pH条件でコロイド粒子と石英表面間に働く静電斥力が低下するためと考えられた。Ca溶液からNa溶液への陽イオン交換時、および純水通水時のイオン強度低下に伴うピラー表面からのコロイド粒子の脱離は見られなかった。この結果は、別途行った同じ条件の土壌充填カラムを用いた輸送実験と異なるものであった。マイクロ流路内の間隙経路は多孔質体内の間隙経路と比べて屈曲性が低く、ピラー周囲の流体力学的な抗力が強くなることが相違の要因と考えられた。一方で、マイクロ流路内で沈着したコロイド粒子は、陽イオン交換反応やイオン強度によらず沈着を維持したことから、多価陽イオン存在下でコロイド沈着に関わる強力な引力の存在が示唆された。

### 4. 研究の背景と目的

土壌中では、粘土粒子などナノ・マイクロスケールの微粒子が存在している。これらコロイド微粒子は表面活性が高いため、汚染物質を吸着し輸送担体として汚染物質の輸送促進に寄与する。土壌内の汚染物質の移動性評価を行う上で、コロイド粒子およびコロイド粒子担体汚染物質挙動の理解は重要である。これまで、土壌環境を模したカラム実験により多孔質媒体中のコロイド粒子の挙動が、コロイド粒子の特性、多孔質媒体の特性、流れ場の物理的・化学的性質など、さまざまな要因に影響されることが明らかにされてきた。一方、多孔質媒体表面で生じる陽イオン交換反応に伴うコロイド粒子の挙動については、イオン交換と同時にコロイド粒子が脱離する報告や、イオン交換時に脱離せず、その後のイオン強度の低下に伴い脱離する報告があり、一貫した結果が得られていない。そこで本研究では、固液界面近傍で陽イオン交換反応が生じるときのコロイド粒子の挙動とそのメカニズムを明らか

にすることを目的とし、マイクロ流路モデルを用いたコロイド輸送実験を行った。

## 5. 研究の結果および考察

本研究では、モデルコロイドとして平均粒径数  $\mu\text{m}$  の黄橙色蛍光カルボキシラテックス (CL) 粒子を用いた。マイクロ流路モデル (石英製) には長さ 60 mm, 幅 1.4 mm, 深さ 0.05 mm の流路があり、流路中央部には直径 0.2 mm のピラー (円柱) が 0.11 mm 間隔で設置した。2 mM の  $\text{CaCl}_2$  水溶液,  $\text{ZnCl}_2$  水溶液及び 10 mM の  $\text{NaCl}$  水溶液に粒径 1  $\mu\text{m}$  の CL 粒子を添加し、CL 懸濁液を作成した。CL 粒子を含まず、組成が CL 懸濁液と等しい電解質水溶液 (BG 水溶液) も作成し、これらの溶液をマイクロ流路内に通水することで、陽イオン交換時のピラー表面のコロイド挙動を観察した。

CL 懸濁液通水時、ピラー表面における CL 沈着効率は、1 価の Na 溶液条件よりも 2 価の陽イオン溶液条件で高くなった。さらに、低 pH 条件の時に沈着効率が高くなる傾向がみられた。この結果は、別途原子間力顕微鏡により測定した CL 粒子と石英表面間に働く表面間力の測定と整合し、低 pH 条件で表面間の静電斥力が低下するためと考えられた。Ca 溶液から Na 溶液への溶液交換、および純水通水時のイオン強度低下に伴う CL 粒子の脱離は見られなかった。一方、同じ条件の土壌充填カラム実験では、イオン強度低下に沈着コロイド粒子の一部脱離がみられた (東ら, 2022)。マイクロ流路内の間隙経路は多孔質体内の間隙経路と比べて屈曲性が低いいため水流に淀みが生じにくく、ピラー周囲の流体力学的な抗力が強くなる。そのためマイクロ流路内はコロイド沈着の生じにくい条件であったことが考えられる。このような条件下で沈着したコロイド粒子には、陽イオン交換反応の影響を受けないほど強い引力が働くことが示唆された。

## 6. 今後の展開

今後、コロイド粒子や土粒子特性 (種類や大きさなど) などの実験条件を追加し、土粒子-コロイド粒子間の相互作用力のさらなる理解が求められる。また、より自然土壌に近い土壌環境下でのコロイド粒子挙動解明に向けて、土壌内での空気-土粒子界面近傍でのコロイド沈着・脱離特性や、これらに対する影響要因について研究を進める必要がある。

## 7. 引用文献

- 1) 東陸太郎, 濱本昌一郎, 西村拓, 陽イオン交換反応が飽和多孔質媒体中のコロイド輸送に与える影響, 土壌の物理性, 150, p.105-113, 2022

## 8. 付記

- 1) Rikutaro Higashi, Shoichiro Hamamoto, Effects of cation exchange on colloid transport in saturated porous media, Tsukuba Global Science Week 2022, 筑波大学, 2022

## アジア圏界面エアロゾル層 (ATAL) の影響研究： 2003～2022 年夏季の日本でのライダー連続観測に基づいて

### 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）

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

アジア圏界面エアロゾル層 (ATAL) は、夏季アジアモンスーン領域の下部成層圏に形成される汚染物質起源のエアロゾル層である。放射過程を介して気候への影響やオゾン層光化学への影響が懸念されている。また、対流圏下層へ戻ってくれば広域にわたり健康への影響もありうる。ATAL は衛星観測により発見され、その組成については数値モデル実験により様々な仮説が提唱されているが、直接観測が未だにきわめて限られている。

本研究では、ATAL の特性を地上リモートセンシング観測により明らかにするために、気象庁気象研究所（つくば）のライダーの夜間観測データ（2003～2021）に、さらに福岡大学のライダーの夜間観測データ（2018～2022）も加え、本研究のための再処理をおこない、解析をおこなった。また、人工衛星によるエアロゾルのライダー観測 (CALIPSO) の月平均データを解析し、ATAL シグナルをマスクしてしまう火山噴火および大規模森林火災によるシグナルの広域分布を把握した。その上で、つくばと福岡でのすべてのライダー観測実施日について、全球大気再解析データ ERA5 を用いた後方流跡線解析をおこなった。また ERA5 を用いた気象場の解析もおこなった。その結果、ATAL シグナルが観測できた年については、すでに出版済みの 2018 年夏季の事例解析結果と同様に、ライダーが下部成層圏で粒子増大を観測した際にはその空気の起源が夏季アジアモンスーン高気圧内にあり、そうでない時には高気圧のへりを通り過ぎてきていたことが確認できた。また、2022 年については、1 月に南太平洋でフンガ・トンガ＝フンガ・ハアパイ海底火山が噴火したが、その影響が日本のライダー観測データにもみられた。さらにこの年の 8 月には、米国主導による ATAL も狙った航空機観測 Asian Summer Monsoon Chemical & CLimate Impact Project (ACCLIP) が韓国をベースに実施され、我々のグループもライダー観測等により貢献した。

#### 4. 研究の背景と目的

アジア圏界面エアロゾル層 (ATAL) は、夏季アジアモンスーン領域の下部成層圏に形成される汚染物質起源のエアロゾル層である。放射過程を介して気候への影響やオゾン層光化学への影響が懸念されている。また、対流圏下層へ戻ってくれば広域にわたり健康への影響もありうる。ATAL は衛星観測により 2011 年に発見され、その組成については数値モデル実験により様々な仮説が提唱されているが、直接観測が未だにきわめて限られている。本研究では、このテーマに実績のあるつくばのライダー観測データを長期間 (2003~2022) にわたり解析することにより、ATAL の特性を定量的に導出する。

#### 5. 研究の結果および考察

気象庁気象研究所 (つくば) のライダーの夜間観測データ (2003~2021) に、さらに福岡大学のライダーの夜間観測データ (2018~2022) も加え、本研究のための再処理をおこない、解析をおこなった。また、人工衛星によるエアロゾルのライダー観測 (CALIPSO) の月平均データを解析し、ATAL シグナルをマスクしてしまう火山噴火および大規模森林火災によるシグナルの広域分布を把握した。その上で、つくばと福岡でのすべてのライダー観測実施日について、全球大気再解析データ ERA5 を用いた後方流跡線解析をおこなった。また ERA5 を用いた気象場の解析もおこなった。その結果、ATAL シグナルが観測できた年については、2018 年夏季の事例解析結果<sup>1)</sup>と同様に、ライダーが高度 15~18 km の下部成層圏で粒子増大を観測した際にはその空気の起源が夏季アジアモンスーン高気圧内にあり、そうでない時には高気圧のへりを通り過ぎていたことが確認できた。また、2022 年については、1 月に南太平洋でフンガ・トンガ=フンガ・ハアパイ (HTHH) 海底火山が噴火したが、その影響が日本のライダー観測データにもみられた<sup>2)</sup>。さらにこの年の 8 月には、米国主導による ATAL も狙った航空機観測 Asian Summer Monsoon Chemical & CLimate Impact Project (ACCLIP) が韓国をベースに実施され、我々のグループもライダー観測等により貢献している。

#### 6. 今後の展開

解析結果を整理し、特に長期間の平均的描像に加えて年々の変動の様子についても分析を加える。その上で、論文化する。また、2022 年の観測については HTHH 噴火影響および ACCLIP への貢献の観点で、より詳しい分析をおこなう。

#### 7. 引用文献

- 1) Fujiwara, M., et al.: Lower-stratospheric aerosol measurements in eastward-shedding vortices over Japan from the Asian summer monsoon anticyclone during the summer of 2018, *Atmos. Chem. Phys.*, 21, 3073-3090, doi: 10.5194/acp-21-3073-2021, 2021.
- 2) Khaykin, S. et al.: Global perturbation of stratospheric water and aerosol burden by Hunga eruption, *Comm. Earth Environ.*, 3, 316, doi: 10.1038/s43247-022-00652-x, 2022.

## 国内産カラスビシャク系統から調製した生薬半夏と 中国産市販半夏中の低分子成分の比較解析

### 1. 研究組織

代表者氏名：松岡 健（九州大学 農学研究院）  
共同研究者：矢崎一史（京都大学 生存圏研究所）  
                  中西浩平（京都大学 生存圏研究所）  
                  佐藤春菜（九州大学 生物資源環境科学府）  
                  江口壽彦（九州大学 実験生物環境制御センター）

### 2. 関連ミッション

ミッション5：高品位生存圏

### 3. 研究概要

半夏は野草カラスビシャクの塊茎から調製される生薬である。半夏はえぐみを持ち、その成分として2種の化合物が20世紀半ばに報告されている<sup>1,2)</sup>。そこで昨年度に輸入半夏中のこれら成分の定量を試みたが、現在の分析方法ではこれら成分の存在は見出されなかった。これを受けて本研究では、これら化合物がそもそも存在しないか、それとも半夏の調製過程でこれらが消失するかについて検討を実施する。また低分子化合物のHPLCフィンガープリント解析と半夏中の機能性多糖の定量解析により、輸入半夏と、国内の複数地点から採取して九州大学で系統保存中のカラスビシャクから調製した半夏の比較を実施する。

### 4. 研究の背景と目的

東アジアに分布する野草カラスビシャクの塊茎は、剥皮乾燥され半夏と呼ばれる生薬（漢方薬原料）となる。半夏は漢方処方量のほぼ1/4に含まれ、消費量上位10位以内に位置する極めて重要な生薬である。半夏の供給はほぼ100%中国から輸入に頼っており、そのため国内生産に向けた耕作放棄地での栽培系の開発が複数の地方公共団体において進行中である。九州大学においては国内産カラスビシャクの栽培品種化を目指した研究を進めており、複数の国内産系統の生育温度特性等について報告している<sup>3)</sup>。また国内37地点由来系統の栽培形質の把握を進め、この過程で選抜した優良系統の品種登録が進行中である。一方、情報不足のため日本薬局方に定める半夏の品質基準中に化合物の記載は無い。そこで九州大学においては、半夏の多糖性吐気防止成分の定量系を開発し、国産カラスビシャクの栽培条件などによるこの成分の増減の変化などの解析などを進めている。また森林圏遺伝子制御分野との共同研究により、20世紀半ばに半夏のえぐみ成分として報告されたホモゲンチジン酸<sup>1)</sup>とジヒドロキシベンズアルデヒド<sup>2)</sup>の定量系を確立した。しかし解析対象とし

た中国産半夏 1 品目中にこれら成分を検出することができなかった。

本研究においては、国内系統の塊茎から異なる方法で調製した半夏や凍結乾燥塊茎におけるこれら成分の存在を検討し、塊茎の加工法がこれら成分の存在に影響するか検討する。またこれまでに確立したクロマトグラフィー分離系において見出される複数のピークを対象にした低分子化合物のフィンガープリント解析と、同一の半夏試料中の有効多糖の含量の検討を実施することで、国産カラスビシャク由来の半夏と輸入半夏の比較を進める。本研究の成果は、国産カラスビシャク由来の半夏が中国産と複数の成分の含量に関して同等であるかの情報となり、高品位生存圏の構築のためのカラスビシャク栽培に、国内在来系統を成分検討無しに用いても良いか、それとも選抜系統を用いるべきかの判断材料となる。

## 5. 研究の結果および考察

昨冬に現在系統保存中の 1 系統を複数個体栽培し、それらから収穫した塊茎を対象に、水洗後そのまま凍結乾燥、水洗後剥皮して凍結乾燥、水洗後剥皮して風乾（風乾後の塊茎が半夏）という 3 処理を行なったサンプルを調製していた。本年度においては大きな塊茎を形成する現在品種登録中の系統の母系統を複数個体栽培し、現在これらの塊茎から上記の処理により 3 種のサンプルを調製中である。

また輸入半夏と国産カラスビシャク由来の半夏の比較検討のため、市販の 8 品目の半夏と、国産カラスビシャク 5 系統から調製した半夏（うち 1 系統からは 2 回調製）を対象に、有用多糖の含量を検討した。その結果、市販半夏のうち 1 品目および国産系統から調製した半夏 1 サンプル中には有用多糖は検出されなかったが、この国産系統から別の時点で調整した半夏中には有用多糖が検出された。

## 6. 今後の展開

現在進行中の半夏の調製が完了次第、低分子化合物部の検討を実施する。これらの結果、市販の半夏と国産系統から調製した半夏の成分の関係、およびカラスビシャクから半夏の調製過程とえぐみ成分の残存の関係が明らかになると期待される。

## 7. 引用文献

- 1) Hasegawa, C., Sakamoto Y., Ichihara K., On the Relationship between Homogentisic Acid and the Egumi-taste of Bamboo Shoots and Hange, *Proc. Japan Acad.*, **53**, 246-251, 1959.
- 2) Suzuki M., Studies on the irritating substance of *Pinellia ternata* Breitenbach (Araceae), *Arzneimittelforschung*, **19**, 1307-1309, 1969..
- 3) Eguchi, T., Tanaka H., Moriuchi D., Yoshida S., Matsuoka K. Temperature effects on the photosynthesis by the medicinal plant *Pinellia ternata* Breit *Environm. Control Biol.*, **58**, 49-50, 2020.

## 心材ノルリグナン類の生合成遺伝子の同定

### 1. 研究組織

代表者氏名：山村正臣（徳島大学 生物資源産業学部）

共同研究者：梅澤俊明（京都大学 生存圏研究所）

服部武文（徳島大学 生物資源産業学部）

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5：高品位生存圏

### 3. 研究概要

ノルリグナンは  $C_6-C_5-C_6$  の炭素骨格を持つフェノール性化合物群の総称である。本化合物群はヒノキやスギなどの針葉樹の特に心材部で多く見出されており、その他数種の単子葉植物においてもノルリグナンを産生するものが知られている。ノルリグナンはエストロゲン様活性などヒトに対する生理活性を有する一方で、抗菌活性を有することでも知られており、針葉樹心材部に特異的に多量蓄積することで樹木内部の心材腐朽の防止に貢献している。また、ある種のノルリグナンがスギやヒノキの心材色の原因物質であることも知られている。ノルリグナンが特異的に心材に蓄積することやその生合成が心材形成の時期と連動していることから、ノルリグナン生合成機構の解明が心材形成機構解明の緒となると期待されているが、これまでに心材ノルリグナンの生合成遺伝子は全く同定されていない。

本研究で心材ノルリグナン生合成遺伝子を同定し、これをもとに分子生物学的観点から心材形成に関わる新たな知見の取得を目指す。また、得られる知見は将来的にスギ黒心問題の解消、高抗菌性材を産生する針葉樹の創出及び育種、合成生物学を利用した心材抗菌物質生産への展開が期待される。

### 4. 研究の背景と目的

これまでも心材形成機構を解明すべく様々な観点から研究されてきたが、未だに完全に説明できるような研究報告はない。近年では、移行材付近の試料から調製した RNA を解析することによって心材形成時の遺伝子発現を研究した報告例はあるが、その数はごくわずかである。日本固有種のスギでは、現在のところゲノム情報は公開されておらず、一方、遺伝子発現解析 (RNA-seq) データについては公開されているものの、心材形成解明を目的としたデータセットの蓄積はない。仮に心材から得た RNA-seq データがあったとしても、膨大な遺伝子情報の中から心材形成に関わる遺伝子を絞り込むためには、心材形成時にのみ特異的に発現するような指標となる遺伝子の情報が必要不可欠である。心材に特異的に蓄積するノルリグナン類

の生合成は心材形成と連動しているため、ノルリグナン生合成遺伝子の発現パターンを指標にすれば、心材形成関連遺伝子を絞り込むことが可能であると考えられる。

上記より、分子生物学的観点からスギ心材形成に関わる新たな知見を取得するため、本研究では、まずスギのノルリグナン生合成経路において初発物質である(*E*)-ヒノキレジノールの合成酵素 (EHRS) (Suzuki et al., 2004) の遺伝子同定を目的とした。

## 5. 研究の結果および考察

本研究ではスギの膨大な遺伝子発現データの中から、EHRS 酵素活性の情報をもとに、EHRS 遺伝子を絞り込むことを計画しており、本年度はスギ材の様々な部位由来の試料から自前の RNA-seq データセットの構築、酵素アッセイ系の確立に向けた予備実験を行った。一般に、心材やその周辺組織における細胞は死んだ細胞とされており、それら組織から如何にして十分な RNA やタンパク質を調製できるかが重要となる。そこで、伐採直後のスギの心材、移行材、辺材などから削り出した粗粉末試料を液体窒素で瞬時に凍結させ、凍結状態を維持したまま微粉碎化したところ、心材などの組織からでも粗酵素アッセイに使用可能な濃度の粗酵素液が調製できることが明らかとなった。RNA 抽出については、市販の抽出キットなどでは量・質ともに程度の低い RNA しか得られず、現在様々な手法での RNA 抽出を試みている。また、スギ材の他にスギカルスについても試料として用いる計画をしている。既にスギ実生よりカルス形成に成功しており、現在寒天培地上で無菌的に増殖させている。

一方、ノルリグナンの一種である(*Z*)-ヒノキレジノールの合成酵素 (ZHRS) 遺伝子がアスパラガスより単離されており (Suzuki et al., 2007)、本遺伝子がこれまでに同定された唯一のノルリグナン生合成遺伝子である。現在公開されているスギ遺伝子情報の中には、アスパラガス ZHRS と相同性の高い遺伝子配列は見つかっておらず、最も相同性の高い遺伝子配列でもアミノ酸レベルで 31.7% identity であった。しかし、相同性が高くないとは言え、スギのノルリグナン生合成遺伝子ではないと排除することができないため、本研究では当該の遺伝子についてもクローニングし、組換えタンパク質発現に向け現在実験を進めている。

## 6. 今後の展開

スギの材やカルスの試料に対して RNA-seq を実施し、さらに同試料におけるノルリグナン酵素活性の情報をもとに、スギノルリグナン生合成遺伝子を同定する。また、それら遺伝子と連動して発現する心材形成関連遺伝子群を見出す予定である。

## 7. 引用文献

- 1) Suzuki S, Yamamura M, Shimada M, Umezawa T. *Chem Commun.* 2838-2839 (2004)
- 2) Suzuki S, Yamamura M, Hattori T, Nakatsubo T, Umezawa T. *PNAS* 104:21008-21013 (2007)

## Evolution and possible interactions of the electron zebra stripes in the Earth's inner magnetosphere

### 1. Research team

Leader: PANDYA, Megha (Research Institute for Sustainable Humanosphere,  
Kyoto University)

Collaborator: EBIHARA, Yusuke (Research Institute for Sustainable Humanosphere,  
Kyoto University)

### 2. Related missions

Mission 3: Sustainable Space Environments for Humankind

### 3. Abstract

In the Earth's inner radiation belts, the electron fluxes with 100's keV energies are observed to show several peaks in the energy versus L-value spectra. These band like structures are named "zebra stripes". In the present studies, we make a simulation approach to reproduce the electron zebra stripes under the realistic solar wind conditions. At the beginning of the simulation the electrons show a very smooth distribution in space. Under the influence of the sudden enhancement of the westward electric fields in the pre-midnight to the postdawn region, the electrons start to perform a radially inward motion. This leads to an intensified electron fluxes at certain energies and hence the formation of the peaks in the zebra stripes. The electrons forming the valleys in the zebra stripes does not show a considerable radially inward movement under the influence of these westward electric fields. The simulated electron zebra stripes are consistent with the electron zebra stripes recorded by Radiation Belt Storm Probes Ion Composition Experiment (RBSPICE) on-board Van Allen Probes spacecraft. We provide the comprehensive analysis of the plausible global mechanisms that are likely to disrupt the magnetic field strength deep into the Earth's inner magnetosphere to  $L = 1.1$ . This could be attributed to propagation of the electric fields along the magnetic fields from the ionosphere to the magnetosphere. Thus our study provides a crucial role of magnetosphere-ionosphere coupling in the redistribution of the electron fluxes in the inner magnetosphere. The variation in the intensity of these energetic electrons is also important from the socioeconomic perspective as they can cause a potential hazard to life of astronauts and damage the sensitive instruments on the spacecrafts.

#### 4. Background and purpose of the research

In the beginning of the space era, the electron flux distribution in the Earth's inner radiation belts were assumed to be uniform and well-ordered. However, a peaks in the electron flux intensities were first reported near the South Atlantic Anomaly region by low altitude, polar orbiting satellites<sup>1)</sup>. These structures appear like banded-stripes in the energy versus  $L$ -value spectrogram and are named as “zebra stripes”<sup>2)</sup>. These structures can be observed at  $L < 3$  during geomagnetically active and quiet intervals. A numerous researchers have addressed the plausible mechanism for the formation of the electron zebra stripes, yet it remains an open question. We make the first ever efforts to explain the mechanism for the formation of electron zebra stripes using advection simulation under time dependent electric fields obtained from the global MHD simulation. We reproduce the electron zebra stripes using simulation and explain the origin and fundamental properties of the peaks and valleys.

#### 5. Results and discussion

The energetic electron fluxes in the Earth's radiation belts were recorded by the Radiation Belt Storm Probes Ion Composition Experiment (RBSPICE) instrument on-board Van Allen Probe-A. The electron zebra pattern were observed during 8 September 2017 in the 20-500 keV energy range below  $L=3$ . Using advection simulation we reproduced the electron zebra stripe pattern that evolves under the influence of the electric fields obtained from the global MHD simulation. Figure 1 shows the energy versus  $L$ -value spectra of the simulated electron zebra stripes observed at 10:30 UT on 8 September 2017 having initial equatorial pitch angle  $67.7^\circ$ .

Using test particle simulation we back-trace the electron trajectories for different energy electron fluxes at 0000 MLT and 1030 UT on 8 September 2017. We find that the electrons that give rise to the peaks in the zebra stripes comes from the outer boundary of  $L=4$ . The electrons undergo a radially inward movement under the influence of the negative azimuthal electric fields from the premidnight-postdawn region. Contrarily, the valley electrons do not show any considerable radially inward movement.

Figure-2 shows the  $L$ -MLT distribution of the magnetospheric condition at 1030 UT on 8 September 2017. Figure 2(a) shows the pair of field aligned currents (FACs) that goes in (positive) and out (negative) of the ionosphere. During this interval, a strong gradient in the ionospheric conductivity is observed in the midnight region (panel-b). Panel-c shows that the ionospheric potential contour intensifies and a

strong asymmetry in the positive and negative potential contour patterns appear. The dusk-side contour (blue) elongates to the dawnside from the equatorward edge. Accordingly, an azimuthal component of the electric field strengthens and a strong westward electric field appears (panel-d).

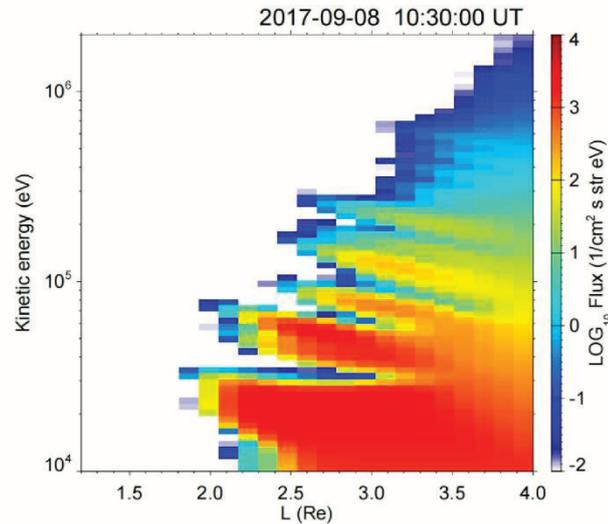


Figure 1: The simulated electron fluxes in the Earth's inner magnetosphere during 8 September 2017 is shown. The abscissa is the distance from the center of the Earth (in Earth-radii), and the ordinate is the kinetic energy of the electrons.

The generation of the region-1 FACs is associated with the low-latitude magnetopause where the southward component of the IMF leads to the reconnection process and the magnetospheric magnetic field lines are dragged in the anti-sunward direction by the solar wind and magnetospheric originated plasma<sup>3)</sup>. These FACs give rise to the intensification of the electric potential entirely in the ionosphere. A negative space charge is accumulated in the nightside region of equatorial edge of the auroral oval due to gradient of the ionospheric conductivity. The charge accumulation elongates the duskside convection cell to the dawn region. This is also consistent with the recent studies by Lejosne and Mozer<sup>4)</sup> that explains the importance of the electric fields for the formation of electron zebra stripes.

## 6. Future directions

We make a detailed case study to highlight the role of magnetosphere-ionosphere coupling in formation of the electron zebra stripes. However it is important to understand the long term behaviour of the electron zebra stripes under the influence of the field aligned current. Hence, we will focus to examine the role of relative contribution of various mechanisms that is likely to modulate zebra pattern.

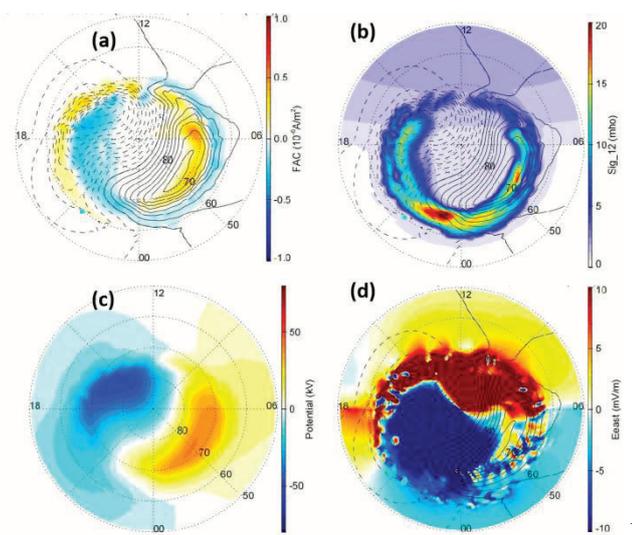


Figure 2 L-MLT distribution of the distributions of (a) field-aligned currents (FACs), (b) the ionospheric Hall conductivity, (c) the electric potential (red for positive and blue for negative potentials), and (d) eastward component of the ionospheric electric field (red for eastward and blue for westward) in the ionosphere in the Northern Hemisphere at 1030 UT on 8 September 2017.

## 7. Reference

- 1) A. Ukhorskiy, M. I. Sitnov, D. G. Mitchell, K. Takahashi, L. J. Lanzerotti, & B. H. Mauk, Rotationally driven 'zebra stripes' in Earth's inner radiation belt. *Nature*, 507 (7492), 338–340. 10.1038/nature13046, 2014.
- 2) W. L. Imhof & R. V. Smith, Observation of nearly monoenergetic high-energy electrons in the inner radiation belt. *Physical Review Letters*, 14(22), 885. 10.1103/physrevlett.14.885, 1965.
- 3) Y. Ebihara, & T. Tanaka, Where Is Region 1 Field-Aligned Current Generated? *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 127(3). 10.1029/2021ja029991, 2022
- 4) S. Lejosne, & F. S. Mozer, Experimental Determination of the Conditions Associated With Zebra Stripe Pattern Generation in the Earth's Inner Radiation Belt and Slot Region. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 125(7). 10.1029/2020ja027889, 2020.

8. **Notes** Megha Pandya, Y. Ebihara et al., "Generation of electron zebra stripes in the Earth's inner magnetosphere", The 152th SGPSS General Assembly, 2022, Japan.

## 万能アンテナの開発

### 1. 研究組織

代表者氏名：氏原秀樹（京都大学 生存圏研究所）

共同研究者：三谷友彦（京都大学 生存圏研究所）

市川隆一（情報通信研究機構 時空標準研究室）

### 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3：宇宙生存環境

### 3. 研究概要

リモートセンシングや宇宙測地、電波天文などの科学観測や通信、無線送電などアンテナの用途は多岐に渡る。アンテナのビームの幅あるいは空間分解能はアンテナ口径（放射源となる電磁界の分布領域）： $D$ と波長： $\lambda$ の比： $\lambda/D$ で決まる。電波望遠鏡や遠距離の通信アンテナでは大きな鏡面を用いて分解能を高める。その焦点に置き、アンプと繋ぐアンテナはフィードアンテナと呼ばれる。効率や感度の点でフィードのビームは鏡面を満遍なく照らし外は照らさないよう、個々の目的に合わせた周波数とビーム幅で設計される。近年は計算機シミュレーションの発達により広帯域化が進んでいるが、ビーム幅の狭い広帯域フィードは口径が大きくなるので開発が難しい。口径が大きくなれば長さも伸びて計算領域が増え、求解時間が伸びるためである。くわえてアンテナのサイズは使用する最大波長で決まるが計算領域の解像度は最小波長で決まる。最大最小波長比が大きいとさらに求解時間が伸びるので、広帯域かつビーム幅の狭いフィードの最適化は大変である。しかし既存の電波望遠鏡の改修や人工衛星ではフィードの搭載スペースに限りがあるため、特定のアンテナ光学系に最適化するのではなく「設計自由度の高い」解を求めることにした。ビーム幅について2~3種類、最大最小波長比は4~10程度の数種類で行った基本設計から搭載するアンテナに合わせて最適化すれば開発時間を短縮できるし、広帯域なので用途を選ばず使える。要するになんにでも合わせられる「万能ネギ」みたいな設計である。その解から大気中の水蒸気量の精密観測と同時に電波天文観測や衛星の軌道決定などを行える広帯域アンテナ(16-64GHz)、SKA(Square Kilometre Array)用のビーム幅のフィード、既存の大口径電波望遠鏡のアップグレードを目指した狭いビーム幅(カセグレン焦点からの副鏡見込み角が15度程度)の広帯域フィード(1.5-15.5GHz)および低周波側のRFI(Radio Frequency Interference)を急峻に切る OMT(Orthogonal Mode Transducer)の開発を行った。これらは科研費18H03828(代表：市川隆一)および21H04524(代表：氏原秀樹)の支援を受けている。

#### 4. 研究の背景と目的

地上で高い分解能を得るためのアンテナの大口径化には自重とたわみによる限界があるが、世界各地のアンテナで原子時計を位相基準として受信波の振幅と位相を記録し、相関処理により各アンテナの相対位置の精密測定や天体の高解像度画像を得る VLBI(超長基線干渉計)観測では地球直径相当の口径による高い分解能が得られる。測地 VLBI 観測のためのアンテナ位置の測定では、遠方の活動銀河核からの連続スペクトラム放射を電波源に用いる。従来は S/X(2.2GHz 帯/8GHz 帯)の 2 バンドで受信帯域幅も数 10-数 100MHz だったが、広帯域化すれば感度が向上し精度が高まる。そのため次世代測地 VLBI システムの VGOS では 1-14GHz から数 GHz 帯域幅を取り出して観測することになった。電波天文では多数のアンテナのアレイで 1 平方 km の集光力を目指す SKA(Square Kilometre Array)計画があり、多周波同時観測のために広帯域フィードを利用する。しかしどちらも開発の容易なビーム幅の広いフィードを新設アンテナに搭載する前提であった。ゆえに従来の大口径電波望遠鏡のカセグレン光学系に適合する狭いビーム幅の広帯域フィードは、前職で鹿島 34m アンテナ向けに開発したものが世界初となった[1]。

これをもとに既存の大型電波望遠鏡のアップグレード、リモートセンシングや衛星搭載アンテナの多機能化と幅広い応用を目指した研究に取り組んだ。狭いビーム幅の広帯域フィードの開発は難しい反面、良像範囲が広いカセグレン光学系焦点面に多数のフィードを置けるので掃天観測の効率向上にもメリットがある。また直線 2 偏波観測のためには広帯域 OMT も必要となるが、どちらも工作精度に余裕を意識して開発したので高周波化も容易であった。その応用として従来[2,3]より簡素なシステムで大気中の水蒸気の精密観測とともに VLBI 観測もできる広帯域受信機とアンテナ、EVN(European VLBI Network)の電波望遠鏡の改修や SKA への提案を目指した開発を行った[5]。

#### 5. 研究の結果および考察

フィードの設計には周波数帯域だけでなくビーム形状も重要である。無限遠でのビーム形状はフィード開口面の電磁界分布を角度でフーリエ変換したものである。電波望遠鏡でよく使われるコルゲートホーンではどちらもガウシアン分布に近いが、アンテナ光学系の効率の点ではアンテナ開口面内を満遍なく照らすことが望ましい。つまり中央が潰れていて鏡面の縁で鋭く落ちるビーム形状の方が良い。本研究では高次モードやレンズを利用して様々な開口面分布とビーム形状の実現を試みた。そのうちの広帯域ラジメータ兼 VLBI 用や SKA 用の設計では矩形に近いビームを実現した(図 1)。帯域の全てではないものの、他の周波数でも理想に近い形状が得られた。

通信波などの電力は天体からの受信波に比べて圧

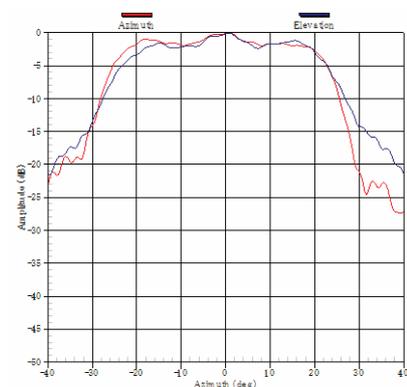


図 1. 試作広帯域フィードのビーム形状の測定例(43GHz)

倒的に強い。そのため小さな透過損失で通信波をシャープに抑圧できるフィルタが望まれているが、超伝導フィルタは高価である。そこで、いくつかの観測バンドで低周波側の通信波をシャープに抑圧できる OMT も設計した[4]。

広帯域ラジメータ兼 VLBI 用には口径 900mm の可搬アンテナを製作した。厚み 2-3mm 程度のアリミ板をヘラ絞り加工した放物面鏡を、国立天文台三好真助教の厚意により主鏡に利用している。想定する観測上限 60GHz に対する波長は 5mm なので、0.5mm 程度が設計目標精度である。支持部材には温度変形が少なく軽量高剛性である CFRP を多用したが、主鏡を遮る副鏡支持材には CNF(セルロース・ナノ・ファイバ)を試用した(図 2)。これは CFRP と異なり電波を通すため交差偏波の低減が期待できるが、吸水性があるので防水加工が必要である。しかし軽量であり、温度変形も少なく安価なので特性を見極めて構造材やアンテナ鏡面基材に利用したい。



図 2. CFRP と CNF で組んだ  
900mm 可搬アンテナ

## 6. 今後の展開

様々なビーム幅と周波数帯の広帯域フィードと OMT の設計例が得られた。SKA や EVN の改修に適用できるかどうかは製作コストと性能、搭載場所のサイズによるが、まずは科研費で開発した広帯域ラジメータ兼 VLBI 受信機の実証を行なっていくたい。ここ数年は新型コロナによる出張制限があったため、京大で一人で実験できるようにフィードと受信部のみならず 90cm のアンテナ本体まで製作してしまっった。しかし本来はフィードと受信部のみを既存の電波望遠鏡に搭載して試験を行う予定であり、そのために様々な搭載アンテナの光学系に合わせたフィードのビーム幅は、部分的なパーツの交換だけで容易に実現できる設計になっている。

RFI については通信需要の拡大により、年々厳しくなっている。OMT やフィルタだけでなくフェイズドアレイなどアクティブな対応も必要になっていくだろう。

CNF は支持部材への試用にとどまったが、アンテナ鏡面に用いるには滑らかな曲面を作る技術が必要である。切削加工は積層した CNF の剥離対策が必要だが、既に実績のある CFRP の加工技術が応用できそうに思う。誘電率は 3 程度、誘電損失は 0.06 程度であり、損失は大きいがプリント基板には使える。衛星筐体のみならず広帯域アンテナや回路基板も CNF で作れば、「綺麗に燃える(=再大気圏突入時に放出する金属やケイ素、フッ素などが少ない)」メリットがより活かせるはずである。

単に設計自由度の高い広帯域フィードの開発にとどまらず、今後は様々な用途に合わせたアンテナシステムとしての提案と研究開発を行なっていくたい。

## 7. 引用文献

- 1) "Development of Wideband Feed for Kashima 34m Antenna", Radio Science, Vol.52(2017), Issue 4, pp.479489, doi:10.1002/2016RS006071
- 2) Nagasaki, T., Araki, K., Ishimoto, H. *et al.*, "Monitoring System for Atmospheric Water Vapor with a Ground-Based Multi-Band Radiometer", Meteorological Application of Radio Astronomy Technologies. *J Low Temp Phys* 184, 674–679 (2016).  
https://doi.org/10.1007/s10909-015-1412-9
- 3) 京都大学防災研究所年報第30号B-1昭62. 4, "大気境界層の気温高度分布の測定のためのマイクロ波放射計について", 堀口光章・光田寧
- 4) Hideki UJIHARA, "Development of wideband feed with sharp cut-off frequency OMT for RFI", ECMWF RFI2022 conference paper, https://doi.org/10.46620/RFI22-015
- 5) 「万能アンテナの開発」, 京都大学 生存圏研究所 生存圏研究 No18 pp23-30, 氏原秀樹

## 8. 付記

関係する研究発表

- ・ "Development of wideband feed with sharp cut-off frequency OMT for RFI", RFI2022 workshop at ECMWF, online, 2022/2/14-18, Hideki UJIHARA(Kyoto-University)
- ・ "Development of Wideband Antennas", 12th IVS General Meeting (online, 2022/3/28-4/1), Hideki UJIHARA(Kyoto-University)
- ・ "Development of wideband antenna", 2022 URSI-JRSM (2022/9/1-2, 中央大学), 氏原秀樹(京大)
- ・ "広帯域アンテナの開発", 電子情報通信学会 2022年ソサエティ大会 (2022/9/6-9, リモート開催), 氏原秀樹(京大)
- ・ "次世代マイクロ波放射計兼広帯域 VLBI 受信システムの開発 (III)", 日本天文学会秋季年会 (2022/9/13-15, 新潟大学, リモート開催), 氏原秀樹(京大), 市川隆一, 関戸衛(NICT), ほか7名
- ・ "次世代超高感度マイクロ波放射計用広帯域受信機の開発 (III)", 日本測地学会第138回講演会 (2022/10/5-7, 鹿児島大学), 氏原秀樹(京大), 市川隆一, 関戸衛(NICT), ほか7名
- ・ "広帯域アンテナの開発", 第66回宇宙科学技術連合講演会 (2022/11/1-4, 熊本城ホール), 氏原秀樹(京大)
- ・ "広帯域アンテナの開発", 2022年度 VLBI 懇談会 (2022/12/23-24, 東北大学, ハイブリッド開催), 氏原秀樹(京大)

関係する科研費

- ・ 18H03828 基盤研究(A) 代表：市川隆一  
「ミリ波で観る地球 -高精度水蒸気モニターで切り拓く次世代自然ハザード精密予測」
- ・ 21H04524 基盤研究(A) 代表：氏原秀樹  
「地球と宇宙の時空計測の地平を拓く超広帯域大気スペクトル計測システムの開発」

## 酵母を用いた 植物由来抗がん薬パクリタキセル生合成のカスタムデザイン

### 1. 研究組織

代表者氏名：草野博彰（京都大学 生存圏研究所）

共同研究者：矢崎一史（京都大学 生存圏研究所）

飛松裕基（京都大学 生存圏研究所）

多葉田誉（北海道三井化学株式会社 ライフサイエンスセンター）

### 2. 関連ミッション

ミッション5：高品位生存圏

### 3. 研究概要

パクリタキセルは主要な抗がん薬として世界中で広く利用されているが、その製造はイチイの樹木からの原料採取に依存している。持続可能なパクリタキセルの生産を可能にする代替技術として、本研究では酵母とイチイ培養細胞を用いた発酵生産技術の構築を目指している。これまでに、イチイ培養細胞の培養法を改変することで、パクリタキセルとその類縁体2種に加えて、主要な生産物として1種の化合物を生産できる培養条件を確立した。この培養法ではパクリタキセルの生合成経路から外れた生産物はほとんど生産されなかった。この主要生産物を精製し二次元NMRで構造を推定したところ、パクリタキセル製造の中間体として利用できることが示唆された。イチイから新たに単離した酸化酵素6種、アシル化酵素11種、および輸送体遺伝子4種について、酵母における性質を解析した。このうち輸送体とアシル化酵素各1種を含む発酵系について培養条件の最適化を試みたところ、高濃度の基質化合物を5日以内に完全に同化できるようになった。このことは、酵母を用いた生産系が高い実用性を秘めていることを示唆している。

### 4. 研究の背景と目的

パクリタキセルはイチイ樹木から採取される抗がん薬で複雑な構造を有する（図1）。その生合成経路には、少なくとも17種類以上に及ぶ酵素反応が含まれると考えられ、既に多くの酵素が単離されているが、未だいくつかの酵素遺伝子が未発見である。酵母を利用した合成生物学的な手法で、パクリタキセルの生合成系を構築する

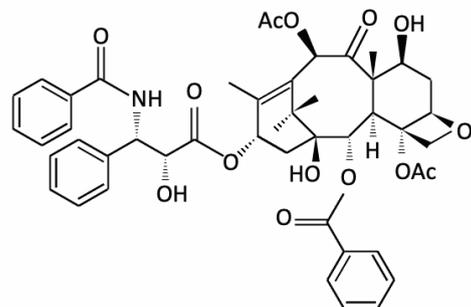


図1, パクリタキセルの構造

ためには、各反応を担当する酵素遺伝子群を特定する必要があるが、また一方で全合成遺伝子を単離できたとしても、単一の酵母株で17段階におよぶ多段階反応を構築することは至難である。

これについて我々は、新たに発見した輸送体遺伝子を利用することで、酵母が培養液中の基質を反応生成物に変換できるようになることを明らかにした。この系では培養液を介して、異なる株の酵母間で化合物の受け渡しが可能になるので、多段階の生合成系を構築するために適している。これまでの研究では、酵母で機能する未同定酵素の単離と、反応系のパフォーマンスの評価を実施した。

## 5. 研究の結果および考察

これまでの研究から、イチイの培養細胞ではパクリタキセルの生合成経路を外れた副産物がむしろ多量に生産され、パクリタキセルへ至る経路に合流できる化合物はほとんど生産されないことが明らかとなっていた。この代謝パターンを改変するため、イチイ培養細胞の培養条件を変えたところ、パクリタキセルおよびその類縁体2種に加えて、1種類の未同定化合物を主に生産する系の構築に成功した。いずれの化合物も従来法と比べて多量に生産されるほか、パクリタキセルの生合成に利用できる構造を持つ代謝産物と考えられた。質量分析の結果から、未同定であった1種の化合物については、パクリタキセルが持つカルボニル基の位置が水酸基となっていると考えられた。これを精製してNMRによる構造解析を実施したところ、パクリタキセルのアシル基の多くが水酸基となった構造を持つことが示唆された。

天然におけるイチイは、パクリタキセルの他に多様な類似化合物を生産しており、これまでに約700種の化合物が発見されている。その構造情報から残基の情報を抽出し、共起ネットワーク解析を実施した。この解析では、ある残基の存在が別の残基の存在に依存する度合いが測定され、その総体から反応経路を推測することができる。その結果、パクリタキセルのカルボニル基はパクリタキセル経路に入るために重要であり、その位置がアセチル基になるとパクリタキセル経路から外れることが示唆された。この位置の酸化やアセチル化、およびカルボニル化を触媒する酵素は未だ単離されていない。

この酸化およびアシル化を担当する酵素について、既知のものはいずれも、シトクロムP450 (P450)とBAHDアシル基転移酵素(BAHD)のファミリーに含まれている。進化系統解析から、いずれもP450およびBAHDファミリーの中でそれぞれ単系統として進化してきたことが示唆された。チュウゴクイチイについて報告されたゲノム情報を解析したところ (Xiong et al., 2021)、既知の酵素遺伝子の近傍にはその類似遺伝子が多数座乗していることがわかった。これらの特徴に遺伝子発現解析の結果を加えた遺伝子探索により、新たにP450遺伝子6種とBAHD遺伝子3種を単離した。BAHD遺伝子については前年度までに単離していた8種を加えて、酵母発現系においてその性質を解析した。これらの酵素遺伝子は輸送体遺伝子と共に発現させ

るため、2 遺伝子を同時に酵母に導入できるベクターを使って酵母に導入した。本稿執筆時点では、基質として 10-デアセチルバッカチン III および本研究でイチイ培養細胞から得た化合物を基質とした実験からは、10-デアセチルバッカチン III-10-アセチルトランスフェラーゼ (DBAT) を除いて、これらの遺伝子群から酵母で活性を示す酵素遺伝子は未だ単離されていない。

輸送体遺伝子については、これまでにイチイ培養細胞でパクリタキセルの生合成に伴って非常に強く発現する 4 種を単離しており、このうち 3 種が酵母のパクリタキセル感受性を増大させることを明らかにしている。これら 4 種の輸送体遺伝子について、10-デアセチルバッカチン III と DBAT を利用した系で解析したところ、酵母で機能するものは 1 種に限られることがわかった。この反応系について培養条件を検討したところ、0.1 g/L の基質化合物を 5 日以内に完全に同化できる系の構築に成功した。

チュウゴクイチイのゲノム情報を利用した解析では、これら輸送体に近縁な遺伝子も、上述の P450 や BAHD と同様に近接した位置に座乗するものが多く、また非常に数多く存在することが示唆された。このように進化的に近縁な遺伝子は互いに同一の部分塩基配列を含むことが多く、ゲノム・トランスクリプトーム解析等で全長塩基配列を正しく復元することが難しい。本研究では 12 種の BAHD アシル基転移酵素の塩基配列の単離を試みたが、その多くが同一の塩基配列を含んでおり、実際に単離が可能だったものは 3 種であった。残りの 9 種の遺伝子は、コンピュータ上では構築されたものの、実際には存在しない可能性がある。

そこで、このような共通の塩基配列を含む遺伝子の解読に有利なロングリード型シーケンサーを利用して、ゲノムの解読を試みている。ロングリード型シーケンサーの出力は、従来法のショートリード型シーケンサーと比べて大きな割合で読み取りエラーを含むため、従来法で得たデータを利用してエラーの修正を試みた。その結果をショートリードのマッピング率で評価したところ、完璧な正確性を持ったゲノム情報のひとつであるイネゲノムと同等の品質となったことが考えられた。これをチュウゴクイチイのゲノムにマッピングしたところ、概ね 3 倍の depth となった。これは推定ゲノムサイズから予想された値とほぼ同等と考えられる。

このデータを元に、いくつかの一般的なゲノムアセンブリツールを使ってゲノム塩基配列情報の復元を試みたが、良好な計算結果は未だ得られなかった。これはイチイの推定ゲノムサイズが、ヒトの 3.1 ギガ塩基を大きく超える 10 ギガ塩基程度であるため、一般的なツールが想定する上限を超えているためと考えられる。現在、我々はこのゲノムサイズに対応したゲノムアセンブラの構築を試みている。

## 6. 今後の展開

これまでに得られた成果から、酵母を利用した反応系は実用的に十分な性能を備え得ることが考えられ、パクリタキセルの生産技術の向上に貢献することが期待さ

れる。一方で、酵母で機能できる酵素遺伝子を天然から単離することは予想以上に難しいことが考えられた。

BAHD アシル基転移酵素がパクリタキセル生合成中間体とアシル基供与体の両方について広い基質親和性を有することは、我々を含めたこれまでの研究から明らかにされている(Kusano et al., 2019)。このことと本研究の成果から、酵母で機能するBAHD アシル基転移酵素を単離するためには、反応の種類よりも酵母で機能できることに注目した開発が有効であると考えられる。

輸送体遺伝子については、パクリタキセルへの感受性を増大させた遺伝子でも、DBATの反応系を構築できないものがあった。このことは、輸送体遺伝子と酵素遺伝子に適した組み合わせが存在する可能性を示唆している。

ゲノムデータの整備と活用は、本研究で取り扱ったような類似性の高い遺伝子の同定と単離に有効である。我々はこれまでの研究から、パクリタキセル生合成系のような二次代謝系酵素の進化においてイントロンの欠失（シングルエクソン化）が見られたことを報告している (Kusano et al., 2019)。今回チュウゴクイチイのゲノムを解析したことで、DBATをはじめ、いくつかのBAHD アシル基転移酵素もまたシングルエクソン化していたことがわかった。巨大なサイズのゲノムに対応できるアセンブラを開発することで、このような情報を活用した遺伝子の単離が可能になると期待される。

## 7. 引用文献

- 1) Xiong, X., Gou, J., Liao, Q., Li, Y., Zhou, Q., Bi, G., Li, C., Du R., Wang, X., Sun, T., Guo L., Liang, H., Lu, P., Wu, Y., Zhang, Z., Ro, D-K., Shang, Y., Huang, S., Yan, J., *Nat Plants*, **7**, 1026-1036, 2021
- 2) Kusano, H., Li, H., Minami, H., Kato, Y., Tabata, H., Yazaki, K., *Front Plant Sci.*, **10**, 794, 2019

## 8. 付記

- 1) 草野博彰, 「生データの目視でメタボロミクスをするためのツールGrassHopperの御紹介」, 招待講演, 日本バイオインフォマティクス学会 JSBi公募研究会 質量分析インフォマティクス研究会「第7回公開ワークショップONLINE」, 2022年4月22日, オンライン
- 2) 草野博彰, 「酵母を用いた植物由来抗がん薬パクリタキセル生合成のカスタムデザイン」, 京都大学生存圏研究所定例オープンセミナー, 2022年5月25日, 京都
- 3) 草野博彰, 南洋, 加藤嘉博, 金沢香織, 李豪, 飛松裕基, 杉山暁史, 多葉田誉, 矢崎一史, 「イチイ培養細胞と酵母を使ったタキサン化合物生合成系の開発」, 学会報告, 日本植物バイオテクノロジー学会第回大会, 2022年9月12日, 大阪
- 4) 草野博彰, トランスクリプトーム解析ツール RNAseqViewer の公開サイト, <http://github.com/kusano-kyotouniv/>, 2023年2月