

ミッション1:「環境診断・循環機能制御」

橋口浩之、飛松裕基、杉山暁史

京都大学 生存圏研究所

1. 研究組織

代 表 者：橋口浩之、飛松裕基、杉山暁史

共同研究者：高橋けんし、Hubert Luce、伊藤雅之、馬場啓一、上田義勝、矢吹正教 他

2. 研究概要

近年、化石資源ベースの経済活動を持続可能なバイオマス資源をベースとしたものに変えていこうとする「バイオエコノミー」という概念が世界的に広く用いられている。これは、バイオマスやバイオテクノロジーを使うかどうかは問題でなく、経済活動に地球規模の持続性や再生可能性の考えが盛り込まれているかどうかが要点である。2015年9月には、持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals, SDGs）が国連サミットで採択され、17の目標が設定された。さらに同年12月には欧州委員会が、生産と消費の在り方を根本的に変える経済モデルであるサーキュラーエコノミーパッケージを採択した。同じく2015年12月の第21回気候変動枠組み条約締約国会議（COP21）で気候変動抑制に関する多国間の国際的協定（パリ協定）が採択され、地球温暖化対策と経済成長の両立が一層強く求められるようになっている。これらを考慮し持続的生存基盤の構築を図ることが、まさしく生存圏科学の最大のミッションと言える。

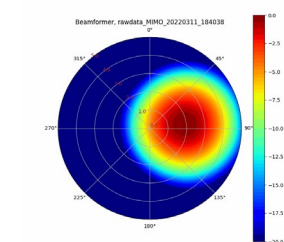
ミッション1では、生存基盤科学の構築という大目標の達成に向け、バイオマス資源の持続的生産、大気環境計測及び再生可能性／多様性の項目にマッピングされる萌芽的・基盤的研究を推進している。特に、地球温暖化や極端気象現象の増加といった環境変動の将来予測に資するため、大型大気観測レーダー等を用いた精密測定により、現状の大気環境を診断する。また、生物圏から大気圏にわたる物質輸送・交換プロセスのメカニズムを解明し、資源・物質循環に関わる植物・微生物群の機能の解析と制御を通じて、化石資源によらない植物バイオマス資源・有用物質の継続的な生産利用システムの構築を目指す。さらに扱う領域を土壌圏まで広げ、物質循環の観点から生存圏全体を俯瞰する活動を進めている。

3. 研究成果

3.1 大気観測用 MIMO レーダーの開発

代表：橋口浩之

MIMO(Multiple-Input Multiple-Output)レーダーは直交性のある複数の信号を異なるアンテナから同時に送信し、複数のアンテナで受信する。アダプテ



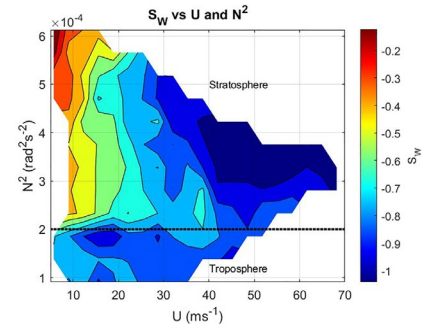
MU レーダー MIMO による月面反射エコーの角度分布。

イブ合成により空間分解能を向上可能である。図はMUレーダーにより月面反射エコーを用いた実験の一例で、MIMO技術を用いたビームフォーミングにより分解能向上を確認した。対流圏観測への適用可能性についても研究を進めている。

3.2 MUレーダーによる鉛直流周波数スペクトル特性

代表：Hubert Luce

MUレーダーによって36年間(1987～2022年)に渡って観測された高度2～20kmの鉛直流の周波数スペクトルを統計解析した。大気重力波の周期範囲にある帯域(0.5～6時間)の平均スペクトル傾斜 S_W を調べたところ、成層圏の S_W は大きく変動し水平風と相関があったのに対し、対流圏では水平風の大きな変動にも関わらず、 S_W はほぼ一定であった。



MUレーダーで観測された鉛直流のスペクトル傾斜の水平風・ブランドバイサラ振動数依存性

3.3 大気微量成分を介した生物圏—大気圏相互作用

代表：伊藤雅之、高橋けんし

日本には農業用ため池が約15万個も存在する。排水や肥料の流入による富栄養化が進みやすく、有機物の分解により温室効果ガスが排出されている可能性がある。瀬戸内地域のため池を対象に高精度なレーザー分光計などを用いて、池からのメタン放出やその環境要因との関係を調査した。その結果、富栄養なため池は時期によって水田に匹敵するメタンの放出源となることが明らかになってきた。

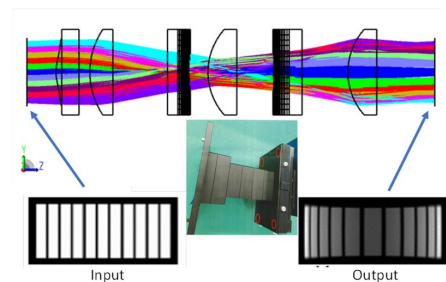


オープンパス型メタン濃度計・二酸化炭素濃度計などを用いた兵庫県加古川市のため池における連続観測の様子

3.4 気象ライダーの開発

代表：矢吹正教

深紫外光源を用いた気温・水蒸気量を同時に計測するラマンライダーの社会実装に向けた取組を推進した。装置関係では、主に気温計測用ライダー光学系の最適化に関わる新しい手法の開拓を行った。また、内閣府の「研究開発とSociety 5.0との橋渡しプログラム(BRIDGE)」の対象施策「革新的な統合気象データを用いた洪水予測の高精度化」(国土交通省九州地方整備局委託, 研究代表者九州大学杉原裕



回転ラマンライダーの気温推定精度を向上させるためのリレー光学系

司教授)に、共同研究を行う英弘精機と参画し、九州地域への水蒸気・気温ラマンライダー装置の展開を進めた。

3.5 大気圏-森林圏-土壌圏の物質循環に関わる根圏微生物

代表：杉山暁史

マメ科植物であるダイズは根粒菌と共生し大気中の窒素を固定して成長に利用する。根圏微生物は大気-植物の物質循環に寄与する。本研究では、ダイズ根から分泌され、根粒菌との共生や根圏微生物叢形成に関与するイソフラボンの根圏での機能解明を目指した。イソフラボンはコマモナス科の微生物を根圏で増加させ、根圏微生物叢を形成する。今年度は、ダイズ根圏より単離したコマモナス科細菌のゲノム解析、トランスクリプトーム解析を行い、イソフラボンが根圏細菌により代謝される経路を明らかにした。ダイズ根圏に生息するコマモナス科バリオボラックス属の細菌はイソフラボンの代謝(異化)に関わる遺伝子クラスターを有することで、抗菌活性のあるイソフラボンの解毒をするとともに、炭素源としても利用することで、ダイズ根圏に有利に生息することが示唆された。

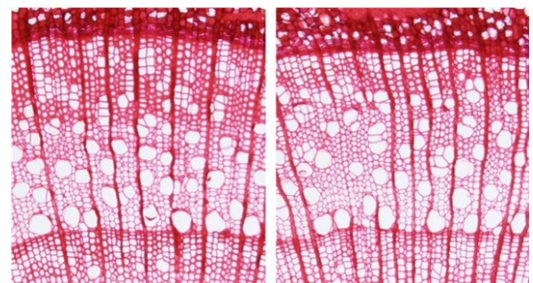


圃場でのトマト栽培

3.6 地球外森林構築に向けた樹木の環境応答研究

代表：馬場啓一

人類の長期宇宙滞在に資する地球外森林構築を視野に、さまざまな環境で生育させた樹木の基礎的知見を集積するために人工環境下で樹木を栽培し、成長や材の特徴、生理応答などを研究している。今年度は、1年輪を5ヶ月で形成させる人工環境系を用いて、温度や日長を制御した時の木部組織構造と発現する遺伝子群について調べた。いずれの条件でも処理開始以降の日数に従って遺伝子発現の傾向に変化が見られ、28日後には条件間で異なる発現パターンを示す遺伝子の存在が示唆された。



温度または日長を固定して形成させた木部

3.7 福島県における環境放射能解析および環境回復のための連携研究

代表：上田義勝

東日本大震災による福島第一原発事故を受け、環境放射能に関する研究が重要課題となっている。我々は2011年以降、14回にわたり研究者間の連携を目的としたシンポジウムを開催し、防災・減災に向けた議論を重ねてきた。2024年のシンポジウムでは、KURAMA-IIを用いたリアルタイム放射能測定 of 国内外での活用事例や、国際的な共同

研究の成果が発表された。また、山間部における GPS 信号喪失問題を解決するため、ソニーの SPRESENSE マルチ IMU アドオンボードを導入し、精密な位置測定技術の開発を進めている。この技術は傾斜地におけるホットスポット検出など、新たな応用可能性を広げ、KURAMA-II のさらなる発展に貢献することが期待される。



4. 今後の展開

ミッション 1 が包含する研究領域は広く、個々の研究課題の内容は多岐にわたっている。今後も、新たな課題の解決に向けた新規萌芽研究課題の発掘を進めるとともに、本ミッションの研究で成果が蓄積してきた課題は、次のステージに進めるように展開する。

5. 付記

・原著論文

- Aoki, N., T. Shimasaki, W. Yazaki, T. Sato, M. Nakayasu, A. Ando, S. Kishino, J. Ogawa, S. Masuda, A. Shibata, K. Shirasu, K. Yazaki, and A. Sugiyama, An Isoflavone Catabolism Gene Cluster Underlying Interkingdom Interactions in the Soybean Rhizosphere, *ISME Communications*, 4, ycae052, 2024.
- Hirano, T., S. Ohkubo, M. Itoh, H. Tsuzuki, A. Sakabe, K. Kitso, H. Takahashi, and M. Osaki, Large variation in carbon dioxide emissions from tropical peat swamp forests due to disturbances, *Communications Earth & Environment* 5, 221, doi:10.1038/s43247-024-01387-7, 2024.
- Luce, H., N. Nishi, and H. Hashiguchi, A Climatological Study of the Frequency Spectra of Vertical Winds From MU Radar Data (1987-2022), *J. Geophys. Res.: Atmosphere*, 129, e2024JD041677, doi:10.1029/2024JD041677, 2024.
- Matsuda, T., K. Nishimura, and H. Hashiguchi, DDMA-MIMO/Capon observations using the MU radar: Beamwidth verification using the moon's reflection, *IEICE Trans. Commun.*, E107.B, 754-764, doi:10.23919/transcom.2023EBP3182, 2024.
- Matsuda, T., K. Nishimura, and H. Hashiguchi, Integrating DDMA and CDMA MIMO Radar Functionalities into SIMO Systems: A Case Study with the MU Radar, *IEICE Transactions*, E108-B, accepted, 2025.
- Naito, K., S. Watanabe, M. Komukai, T. Kazama, M. Itoh, and M. Kawasaki, Degradation of cyanobacteria and microalgae using ultraviolet radiation at 222 nm and its application in the bleaching of lampenflora on cave rock surfaces. *International Journal of Speleology*, in press, 2024.
- Osaka, K., R. Nagata, M. Inoue, M. Itoh, S. Hosoi-Tanabe, and H. Iwata, A simple, safe method for preserving dissolved methane in freshwater samples using benzalkonium chloride, *Limnology and Oceanography: Methods*, 22, 536-547, doi:10.1002/lom3.10632, 2024.

Yusnaini, H., Marzuki, R. Ramadhan, R. Ilham, M. Vonnisa, and H. Hashiguchi, Land-Sea Contrast of Vertical Structure of Precipitation over Sumatra Revealed by GPM DPR Observations, *Atmospheric Research*, 309, doi:10.1016/j.atmosres.2024.107555, 2024.

・学会発表

松田知也・西村耕司・橋口浩之, DDMA-MIMO 方式を用いた MU レーダーによる対流圏観測, 日本気象学会 2024 年度春季大会, オンライン・東京, 2024 年 5 月 21-25 日.

Haruka Uchimoto, Hubert Luce, Hiroyuki Hashiguchi, Mamoru Yamamoto, Noriyuki Nishi, Manabu D. Yamanaka, and Toshitaka Tsuda, Seasonal variability and annual trends of wind and turbulence parameters from MU radar data in the tropo-stratosphere (1987-2022), 日本地球惑星科学連合 2024 年大会, 幕張・オンライン, 2024 年 5 月 26-31 日.

M. Yabuki, K. Matsuki, Y. Uchiho, E. Takeuchi, and T. Hasegawa, Optimization of an Optical Design for a Rotational Raman Lidar for Profiling the Accurate Atmospheric Temperature, 31st International Laser Radar Conference (ILRC-31), Landshut, Germany, June 22–26, 2024.

Hubert Luce, Haruka Uchimoto, Noriyuki Nishi, and Hiroyuki Hashiguchi, A re-examination of the mean vertical wind velocity measured by MU radar in the 2-20 km range over 35 years (1987-2022), The 16th Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar MST16/iMST3, Rostock, Germany, September 9-13, 2024.

Hubert Luce, Noriyuki Nishi, Hiroyuki Hashiguchi, A climatological study of the frequency spectra of vertical winds from MU radar data (1987-2022), The 16th Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar MST16/iMST3, Rostock, Germany, September 9-13, 2024.

永田鈴奈, 尾坂兼一, 伊藤雅之, 岩田智也, 丸尾雅啓, 塩化ベンザルコニウムを用いた溶存メタン濃度保存の検討, 日本陸水学会第 88 回大会, 熊本, 2024 年 10 月 18-20 日

杉山暁史, 植物二次代謝産物を利用する根圏微生物は縁の下の力持ち?, 微生物生態学会大会 2024 年 10 月 30 日.(招待講演)

杉山暁史, 植物根から分泌されるサポニン類による根圏微生物叢の調節, 植物化学調節学会大会 2024 年 11 月 1 日.(招待講演)

高橋けんし, 「森と木の生物学を愉しむ, 生物学が苦手な研究者のはなし」, 第 534 回生存圏シンポジウム, 2024 年京都大学森林科学公開講座, 第 18 回生存圏フォーラム特別講演会「森と木の生物学」, 2024 年 11 月 9 日.

H. Luce, H. Hashiguchi, T. Tsuda, and N. Nishi, Characteristics of 3D wind frequency spectra in the troposphere and lower stratosphere from MU radar data (1987-2022), 日本気象学会 2024 年度秋季大会, つくば・オンライン, 2024 年 11 月 12-15 日.

矢吹正教, 松木一人, 内保裕一, 竹内栄治, 田畑譲, 竹内孝志, 武藤隆一, 手柴充博, 長谷川壽一, 洪水予測の高精度化に寄与するライダーによる水蒸気・気温・風向・風速の同時計測, 日本気象学会 2024 年度秋季大会, つくば, 2024 年 11 月 12-15 日.

Tomoya Matsuda, Koji Nishimura, and Hiroyuki Hashiguchi, DDMA-MIMO observation with the MU radar, International Symposium on the 40th Anniversary of the MU Radar, Online

and Uji Hybrid meeting, November 18-21, 2024

Hiroyuki Hashiguchi, Yuna Ishii, Koji Nishimura, and Mamoru Yamamoto, Development of MIMO radar using 1.3-GHz atmospheric radar, International Symposium on the 40th Anniversary of the MU Radar, Online and Uji Hybrid meeting, November 18-21, 2024,

Hubert Luce, Toshitaka Tsuda, Hiroyuki Hashiguchi, and Noriyuki Nishi, Revisiting seasonal variations of atmospheric parameters in the lower atmosphere (2-20 km) from MU radar data (1987-2022), International Symposium on the 40th Anniversary of the MU Radar, Online and Uji Hybrid meeting, November 18-21, 2024.

杉山 暁史, イソフラボンの分子種多様性から見たダイズと根圏微生物叢の相互作用, 植物化学シンポジウム 2024 年 11 月 22 日.(招待講演)

Yoshikatsu Ueda, Ayana Ito, Tetsuji Okuda, Yomei Tokuda, Minoru Tanigaki, Akifumi Sugiyama, and Shuichiro Kuwajima, Transdisciplinary Research in Basic Studies on the Applications of Fine Bubbles in Japan, Seminar at Academia Sinica, December 5, 2024. (招待講演)

清水 翔, 岩田 拓記, 浦井 暖史, 朴 虎東, 宮原 裕一, 尾坂 兼一, 伊藤 雅之, 溶存酸素が浅い富栄養湖の湖底有機物分解に与える影響, 農業気象学会関東甲信越支部大会, 山梨, 2024 年 12 月 7-8 日

山本 彦, 宮下 直也, 坂部 綾香, 小杉 緑子, 尾坂 兼一, 伊藤 雅之, 安定同位体比を用いた富栄養な農業用ため池の炭素・窒素動態.第 14 回同位体環境学シンポジウム, 京都, 2024 年 12 月 20 日

馬場 啓一, 栗田 悠子, 永野 惇, ギンドロ周年短縮系を用いた日長および温度の変化に対する木部構造と遺伝子発現の変動, 第 75 回日本木材学会大会, 仙台, 2025 年 3 月 19-21 日.

・ 出前授業

高橋 けんし, 「大気環境変動と森林の関わり」, 兵庫県阪神シニアカレッジ, 宝塚市, 2024 年 6 月 6 日.

高橋 けんし, 「気候変動問題のいまを知り, ミライを考える ―持続可能な「新時代」を目指して―」, 認定 NPO 法人大阪府高齢者大学校, 2024 年 10 月 11 日.

高橋 けんし, 「大気を観て, 環境を診る」, 令和 6 年度 京都大学生存圏研究所 公開講座 「見えないモノを見てやろう! 未来の社会が見えてくる?」, 2024 年 11 月 15 日.

杉山 暁史, 子どもの好奇心をくすぐる体験授業, 「農作物の安全性を守るための取り組み」京都府 福知山高校附属中学校, 2024 年 12 月 9 日.

上田 義勝, 子どもの好奇心をくすぐる体験授業「出前・受入授業」, バブルの不思議, 京都府立乙訓高校 (高校 2 年生 31 人), 京都府, 2024 年 12 月 9 日.

・ 自ら企画した研究集会

第 538 回生存圏シンポジウム 第 4 回 福島県への支援取り組み及び放射線マッピング研究会, 2024 年 12 月 19-20 日