

# 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、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を要点である。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きている。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。

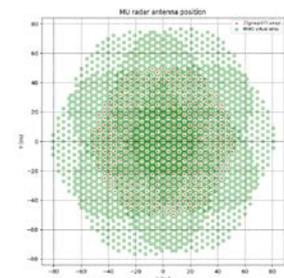
ミッション1では、生存基盤科学の構築という大目標の達成に向け、バイオマス資源の持続的生産、大気環境計測及び再生可能性／多様性の項目にマッピングされる萌芽的・基盤的研究を推進している。特に、地球温暖化や極端気象現象の増加といった環境変動の将来予測に資するため、大型大気観測レーダー等を用いた精密測定により、現状の大気環境を診断する。また、生物圏から大気圏にわたる物質輸送・交換プロセスのメカニズムを解明し、資源・物質循環に関わる植物・微生物群の機能の解析と制御を通じて、化石資源によらない植物バイオマス資源・有用物質の継続的な生産利用システムの構築を目指す。さらに扱う領域を土壌圏まで広げ、物質循環の観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



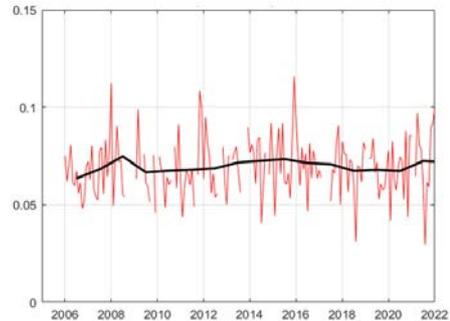
MUレーダーの物理アンテナ(赤)とMIMO仮想アンテナ(緑)。

ように物理アンテナ(赤)を超える大開口の仮想アンテナ(緑)を得ることができ、アダプティブ合成により空間分解能を向上できる。MU レーダーにより月面反射エコーを用いた実証実験を行い、MIMO 技術による分解能向上を確認した。現在、対流圏観測への適用可能性について研究を進めている。

### 3.2 MU レーダーによる大気乱流の長期変動特性

代表：Hubert Luce

大気乱流は熱や物質の鉛直輸送に寄与し、航空機の安全運航にも影響を及ぼす。大気乱流はスケールが極めて小さいことから観測が難しい現象の一つであるが、大気レーダーは大気乱流からの散乱エコーを観測すること、時間・空間的に連続観測可能である点で、大気乱流の観測装置として優れている。MU レーダーで長期に渡って観測された乱流強度の年々変動特性を調べた。図は、航空機の巡航高度付近の高度 6~11km の平均である。北大西洋上において、気候変動に伴い過去 40 年間で乱流強度が 40~170% 増加しているとの報告があるが、日本上空においては顕著なトレンドは見られなかった。

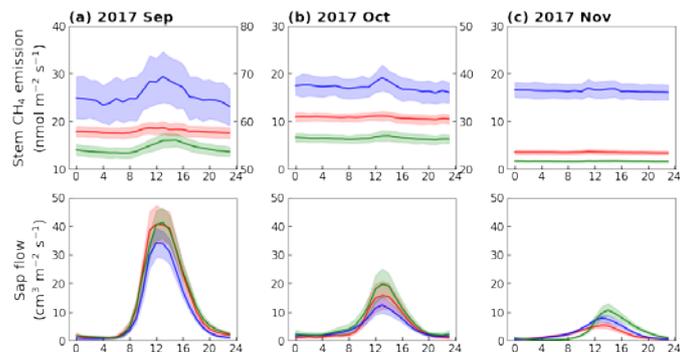


2006~2022 年に MU レーダーで観測された乱流エネルギー消散率(EDR)の高度 6~11km 平均の年々変動

### 3.3 大気微量成分を介した生物圏—大気圏相互作用

代表：高橋けんし

近年、湿地性樹木の樹幹からメタンガスが発生しているという新しい現象が注目されている。我々は、湿地性樹木の一つであるハンノキの樹幹からメタンが放出される植物学的なメカニズムを明らかにするために、半導体レーザー分光法を用いたフラックスの計測などを行っている。フラックスのデータを詳細に解析し



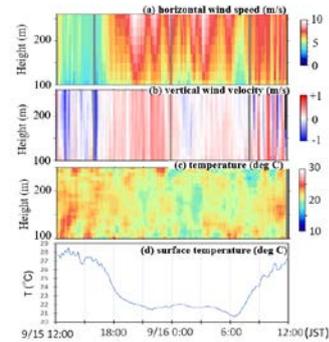
ハンノキの樹幹から放出されるメタンフラックスの日周変動の解析事例(上図)と樹液流束(下図)との比較。一日に 24 回の自動測定を行い、1 か月ごとのアンサンブル平均をプロットした。

た結果、ハンノキからのメタン放出には着葉期に限って、規則的な日周変動が出現することを見出した。また、変動の振幅が季節進行とともに変化することも分かってきた。

### 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イダーの社会実装に向けた取組を推進した。2023年度は、誤差要因となるアレイ型光電子増倍管のクロストークや同時計数損失による影響を低減する気温計測用ライダー光学系の最適化を行った。また、2022、2023年の9月にラマンライダーとドップラーライダーの複合計測を実施し、接地境界層上端付近の大気構造を把握する観測を実施した。



ドップラーライダーとラマンライダーによる接地境界層上端付近の大気観測例(2022年9月15-16日):(a)水平風、(b)鉛直風、(c)気温、(d)地上気温

### 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

トマト根から分泌される $\alpha$ -トマチンの根圏での機能解明を目指した。 $\alpha$ -トマチンはスフィンゴモナス科スフィンゴビウム属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、ムライトセラミックチューブを用いて根圏環境を再現し、トマチンによるスフィンゴビウム属菌の誘引効果と根圏微生物叢形成を解析した。また、公共データベースに登録されている根圏マイクロバイオーームデータを用いたメタ解析を行い、トマトとスフィンゴビウム属の関係が広く保存されていることを明らかにした。スフィンゴビウム属細菌による植物生育への影響を解析中である。



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ことを目的として、人工環境下で樹木を栽培し、その成長や形成される材の特徴、生理応答などを研究している。今年度は主にクリノスタットを用いた微小重力下での樹木の成長と木部形成について実験した。微小重力下では肥大成長量が地上コントロールと比べて少なく、顕微鏡試料の染色性から木部にリグニンの沈着が少ないことが示唆された。



微小重力下で成長させたポプラ

### 3.7 福島県での連携研究の変遷と歩行サーベイ位置捕捉技術の改良

代表：上田義勝

2011年に発生した東日本大震災により原発事故が発生し、10年以上が経過した今でも福島県周辺の環境放射能問題は継続している。我々はこの環境放射能解析のため、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。また、福島県における連携支援のための研究について、学際的な研究者同士の交流と、一般向けのシンポジウム(生存圏シンポジウム)を震災当初から計13回行い、連携のための継続研究のほか、今後の防災・減災に向けた新たな研究課題についても活発に議論してきている。ここ最近のシンポジウムでの議論の違いについて、キーワード解析した結果を図に示している。また、昨年度より継続して開発を進めているカメラ撮像による位置捕捉技術の調査研究をすすめてきている。今年度は、リアルタイム位置検出に向けた開発環境の整備もすすめている。



福島関連の生存圏シンポのキーワードの変遷  
(2011年度と2022年度の比較)

### 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

T. Matsuda and H. Hashiguchi, DDMA-MIMO Observations with the MU Radar: Validation by Measuring a Beam Broadening Effect, IEEE J-STARS, 16, 3083-3091, doi:10.1109/JSTARS.2023.3258139, 2023.

K. Takamatsu, M. Toyofuku, F. Okutani, S. Yamazaki, M. Nakayasu, Y. Aoki, M. Kobayashi, K. Ifuku, K. Yazaki, and A. Sugiyama,  $\alpha$ -Tomatine gradient across artificial roots recreates the recruitment of tomato root-associated Sphingobium Plant Direct 7: e550. doi: 10.1002/pld3.550, 2023.

Y. Uchiho, K. Matsuki, E. Takeuchi, T. Hasegawa and M. Yabuki, Observation of Water Vapor Profiles by Raman Lidar with 266-nm Laser in Tokyo. In: Sullivan, J.T., *et al.* Proceedings of the 30th International Laser Radar Conference, ILRC 2022, Springer Atmospheric Sciences, Springer, Cham, 373-378, doi:10.1007/978-3-031-37818-8\_49, 2023.

M. Nakayasu, K. Takamatsu, K. Kanai, S. Masuda, S. Yamazaki, Y. Aoki, A. Shibata, W. Suda,

K. Shirasu, K. Yazaki, and A. Sugiyama, Tomato root-associated *Sphingobium* harbors genes for catabolizing toxic steroidal glycoalkaloids. *Mbio*. doi:10.1128/mbio.00599-23, 2023.

・書籍

高橋けんし（分担執筆）, 「根っこのふしぎな世界 第3巻ーくらしと根っこはつながっている?ー」, 文研出版, ISBN 978-4-580-82599-4

・学会発表

K. Takahashi, A. Sakabe, W. A. Azuma A., M. Itoh, T. Imai, Y. Matsumura, M. Tateishi, and Y. Kosugi, Seasonal and daily variation of methane emissions from the stem surfaces of *Alnus japonica*, JpGU2023 meeting, Makuhari Messe, May 25, 2023.

松田知也・西村耕司・橋口浩之, MU レーダーを用いた DDMA MIMO レーダー検証 - 月面反射エコーを用いた Capon 法との組み合わせ 実験-, 日本気象学会 2023 年度春季大会, オンライン・東京, 2023 年 5 月 16-20 日.

松木一人, 内保裕一, 竹内栄治, 長谷川壽一, 矢吹正教, 清水慎吾, 白石浩一, 吉田智, 酒井哲, ソーラーブラインド領域のレーザを用いた水蒸気/気温ラマンライダーによる連続測定, 日本気象学会 2023 年度春季大会, オンライン・東京, 2023 年 5 月 16-20 日.

矢吹正教, 三浦和彦, 久世宏明, 松木一人, 内保裕一, 竹内栄治, 長谷川壽一, 紫外ライダーによる地表面に近い大気の大気・環境観測, 日本地球惑星科学連合 2023 年大会, オンライン・幕張, 2023 年 5 月 21-26 日.

Akifumi Sugiyama, Metabolome analysis of tomato rhizosphere soil, International symposium on Microbial metabolites in deep sea and soil: collection, analysis and functions in biological interactions, June 4, 2023. (招待講演)

矢吹正教, 松木一人, 内保裕一, 竹内栄治, 長谷川壽一, 気温計測精度向上のための回転ラマンライダー受光光学系の最適化, 第 41 回レーザセンシングシンポジウム, つくば, 2023 年 9 月 6-8 日.

松田知也・橋口浩之, MU レーダーを用いた DDMA-MIMO 観測実験: 対流圏観測によるビーム幅検証, 第 17 回 MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, オンライン, 2023 年 9 月 19-20 日.

内本遥・Hubert Luce・橋口浩之・山中大学, 1987~2022 年の MU レーダーデータ統計解析に関する初期結果, 第 17 回 MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, オンライン, 2023 年 9 月 19-20 日.

Y. Kurita, M. Kashima, K. Baba, K. Ishizaki, N. I. Kobayashi, K. Tanoi, T. Mimura, and A. J. Nagano, Leaf position and season-dependent changes in transcriptome analysis of field-grown poplar cuttings. *Taiwan-Japan Plant Biology 2023*, Taipei, October 13-16, 2023.

高橋けんし, 湿地性樹木の樹幹からのメタン放出についてー最近の動向および我々の

研究一，第 507 回生存圏シンポジウム，2023 年 11 月 16 日．

杉山暁史，根から分泌されるトマチンの機能とトマト栽培への応用，近畿作物育種研究会シンポジウム，2023 年 12 月 9 日．（招待講演）

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

馬場啓一，井上純大，海野大和，土井隆雄，荻谷健司，3D クリノスタットを用いた微小重力下におけるポプラの成長と木部形成，第 74 回日本木材学会大会，京都，2024 年 3 月 13-15 日．

馬場啓一，微小重力下での樹木育成（宇宙で木材を得るために），第 38 回木質の利用シンポジウム，京都，2024 年 3 月 19 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，2023 年 5 月 25 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」，東日本大震災に関する研究（島県での復興支援研究），京丹波町立瑞穂中学校（中学 3 年生 19 人），京都府，2023 年 11 月 17 日．

高橋けんし，「大気中のマイノリティーのおはなし」，京都大学丸の内セミナー，京都大学丸の内オフィス，2023 年 12 月 1 日．

・ 自ら企画した研究集会

The 3rd online symposium of the Plant Microbiota Research Network（第 498 回生存圏シンポジウム），オンライン，2023 年 8 月 25 日．

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

・ 特許

第 7381085 号 気象観測ライダー用受光系（長谷川壽一，竹内栄治，塚本誠，矢吹正教），2023 年 11 月．