

# Root Research

Japanese Society for Root Research

ISSN 0919-2182  
Vol.32, No.S2  
Jun 2023

## 第58回根研究集会要旨集

2023年11月3-5日 兵庫県立大学環境人間学部

第32卷 別冊2号  
根の研究  
根研究学会(JSRR)



## 第 58 回根研究集会 要旨集 (58th Biannual Meeting of JSRR)

<日時> 2023 年 11 月 3 日 (金) - 5 日 (日)

<場所>

〒670-0092 兵庫県姫路市新在家本町 1-1-12 兵庫県立大学環境人間学部 (新在家キャンパス)

<プログラム概要>

11 月 3 日 (金)

12:00 大会議室 F202 : 受付 Registration, 講堂 : ポスター掲示 Posters display

13:00-13:05 講堂 : 開会の挨拶 Opening remarks

13:10-14:10 講堂 : 公開特別講演 Open special lecture

Forest management and fine roots in changing climate

Prof. Leena Finér (フィンランド自然資源研究所・名誉教授)

14:15-15:15 講堂 : ポスター発表前半 (11 課題) Poster session

15:30-17:00 大会議室 F202 : 口頭発表 (6 課題) Oral presentation

18:00 生協食堂 : 懇親会 Reception

11 月 4 日 (土)

08:30-09:00 大会議室 F202 : 受付 Registration

09:00-10:15 大会議室 F202 : 口頭発表 (5 課題) Oral presentation

10:30-11:30 講堂 : ポスター発表 後半 (12 課題) Poster session

(昼休憩)

13:00-14:20 講堂 : 受賞式及び受賞講演 JSRR Award ceremony & Presentation

学術奨励賞 江尻真斗 (株式会社ファイテック 研究開発部)

イネ科野生種の過湿環境への適応メカニズムの研究

学術奨励賞 亀岡 笑 (酪農学園大学農食環境学群)

土壌水分条件に対してイネ根系が発揮する発育的可塑性及び水通導性応答の機能解析

学術特別賞 本間知夫 (前橋工科大学工学部生命工学領域)

根系にかかわる生体電位研究

学術功労賞 平野恭弘 (名古屋大学大学院環境学研究科)

地中レーダ探査技術を利用した樹木根構造の非破壊解析に関する研究

14:25-14:35 講堂 : 優秀発表賞表彰 Best Presentation Award

14:40-14:50 講堂 : お知らせ Information

14:50-14:55 講堂 : 次回予告 Announcement of next JSRR meeting

14:55-15:00 講堂 : 閉会の挨拶 Closing remarks

11 月 5 日 (日) エクスカーション Excursion (上限 25 名)

09:20-09:30 姫路駅 集合 Himeji station

11:00-13:15 兵庫県緑化センター Hyogo green center (兵庫県朝来市山東町野間 903-1)

14:30-15:30 木の根橋 Woody Root Bridge (丹波市柏原町柏原)

17:00 新神戸駅 Shin-Kobe station

18:30 姫路駅 着 Himeji station



ポスター発表プログラム 1 (11月3日 14:15-15:15, 講堂)

(★優秀発表賞エントリー)

P-1	シロイヌナズナにおけるビスマスによる抗酸化関連因子の発現量への影響 ○長田武 (摂南大学理工学部)
P-2	根系の特性から見た大麦品種の乾燥ストレス耐性 ○涌井三蔵* <sup>1)</sup> ・中野友貴・長嶺敬・鈴木伸治・伊藤博武 ( <sup>1)</sup> 東京農業大学大学院北方圏農学専攻)
★P-3	オオムギの湿害発生過程における根系・根圏酸化状態デュアルイメージングの挑戦 ○芝日菜子* <sup>1)</sup> ・江上泰広 <sup>2)</sup> ・檀浦正子 <sup>3)</sup> ・高梨聡 <sup>4)</sup> ・塩野克宏 <sup>1)</sup> ( <sup>1)</sup> 福井県立大学大学院生物資源学研究科, <sup>2)</sup> 愛知工業大学機械学科, <sup>3)</sup> 京都大学大学院農学研究科, <sup>4)</sup> 森林総合研究所関西支所)
★P-4	野生イネ <i>Oryza glumaepatula</i> 種子根の組織構造に関わる遺伝子領域の推定 ○馬場美幸* <sup>1)</sup> ・江尻真斗 <sup>1)</sup> ・西嶋遼 <sup>1)</sup> ・山形悦透 <sup>2)</sup> ・三浦孝太郎 <sup>1)</sup> ・塩野克宏 <sup>1)</sup> ( <sup>1)</sup> 福井県立大学生物資源学部, <sup>2)</sup> 九州大学大学院農学研究院)
★P-5	二次元酸素オプトードによるイネ幼苗期の根圏酸化動態の観察 ○藤原七海*・芝日菜子・塩野克宏 (福井県立大学生物資源学部)
★P-6	Productivity and root system architecture of rice qSOR1/DRO1 NILs under fertilizer deep placement ○Nabila Mumtahina* <sup>1)</sup> ・Hiroyuki Shimino <sup>2)</sup> ・Maya Matsunami <sup>3)</sup> ( <sup>1)</sup> 1 United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University, <sup>2,3)</sup> Faculty of Agriculture, Iwate University)
★P-7	2023年の堆肥施用が水稻品種「ななつぼし」の生育、収量、根系発育に与えた影響 ○白倉誠也 <sup>1)</sup> ・亀田悠介 <sup>1)</sup> ・善生政樹 <sup>2)</sup> ・亀岡笑* <sup>1)</sup> ( <sup>1)</sup> 酪農大学農食環境学群, <sup>2)</sup> 善生農園)
★P-8	稲わら・籾殻を主体とした堆肥施用が水稻品種「ななつぼし」の生育、収量、根系発育に与える影響 ○亀田悠介 <sup>1)</sup> ・白倉誠也 <sup>1)</sup> ・金田耕平 <sup>1)</sup> ・藤田美友 <sup>1)</sup> ・田中佑汰 <sup>1)</sup> ・善生政樹 <sup>2)</sup> ・亀岡笑* <sup>1)</sup> ( <sup>1)</sup> 酪農大学農食環境学群, <sup>2)</sup> 善生農園)
★P-9	トマト幼苗の生育に及ぼすキャビテーションプラズマ処理水の影響 ○川野宏太郎* <sup>1)</sup> ・岡野竜也 <sup>1)</sup> ・渡邊圭太 <sup>2)</sup> ・黒田英明 <sup>2)</sup> ・才木常正 <sup>1,3)</sup> ・岡好浩 <sup>1)</sup> ( <sup>1)</sup> 兵庫県立大学大学院工学研究科, <sup>2)</sup> 兵庫県立農林水産技術総合センター, <sup>3)</sup> 兵庫県立工業技術センター)

★P-10	有機栽培水田における水稻根の発生・枯死を含めた動態：慣行栽培水田との比較 ○長谷川拓史・田島亮介*・西田瑞彦（東北大学大学院農学研究科）
★P-11	秋播きコムギへの石灰窒素施肥が根系構造に及ぼす影響 ○松波麻耶 <sup>2)</sup> （ <sup>1)</sup> 岩手大学大学院総合科学研究科， <sup>2)</sup> 岩手大学農学部， <sup>3)</sup> 岩手大学次世代アグリイノベーション研究センター）

ポスター発表プログラム 2 (11月4日 10:30-11:30, 講堂)

(★優秀発表賞エントリー)

P-12	スギ2系統の地上部地下部における構造的・非構造的炭水化物の季節変動 (Seasonal changes in photosynthetic carbon allocation between aboveground and belowground and between structural and non-structural carbohydrates in two) ○檀浦正子* <sup>1)</sup> ・能勢 美峰 <sup>2)</sup> ・福田有樹 <sup>2)</sup> ・松下通也 <sup>2)</sup> ・三嶋 賢太郎 <sup>2)</sup> ・南尊正 <sup>1)</sup> ・田邊智子 <sup>1)</sup> ・Epron Daniel <sup>1)</sup> ・香川聡 <sup>3)</sup> ・高梨聡 <sup>3)</sup> ・小南裕志 <sup>3)</sup> （ <sup>1)</sup> 京都大学大学院農学研究科， <sup>2)</sup> 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所林木育種センター， <sup>3)</sup> 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所）
P-13	イメージスキャナにより撮影された樹木根系画像データ共有システムの構築 ○池野英利* <sup>1)</sup> ・田中優斗 <sup>1)</sup> ・大橋瑞江 <sup>2)</sup> （ <sup>1)</sup> 福知山公立大学情報学部， <sup>2)</sup> 兵庫県立大学環境人間学部）
P-14	モウソウチク林の根系動態パターンにおけるスキャナー画像の撮影地点数の影響評価 ○遠藤いず貴* <sup>1),2)</sup> ，松本達也 <sup>3)</sup> ，井手淳一郎 <sup>2)</sup> ，阿部隼人 <sup>4)</sup> ，片山歩美 <sup>5)</sup> ，久米朋宣 <sup>5)</sup> （ <sup>1)</sup> 兵庫県立大学環境人間学部， <sup>2)</sup> 公立千歳科学技術大学理工学部， <sup>3)</sup> 九州大学農学部， <sup>4)</sup> 九州大学大学院生物資源環境科学府， <sup>5)</sup> 九州大学大学院農学研究科）
P-15	機械学習によるスキャナ法を用いたカラマツ、スギ、およびヒノキの細根成長動態解析 ○ワン シティフン <sup>1,*)</sup> ，安江 恒 <sup>2,3)</sup> ，大橋 瑞江 <sup>4)</sup> ，池野 英利 <sup>5)</sup> ，矢吹 新 <sup>1)</sup> ，檀浦正子 <sup>1)</sup> （ <sup>1)</sup> 京都大学大学院農学研究科， <sup>2)</sup> 信州大学農学部， <sup>3)</sup> 信州大学山岳科学研究拠点， <sup>4)</sup> 兵庫県立大学環境人間学部， <sup>5)</sup> 福知山公立大学情報学部）
★P-16	Exploring woody water acquisition strategy from fine root pressure-volume curve traits and root functional traits in subalpine forests ○Taiga Masumoto* <sup>1)</sup> ・Yuki Hashimoto <sup>2)</sup> ・Ito Takumi <sup>2)</sup> ・Koichi Takahashi <sup>1)</sup> ・Naoki Makita <sup>1)</sup> （ <sup>1)</sup> Graduate School of Medicine, Science and Technology, Shinshu University, <sup>2)</sup> Graduate School of Science and Technology, Shinshu University）

★P-17	表層から深さ 1.5m までの土壌物理特性の変化がスギ細根形態に与える影響 ○柳瀬亮太* <sup>1)</sup> ・谷川東子 <sup>2)</sup> ・杵山哲矢 <sup>1)</sup> ・黒見信輔 <sup>1)</sup> ・金子祥也 <sup>1)</sup> ・山瀬敬太郎 <sup>3)</sup> ・藤堂千景 <sup>3)</sup> ・池野英利 <sup>4)</sup> ・大橋瑞江 <sup>5)</sup> ・檀浦正子 <sup>6)</sup> ・平野恭弘 <sup>1)</sup> (1) 名古屋大学大学院環境学研究科, 2) 名古屋大学大学院生命農学研究科, 3) 兵庫県農林水産技術総合センター森林林業技術センター, 4) 福知山公立大学情報学部, 5) 兵庫県立大学環境人間学部, 6) 京都大学大学院農学研究科)
★P-18	ヒノキ細根の脱落根現地採取法の検討と脱落根動態-1年間の培養試験から- ○黒見信輔* <sup>1)</sup> ・金子祥也 <sup>1)</sup> ・柳瀬亮太 <sup>1)</sup> ・谷川東子 <sup>2)</sup> ・平野恭弘 <sup>1)</sup> (1) 名古屋大学大学院環境学研究科, 2) 名古屋大学大学院生命農学研究科)
★P-19	立木間の樹木根系計測に対する SfM/MVS の適用 ○田中優斗 <sup>1)</sup> ・山瀬敬太郎 <sup>2)</sup> ・藤堂千景 <sup>2)</sup> ・今若舞 <sup>3)</sup> ・平野恭弘 <sup>4)</sup> ・谷川東子 <sup>5)</sup> ・大橋瑞江 <sup>6)</sup> ・檀浦正子 <sup>7)</sup> ・池野英利* <sup>1)</sup> (1) 福知山公立大学情報学部, 2) 兵庫県立農林水産技術総合センター, 3) 兵庫県立大学大学院環境人間学研究科, 4) 名古屋大学大学院環境学研究科, 5) 名古屋大学大学院生命農学研究科, 6) 兵庫県立大学環境人間学部, 7) 京都大学大学院農学研究科)
★P-20	北海道の主要 2 樹種を用いた苗木と成木の根滲出物量比較 ○安栖永遠* <sup>1)</sup> ・石塚航 <sup>2)</sup> ・遠藤いず貴 <sup>3,4)</sup> ・井手淳一郎 <sup>4)</sup> (1) 公立千歳科学技術大学大学院理工学研究科, 2) 北海道立総合研究機構, 3) 兵庫県立大学環境人間学部, 4) 公立千歳科学技術大学理工学部)
★P-21	深層学習モデルによる地中レーダ B スキャン画像からの樹木根の自動抽出 ○遠山諒人 <sup>1)</sup> ・平野恭弘 <sup>2)</sup> ・谷川東子 <sup>3)</sup> ・山瀬敬太郎 <sup>4)</sup> ・藤堂千景 <sup>4)</sup> ・大橋瑞江 <sup>5)</sup> ・檀浦正子 <sup>6)</sup> ・池野英利* <sup>1)</sup> (1) 福知山公立大学情報学部, 2) 名古屋大学大学院環境学研究科, 3) 名古屋大学生命農学研究科, 4) 兵庫県立農林水産技術総合センター, 5) 兵庫県立大学環境人間学部, 6) 京都大学農学研究科)
P-22	土壌断面画像に対する自動輝度補正を導入した根系領域抽出法の評価 ○礪川悌次郎* <sup>1)</sup> ・前川新司 <sup>1)</sup> ・大橋 瑞江 <sup>2)</sup> 中路達郎 <sup>3)</sup> ・池野英利 <sup>4)</sup> ・木村敏文 <sup>2)</sup> ・上浦尚武 <sup>1)</sup> (1) 兵庫県立大学大学院工学研究科, 2) 兵庫県立大学環境人間学部, 3) 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター, 4) 福知山公立大学情報学部)
★P-23	タケ類の細根の分枝構造に対応した化学的, 形態的特性がリターの分解過程に及ぼす影響 ○ Orrego Marly* <sup>1)</sup> ・平舘 俊太郎 <sup>1)</sup> ・舘野 隆之輔 <sup>2)</sup> ・榎木 勉 <sup>1)</sup> (1) 九州大学農学研究院, 2) 京都大学フィールド科学教育研究センター)



口頭発表プログラム1 (11月3日 15:30 - 17:00, F202 教室)

(★優秀発表賞エントリー)

O-1 1530-1545	3D オブジェクト手法による根先端域での篩部篩管の起源と発達の解析 ○仁木輝緒・幹 康・斉藤 進 (ミキ音響イメージプロセッシング部門)
O-2 1545-1600	ヨシ属の環境適応の種間差と関連する根の形質の可塑性 ○山内卓樹 <sup>*1)</sup> ・角クルミ <sup>2)</sup> ・森下紘光 <sup>2)</sup> ・野村康之 <sup>3)</sup> ( <sup>1)</sup> 名古屋大学 生物機能開発利用研究センター, <sup>2)</sup> 名古屋大学 大学院生命農学研究科, <sup>3)</sup> 龍谷大学 研究部)
★O-3 1600-1615	過湿環境で変動する窒素肥料成分はイネの酸素漏出バリア形成に影響を与えるのか? ○江岸祐夏 <sup>*1)</sup> ・江尻真斗 <sup>1)</sup> ・沢崎雄登 <sup>1)</sup> ・塩野克宏 <sup>1)</sup> ( <sup>1)</sup> 福井県立大学大学院生物資源学研究所)
★O-4 1615-1630	シュート部の光照射が制御するシロイヌナズナ根端の活性酸素種分布と形態変化 ○市川晴雪、陽川憲市川晴雪 <sup>1)</sup> ・陽川憲 <sup>*2)</sup> ( <sup>1)</sup> 北見工業大学大学院工学研究科, <sup>2)</sup> 北見工業大学工学部)
★O-5 1630-1645	根の通過細胞数が光合成に寄与する通導抵抗に与える影響の解析 ○角クルミ <sup>*1)</sup> ・山中碩人 <sup>2)</sup> ・森下紘光 <sup>1)</sup> ・三並翔哉 <sup>3)</sup> ・石崎蒼太 <sup>4)</sup> ・谷吉和貴 <sup>5)</sup> ・安達俊輔 <sup>6)</sup> ・田中佑 <sup>2)</sup> ・山内卓樹 <sup>7)</sup> ( <sup>1)</sup> 名古屋大学 大学院生命農学研究科, <sup>2)</sup> 岡山大学 大学院環境生命自然科学研究科, <sup>3)</sup> 名古屋大学 農学部, <sup>4)</sup> 岡山大学 農学部, <sup>5)</sup> 京都大学 大学院農学研究科, <sup>6)</sup> 東京農工大学 農学研究院, <sup>7)</sup> 名古屋大学 生物機能開発利用研究センター)
★O-6 1645-1700	異なる土壌リン条件におけるトウモロコシおよびトウモロコシ/テオシント染色体断片置換系統の生育と根系分布 ○安達甲悦 <sup>*1)</sup> ・赤松佑紀 <sup>2)</sup> ・田島亮介 <sup>1)</sup> ・西田瑞彦 <sup>1)</sup> ( <sup>1)</sup> 東北大学大学院農学研究科, <sup>2)</sup> 農研機構 畜産研究部門)



口頭発表プログラム 2 (11月4日 9:00 - 10:15, F202 教室)

(★優秀発表賞エントリー)

★O-7 0900-0915	秋における亜寒帯性針葉樹苗木の根の耐凍性 ○菅井徹人* (森林総合研究所 北海道支所)
★O-8 0915-0930	巨礫のある土壌・無い土壌に生育するスギの根に地中レーダを探索した際の検出精度 ○金子祥也* <sup>1)</sup> ・谷川東子 <sup>2)</sup> ・藤堂千景 <sup>3)</sup> ・池野英利 <sup>4)</sup> ・山瀬敬太郎 <sup>3)</sup> ・大橋瑞江 <sup>5)</sup> ・檀浦正子 <sup>6)</sup> ・杵山哲矢 <sup>1)</sup> ・黒見信輔 <sup>1)</sup> ・柳瀬亮太 <sup>1)</sup> ・平野恭弘 <sup>1)</sup> ( <sup>1)</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>2)</sup> 名古屋大学大学院生命農学研究科, <sup>3)</sup> 兵庫県立農林水産技術総合センター, <sup>4)</sup> 福知山公立大学情報学部 <sup>5)</sup> 兵庫県立大学環境人間学部, <sup>6)</sup> 京都大学大学院農学研究科)
★O-9 0930-0945	地中レーダ法を用いた斜面崩壊防止力の定量評価手法について ○今若舞* <sup>1)</sup> ・山瀬敬太郎 <sup>2)</sup> ・平野恭弘 <sup>3)</sup> ・谷川東子 <sup>4)</sup> ・池野英利 <sup>5)</sup> ・檀浦正子 <sup>6)</sup> ・藤堂千景 <sup>2)</sup> ・大橋瑞江 <sup>1)</sup> ( <sup>1)</sup> 兵庫県立大学大学院環境人間研究科, <sup>2)</sup> 兵庫県立農林水産技術総合センター, <sup>3)</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>4)</sup> 名古屋大学大学院生命農学研究科, <sup>5)</sup> 福知山公立大学情報学部, <sup>6)</sup> 京都大学大学院農学研究科)
★O-10 0945-1000	深層学習を用いた細根自動抽出手法による根圏画像からの細根動態検出 ○山形拓人* <sup>1)</sup> ・池野英利 <sup>2)</sup> ・木村敏文 <sup>3)</sup> ・礪川悌次郎 <sup>4)</sup> ・中路達郎 <sup>5)</sup> ・大橋瑞江 <sup>3)</sup> ( <sup>1)</sup> 兵庫県立大学大学院環境人間学研究科, <sup>2)</sup> 福知山公立大学情報学部, <sup>3)</sup> 兵庫県立大学環境人間学部, <sup>4)</sup> 兵庫県立大学大学院工学研究科, <sup>5)</sup> 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター)
★O-11 1000-1015	山岳域における木本根系の無機態窒素および有機態窒素吸収速度と根形態特性 ○諏訪竜之介, 伊藤拓生, 岩田拓記, 牧田直樹 (信州大学理学部)

## 学術奨励賞

## イネ科野生種の過湿環境への適応メカニズムの研究

江尻真斗\*

福井県立大学大学院 生物資源学研究所 (現 株式会社ファイテック 研究開発部)

\*連絡先 (m.ejiri@fitech911.com)

多くの植物は過湿な環境では生育できない。近年の局所的な洪水増加に伴って将来的な作物被害の深刻化が懸念されており、洪水適応型作物の育種が急務となっている。耐湿性の高いイネなどの湿生植物は、通気組織の外側に放射状酸素放出 (Radial oxygen loss, ROL) を抑制するバリアを形成する (Ejiri et al., *Breed. Sci.*, 2021)。ROL バリアは、根端までの酸素の効率的な輸送を可能にし、植物の過湿土壌への適応を支える。バリアの研究によく用いられる栽培イネはバリアを、畑土壌(好気条件)ではつくらないが、過湿土壌(嫌気還元条件)で誘導的に形成する。しかし、栽培イネだけを用いたアプローチでは、形成の制御に関わるような鍵遺伝子の特定には未だ至っていない。ヒエなど一部の野生植物は、ストレスを受けなくても恒常的にバリアを形成する。形成の誘導タイミングが違うものがあるならば、その違いに着目し比較することで、バリア形成の制御に関わる鍵遺伝子を明らかにできると考えた。そのためには、近い遺伝的背景を持ち誘導性が異なる材料を見つける必要があった。そこで私は、1) 野生ヒエ属を用いた恒常的 ROL バリアに関する基礎研究の展開、2) 野生イネの中から恒常的 ROL バリアを形成する種の探索、3) 野生イネを用いた恒常的 ROL バリア形成に関わる鍵遺伝子の探索を実施した。

**1) 野生ヒエ属を用いた恒常的 ROL バリアに関する基礎研究の展開:** 世界的に乾燥から湿潤まで幅広い水分環境に分布する一年生の野生ヒエ属 3 種 3 変種のバリア形成能を評価した。その結果、タイヌビエが栽培イネと同様に誘導的バリアを形成する一方で、他の 2 種 3 変種(イヌビエ 3 変種とコヒメビエ)は疎水性ポリマーのスベリンを主成分とした恒常的バリアを形成することがわかった (Ejiri and Shiono, *Front. Plant Sci.*, 2019)。しかし、誘導的バリアを形成するタイヌビエは 4 倍体である一方で、恒常的バリアを形成するヒエ属 2 種はすべて 6 倍体であり、倍数性が違うことから両系統間で交雑により近い遺伝的背景を作出することが困難であった。

**2) 野生イネの中から恒常的 ROL バリアを形成する種の探索:** 2 倍体 AA ゲノムを持ち栽培イネと交配が可能な一年生野生イネは、ヒエのように世界的に幅広い水分環境に分布する。この中でも、一年中湿地に自生するアジアの *Oryza rufipogon* と 中南米の *O. glumaepatula* を調査対象とし、恒常的に ROL バリアを形成する系統をスクリーニングした。その結果、*O. rufipogon* は栽培イネと同じ誘導的バリアを形成する一方で、アマゾン川流域に自生する *O. glumaepatula* の複数の系統は恒常的 ROL バリアを形成した (Ejiri et al., *Plants*, 2020)。

**3) 野生イネを用いた恒常的 ROL バリア形成に関わる鍵遺伝子の探索:** 恒常的 ROL バリアを形成した *O. glumaepatula* のうち、IRGC105668 系統は既に栽培イネとの間にマッピング集団が作出されている。そこで恒常的 ROL バリアを制御する QTL の探索を行ったところ、第 4, 7, 10 染色体上に候補領域を検出した。そのうち、第 4, 7 染色体上の領域は、スベリンの沈着にも関わることが示唆された (Ejiri et al., 投稿準備中)。

このように私は、野生植物の持つユニークな耐湿性形質に着目し、その特徴を利用して ROL バリアの制御に



関わる鍵遺伝子単離のための基盤を整えてきた. 発表では, 以上の概要を説明する. 本研究の一部は, JSPS 科研費 (JP19K05978, JP21J14394, JP22K05587, JP22H02322) の支援を受けて実施された.



## 学術奨励賞

### 土壌水分条件に対してイネ根系が発揮する発育的可塑性及び水通導性応答の機能解析

亀岡 笑

酪農学園大学農食環境学群

(kameoka@rakuno.ac.jp)

国内外で水資源不足は深刻化しており、水資源の投入量を低減しつつ、環境変動下に収量安定性を担保できる栽培方法の確立、品種の育成は急務の課題となっている。発表者はこれまでに、土壌乾燥条件下において効率的に水吸収するために根系があるべき姿を明らかにすることを旨とし、国際イネ研究所など国内外の圃場を拠点に、イネ根系の土壌水分吸収に関する研究を以下のように進めてきた。

#### 1. 軽度の土壌乾燥ストレスに対して発揮されるイネ根の発育的可塑性に関する研究

根系発育の可塑性に異なる特徴を示すイネ品種群を供試し、模擬水田にて土壌水分を段階指摘に制御し、軽度の土壌水分ストレスに対して各異形根が発揮する根系発育の可塑性を評価した。その結果、「節根と側根とでは土壌乾燥による生育の抑制程度が明確に異なること」(Kameoka et al. *Plant Prod. Sci.* 19: 411-419)、 「乾燥耐性品種は水分量のより多い土壌層で集中的に根を発達させること」を明らかにした (Kameoka et al. *Plant Prod. Sci.* 18: 267-276)。

#### 2. 軽度の土壌乾燥ストレスに対するイネ根の水通導性変化に関する解析

国際稲研究所の Henry 博士と共に取り組んだイネ根の水通導性に関する一連の研究では、「浅い土壌層の根長密度ならびに根水通導性を減少させることが、雨期のような短期間の干ばつ条件下での茎葉発育維持に寄与する」ことを報告し、イネの形態変化とともに、根水通導性評価の重要性を定量的に示した (Kameoka et al. *Plant Root* 17: 45-58)。さらに水通導性に関する研究を進めるにあたり、プレッシャーチャンバー法における圧力漏れリスク低減に有効な方法を具体化し、分げつを有するイネ根の水通導性について、従来法に比べて測定成功率を顕著に向上させた (Kameoka et al. *Plant Root* 17: 59-70)。

#### 3. 間断灌水に対して発揮されるイネ根の発育的可塑性に関する研究

一定の土壌水分変動に対してイネ根系発育の可塑性が顕著に示されることを踏まえ、2016 年度からは節水栽培と収量安定性の両立を図ることを目指し、間断灌水における再灌水の目安となる土壌水ポテンシャルを根の可塑性発揮程度から評価し、その有効性の検証を進めてきた。これらの研究を進める中で、野菜水切り器を用いた脱水法を応用し、イネ根の新鮮重の測定方法を提案した (亀岡ら 根の研究 30: 33-40)。

以上、発表者のこれまでの研究概要について述べた。根の研究に取り組むほどに、国内外の作物学的課題と根の研究との繋がりの強さや面白さを実感する。北海道に赴任してからは、作物種に限らず、農業生産現場からの根の研究への注目度や期待度が高いことも実感するようになり、やりがいと面白さもまた一段と大きくなった。今回の受賞を励みに、今後も根の研究に対して真摯に向き合っていきたい。



謝辞: 本賞に推薦していただいた名古屋大学山内章教授に心より感謝申し上げます。また 学部生から博士課程までご指導いただいた諸先生・先輩方, 同期・後輩の皆様, 根に関する共同研究でお世話になってきた研究機関・生産農家の皆様, そして栽培学研究室の在学生・卒業生に深く感謝します。

学術特別賞

根系にかかわる生体電位研究

本間知夫\*

前橋工科大学工学部生命工学領域(情報・生命工学群生物応用プログラム、生物工学科)

\*連絡先(thomma@maebashi-it.ac.jp)

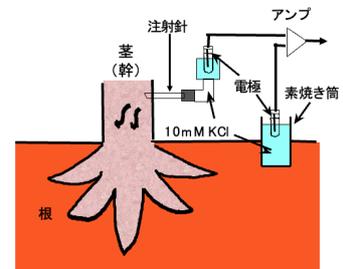
1. はじめに～植物における電気計測

我々が心電図や脳波を測定して心臓や脳の状態を非破壊的に調べるように、土の中にあって見ることができない根の状態を、植物でも電氣的な測定で知ることはいかなる？ チャのポット苗で測定していた生体電位が根の状態(呼吸活性)に応じて変化すること、茶園の成木で測定していた生体電位が地上部を刈り落として枝だけの状態になっても大きな日周変動を示したことから、生体電位は根の状態を反映していることを確信し、以来、電位計測により根系状態を非破壊的に評価する方法の確立を目指して研究を行っている。

2. 材料・方法

材料:屋外ではチャ・ウメ・モモ・ケヤキ・スギ・サクラ・マツ・マングローブ植物(メヒルギ・オヒルギ・ヤエヤマヒルギ)などの樹木、トウモロコシ・コンニャクなどの作物を、実験室内では野菜・果物・作物・花などのポット苗・水耕苗を測定対象として、生体電位計測を実施してきた。

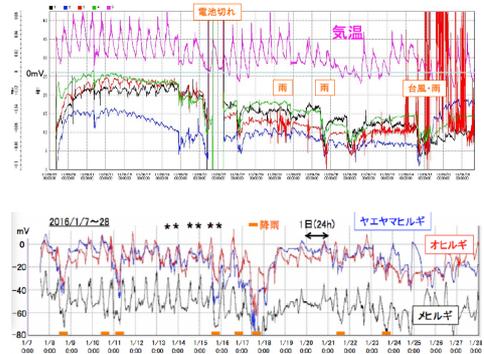
生体電位の測定:岡本尚先生(植物の知られざる生命力, 1991)が開発した非分極性電極を使った液絡法(第1図)を、長期に屋外でも安定して測定できるよう改良して生体電位を測定している。



第1図:生体電位測定模式図

3. 結果

樹木でも野菜等でも、成木でも幼苗でも、同じ方法で生体電位の測定は可能である。いずれも生体電位は日周変動を示すが、その変動パターンは植物の種類、また天候によっても変わる。第2図は上が前橋駅前通りのケヤキ(4個体)、下は西表島のマングローブ植物(3種)で計測された生体電位の一部だが、マングローブ植物は潮汐の影響を受けて変動のピークが1日に2回あることが判明した。樹木医による診断で状態が悪い個体の生体電位の変動パターンは小さくなる。また施肥により生体電位はすぐに変化することから、生体電位は土壤環境(イオン成分の多少)も反映されている。



第2図 生体電位計測例

4. 現時点でのまとめ～生体電位による根系状態評価はできるのか？

生体電位は根系状態の何を反映している(測定している)のか、生体電位で根の状態を知ることは無理だということをよく言われた。生体電位が根系状態と関係があることを示すために、根系状態を調べる方法としてテトラゾリウム塩(TTC)を使って根の呼吸活性を調べる TTC 法(植物栄養実験法, 1990)を改良して使っているが、これも正解かどうか分からない。生体電位の長期計測で得られるデータはビッグデータであり、情報科学的解析により潜んでいる生理的情報を引き出し、根系状態を評価する指標を提示することが今の課題である。



## 学術功労賞

### 地中レーダ探査技術を利用した樹木根構造の非破壊解析に関する研究

平野恭弘<sup>\*1)</sup>

<sup>1)</sup>名古屋大学大学院環境学研究科

\*連絡先 (yhirano@nagoya-u.jp)

樹木の根は、個体の 3 割程度を持つ炭素貯蔵機能を担うだけでなく、根系構造により樹体を支え、根系ネットワークにより表層土壌の流出や崩壊を防ぐ。根量については樹体地上部の幹直径などの指標から推定可能であるが、根が土壌中のどこに生育しているのか？といった根の位置情報についての知見は、その推定や計測の困難さから未だ不明な点が多い。1999 年チェコの Hruska et al. により、また 2001 年と 2003 年にアメリカの Butnor et al. により、物理探査法の一つである地中レーダ (Ground Penetrating Radar: GPR) を用いた樹木根の非破壊検出が報告されて以来、土を掘らずに根の位置を推測する技術が進展してきた。

われわれ地中レーダチームは、金澤洋一氏 (神戸大)、山瀬敬太郎氏 (兵庫県農林技総セ)、檀浦正子氏 (神戸大、京都大)、牧田直樹氏 (神戸大、信州大) らとともに 2007 年から地中レーダを利用した樹木根の検出に取り組んできた。実験的に①掘り取り直後のスギ根を用いた再埋設探査実験、野外では②アカマツ成木根系探査、③海岸クロマツ林の根の検出実験を行った。その結果、スギの根は地中レーダで検出可能なことを明らかにし (Dannoura et al. 2008 Plant Biosyst), 根の直径, 根と根の間隔, 土壌と根の水分条件など検出の制限要因を国際的に初めて整理し公表した (Hirano et al. 2009 Plant Soil). 野外ではアカマツ個体の根で非破壊検出の可能性を示唆し (牧田ら 2009 根の研究), 砂地に生育する海岸クロマツ林では明瞭なレーダ反射波形を確認し, 全根数に対して 5 割程度の根を非破壊検出できることを実証した (Hirano et al. 2012 Plant Soil). 森林土壌に生育するスギ林においても地中レーダの有効性を報告した (Yamase et al. 2018 Trees).

谷川東子氏 (森林総研, 名古屋大) らと根の検出を制限する要因についてさらに検証し, 根の成長方向と探査方向の角度や地表面の落葉リター等に注意する必要があることを明らかにした (Tanikawa et al. 2013, 2016, 2021 Plant Soil). さらに根の位置だけでなく根直径の非破壊推定の可能性を議論しその新たな手法を提案した (Tanikawa et al. 2013, 2014, Guo et al. 2015 Plant Soil). また大橋瑞江氏 (兵庫県立大) や池野英利氏 (兵庫県立大, 福知山公立大) らと根系構造の非破壊推定にも試み, 根の分岐アルゴリズムや SfM を用いた根系三次元構造の復元法を提案した (Ohashi et al. 2019 Planta, Okamoto et al. 2022 Plant Soil).

近年では, 気候変動に伴う局所的豪雨や台風の強靱化, また津波など森林災害に対する軽減を視野に入れ, 樹木個体の倒れることを防ぐ根系の力の評価をスギやクロマツで藤堂千景氏 (兵庫県農林技総合セ) らと行ってきた (Hirano et al. 2018 Plant Soil Todo et al. 2019 For Ecol Manage, 2021 2022 Forests). これらの評価手法も, 近年新たにわれわれのチームで導入してきた, 表層崩壊を防ぐ根の力の地中レーダを用いた評価法 (Yamase et al. 2019 CATENA) などを考慮して非破壊的に発展させることを試み, 減災のために森林の持つ根系力の非破壊評価手法をさらに開発していきたいと取り組んでいる。

レーダチームでは, 地中レーダ探査についてその初歩的な解説から実践まで青野健治氏 (KANSO テクノス) に, レーダ探査検証のエアースコップを用いた根系の掘り取りでは, 樹木医の宮田和男氏や大橋成友氏に多くのご協力をいただいていた。レーダチームの皆さんとともにこの機会に, 私から改めて深謝の意を表したい。

O-1

3D オブジェクト手法による根先端域での篩部篩管の起源と発達の解析

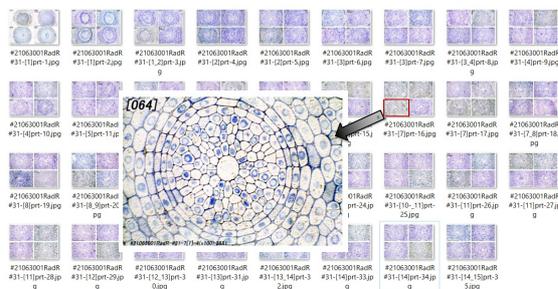
仁木輝緒・幹 康・斉藤 進

(同) ミキ音響イメージプロセッシング部門

\*連絡先 (teruo-niki@hb.tp1.jp)

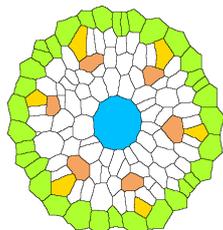
はじめに

原生篩部母細胞が斜分裂し,原生篩部篩管を形成することはすでに報告されている(川田ら, 日作紀 1977). しかし,原生篩部母細胞,後生篩部の起源は先端分裂帯(promeristem)となっているが,その詳細は定かではない. 演者らは3D オブジェクト手法を



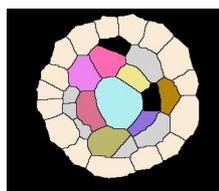
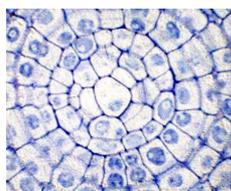
イネ (*Oryza sativa*) 種子根の連続薄切片 (1 $\mu$ m)

用い,先端域での原生・後生篩部の起源と発達の解析を行った. 播種3日後のイネ種子根の先端の連続薄切片を作成,写真撮影後,各切片の細胞を着色した. 3D オブジェクト構築にはオープン

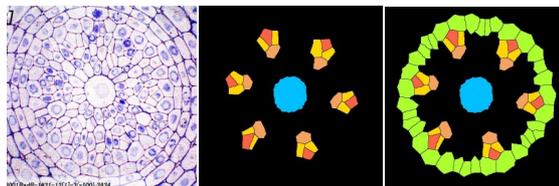


画像の輪郭抽出と着色

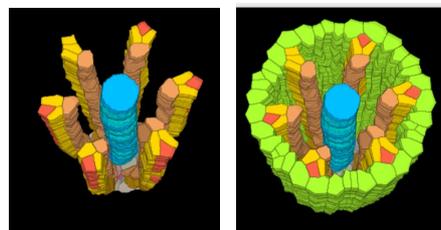
ソース ImageJ, BIMP を使用した.



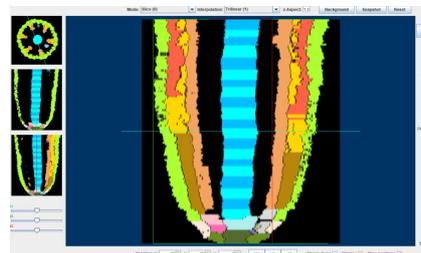
先端 RCJから19 $\mu$ mの位置 plerome 上の細胞 (左図), 右図 その細胞群の着色



RCJ から 113 $\mu$ m の位置 赤:篩管, 橙色:伴細胞, 茶:後生篩部, 緑:内鞘, 水色:後生木部



透明化を行った 3D オブジェクト



3D オブジェクト Volume Viewer での像まとめ

1. 3D オブジェクトの構築による形態形成の解析は有効な手法である.
2. 先端における原生篩部母細胞の出現は25 $\mu$ m, 後生篩部の出現は29 $\mu$ m. 篩部母細胞の斜分裂は50 $\mu$ m から始まり, 原生篩部篩管の完成は95 $\mu$ m であった.
3. 篩部篩管の連続性は3D オブジェクトによる Volume Viewer により示された.
4. 篩部母細胞と後生篩部細胞は先端中心柱の中心,及び周辺 Initialsから生じることを示していた.

ヨシ属の環境適応の種間差と関連する根の形質の可塑性

山内卓樹<sup>\*1)</sup>・角クルミ<sup>2)</sup>・森下絃光<sup>2)</sup>・野村康之<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>名古屋大学 生物機能開発利用研究センター, <sup>2)</sup>名古屋大学 大学院生命農学研究科,

<sup>3)</sup>龍谷大学 研究部

\*連絡先 (atkyama@agr.nagoya-u.ac.jp)

ヨシ属 (*Phragmites*) はイネ科 (*Poaceae*) の多年生草本であり, 日本国内にはツルヨシ (*Phragmites japonica*) とヨシ (*P. australis*) の2種が自生する. ツルヨシは河川の上流域の河岸に匍匐茎によって繁殖する一方, ヨシは長期的に冠水する河川の下流域や湖などに地下茎によって繁殖する (第1図).

長期的に冠水した土壌では, 土壌中の水相に溶存するわずかな酸素が植物の根や微生物の呼吸で消費され, 酸素の欠乏と嫌気性微生物の代謝による硫化水素などの毒性の物質の蓄積が起こる. ヨシは, 冠水適応のモデルとして William Armstrong らによって精力的に研究され, Venturi- and humidity-induced convection を駆動力として大気中から地下茎へと酸素を拡散させる機構をもつことが解明された.

ヨシの地下茎から不定根に至る酸素の拡散は, 根の皮層細胞の崩壊による破生通気組織と通気組織から根の周囲への酸素の漏出を防ぐ酸素漏出バリアによって支えられる. 著者らのイネ (*Oryza sativa*) と畑作物を対象とした研究から, 根に占める通気組織の割合は通気組織形成の場である皮層と中心柱の面積の比に影響されることがわかった. また, イネ科野生植物種のフィールド調査からは, 各植物種の自然生育地の土壌水分含量と皮層と中心柱の面積の比に強い相関があることも明らかになった. 一方, 日々変動する土壌環境に依存した根の解剖学的形質の可塑性についての理解は完全ではない.

そこで本研究では, 実験室内の人工気象機において乾燥土壌, 標準的な土壌および冠水土壌をそれぞれ模した高浸透圧条件 (10% w/v polyethylene glycol 6000 を含む水耕液), 標準条件 (溶存酸素濃度を高く維持した水耕液) および嫌気還元条件 (窒素で脱酸素した 0.1% agarose を含む水耕液) で処理したヨシとツルヨシの地上部と地下部の成長および不定根の解剖学的形質を評価した (第2図). その上で遺伝子型×処理の相互作用について統計的に解析した. その結果, ツルヨシは標準条件で地上部の生育がよく, ヨシでは嫌気還元条件で生育が最もよいことがわかった. また, 地上部の乾物重, 皮層と中心柱の面積の比および不定根の数に遺伝子型×処理の相互作用がみとめられた. これらの結果から, 植物の土壌水分環境の変動に対する応答と根の形質の可塑性の関係について議論する.



図1. ツルヨシとヨシの代表的な自然生育地  
左: ツルヨシ (*P. japonica*), 右: ヨシ (*P. australis*).



図2. ツルヨシとヨシの不定根の横断切片  
各条件の横断切片を示す. Bars = 100 μm.

## ★O-3

## 過湿環境で変動する窒素肥料成分はイネの酸素漏出バリア形成に影響を与えるのか？

江岸祐夏<sup>\*1)</sup>・江尻真斗<sup>1)</sup>・沢崎雄登<sup>1)</sup>・塩野克宏<sup>1)</sup><sup>1)</sup>福井県立大学大学院生物資源学研究所

\*連絡先 (s2273005@g.fpu.ac.jp)

## 【背景】

過湿状態になった土壌で、酸素は数日以内に低下する。分子状酸素が不足すると、第二段階として、微生物は有機物の酸化分解のために硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ ) に含まれる酸素を利用する。硝酸濃度の減少とともにアンモニウムイオン ( $\text{NH}_4^+$ ) の増加がみられる。さらなる低酸素状態の継続は、土壌が還元化し二価マンガンや二価鉄などの有毒イオンを増加させる。イネはこのような過湿状態の土壌で生育できる特殊な植物である。イネは耐湿性形質の1つである酸素漏出バリアを過湿条件下で誘導的に形成する。酸素漏出バリアは根の基部からの酸素漏出を抑制し、根端まで十分に酸素を供給することで根の呼吸を支えている。これまでに酸素漏出バリアの誘導性に関する研究が行われ、湛水後期に起きる二価鉄イオン (Mongon et al., *Funct Plant Biol.*, 2014) や有機酸 (Colmer et al., *Plant Cell Environ.*, 2019), 硫化水素 (Lucas et al., *New Phytol.*, 2023) の増加によりバリアが誘導されることが報告されている。しかし、湛水初期により迅速にバリアを誘導する環境刺激はまだ見つかっていない。また、バリア形成には植物ホルモンの ABA が関与している (Shiono et al., *New Phytol.*, 2022) が、バリアを誘導する環境刺激との関連は不明である。そこで、私たちは (i) 湛水初期に起きる窒素肥料成分 ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) の変動は酸素漏出バリア形成を誘導するのか? (ii) 環境刺激を感知した後、ABA を介してバリアは形成されるのか? を明らかにすることを目的に本研究を進めた。

## 【材料・方法】

イネ (日本晴品種) を好氣的な水耕液で 15 日間生育させた後、水耕液中の硝酸態窒素とアンモニウム態窒素の濃度を変更、もしくは、ABA 阻害剤 (Fluridon) や ABA を外生投与し、7 日間栽培を継続した。22 日齢のイネを用いてメチレンブルー染色で酸素漏出バリア形成を評価し、バリア形成率を算出した。その後バリア形成を評価した根を回収し、外皮のスベリン化を観察した。

## 【結果・考察】

バリアは通常濃度の窒素性養分を含んだ好気条件ではほとんど形成されなかった (形成率: 20%)。驚くべきことに、好気条件で硝酸のみを除くと 97% 程度の根でバリアが形成された。しかし、アンモニウムの濃度を変えた場合 (通常 5 倍量、無添加)、通常濃度の窒素性養分を含んだ好気条件と同程度にしかバリア誘導は見られなかった。このことから、酸素漏出バリア形成を誘導する初期の環境刺激は硝酸減少であることが示された。次に、この硝酸減少は ABA を介してバリアを形成するのだろうか? を調べた。前述のように硝酸欠乏では 100% 近い根でバリアが形成されたのに対し、硝酸を除いた水耕液に 1  $\mu\text{M}$  Fluridon を外生投与すると、バリア形成は抑制された (形成率: 9%)。さらに、ABA を外生投与するとバリア形成率は 100% にまで復帰した。以上の結果から、イネは硝酸欠乏後 ABA を介してバリアを形成していることが示唆された。

## 【謝辞】

本研究の一部は科研費 (JP16KK0173, JP19K05978, JP22K05587) の支援を受けて実施された。

## ★O-4

## シュート部の光照射が制御するシロイヌナズナ根端の活性酸素種分布と形態変化

市川晴雪<sup>1)</sup>・陽川憲<sup>\*2)</sup><sup>1)</sup>北見工業大学大学院工学研究科, <sup>2)</sup>北見工業大学工学部

\*連絡先(yokawaken@mail.kitami-it.ac.jp)

【目的】 植物は地上部と根の間で,様々な分子のやり取りを介して器官の形態を制御している.地上部で受ける光情報も同様に離れた根端に伝達され,主根の成長に影響を及ぼすことが知られている (Silva-Navas J *et al.* Plant J. 2015; Yokawa K *et al.* Plant Signal Behav. 2011; Lee HJ *et al.* Sci Signal. 2016).しかし,地上部の光が,根の形態を制御するメカニズムは不明である.本研究は,根の形態形成に影響を及ぼすことが知られる活性酸素種 (ROS; Reactive Oxygen Species) が,地上部の光照射によって根端で生じ,形態を変化させることに着目して検証を行なった.

【方法】 根端の ROS は根への直接の光照射によっても生じるために,地上部の光照射による発生かどうかを見分けることが困難である.そのため,根を光から保護する Shaded-Root System (以下 SR) を 3D プリンターで製作し,実験を行った.

- ① 植物体を完全遮光 (Dark),全体光照射 (Light),根のみ遮光 (SR) のそれぞれの光条件で生育したシロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana* L.) 野生型 Columbia-0 (Col-0) の根の形態を観察した.
- ② ROS の一種であるスーパーオキシド ( $O_2^{\cdot-}$ ) と過酸化水素 ( $H_2O_2$ ) はそれぞれ Nitro Blue Tetrazolium (NBT) と 3,3'-diaminobenzidine (DAB) を用いて可視化し,染色強度と分布測定した.実験は Col-0 と, $O_2^{\cdot-}$ 生成を担う酵素である RESPIRATORY BURST OXIDASE HOMOLOGUE (RBOH) の欠損変異体 *rboh*d と *rboh*f を用いて行った.

## 【結果】

- ① 光条件による根の形態の変化:SR と Light は Dark で生育した個体と比較し主根径,根毛長,根毛密度,側根数を有意に増加させた.また,SR は Light の個体と比較し主根長,主根径,根毛密度,根毛長が有意に減少していた.
- ② 根端の ROS 分布と蓄積量: $O_2^{\cdot-}$ と  $H_2O_2$  の蓄積量は Light が最も多く Dark が最も少なかった.どの光条件においても, $O_2^{\cdot-}$ の分布のピークは分裂領域より基部側に存在しているものの,Light は分裂領域にも蓄積していた.  $H_2O_2$  の分布は  $O_2^{\cdot-}$ のピークと重なる形で分化領域付近に存在していた.しかし,  $O_2^{\cdot-}$ が蓄積していた Light の根端では  $H_2O_2$  のピークはなく,Dark の伸長帯では  $H_2O_2$  が蓄積されない傾向があることから,地上部と根部の光照射が根端の ROS 分布に異なる影響を及ぼしていると考えられる.また,*rboh*d,*rboh*f において Light の分裂領域の  $O_2^{\cdot-}$ は蓄積が減少したものの,分裂領域より基部側に蓄積する  $O_2^{\cdot-}$ は分布が減少しないことから.根端の  $O_2^{\cdot-}$ 生成に RBOH が関わるものの,分裂領域より基部側の ROS 制御には RBOH 以外の関与が考えられる.以上より,地上部に照射された光は遠く離れた根端の活性酸素種の分布を制御し,根の形態を制御することが示唆された.

★O-5

根の通過細胞数が光合成に寄与する通導抵抗に与える影響の解析

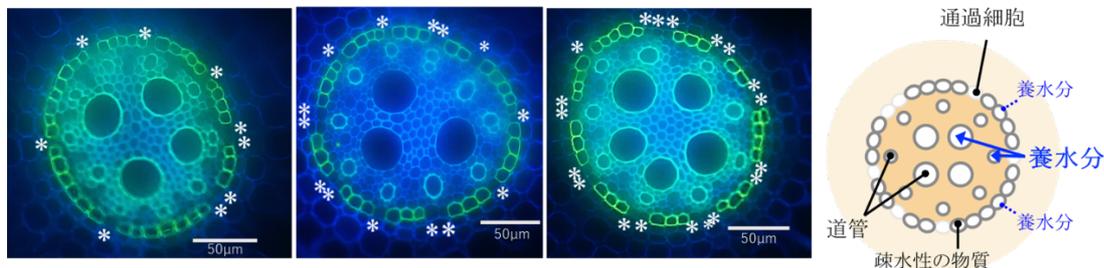
角クシミ<sup>\*1)</sup>・山中碩人<sup>2)</sup>・森下紘光<sup>1)</sup>・三並翔哉<sup>3)</sup>・石崎蒼太<sup>4)</sup>・谷吉和貴<sup>5)</sup>・安達俊輔<sup>6)</sup>・田中佑<sup>2)</sup>・  
山内卓樹<sup>7)</sup>

<sup>1)</sup>名古屋大学 大学院生命農学研究科, <sup>2)</sup>岡山大学 大学院環境生命自然科学研究科, <sup>3)</sup>名古屋大学 農学部, <sup>4)</sup>岡山大学 農学部, <sup>5)</sup>京都大学 大学院農学研究科, <sup>6)</sup>東京農工大学 農学研究院, <sup>7)</sup>名古屋大学 生物機能開発利用研究センター

\*連絡先 (sumi.kurumi.j0@s.mail.nagoya-u.ac.jp)

根の内皮は皮層の最内層であり、道管と篩管を含む中心柱を取り囲む一層の細胞層として定義される。成熟した内皮の細胞膜外には、スベリンやリグニンなどの疎水性の物質が蓄積し、中心柱の内部に存在する道管への養水分の輸送を制限する。一方、通過細胞と呼ばれる一部の内皮細胞には、疎水性の物質の蓄積がみられないため、根から地上部への養水分の選択的な輸送に関与すると考えられる。多収水稻品種タカナリは、標準的な水稻品種であるコシヒカリと比較して高い光合成活性と気孔コンダクタンスを示すことが知られている。このとき、タカナリの植物体全体の通導抵抗はコシヒカリと比較して顕著に低く、これが光合成活性を高く維持することによって貢献していると考えられる。

タカナリの不定根では、コシヒカリと比較して内皮に形成される通過細胞の数が顕著に多いことがわかった (第1図)。そこで、コシヒカリを遺伝的背景とするタカナリの染色体断片置換系統を人工気象器内で水耕栽培し、不定根の基部における通過細胞形成率 (通過細胞数/内皮細胞数) を評価した。その結果、4番染色体長腕の遺伝子領域がタカナリ型に置換した系統 SL1217 において、コシヒカリと比較して顕著に高い通過細胞形成率がみられた。さらに、通過細胞数が通導抵抗や光合成活性と関連することを検討するため、両親品種および SL1217 に加えて、タカナリを遺伝的背景として SL1217 と同様の領域がコシヒカリ型に置換した系統 SL1315 を名古屋大学の温室および岡山大学の圃場で土耕ポット栽培し、光合成活性や気孔コンダクタンス、通導抵抗の解析および地上部と根の生育調査を実施した。その結果、SL1217 ではコシヒカリと比較して光合成活性と気孔コンダクタンスが高く、通導抵抗が低いことが明らかになった。また、SL1315 ではタカナリに対してコシヒカリに対する SL1217 の効果と反対の効果がみとめられた。不定根の数は気孔コンダクタンスなどと一定の関連がみられたが、それだけでは通導抵抗に対する候補遺伝子領域の効果は説明できなかった。これらの結果を総合して、通過細胞形成率の増加が通導抵抗および光合成活性に与える影響について議論する。



第1図. コシヒカリ (左), SL1217 (中), タカナリ (右) の不定根の内皮におけるスベリンの蓄積。スベリンの蓄積を Fluorol Yellow 088 の黄色の蛍光として検出した。\*は通過細胞の位置を示す。

## ★O-6

## 異なる土壌リン条件におけるトウモロコシおよびトウモロコシ/テオシント染色体断片置換系統の生育と根系分布

安達甲悦<sup>\*1)</sup>・赤松佑紀<sup>2)</sup>・田島亮介<sup>1)</sup>・西田瑞彦<sup>1)</sup><sup>1)</sup>東北大学大学院農学研究科, <sup>2)</sup>農研機構 畜産研究部門

\*連絡先 (tazy@tohoku.ac.jp)

背景:リンは作物生産において重要な養分である。リン酸肥料の原料は鉱物資源であり、その枯渇の懸念や世界人口の増加に伴う需要の増加により、近年価格が高騰している。日本ではリン酸肥料の大部分を輸入に依存しており、肥料価格の高騰の影響を受けやすく、常に十分なリン酸肥料を施用できるとは限らない。したがって、土壌中のリン酸の効率的な利用が不可欠である。

近年、飼料自給率の向上のため、少ない労働時間で生産可能な飼料用トウモロコシが注目されており、この生産においても土壌中のリンの効率的な利用が求められている。このような状況で、トウモロコシ優良 F1 親自殖系統 Mi29 にトウモロコシの野生近縁種であるテオシントの遺伝子を組み込んだ遺伝子断片置換系統群から、低リン条件でも親系統より生育が優れている可能性のある IL18 と IL39 がポット試験により見出された。しかし、ポット栽培は生育前半の評価のみであることや、リン酸が土層に均一に存在する条件であること、また、根域が制限される等、圃場条件とは異なるため、圃場栽培試験をおこない、生育や、リン吸収に密接に関係すると言われる根の分布を確認する必要がある。

そこで、本研究では、土壌リン条件の異なる 2 圃場において、上記 3 系統 (Mi29, IL18, IL39) を 2 カ年にわたって栽培して、3 系統の生育と根の分布について調査をおこなった。

材料と方法:2021, 2022 年の 2 か年、東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター内の土壌リン条件の異なる隣接する 2 圃場で栽培試験をおこなった。表土の土壌リン酸レベルは可給態リン酸量で、低リン圃場 2.49 mg/100 g DS, 高リン圃場 36.5 mg/100 g DS である。なお、畑作物の可給態リン酸量の適正值は一般的に 10 - 30 mg/100 g DS とされている。両圃場でトウモロコシ Mi29 およびトウモロコシ/テオシント染色体断片置換系統 IL18, IL39 を栽培して、生育後期までの地上部の生育、リン吸収および根の分布の調査を 2 または 3 回おこなった。根の分布は植物体の株間をコアで 0 - 50 cm 掘り取り、5 層に分けて根長密度を評価した。また、根の分布を評価した同じ層位で可給態リン酸量の測定もおこなった。

結果と考察:2 圃場ともに圃場試験においては系統間でポット試験のような明確な生育の差異は認められなかった。しかしながら、低リン圃場では IL18 は Mi29 と比較して地上部乾物重が高い傾向にあり、根の分布は生育前半の深さ 0 - 10 cm の浅い層で根が多かった。可給態リン酸量は土壌の浅い層 (0 - 10 cm および 10 - 20 cm) で高い傾向にあり、それより深い層では著しく低かった。これにより、IL18 は低リン圃場において生育前半の根の分布が浅いため、土壌浅層のリンを効率的に吸収できる可能性が示唆された。一方、ポット栽培と異なり、IL39 は 2 圃場どちらでも特に生育後半では Mi29 よりも地上部乾物重は低い傾向にあり、低いリン条件で優れているとは言い難かった。

謝辞:Mi29 は農研機構九州沖縄農研センターから、IL 系統は農研機構畜産研究部門からそれぞれ提供を受けた。この場を借りて謝意を表します。

## ★O-7

## 秋における亜寒帯性針葉樹苗木の根の耐凍性

菅井徹人\*

森林総合研究所 北海道支所

\*sugai922@affrc.go.jp

樹木は、自ら動くことのできない環境に対して、開葉や紅葉などの季節の移り変わりに伴う生物現象であるフェノロジーを適切に調整することで適応している。亜寒帯性針葉樹では、耐凍性の獲得時期に遺伝的な産地間変異が認められ、寒冷な環境に自生する集団ほど耐凍性は早期に獲得されることが知られている。また、地上部における耐凍性の獲得時期は、成長の停止時期とも同調することが知られており、成長が早期に停止するほど、耐凍性は早期に獲得される。このように、夏から冬にかけて低下する温度条件に対して、耐凍性の獲得時期を制御することは重要な越冬戦略と考えられる。

また、耐凍性は植物個体の器官によっても異なることが知られており、根の耐凍性は葉や枝よりも低く、低温ストレスに対して脆弱である。一方、地上部と比べると土壤中の温度は極端に低下しにくいことから、地下部の低温ストレスや耐凍性に関する研究は比較的少なく、根の耐凍性の獲得時期や、その種内変異については不明な点が多い。近年では、気候変動の影響に伴い、降雪量や積雪深の低下に伴い、土壌凍結の頻度が増加することも懸念されており、地下部の低温ストレスによる根や地上部の成長低下も懸念されている。そこで本研究では、北海道に広く自生するトドマツ苗木を対象に秋の根の耐凍性の産地間変異を評価した。北海道の冬季環境は地理的に異なり、多雪地域の日本海側から、少雪地域の太平洋東部にかけて連続的に積雪深が変化する。この多様な積雪環境な北海道に広く分布するトドマツでは、地上部の耐凍性を含めた越冬戦略に種内変異が認められる。そこで本研究では、トドマツの根の耐凍性における産地間変異として、由来産地の積雪量が少ないほど、早期に耐凍性が獲得されると予想した。この予想を検証するために、本研究では森林総合研究所北海道支所において産地試験を行った。由来産地の異なる4年性のポット苗木から根端を採取し、電解質漏洩法によって耐凍性を評価した。冷却速度を1時間あたり3度とし、5段階の温度変化に対する応答から50%の生存率を示す温度を測定した。発表では根の耐凍性の産地間変異と由来産地の冬の環境条件との関係性についても議論する。

## ★O-8

## 巨礫のある土壌・無い土壌に生育するスギの根に地中レーダを探索した際の検出精度

金子祥也<sup>\*1)</sup>・谷川東子<sup>2)</sup>・藤堂千景<sup>3)</sup>・池野英利<sup>4)</sup>・山瀬敬太郎<sup>3)</sup>・大橋瑞江<sup>5)</sup>・檀浦正子<sup>6)</sup>・杵山哲矢<sup>1)</sup>・黒見信輔<sup>1)</sup>・柳瀬亮太<sup>1)</sup>・平野恭弘<sup>1)</sup><sup>1)</sup>名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>2)</sup>名古屋大学大学院生命農学研究科,<sup>3)</sup>兵庫県立農林水産技術総合センター, <sup>4)</sup>福知山公立大学情報学部<sup>5)</sup>兵庫県立大学環境人間学部, <sup>6)</sup>京都大学大学院農学研究科

\*連絡先 (kaneko.sachiya.k0@s.mail.nagoya-u.ac.jp)

斜面の表層崩壊を減らす樹木根系の土壌緊縛力の評価は減災・防災の点から重要である。土壌緊縛力の推定には、根の分布や直径など根系構造を把握する必要がある。根系構造を非破壊推定する地中調査レーダ(GPR)法は、電磁波の反射を用いて地中の物体の位置を推定するものであり、掘削を伴わないため環境を破壊せず短時間で探査可能という長所をもつ。一方、GPRの樹木根検出への応用に関する研究は発展途上であり、根の検出精度論や野外森林における方法論はまだ確立されていない。GPRは高い周波数ほど浅い土壌中で根を解像度良く探知でき、低い周波数ほど深くまで探査可能であるという特徴を持つ。現在まで900MHz以上の高周波数を用いた探査が主流であり、低周波数の研究は少ない。樹木根検出に影響を及ぼす要因として、土壌と根の含水率・根直径・根の深さ・根の密度・成長方向・土壌中の巨礫などがある。特に巨礫を含む土壌に生育する樹木を対象としてGPRを用いた根の検出精度を評価した研究は限られており、巨礫を含む森林土壌で検出精度を算出した例は演者が過去に発表した例のみである。また、GPRを用いて「根を正しく検出した」定義は研究例により異なり、レーダ反射波形の抽出における誤差の特徴は明らかにされていない。

本研究の目的は、土壌中の巨礫の有無とGPRを用いた根の検出精度との関係、および検出定義による精度の違いを明らかにすることとした。演者らはこれまでに、愛知県豊田市名古屋大学稲武フィールドにおいて巨礫の多い土壌に生育する約50年生スギ2個体と巨礫のない土壌に生育するスギ1個体の計3個体について、800MHzと300MHzの二周波GPRを用いて、幹中心からの50cm, 100cm, 150cmの同心円について根系測線探査を行った。探査されたレーダ反射画像から反射波形の手動抽出を行うとともに、実際に根株を全て掘り取って同心円測線下の根の位置を計測し、抽出された根の推定位置と掘り取った根の位置を比較した。「存在する樹木根をどれだけ波形として抽出したか(根の本数ベースの検出精度)」について、根の位置について「方位角度誤差22.5°以内かつ深さ誤差15cm以内」を「正しく検出」と定義し、検出精度を算出した。その結果、800MHzを用いた根の検出精度が300MHzより高く、巨礫のない1個体における根の検出精度が巨礫の多い2個体より高かった。

本研究では、同フィールドで巨礫のない土壌に生育するスギ1個体を新たに加えた計4個体を対象として、根の検出精度の評価を行った。検出精度の定義について、前発表内容に加えて「波形として抽出した場所にどれだけ根が存在していたか」を「波形の数ベースの検出精度」と定義し、検出精度を樹木の幹中心からの距離別に計算した。また、「正しく検出」の範囲に「方位角度誤差15°以内かつ深さ誤差10cm以内」「方位角度誤差10°以内かつ深さ誤差5cm以内」の2種類を加え、計3種類の範囲で800MHzと300MHzについて検出精度を算出した。本発表では、スギ4個体について樹木根の検出精度の結果とその要因を報告する。

## ★O-9

## 地中レーダ法を用いた斜面崩壊防止力の定量評価手法について

今若舞<sup>\*1)</sup>・山瀬敬太郎<sup>2)</sup>・平野恭弘<sup>3)</sup>・谷川東子<sup>4)</sup>・池野英利<sup>5)</sup>・檀浦正子<sup>6)</sup>・藤堂千景<sup>2)</sup>・大橋瑞江<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>兵庫県立大学大学院環境人間研究科, <sup>2)</sup>兵庫県立農林水産技術総合センター, <sup>3)</sup>名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>4)</sup>名古屋大学大学院生命農学研究科, <sup>5)</sup>福知山公立大学情報学部,

<sup>6)</sup>京都大学大学院農学研究科

\*連絡先(enarutuza@gmail.com)

森林において樹木根は土壌補強強度を発揮することで斜面崩壊防止力に貢献している。この力を定量的に評価する方法として、長らく Wu モデル (Wu et al., Canadian Geotechnical Journal, 1979) が用いられてきた。このモデルは簡易に土壌補強強度が推定できる一方で、全ての根が直径に関わらず同時に破断する想定であることから過大評価との指摘がなされている (掛谷ら, 砂防学会誌, 2018)。そこでこの欠点を補う形で新たに Root Bundle Model with Weibull survival function (RBMw, Schwarz et al., Hydrol. Earth Syst. Sci., 2013) が提案された。このモデルは Wu モデルより複雑なパラメータを用いて計算することで弱い根から徐々に破断する想定の下、土壌補強強度を評価する。つまり Wu モデルより現実に即した値が得られると評価されている (Yamase et al., Catena, 2019)。しかしどちらのモデルを利用するにも根系情報が必須であり、その調査に多大な時間と労力が必要となる。そこで近年、地中レーダ法と呼ばれる非破壊的手法が注目されている。この手法は地中に向かって電磁波を放ち、電気特性が異なる部分 (樹木根) で反射した電磁波情報により根系位置を推定する手法となっている。さらに全反射伝播合計時間 (以下  $\Sigma T$ ) を測定することで根直径の推定が可能となる (Yamase et al., Trees, 2018)。このことから地中レーダ法は従来の根系調査と比較し、必要とする時間や手間が少ないことから簡易に根の検出を行うことができると期待されている。しかし地中レーダ法を用いて斜面崩壊防止力を定量評価した研究例は少ない。そこで本研究は、地中レーダ法を用いた斜面崩壊防止力の推定を 2 つのモデルによって比較、評価することを目的とする。

調査地は兵庫県神戸市六甲山系のアカマツ二次林とした。2020 年 8 月にアカマツとヒサカキの中央部分である立木間中央を中心に、探査距離 1m の側線 (測定するための線) を P1 から P8 まで合計 8 か所設定した。そしてこの側線上にて地中レーダ探査を実施した。次に実際の根系情報を得るため、同年の 12 月に探査距離 1m の側線下を深さ 1m まで掘り取り、幅 1m 深さ 1m の土壌断面を作成した。その後、土壌断面に露出した根の直径 (mm) と樹種を計測した。同時期に土壌補強強度の定量評価モデルに必要なパラメータを得るため、引き抜き試験と根長調査を実施した。地中レーダ探査で得られた地中レーダ画像は、画像解析ソフト Reflexw によって根の検出と  $\Sigma T$  の測定を手動で行った。

地中レーダ法と掘り取り調査で得た根系情報から土壌補強強度を Wu モデルと RBMw の 2 つのモデルにより評価を試みた。地中レーダ法で推定した値が掘り取り調査で算出した値に対し、どの程度再現できたかを評価した所、Wuモデルは平均で約 50%、RBMwは平均で約 80%となった。このことから地中レーダ法で土壌補強強度を推定するにはWuモデルより RBMwを用いる方が適切であると評価できる。

## ★O-10

## 深層学習を用いた細根自動抽出手法による根圏画像からの細根動態検出

山形拓人<sup>\*1)</sup>・池野英利<sup>2)</sup>・木村敏文<sup>3)</sup>・磯川悌次郎<sup>4)</sup>・中路達郎<sup>5)</sup>・大橋瑞江<sup>3)</sup><sup>1)</sup>兵庫県立大学大学院環境人間学研究科, <sup>2)</sup>福知山公立大学情報学部, <sup>3)</sup>兵庫県立大学環境人間学部, <sup>4)</sup>兵庫県立大学大学院工学研究科, <sup>5)</sup>北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

\*連絡先 (takuff0630@gmail.com)

細根は直径約 2 mm 以下の根とされることが多く、短期間で生産枯死を繰り返すといった特徴を持つ。細根バイオマスは森林の純一次生産量の 33% を占めていると推定されている (Jackson et al., 1997)。そのため、細根動態を調べることは森林の炭素循環を解明する上で重要である。しかし森林地下部の調査は多量の労力を要する。

スキャナ法 (Dannoura et al., 2008) では非破壊的に広範囲の土壌断面 (根圏) を連続撮影することができる。この手法で撮影された根圏画像から細根を抽出することで細根動態を解析することができる。しかし、従来の方法である手動での細根抽出は膨大な時間を要してしまう。

そのため、近年、深層学習を用いて細根抽出を自動で行うソフトウェアがいくつか開発されている。例えば ARATA (Yabuki et al., 2022) や RootPainter (Smith et al., 2022), Trenchroot-SEG (Teramoto and Uga, 2020), SegRoot (Wang et al., 2019) などがある。これらを用いることで抽出に要する時間の短縮が可能となる。だが、これらが細根動態の検出に適しているかは未だ不明である。そこで山形ら (2023) は複数の深層学習を用いた細根自動抽出ソフトウェアを用いて細根動態検出を試みた。だが、評価対象とするソフトウェア数、抽出対象となる地点数ともに不足していたことや評価方法が不十分であったことから、確証を持った結果を得るには至らなかった。

そこで本研究では評価対象、抽出対象地点数を増やし、新たな評価対象を加えて評価を行った上で、細根動態検出に適した細根自動抽出ソフトウェアを探索することを目的とした。本研究での評価対象は ARATA, RootPainter, SegRoot, TrenchRoot-SEG の 4 種の細根自動抽出ソフトウェアとした。まず、根圏画像と細根手動抽出画像を使用しソフトウェア毎に学習を行った。次に、2 地点で撮影された根圏画像の時系列データに対して自動抽出を行った。そして、抽出した画像の細根面積を測定し、撮影時毎の細根面積の変化量を算出した。細根面積の変化量の増減の傾向や、成長・枯死根やその他の領域が正しく検出されているかを調べ、細根動態検出に適しているかを評価した。細根面積の変化量が手動抽出したものと強い相関を示したのは ARATA のみであった。

【参考文献】 Jackson et al., PNAS, 1997, doi: 10.1073/pnas.94.14.7362; Dannoura et al., Plant Root, 2008, DOI: 10.1111/2041-210X.13972; Yabuki et al., Method in Ecology and Evolution, 2022, doi: 10.1111/2041-210X.13972; Smith et al., New Phytologist, 2022, doi: 10.1111/nph.18387; Teramoto and Uga, Plant Phenomics, 2020, doi: 10.1111/nph.18387; Wang et al., Computers and Electronics in Agriculture, 2019, doi: 10.1016/j.compag.2019.05.017; 山形ら, 根研究集会, 2023



★O-11

山岳域における木本根系の無機態窒素および有機態窒素吸収速度と根形態特性  
Inorganic and organic nitrogen uptake and root morphological traits of woody  
fine root system in Alpine ecosystems

諏訪竜之介, 伊藤拓生, 岩田拓記, 牧田直樹

信州大学理学部 \*連絡先 (20s6015b@shinshu-u.ac.jp)

はじめに

窒素(N)吸収は、土壌からの木本根系による養分獲得において最も主要な経路である。森林限界を超えた高山帯に生息する樹木や低木は、貧栄養土壌で生き抜くため、様々な栄養獲得戦略を有している可能性がある。N吸収を変化させる要因には、根系の形態や、植物と共生する菌根菌の機能などが挙げられる。しかし、根形態や菌根菌タイプの観点から高山帯 N 吸収を調べた研究は少ない。本研究では、森林限界域における木本根系による N 吸収と根形態を測定し、菌根菌タイプや根形態の観点から樹種間差を解明することを目的とした。

方法

調査は 2023 年 7-8 月に、信州大学農学部西駒演習林の森林限界域である将棋の頭(2670 m a.s.l)周辺で行われた。対象樹種は外生菌根菌と共生する樹木のハイマツとミヤマハンノキ、エリコイド菌根菌と共生する低木のガンコウラン、キバナシヤクナゲ、コケモモの計 5 樹種とした。調査地から、実生個体を丸ごと丁寧に掘り出し、根系を洗浄後、現場で速やかに N 吸収測定を実施した。N 吸収測定は溶液直接吸収法(Ito et al. 2023 JFR)で行った。無機態用と有機態用の根系をそれぞれ用意し、200  $\mu\text{mol L}^{-1}$ の濃度の N 溶液( $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{KNO}_3$ 混合液、あるいはグリシン溶液)に浸し、一定時間静置させ、吸収を測定した。静置後、N 溶液と根系を回収し、溶液サンプルは比色分析によって濃度の測定を行い、吸収速度を算出した。根系サンプルは、乾燥させたのち乾燥重量を測定し、形態特性を算出した。

結果と考察

木本根系による N 吸収速度は、すべての N 形態においてコケモモの値が有意に高くなった。エリコイド菌根菌は有機物へ広く菌糸を拡大することから、エリコイド菌根種は有機態 N を多く吸収することが知られているが、本研究においてもその傾向を見ることができた。各 N 形態の吸収速度の割合では、外生菌根種は無機態 N 吸収の寄与が大きく、エリコイド菌根種は有機態 N 吸収の寄与が大きかった。吸収速度に違いが生じた理由は、N 形態によって植物体内での同化プロセスが異なるためだと考えられる。

根直径はエリコイド菌根種が外生菌根種より有意に小さい値となった。根直径が小さいほど養分吸収能が高いことが知られており、高山帯の木本根系においても根直径が N 吸収の規定要因となる可能性が示唆された。以上より、標高 2600 m を超える森林限界域では、外生菌根種は無機態 N、エリコイド菌根種は有機態 N に多く依存していることが分かった。またコケモモは、すべての N 形態において高い N 吸収能を持っている可能性が示唆された。本発表では、形態特性の結果を踏まえて、山岳域の根の機能に関して議論したい。

P-1

## シロイヌナズナにおけるビスマスによる抗酸化関連因子の発現量への影響

長田武\*

摂南大学理工学部

\*連絡先(t-nagata@lif.setsunan.ac.jp)

ビスマス(Bi)はレアメタルの一つであり、化粧品、半導体などに用いられるほか、鉛の代替品としても利用が広がっている。また、国内では北海道から鹿児島にわたり 25 以上の Bi 鉱床が存在し、土壌への集積が懸念されている。しかし、Bi には環境基準がなく殆どの農耕地の濃度は不明であり、植物への影響も解明されていない。そこで、我々はシロイヌナズナ(*Arabidopsis thaliana*)を用いて、Bi による植物への影響の解明を目的としている。現在までに、シロイヌナズナが Bi 濃度に依存してその蓄積量が増えるとともに、鉄(Fe)蓄積量も増加することを明らかにしている。また、2  $\mu\text{M}$  Bi によって細胞死が生じていることも明らかにしている。一般的に、Fe はフenton反応により活性酸素種を生じることが知られている。そのため、Bi による細胞死の誘導に活性酸素種が関与していると考えている。そこで本研究では、活性酸素種の消去にはたらく抗酸化関連因子であるアントシアニンの発現量およびスーパーオキシドジスムターゼ(MnSOD)の発現量への影響について検討を試みた。なお、MnSOD はミトコンドリアに局在し、スーパーオキシドアニオンを過酸化水素へ代謝する反応を触媒する酵素であることが知られている。

種々の Bi 濃度を含む寒天培地上にシロイヌナズナ col-0 を播種し、2 週間後の若苗を用いて以下の実験を行った。まず、葉を採取し、新鮮重量を測定後、塩酸/メタノール溶液を用いてアントシアニンを抽出し、吸光度測定を行った。その結果、Bi 未処理と比較して Bi 濃度 1  $\mu\text{M}$  以下では有意な差は認められなかったものの、2  $\mu\text{M}$  でアントシアニンの蓄積が有意に上昇することがわかった。これは、Bi によって抗酸化物質であるアントシアニンの生合成が促進されたことを示唆しており、細胞内で活性酸素種が生じている可能性が考えられる。次に、Bi 濃度 2  $\mu\text{M}$  におけるアントシアニンの上昇と細胞内の酸化状態の関連性を調べるため、還元剤であるヨウ化カリウム(KI)を用いて生育への影響を観察することとした。そのため、Bi 濃度 2  $\mu\text{M}$  と KI を含む寒天培地に播種し、2 週間後の若苗の新鮮重量および根長を測定した。その結果、地上部の新鮮重量は Bi 濃度 2  $\mu\text{M}$  で生育させた若苗と有意な差はなかったが、根の新鮮重量および根長では KI によって有意に増加していることがわかった。このことから、Bi によって細胞内が酸化状態であり、KI によって細胞内の酸化状態が回復された可能性が考えられる。さらに、細胞内の酸化状態が活性酸素種に起因するか調べるため、活性酸素種の一つであるスーパーオキシドアニオンの代謝を担う MnSOD の発現レベルをリアルタイム PCR によって測定した。その結果、地上部および根のいずれにおいても、MnSOD の発現は Bi 濃度の増加に反比例して有意に減少することがわかった。このことから、Bi によって発現が阻害されている可能性が示唆され、MnSOD 発現抑制が活性酸素種の消去の減少に至ったものと考えられる。

以上から、Bi によって細胞内が酸化状態となり抗酸化関連因子の一つであるアントシアニンの発現が促進した可能性が考えられる。また、ミトコンドリアにおいて Bi が MnSOD の発現を抑制したことを示唆しており、酸化還元バランスの損失が Bi の強い植物毒性の一因であると考えられる。現在、Bi による活性酸素種の生成量について 2-メチル-6-(4-メキシフェニル)イミダゾ[1, 2- a]ピラジン-3(7H)-オン(MCLA)を用いた化学発光定量法による解明を試みている。

**根系の特性からみた大麦における乾燥ストレス耐性の品種間差異**涌井三蔵<sup>\*1</sup>・中野友貴・長嶺敬・鈴木伸治・伊藤博武<sup>1</sup>東京農業大学大学院北方圏農学専攻

\*連絡先(14523006@nodai.ac.jp)

**【背景】**

近年の気候変動により、干ばつによる作物生産被害のリスクが増加している。そのため、乾燥耐性の高い品種の育成が急務である。本研究では、根系構造が異なる大麦 5 品種を供試品種として、乾燥ストレスが大麦種子根の初期成育に及ぼす影響とその品種間差異を調べた(試験 1)。また、試験 1 において異なる乾燥耐性を示した 2 品種を用いて乾燥ストレス下での 50 日間の栽培試験を行い、乾燥ストレス応答の品種間差異について検討した(試験 2)。

**【試験方法】**

試験1では、フラット観察槽(150×150×20 mm)に園芸培養土(ホクレン農業協同組合)を詰め、20°Cの暗条件下で48時間催芽処理を行った大麦種子を播種した。各フラット観察槽を乾燥区では生長阻害水分点(pF 3.0)、対照区では圃場含水量(pF 1.5)になるように水分を調節し、20°Cの暗条件下で5日間栽培した。各処理区の植物個体の草丈を測定したのち、根を水で洗い流し種子根数、種子根1本の長さ、側根数および種子根の伸長角度を測定した。試験2では、試験1で高い乾燥耐性を示した「ユメサキボシ」と低い乾燥耐性を示した「HN67」を選び、上述の催芽処理を行ったのちにワグネルポット(1/5000 a)を用いて乾燥条件と標準条件で50日間栽培した。4日ごとに各ポットの重量を確認し、乾燥条件では土1 kgに対して水0.3 kgになる様に土壤含水量を調整し、標準条件では常に圃場含水量になるように調整した。栽培後、地上部の乾物重、地下部の乾物重および側根数を測定した。

**【結果および考察】**

試験1では、「ユメサキボシ」の草丈が乾燥条件区において対照区比106%と増加したのに対し、他4品種は乾燥条件の影響を強く受けて100%未満となった。最も大きな草丈の減少を示したのは「HN67」であった。また「ユメサキボシ」の総根長は乾燥条件区において対照区比140%と大きく増加し、乾燥条件において総根長を伸ばすという特徴が見られた。また、側根数に着目してみると、「ユメサキボシ」では乾燥条件区において対照区比134%と増加していた。それに対して、他の4品種は減少していた。これらのことから、「ユメサキボシ」は乾燥条件下においても側根の本数を維持することにより、高い乾燥耐性を示した可能性が考えられた。試験2では、乾燥条件下での長期栽培による乾燥ストレス応答の品種間差異について評価した。地上部の乾物重は乾燥ストレスにより「ユメサキボシ」と「HN67」の両品種ともに減少したが、「ユメサキボシ」の減少割合は低かった。根の乾物重は、「HN67」では乾燥条件区において有意に減少したが、「ユメサキボシ」では有意な変化は認められなかった。側根数は乾燥区と対照区ともに「ユメサキボシ」が有意に多かった。試験1から「ユメサキボシ」は生育の初期から側根を発現する能力を持っていると考えられるため、生育初期における乾燥耐性が高いと考えた。また、試験2では地上部の乾物重が減少しなかったことから、50日間の栽培においても「ユメサキボシ」の乾燥耐性が維持されたと考えた。一方で、根および地上部の重量は「HN67」が高かった。これらのことから、試験2に用いた2品種は乾燥ストレスに対し異なる性質を示していると考えられた。

## ★P-3

## オオムギの湿害発生過程における根系・根圏酸化状態デュアルイメージングの挑戦

芝日菜子<sup>\*1)</sup>・江上泰広<sup>2)</sup>・檀浦正子<sup>3)</sup>・高梨聡<sup>4)</sup>・塩野克宏<sup>1)</sup><sup>1)</sup>福井県立大学大学院生物資源学研究科, <sup>2)</sup>愛知工業大学機械学科,<sup>3)</sup>京都大学大学院農学研究科, <sup>4)</sup>森林総合研究所関西支所

\*連絡先(s2273010@g.fpu.ac.jp)

我が国では水はけが悪い水田転換畑でオオムギなど畑作物の湿害が問題となっている。排水の良い土壌には根の呼吸に十分な酸素が存在するが、湛水すると数日で土壌酸素濃度が低下する。湛水が継続すると土壌の還元化が進行し、植物に毒性のある  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ , 有機酸, さらに  $H_2S$  や  $CH_4$  までもが発生する。このように湿害は連続的に変化する複数のストレス要因によって引き起こされる。大気からの酸素の溶け込み (Miyashita and Shiono, Plant Root, 2022) や根による根圏の酸化 (Larsen et al., Plant Soil, 2015) によって、土壌の酸素状態が変化することから、これらストレス要因は時間的だけでなく、空間的にも変化する。これまで、湿害研究は根重変化や下位葉の枯れあがりなどの破壊的手法により進められてきたが、湿害の回避の抜本的な解消には至っていない。我々は、過湿ストレスの回避には、根系とストレス要因の起点となる酸素の時空間的变化を理解する必要があると考えた。そこで私たちは、植物が放出する酸素の空間分布を非破壊で定量できる2次元酸素オプトードを我が国で初めて確立した (Shiono et al., Front. Plant Sci., 2022)。しかし、確立したオプトードセンササイズは縦7×横5 cmと、栄養成長期にある作物の根系調査には不十分であった。我々は (i) オプトードセンササイズを拡大して作物根系の根圏酸化状態を観測できる測定系を確立し、(ii) 過湿ストレス下の畑作物 (オオムギ) の根系変化の追跡を目的に研究を進めた。

まず、縦27×横16 cmにオプトードセンササイズを拡大し、オプトード装置の最適化を試みた。新たに作成したセンサと従来センサの校正結果を比較することで、作成したセンサで酸素濃度の計測が可能かを確認した。オオムギ *Hordeum vulgare* (Morex) を排水土壌で17日間栽培した後、湛水させて10日間、栽培を継続した(深度3 cm)。湛水期間中、地上部の長さ、SPAD値、葉齢、およびガラス面に露出した根系の状態をフラッドベッドスキナ法 (Dannoura et al., Plant Root, 2008) で数日に1回、計測した。湛水10日後、各種生育データとともに、洗い出した根をフラッドベッドスキナで画像取得し、表面積と総根長、乾燥重量を計測した。

新たに作成したオプトードセンサガラスでも従来センサと同程度のフィッティングのよい校正曲線が得られ(従来:  $R^2 = 0.9960$ , 拡大:  $R^2 = 0.9887$ )、作物根系の根圏酸化を観測できる測定系の確立に成功した。オオムギを10日間湛水すると第1葉、第2葉の枯れあがりが見られ、SPAD値が顕著に低下した。私たちの土壌実験でも湿害の再現に成功した。湛水処理10日目、湛水条件では排水条件よりも不定根数が増えていた ( $P < 0.05$ , t-test)。発根状況を追跡すると、湛水条件では不定根の出根が早まっていた。このことが、湛水条件下での不定根数の増加につながったのだろう。湛水条件で発根した不定根は7日程度で伸長速度が低下した。今後は、根系と2次元酸素オプトードによる酸素分布を観測し、オオムギの湿害発生機序の理解を試みる。

本研究を進めるにあたり、Ronnie N. Glud教授、Morten Larsen博士、小栗一将博士、上谷尚矢氏、荒木僚太氏、藤原七海氏からオプトード装置の開発・改良に関わる技術的支援を受けた。本研究は科研費(JP16KK0173, JP22K05587)の支援を受けて実施した。

★P-4

野生イネ *Oryza glumaepatula* 種子根の組織構造に関わる遺伝子領域の推定

馬場美幸<sup>\*1)</sup>・江尻真斗<sup>1)</sup>・西嶋遼<sup>1)</sup>・山形悦透<sup>2)</sup>・三浦孝太郎<sup>1)</sup>・塩野克宏<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>福井県立大学生物資源学部, <sup>2)</sup>九州大学大学院農学研究院

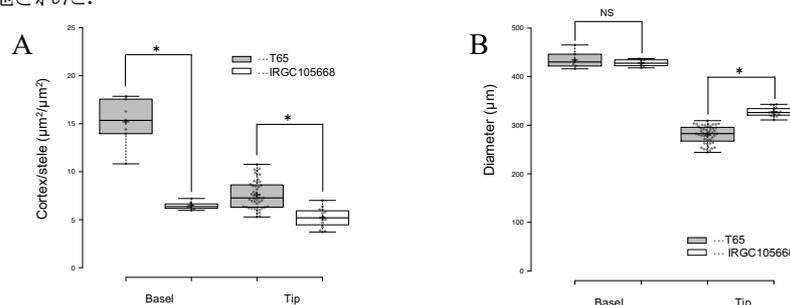
\*連絡先 (s2021033@g.fpu.ac.jp)

アマゾン川流域に分布する野生イネ *Oryza glumaepatula* は栽培イネと同じ AA ゲノムを持ち, 栽培イネとの交配が可能である. この特性を利用し, *O. glumaepatula* (IRGC105668 系統) では, 野生イネ由来の遺伝子単離に利用できるイントログレーション系統群 (ILs) が整備されてきた (Yoshimura et al., Breed Sci, 2010). 近年の環境変動に伴う湿害の増加により, イネよりもさらに高い湿害耐性を持つ *O. glumaepatula* の有する有用な形質を調査する需要が高まっている. 江尻・塩野 (根の研究, 2023) は種子根の組織構造比較により, IRGC105668 は栽培イネ台中 65 号 (T65) よりも太い中心柱を持つことを報告している. 太い中心柱は深い土壌から水を取り込むことに有利な形質であるとされている (Yamauchi et al., Breed Sci, 2021). また, 養水分吸収には根の表面積が関わっており, 表面積に影響する側根が多く発生するには太い根であることが重要と言われている (Morita and Collins, Jpn Crop Sci, 1990). そこで本研究では, IRGC105668 の太い中心柱に関連する遺伝子領域を特定するため, IRGC105668 ILs の中心柱を評価した. この際, 他の根の情報として重要である直径についても同様に調査したので報告する.

実験には好気水耕栽培で 10 日間育成した T65, IRGC105668, 55 系統の IRGC105668 ILs を用いた. 種子根の組織構造を調べるために基部側 (75-85 mm), 根端側 (15-25 mm) の横断切片を作製した (切片厚: 70 μm). ImageJ を用いて, 光学顕微鏡で取得した切片画像から根の断面, 皮層, 中心柱の面積を測定した. その後, 皮層-中心柱比 (Cortex/stele) と根の直径を算出した.

Cortex/stele は値が小さいほどその根が太い中心柱を持つことを表す. IRGC105668 の Cortex/stele は, 基部側と根端側ともに T65 よりも有意に低かった (第 1 図 A). 調査した ILs の中には, IRGC105668 のように基部と根端の両方で Cortex/stele が T65 よりも有意に低いものはみられなかった. しかし, 根端の Cortex/stele だけが T65 よりも低い ILs が 40 系統見つかった. 根の基部直径は, 江尻・塩野 (根の研究, 2023) の報告にあったように, 根の基部では IRGC105668 と T65 の間に違いはみられなかった ( $P > 0.05$ , 第 1 図 B). 今回, 新たに調査した根端では, IRGC105668 (直径: 327.5 μm) は T65 (直径: 280.6 μm) よりも太くなることわかった. ILs の中に, IRGC105668 のように根端が T65 よりも有意に大きいものは, ILs の中に 25 系統みられた. これらのうち 10 系統は基部根端ともに T65 よりも太い根を持っており, *O. glumaepatula* の ILs を利用することで, 根の太さを制御する遺伝子単離の可能性があるとわかった. 遺伝子単離にあたって, *O. glumaepatula* のリファレンスゲノムが公開されていないことが障害となっている. そこで現在, T65 と IRGC105668 の全ゲノムの解読を進めている. リファレンスゲノムを活用しながら, マッピングを進めることで遺伝子領域の特定を目指している.

本研究は, 福井県立大学戦略的課題研究推進事業, 科研費 (JP21J14394, JP22K05587, JP22H02322) の支援を受けて実施された.



27  
第 1 図. T65 と IRGC105668 の種子根における基部側と根端側の組織構造比較 (A) 皮層-中心柱比 (Cortex/stele). (B) 根直径. 黒いドットは生データ. 十字印は平均値を表す.  $P < 0.05$  (t 検定). NS: not significant.  $n = 7$  or 48.

★P-5

二次元酸素オプトードによるイネ幼苗期の根圏酸化動態の観察

藤原七海\*・芝日菜子・塩野克宏

福井県立大学生物資源学部

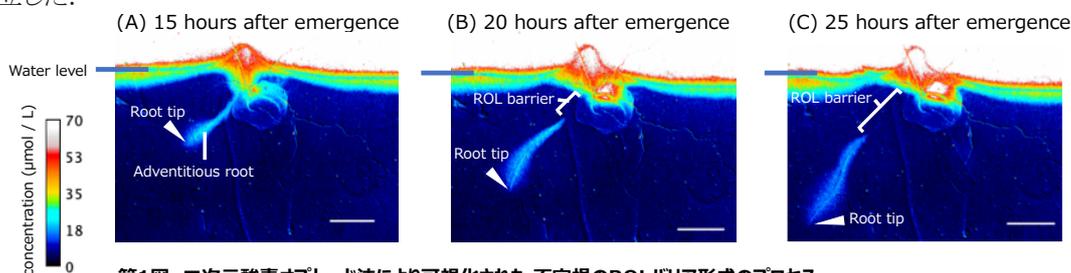
\*連絡先 (s2021037@g.fpu.ac.jp)

湛水した土壌では、ほとんどの陸生植物は健全に出芽・発根することはできない。イネをはじめとする湿生植物は、根への通気系を発達させることでそのような低酸素環境を順調に生きることができる。この根への酸素通気には発達した通気組織と Radial Oxygen Loss (ROL, 放射状酸素放出) バリアが重要な役割を果たす (Ejiri et al. *Breed sci.*, 2022)。しかし、植物の健全な定着を左右する、苗立ち期における根の発達と酸素通気の関係はこれまで不明であった。私たちは我が国で初めて植物が放出する酸素の空間分布を非破壊で定量できる二次元酸素オプトードを確立した (Shiono et al., *Front Plant Sci*, 2022)。本法を用いることで根の分布とその根が放出する酸素漏出量 (ROL) を非破壊的に検出できる可能性があった。そこで、我々は、二次元酸素オプトードを用いて、水中で発芽したイネの苗立ち過程における根の成長と ROL バリア形成の関係を明らかにすることを目的に研究を進めた。

実験には、イネ (日本晴) を用いた。脱えいした種子を 10%次亜塩素酸により滅菌し、28°C (暗所) で 1 日、吸水させた。吸水 1 日後、種子を二次元オプトード容器に固定し、4 倍希釈した嫌気還元溶液 (deoxygenated stagnant 0.1% agar nutrient solution) 内で冠水発芽させた (種の位置:水面下 1.5 cm, 暗所, 28°C)。冠水発芽の開始から 10 日間、二次元酸素オプトード装置で 1 時間ごとに画像を取得し、根の発達と容器内の酸素分布を定量した。

種子根 (1 本) が発根してから、約 50 時間経過後、不定根が次々と発根し始めた。種子根と不定根の伸長速度は同程度であったが、酸素放出が確認できる根の出現頻度に違いが見られた。全ての種子根で酸素放出が確認できるわけではなく、根によっては酸素放出が確認できないものも散見された。不定根の場合、ほとんどの根から酸素の放出が確認できた。不定根は、発根直後、根全体から酸素を放出しながら伸長していた (第 1 図 A)。不定根が 1.2 cm ほどまで伸びたときに、ROL バリアが形成された (第 1 図 B)。この酸素放出のない基部の領域 (i.e., ROL バリアができていない部分) は根の発達に伴って、広がった (第 1 図 C)。このように、不定根の ROL バリアは発根時には形成されておらず、根の成熟に伴って作られることが初めて観察できた。さらに、根端からの酸素放出に注目すると新しい特徴がみられた。不定根が ROL バリアを形成する前、酸素は根冠を含む根全体から放出されていた (第 1 図 A)。しかし、ROL バリアが形成されると、根の先端から 0.8 mm の領域 (根冠付近) からの酸素放出が次第に低下していった (第 1 図 C)。これまでに、根端の ROL パターンについての知見は皆無であったが、空間分解能の高い二次元酸素オプトードにより、根冠からの酸素放出に変動があることが明らかになった。

本研究は、科研費 (JP16KK0173, JP19K05978, JP22K05587, JP22H02322) の支援を受けて実施した。また、二次元酸素オプトードは Ronnie N. Glud 教授, Morten Larsen 博士, 小栗一将博士の技術的支援を受けて確立した。



第1図 二次元酸素オプトード法により可視化された、不定根のROLバリア形成のプロセス  
(A) 発根から15時間後の不定根. (B) 発根から20時間後の不定根. (C) 発根から25時間後の不定根.  
Bars = 5 mm

★P-6

Productivity and root system architecture of rice *qSOR1/DRO1* NILs under fertilizer deep placement

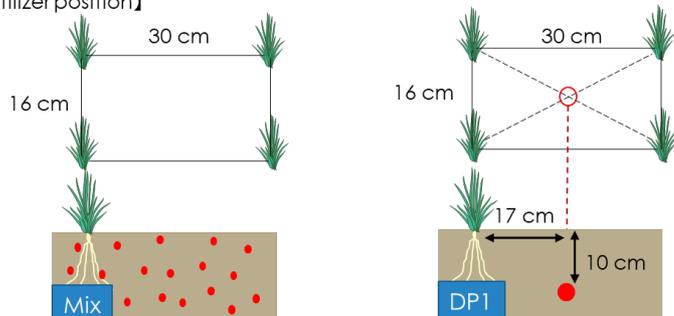
Nabila Mumtahina<sup>\*1)</sup> · Hiroyuki Shimino<sup>2)</sup> · Maya Matsunami<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 1 United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University, <sup>2,3)</sup> Faculty of Agriculture, Iwate University

(\* [mumtahinanabila@gmail.com](mailto:mumtahinanabila@gmail.com))

Optimizing plant architecture has proven to be an effective strategy for enhancing crop productivity, with Root System Architecture (RSA) emerging as a crucial trait for enabling plants to adapt to diverse soil environments. The Deep-Place Fertilization (DPF) method has been recognized for its ability to improve rice productivity compared to conventional broadcast fertilization in paddy fields, leading to enhanced nutrient utilization efficiency. However, information regarding root traits suitable for the DPF method is lacking. In this study, we assessed the impact of deep fertilization with combined nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) on the spatial distribution of the rice root system in paddy fields. To investigate this, a two-year field experiment was conducted in 2022 and 2023, using the indica lowland rice variety IR64 and its three Near Isogenic Lines (NILs) with varying combinations of functional and non-functional alleles of *qSOR1* and *DRO1*. We employed urea, superphosphate, and KCl as sources of N, P, and K, respectively, in a ratio of N:P:K = 8:6.5:7.5 (g/m<sup>2</sup>). The control group had fertilizer mixed in the soil, while the DPF treatment involved placing NPK fertilizer balls at a depth of 10 cm in the soil. In the case of the DPF treatment, the fertilizer ball was positioned 17 cm horizontally from the rice hill. During the heading stage, it was observed that, except for the *qsor1*-NIL (SHALLOW), there was a notable increase in root accumulation at the position of the fertilizer, resulting in significantly higher crop productivity with the DPF method. Nonetheless, the response of *qsor1*-NIL to nutrient uptake at the heading stage was comparable to the other NILs to a certain extent. The uptake of N at the heading stage saw a significant increase due to DPF. Beside P, other soil mineral such as Ca and Mg uptake was promoted by DPF for the *DRO1+qsor1*-NIL (INTERMEDIATE). In conclusion, deep fertilization stimulated the growth of rice varieties with deep or intermediate RSA towards the fertilizer, leading to an increased root surface area and ultimately better plant productivity.

【Fertilizer position】



## ★P-7

## 2023 年の堆肥施用が水稻品種「ななつぼし」の生育、収量、根系発育に与えた影響

白倉誠也<sup>1)</sup>・亀田悠介<sup>1)</sup>・善生政樹<sup>2)</sup>・亀岡笑<sup>\*1)</sup><sup>1)</sup> 酪農大学農食環境学群, <sup>2)</sup> 善生農園

\*連絡先(kameoka@rakuno.ac.jp)

【目的】 肥料価格の高騰ならびに「みどりの食料システム戦略」の推進に伴い、稲作における堆肥の活用は今後ますます求められる。本研究では堆肥活用型的水稻栽培を 32 ha の規模で実践する善生農園（北海道岩見沢市栗沢町）に研究協力を依頼し、夏季に長期的な高温を記録した 2023 年の北海道江別市において、気孔開度や根の出液速度の評価も踏まえ、堆肥施用が水稻品種「ななつぼし」の根系発育に与える影響を根の機能的側面も含めて定量的に評価しようとした。

【方法】 大学ガラス温室（北海道江別市）にて 2023 年に、土の種類（善生農園の土／試験用砂土）、堆肥有無の 2 処理 4 反復のポット試験を実施した。ポット規格は 1/5000 a とし、試験用砂土（可給態窒素 1.3 mg/100 g, CEC 8 me/100 g）、善生農園の土（可給態窒素 4.1 mg/100 g, CEC 27 me/100 g）を用い、砂土で 10 a あたり 18 kg, 12 kg, 11 kg, 善生農園の土で 10 a あたり 8.8 kg, 8.8 kg, 8.0 kg 相当の窒素、リン酸、カリを施肥した。2022 年 10 月～2023 年 4 月に善生農園にて稲わら・籾殻を主材料として管理・調整された堆肥を、2023 年の 4 月に現地サンプリングし、堆肥区のポットには約 36 g の堆肥（風乾）をすき込んだ。堆肥成分の溶出程度を継時的に評価するため、移植期、出穂期、収穫期の計 3 回、堆肥有無それぞれの試験用砂土ブランクポット（すべて化肥あり）の土壌分析を実施した。2023 年 5 月 18 日に 30 日齢の道産水稻品種「ななつぼし」苗を移植し、週 1 回の頻度で生育調査し、気孔コンダクタンス測定装置（SC-1, METER）を用いて気孔開度を試験期間中に複数回測定した。出穂期ならびに、黄化籾が 9 割に達したタイミングで、根の出液速度を測定した。砂土条件の根系について、節根数を目視で計測し、その後 ImageJ に根長解析マクロ（Tajima and Kato 2013）を使用して、5 段階（<0.1 mm, 0.1-0.2 mm, 0.2-0.5 mm, 0.5-1.0 mm, 1.0 mm<）の直径別根長を測定した。

【結果と考察】 2023 年は、登熟期間に重複する 7 月中旬～8 月下旬にかけて例年に比べて気温が著しく高く推移し、北海道では稀な高温登熟年となった。ブランクポットにおいて、可給態窒素には施肥処理間で目立った変化がなく、その一方で石灰とケイ酸値は移植期から収穫期にわたって、カリとリン酸は出穂期以降に堆肥施用によって高まる傾向がみられた。土の種類に関わらず、出穂期以降の SPAD は堆肥施用によって高く保たれる傾向がみられ、収穫時の折稈数や下葉の枯れ上がり程度も堆肥施用によって緩和される傾向がみられた。さらに善生農園の土においては、出穂期の根の出液速度ならびに登熟後期の気孔開度が堆肥施用によって高く保たれる傾向がみられた。砂土条件下において、直径 1 mm 以上の根長には堆肥施用による変化はみられなかったが、直径 1 mm 以下では 4 段階すべての直径根長が堆肥施用によって低下傾向を示した。これらの結果から、登熟期が著しい高温で推移した 2023 年において、稲わら・籾殻を主材料とした堆肥を施用することによって土壌養分条件が移植期時点から改善され、堆肥を施用しない場合に比べて側根発育の可塑性発揮の必要性が低下し、土条件に応じて根の機能性も向上し、結果として収穫期まで健全な「ななつぼし」の稲体が保たれたと考えた。

## ★P-8

**稲わら・籾殻を主体とした堆肥施用が水稻品種「ななつぼし」の  
生育、収量、根系発育に与える影響**亀田悠介<sup>1)</sup>・白倉誠也<sup>1)</sup>・金田耕平<sup>1)</sup>・藤田美友<sup>1)</sup>・田中佑汰<sup>1)</sup>・善生政樹<sup>2)</sup>・亀岡笑\*<sup>1)</sup><sup>1)</sup>酪農大学農食環境学群, <sup>2)</sup>善生農園

\*連絡先 (kameoka@rakuno.ac.jp)

【目的】国内外問わず気象変動はますます深刻化しており、近年では北海道においてもイネの高温登熟障害が問題視され始めた。特に北海道において、気象変動下の稲作に対する堆肥施用効果やその安定性に関しては依然として不明な点が多い。本研究では堆肥活用型的水稻栽培を 32 ha の規模で実践する善生農園（北海道岩見沢市栗沢町）に研究協力を依頼し、2021～23 年の栽培試験を通じて、稲わら・籾殻を主体とした堆肥施用が水稻品種「ななつぼし」の生育、収量、根系発育にもたらす効果を、それら効果の安定性も踏まえて明らかにしようとした。

【方法】大学ガラス温室（北海道江別市）にて 2021～23 年の 3 か年にわたって、堆肥：有／無のポット試験（3 反復）を実施した。ポット規格は 1/5000 a とし、試験用砂土（可給態窒素 1.3 mg/100 g, CEC 8 me/100 g）を用い、全ポット共通で 10 a あたり 18 kg, 12 kg, 11 kg 相当の窒素、リン酸、カリを施肥した。稲わら・籾殻を主材料として前年 10 月～翌年 4 月に善生農園にて管理・調整された堆肥を各試験年の 4 月に現地サンプリングし、堆肥区において、2021～22 年はポット当たり約 100 cc を、2023 年はポット当たり約 36 g の堆肥（風乾）をすき込んだ。2021 年は 6 月 1 日に、2022 年は 5 月 20 日、2023 年は 5 月 18 日に約 30 日齢の道産水稻品種「ななつぼし」苗を移植し、週 1 回の頻度で生育調査を継続し、黄化籾が 9 割に達したタイミング（2021 年は 9 月 15 日、2022 年は 9 月 14 日、2023 年は 8 月 29 日）に穂、茎葉、根系の各部位をそれぞれサンプリングした。穂については穂数、一穂籾数、登熟歩合、玄米千粒重を調査し、穀粒判別機（RGQI100A, サタケ）を用いて玄米品質を評価した。根系は節根数を目視で計測し、その後 ImageJ に根長解析マクロ（Tajima and Kato 2013）を使用して、5 段階（<0.1 mm, 0.1-0.2 mm, 0.2-0.5 mm, 0.5-1.0 mm, 1.0 mm<）の直径別根長を測定した。

【結果と考察】2021 年は登熟期間に重複する 7 月中旬～8 月上旬にかけて、2023 年は 6 月下旬から収穫期までにかけて、例年に比べて気温が著しく高く推移し、両年ともに北海道では稀な高温登熟年となった。2022 年の登熟期の気温はおおむね平年並みに推移し、3 か年がそれぞれ異なる気象的特徴を示した。3 年間に共通して、収穫時の折稈程度ならびに下葉の枯れ上がり程度が堆肥施用によって緩和された。根系発育に関する分散分析結果では、総根長ならびにいずれの直径根長に対しても、試験年と堆肥施用との交互作用は認められなかった。総根長において堆肥施用による有意な低下効果が認められ、直径別にみると、1.0 mm 以上の直径根に対する堆肥施用効果は認められず、一方で 1.0 mm 以下の 4 段階すべての直径根に対して堆肥施用による有意な低下効果が認められた。これらの結果から、稲わら・籾殻を主体とした堆肥について、①収穫期まで「ななつぼし」の稲体を健全に保つこと、②側根を中心とした細根の発育を調整する効果を有すること、以上ふたつの施用効果が高温年においても安定的に示されることが明らかとなった。発表時にはこれらの結果について、収量調査結果の詳細も交えて報告する。

## ★P-9

## トマト幼苗の生育に及ぼすキャビテーションプラズマ処理水の影響

川野宏太朗<sup>\*1)</sup>・岡野竜也<sup>1)</sup>・渡邊圭太<sup>2)</sup>・黒田英明<sup>2)</sup>・才木常正<sup>1,3)</sup>・岡好浩<sup>1)</sup><sup>1)</sup>兵庫県立大学大学院工学研究科, <sup>2)</sup>兵庫県立農林水産技術総合センター,<sup>3)</sup>兵庫県立工業技術センター

\*連絡先(er23c006@guh.u-hyogo.ac.jp)

近年, 植物の生長を促進する新たな手法として低温プラズマを照射する方法が注目されている. これまでに, プラズマを照射することによる植物の生長促進 (Hayashi *et al.*, Japanese Journal of Applied Physics, 2015) や種子表面構造の変化 (Ahmed *et al.*, Scientific Reports, 2023) などが報告されている. 一方, 我々は液中プラズマの一種であるキャビテーションプラズマ (CBP : Cavitation bubble plasma) により処理された水 (CBPTW : CBP treated water) を用いた生長促進法を提案している. 本手法ではプラズマ処理後の水を植物に作用させるため, プラズマ照射のための装置を植物付近に準備する必要がない. これまでに, CBPTW を用いたカイワレダイコンの発芽促進 (岡ら, 令和 3 年電気学会全国大会講演論文集, 2021) が確認されている. また, 放電電極材質に W, Fe, Cu を用いたときには発芽が促進され, Ag のときは促進されないことも確認されており, 活性酸素種の影響が大きいことも判明している(川野ら, 令和 4 年電気関係学会関西連合大会講演論文集, 2022). しかしながら, 種子以外の植物体に及ぼす CBPTW の影響は明らかになっていない. そこで本報告では, トマト幼苗を用いて苗の生育に及ぼす CBPTW の影響を調査した結果について述べる.

生育試験には, 育苗培土 (与作 N-15) を詰めた 72 穴セルトレイに播種し, 閉鎖型育苗装置内で 17 日間生育したトマト (ハウス桃太郎) 苗を用いた. その際, 光照射は人工光源 (植物育成用蛍光灯型 LED) 直下において 14 時間日長 (明期 5:00 – 19:00) とし, 気温は明期 25 °C, 暗期 17 °C の変温管理とした. 生育試験に用いた試料水は, 対照のイオン交換水および W 電極を用いて作製した CBPTW (CBPTW (W)), Ag 電極を用いて作製した CBPTW (CBPTW (Ag)) にそれぞれ 0.2 wt% となるようにハイポネックス微粉肥料を溶解し作製した. 試料水に用いた CBPTW はこれまでと同様に作製し (岡野ら, 令和 4 年電気学会全国大会講演論文集, 2022), 経時変化の大きい CBPTW (W) は作製後 2 時間以内のものを用いた. アルミホイルで遮光した 100 mL ガラス管に各試料水 90 mL を注入し, 根域の培土を除去した苗を 1 株ずつ配置した. 苗は各試験区につき 3 株ずつ用いた. 生育試験時, 光照射は人工光源 (蛍光灯型白色 LED) 直下において 24 時間日長とし, 気温は 25 °C 一定とした. 各試料水は毎日夕方に追加し水量を維持し, 2 日毎に新しい試料水と入れ替えた. 生育試験は 10 日間実施し, 1 日目および 10 日目に地上部の生育量を測定した. 生育試験後, ポータブルクロロフィルメーター (SPAD-502) を用いて SPAD 値を計測し, 地上部を 70 °C で 48 時間通風乾燥し乾物重量を測定した. また, 各株の根の発達状態を画像解析ソフト ImageJ により解析し (Tajima and Kato, Field Crops Research, 2011), 総根長および太さ別の根長を計測した.

生育試験後のトマト苗において, 2 種の CBPTW の生葉数, 主茎長, 節間長, 葉長, 葉幅, 地上部の新鮮重および乾物重は対照と比較して小さい値であり, SPAD 値に有意差はなかった. また, 2 種の CBPTW の総根長は対照と比べて短く, 太さ 0.2 mm 以上の根が少ない傾向があった. 以上の結果から, トマト幼苗の培養において, 効果の高い CBPTW を用いた場合には苗の生育が著しく抑制されることが確認された.

## ★P-10

## 有機栽培水田における水稻根の発生・枯死を含めた動態：慣行栽培水田との比較

長谷川拓史<sup>1)</sup>・田島亮介<sup>\*1)</sup>・西田瑞彦<sup>1)</sup><sup>1)</sup>東北大学大学院農学研究科

\*連絡先 tazy@tohoku.ac.jp

有機水稻栽培は、農薬や化学肥料を使用しない水稻栽培システムである。有機水稻栽培では、肥料として有機質肥料が使用される。有機質肥料の養分の一部は微生物によって分解された後、植物に吸収されるため、圃場の様々な条件で植物への栄養分の供給は変化をする。そのため、養分供給をコントロールすることが難しく、これが有機水稻栽培における低収量の原因のひとつとなっている。このような状況では水稻の根の動態、すなわち生育期間を通じた根の発生と枯死の動態が、養分吸収において大きな役割を果たしていると考えられる。しかしながら、有機栽培において水稻の根の動態について調査した研究例はほとんど存在しない。また、枯死根は作物栽培によって土壌に供給される炭素源の一つであるが、収穫後の根だけでなく、生育期間中の枯死根も炭素源として加味される必要がある。地球温暖化軽減の観点から土壌に供給される炭素の把握は重要であるが、水稻栽培において、生育期間中の枯死根も含めた土壌への炭素供給について研究した事例もほとんど存在しない。

そこで、本研究は、有機栽培水田における水稻根の発生・枯死を含めた動態について調査を行い、慣行栽培水田と比較して評価をおこなった。

材料と方法: 水稻栽培は東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター内の隣接する慣行栽培水田および有機栽培水田においておこなった。品種はひとめぼれであり、生育期間中におよそ 2 週間に 1 回、コアサンプリング法とイングロースコア法で根を採取した。イングロースコア法により一定期間の根の発生量を評価し、同期間の前後の根の現存量をコアサンプリング法で評価して、前後の現存量の差とイングロースコア法で評価した根の発生量の差から生育期間中の根の枯死量を評価した。また、収穫期には水稻の地上部、地下部を採取するとともに収量調査をおこなった。さらに、この生育期間中の根の動態と収穫期の水稲のデータから Rothamsted carbon model (以下 RothC) を用いて、慣行栽培水田、有機栽培水田の長期的な炭素動態を予測した。

結果と考察: 慣行栽培水田では、根の現存量の乾物重、長さともに、出穂期に最大となり、出穂期以降では根の発生量は減少した。一方、有機栽培水田では出穂期以降にも慣行栽培水田より根が発生する傾向にあった。これは利用可能な養分が有機栽培水田で少なく、その少ない養分を利用するために根が発生量を増やしていた可能性が考えられる。収量は慣行栽培 610 kg/10a、有機栽培 447 kg/10a であり有機栽培で少なかったが、生育期間中の枯死根も含めた土壌に残存する根は有機栽培水田で多かった。有機栽培水田では有機質肥料からの炭素供給もあるため、RothC モデルを用いた解析では有機栽培で水田での土壌炭素蓄積が慣行栽培より高くなる可能性が示唆された。

## ★P-11

## 秋播きコムギへの石灰窒素施肥が根系構造に及ぼす影響

松岡彩<sup>1)\*M1</sup>・下野裕之<sup>2), 3)</sup>・松波麻耶<sup>2)</sup><sup>1)</sup>岩手大学大学院総合科学研究科, <sup>2)</sup>岩手大学農学部, <sup>3)</sup>岩手大学次世代アグリイノベーション研究センター

\*連絡先(g0422040@iwate-u.ac.jp)

【目的】コムギ栽培において、生育後半の窒素(N)供給は高い収量性と品質の達成に有効であるが、追肥による農家の作業負担や、高価な肥効調節型肥料による経済的負担、さらには過剰追肥による環境負荷が課題となっている。緩効性肥料である石灰窒素は硝化抑制効果があり、アンモニア態 N として土壤中に長期間Nを保持する特徴を持つ。そのため、秋播きコムギの生育後半まで長期的な N 供給が期待でき、肥効調節型肥料の代替として利用できる可能性がある。しかし、コムギ栽培において石灰窒素の研究事例は限られており、収量や養分吸収を担う根系への影響は明らかになっていない。そこで、本研究ではコムギへの石灰窒素施与が根系構造や収量に及ぼす影響を調査し、コムギ栽培における石灰窒素の利用可能性を検討した。

【材料および方法】岩手大学(岩手県盛岡市)の試験圃場において2シーズン(2021-2022, 2022-2023)にわたり栽培試験を行った。2021年9月28日, 2022年10月7日に秋播きコムギ「ゆきちから」を条間20cm, 播種量8g m<sup>-2</sup>で播種した。施肥処理はN成分(基肥-融雪期追肥-出穂期追肥)として、尿素区(尿素4-尿素2-尿素2gN m<sup>-2</sup>), 石灰窒素追肥区(尿素4-石灰窒素4-0gN m<sup>-2</sup>), 石灰窒素基肥区(石灰窒素8-0-0gN m<sup>-2</sup>)を設けた。施肥前の土壌分析の結果を踏まえ、リン酸・カリウムは無施肥とした。生育期間中に土壌N分布(硝酸態N, アンモニア態N)等を調査した。出穂期に地上部乾物重と根系の調査を行った。根系は株元と条間のそれぞれ上部(0-10cm)と下部(10-20cm)からコアサンプラーを用いて採取し、洗浄した根のスキャン画像をWinRHIZOで解析した。また、収穫後に収量, 収量構成要素, 地上部乾物重を調査した。

【結果および考察】両シーズンともに成熟期の乾物重は石灰窒素基肥区で尿素区よりも高まる傾向が認められたが、収量および収量構成要素に関して明確な処理区間差はなかった。すなわち、石灰窒素基肥区では、無追肥であるにも関わらず、尿素区と同等の収量性を発揮したことが示された。そのため、土壌中のN動態や、Nを獲得する根系が施肥処理によって影響を受けるのかについても調査した。根系分布を調査した結果、両年とも石灰窒素基肥区の条間において根長密度, 根表面積密度, 根体積密度が下層に対して上層で大幅に高くなった。土壌N分析の結果、尿素区ではほとんどの土壌Nが硝酸態で存在し、石灰窒素追肥区ではアンモニア態・硝酸態の両方が上層に多く分布していた。また、石灰窒素基肥区ではアンモニア態Nが上層にとどまっていることが観察された。このことから、尿素区や石灰窒素追肥区では根が下層に伸長したのに対し、石灰窒素基肥区では長期間Nが留まっていた土壌表層に根が集積したと考えられ、施肥の種類により土壌N分布や根の発達が異なることが示唆された。本研究の結果から、石灰窒素を利用することで、追肥回数を削減しても同等の収量性が得られ、石灰窒素の基肥全量施肥または融雪期追肥が尿素追肥や肥効調節型肥料の代替となりうる可能が示された。また、石灰窒素施肥により根系分布を上層に集積できることから、水田転換畑など湿害が問題となる圃場条件での湿害軽減効果についても検討する必要がある。

**スギ 2 系統の地上部地下部における構造的・非構造的炭水化物の季節変動****Seasonal changes in photosynthetic carbon allocation between aboveground and belowground and between structural and non-structural carbohydrates in two cultivars of Sugi**檀浦正子<sup>\*1</sup>・能勢 美峰<sup>2</sup>・福田有樹<sup>2</sup>・松下通也<sup>2</sup>・三嶋 賢太郎<sup>2</sup>・南尊正<sup>1</sup>・田邊智子<sup>1</sup>・Epron Daniel<sup>1</sup>・香川聡<sup>3</sup>・高梨聡<sup>3</sup>・小南裕志<sup>3</sup><sup>1</sup>京都大学大学院農学研究科, <sup>2</sup>国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所林木育種センター, <sup>3</sup>国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

\*連絡先 (dannoura.masako.4w@kyoto-u. ac. jp)

スギは日本に広く分布し様々な系統があるが、その中でも秋に成長を続ける系統と早期に成長を停止する系統があることが知られている。秋も成長を続ける系統として郷台1号, 早期に成長を停止する系統として上都賀7号を選び1年生のポット苗を準備した。両系統とも旺盛に成長する8月, 上都賀7号の成長速度が低下し始める10月, 両系統とも成長が停止する12月の3回, 各系統8本ずつ<sup>13</sup>Cパルスラベリングを行った。ラベリング1週間後と冬(2月)に4本ずつ収穫し, 葉や幹などの部位ごとに分け, 地下部は粗根と細根に分けた。それぞれの部位で可溶性炭素, デンプン, 構造的炭素を分離し炭素安定同位体比を測定した。両系統ともに8月の光合成産物は93%が地上部に配分されていたが, 10月, 12月の光合成産物では地下部へ30%が配分されていた。期間ごとの炭素配分比を8~2月にかけて調べたところ12月, 2月には細根, 粗根ともに非構造的炭水化物の割合が高まっていた。10月のラベリングによる光合成産物は, 根の構造的炭素へも配分されていたが, 12月ではそのほとんどが可溶性炭素, デンプンの非構造的炭水化物(NSC)に配分されていた。これらのことから秋になると光合成産物をより地下部へと配分すること, また根へと配分された炭素は12月以降は非構造的炭素へ多く配分されることが明らかになった。

Sugi (*Cryptomeria japonica*) is widely distributed in Japan and there is variation within the species, some of which continue to grow in autumn while others stop growing earlier. We hypothesized that clones that stop growing early might use carbon to improve their frost resistance and examined how autumn photosynthetic products are distributed within individuals. Godai1 was selected as a clone that continues to grow in autumn and Kamitsuga7 as a clone that stops growing early. 1-year-old potted rooted cuttings were prepared. Eight rooted cuttings of each clone were subjected to <sup>13</sup>C pulse labelling in August, when both were growing vigorously, in October, when the growth rate of Kamitsuga7 had started to slow down, and in December, when both cultivars had stopped growing. One week after labelling and in winter (February), four plants from each were harvested and divided into organs such as leaves and stems, and belowground parts were separated between fine and coarse root. The polar fraction, starch and structural carbon were separated and stable carbon isotope ratios were determined for each compounds of each organ. In both clones, photosynthetic products were mainly (93%) allocated to the above-ground parts of the plant in August, while in October and December 30% of photosynthetic products were allocated to the underground parts. Non-structural carbon hydrate (NSC) concentration increased in December and February. Photosynthetic products allocated to roots in October were allocated to the structural carbon too, while in December almost all carbon was allocated to the NSC pool. Trees shift their carbon allocation from aboveground to belowground in autumn, and the photosynthetic products allocated to the roots were used more as NSC after December.

## イメージスキャナにより撮影された樹木根系画像データ共有システムの構築

池野英利<sup>\*1</sup>・田中優斗<sup>1</sup>・大橋瑞江<sup>2</sup><sup>1</sup>福知山公立大学情報学部, <sup>2</sup>兵庫県立大学環境人間学部

\*連絡先(ikeno-hidetoshi@fukuchiyama.ac.jp)

樹木細根の動態を非破壊的に観測, 解析する方法として, 中空で透明なチューブを根の成長領域に埋設しておき, 特殊なカメラを使ってチューブ周辺の画像を撮影するミニゾトロン(Johnson et al., 2001)や, 透明ボックスを同様の場所に埋設しておき, このボックスにイメージスキャナを挿入してボックス断面の画像を撮影するスキャナ法(Dannoura et al., 2008)が活用されている. 特にスキャナ法はミニゾトロンよりも撮影面積が広く, 装置が安価であることから, 広域的な活用が期待されている. 本研究は, この装置で収集された土壌スキャナ画像により, 地域間比較など広域的な解析を行うためのデータの集約・共有環境を構築することを目的とした.

対象としたのは, 北海道から宮崎を網羅する 13 試験地で撮影しているヒノキ(*Chamaecyparis obtusa*)の画像である. これらの地域では, 同じ規格のイメージスキャナ GT-S640 あるいは GT-S740(EPSON Co., Suwa, Japan)を使用して, 長期にわたる観測を進めている. そこで, 各調査地におけるデータの取得と解析方法を統一化するためのクラウドシステムを, 兵庫県立大学環境人間学部(兵庫県姫路市)に設置したワークステーション(Intel Xeon E3-1225, 16GB memory, 2TB+4TB+4TB SSD, Ubuntu 18.04.6 LTS)において, ownCloud 10.6 (Syamsuddin et al., 2021)により構築, 運用した. 現時点では非公開のデータであることから, パスワードによるアクセス管理に加えて, ポート制限を加えてセキュリティを高めた. また一定の期間ごとに, ここにアップロードされたデータバックアップを取り, さらにシステム設置とは異なる場所(福知山公立大学・京都府福知山市)にもデータ保管用のコンピュータを設置し, 一定期間ごとにバックアップを取ることで貴重なデータの紛失を防ぐ体制を構築した. なお, 本クラウドシステムに対しては, 各観測値から定期的にデータのアップロードが進められており, 多くの画像が集約されつつあり, データの全容の把握が難しくなっていた. そこで, その解決法の一つとして, スキャナ画像から細根を自動的に抽出する計算サーバを導入し, 新たにスキャナ画像がアップロードされると自動的に細根部分を抽出するソフトウェア ARATA(Yabuki et al., 2022)を駆動することで, 細根が抽出された画像を自動的に生成することができるようにした.

このシステムによって, 根系動態の画像データに加えて温度や水分などの周辺データを収集, 管理することができれば, 今後は根系ダイナミクスの制御要因を調べることが可能となる. 気候変動が自然界にもたらす影響を解明するうえで, このように様々な地点で取得された多様なデータの集約, 共有システムを構築することは極めて有効と考えられる. 本システムを根系ダイナミクス研究のプラットフォームとして発展, 整備していくと共に, 集約されたデータの利活用を進めることが今後の課題である.

【参考文献】 M.G. Johnson et al., Environ. Exp. Bot., 2001, doi: 10.1016/s0098-8472(01)00077-6; Dannoura et al., Plant Root, 2008, doi: 10.3117/plantroot.2.14; Syamsuddin et al., TEM Journal, 2021, doi: 10.18421/TEM102-59; Yabuki et al., Methods Ecol. Evol., 2022, doi: 10.1111/2041-210X.13972

**モウソウチク林の根系動態パターンにおけるスキャナー画像の撮影地点数の影響評価**遠藤いず貴<sup>\*1),2)</sup>, 松本達也<sup>3)</sup>, 井手淳一郎<sup>2)</sup>, 阿部隼人<sup>4)</sup>, 片山歩美<sup>5)</sup>, 久米朋宣<sup>5)</sup><sup>1)</sup>兵庫県立大学環境人間学部, <sup>2)</sup>公立千歳科学技術大学理工学部, <sup>3)</sup>九州大学農学部, <sup>4)</sup>九州大学大学院生物資源環境科学府, <sup>5)</sup>九州大学大学院農学研究院

\*連絡先(izok@shse.u-hyogo.ac.jp)

【緒言】 地球温暖化の解決策の一つとして植物による炭素固定が挙げられる。竹は木本種より成長が速く、高い炭素固定機能が期待されている一方で、その科学根拠は少ない。竹林の炭素吸収機能を定量評価するためには、林分スケールで地上部だけではなく地下部のバイオマス動態を理解する必要がある。しかしながら、地上部に比べて竹の地下部の情報は不足しており、気候変動や環境変動への応答も不明である。樹木の根においては、直径 2 mm 以下の細根は土壌への炭素供給源として重要な役割を果たす。竹林においても根が地下部の炭素固定に貢献している可能性が高い。一方で、根の成長や分解は季節的に変動する。そのため、竹林において環境変化に対する根系のバイオマス動態を明らかにするためには、根系動態の季節変化パターンの理解が重要である。地下部の経時変化を評価する方法はいくつか提案されている。その中でもスキャナー法は、低コストで測定範囲が広く、かつ多地点での長期観察が可能であるため、森林群落を対象とした根系動態を計測する手法として適当である。他方、多地点で得られる画像解析に要する労力を減らし、林分スケールの根系動態の代表的な季節変化パターンを把握するためには、適切な撮影地点数の把握が求められる。本研究では、地下部のバイオマス動態の解明のためにスキャナー法を用いて、九州大学演習林内の斜面上に生育するモウソウチク林において、細根と粗根の成長・分解枯死量の季節変化を明らかにする。また、スキャナー画像の撮影地点数が根の動態の季節変化パターンの推定に与える影響を評価する。

【方法】 調査は九州大学福岡演習林（福岡県糟屋郡篠栗町）の放棄モウソウチク林で行った。竹林の斜面下部と上部それぞれ 5 地点でスキャナー画像を毎月撮影し、細根と粗根の成長・分解枯死の季節変化パターンを検討した。スキャナー画像の撮影地点数の影響は、全地点（10 地点）の各月の平均成長量、枯死分解量と、地点数が 10-n (n=1-9) のときの各月における全ての組み合わせの平均値との相関から評価した。

【結果】 10 地点の根の成長量の平均値は、夏季と秋季に集中して二山のパターンを示し、枯死分解量の平均値は、夏以降に増加するパターンを示した。また、モウソウチクの成長・分解パターンへの粗根の寄与は大きかった。発表では、スキャナー画像の撮影地点数が根の動態の季節変化パターンの推定に与える影響評価についても報告する。

**機械学習によるスキャナ法を用いたカラマツ、スギ、およびヒノキの細根成長動態解析**  
**Analysis of fine root growth dynamics of larch, cedar, and cypress using**  
**scanning method with convolutional neural network**

ワン シティフン<sup>1,\*</sup>, 安江 恒<sup>2,3</sup>, 大橋 瑞江<sup>4</sup>, 池野 英利<sup>5</sup>, 矢吹 新<sup>1</sup>, 檀浦 正子<sup>1</sup>  
Shitephen WANG<sup>1,\*</sup>, Koh YASUE<sup>2,3</sup>, Mizue OHASHI<sup>4</sup>, Hidetoshi IKENO<sup>5</sup>, Arata YABUKI<sup>1</sup>,  
Masako DANNOURA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>京都大学大学院農学研究科 (Graduate School of Agriculture, Kyoto University),

<sup>2</sup>信州大学農学部 (Faculty of Agriculture, Shinshu University),

<sup>3</sup>信州大学山岳科学研究拠点 (Institute of Mountain Science, Shinshu University),

<sup>4</sup>兵庫県立大学環境人間学部 (School of Human Science and Environment, University of Hyogo),

<sup>5</sup>福知山公立大学情報学部 (Faculty of Informatics, the University of Fukuchiyama)

\*連絡先 corresponding (gn03138868@gmail.com)

Much of the carbon assimilated by trees is allocated to fine root production, and the amount of carbon subsequently returned to the soil from fine root turnover surpasses that returned through leaf litter in many forests. Analysis of fine root growth dynamics is a linchpin to understanding it. However, destructive sampling will cause great treatment effects on observations. Non-destructive techniques for sampling root growth have gained popularity in recent years, such as installing scanners in forests and applying software and machine learning methods to quantitatively assess relevantly net root growth, thereby deepening our understanding of fine root growth dynamics. In this study, the ARATA (a root auto tracing and analysis) method was employed to assess the root growth patterns of three tree species: Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*, *C. obtusa*), Karamatsu (*Larix kaempferi*, *K. kaempferi*), and Sugi (*Cryptomeria japonica*, *C. japonica*). We installed three scanners, each with dimensions of  $216 \times 296 \text{ mm}^2$  ( $5,100 \times 7,019 \text{ pixel}^2$ ) in *C. obtusa* forest at Kiryu Experimental Watershed (KEW) and *K. kaempferi* and *C. japonica* forests at Shinshu University, totalling 9 individuals. The experiment commenced in August 2020 in the Kiryu forest, with the scanning of root images occurring every hour (31,904 images from 3 scanners at *C. obtusa*). Following internal discussions, image data (42 images from 3 scanners at *L. kaempferi* and 33 images from 3 scanners at *C. japonica*) were collected at Shinshu University at approximately monthly intervals starting in April 2022. All data collection finished in November 2022. After collecting the data, the first step involved data clearing, followed by the creation of  $16.9 \times 16.9 \text{ mm}^2$  ( $400 \times 400 \text{ pixel}^2$ ) bicolour-labelled images for training the ARATA model. Our findings revealed that fine roots of *C. obtusa* exhibited a consistent growth rate between summer and winter in the Kiryu forest. *K. kaempferi* initially in the growth of large fine roots in May, followed by the development of smaller fine roots in June. In contrast, *C. japonica* displayed inverse behaviour, with small fine roots developing from May to June, followed by the growth of larger ones in June. Projected root length began to decrease after August in *C. japonica* and *K. kaempferi* in Shinshu. Overall, there was no discernible trend in the *C. obtusa* forests of Kiryu. Both of *C. japonica* and *K. kaempferi* exhibited the most substantial net root growth in June in Shinshu.

## ★P-16

**Exploring woody water acquisition strategy from fine root pressure-volume curve traits and root functional traits in subalpine forests****亜高山林における樹木の水獲得戦略を根の Pressure-Volume 曲線特性と根機能形質から紐解く**Taiga Masumoto<sup>\*1)</sup>・Yuki Hashimoto<sup>2)</sup>・Ito Takumi<sup>2)</sup>・Koichi Takahashi<sup>1)</sup>・Naoki Makita<sup>1)</sup>増本泰河<sup>\*1)</sup>・橋本裕生<sup>2)</sup>・伊藤拓生<sup>2)</sup>・高橋耕一<sup>1)</sup>・牧田直樹<sup>1)</sup><sup>1)</sup>Graduate School of Medicine, Science and Technology, Shinshu University,<sup>2)</sup>Graduate School of Science and Technology, Shinshu University

\*連絡先 (t.masumoto21@gmail.com)

Fine roots (< 2 mm in diameter) perform essential functions for trees including water uptake, although they are vulnerable organs for several stress such as drought and frozen. Considering the importance of fine root stress tolerance for stable water acquisition, an understanding the intraspecies variation of fine roots stress tolerance is important to predicting the tree response to future climate change. Pressure-volume (P-V) curve traits, which quantify the effects of water potential on bulk root turgor and volume, are best recognized indicator for evaluating stress tolerance especially drought on leaf, but less is known about fine root under mature forest field condition. Here, we examined the intraspecies variation of fine-root P-V curve traits and its relationships with root functional traits using the subalpine elevational difference.

This study was conducted at 2000m and 2500m a.s.l. of Mt. Norikura (36°06'N, 137°33'E) in central Japan during a growing season. We sampled the fine roots of *Betula ermanii* (deciduous broad-leaved trees) and *Abies mariesii* (evergreen conifer) from mature trees. As P-V curve traits of the fine roots, we repeatedly measured the water potential and relative water contents for detecting 1) turgor loss point ( $\pi_{tlp}$ ) reflecting cell turgor maintenance, 2) osmotic potential at full hydration reflecting cell solute concentration and 3) capacitance reflecting cell wall stiffness. Then, we evaluated root tissue density and nitrogen content as root functional traits.

As a result, the variation of fine roots P-V curve traits along elevation were species-dependent. Turgor loss point ( $\pi_{tlp}$ ) and capacitance were significantly lower at 2500m than at 2000m in *Abies* but did not change significantly with elevation in *Betula*. Roots with a more negative  $\pi_{tlp}$  and capacitance can retain water and maintain cell structure under stress condition. Thus, this result suggest that fine roots of *Abies* at 2500m could maintain water uptake under high stress condition. Moreover,  $\pi_{tlp}$  and capacitance were positively correlated with root tissue density and negatively correlated with nitrogen content in *Abies*, suggesting *Abies* investing much carbon in root tissue and improving stress tolerance at 2500m. Interestingly, same relationships also observed in *Betula*, suggesting *Betula* adjusting stress tolerance and carbon use within same elevation. Our findings revealed species-specific strategy adjusting stress tolerance with carbon use along environmental change in high-elevational forest ecosystem.

## ★P-17

## 表層から深さ 1.5m までの土壌物理特性の変化がスギ細根形態に与える影響

柳瀬亮太<sup>\*1)</sup>・谷川東子<sup>2)</sup>・杵山哲矢<sup>1)</sup>・黒見信輔<sup>1)</sup>・金子祥也<sup>1)</sup>・山瀬敬太郎<sup>3)</sup>・藤堂千景<sup>3)</sup>・池野英利<sup>4)</sup>・大橋瑞江<sup>5)</sup>・檀浦正子<sup>6)</sup>・平野恭弘<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>2)</sup>名古屋大学大学院生命農学研究科, <sup>3)</sup>兵庫県農林水産技術総合センター森林林業技術センター, <sup>4)</sup>福知山公立大学情報学部, <sup>5)</sup>兵庫県立大学環境人間学部, <sup>6)</sup>京都大学大学院農学研究科

\*連絡先 (by.39h.2432@s.thers.ac.jp)

樹木の細根は、土壌から養水分をとりこむ役割を担い、森林地下部生態系の炭素循環を評価する上で重要な要素である。また、大気中の二酸化炭素濃度増加によって、根の分布域が深くなることが報告されている。森林土壌における三相分布や容積重、透水係数などの土壌特性は地表からの深さによって変化し、微生物の活動や養分の利用可能性、根の発達のしやすさが変化すると考えられている。しかし、これまで森林地下部生態系の調査の多くはその労力や技術の限界から、深さ 50 cm 程度までの土壌表層を対象としており、個体根系の深部に生育する細根の形態特性や活性については十分に理解されていない。二酸化炭素濃度の上昇を含めた環境変動による樹木根の垂直分布の変化が、樹木と土壌との間の炭素循環に与える影響について精度高く評価するためには、土壌深部における細根の形態特性や活性について十分に理解することが必要である。本研究では、表層から深さ 1.5 m までの土壌硬度、三相分布や容積重、透水係数などの土壌物理特性の変化が、スギ細根の分布や形態特性、呼吸速度にどのような影響を与えるのかを明らかにすることを目的とした。

本研究は、粘土質で比較的硬い土壌の広がる名古屋大稲武フィールドに生育する 44 年生スギと比較的やわらかい風化花崗岩マサ土の広がる兵庫県神戸市再度山に生育する 50 年生スギを対象とした。エアースコップを用いてスギ成木の個体根系を構造が保たれた状態で掘り出し、土壌深度 5 区分(0-10 cm, 10-50 cm, 50-100 cm, 100-150 cm, 150- cm)において、3 次根程度までの細根系を 1 区分につき 16 個採取した。細根系は、現地でチャンバー法により二酸化炭素放出量を測定し、実験室にて次数分類した後、根長や乾燥重量などを測定した。測定した細根系の乾燥重量、二酸化炭素放出量をもとに各土壌深度における細根の呼吸速度を評価した。また、区分別に全細根の乾燥重量を測定した。掘り取り後、土壌断面の層位と硬度を測定し、土壌円筒試料を採取した。土壌円筒試料から、三相分布や容積重、透水係数を測定した。本発表では、各調査地における区分間での細根の呼吸速度や形態特性を比較し、土壌硬度や三相分布などの土壌物理特性との関係を調べた結果を報告する。



★P-18

ヒノキ細根の脱落根現地採取法の検討と脱落根動態 -1年間の培養試験から-

黒見信輔<sup>\*1)</sup>・金子祥也<sup>1)</sup>・柳瀬亮太<sup>1)</sup>・谷川東子<sup>2)</sup>・平野恭弘<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>2)</sup>名古屋大学大学院生命農学研究科

\*連絡先 (kuromi.shinsuke.g1@s.mail.nagoya-u.ac.jp)

樹木細根(根直径 2mm以下)は森林の純一次生産量の約 22%を占め、養水分の吸収や輸送を担うなど森林の生態系において重要な役割を担っている。また、樹木細根は葉と同様に枯死脱落し、土壌で分解され、土壌有機物の主要な供給源になる。したがって、樹木細根が枯死脱落するプロセスの解明は、樹木細根の土壌への初期炭素供給量推定の精度向上において重要である。しかしその理解は十分ではない。また、ほとんどの枯死根動態に関する研究は、脱落したばかりの根(脱落根)と分解途中の根を混合したものを枯死根として計測しているため、枯死根量を過大評価している可能性がある。そこで本研究はヒノキ細根の脱落過程を解明するため、細根を土壌条件に近い状態で現地培養を行うとともに脱落根を採取し、ヒノキの脱落根の量及び形態の月変化を明らかにすることを目的とした。

ヒノキ脱落根の現地採取法として提案されているガラスビーズ入り遠沈管を用いた方法 (Yoshida et al. 2022 Ecological Indicators) と並行して、新たにメッシュ袋を用いた方法を行った。2021年9月に、幸田ヒノキ林モニタリングサイトに生育する120年生ヒノキ個体について、先端を1次根として3次根程度までの細根系を各個体から切り離さずに上記の2種類の装置を設置した。2022年9月まで現地培養を行うとともに毎月脱落根を回収した。また1年間、脱落根採取装置を設置し培養した細根と、自然状態で生育した細根を採取した。回収した脱落根および細根は次数分類を行い、乾重や根直径などを計測した。

幸田モニタリングサイトの表層土壌に設置されたメッシュ袋内のヒノキ細根系では、年間を通じて毎月一定量の根が脱落した。一方、ガラスビーズ入り遠沈管内の細根系では、概ね年間を通じて根が脱落していたものの、2月に突出して根が脱落した。これは、2月に遠沈管内が凍結した影響であると考えられる。また、このイベントを除くと両方法で年間を通じて一定量の根が脱落したことからヒノキの根の脱落には季節性があまりないことが示唆された。発表では上記の内容に加え、培養され生育していた細根の形態特性や、脱落根採取装置の入れ替え時間について両手法での比較などについて、結果と考察を報告する。

## ★P-19

## 立木間の樹木根系計測に対する SfM/MVS の適用

田中優斗<sup>1)</sup>・山瀬敬太郎<sup>2)</sup>・藤堂千景<sup>2)</sup>・今若舞<sup>3)</sup>平野恭弘<sup>4)</sup>・谷川東子<sup>5)</sup>・大橋瑞江<sup>6)</sup>・檀浦正子<sup>7)</sup>・池野英利<sup>\*1)</sup><sup>1)</sup>福知山公立大学情報学部, <sup>2)</sup>兵庫県立農林水産技術総合センター,<sup>3)</sup>兵庫県立大学大学院環境人間学研究科, <sup>4)</sup>名古屋大学大学院環境学研究科,<sup>5)</sup>名古屋大学大学院生命農学研究科, <sup>6)</sup>兵庫県立大学環境人間学部,<sup>7)</sup>京都大学大学院農学研究科

\*連絡先 (ikeno-hidetoshi@fukuchiyama.ac.jp)

樹木の根系は山の斜面崩壊を防ぐ役割を果たしていると考えられるが、その機能を明らかにするためには、土壌中における根系の形態・分布、個々の根の強度などを知る必要がある。特に、様々な樹種が混在する里山においては、異なる種類の樹木が競争的に根を伸ばすことによって、極めて複雑な根系分布を作り上げている。このような里山林において、立木間の根の形態・分布を調べる方法としては、通常エアースコップなどによって立木間の土壌を除去し、露出させた根についてマニュアルによる計測が行われている。しかしながら、この方法は計測に多大な時間と手間を要するうえ、個々の根の形状は複雑で、かつ、それらが込み入っている場合が多いことから、正確な計測が困難である。また、通常、計測終了後には、現地を埋め戻すことが多いことから再計測が難しいといった欠点もある。

そこで、本研究では立木間における根系計測に対し、SfM/MVS(Structure from Motion/Multi-View Stereo)法によって構築した立木間 3D モデルを導入し、このモデルによって仮想空間内において樹木根系の計測を行う方法を提案する。SfM は、様々な方向、距離からデジタルカメラなどで撮影された多視点画像から特徴点を検出し、異なる視点から検出した特徴点とマッチングさせることによってカメラの位置と方向を推定することで、対象とする物体の点群を作成する方法である。さらに、MVS は、SfM で推定した特徴点と複数のマッチングした画像からより高密度の点群モデルを再構成することで詳細な 3D モデル点群を生成する技術である。我々は、神戸市北区上唐櫃地区において実施した立木間の根系調査に対して、本手法を適用し、土壌を除去して主要な根だけを残した状態の 3D モデルを構築した。

この調査ではアカマツとヒサカキ立木間について、立木間方向とこれと直交する 100cm×100cm の正方形区画が確保できる範囲について、深さ 100cm を目途に掘り取りを行った。この掘り取り領域について、地表面に対して直角に交差する断面における根の断面座標、水平・垂直の直径と伸長角度等をマニュアルで計測しており、仮想空間内で同様の断面を設定して同様に根の座標、サイズなどを求めたマニュアル計測結果と比較した。その結果、地表面近くではモデル計測値はマニュアル計測結果と良く一致していることが確認できた。一方、地表から距離のある深い部分においては、マニュアル計測とモデル計測では根の位置やサイズにかなり大きな誤差が見られた。これは、マニュアル計測と 3D モデルを用いた計測間で、地表面に対して直角に交差する断面の取り方に違いがあることが原因だと考えられる。マニュアル計測の断面と 3D モデル計測の断面間の誤差を考慮した比較を行い、SfM に基づくモデル計測法の有効性を検証することが今後の課題である。

★P-20

北海道の主要2樹種を用いた苗木と成木の根滲出物量比較

安栖永遠<sup>1)</sup>・石塚航<sup>2)</sup>・遠藤いず貴<sup>3,4)</sup>・井手淳一郎<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>公立千歳科学技術大学大学院理工学研究科, <sup>2)</sup>北海道立総合研究機構,

<sup>3)</sup>兵庫県立大学環境人間学部, <sup>4)</sup>公立千歳科学技術大学理工学部

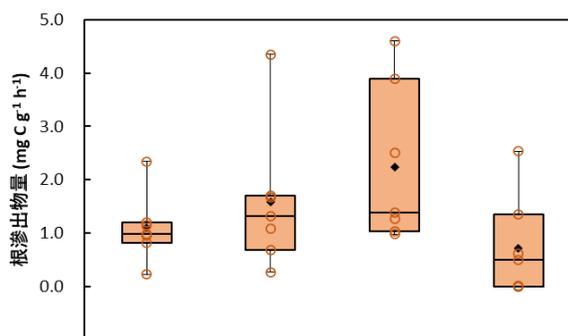
\*連絡先(m2220300@photon.chitose.ac.jp)

森林において、樹木根の滲出物は根圏微生物の活性を高め、土壤有機物分解の重要な駆動力となる。特に有機物分解が遅い寒冷地では、根滲出物量が有機物分解の進行過程を左右する可能性があるため、寒冷地での根滲出物量の評価が森林の物質循環を把握する上での鍵となる。しかし、実際の森林土壌（フィールド）において根滲出物の採取には技術的な困難が伴うため、その正確な量はわかっていない。

フィールドで根滲出物を採取する際は土壤有機物により試料が汚染されやすい。一方、採取環境をコントロールしやすい苗木では、成木と同様のデータが得られるかが解っていない。樹木の成長段階だけでなく、根の形態も滲出物に影響するといわれている (Akatsuki and Makita, Tree physiology, 2020)。以上を踏まえ本研究では、北海道の主要樹種であるトドマツ (*Abies sachalinensis*) およびミズナラ (*Quercus crispula*) の成木と苗木を用いて、根滲出物比較を行い、根の形態との関連性を評価することを目的とした。

根滲出物の採取は北海道立総合研究機構林業試験場で行った。対象とする細根から土壌を取り除き、対象根に超純水で湿らせたガラス繊維ろ紙を2時間設置することで、ろ紙に染み込んだ根滲出物を回収した (Akatsuki and Makita, Tree physiology, 2020)。元素分析装置を用いてガラス繊維ろ紙中の炭素含量を分析し、根滲出物量を算出した。なお、全自動元素分析装置の検出限界により測定できなかったサンプルの根滲出炭素量については  $0 \text{ mg C g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  とした (ミズナラ苗木:  $n = 2$ )。ガラス繊維ろ紙に挟んだ根はスキャンし、根系解析ソフト WinRHIZO を用いて根形態情報を取得した。根滲出物とろ紙に接した根の形態等との関連性を調べた。

根滲出物量はトドマツ成木で  $0.23 \sim 2.34 \text{ mg C g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 、トドマツ苗木で  $0.27 \sim 4.35 \text{ mg C g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 、ミズナラ成木で  $0.98 \sim 4.60 \text{ mg C g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 、また、ミズナラ苗木で  $0 \sim 2.53 \text{ mg C g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  の範囲にあった (第1図)。根滲出物量と根の形態との関連性については本研究会で発表する予定である。



トドマツ成木 トドマツ苗木 ミズナラ成木 ミズナラ苗木

第1図. 各樹種の根滲出物量.

箱の下側と上側の辺は、それぞれ第1四分位数と第3四分位数を示す。中央の線と黒菱形シンボルはそれぞれ、中央値と平均値を示す。上下の髭はそれぞれ、最大値と最小値を示す。

## ★P-21

## 深層学習モデルによる地中レーダ B スキャン画像からの樹木根の自動抽出

遠山諒人<sup>1)</sup>・平野恭弘<sup>2)</sup>・谷川東子<sup>3)</sup>・山瀬敬太郎<sup>4)</sup>・藤堂千景<sup>4)</sup>・大橋瑞江<sup>5)</sup>・檀浦正子<sup>6)</sup>・池野英利<sup>\*1)</sup><sup>1)</sup> 福知山公立大学情報学部, <sup>2)</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科,<sup>3)</sup> 名古屋大学生命農学研究科, <sup>4)</sup> 兵庫県立農林水産技術総合センター,<sup>5)</sup> 兵庫県立大学環境人間学部, <sup>6)</sup> 京都大学農学研究科

\*連絡先(ikeno-hidetoshi@fukuchiyama.ac.jp)

樹木根系の形態を非破壊的に調査する方法の一つに地中レーダ法が利用されている。地中レーダ法は、地上面から地中に向けて高周波の電磁波を発射し、地中内部からの反射波を計測することで地中における内蔵物や地中の構造を計測する手法である。測線に沿ってレーダを移動させて計測されたレーダ信号は、一般には、B スキャン画像と呼ばれる横軸を測線方向、縦軸を深さ方向とするグレイスケール画像により解析される。根が存在する地点では、電磁波の反射状態が土壌とは異なり、B スキャン画像上において双曲線状のパターンが現れる。そこで、このパターンに基づき根を検出するわけだが、これまで、このパターン識別は手動で行われてきた。一方、パターン認識の分野では AI 技術の導入が盛んに進められており、B スキャン画像解析に対する適用も試みられている。

本研究では、B スキャン画像解析に対してこれまで使用されていなかった Yolo と呼ばれる深層学習モデルを導入し、地中レーダ測定データからの根系の自動抽出への適用可能性を調べた。本研究では、2020 年 11 月 9 日に愛知県栽培漁業センター（愛知県田原市伊良湖町）において実施したクロマツ 1 個体についての計測データからモデル構築のための教師データを作成した。なお、今回の調査では周囲に別の個体がない状態で地中レーダ法による探査を行ったことから、多くの根は対象の個体の幹を中心に放射線状に伸びていると考え、幹を中心に半径 50cm から 25cm おきに、150cm まで同心円状の測線を設定した。レーダ探査経験者が B スキャン画像上で、目視で根のパターンと判断したものを正解として、この正解情報と B スキャン画像により学習（条件を記載）を行った。学習モデルの評価は、同じ試験地の別個体の半径 100cm における B スキャン画像を用いて実施した。

その結果、位置のズレはあるものの明確に根と判断できるパターンについては、モデルによっても抽出されていた。実際の調査においては、地表面の状態が B スキャン画像に大きく影響し、根に対応した双曲線状のパターンを大きく歪めてしまっていた。1 個体という限られたデータでは、このような大きなノイズに対応することは難しく、教師データが少ないという問題が明らかとなった。よって異なる試験地、異なる個体に対するデータを含めた形で学習を進め、深層学習モデルによる自動抽出の可能性を評価していくことが今後の課題である。

**土壌断面画像に対する自動輝度補正を導入した根系領域抽出法の評価**磯川悌次郎<sup>\*1)</sup>・前川新司<sup>1)</sup>・大橋 瑞江<sup>2)</sup> 中路達郎<sup>3)</sup>・池野英利<sup>4)</sup>・木村敏文<sup>2)</sup>・上浦尚武<sup>1)</sup><sup>1)</sup>兵庫県立大学大学院工学研究科, <sup>2)</sup>兵庫県立大学環境人間学部,<sup>3)</sup>北海道大学北方生物圏フィールド科学センター, <sup>4)</sup>福知山公立大学情報学部

\*連絡先 (isokawa@eng.u-hyogo.ac.jp)

根系を非破壊的かつ連続的に撮影する手法として、スキャナ法 (Dannoura et al, 2008) が提案されている。これは、地中に透明容器を埋設し、この容器にフラットベッドスキャナを入れることで、スキャナの読み取り面に分布する根の生育状況を撮影するという手法である。スキャナ法を用いることにより、Minirhizotron 法 (Böhm, 1974) よりも広範囲の土壌断面を撮影することが可能となり、樹木根における細根の発生・成長から枯死・分解にいたるまでのターンオーバーが計測可能となると期待されている。しかしながら、このスキャナ法により得られた画像群から細根などの成長過程を把握する過程にはいくつかの課題が存在している。課題の一つは、画像群から細根を含む根系領域をいかにして効率的かつ正確に抽出するのかということである。従来は目視に基づく手作業により行われてきたが、近年、機械学習・深層学習に基づく画像からの根系領域を自動的に抽出する手法が提案されてきている (Smith et al., 2022)。これにより、学習データに基づく判定基準により根系の抽出が高速に行えるようになった。もう一つの課題として、撮像された地点や時期などの要因により土壌断面画像の色彩と輝度が大きくばらついてしまうということが挙げられる。自動抽出手法による抽出精度は学習に用いた土壌画像の色彩や輝度に依存する。様々な環境条件にて撮影された土壌画像からより正確に根系領域を抽出するためには、学習に用いる画像や入力する画像における色彩や輝度を標準化することが重要である。

本研究では、土壌断面画像を標準化する一手法としてグレーバランスカードを利用した色彩補正を提案する。また、自動抽出手法 ARATA (Yabuki et al, 2022) による根系領域の抽出度合いにより本提案手法の評価を行う。提案手法で用いる土壌断面画像は、画像撮像の際の色校正のために用いられているグレーバランスカードと呼ばれる 3 種類(白色, 灰色, 黒色)の小片が重畳された状態で撮影されている。土壌断面画像に重畳されているこれら 3 種の各色チャンネル(赤, 青, 緑)の輝度値を画像から取得し、それらの値と標準照明環境下で撮影したグレーバランスカードの画像から得られる輝度値の間で回帰分析を行うことにより輝度補正関数を生成する。この輝度補正関数に従い土壌画像全体の各画素に対して輝度を補正することにより色彩や輝度が大きくばらつく土壌断面画像の標準化を行う。

輝度補正による標準化を行った画像を対象に ARATA による細根・枯死領域の抽出を行った。輝度補正を行った画像では、土壌部分の緑チャンネルの値が大きく抑制されているのに対して根系領域ではその補正値は小さくなっていった。この傾向は、標準化処理が土壌と根系の色成分の相違をより明確にすることを示唆している。実際に ARATA による根系判別を行った結果、補正後の画像での細根および枯死根の領域の検出率が向上していることが確認された。一方、枯死が進行している部位では補正により青チャンネルの減少傾向が大きくなることが示されており、この変化は枯死根を判別する際の手がかりとして利用できる可能性がある。

★P-23

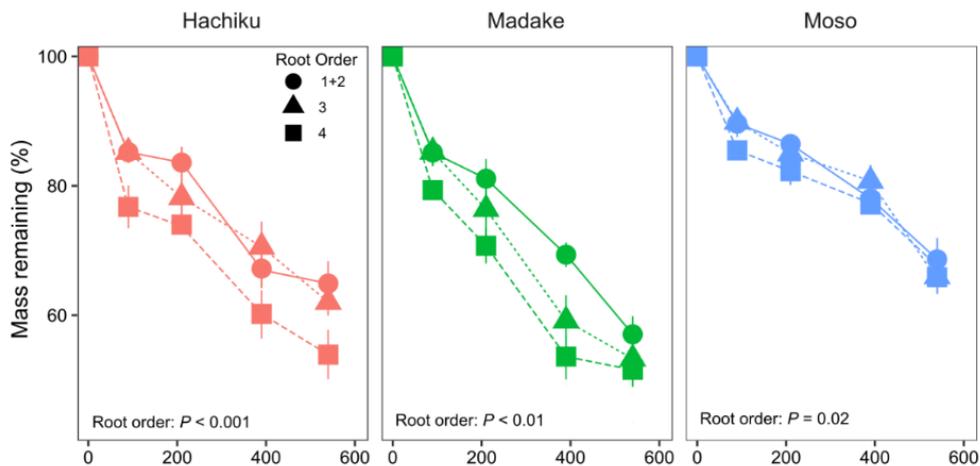
タケ類の細根の分枝構造に対応した化学的, 形態的特性がリターの分解過程に及ぼす影響

Orrego Marly<sup>\*1)</sup>・平舘 俊太郎<sup>1)</sup>・館野 隆之輔<sup>2)</sup>・榎木 勉<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>九州大学農学研究院, <sup>2)</sup>京都大学フィールド科学教育研究センター

\*連絡先 (marly.orrego.m@gmail.com)

細根の枝分かれ次数による機能分類は, 化学的, 構造的特性を統合したものであり, 細根の分解ならびに物質循環を予測する上で重要である. 細根の分枝構造による分解の違いは樹木種では知られているが, タケ類に関しては明らかになっていない. 本研究では, 化学的, 形態的特性の異なる木本性のタケ 3 種 (*Phyllostachys spp.*) の細根の分解を評価する. 低次の根は, 高次の根と比較して, 高い SRL と N 濃度を持ち, C/N 比およびリグニン/N 比が低かった. 540 日後, 低次の根の分解速度は高次の根よりも遅かった (第 1 図). 形態的および化学的特性は, 根の分解速度との相関を示しませんでした. 代わりに, <sup>13</sup>C-NMR で測定された有機炭素が, 根の次数および種にわたる分解速度の変動の 60–80% を説明しました. この研究から, 竹の根の枝分かれ次数における分解の違いは, 樹木と類似しており, これらの違いが有機炭素と関連していることが示唆されます.



第 1 図 Dynamics of litter mass remaining in different root order classes (R1+2, R3 and R4) of Hachiku, Madake and Moso bamboo roots during 540 days of decomposition.

# Root 根の研究 Research

事務局 〒104-0033 東京都中央区新川 2-22-4 新共立ビル 2F  
株式会社共立内 根研究学会事務局  
Tel:03-3551-9891  
Fax:03-3553-2047  
e-mail:neken2023@jsrr.jp

根研究学会ホームページ <http://www.jsrr.jp/>

根の研究 第32巻 別冊2号 2023年12月21日印刷 2023年12月22日発行  
発行人：大橋瑞江 〒670-0092 兵庫県姫路市新在家本町1-1-12  
兵庫県立大学環境人間学部  
編集・印刷：第58回根研究集会実行委員会(委員長 大橋瑞江)



# **Root Research**

**Japanese Society for Root Research**