

Root

Research

Japanese Society for Root Research

ISSN 0919-2182

Vol.34, No.S1

June 2025

第61回根研究集会要旨集

2025年 6月14-15日

東北大学 青葉山コモンズ

第34巻 別冊1号

根の研究

根研究学会(JSRR)



第 61 回根研究集会 要旨集 (61st Biannual Meeting of JSRR)

<開催日時 Date and time>

2025 年 6 月 14 日 (土) 13 : 00–18 : 00

15 日 (日) 9 : 00–17 : 00

※14 日の懇親会は青葉山コモンズみどり食堂で開催

<開催場所 Venue>

〒980-8572 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1 青葉山コモンズ

電車でのアクセス: 仙台市営地下鉄「青葉山駅」より徒歩 10 分

<プログラム Program>

6 月 14 日 (土) Saturday, June 14th

13 : 00 受付 Registration, ポスター提示 Posters display

13 : 30–13 : 40 開会の挨拶 Opening remarks

13 : 40–15 : 00 口頭発表 (4 課題) Oral presentation

15 : 10–15 : 40 ポスターピッチ (23 課題) Poster session

16 : 00–17 : 00 ポスター発表 (奇数 12 課題) Poster session

17 : 10–18 : 00 総会 General meeting

18 : 30–20 : 30 懇親会 Conference dinner (青葉山コモンズみどり食堂)

6 月 15 日 (日) Sunday, June 15th

09 : 00–10 : 20 口頭発表 (4 課題) Oral presentation

10 : 30–11 : 30 ポスター発表 (偶数 11 課題) Poster session

(昼休憩)

13 : 00–14 : 00 優秀発表賞表彰 Best Presentation Award

14 : 00–14 : 05 次回予告 Announcement of next JSRR meeting

| 牧田 直樹 大会実行委員長 (信州大学)

14 : 05–14 : 10 閉会の挨拶 Closing remarks

15 : 00–17 : 00 根掘りワークショップ「Back to the Basic: 掘って洗って測定して」

<第 61 回根研究集会実行委員>

実行委員長: 亀岡 笑

庶務担当: 田島亮介

(東北大学大学院農学研究科)

Chairman: Emi Kameoka

General affairs: Ryosuke Tajima

(Graduate school of Agricultural Science, Tohoku University)



<問合せ先 Contact>

東北大学大学院農学研究科 亀岡 笑

〒980-8572 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1 東北大学大学院農学研究科

E-mail: emi.kameoka.c8@tohoku.ac.jp 電話: 022-757-4084

Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University

Emi Kameoka

468-1 Aramaki Aza Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi, 980-8572, Japan

E-mail: emi.kameoka.c8@tohoku.ac.jp Tel: 022-757-4084

<共催>

東北大学大学院農学研究科



<口頭発表 Oral Presentations> 講演 12 分+質疑 5 分+入替等 3 分

★優秀発表賞エントリー

6 月 14 日 (土) 13 : 40-15 : 00 (4 課題)

- 13:40 O1 DRO1 と qSOR1 の異なるアリル組合せにより生じる根系分布の違いが収量性に及ぼす影響
○宇賀優作, 木富悠花, 寺本翔太, 射場木萌春, 河合翼
- 14:00 O2 野生イネ *Oryza glumaepatula* の恒常的な酸素漏出バリア形成に関わる遺伝子領域の推定
○塩野克宏, 江尻真斗, 西嶋遼, 馬場美幸, 芝日菜子, 山形悦透, 三浦孝太郎
- 14:20 ★O3 光で根端が帯電する Tanada 効果の再訪 : アセチルコリンの影響について
○野口紅羽, 陽川 憲
- 14:40 ★O4 メラトニンを中心としたインドールアミン類がシロイヌナズナ根の重力屈性に与える影響
○山口 翔太郎, 陽川 憲

6 月 15 日 (日) 09 : 00-10 : 20 (4 課題)

- 09:00 O5 クロズキンタケ属の未記載種におけるツツジ科植物の細根への共生能力の解明
○馬場隆士, 広瀬 大
- 09:20 ★O6 地下で起きるコモンズの悲劇 : 雑草イネは脱栽培化で根が競争的になるよう進化したか?
○丸山紀子, 今泉智通, 深野祐也
- 09:40 ★O7 スキャナ法を用いたスギ細根の分岐時期の解明
○趙星一, 大橋瑞江
- 10:00 O8 日本における根研究の展開序説 1
○森田茂紀



<ポスター発表 Poster Presentations>

6月14日(土)・15日(日)

★優秀発表賞エントリー

- P1 もみ殻炭の連年施用ならびに施用法がダイコンの生育に及ぼす影響
○塔野岡(寺門)純子, 垣内悠太郎, 徳田進一
- ★P2 湛水土壤中で増加するアンモニアはイネ根の酸素通気に影響するのか?
○吉田日向, 江岸祐夏, 塩野克宏
- P3 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(2)―原生篩管, 後生篩管の形成について―
○仁木輝緒, 幹 康, 斉藤 進
- P4 イネ超深根型 qSOR1-v アリルの同定と被子植物の相同遺伝子における配列・機能保存性
○河合翼, 木富悠花, 黒田凌, 中田隆, 相馬史幸, 杉本和彦, 宇賀優作
- P5 生薬・天然色素植物ムラサキ(Lithospermum erythrorhizon)の実用生産化 ―北海道・当別町での取り組み―
○高上馬 希重
- ★P6 琉球列島におけるツツジ科スノキ属のメタバーコーディングによるエリコイド菌根関連菌相解明
○佐藤創太, 馬場隆士, 伊東拓朗, 國府方吾郎, 牧雅之
- P7 ウキクサ由来植物生育促進細菌を用いた養液栽培レタスの生育
○渡邊高人, 阿野哲也, 田中靖浩, 中野明正
- ★P8 阿蘇外輪山東部の半自然草地における放牧管理が草本根系および土壌炭素蓄積量に与える影響
○齋藤温子, 白井里奈, 坂上翼, 山口滉太, 町田怜子, 下嶋聖, 茂木もも子, 山田晋, 今井伸夫, 檜谷昂, 犬伏和之, 大島宏行, 加藤拓
- ★P9 リン酸局所施肥パッチサイズおよびパッチへの根の誘導がコムギの生育に与える影響
○藤元琴羽, 関澤央宜, 神山拓也
- P10 北方落葉広葉樹の根滲出物の炭素量と構成分子種の解析
○遠藤いず貴, 郷久美空, 大越研人, 井手淳一郎
- P11 樹木個体の成長とともに増加する力学的負荷は根・幹の呼吸増加を促し成長制限要因となるか
○森茂太, 黒澤陽子, 相蘇春菜
- ★P12 根箱とリボンヒーターを用いた根の局所加温応答観察系の確立
○原口果子, 房相佑, 神山拓也, 大西孝幸
- P13 コムギ根の評価にミニライゾトロンは本当に使えないのか?
橋本叡信, 青木博光, ○神山拓也
- ★P14 樹木根系3次元モデルにおける根系バイオマス推定誤差とその補償に関する検討
○田中優斗, 山瀬敬太郎, 藤堂千景, 大橋瑞江, 森健介, 平野恭弘, 谷川東子, 檀浦正子, 池野英利

★P15 コムギ栽培において硝化抑制物質が土壌無機態窒素濃度に与える影響とその簡易評価法
○小南雪乃・下野裕之・松波麻耶

★P16 地中レーダを用いたカンショ根の自動検出・定量化
○鄭美嘉, 劉佳啓, クリストファーゴメス, 石井孝佳, 宇賀優作

P17 Photoperiod moderates the root growth and grain yield of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress
Ekemini Obok・○Ping An・Anthony Eneji

★P18 シロイヌナズナ根におけるストロンチウムによる活性酸素種の生成と候補輸送体の抽出
○長田武, 岡田佳之, 國分皐世, 尾上未央

P19 硝酸欠乏応答における STOP1 依存的な根系構造改変の三次元解析
○時澤睦朋

P20 中国の半乾燥地林に生育する 4 樹種の細根形質の比較
○福澤加里部, 細川奈々枝, 杜盛, 龍見史恵, 舘野龍之輔

★P21 冷温帯 9 樹種における細根の糖、アミノ酸、有機酸の種特異性
○橋本裕生, 勝間帆波, 牧田直樹

P22 草本と木本で異なる地下部・地上部呼吸スケーリング
○黒澤陽子, 森茂太

★P23 真正双子葉植物における根の放射構造進化 -解剖学的比較からの示唆-
○佐藤友, 古賀皓之, 塚谷裕一

O1

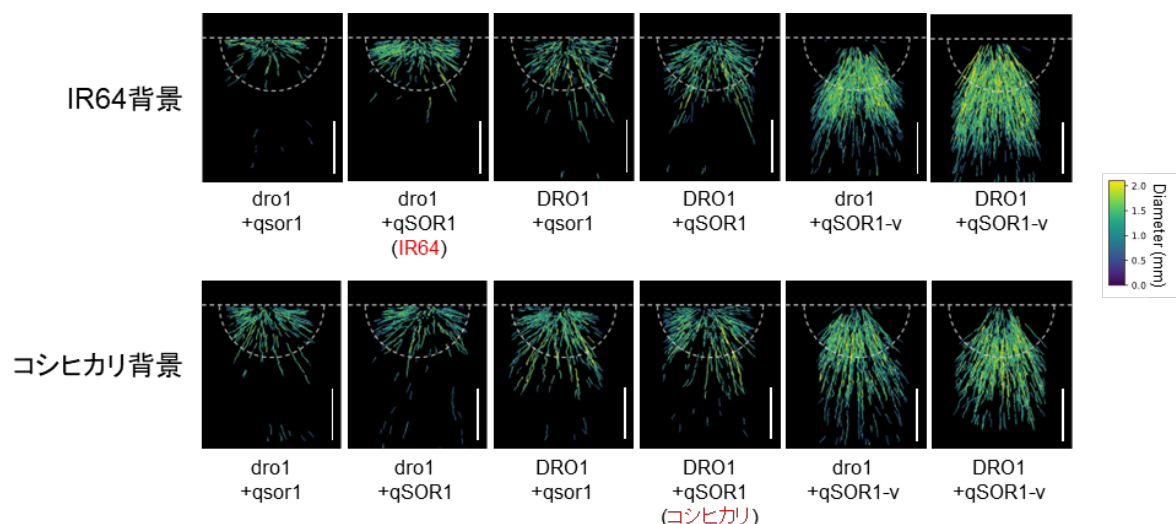
***DRO1* と *qSOR1* の異なるアリル組合せにより生じる根系分布の違いが
収量性に及ぼす影響**宇賀優作^{*1)}・寺本翔太¹⁾・木富悠花¹⁾・射場木萌春¹⁾・河合翼¹⁾¹⁾農研機構・作物研究部門

*連絡先 (uga.yusaku716@naro.go.jp)

【目的】 根系形態の違いは作物の収量性に大きく影響する。我々はイネの根伸長角度に関する量的形質遺伝子座 (QTL) の *DRO1* をこれまでに同定した (Uga et al., Nature Genet., 2013)。非機能型 *DRO1* を持つ浅根品種 IR64 と比較し、機能型 *DRO1* を導入した準同質遺伝子系統 (NIL) は深根化し、IR64 より 10%増収した (Arai-Sanoh et al., Sci. Rep., 2014)。本研究では更なる深根化が収量性にどのような影響を及ぼすかを明らかにするため、*DRO1* と *qSOR1* (*DRO1* ホモログ; Kitomi et al., PNAS, 2020) の異なるアリルを組み合わせ 5 つの NILs を IR64 (*indica*) とコシヒカリ (*japonica*) で準備し、水田にて収量性を評価した。

【材料および方法】 *DRO1* の浅根型 (非機能型; *dro1*) と深根型 (機能型; *DRO1*) アリルに対し、*qSOR1* の浅根型 (非機能型; *qsor1*) および深根型 (機能型; *qSOR1*)、超深根型 (*qSOR1-v*) アリルをそれぞれ組み合わせ 5 つの NILs を準備した (第 1 図)。2024 年に作物研内水田 (つくば市) にて、通常の施肥と水管理で栽培し、収量構成要素等を調査した。

【結果および考察】 IR64 とコシヒカリともに、水田にて *DRO1* と *qSOR1* アリルの組み合わせから予想される根系分布を示し、*qSOR1-v* アリルを持つ系統は最も根が深くなった (第 1 図)。収量調査の結果、IR64 背景では *DRO1* と *qsor1* を持つ系統が最も収量が高かった。コシヒカリ背景では根が深くなるほど多収となる傾向が見られ、*DRO1* と *qSOR1-v* を持つ系統が最も多収となった。以上の結果から、多収となる最適な根系分布は品種ごとに異なり、更なる深根化が多収化になるとは限らないことが明らかとなった。



第 1 図. 水田における IR64 およびコシヒカリ背景の準同質遺伝子系統の根系分布の様子

RSAPaddy3D (Teramoto S., Uga Y., Plant J., 2024) を用いて、土壌モノリスの CT 画像から根系形態を可視化した 3 次元画像。

各画像のバーは 5 cm を示す。凡例のヒートマップは根の太さを示す。

O2

**野生イネ *Oryza glumaepatula* の恒常的な酸素漏出バリア形成
に関わる遺伝子領域の推定**塩野克宏^{*1)}・江尻真斗¹⁾・西嶋遼¹⁾・馬場美幸¹⁾・芝日菜子^{1,2)}・山形悦透³⁾・三浦孝太郎¹⁾¹⁾福井県立大学・大学院生物資源学研究科, ²⁾日本学術振興会特別研究員,³⁾九州大学・大学院農学研究院

*連絡先 (k-shiono@g.fpu.ac.jp)

【背景・目的】

気候変動の深刻化にともない、作物の環境ストレス耐性の飛躍的な向上が求められている。栽培化の過程で失われた近縁野生種の高いストレス適応性遺伝子を、現代品種に導入するアプローチは、その解決策の 1 つとして注目されている。AA ゲノムを有する野生イネ *Oryza glumaepatula* は、アマゾン川流域の洪水頻発地域に自生しており、栽培イネではみられない洪水適応力を備えている可能性がある。効率的な酸素通気や有毒物質の取り込み抑制に寄与する「酸素漏出バリア (Barrier to radial oxygen loss)」は、植物の湛水適応応答における重要な形質の 1 つである。これまでに我々は、*O. glumaepatula* が非ストレス条件下においても酸素漏出バリアを恒常的に形成できることを発見した (Ejiri *et al.*, *Plants*, 2020; 江尻・塩野, 根の研究, 2023)。しかし、バリア形成の恒常性に関わる遺伝子は同定されていない。そこで本研究では、*O. glumaepatula* と台中 65 (T65) の染色体断片導入系統群 (introgression lines, ILs) を用いて、恒常的な酸素漏出バリア形成に関与する原因遺伝子の同定を目指した。本発表では、その研究の進捗を報告する。

【材料および方法】

実験には、*O. glumaepatula*, 栽培イネ品種 T65 および T65 を反復親、*O. glumaepatula* を供与親とする ILs を使用した。恒常的な酸素漏出バリア形成の評価には、好氣的な条件で 10 日間水耕栽培した植物を用いた。バリア構成成分であるスベリンの検出には Fluorol Yellow 088 染色法を用い、その形成程度を共焦点レーザー顕微鏡により観察・評価した。

【結果・考察】

酸素漏出バリア形成能について ILs 計 60 系統を調査した結果、恒常的にバリアを形成する 8 系統を選抜できた。これらの表現型と遺伝子型を解析した結果、第 4 染色体、第 7 染色体および第 10 染色体上に 3 つの候補領域が検出された。選抜された染色体断片を有する 5 系統の ILs について、T65 と交配し F₂ 世代の個体を得た。いくつかの F₂ 集団でバリア形成の表現型を評価したところ、バリアに関する形質の分離が確認された。

なお、*O. glumaepatula* に関する公開ゲノム情報は限定的であり、原因遺伝子の単離を進めるための、有用なマーカー設計には困難が予想された。そこで、ILs の両親である IRGC105668 と T65 について、Single Molecule Real Time sequencing (PacBio) による全ゲノム解読を実施した。これまでに、両親系統に加えて、選抜された染色体断片を有する 1 系統の RNA-seq 解析を行い、候補遺伝子の抽出に至っている。今後は、得られたゲノム情報を活用し、表現型解析を組み合わせることで、原因遺伝子が座乗する染色体断片の特定をさらに進める予定である。

★O3

光で根端が帯電する Tanada 効果の再訪: アセチルコリンの影響について

野口 紅羽・陽川 憲*

北見工業大学大学院 応用化学プログラム

*連絡先 (yokawaken@mail.kitami-it.ac.jp)

[目的] 植物は特定の光の波長を感知する光受容体を持ち、外部の光環境を感知している。その中でも、赤色光と遠赤色光の吸収波長をもつ PHYTOCHROME (PHY) が知られている。赤色光照射下で、切除された根端が負に帯電したビーカーの表面に移動する現象として Tanada 効果が報告された (TANADA, T. Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A. 1968)。赤色光照射された PHY は、リン酸化され活性化し、植物根端の表面にプロトンイオン (H^+) が蓄積する。PHY 依存的 H^+ 排出が提唱された (YUNGHANS, H. AND M. J. JAFFE. Plant Physiol. 1972)。また本プロセスは、赤色光以外にオーキシンやアセチルコリン (ACh) といった化学物質も関与すると示唆されているが、その詳細や分子メカニズムは解明されていない。更に PHY の機能を模倣すると報告がある ACh で、赤色光無しで Tanada 効果を生じることが見出された (M. J. JAFFE, Plant Physiol. 1970)。赤色光照射または ACh 処理した植物根が根端表面に H^+ を排出するメカニズムについて明らかにする。

[方法] オオムギ (*Hordeum vulgare* L.) 種子を暗闇下で 8 時間吸水後、赤色光 ($3.271 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$) を 2 分間照射する。その後、暗闇下 23°C で 2 日間発芽させる。発芽後 2 日目のオオムギの 2 次根先端から 2 mm を切除したものを 10 本用意する。(作業は緑色光下で行う。) 250 mL Pyrex ビーカーを 10^{-2} M KH_2PO_4 で 3 回濯いだ後、milliQ 水で 1 回濯いだ。そしてビーカー内に 9 mL の溶液 (0.1 mM KCl, MgCl_2 , CaCl_2 , 2.0 μM MnCl_2 , 1.0 μM L-Ascorbic acid) と切除した根 10 本を入れる。ビーカー内に入った植物根に赤色光 ($0.201 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$) を 10 分間照射後、負に帯電したビーカーに付着した根を数える。更に、ビーカー内に 0.3 mM アセチルコリン (ACh) 添加し、根の付着数を数えた。

[結果] 切除したオオムギの根部に赤色光を照射した根は、負に帯電したビーカーに付着したことを確認した。これは、赤色光を照射した根では、 H^+ が流出していることを示唆している。また、緑色光下において ACh 処理をした植物根で負に帯電したビーカーに付着したことを確認し、赤色光照射と同様の効果があることを示唆した。次に、環境が大きな影響を与えるのではないかと示唆した。種子時に赤色光照射した植物根や吸水時に Ca^{2+} を処理した植物根では、付着数が大幅に増加した。

[考察] 赤色光または ACh 処理による根端のガラス表面への移動は、必要な H^+ 排出に関して H^+/ATPase の関与が考えられる。植物の細胞膜上に H^+/ATPase が局在しており、 Ca^{2+} で駆動することやオーキシンが直接活性化因子として働くことが知られている (Koji Takahashi *et al.* communication biology. 2022)。そして ACh は、緑色光下においても赤色光の効果をもたらしており、ACh が H^+/ATPase の活性化に関与すると示唆される。先行研究で ACh 処理した植物根と赤色光照射された植物根では、ATP の量が減少していると報告されている (YUNGHANS, H. AND M. J. JAFFE. Plant Physiol. 1972)。これより、赤色光による根端表面の H^+ 排出プロセスに ACh が関与していることが示唆された。

★O4

メラトニンを中心としたインドールアミン類がシロイヌナズナ根の重力屈性に与える影響

山口翔太郎・陽川憲*

北見工業大学大学院 応用化学プログラム

*連絡先 (yokawaken@mail.kitami-it.ac.jp)

【背景・目的】

インドールアミン類とはインドール基、アミノ基を持つ化合物のことを指し、代表例としてメラトニン（N-アセチル-5-メトキシトリプタミン）がある。メラトニンは 1958 年ウシの松果体から発見され、ヒトでは神経伝達物質として作用している。また 1995 年植物からも発見され (Dubbels R et al. J Pineal Res. 1995) (Hattori A et al. Biochem Mol Biol Int. 1995), 主に抗酸化機能、根の形態形成などの植物の成長に関与していることが報告されている (Arnao MB and Hernández-Ruiz J. Ann Bot. 2018)。メラトニンはトリプトファンから生合成される一方で、植物の成長に必要なホルモンであるオーキシンも同じトリプトファンから合成される (Wang Q et al. Front Plant Sci. 2016)。オーキシンは、濃度変化によって根の伸長や屈性を調節することが知られており、さらに、メラトニンもトウモロコシ (*Zea mays* L.) の根を含ませた寒天培地上で重力屈性を起こすことが報告されている (Arnao MB and Hernández-Ruiz J. Acta Physiologiae Plantarum 2017)。メラトニンとオーキシンは化学構造上類似していることから、拮抗および競合による相互作用について報告されているが、先行研究でメラトニンは、受容体を同定した報告や (Arnao MB and Hernández-Ruiz J. Trends Plant Sci. 2019)、オーキシンとは別のシグナル伝達を介して機能している可能性が示唆されている (Pelagio-Flores R et al. J Pineal Res. 2012)。この観点から、本研究ではメラトニンによる植物根の重力屈性の影響についての分子メカニズム解明を目的とする。

【実験方法】

本研究ではシロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana* L.) の野生型 Col-0 (Columbia-0) を無菌条件下、1/2 Murashige-Skoog 培地で 5 日間育成した。

- ① トリプトファンからメラトニンまでの間で生成される中間体物質での重力屈性の評価した。
- ② 重力屈性後に澱粉を染色できる Lugol 液につけてアミロプラストの観察、また BrefeldinA (BFA) で小胞体とゴルジ体間の輸送を阻害し、BFA コンパートメントと呼ばれる凝集体を形成することから解析ソフト ImageJ で BFA コンパートメントの定量および細胞膜からの膜リサイクリングの観察と評価した。

【結果】

- ① インドールアミン類の中でもセロトニン（5-ヒドロキシトリプタミン）およびメラトニンの前駆体物質である N-アセチルセロトニンでは重力屈性の阻害が見られずメラトニン濃度 400 μ M のみ特異的に重力屈性が阻害される結果となった。
- ② BFA コンパートメントも濃度 400 μ M で有意に減少した。

【考察】

アミロプラストの観察では、濃度 400 μ M までに有意な差が見られなかったため、アミロプラストに非依存的な重力屈性の阻害が起こった可能性が示唆された。また、BFA コンパートメントも有意に減少したことから、メラトニン自体が特異的に作用してエンドサイトーシスの活性を低下させ、結果的に重力屈性の阻害を起こした可能性が示唆された。

05

クロズキンタケ属の未記載種におけるツツジ科植物の細根への共生能力の解明

馬場隆士^{*1)}・広瀬 大²⁾¹⁾農研機構果樹茶業研究部門, ²⁾日本大学薬学部

*連絡先 (baba.takashi016@naro.go.jp)

多くのツツジ科植物が形成するエリコイド菌根では, 菌根菌と解明された種が少ない. 代表的なエリコイド菌根菌は, 高い有機物分解能力をもち容易に培養できる点で他のタイプの多くの菌根菌と異なる. この特性は比較ゲノム解析等からも裏付けられ, 菌類におけるエリコイド菌根性の進化プロセスや役割の議論では, 菌単独での炭素獲得と宿主植物への炭素依存との関係が注目されている (Martino et al. 2018; Vohník 2020). 一方, そのような議論を前進させる上では, 培養性が異なる菌系統を複数収集していくことが不可欠である.

子囊菌門テングノメシガイ綱の菌類は概ね暗色でへら型~棍棒型の子実体を地表に形成することで知られるが, 多くの種が難培養性と考えられ生活様式がほとんどわかっていない. 近年, 演者らはクロズキンタケやその近縁種で子嚢胞子やツツジ科植物の細根からの分離培養に成功し, 本綱の菌株がエリコイド菌根様の細胞内共生を行うことを報告した (Baba et al. 2021; Baba and Hirose 2023). ツツジ科の細根からは本綱の様々な系統の DNA が検出されており, 難培養なエリコイド菌根菌を含む可能性がある. 本研究では, 新たに得たクロズキンタケ属の未記載種について, 培養株を獲得し *in vitro* で細根への共生能力を解明することを目的とした.

本種は秋にツツジ科植物周辺の地表に子実体を形成していた(図 1). リボソーム RNA 等の遺伝子配列による系統解析ではクロズキンタケ属に含まれたが, 既知種とは遺伝的に分化しており, 子実体や子嚢胞子の形態も異なった. 子嚢胞子は素寒天培地上で発芽し, 継代できた菌株はコーンミール寒天培地上での成長速度が 1 ヶ月当たり 1 mm 以下と, クロズキンタケと比べても極めて遅かった. 発生地で随伴するヤマツツジを宿主と想定し *in vitro* で二者培養したところ, 根表皮細胞内にエリコイド菌根様の菌糸コイルが形成された(図 2). クロズキンタケと比べて共生頻度は低かったが, 局所的に高い頻度での細胞内共生が認められ, 宿主細胞内の菌糸もより高密度であった. 両種とも宿主成長を促進したことから, エリコイド菌根菌である可能性がある. 以上の結果は, テングノメシガイ綱において宿主への依存性が強い難培養なエリコイド菌根菌が進化した可能性を支持している. 本研究は JSPS 科研費 24K18184 の助成を受けて実施した.

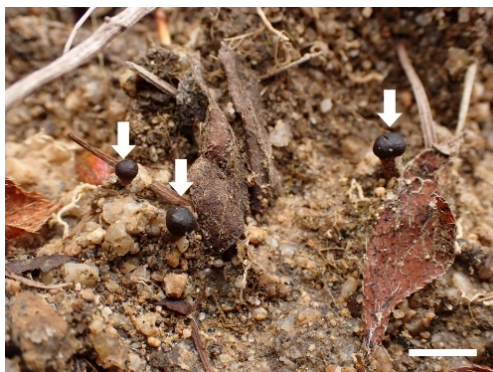


図 1 ヤマツツジ近傍に形成された子実体 (矢印). バーは 5 mm

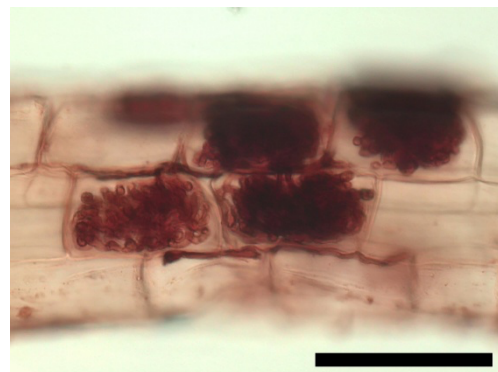


図 2 根表皮細胞内に形成された菌糸コイル. 菌糸を褐色に染色した. バーは 50 μ m

★06

地下で起きるコモنزの悲劇: 雑草イネは脱栽培化で根が競争的になるよう進化したか?

丸山紀子^{*1)}・今泉智通²⁾・深野祐也¹⁾

¹⁾ 千葉大学大学院園芸学研究科, ²⁾ 農研機構九州沖縄農業研究センター

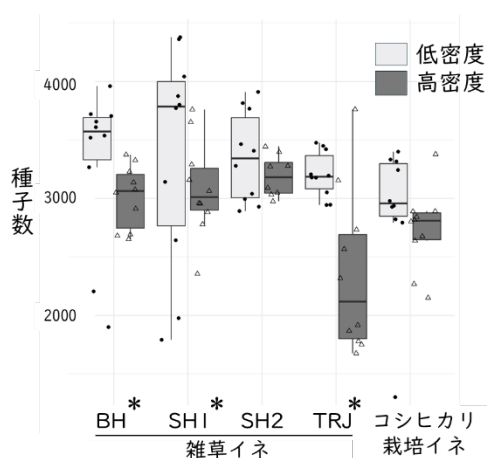
*連絡先 (amaruyama.8170@gmail.com)

作物は野生植物から変化した過程で, 栽培化シンドロームと呼ばれる一連の形質進化が生じた. 同一品種を高密度で栽培する穀物では, 植物の個体としての収量ではなく, 面積当たりの収量, つまり集団としてのパフォーマンスが重視される. そのため, 個体の適応度が重視される自然選択では起きえないような, 集団の生産性を高める「協力的な」形質が進化したと考えられている. もしそうであるならば, 作物が野生的な形質を獲得する「脱栽培化」が起きた際には, このような協力的な形質が喪失し競争が激化するはずである.

本研究では, 脱栽培化で穀物の持つ協力的な性質が喪失したかどうかを実験的に検証した. 研究材料には, 栽培品種のイネが脱栽培化した雑草イネを用いた. 栽培イネは高密度下で栽培しても適応度が減少しにくい, 雑草イネでは個体間競争が生じ適応度が減少するはずである. さらに, さまざまな野生植物で知られている, 高密度で競争にさらされると養分を得ようとして根へのアロケーションが増える, つまり地上部地下部比が小さくなる反応が雑草イネで起きると考えた.

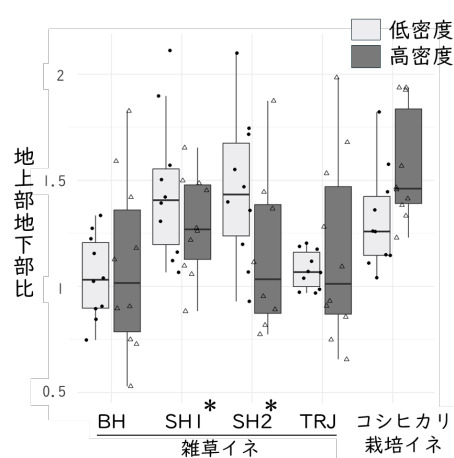
実験には, 日本に生育する雑草イネ 4 系統 (BH, SH1, SH2, TRJ) と, 対照系統に栽培品種のコシヒカリを用い, 1/5000 a のワグネルポットで低密度 (1 個体) と高密度 (3 個体) の条件で系統ごとに温室で育てた. 種子数や根のバイオマス重などを測定し, 雑草イネと栽培イネの密度の効果を一般化線形混合モデルで調べた.

解析したところ, 雑草イネのうち 3 系統は高密度で栽培イネよりも種子数, つまり適応度が大きく減少し, 仮説を一部支持する結果が得られた (第 1 図). さらに, 雑草イネの 2 系統は高密度で栽培イネより地上部地下部比が小さくなり, 栽培イネでのみ高密度で地上部地下部比が大きくなった (第 2 図). これらの結果は, イネが脱栽培化で協力的に振る舞う性質が失うよう進化し, 資源の共有がうまくいかず共倒れする「コモنزの悲劇」が起きたことを示唆している. 今年度は, 雑草イネと栽培イネで他個体の存在で①根へのアロケーションが変化するのはどのタイミングか, ②それに伴って根の形態がどう変化するか, などを調べる予定である.



*は系統と密度の交互作用項が有意 ($p < 0.05$)であることを示す

第 1 図. 雑草イネと栽培イネの密度による種子数の違い



*は系統と密度の交互作用項が有意 ($p < 0.05$)であることを示す

第 2 図. 雑草イネと栽培イネの密度による地上部地下部比の違い

★O7

スキャナ法を用いたスギ細根の分岐時期の解明

趙星一^{*1)}・大橋瑞江²⁾¹⁾兵庫県立大学大学院環境人間学研究科, ²⁾兵庫県立大学環境人間学部

*連絡先(ne24n002@guh.u-hyogo.ac.jp)

細根は植物根系最先端にある直径 2mm 以下の根である。細根は、土壌から水分や養分を吸収し、根系の中で最も生理活性が高い部分であり、複雑な分岐構造を持つ。その生長、枯死、脱落といったターンオーバー過程は、陸上生態系における炭素および窒素の循環に直接的な影響を及ぼす。植物の根系は、多様な形態的・解剖学的・生理学的特性を持ち、これらの特性は時間的・空間的に変化する。そのため、単純な分類では、根の分岐構造や機能の違いを明確に捉えることは難しい。先行研究において、Pregitzer ら (Ecological Monographs, 2002) は、根端に位置する分岐のない根を 1 次根とし、二つの 1 次根の交点を 2 次根、二つの 2 次根の交点を 3 次根と定義し、根の分岐構造に基づいて細根を分類する分岐次数法 (root order classification) を提案した。この分類法は細根の機能特性の指標として頻繁に用いられている。しかし、地下部の根は常に観察が難しく、分岐次数法は細かな分類を可能にする一方で、実施には相当の時間と労力を要する。そのため、細根の分岐次数ごとの形態的特徴や異質性に関する情報は未だ不十分であり、解明すべき課題が残されている。

本研究では、近年注目されているスキャナ法を用い、スギ細根の分岐数、初期分岐時期の変化に注目し、細根分岐の時系列変化を解明することを目的とした。調査は、兵庫県神戸市の再度公園内にあるスギ人工林の 3 地点において実施した。毎月 1 回、各調査地点においてスキャナ撮影を行った。そして、撮影画像を画像編集ソフト Gimp, ImageJ を用いて解析した。2017 年 4 月から 2020 年 3 月の 3 年間に観察された根系のうち、10 個の分岐過程を示す根系を解析対象とした。抽出した根系について、各次数の細根の分岐時期 (生長時期) を明らかにした。その結果、パイオニアルートの分岐は、観察開始 1 年目の 4 月から 11 月にかけて確認された。攪乱の影響が収まり、安定した細根の分岐が確認されたのは、2 年目と 3 年目の主に 7 月から 12 月であった。

日本における根研究の展開序説 1

森田茂紀^{*1)}¹⁾ 東京大学大学院農学生命科学研究科^{*} 連絡先 (riceballs@mtj.biglobe.ne.jp)

2000 年に東京大学出版会から『根の発育学』を出したときに、最後に世界および日本における根の研究史についてほんの少しだけふれた。また、2024 年に農山漁村文化協会から『イネの根、形態・機能・活力を読み解く』を出したときには、全体の導入部分でイネの根の研究史について取り上げた。これは、日本作物学会が 1977 年に刊行した『日本作物学会 50 年の歩み、創立 50 年記念』で山崎耕宇がとりまとめたものを踏まえて、その後現在までを含めて改めて見直したものである。

根の研究の成果をレビューしたものはいろいろと公表されてきたが、研究史について書かれたものは非常に少なく、取り扱い範囲も狭い。これは、研究成果と異なり、研究の背景や考え方については詳細を論文に書きにくいからであろう。そのため、もちろん材料やヒントがないわけではないが、改めて研究史をたどることは簡単ではないと考えている。時間と労力がかかる作業であり、ときどき立ち止まったり、元に戻ったりする必要もある。しかし、『根の発育学』および『イネの根』を書く過程で、研究史を見直しておくことが今後の研究の展開に有益であると感じたので、できるところから手をつけてみることにした。

今回は、まず 1927 年から 2024 年までの 98 年間に、日本作物学会の和文誌である『日本作物学会記事』に掲載されたイネ(水稻と陸稻)の根に直接間接に係る論文をピックアップし、これをどのような観点から分類整理したらよいかを検討した。また、1992 年に設立された根研究会(現在の根研究学会)の活動と比較するために、『根の研究』と『Plant Root』に掲載された論文についても簡単に整理した。

この間、『日本作物学会紀事』に掲載された論文は合計 6454(年平均 65.9)本、うちイネの根に関するものは合計 514(年平均 5.2)本であった。論文数は 1951~1999 年に多く、それ以降減少してきた。会員数の詳細なデータは 1996 年以降しか手元にないが、論文数の減少期間に会員数も減っている。イネの根に関する論文数は凸凹があるが 1957~1990 年に多く、総論文数の推移とかなりかぶっている。その後はやはり減少傾向が認められ、近年はほとんど発表がない。『Plant Production Science』については、解析中である。

一方、根研究学会についてみると、1992~2024 年の 33 年間に『根の研究』に掲載された論文は合計 347(年平均 10.5)本、イネの根に関するものは合計 36(年平均 1.1)本であった。また、2007~2024 年の 18 年間に『Plant Root』に掲載された論文は合計 129(年平均 7.2)本、イネの根に関するものは合計 19(年平均 1.1)本である。『根の研究』掲載論文が減少する過程で『Plant Root』が発刊になり、2 誌合計では『日本作物学会紀事』とは異なり緩やかな減少が認められるにすぎない。また、研究集会を中心とした発表題数は 2010 年ころまで増加し、近年は年間 45~46 題程度で落ち着いている。日本作物学会とは異なり、会員数は減少してきたが、論文数や発表数では健闘しているといえる。

『日本作物学会紀事』に掲載された論文の分類・整理の基準はまだ確定していないが、現在、以下のような観点から考察を進めている。①西暦・巻・号・頁、②テーマ、③栽培法、④根の種類、⑤形質、⑥生育、⑦機能、⑧処理条件、⑨解析方法、である。今後、制度を上げ、基準を検討しながら解析を進める予定である。

P1

もみ殻炭の連年施用ならびに施用法がダイコンの生育に及ぼす影響

塔野岡(寺門) 純子*・垣内 悠太郎・徳田 進一

農研機構 中日本農業研究センター

*連絡先 (tonooka.junko738@naro.go.jp)

【目的】 もみ殻炭は土壌の保水性、通気性の改善等に効果がある事が知られており、古くから土壌改良資材として利用されてきた。一方、作物栽培におけるもみ殻炭の適正な施用量や施用法についての知見は乏しい。我々は昨年度、もみ殻炭の混合比が異なる黒ボク土壌でダイコンをプランター栽培し、生育への影響を調査した。この結果、もみ殻炭の容積比が 60%までは、施用量に応じた初期生育の促進が認められたが、最終的な収量は低下傾向であった。本年度は、ダイコン栽培におけるもみ殻炭施用効果の持続性ならびに連年施用の影響について調査した。また、もみ殻炭の効果的な施用方法について検討した。

【試験方法】 もみ殻炭持続性試験では 2023 年度のプランター試験で使用した、もみ殻炭を容積比 0% (土壌のみ)、20%、60%で混合した土壌(農研機構内黒ボク土)をそのまま栽培に使用した。もみ殻炭連年施用試験では、2023 年度のプランター試験で使用した、もみ殻炭混合土壌(20%、60%)に、各々20% (2023 年度と 2024 年度の合計 36%)、60% (同合計 84%) のもみ殻炭を混合し、25 L プランターに全層施用した。対照として 2024 年度に採取した農研機構内黒ボク土に、もみ殻炭を 0%、20%、60%混合し、プランターに全層施用した。別途、農研機構内黒ボク土を用いてもみ殻炭 0%区、20%全層施用区、60%局所施用区(プランターあたり全層 20%相当量を表層に施用)を設け、もみ殻炭の施用法について検討した。各処理区につきプランターを3つ準備し、化成肥料を 12 kg NPK/10 a 等量施用した。ダイコン(品種 耐病総太り)は 5 粒× 3 か所播種し、間引きをして1本立ちにした。もみ殻炭持続性試験および連年施用試験は 2024 年 10 月中旬～2025 年 1 月初旬、施用方法の検討は 2024 年 4 月中旬～7 月初旬にビニルハウス内で行った。植物体については、発芽率、草丈、SPAD 値、新鮮重、乾燥重を調査した。

【結果および考察】 栽培前の土壌 pH はもみ殻炭の施用量に応じて高くなる傾向であったが、いずれの土壌も 7 以下であった。また発芽率にも大きな違いは認められなかった。持続性試験と連年施用試験では、もみ殻炭施用によりダイコン生育初期において生理障害の認められる株が確認され、もみ殻炭の K 含量が高いことによる Ca または Mg 吸収の拮抗阻害が推定された。また持続性試験、連年施用試験ともに 2024 年度に新たに設定した対照と比較すると、収量の低下が認められ、もみ殻炭の施用量に応じて顕著であった。収量低下の主な原因としては、連作や土壌をもみ殻炭に置き換えたことによる、土壌由来肥料成分の減少が推定された。一方、もみ殻炭の局所施用区では全層施用区と比較して初期生育の促進が認められた。また局所施用区の収量は全層施用区を上回り、無施用区と同程度となった。今後は施肥量等を考慮した上で、もみ殻炭の適切な施用量ならびに施用法を検討する必要がある。

これらの成果は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の結果得られたものである。

★P2

湛水土壤で増加するアンモニアはイネ根の酸素通気に影響するのか

吉田日向^{*1)}・江岸祐夏¹⁾・塩野克宏¹⁾¹⁾福井県立大学大学院生物資源学研究科*連絡先(s2573017@g.fpu.ac.jp)

【背景】

イネを含む湿生植物は湛水し、低酸素状態になった土壤であっても酸素輸送機能を強化することで湛水土壤に順応している。酸素通気のための形態応答として、酸素の通り道となる通気組織と輸送する酸素が漏れ出ることとを防いで長距離の輸送を可能にする ROL (Radial Oxygen Loss) バリアが知られている。最近、我々は湛水初期の硝酸の減少が湛水土壤に対する根の形態的適応応答 (ROL バリア, 通気組織, 根の肥大化) を促進するトリガーとなることを明らかにした (Shiono et al., Plant Physiol, 2024)。湛水土壤では、硝酸の減少とほぼ同時にアンモニウムが増加が見られることが多い (高井, 肥料科学, 1980)。また、高濃度のアンモニウム溶液で栽培するとイネはバリアの構成成分である、スベリンとリグニンを根の外縁部に蓄積させる (Ranathunge et al., Planta, 2015)。このことから、土壤の高アンモニウム状態もこれら形態応答の促進のトリガーになるのではないかと仮説を立てた。そこで本研究では、アンモニウムの投与量がイネの酸素通気に関わる形態応答の形成に関わる影響を評価した。

【材料および方法】

イネ (*Oryza sativa* L. cv. Nipponbare) を実験に使用した。二週間、好気条件で水耕栽培したイネを水耕液中の硝酸とアンモニア濃度を調整し、標準区と無硝酸区、高アンモニア区、無アンモニア区で7日間栽培した。ROL バリア形成の評価はメチレンブルー染色と円柱型酸素電極により行った。スベリンラメラは Fluorol Yellow 088 法を、リグニンは Phloroglucinol-HCl 法で染色し、形成率と染色の程度は画像解析ソフト (ImageJ) にて定量した。1 個体すべての根における通気組織と細胞間隙の総和である空隙率の測定には浮力を応用したアルキメデス法 (宮下ら, 根の研究, 2021) を用いた。代表的な根の通気組織の形成率は Image J を用いて皮層における通気組織の面積の割合を計測した。根の直径の計測には、1 個体のすべての根に対して基部側 (root-shoot junction から 1.5-2.5 cm の位置) をフラッドベッドスキャナにて画像取得し ImageJ にて直径を手動計測した。

【結果・考察】

高アンモニア区、無アンモニア区は標準区と同程度の 20% 程度の ROL バリア形成が見られた。無硝酸区では 90% 程度見られた。無硝酸区、高アンモニア区、無アンモニア区ではスベリンラメラの形成は見られた。また、スベリン化率を算出すると、高アンモニア区、無アンモニア区は標準区と比べ僅かに高かった。すべての処理区において、厚壁組織のリグニンが観察された。リグニンの赤色の程度を定量化してみると、高アンモニア区、無アンモニア区ともに標準区と同程度の値を示した。無硝酸区でリグニンの厚壁組織への沈着と形成を促進した ($P < 0.05$, one-way ANOVA, Tukey-HSD)。また通気組織形成率は高アンモニア区、無アンモニア区は標準区と比べ差は見られなかった。また、根の直径はすべての処理区間で同程度の値となった ($P < 0.05$, one-way ANOVA, Tukey-HSD)。アンモニウム投与量がイネの酸素通気に関わる形態応答の ROL バリア, 通気組織, 根の肥大化を促進しなかった。

P3

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(2)

—原生篩管, 後生篩管の形成について—

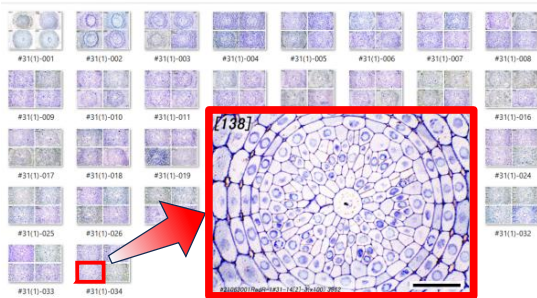
仁木輝緒・幹 康・斉藤 進

(同) ミキ音響イメージプロセッシング部門

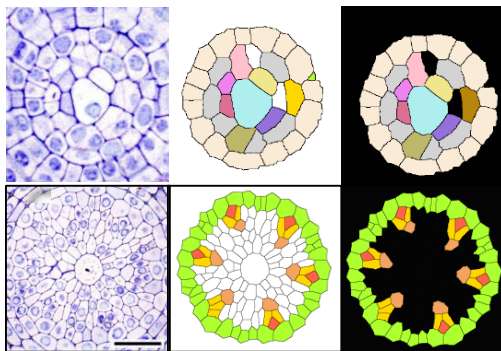
*連絡先(teruo-niki@hb.tp1.jp)

はじめに

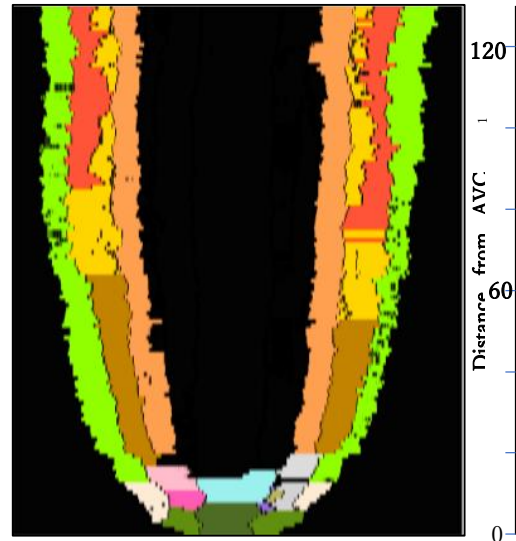
原生篩部母細胞が斜分裂し, 原生篩部篩管を形成することは報告されている(川田ら,1977). 演者らは, 原生篩部母細胞, 後生篩部の起源は先端分裂帯からと示した(2023 秋 根研研究集会). 今回演者らは 3D オブジェクト手法を用い, 根先端域での原生・後生篩部の起源と発達の再解析を行った.



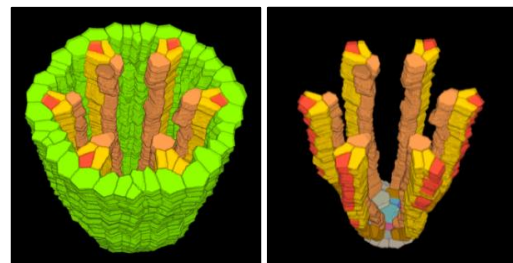
イネ種子根の先端の連続薄切片(1 μ m)を作成, 画像取得後, 各切片の細胞像を線画化し, 着色した. 3D オブジェクト構築にはオープンソース ImageJ, BIMP を使用した.



先端 RCJ から 19 と 138 μ m の位置の原図(左図), 着色(中図)と透明化を行う(右図). 赤:篩管, 橙色:伴細胞. 緑色:内鞘, scale bar=10 μ m



Volume Viewer による像



3D オブジェクト像

まとめ

1. 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.
2. 先端における原生篩部母細胞の出現は 25 μ m, 後生篩部の出現は 29 μ m. 篩部母細胞の斜分裂は 50 μ m から始まり, 原生篩部篩管の完成は 95 μ 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.

P4

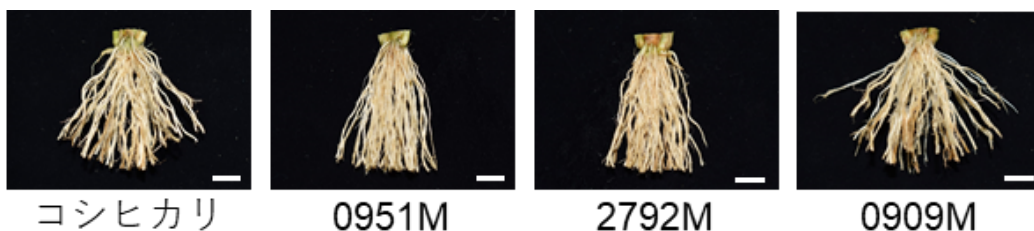
イネ超深根型 *qSOR1-v* アリルの同定と被子植物の相同遺伝子における
配列・機能保存性河合翼^{*1)}・木富悠花¹⁾・黒田凌¹⁾・中田隆¹⁾・相馬史幸¹⁾・杉本和彦¹⁾・宇賀優作¹⁾¹⁾農研機構・作物研究部門

*連絡先 (kawai.tsubasa926@naro.go.jp)

【目的】 様々な作物種において、深根性は乾燥ストレス回避に有用である。イネにおいて、深根化をもたらす陸稲由来の量的形質遺伝子座 (QTL) が同定されてきたが、陸稲のような垂直に近い角度で根が伸びる表現型をもたらす遺伝子リソースはイネにおいて報告がない。本研究では、根伸長角度遺伝子 *qSOR1* (Kitomi et al., PNAS, 2020) のアリルマイニングによって、垂直根化をもたらす超深根型アリル (*qSOR1-v*) を新規に同定した。

【材料および方法】 Tilling 法を用いて、コシヒカリの突然変異系統群から *qSOR1* 配列に変異をもつ 3 系統を選抜した。バスケット法により伸長角度別の冠根数を測定し、深根率を評価した。アガロースプレート上で栽培したイネを 90 度回転させ、根屈曲角度を測定することで重力屈性応答を評価した。被子植物における *qSOR1* 相同遺伝子のアミノ酸配列を文献情報から取得し、ClustalW によるアライメント解析および MEGA11 による系統樹作成を行った。

【結果および考察】 選抜した *qSOR1* 変異体の深根率は、系統 0951M および 2792M で野生株よりも高く、0909M で低かった。0951M および 2792M は、*qSOR1* の機能未知のドメイン III にアミノ酸置換をもち、これらアリルを超深根型 *qSOR1-v* と名付けた。*qSOR1-v* 変異体では、重力屈性応答が野生株よりも強く、屈曲時の根端において、内生オーキシン量およびオーキシン応答性遺伝子発現量の重力方向上側に対する下側での比率が野生株よりも高かった。これらの結果から、*qSOR1-v* は根端でのオーキシン濃度勾配に関与し、重力屈性応答が高まることで深根化がもたらされると考えられた。次に、被子植物における *qSOR1* 相同遺伝子について系統樹を作成し、配列相同性を解析したところ、単子葉植物の *qSOR1/DRL1* サブグループおよび双子葉植物の *LZY2/3* サブグループで、*qSOR1-v* 変異箇所を含むドメイン III 周辺のアミノ酸配列が高度に保存されていた。シロイヌナズナ相同遺伝子 *LZY3* について、*qSOR1-v* と同様の変異を有する *LZY3-v* 形質転換シロイヌナズナを作出したところ、側根伸長角度が野生株よりも深くなった。以上のことから、*qSOR1-v* アリルは被子植物において深根化をもたらす遺伝子リソースとして有用である可能性が示された。



第 1 図. バスケット法におけるコシヒカリおよび *qSOR1* 変異体の根系分布の様子

播種後 35 日に根伸長角度を調査したのちに、土から洗い出して撮影した画像。各画像のバーは 1 cm を示す。

P5

生薬・天然色素植物ムラサキ(*Lithospermum erythrorhizon*)の実用生産化 —北海道・当別町での取り組み—

高上馬希重^{*1)}¹⁾北海道医療大学薬学部

*連絡先(kojoma@hoku-iryo-u.ac.jp)

ムラサキ (*Lithospermum erythrorhizon*) はムラサキ科の多年生草本である。ムラサキの乾燥した根は「シコン(紫根)」と呼ばれ、紫色の染料原料として日本では古来より利用され中世の万葉集(7~8世紀)や延喜式(10世紀)などにも登場している。一方でシコンは医薬品としても利用される。漢方薬原料である生薬として皮膚疾患外用薬(軟膏薬)や貧血・疲労倦怠時の内服薬などに配合される。ムラサキの根の表面に赤紫色の色素成分であるシコン等のナフトキノン成分が含まれる(第1図)。シコンには抗炎症作用、細胞賦活作用などがある。ムラサキの野生植物は東アジアに分布し、日本国内の自生地はかつて広範囲であった。現在は植生地の激減のため環境省レッドリストに「絶滅危惧ⅠB類」として分類され、野生ムラサキは幻の植物になりつつある。日本国内でのシコンの供給は、ほぼ全量が中国を主とした輸入に依存している。原料資源の安定供給やトレーサビリティ確保などの観点から、日本国内での栽培・生産の確立が望まれている。ムラサキの農業栽培の試みは地域振興など小規模の事例はあるが、栽培技術が困難なため大規模な実用生産には至っていないのが現状である。

北海道医療大学では実用生産を目指したムラサキ栽培の研究に取り組んでいる。薬学部・附属薬用植物園にて保存植栽されているムラサキの種子を材料として、発芽条件、生育条件、収穫方法などの栽培手法の検討を行った。その結果、栽培期間1年目および2年目のムラサキの根を安定的に収穫する技術がほぼ確立された。得られた根の成分分析方法等の検討を行い、シコン等を安定的に含有することが示された。(Kojoma M., *Acta Hortic.* 2023)

北海道医療大学が所在する北海道・当別町内の農業生産者らにより「当別薬用植物栽培研究会」が2013年に設立された。上記で得られた栽培技術を基盤として、農業生産者によるムラサキの実用栽培・生産への試みが開始されている。

【協力】当別薬用植物栽培研究会, JA 北いしかり, 当別町, 角寿子(北の藍工房), 吉田尚利(以下 北海道医療大学), 宮本勝則, 大沼弘樹, 草野雄二, 栗野浩一, 関崎春雄, 金尚永



第1図 栽培ムラサキおよび主成分シコン

① 植物体(栽培1年目) ② 収穫した根 ③ シコン化学構造式

★P6

**琉球列島におけるツツジ科スノキ属の
メタバーコーディングによるエリコイド菌根関連菌相解明**佐藤創太^{*1)}・馬場隆士²⁾・伊東拓朗³⁾・國府方吾郎⁴⁾・牧雅之^{1,3)}¹⁾東北大学大学院生命科学研究科, ²⁾農研機構果樹茶業研究部門,³⁾東北大学植物園, ⁴⁾国立科学博物館植物研究部

*連絡先 (sato.sota.pl@dc.tohoku.ac.jp)

ツツジ科の単系統群であるコアツツジ科 (core Ericaceae) に属する植物は, hair root と呼ばれる細根においてエリコイド菌根 (ericoid mycorrhiza; ErM) を形成し, ヒースランドのような酸性・貧栄養土壤に適応している. ErM 共生を担う代表的な菌根菌として *Hyaloscypha* 属や *Oidiodendron* 属の数種が知られており, これらはモデル ErM 菌として系統・機能ともに詳細に解析されてきた (Martino et al., *New Phytol.*, 2018). 一方, hair root から, それ以外の分類・機能が未解明な菌が多く検出されることが知られている. このような菌を含む「エリコイド菌根 (ErM) 関連菌相」は, ErM 菌の多様性を把握するうえで重要な調査対象である. 他の菌根共生で知られているように, ErM 共生に関わる菌群集は地域や環境によって異なる可能性がある. しかし, これまでの ErM 共生に関する研究は地理的に偏在しており, 特に中緯度から低緯度にかけての地域では, hair root にどのような菌が生息し, どのような共生関係を築いているかといった実態が十分に解明されていない (Leopold, *Fungal Ecol.*, 2016). 当該地域の ErM 関連菌相を把握し, 地域間での菌相比較から共通性や地域特異的な群集構造を解明することが, 環境・地域に応じた ErM 共生の多様性のパターンを理解していくために必要である.

本研究では, これまで ErM 共生がよく研究されてきたコアツツジ科に属するスノキ属のうち, 日本の亜熱帯地域である琉球列島に広く分布するギーマ (*Vaccinium wrightii*) の ErM 関連菌相を解明し, 群集構造を既往研究と比較することで, 菌相の地域的傾向や植物の生育に重要な菌系統を見出すことを目的とした. 本種の主要な生育環境である琉球列島の山地林および矮性低木から構成される貧栄養な荒野林(ケランガス)を区別して hair root サンプルを網羅的に採集し, ITS 領域を対象とした菌特異的プライマーによるメタバーコーディング解析を行った.

その結果, 代表的な ErM 菌である *O. maius* が比較的高頻度で検出された一方で, ともに代表的 ErM 菌として知られる *Hyaloscypha* 属は検出されなかった. それに対して, 過去の研究でツツジ科植物の根からしばしば検出されている菌類や, 宿主植物との共生関係が十分に検証されていない菌類による優占が顕著であった. このような菌相の特徴は, 南半球の低緯度地域や一部の中緯度地域における報告と共通する傾向がみられ (Bruzzone et al., *Mycorrhiza*, 2015; Midgley et al., *Mycorrhiza*, 2017; Vohník et al., *Mycorrhiza*, 2023), 緯度に応じた環境条件が ErM 関連菌相に影響している可能性がある. 一方, 低緯度地域における ErM 関連菌相の多様性に関する知見は未だ著しく限られており (Pacheco Flores de Valgaz, *Diversity*, 2022), 今後, 菌相の調査対象を拡大するほか, 重要性の高い菌系統を中心に共生関係を精査していく必要がある. 発表では, ギーマの ErM 関連菌相の構成やその地域特異性を踏まえつつ, 特に共生関係の詳細が未解明な菌系統が宿主植物の生育に寄与している可能性について考察することで, 調査の必要性の高い菌系統の特定を目指す. また, ケランガスにおける菌相の特徴やそれに影響を与える土壤環境要因について考察する.

P7

ウキクサ由来植物生育促進細菌を用いた養液栽培レタスの生育

渡邊 高人^{*1)}・阿野 哲也¹⁾・田中 靖浩²⁾・中野 明正³⁾¹⁾伯東株式会社, ²⁾山梨大学生命環境学部, ³⁾千葉大学宇宙園芸研究センター

*連絡先 (watanabe-takato@hakuto.co.jp)

<研究目的>

細菌の中には植物の成長促進を促す PGPB (Plant Growth-Promoting Bacteria) が存在することが知られている。我々はこれまでに、浮遊性の水生植物であるウキクサを対象に、本植物の生育を促進する細菌の検索を進めてきた。しかし、取得した PGPB の植物への導入にあたっては、多様な微生物が多量に存在する環境下では、当該 PGPB が定着しにくい等の問題があった。一方、比較的微生物数の少ない養液栽培環境下では野菜の根系へ PGPB が定着しその生育促進効果も期待できると考えた。そこで本研究では、ウキクサの根および葉状体に付着・定着しやすい細菌群にターゲットを絞って PGPB を検索・取得し、それらが養液栽培のレタスに対しても生育促進効果を有するかについて検討した。

<研究方法>

1)使用微生物:武川らにより分離培養されたウキクサの根および葉状体と親和性が高いと推定された細菌系統群に属する研究室保存の細菌 5 株を用いた¹⁾。ウキクサ (コウキクサ; *Lemna minor*) の PGPB 検索は岩下らの方法により行った²⁾。

2)初期小規模評価試験:レタスの養液栽培に導入する試験を進めるにあたり、まず比較的小規模で繰り返し研究を実施できる実験システムで評価を行った。対照区、産生物添加区、菌体接種区の 3 処理区とし、産生物添加、菌体接種条件は次のように設定した。1.5 cm 立法の黒色ウレタンスポンジにレタスを播種し 7 日目に培養液 (OAT-A 処方 0.25 単位) に OD₆₆₀=0.1 となるように産生物、菌体を懸濁し、スポンジを浸漬することにより添加、接種した。その7日後の定植時に栽培用の培養液 (OAT-A 処方 0.5 単位) 3L に OD₆₆₀=0.001 となるように産生物添加、菌体接種し、定植から 14 日目に栽培を終了し地上部および地下部の評価を行った。

3)スケールアップ試験:生産現場での栽培条件に近づけるため上記の処理区と同様の 3 処理区でスケールアップ試験を行った。播種、7 日目の産生物添加、菌体接種は同様に行い、定植時の栽培用の培養液 (OAT-A 処方 0.5 単位) は 70L に増量し、OD₆₆₀=0.001 となるように産生物添加、菌体接種し、定植から 21 日目に栽培を終了し地上部および地下部の評価を行った。

<研究結果>

初期小規模評価試験では各菌株で地上部、地下部の重量増加が確認され、地上部新鮮重と地下部新鮮重は比例関係にあった。5 株中、最も生育促進効果が高かった 1RD-8 株についてスケールアップ試験を行ったところ、地上部新鮮質量に関しては、産生物添加区、菌体接種区ともに約 20%の生育促進効果が確認された。また、播種後 14 日目の根の生育量について ImageJ を用いて画像解析を行ったところ産生物添加区で対照区の 1.62 倍、菌体接種区で 1.59 倍となった(面積比)。

1) 武川ら, 2019, 日本微生物生態学会第 33 回大会講演要旨集, 58.

2) 岩下ら, 2021, 日本水処理生物学会誌 57 (1), 1-9.

★P8

**阿蘇外輪山東部の半自然草地における放牧管理が
草本根系および土壌炭素蓄積量に与える影響**

齋藤温子^{*1)}・白井里奈²⁾・坂上翼³⁾・山口滉太¹⁾・町田怜子⁴⁾・下嶋聖⁴⁾・茂木もも子⁴⁾・山田晋⁴⁾
・今井伸夫⁴⁾・檜谷昂⁴⁾・犬伏和之⁴⁾・大島宏行⁴⁾・加藤拓⁴⁾

¹⁾東京農業大学大学院, ²⁾北海道大学大学院, ³⁾「森の学校」キョロロ, ⁴⁾東京農業大学

*連絡先 (10425001@nodai.ac.jp)

【背景】

阿蘇外輪山には古くから野焼きや採草、放牧といった人為的作用によって維持されてきた半自然草地が広がり、土壌炭素 (Soil Organic Carbon; SOC) 蓄積量が大きい黒ボク土が分布している。この SOC の C 給源として、野焼きによる微粒炭だけでなく、地下部バイオマス (Belowground Biomass; BGB) の影響が大きい可能性が指摘された (Toma et al., 2013)。また、放牧地においては、家畜由来の糞尿の投入による微生物活性の上昇や、踏圧による土壌の緻密化による植物生産量の低下が SOC 蓄積量の減少をもたらす可能性が考えられるが、阿蘇地域での知見は少ない。本研究は、阿蘇外輪山東部における約 50 年間の放牧管理が草本根系および SOC 蓄積量に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

【方法】

阿蘇外輪山東部に位置する町古閑牧野 (阿蘇市一の宮町) の放牧をしていないススキ野焼き区 (B 区)、牧草採草区 (I 区) 各 3 地点と、ススキ野焼き放牧区 (Bg 区) および牧草採草放牧区 (Ig 区) を各 1 地点、合計 8 地点を調査地とした。各草地の土地利用は 50 年前から維持されており、放牧地では、毎年 9 月～11 月にかけて放牧していた。各区で土壌断面調査を行い、層別別土壌試料の全 C・N 量および仮比重を測定した。また、表層から 3 層位までの土壌試料 1 L を不攪乱で各層位 3 反復ずつ採取し、粗大有機物をサイズ別に篩別・回収した後、乾燥重量を測定し、根系および植物残渣を含めた地下部有機物量を BGB 量とした。さらに、各画分の C 濃度から地下部バイオマス炭素 (Belowground biomass carbon; BGBC) 量を算出した。また、5 cm 間隔で深さ 25 cm まで採取した土壌試料中の C 安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) を用いて、牧草 (C3 植物) の SOC 寄与率を算出した。SOC 蓄積量は、土壌深度固定法と土壌質量均等 (Equivalent Soil Mass ; ESM) 法で算出した。

【結果および考察】

B 区および Bg 区の表層には炭が供給されており、表層の TC は増加していたが、表層から次表層にかけての TC、TN を減少させる傾向にあり、特に Ig 区でその傾向が認められた。また、Bg 区および Ig 区の表層で仮比重が大きい傾向にあった。深さ 0～30 cm の BGBC 量は放牧管理の有無で変化しなかった。しかし、深さ 10～30 cm に存在するススキの地下茎や牧草のひげ根は、無放牧区と比較して多かったことから、放牧地では根系が下層でも発達することが示唆された。さらに、Ig 区の深さ 0～25 cm における SOC のうち、C3 植物由来 C が占める割合が高い傾向にあったことから、下層まで牧草由来 C が供給され、SOC として蓄積していることが示唆された。ESM 法で算出した SOC 蓄積量は、Bg 区の約 0～10 cm 深においては放牧影響が認められなかったが、約 0～30 cm 深の SOC 蓄積量は両地点とも減少傾向にあり、特に Ig 区で大きく減少していた。これらのことから、阿蘇外輪山東部における約 50 年間の放牧管理は表層土壌の有機物分解を促進し、SOC 蓄積量を減少させる傾向にあった。しかし、炭として表層土壌へ供給され、かつ BGB 量が多い Bg 区は Ig 区よりも SOC 蓄積減少量が小さい傾向にあったことから、土壌への C 供給量が大きいことが SOC 蓄積量減少の抑制に繋がることが示唆された。

★P9

リン酸局所施肥パッチサイズおよびパッチへの根の誘導がコムギの生育に与える影響

藤元琴羽・関澤央宜・神山拓也*

宇都宮大学農学部

*連絡先 (koyama@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

【背景および目的】リン酸肥料は枯渇が危惧されており、効率的な利用が求められている。コムギにおいては、同量の施肥量であってもリン酸局所施肥区では、局所施肥パッチで根が繁茂することで全層施肥区に比べ収量が向上することが報告されている。これを踏まえ、本研究においては、(目的Ⅰ)リン酸局所施肥パッチに根を人為的に誘導した場合、(目的Ⅱ)施肥量は変えずに、リン酸局所施肥パッチのサイズを、幅を一定にして鉛直方向へ拡大した場合、地上部乾物重が増加するのかを検証した。

【材料および方法】供試品種は「農林61号」とし、25/20℃のガラス室で栽培した。実験Ⅰでは、根系誘導、リン酸局所施肥、リン酸局所施肥+根系誘導の3因子に対してそれぞれ4水準を設けた。土壌中窒素・カリ濃度はすべての処理で同じにした。まず、高さは同一で直径の異なる4種類のポットを用い、根の分布を段階的に制御した。この際、ポット間で土壌中リン酸濃度が同じになるように施用したものを根系誘導区とした。これに対して、ポットが小さくなるほどリン酸濃度が高くなるように施肥したものをリン酸局所施肥+根系誘導区とした。また、前2因子で用いた最大サイズのポットを用いて、同量のリン酸を段階的に局所施肥したものをリン酸局所施肥区とした。この処理区作成の際、施肥範囲は根系誘導の範囲と同一にした。以上のポットを完全無作為化法(n = 4)で45日間栽培した。栽培後に地上部および地下部乾物重を測定した。実験Ⅱでは、窒素・リン酸・カリはすべての処理で同量とし、窒素・カリは全層施用した。リン酸は、リン酸局所施肥パッチサイズを5水準(無、極小、小、中、大)設け、無は全層施肥とした。完全無作為化法で38日間栽培し、栽培後、地上部乾物重と根表面積を測定した。

【結果および考察】(実験Ⅰ)地上部と地下部乾物重は、根系誘導を行うと減少したが、リン酸局所施肥を行うと対照区に比べ有意に増加した。その結果、リン酸局所施肥区の地上部乾物重はリン酸局所施肥+根系誘導を行った値に比べ有意に高くなった。

(実験Ⅱ)地上部乾物重は、無区に対して小、中、大区で有意に増加したが、無区と極小区との間には有意な差は認められなかった。地上部乾物重は小区を最大としてパッチサイズが大きくなると減少した。根表面積はリン酸局所施肥に応答して増加し、パッチ内の値は無区の2倍以上となった。また、地上部乾物重と同様の傾向を示した。

以上の結果から、リン酸局所施肥パッチに根を人為的に誘導するよりも、リン酸局所施肥のみを実施した方が生育は改善し、そのリン酸局所施肥パッチサイズには最適な大きさが存在することが分かった。

P10

北方落葉広葉樹の根滲出物の炭素量と構成分子種の解析

遠藤いず貴^{*1), 2)}・郷久美空²⁾・大越研人²⁾・井手淳一郎²⁾¹⁾兵庫県立大学環境人間学部, ²⁾公立千歳科学技術大学理工学部

*連絡先(izok@shse.u-hyogo.ac.jp)

北方林では地下部の有機物由来の炭素蓄積量は大きく、樹木根からの滲出物は炭素循環に影響する可能性がある。なぜなら、樹木の根端から放出される滲出物は、土壤微生物による根圏の有機物分解を促進し、森林地下部からの二酸化炭素の放出量を増加させるプライミング効果を誘発するといわれているためである。根滲出物に含まれるどのような物質がプライミング効果を誘発するのかということを把握することは、北方林の炭素循環を理解する上で重要である。しかしながら、北方樹種の根滲出物に関する情報は限られており、その量や成分については十分に明らかになっていない。これは根滲出物の試料を採取する際、試料汚染を抑えつつ採取量を確保することが難しいためである。既往研究では、根滲出物量が樹種や根の直径や比表面積といった形態と関連することが報告されている。そこで本研究では、北海道に生育する落葉広葉樹種であるシラカバを対象として、根滲出物の炭素量と根の形態との関係を検討することを目的とした。そのため、シリンジ法を用いて根滲出物を採取し、炭素量を測定し、また、対象の樹木細根を採取し、その形態を解析した。加えて、根滲出物を正確に採取できているかを把握するため、シラカバ周辺の土壤水を採取し、その炭素濃度と有機物分子種を測定し、シラカバの根滲出物のものと比較した。根滲出物と土壤水の有機物分子種の測定については飛行時間型質量分析計(TOF-MS)を用いた。

根滲出物の採取は、北海道千歳市美々公園(42°47'N 141°42'E)の森林内のシラカバ成木を対象として行った。2024年8月に、シラカバ根系を傷つけないように掘り出し、その根系をシリンジに入れた培養液に24時間浸して滲出物を採取した(計6根系)。ブランクとして、根滲出物を採取した地点3カ所に培養液のみを入れたシリンジを設置した。根滲出物を採取した後の根系はスキャナーでスキャンし、根系解析ソフトWinRHIZOで解析し、直径別の根長、比表面積(SRA)、比根長(SRL)、根組織密度(RTD)を算出した。土壤水は根滲出物を採取したシラカバ周辺5カ所で、同時期に土壤水採水装置(ミズツール)を用いて採取した。根滲出物、土壤水およびブランクはろ過し、全有機炭素計で溶存有機炭素(DOC)濃度を測定した。また、ろ過した試料水を固相抽出した後、飛行時間型質量分析計(TOF-MS)を用いて分子量を測定した。得られた分子量から分子種に分け、根滲出物と土壤水のクラスター解析を行った。

クラスター解析の結果、シラカバの根滲出物と土壤水の類似性が低かったことから、根滲出物を採取できたことが分かった。シラカバの根滲出物のDOC濃度は0–0.30 mg C L⁻¹、炭素量は0–0.56 mg C g⁻¹ h⁻¹、平均炭素量は0.14(標準偏差±0.20) mg C g⁻¹ h⁻¹であった。また、シラカバの根滲出炭素量とSRAとSRLには有意な正の相関が認められた($p < 0.05$)。このことから、分枝が多い根系や若い細根を含む根系はより多くの根滲出物を出すことが考えられた。

P11

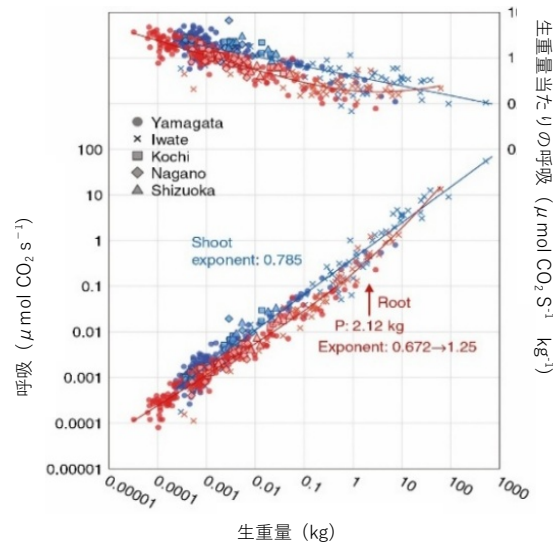
樹木個体の成長とともに増加する力学的負荷は根・幹の呼吸増加を促し
成長制限要因となるか森茂太^{*1)}・黒澤陽子²⁾・相蘇春菜¹⁾¹⁾山形大学農学部, ²⁾森林総合研究所林木育種センター

*連絡先 (morishigeta@tds1.tr.yamagata-u.ac.jp)

樹木個体の成長制御機構の解明には遺伝学, 生理学, 生態学など広い視点が必要であり, 境界領域の未解決課題である。未解決理由には, 芽生え～大木個体の呼吸, 光合成, 蒸散などの生理特性を正確に多数実測することが困難なため解明への焦点が絞りづらい点が挙げられる。水と炭素獲得を担い成長を制御する地上・地下部のエネルギーコストの個体発生学的変化を把握することで成長制御機構の解明に結びつくと考えた。そこで, 我々は個体成長を制御するとされるエネルギー代謝である個体呼吸を地下部と地上部に分け, 熱帯～亜寒帯の約 100 種の芽生え～大木約 1300 個体を材料に大小の個体測定装置 (Mori et al., *PNAS*, 2010) を用い実測した。

測定の結果, 地下部の重量・表面積当たりの呼吸は成長初期に減少するものの, 成長後期に上昇するという予想外の現象 (第 1 図) を発見した (Kurosawa & Mori et al., *Ann Bot*, 2023; Kurosawa & Mori, et al., *Proc Royal Soc B*, 2025)。これは [非同化部の重量, 表面積当たりの呼吸は成長とともに減少し続ける] という従来の常識を覆す知見である。さらに, 幹下部の太い部分 (力学的負荷の高い部位) は重量当たりの呼吸が高だけでなく, 個体呼吸に高い割合を占めることを示しており (Mori & Hagihara, *J Jpn For Soc*, 1987), 成長に伴い力学的な負荷がかかる非同化部にコストのかかるアテ材 (あるいは丈夫な組織) が増加することで生じた呼吸上昇と考えた。

かつて非同化部の太さと重量当たりの呼吸速度との関係式に樹形パイプモデルを組み込んだ個体呼吸推定モデルが構築され, 森林全体の呼吸が評価された。これらのモデルでは重量当たりの呼吸は幹や根が太い程低く, この結果は定説として広く受け入れられている。しかし, 成長した樹木ほど重量当たり呼吸が上昇する傾向は, 様々な樹種に一般的である (Kurosawa & Mori, et al., *Proc Royal Soc B*, 2025)。この定説のみを前提条件に, この成長に伴う呼吸上昇を無視した場合には森林全体の呼吸推定値は過小になる可能性がある。この成長に伴う呼吸上昇は, 樹木成長飽和の見過ごしされて来た要因となるだけでなく, 丈夫な材組織の形成が通水に影響する可能性もあり, これらを個体レベルで検討する必要性は高い。本発表では, この成長に伴って生じる様々な現象を軸に, 機能 (生理生態) と構造 (木材組織) を個体レベルで統合理解する試みとその意義について紹介する。



第 1 図. プナ個体地上 (青), 地下部 (赤) の生重量と呼吸, 及び重量当たりの呼吸との関係 (Kurosawa & Mori et al. *Ann. Bot.*, 2023 より)

★P12

根箱とリボンヒーターを用いた根の局所加温応答観察系の確立

原口果子^{*1)}・房相佑^{1),2)}・神山拓也^{1),2)}・大西孝幸^{1),2)}

¹⁾宇都宮大学大学院地域創生科学研究科, ²⁾宇都宮大学農学部

*連絡先 (mc256580@s.utsunomiya-u.ac.jp)

【背景】植物の根は栄養条件, 水分, 重力, 機械刺激, 微生物, 病害などの環境条件に応じて柔軟に生長を変化させる. 本研究では, 根こぶ病に対する根の初期応答を可視下で経時的に観察できる実験系を開発した.

根こぶ病は, 絶対寄生菌 *Plasmodiophora brassicae* によって引き起こされ, 主にアブラナ科植物で発生する土壌伝染病害である. ダイコンにおいて, 発症時における根の構造の変化を捉える目的で, 病土が入ったポットでダイコンを栽培し, 病徴の観察を行った. しかし, 個体あるいは同一個体内の部位ごとに症状程度にばらつきが大きく, 採取するまで病徴の状況を観察できないことが問題となった. そこで, 本研究では, 温度制御下で狙った場所に発症させ, 根こぶ形成の初期過程を観察できる実験系を確立した.

【方法】20 °C未満では根こぶ病発症が遅れる (Javed 2022) ため, Group1 (Hatakeyama et al. 2004) 分類される根こぶ病菌を 1.0×10^6 個/g 含む病土を作製し, 根箱に詰め, 室温 18 °Cの部屋で罹病性品種である‘ビタミン大根’ (株式会社トーホク) を栽培した. 主根が 15 cm 以上伸長した後, リボンヒーター (トラスコ中山株式会社) を用いて根の一部分を加温し, 加温部位を経時的に観察した.

【結果と考察】72 時間加温したところ, 加温開始から 15 日後に, 加温箇所を中心に上下 4 cm の幅で根こぶの形成を誘導することに成功した.

根こぶ形成部位について, 加温開始から 7, 13, 20 日後に組織切片観察を行ったところ, 7 日目に皮層細胞が肥大し, 13 日目に形成層と師部細胞が肥大した. そして, 20 日目に木部細胞の異常肥大と異常増殖が起こることを確認した. 先行研究では, シロイヌナズナやハクサイにおいて, 発病に伴って形成層と師部細胞の異常増殖や木部細胞の成熟阻害が起こることが報告されている (Malinowski 2012 ; Liu 2022). 一方で, 本研究の結果より, ダイコンでは形成層と師部細胞が異常肥大するだけでなく, 木部細胞においても異常肥大および異常増殖するという点で異なる可能性が示唆された.

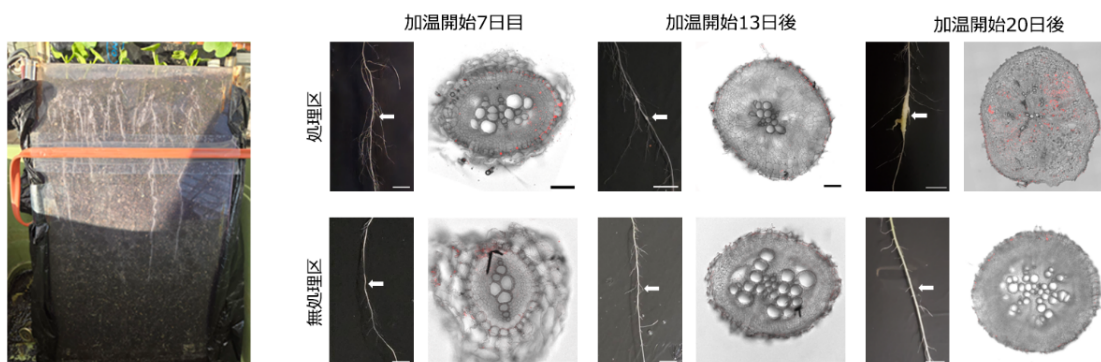


図1. 加温処理方法

図2. 加温開始7, 13, 20日後の発病部位の様子と矢印の部位における横断面画像. Nile Redを用いて根こぶ病菌の脂肪滴を染色した.

P13

コムギ根の評価にミニライゾトロンは本当に使えないのか？

橋本叡信¹⁾・青木博光¹⁾・神山拓也^{*1)}¹⁾宇都宮大学農学部

*連絡先 (koyama@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

現在の精密農業は主に地上部データに依存しており、土壌条件による植物の生育不良を直接検出することはできていない。本研究では、この現状を打破し、根系の空間的・時間的動態を把握するために、(1) 深層学習を用いた画像解析 (RootPainter) によるミニライゾトロン法の有効性を従来の破壊的手法であるトレンチプロファイル法および土壌コア法と比較して検証した。また、(2) 条に垂直に挿入した 5 本のミニライゾトロンチューブを用いた画像解析によって、2 次元の根分布動態の可視化が可能かどうかを評価した。観察用のチューブの埋設は、橋本ら (根の研究, in press) の方法で実施した。観察用のチューブと同径の鉄パイプを垂直に支えながら、上部に鉄製の蓋を装着し、ハンマーで打ち付け、ハンマーで打ち付けても鉄パイプが土中に侵入しなくなったときに、ハンドオーガーを用いて、鉄パイプ内の土壌を掻き出した。この作業を繰り返し、目的の埋設深度まで穴を形成した。形成後、パイプレンチで穴を崩さないように鉄パイプを引き抜き、チューブを形成した穴に押し込んだ。この方法により、作業労力を軽減し、チューブ周辺土壌の攪乱を最小限に抑えつつ、土壌とチューブを密着できた。また、ミニライゾトロンで取得した画像を、深層学習を用いた画像解析により解析した結果、土壌の色や水滴の影響を受けず、高精度に根を抽出できた。この方法で解析した根長と土壌コア法で得られた根長との決定係数は、トレンチ法と土壌コア法との値よりも高く、生育ステージや土壌深度ごとに見ても、深層学習を用いた画像解析によるミニライゾトロン法は一貫して高い予測精度を示した。さらに、約 90 cm の幅と 60 cm の深さにおける 2 次元の根分布動態を高精度で可視化することにも成功した。出穂期以降においては 30 cm 以深の根の検出に限界があるものの、先行研究により、茎立ち期の土壌深 30 cm 以内の根の観察により品種間や環境間の生育差を把握するには十分であることが示されている。以上より、深層学習を用いた画像解析によるミニライゾトロン法は、コムギの 2 次元の根分布動態の可視化に利用できると考えた。

★P14

樹木根系 3 次元モデルにおける根系バイオマス推定誤差とその補償に関する検討

田中優斗¹⁾・山瀬敬太郎²⁾・藤堂千景³⁾・大橋瑞江²⁾・森健介²⁾平野恭弘⁴⁾・谷川東子⁵⁾・檀浦正子⁶⁾・池野英利^{*1)}¹⁾福知山公立大学情報学部, ²⁾兵庫県立大学環境人間学部,³⁾兵庫県立農林水産技術総合センター, 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⁾京都大学大学院農学研究科

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

近年, 多雨や暴風などの異常気象の増加に伴い, 斜面崩壊の発生頻度や規模の増大が懸念されている。斜面の安定性に対しては, 地形や土壌の特性に加えて, 地表面下で土壌と直接接触している樹木根系の形態や特性も大きく影響していると思われる。このことから, 詳細な樹木根系の解析は, 斜面崩壊防止力の定量的理解や防災機能の最適化に有効であると考えられる。

現在, 樹木根系の形態計測については, エアースコップなどによって土壌を除去し, 露出した状態の根系に対して手動で計測を行う方法が一般的である。しかしながら, 手動計測は多大な時間と労力を要するうえ, 通常は計測後に埋め戻しを行うことから, 再度の計測は困難である。こうした背景を踏まえ, 我々は, 計測の効率化, 高精度化を目的として SfM/MVS 法を用いた計測手法の導入を進めている。SfM (Structure from Motion) は, デジタルカメラなどによって, 様々な方向や距離から撮影された多視点画像から特徴点を自動的に検出し, 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, および特徴点の座標を推定する手法である。さらに, MVS (Multi-View Stereo) は, SfM で推定したデータと撮影画像をもとに, 対象物の表面をより詳細に推定し, 高密度な 3 次元点群やメッシュモデルを生成する技術である。

しかしながら, この方法によって 3 次元モデルが再構成できるのは, カメラで撮影された範囲のみに限られ, 撮影が困難な部分の再構成が難しいという問題がある。特に, 樹木根系の計測に SfM/MVS 法を用いる場合, 地中から露出させた状態の根は, 依然として掘り取った穴の中にあることから, 根の裏側の撮影が困難であり, 地表側と比べてこの部分の精度が劣る傾向がある。3 次元モデルにおいて根系バイオマスを評価する場合, 我々は 3 次元モデルにおける根系の断面画像系列のピクセル数をカウントしていくことによって体積を算出している。しかしながら, 体積評価には長さの誤差が三乗で影響を及ぼすため, モデルにおけるわずかな計測誤差も, 体積推定の精度に大きく影響する。

本研究では, 樹木根系 3 次元モデルにおける根系バイオマスの推定誤差を補償することを目的とし, 樹木根断面の欠損補償方法を提案する。提案方法は, 対象とする根の断面画像において, 断面の輪郭を求めた後, 比較的精度の良い地表面側の輪郭から反対側の根系輪郭楕円を推定し, フィッティング行うものである。本方法を土壌を掘り取り根が露出した状態を模擬した模型に適用した結果, 補償を行わない場合と比べて体積誤差が半分程度となった。

★P15

**コムギ栽培において硝化抑制物質が
土壌無機態窒素濃度に与える影響とその簡易評価法**小南雪乃^{*1)}・下野裕之²⁾・松波麻耶²⁾¹⁾ 岩手大学大学院総合科学研究科, ²⁾ 岩手大学農学部

*連絡先 (g0425017@iwate-u.ac.jp)

【目的】コムギ栽培では収量・品質確保のために窒素肥料を多投するため、近年の肥料価格高騰と流亡した窒素による環境負荷軽減が課題である。そこで硝化抑制物質は硝化作用による流亡を抑制する点で窒素利用効率向上に有効と考えられるが、投入量に対する窒素動態変化の詳細は不明である。本研究では化学的硝化抑制剤（石灰窒素）・生物学的硝化抑制物質に対する土壌硝酸態窒素濃度の変化を明らかにした。また、精密値と硝酸イオンメーター値を比較し、その簡易評価法としての代替可能性を示した。

【材料および方法】2023 年及び 2024 年に岩手大学構内ガラス温室において 1/10000 a ワグネルポットを使用して栽培した。試験 1 は秋播きコムギ「ゆきちから」を供試した。窒素成分で 0.35 g/pot を施与し、うち石灰窒素-尿素の配合比を 100-0, 50-50, 25-75, 10-90, 5-95, 2-98, 0-100% に段階的に変化させた。試験 2 は春播き国際コムギ品種「Munal」と、Munal 親に BNI 能を付与した「Munal-BNI」を供試した。生育期間中は土壌溶液を採取して無機態窒素（NO₃-N）の溶脱濃度 [ppm/pot] を調査した。調査にはアルカリ還元ジアゾ色素法と硝酸イオンメーター（HORIBA LAQUAtwin NO3-11S）を使用し、精密値と簡易値を測定した。また、成熟期に土壌中の無機態窒素残存量 [mg/乾土 100g] を測定した。植物体については地上部乾物重、収量・収量構成要素、窒素含有量を調査した。

【結果】試験 1 では石灰窒素の比率が多いほど窒素溶脱量が有意に減少した。この傾向は植物の栄養吸収量が増加する 4 月以前に顕著で、特に移植後 94 日の平均溶脱濃度は石灰窒素 0% 区で 170 ppm/pot であったのに対して、石灰窒素 25% 区では 8.67 ppm/pot, 50% 区では 4.19 ppm/pot と溶脱量が大きく減少した。これは石灰窒素を 100% 施肥した場合の 0.67 ppm/pot と同様に低い傾向であった。試験 2 では生育後期において、Munal の窒素溶脱量 16.9 ppm/pot と比較し、Munal-BNI では 6.5 ppm/pot と減少した。これらの結果について精密値と簡易値を比較すると、回帰式の傾きは 0.89、決定係数 0.91 と高い正の相関関係が認められた。

【結論】コムギ栽培において、石灰窒素は 10~25% の施肥でも 8~9 割の溶脱削減効果があった。BNI 物質による硝化抑制は、石灰窒素と比較して効果が小さく個体間差もあったため、今後、栽培条件等との関連を検討する必要がある。なお溶脱窒素濃度の測定において、硝酸イオンメーターによる簡易値は精密値と決定係数 0.91 の高い線形相関を示し、簡易測定法としての有効性が示唆された。

【謝辞】本研究を行うにあたり、種子をご提供下さいました 国立開発研究法人 国際農林水産業研究センター様に深く感謝いたします。

★P16

地中レーダーを用いたカンショ根の自動検出および定量化

鄭美嘉^{*1)}・劉佳啓²⁾・石井孝佳³⁾・宇賀優作¹⁾¹⁾農研機構作物研究部門, ²⁾島根大学生物資源科学部, ³⁾鳥取大学乾燥地研究センター

*連絡先 (tei.mika583@naro.go.jp)

イモ類などの作物根系の発達は、収量に大きく影響する。しかし、地下部は視認できないため、形質評価や品種改良が困難である。野外での根堀りなどの破壊的手法は労力を要するうえ、生育途中での計測ができないことから、非破壊計測技術の活用が期待される。これまでに、非破壊計測技術として、屋内では X 線 CT や Rhizobox の利用がある。一方、野外では電気抵抗トモグラフィーや地中カメラなどが使用されているが、低分解能や視野の狭さといった課題がある。

地中レーダーは、土壌を透過する低周波電磁波を利用し、地層や地中の埋設物からの反射を検出する装置であり、これまで主に樹木根の計測を中心に研究が進められてきた。近年では、サイズや材質の制約により検出が困難とされていた作物の根においても、地中レーダーによる地下部の可視化手法が報告され始めている。たとえば、キャッサバ (Delgado et al., *Plant Methods*, 2017), コムギ (Liu et al., *Plant and Soil*, 2018), 落花生 (Dobrev et al., *Remote Sensing*, 2021), ソルガム (Wolfe et al., *Remote Sensing*, 2023), バレイショ (Ruiz-Guzman et al., *Computers and Electronics in Agriculture*, 2025) など、さまざまな作物種での応用が試みられている。

本報告では、乾燥や低肥料条件に対する耐性を持ち、栄養価の高い重要作物であるカンショを対象に、地中レーダーデータにフィルタリングやハフ変換のデジタル画像処理を適用することで、塊根の自動検出および収量の迅速な定量化を可能とする手法を開発し提案する。

なお、本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「令和5年度農林水産研究の推進(委託プロジェクト研究)みどりの品種開発加速化プロジェクト」JPJ012037 の支援を受けて行った。

P17

Photoperiod moderates the root growth and grain yield of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stressEkemini Obok^{1,2)}•Ping An^{*2)}•Anthony Eneji³⁾

¹⁾ Department of Crop Science, University of Calabar, Nigeria ²⁾ Arid Land Research Center, Tottori University, Japan ³⁾ Department of Soil Science, University of Calabar, Nigeria

^{*}(an.ping@tottori-u.ac.jp)

Abstract

Salt stress adversely impacts wheat production, leading to a reduction in economic yields and the primary effects are usually on the roots. A rapid screening approach such as speed breeding for salt tolerance is therefore necessary and desirable. Speed breeding (SB) reduces the seed-to-seed cycle in wheat through prolonged photoperiod but its effect on salt-tolerance responses in wheat is little understood. We studied the response of four spring wheat genotypes (GS-6058, JS-7, XinChun-31, Yongliang-15) to varying levels of NaCl-induced salt stress (0, 40, 80 mM) under two photoperiods (22 h light/2 h dark and 12 h light/12 dark). All the genotypes consistently produced more roots (determined as root dry weight – RDW) under the 22h/2h photoperiod in the order 0 > 40 > 80 mM NaCl. However, the shoot dry weight (SDW) among genotypes under the 22h/2h light regime was higher at 40 and 80 mM NaCl. There was a significant increase in salt-tolerance and grain yield across genotypes at the 22h/2h photoperiod compared to the 12h/12h photoperiod. For JS-7, no grains were produced at 80 mM under the 12h/12h photoperiod. The germination ability of grains at 0 and 40 mM under the 22h/2h photoperiod was comparable. Under the 22h/2h photoperiod at 0 and 40 mM all the genotypes had > 70% post-harvest seed germination ability. Although the RDW was poorly correlated with other attributes, including post-harvest germination (PHG) of seeds under the 12h/12h photoperiod, a highly significant positive correlation ($r = 0.80$, $p \leq 0.01$) with grain yield occurred under the 22h/2h photoperiod. Yongliang-15 and GS-6058, previously classified as salt-sensitive genotypes, along with JS-7, a salt-tolerant genotype, had increased GY with accompanying high RDW. The salt tolerance status of spring wheat was altered by an extended photoperiod with considerable effects on root development. The mechanisms of these alterations would need to be clarified in subsequent speed breeding and root-related studies under salt-stress.

★P18

シロイヌナズナ根におけるストロンチウムによる活性酸素種の生成と候補輸送体の抽出

長田武*・岡田佳之・國分皐世・尾上未央

摂南大学理工学部生命科学科

*連絡先 (t-nagata@lif.setsunan.ac.jp)

ストロンチウム(Sr)は土壌中に含まれているアルカリ土類金属の一種であり、液晶ガラスのディスプレイ等に含まれる。植物において Sr は非必須元素であるが、ダイズやアマランサスなどの植物種では高い Sr 吸収活性を有することが明らかにされている。我々はこれまでに、シロイヌナズナ(*Arabidopsis thaliana*)において Sr による根の伸長阻害や活性酸素種の一種である過酸化水素の生成を報告している。しかし、その吸収機構や毒性誘導機構は全く不明である。そこで、Sr によるスーパーオキシドアニオンの生成について検討するとともに、遺伝子ランダム変異株からの Sr 蓄積変異株をスクリーニングし、Sr の吸収機構の解明を試みた。

まず、根におけるスーパーオキシドアニオンの生成量について 2-メチル-6-(4-メトキシフェニル)イミダゾ[1,2-a]ピラジン-3(7H)-オン・塩酸塩(MCLA)を用いて測定を試みた。Sr 存在下で生育させたシロイヌナズナの根を収穫し、秤量・洗浄後、MCLA 溶液中に 10 分間浸漬した。再度、根を洗浄した後、ルミノメーターを用いて化学発光量を測定した。その結果、Sr 未処理の根と比較して、Sr 1 mM および 10 mM 存在下で生育させた根では高いスーパーオキシドアニオン濃度が検出された。一般的にスーパーオキシドアニオンは細胞膜上に存在する NADPH オキシダーゼ (RBOH)によって生成することが知られている。これらのことから、Sr は RBOH を介してスーパーオキシドアニオンを生成させている可能性が考えられる。また、生じたスーパーオキシドアニオンや過酸化水素による酸化バーストが生じている可能性が考えられ、Sr による根の生育阻害や細胞死の一因であると考えられる。

次に、Sr の吸収機構を明らかにするため、野生株シロイヌナズナ種子にエチルメタンスルホン酸を処理し、ランダムに遺伝子変異を導入した。得られた種子を Sr 存在下で生育し、葉に蓄積される Sr 量からスクリーニングを行った。スクリーニングにより選抜した2系統の候補株をそれぞれ3世代継代した。その後、第4世代の候補株の葉を採取し、ゲノム DNA を抽出した。ゲノム DNA の遺伝子変異を探索するため、次世代シーケンサーによりゲノム解読を行った。野生株のゲノム情報と比較し、2系統の候補株の変異遺伝子を探索した結果、それぞれおよそ30個の変異遺伝子を同定した。同定した変異遺伝子のうちイオン吸収に関わることが知られている遺伝子を2つ見出した。一つはファイトケラチン金属錯体を輸送することが知られているオリゴペプチド輸送体 6(OPT6)であり、645 残基のアラニンがスレオニンに変異していた。また、他方は Ca の膜輸送に関与し、非選択的カチオンチャンネルとして知られている環状ヌクレオチド活性化化チャンネル 9(CNGC9)であり、187 残基のグリシンがセリンへ変異していた。これらの結果から、Sr の吸収には輸送体やチャンネルが関与していると考えられる。

以上から、輸送体やチャンネルによって非特異的に吸収された Sr が組織中で RBOH を誘導し、酸化バーストを生じることで植物毒性を示すと考えられる。今後、OPT6 および CNGC9 のアミノ酸変異によって立体構造がどのように変化しているか明らかにしたいと考えている。

P19

硝酸欠乏応答における STOP1 依存的な根系構造改変の三次元解析

時澤睦朋^{*1)}

1) 電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部

*連絡先 (tokizawa40492@criepi.denken.or.jp)

窒素は植物の生育にとって最も重要な栄養素の一つであり、多くの作物は硝酸(NO_3^-)を主要な窒素源として選択的に吸収する。自然界の土壌では NO_3^- の分布はしばしば不均一であり、植物はこの環境に適応するため、 NO_3^- の豊富な領域で側根の成長を促進し、乏しい領域では抑制する仕組みを進化的に獲得してきた。この応答によって、植物は NO_3^- の多い場所に効率的に根を伸ばすことが可能となる。これまでの研究により、 NO_3^- トランスポーターである *NRT1.1* が NO_3^- 欠乏領域での側根生育抑制を制御していることが報告されている。私たちは最近、酸性土壌耐性のマスターレギュレーターである転写因子 STOP1 が直接 *NRT1.1* の転写を制御し、 NO_3^- 土壌不均一分布への適応を制御していることを明らかにした (Tokizawa *et al.*, *PNAS*, 2023)。

酸性土壌は、主に多雨地域で形成され、 NO_3^- の容脱が活発に進むことで広範な NO_3^- 欠乏状態が生じやすい。そのため、酸性土壌のマスターレギュレーターである STOP1 が硝酸欠乏応答を担うのは合理的である。ただし、*stop1* 機能欠損変異体を均一に NO_3^- 欠乏させた寒天培地で生育させると、野生株に比べて側根数が多く、根系サイズも大きくなる。この *stop1* 変異体の根系形態は、一般的に栄養欠乏時の適応的な形態である。つまり、STOP1 は不均一でない NO_3^- 欠乏応答においてはその適応にネガティブに影響するように見え。一方で、同条件において野生型と *stop1* の間で主根生育に差が認められなかった。そのため、STOP1 による側根発達抑制は、主根の生育を活性化することにより地下に移行した NO_3^- 獲得を促進する制御でもないと考えられる。

STOP1 が制御する側根発達抑制が根系全体の形態に及ぼす影響を検証するため、シロイヌナズナの根系を三次元で評価できる実験系を構築した。その実験系を用いて、均一な NO_3^- 欠乏に応答した *stop1* 変異体の根系の構造解析を行った。その結果、*stop1* 変異体では側根の形成や発達は活性化される一方で、根系の空間的な広がりはいずれも縮小することが分かった。すなわち、硝酸欠乏条件下の STOP1 による側根発達抑制は、三次元においては根系の空間分布を変化させることにより、根がより広範な土壌領域に到達可能となる適応であると考えられる。

P20

中国の半乾燥地林に生育する 4 樹種の細根形質の比較

福澤加里部^{*1)}・細川奈々枝²⁾・杜盛³⁾・龍見史恵⁴⁾・舘野龍之輔⁵⁾¹⁾北海道大学大学院北方生物圏フィールド科学センター, ²⁾森林総合研究所, ³⁾西北農林科技大学,⁴⁾沖縄科学技術大学院大学, ⁵⁾京都大学フィールド科学教育研究センター

*連絡先(caribu@fsc.hokudai.ac.jp)

中国内陸部に位置する黄土高原では、緑化のためにニセアカシア、油松および側柏などが植栽される一方、自然植生としてリョウトウナラ（以下ナラ）が生育している。同所的に生育する樹種間で細根形質を比較することは、樹種間の養分吸収特性の違いを理解する上で欠かせないが、細根形質に関する情報は限られている。そこで、中国の半乾燥地林に生育する 4 樹種の細根形質を比較した。

中国陝西省に位置する黄土高原において、隣接する自然植生であるナラ林、緑化林であるニセアカシア林、油松林および側柏林にプロットを設けた。各林分における地点反復は 3 とした。土壌深度 0-5、5-10、10-20、20-30 cm において細根を採取した。また一部地点では、30-50 cm においても採取した。水洗い後、スキャナー (Epson, GT-S630) を用いて 400 dpi, 16 ビットグレーにて、各地点各深度毎に拵げた根をスキャンした。そして乾燥重量を測定した (70°C, 48 時間)。比根長 (SRL, m g^{-1}) は、単位重量当たりの根長であり、各サンプルの総根長を乾燥重量で除することにより算出した。

SRL は、樹種および土壌深度が有意な影響を及ぼしていた ($P < 0.001$)。樹種別では、油松、側柏、ナラ、ニセアカシアの各深度の平均値の範囲はそれぞれ 6.7-12.0, 2.6-6.6, 3.0-12.0, 12.3-30.8 m g^{-1} であり、ニセアカシアで有意に高かった。SRL が大きいことは平均的に根が細いことを示す。油松、ナラは外生菌根菌、側柏、ニセアカシアがアーバスキュラー (AM) 菌根菌と共生する。また、油松、側柏は針葉樹、ナラ、ニセアカシアは広葉樹である。本研究では、SRL は AM 菌タイプ・広葉樹のニセアカシアで他の全樹種より有意に高い一方、AM 菌タイプ・針葉樹の側柏では低かった。したがって、SRL は菌根菌タイプ、針葉樹/広葉樹のみでは説明できず、両者が複合的に影響を及ぼしている可能性が示唆された。一方、土壌深度別の SRL は表層 0-5 cm において最も高く、深層になるほど低下して、明瞭な垂直変化がみられた。SRL と土壌水分や養分などの土壌環境との関係について検討することが必要であると考えられた。

★P21

冷温帯 9 樹種における細根の糖, アミノ酸, 有機酸の種特異性

橋本裕生^{*1)}・勝間帆波¹⁾・牧田直樹¹⁾¹⁾信州大学大学院総合医理工学研究科

*連絡先(yuhashy@gmail.com)

樹木細根(直径 2 mm 以下の根)は土壌からの養水分吸収の大部分を担っている。糖, アミノ酸, 有機酸といった一次代謝産物は樹木の成長や代謝の基質として利用される他, 根が吸収した資源の輸送や貯蔵に関与する。これらの一次代謝産物の貯蔵量や組成は樹木の生活様式によって異なり, 細根における資源の利用と環境適応を示す指標となるが, その樹種間差については十分に理解されていない。本研究では冷温帯林に生育する系統学的分類(針葉-裸子植物, 広葉-被子植物)と菌根菌共生型(アーバスキュラー菌根菌:AM, 外生菌根菌:ECM)が異なる 9 樹種がどのように細根に含有される糖, アミノ酸, 有機酸を資源獲得に利用するのか, そしてその樹種間の違いを明らかにすることを目的とした。

調査は 2019, 2020 年 8 月に長野県に位置する信州大学農学部附属手良沢山演習林にて行った。針葉-AM 樹種(スギ, ヒノキ), 針葉-ECM 樹種(アカマツ, カラマツ), 広葉-AM 樹種(ホオノキ, オニグルミ), 広葉-ECM 樹種(クリ, コナラ, シラカンバ)を対象とし, 細根を採取した。LC-MS 質量分析器を使用して細根に含有される可溶性糖 6 種類, アミノ酸 19 種類, 有機酸 12 種類を定量した。加えて, 細根の形態特性として比根長, 根組織密度, 平均根直径を測定した。

結果, 細根に含まれる一次代謝産物の総濃度は裸子植物の方が被子植物より高かった。糖濃度はオニグルミが最も高く, 被子植物で高い傾向があった。アミノ酸濃度はスギが最も高く, 裸子植物で高い傾向があった。有機酸濃度はスギが最も高かったが, 系統および菌根菌共生型による明確な違いはなかった。一次代謝産物と細根の形態特性の関係性をみると, 細根の糖濃度は比根長と有意な正の相関を, 平均根直径と負の相関を示した。アミノ酸濃度は比根長, 根組織密度と負の相関を, 平均根直径とは正の相関を示した。有機酸濃度はいずれの根特性とも有意な関係性を示さなかった。さらに, 一次代謝産物と形態特性の関係を統合的に解析した結果, 糖, アミノ酸, 有機酸の利用様式は系統学的違いに加え菌根菌共生型によっても異なった。針葉-AM 樹種は積極的な糖の消費によって代謝活性を高め, 根からのアミノ酸と有機酸の滲出を高めることで窒素やリンの吸収を容易にしていると考えられる。対して針葉-ECM 樹種の細根は資源獲得能力の高い形態を有しており, 糖を貯蔵しつつ吸収した栄養をアミノ酸や有機酸として即座に地上部へ輸送すると考えられる。広葉-AM 樹種は根および菌根菌への炭素投資と根滲出によって資源獲得を高めていると考えられる。一方で, 広葉-ECM 樹種は土壌環境に応じて細根の形態および一次代謝産物の利用を柔軟に調整していると考えられる。以上のことから, 細根に含まれる一次代謝産物は植物の系統学的分類だけでなく菌根菌共生型によって異なり, 樹種ごとの多様な資源獲得戦略を反映していた。

P22

草本と木本で異なる地下部・地上部呼吸スケーリング

黒澤陽子^{*1)}・森茂太²⁾¹⁾森林総合研究所林木育種センター, ²⁾山形大学農学部

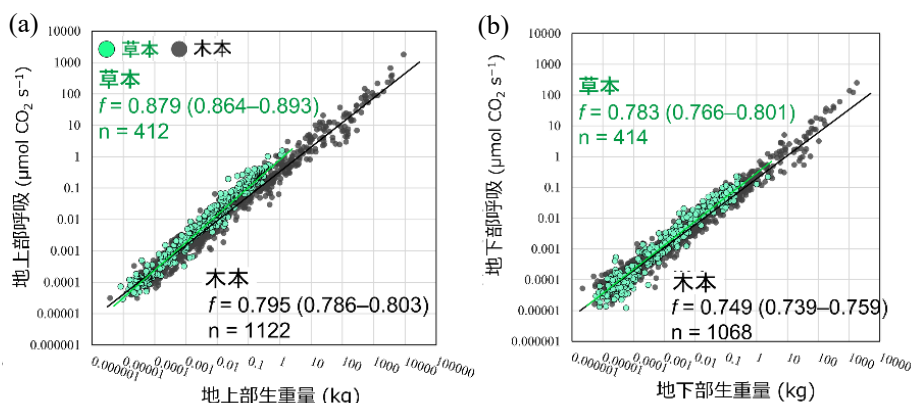
*連絡先(yokokurosawa.c@gmail.com)

草本と木本は陸上生態系の主要な構成要素であり, 両者の地上部と地下部の呼吸は陸上生態系炭素収支を左右する. 両者の芽生え～成熟個体のサイズ幅や寿命には大きな差があるため, 地上部・地下部の呼吸速度とサイズの関係 (スケーリング) は木本と草本で異なると予想される. しかし, 両者の芽生え～成熟個体の地上部・地下部呼吸の実測研究は殆ど無い.

そこで, 様々なサイズの密閉装置を使用してシベリア～熱帯の多様な系統・環境の木本 96 種 1243 個体と草本 33 種 463 個体の地上部・地上部全体の呼吸を測定した. これら地上部, 地下部, 及び個体全体の呼吸 (Y) と生重量 (M) の関係を, 系統を考慮した階層ベイズモデルを用いて累乗式 ($Y = FM^f$) でモデル化し, 木本と草本, 及び両者の異なる機能群 (常緑-落葉樹, 1 年-越年-多年草等) や系統 (裸子-被子, 単子葉類-双子葉類) 間で指数 f を比較した.

指数 f は, 木本より草本の方が統計的に高く, どちらも地下部より地上部の方が高かった (第 1 図). さらに, 木本・草本ともに機能群, 系統間で個体呼吸の指数 f に統計的な差は殆ど無かった. 従って, 木本・草本の両方で, 個体呼吸スケーリングは系統・環境を超えて収束することが示された.

従来, 呼吸速度を含む多様な植物形質は器官レベルでの環境・系統間差に着目して議論されることが多い. しかし, 本研究は芽生え～成熟個体の網羅的サンプリングと個体レベルの実測により, 呼吸スケーリングが系統・環境を超えて収束することを発見した. 木本は草本とは異なり, 継続的な二次成長で不活性組織を幹内部に大量に蓄積し, 構造的サポートを高めて大型化することが, 小さな草本よりも大きな木本で指数 f が低い理由である. 本結果は, 陸上生態系の地上・地下エネルギーフローを木本と草本に類型化し, 統一的に理解する新知見となる (Kurosawa and Mori et al., *Proc. Royal Soc. B*, 2025).



第 1 図 草本と木本の (a) 地上部, (b) 地下部の呼吸と生重量の関係

カッコ内の数値は指数 f の 95%信頼区間を示す. 地上部, 地下部の両方において指数 f は木本より草本の方が高い.

★P23

真正双子葉植物における根の放射構造進化 –解剖学的比較からの示唆–

佐藤友*¹⁾・古賀皓之¹⁾・塚谷裕一¹⁾

¹⁾ 東京大学大学院理学系研究科

*連絡先 (sato-tomo451@g.ecc.u-tokyo.ac.jp)

真正双子葉植物は約 19 万種が属す大きな分類群である (Simpson, Academic Press, 2019). 真正双子葉植物の花や葉の形態には非常に高い多様性がみられるが、一方で根の解剖学的形態の多様性にはほとんど注目が向けられてこなかった. そのため、真正双子葉植物の中で、系統ごとにどのような根の形態的差異があるか、といった知見は不足している. 本研究では、水生植物の細胞間隙の観察を通して、真正双子葉植物の根の放射構造に系統に応じた差異がある可能性を見出した. そこで、水生植物を多く含む 10 目以上の真正双子葉植物、2 目の単子葉植物、および 1 目の基部被子植物について根の徒手切片を作成し、細胞間隙を中心とした形態を比較観察することにより、根の放射構造の進化について体系的に検討した.

まず先行研究と同様に (Seago et al., Annals of Botany, 2005), 多くの真正双子葉植物が、内皮 (endodermis) より外側に離生細胞間隙を形成するという共通性が確認できた. 一方、真正双子葉植物の中でも、バラ類とキク類の 2 大系統間において、細胞間隙の形成される位置に差異が見られることがわかった (第 1 図). すなわち、バラ類の植物では表皮 (epidermis) と下皮 (hypodermis) の 2 層には細胞間隙が形成されず、その内側の 3 層目の皮層から細胞間隙が形成された. 一方で、キク類では表皮と下皮、およびその直下の皮層 (cortex) の 3 層に細胞間隙が形成されず、そのさらに内側の 4 層目の皮層から細胞間隙が形成されることがわかった. さらに、厚壁組織を欠く単子葉植物の根や、基部被子植物の根においては、バラ類と同様に 3 層目から細胞間隙が形成されることが確認できた. また、いくつかの水生植物の根には葉緑体がみられたが、葉緑体はバラ類、キク類ともに下皮より内側の皮層に形成されることがわかった. すなわち、キク類の外側から 3 層目の細胞層は、より内側の皮層だけでなく、下皮とも異なる性質をもつことが示唆された.

以上の結果を合わせて、真正双子葉植物の根には、内皮の外側に、表皮から数えて以下の 4 つのアイデンティティをもつ細胞層が存在するという仮説が得られた. すなわち、①表皮細胞層、②葉緑体や細胞間隙の形成されない下皮の細胞層、③キク類特異的で、細胞間隙は形成されないが葉緑体が形成される皮層細胞層、および④細胞間隙と葉緑体が形成される皮層細胞層、の 4 つである. つまり、真正双子葉植物の進化過程において、キク類特異的な③の細胞層の獲得という特徴的なイベントが起こった可能性がある. 本発表ではこれらの解剖学的観察結果に基づき、根の放射構造の進化について議論したい.



第 1 図. 解剖学的観察から示唆された根の各細胞層のアイデンティティ.

Root Research

根の研究

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: neken2025@jsrr.jp

根研究学会ホームページ <http://www.jsrr.jp/>

根の研究 第34巻 別冊1号

2025年6月30日印刷 2025年6月30日発行

発行人: 亀岡笑・田島亮介 〒980-8572 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉468-1
東北大学農学部

編集・印刷: 第61回根研究集会実行委員会(委員長 亀岡笑・田島亮介)



Root Research

Japanese Society for Root Research