

ISSN 0919-2182
Vol.33, No.S2
Dec 2024

Root Research

Japanese Society for Root Research

第60回根研究集会要旨集

2024年12月14-15日

東海大学阿蘇くまもと臨空校舎

第33卷 別冊2号
根の研究
根研究学会(JSRR)

第 82 回根研究集会 (82y 'Dkppwcn'O ggwp "qh'LLTT) 要旨集"

目 次"

"		
プログラム"	• • • • • • • • •	4"
"		
受賞講演要旨"	• • • • • • • • •	9"
"		
口頭発表要旨"	• • • • • • • • •	35"
"		
ポスター発表"	• • • • • • • • •	49"
"		
"		
"		
"		
"		
第 82 回根研究集会"		

4246 年 34 月 36 日 (土)・37 日 (日) "

〒: 83/4427"熊本県上益城郡益城町杉堂: 93/34"

東海大学"阿蘇くまもと臨空校舎"

実行委員 : 阿部"淳・佐伯"爽 (東海大学農学部) "

第60回根研究集会（2024年12月14日・15日）プログラム

14日（土）

9:30	受付開始	
10:15	開会	
	口頭発表 第1部	*登壇者、※優秀発表賞エントリー
10:20		1-1 外生的なアブシジン酸の投与はオオムギの根の外皮をスベリン化して 座長：犬飼義明 酸素漏出バリアをつくる。塩野克宏*・松浦晴香
10:37		※1-2 水陸両生植物における異形根性の形態と制御機構および進化。佐藤友 *・古賀皓之・塚谷裕一
10:54		※1-3 スギ第一世代精英樹と第二世代精英樹における根系構造の品種間差。 吉村知也*・祁答院宥樹・渡辺敦史
11:11		※1-4 根部気化冷却と酸素剤併用による高温時におけるレタスの生育抑制の 軽減。深田萌絵・淨閑正史・塚越覚・千葉奈菜・中野明正
11:28		※1-5 リン酸局所施肥位置へのコムギの根の物理的誘導で根長および収量は 座長：中野明正 増加するのか。藤元琴羽*・橋本叡信・青木博光・田島亮介・神山拓 也
11:45		※1-6 湿水ストレス後の窒素施用がその後のコムギの生育に及ぼす影響。 尾上明日香、甲斐浩臣、轟貴智、田村萌、柿田英希
12:02		※1-7 ペーパーポットによるサツマイモの育苗条件が初期生育と収量に及ぼ す影響。勝田瑞阜*・栗原未結・西中未央・田口和憲
12:19	昼休み	学内食堂は休業。南門から左（東）へ徒歩10分にコンビニあり
13:10	授賞式	受賞講演
13:20	学術功労賞	島村聰：ダイズの耐湿性向上のための二次通気組織に関する研究。 (紹介：小柳敦史)
13:45	学術奨励賞	河合翼：イネにおける可塑的な側根形態制御機構の解明。 (紹介： 犬飼義明)
14:10	学術奨励賞	神山拓也：菌根菌資材や根の可塑性を利用したリン酸施肥量削減に向 けた栽培技術。 (紹介：山内章)
14:35	学術奨励賞	菅井徹人：多雪地域における春先の樹木根の動態をおよびその形質特 性に関する研究。 (紹介：牧田直樹)
15:00	休憩	※優秀発表賞エントリー
15:10	ポスター発表第1部	1-1 犬飼義明、1-2 鈴木達郎、※1-3 児玉晋洋、※1-4 村田淳之 介、※1-5 室永藤子、※1-6 金澤姫
15:40	ポスター発表第2部	※2-1 長田武、※2-2 秋山颯多郎、※2-3 庄司森、※2-4 田中優 斗、2-5 吉村謙一
16:10	ポスター発表第3部	※3-1 栗原未結、3-2 藤田早紀、3-3 向井伸生、※3-4 増本泰 河、※3-5 平野侑
16:40	懇親会場に移動開始	大学バスで帰る方は、16:30にバスが出発します

14日（土）	16:40	懇親会場（食堂）へ移動開始
	17:00	懇親会
	19:00	懇親会閉会
	19:30	肥後大津行きワゴン出発

15日（日）

8:40 受付開始

口頭発表 第2部 *登壇者、※優秀発表賞エントリー

9:00 ※2-1 幸田ヒノキ林におけるARATAモデル最適化の手法.

座長：牧田直樹 吉田陽向*・柳瀬亮太・山形拓人・吉江凜平・谷川東子・大橋瑞江・池野英利・平野恭弘

9:17 ※2-2 表層から個体根系最深部までの土壤物理化学特性の変化がスギ細根形態に与える影響. 柳瀬亮太*・谷川東子・藤堂千景・黒見信輔・金子祥也・山瀬敬太郎・池野英利・大橋瑞江・檀浦正子・松山哲矢・林亮太・平野恭弘

9:34 ※2-3 スキナ法によるスギ根系の分岐様式の観察. 趙星一*・大橋瑞江

9:51 座長：平野侑 ※2-4 樹木細根系の解剖構造は季節変動するのか？：ヒノキとスギにおける根の原生木部数からの探求. 細井彩*・増本泰河・牧田直樹

10:08 2-5 樹木細根フェノロジー解析のためのデータ共有システムの紹介と課題. 森健介*・池野英利・檀浦正子・平野恭弘・野口享太郎・小林元・大橋瑞江

10:25 2-6 樹木細根における輸送機能と吸収機能の境目はどこ？：可視-近赤外分光法からの探索. 牧田直樹*・谷川夏子・中路達郎

10:42 休憩

10:50 閉会式

優秀発表賞の表彰

11:05 閉会・解散

大学バスで帰る方は、11:10にバスが出発します

11:20 阿蘇見学ツアー出発

17:30 阿蘇見学ツアー解散（駅・空港）

ポスター発表

*発表者, ※優秀発表賞エントリー

第1部 14日 15:10~

- 1-1 イネ側根形成の分子機構解明とその根系形態改良への応用. DONG, Yihao・金生真綾・櫛田聖也・LIPIO, Patrick Louie G.・犬飼義明*
- 1-2 多年生ソバの湛水耐性の評価. 鈴木達郎*・松浦朝奈・黒河凜緒・松島憲一・勝田端皐
- ※ 1-3 3Dデータを活用したサツマイモ軟腐病のリスク診断AIの作成. 児玉晋洋*・田口和憲・西中未央・郭威
- ※ 1-4 スギ挿し木における不定根形成メカニズムの再整理に向けた挿し木試験. 村田淳之介*・渡辺敦史
- ※ 1-5 植物ホルモン応答と挿し木難発根性樹種センダンの不定根誘導の関係. 室永藤子*・村田淳之介・向井伸生・三樹陽一郎・渡辺敦史
- ※ 1-6 ベニバナイチヤクソウの窒素嗜好性：部分的菌従属栄養植物の養分獲得戦略. 金澤姫*・添田愛莉・竹中柊太・米田和博・諏訪竜之介・牧田直樹

第2部 14日 15:40~

- ※ 2-1 シロイヌナズナにおけるビスマスによる根の細胞膜障害作用と形態形成への影響. 長田武*・浦直哉・小林良・中村遥香
- ※ 2-2 砂質土壤における間断灌漑の灌水閾値がイネの生育および根系発育に及ぼす影響. 秋山颯多郎・亀岡笑
- ※ 2-3 雪による地下部冷却は春先の葉の拡大を抑制する. 庄司 森*・吉村謙一
- ※ 2-4 Linuxをベースとした土壤スキャナ画像の自動収集装置の開発. 田中優斗*・大橋瑞江・森健介・趙星一・池野英利
- 2-5 多雪ブナ林の急峻な谷地形における林床植物の地下部形態の傾斜に対する応答. 吉村謙一*・平紅樺里

第3部 14日 16:10~

- ※ 3-1 サツマイモネコブセンチュウ抵抗性検定圃場における線虫抵抗性と系譜解析. 栗原未結*・西中未央・田口和憲
- 3-2 光ファイバセンサを用いた樹木粗根の肥大方向の評価. 藤田早紀*・山本勝

- 3-3 エアザシを用いたチャンチンモドキの挿し木発根特性の評価
向井伸生*・渡辺敦史・三樹陽一郎
- ※ 3-4 モンゴル北東部の森林－草原エコトーンにおける主要3樹種の細根形質の種特異性. 増本泰河*・牧田直樹・Davaajav Dalkhsuren・Gerelbaatar Sukhbaatar・Baatarbileg Nachin・城田徹央・安江恒
- ※ 3-5 森林限界域における樹木の細根ホスファターゼ活性と土壤リン・窒素濃度の関係性. 平野侑*・諏訪竜之介・北上雄大・牧田直樹

受賞講演

要　旨

ダイズの耐湿性向上のための二次通気組織に関する研究

島村聰*

農研機構 九州沖縄農業研究センター

*連絡先 (shimamu@affrc.go.jp)

我が国におけるダイズ生産の約 80%以上は水田転換畑で行われているが、水田転換畑は水を溜めるために整備されていることから、硬い耕盤層があり排水不良で土壤は過湿になりやすい。このため湿害が発生しやすく、畑作物のダイズは生育不良となり低収となる。イネは湛水条件下においても根腐れせず湿害を被らないのは、葉や茎から取り込んだ酸素を根系に運ぶための管となる通気組織が形成されるためである。ダイズの耐湿性向上を目指して、通気組織に関する研究を行うとともに、耐湿性研究の進展に資するため、通気組織の種類や成因、特徴を整理して詳しく解説するとともに、耐湿性や通気組織の研究に不可欠な空隙率の測定法の解説などを行ってきた。

1. マメ科の植物種およびダイズの品種における通気組織の変異に関する研究

湛水条件下で発根する不定根の皮層には破生細胞間隙などによる通気組織が発達することが知られている。まず、ツルマメやダイズなど 9 種 19 品種・系統のマメ科幼植物を畑条件と過湿条件で約 2 週間生育させ、胚軸から発生した不定根に通気組織として生ずる細胞間隙が形成されるのか調査した。過湿条件ではダイズ、ツルマメ、アズキ、ケツルアズキ、リョクトウでは不定根の皮層に破生細胞間隙が認められたが、フジマメ、インゲンマメおよびササゲでは破生細胞間隙は認められないなど、大きな種間差異があることが明らかになった。また、マメ科植物の中では比較的耐湿性が強いツルマメやダイズなどでは二次分裂組織であるコルク形成層から形成される白色でスポンジ状の二次通気組織が形成されやすく、ダイズにおいてその形成量には品種間差異があることを明らかにした。

2. ダイズにおける二次通気組織の通気機能に関する研究

二次通気組織の発達の経過を詳細に調べたところ、湛水処理を行うと 4 日後には胚軸の維管束間形成層の外側に二次分裂組織が生じ、将来、二次通気組織になる細胞が分化した。その後、湛水 14 日後には胚軸に明らかな二次通気組織が形成され、胚軸の空隙率は 30% を超えた。湛水処理 3 週間後には、白いスポンジ状の二次通気組織が胚軸、主根、不定根および根粒にまで連続して形成され、通気機能が発揮できる体制が構築されることを明らかにした。実験的に二次通気組織が機能しないように、胚軸にできた空気の取り込み口をワセリンでふさぐと、ダイズの乾物重と根粒の量の低下程度が著しく、根粒活性の指標となるニトロゲナーゼの活性やウレイド窒素の量も激減することから、二次通気組織は湛水条件下において胚軸から根、根から根粒への酸素供給を行っており、二次通気組織は根粒による窒素固定の維持にも寄与していることが推測できた。さらに $^{18}\text{O}_2$ トレーサーを使った実験により、二次通気組織が酸素を根系に運ぶことに貢献していることを直接的に実証した。

3. ダイズにおける二次通気組織の形成メカニズムに関する研究"

二次通気組織とコルク組織はコルク形成層から形成され、相同関係にある。コルク組織は死細胞から構成され、細胞壁はスペリン化しており、植物ホルモンのひとつであるアブシジン酸" *CDC+"によりスペリン合成が促進される。一方、二次通気組織は生細胞から構成され、細胞間隙に富み、細胞壁はスペリン化しないことから、CDC が二次通気組織形成に影響しているのではないかと考えられた。湛水条件ではダイズの胚軸の空隙率が二次通気組織の形成により高まるが、CDC 処理を行うと細胞間隙ができず空隙率が上昇しないこと、二次通気組織が形成される胚軸の CDC 内生量は顕著に低下することが判明した。このことから、コルク形成層から二次通気組織が形成されるメカニズムには内生 CDC の低下が関係していると推測された。また、二次通気組織が形成されるメカニズムには光合成産物のスクロースも関与していることを明らかにした。"

"

4. 二次通気組織に関する研究手法の整理ならびに教育と普及"

現在では通気組織は一次組織の皮層組織に形成される一次通気組織" *破生通気組織や離生通気組織+"を示すことが多く、特にイネ、トウモロコシ、コムギなどの主要作物を対象にした研究が多い。しかし通気組織研究の黎明期はコルク形成層から形成される二次通気組織を対象にしていることが多く、用語 Cgtgpej {o c" *ダイソ語 Cμtgpej {o +"は二次通気組織を意味していた。黎明期から現在までの二次通気組織の研究史については国内にとどまらず海外に向けても発信した。また、植物の耐湿性の研究を活性化するために、通気組織の量的評価を可能にする空隙率の測定法について、比重瓶法、アルキメデス法および切片法を「根の研究」に紹介した。5 種類の測定法を研究の目的や材料の種類によって、用いるべき最適な手法が異なることを紹介し、それぞれの測定法の特徴や測定に際しての注意点を分かりやすくまとめ、論文などにはあまり記載されていない測定の注意点やテクニックを詳しく解説した。"

"

5. マメ科植物以外の通気組織の形態学的観察"

ヘチマを湛水条件下で栽培すると、ダイズと同様に多数の不定根が水中に出根する。しばらくすると根の表面に白色で軟質な組織が発達して浮遊し、根の横断面を見るとダイズと異なる特異な細胞間隙を形成することを見いだした。この細胞間隙の形成過程を見ると、まず表皮近傍の皮層細胞が放射方向に伸長し、アルファベットの V を横に倒した「>」のような形状となった。その後伸長した細胞に接する中心柱側の細胞が放射方向に伸長し、この過程を繰り返して細胞間隙が発達した。この伸長細胞は撥水性軟質海綿状の性質を持っていた。他のウリ科植物では皮層細胞間隙を形成する報告がなく、またアカバナ科チョウジタデ属" *湿生植物のチョウジタデやミズキンバイなど"などの呼吸根に限られている。"

"

地球温暖化による気候変動により少雨化による干ばつが注目されているが、一部の地域では多雨による湿害も問題となっている。ダイズを含め畑作物がイネのような耐湿性を獲得できれば湿害問題を解決できるが、多くの研究者が試みてはいるものの道半ばである。これまでにダイズを中心に通気組織に着目した耐湿性研究を行ってきたが、これらの成果が今後の畑作物の耐湿性研究に貢献できれば幸いであり、また分子生物学のさらなる発展により湿害克服の吉報を期待したい。"

イネにおける可塑的な側根形態制御機構の解明

河合翼*

農研機構・作物研究部門

・連絡先(mey ckw 4; B chte@ qdr)"

イネ科作物は."形態学的・解剖学的特徴および機能的役割の異なる U型側根と N型側根を形成する"イネにおいて."天水田のように土壤の乾燥が頻発する環境下で."乾燥ストレスに応答して."太く."長く."高次の側根を生じる N型側根を可塑的に形成し."根域を拡大する能力が地上部生育の維持に貢献する"しかし."普段目に見えない根系の可塑的形質の遺伝学的解析は困難であり."可塑的な側根発育を制御する分子機構は未知であった"発表者は."以下の研究成果により."イネの可塑的な側根形態制御機構の一端を明らかにした"3+N型側根の誘導系"根端切除法"の確立"

主軸根の根端が傷害を受けたときに側根発育が促進される現象に着目し."水耕栽培したイネ種子根の根端を切除することで N型側根を誘導する根端切除法を確立した" *Mey ckgvcr04239."RnrvTqqv" 根端切除後に生じた側根形態の解析により."直径が大きい側根ほど長く伸長し."二次側根を形成したことから."側根直径を決定づける側根原基サイズの制御が側根形態の形成に重要である可能性を見出した"

4."側根原基サイズ制御機構の解明"

側根原基サイズ制御に関わる遺伝子を同定するため."根端切除法を用いて野生株よりも多くの N型側根を形成する変異体を選抜し."その原因遺伝子として側根原基サイズ増加のブレーキとして働く SJ DIQuY QZ7 遺伝子を同定した"さらに."レーザーマイクロダイセクション法により単離した側根原基における網羅的遺伝子発現解析により."U型・N型側根原基での発現変動遺伝子を見出し."側根原基サイズ増加のアクセルとして働く QuY QZ32 遺伝子を同定した" *Mey ckgvcr04244c."RPCU" また."コントロール条件下で野生株よりも多くの N型側根を形成する変異体の原因遺伝子として."植物ホルモンオーキシンの分布に関する膜輸送関連タンパク質ダイナミンを見出し."側根原基基部へのオーキシン蓄積が QuY QZ32 遺伝子の発現誘導を通じて側根原基サイズを増加させることを明らかにした" *Mey ckgvcr04244d."HtqpvRnrvUklo"

5."可塑的な N型側根形成による根系補償生長作用の解析"

主軸根根端の傷害に応答した可塑的な N型側根形成が."根系および地上部生育に及ぼす効果を明らかにするため."西オーストラリア大学で開発された Ugo kq {ftqrqple"rj gpqv{r kpi "u{ugo を用いて日豪イネ品種の根端切除に対する根系形態変化を解析した"その結果."根端切除後の N型側根発達が主軸根の生長を補償し."総根長および地上部生育の維持に寄与することを明らかにした"また."根端切除に対する根系形態の応答に品種間差が存在し."冠根数の制御により N型側根形成による補償生長を強化できる可能性を明らかにした" *Mey ckgvcr04244e."HtqpvRnrvUklo"

"

以上のように発表者は."乾燥ストレス下での収量安定性に重要な機能をもつ可塑的な側根発育について."その遺伝学的制御機構の一端を明らかにした"今後さらに研究を積み重ねて."側根可塑性や根系形態の遺伝的改変による."イネ品種の環境ストレス耐性向上や低環境負荷化に有用な遺伝子リソースを構築したい"

菌根菌資材や根の可塑性を利用したリン酸施肥量削減に向けた栽培技術

神山拓也

宇都宮大学

連絡先 (m{co cB ee0wawpqo k{c/w@e0r)"

日本はリン酸肥料原料の 322%を輸入に依存しており、近年の世界的な肥料価格の高騰を受け、生産者の経営を圧迫している。これまでに、私は、植物のリン吸収を促進するアーバスキュラー菌根"CO+菌質材を活用するための土壤条件を解明した。現在は、根の可塑性を利用したリン酸局所施肥技術の開発を進めている。これらの研究を進める上で、根系標本を採取するための装置とその利用法を開発した。"

30'アーバスキュラー菌根*CO+菌質材を活用するための土壤条件の解明"

CO 菌資材の接種効果に影響を及ぼす土壤要因を解明するために、接種菌の早期菌根形成・定着と接種効果を分離して既報論文をまとめ、接種効果への影響力の強い方から、土着菌の感染源"土壤中の胞子、菌根形成根や外生菌糸ネットワーク"の密度、土壤の有機物含量、水分、窒素、リンを特定した"神山・佐藤"根の研究"423; + そこで、接種効果への影響が大きい、土着菌の感染源の密度を栽培前歴により、土壤中のリン酸量を施肥により変化させた圃場で、CO 菌接種試験を実施した。CO 菌特異的な分子マーカーにより根の中の CO 菌叢を解析した結果、リン酸施肥による影響は認められず、土着菌が少ない圃場でのみ、接種菌が定着し、増収に寄与することを明らかになった" *Pky c"cpf 'Mq{co c"gv'crf'Uel0'Tgr 0'423: + また、同一圃場で、翌年もダイズを栽培した結果、前年に接種した CO 菌が圃場に残留し、翌年もダイズに定着し、収量増に寄与するが、これらの効果は限定的であることがわかった" *未発表+。"

40'根の可塑性を利用したリン酸局所施肥技術の開発"

リン酸の局所施肥による効果を最大化するためには、生育向上に適した局所施肥条件を解明し、形態と機能の異なる根"種子根、節根、側根"がいつ、どこで、どのようにその条件に反応し、根系全体の可塑性に寄与するのかを明らかにする必要がある。透明な根箱の底面をスキャンした画像や、圃場でミニライゾトロンにより取得した画像を深層学習を用いた画像解析技術により解析することで、局所施肥に対して根が繁茂する現象を経時的に解析できる手法を確立した。この手法を用い、異形根のうち、側根のみが発根直後から土壤中の可給態リン濃度に応じて分布を最適化し、局所施肥により土壤中に十分なリン濃度差があるときのみ、均一施肥した場合に比べ、生育を改善させることを明らかにした" *J cuj ko qvq "gv'crf'Rcpv'Uqkl'4246+ また、圃場でリン酸を条下に帯状施肥した結果、その施肥位置で根が繁茂し、収量を増加させることができた" *未発表+。"

50'根箱・ピンボード法に用いる根系採取装置の開発と利用法"

上述の研究を進める中で、土壤中に発達した根系の構成根の配置や構造を破壊せずに根系全体を採取し、保存するために、従来の根箱・ピンボード法を応用した根系採取装置を開発した" *神山ら"根の研究"4239+。根系標本全体をそのまま染色することで、局所的に感染した CO 菌による根の繁茂応答や、根系の部位別の呼吸活性を視覚化できることを示し、根系標本の新たな利用法を提示した" *Mq{co c"gv'crf'Rcpv'O gj qf u'4243+。"引き続き研究を進め、リン酸だけでなく他の施肥量も削減しつつ収量を改善できる作物栽培技術の開発と発展に寄与していきたい。"

多雪地域における春先の樹木根の動態およびその形態特性に関する研究

菅井 徹人

森林研究・整備機構 森林総合研究所 北海道支所

(sugai922@ffpri.affrc.go.jp)

気候変動が急速に進行しており、森林生態系への影響が懸念される。亜寒帯地域では、特に冬季の気候変化が顕著であり、気温上昇や積雪量の減少、土壌凍結頻度の増加等により北方林の劣化が懸念されている。一般に樹木は移動分散の能力が低いため、特に寒冷環境に適応した集団では環境変化に対する可塑性や、自生環境に対する適応（局所適応）の重要性が再認識されている。近年では、可塑性や局所適応の地理的パターンに基づいて、種や集団が適応可能な地域を選抜し、そこに苗木を移植する技術が開発されている。気候変動下では移植した苗木の健全な活着が根の動態に依存するため、その成長や機能の季節的な変動が可塑的な応答なのか、環境に依存しない振る舞いなのかを解明することが急務となる。

植物の根は通常地下にあるため、その調査には多大な労力と時間を要し、掘り上げた根を継続調査することが難しい。しかし、植物を理解する上で根の特性は欠かせない。特に、永年性の樹木において根が一年を通じて、いつ・どのように成長するのかを解明することは、その生態学的な理解に加え、森林を管理する上でも重要となる（佐藤 1995 北林試研報）。

発表者は、北海道に広く分布し、局所適応が認められる常緑針葉樹トドマツ苗木を対象として、多雪域と少雪域由来の集団の根系動態と形態特性を、多雪域の共通圃場で比較した。多雪域集団では、雪解け直後の早春から、その後1ヶ月が経過した晩春にかけて、土壌空間の探索能に優れるパイオニア根の本数や比根長が増加し、中心柱の厚みが減少することが観察された。この結果は、パイオニア根の成長動態がトドマツの集団間で種内変異しており、多雪域集団では早春から晩春にかけて未熟なパイオニア根が発生したことを示唆する（Sugai et al. 2024 Int J Plant Sci）。一方、破壊的手法による根系動態の評価には限界があり、特に早春のパイオニア根が成熟した時期は未解明であった。そこで発表者はスキャナ法を共通圃場試験に応用し、パイオニア根の成長を秋から翌春にかけて非破壊で追跡した。苗木の植栽と同時に根箱を設置し、攪乱の影響を最小限に抑えた結果、パイオニア根は積雪前の地温約2度で成長を停止しており、厳冬期の積雪下では形態を維持したまま越冬していた様子が観察された。また、雪解け前の地温約8度で成長を再開する様子も観察された。この結果から、パイオニア根は少なくとも前年の冬までに、形態的には成熟が完了していたこと、またパイオニア根の成長と地温条件の関係は停止と再開時期で異なることが示唆された。

以上、発表者は、トドマツ苗木をモデルとして、多雪地域における根の成長動態およびその種内変異の可能性を検証してきた。雪の下、重く冷たい土の中から根を掘り起こすには、共同研究者からの熱い支援が不可欠であった。今後、樹木根の成長の季節的な動態に関する分子生理的メカニズムや、種内変異と紐づく環境勾配等を解明することで、冬の気候変動に直面している北方林を管理するための新たな基盤が構築できると考えられる。

"

"

"

"

口頭発表"

"

"

要　旨"

"

"

外生的なアブシジン酸の投与はオオムギの根の外皮を スペリン化して酸素漏出バリアをつくる

塩野克宏¹⁾・松浦晴香¹⁾

¹⁾福井県立大学生物資源学部

・連絡先 (uj kqpqnB hr wQeOr)"

湛水した土壤を植物根が成長するには、酸素通気が不可欠である。通気組織は拡散により移動する酸素の通り道となる。イネを含むいくつかの湿生植物は、根の基部に酸素漏出¹⁾を抑制する酸素漏出バリアを形成することで、呼吸のための酸素を根端に供給し、湛水土壤における根の成長を可能にしている。オオムギなどの畑作物は、酸素漏出バリアを形成できない。我々は、これまでの研究でアブシジン酸²⁾シグナルが、過湿状態のイネにおける酸素漏出バリアの誘導に関与する発見した³⁾。イネは本来、好気的環境では酸素漏出バリアをつくりないが、外生的に CDC を投与すると、イネの外皮がスペリン化し、酸素漏出バリアを誘導することができた。そのことから、我々は、オオムギにおいても CDC 外生投与により、外皮のスペリン化を伴った、酸素漏出バリアの誘導がみられるとの仮説を立て、その仮説を検証することにした。なお、本発表では本年、我々が Cppcn⁴⁾ "355; 536; 62."4246" 誌に公表したものと解説する。

異なる濃度の外生 CDC を好気的な水耕栽培をしたオオムギ⁵⁾の根に投与し、円筒型酸素電極法とメチレンブルー染色法により、定量的、定性的に酸素漏出バリアの形成を評価した。さらに、根の空隙率の計測と、根のスペリン⁶⁾の蓄積、カスパリー線⁷⁾の形成状態を組織染色により観察した。加えて、アポプラストトレーサを用いた根の透過性を評価した。

外生的な CDC の投与は、オオムギの不定根の下皮をスペリン化し、酸素漏出バリアの形成を誘導した。さらに、下皮にカスパリー線を形成するとともに、アポプラストトレーサ(過ヨウ素酸)の根への流入を阻害するバリアを形成させた。一方、CDC の外生投与は根の空隙率に影響しなかった。

本研究は、人工的な条件下ではあるものの、外生的に CDC を投与することで、オオムギであっても根の外側に酸素漏出バリアとアポプラストバリアを誘導できることを示した。本研究は、オオムギ⁸⁾非湿生植物⁹⁾とイネ¹⁰⁾湿生植物¹¹⁾における酸素漏出バリアの誘導能が異なる理由として、湛水環境に対する根の CDC シグナル伝達の違いに起因するのかもしれないという可能性を提示した。

水陸両生植物における異形根性の形態と制御機構および進化

佐藤友・古賀皓之・塚谷裕一

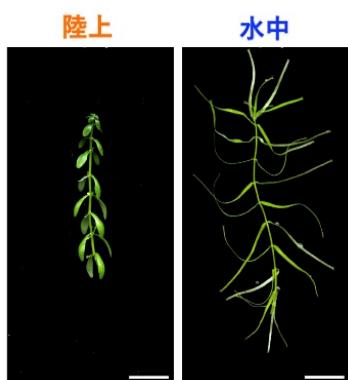
東京大学大学院理学系研究科

・連絡先 (ucvq/vqo q673B i Qgee0w/vqm(q0e0r)"

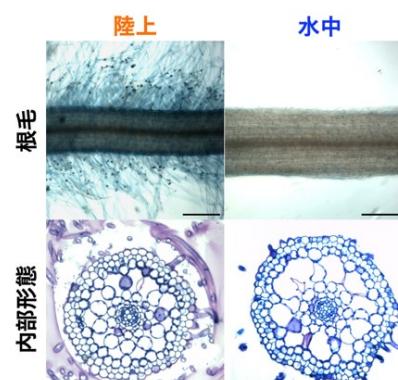
本文: 水陸両生植物とは、陸上と水中の 2 つの環境で生育できる植物である。多くの水陸両生植物で、環境によって葉の形態を大きく変える表現型可塑性である「異形葉性」が報告されており、その制御機構についても詳細な形態的、分子生物学的解析が行なわれてきた (Koga et al., Annual Review of Plant Biology, 2024 など)。その一方で、これらの水陸両生植物において根の形態は観察ほとんど行なわれておらず、水陸両生植物における根の表現型可塑性についての知見は乏しい。

そこで本研究では、顕著な異形葉性をもつオオバコ科アワゴケ属の水陸両生植物ミズハコベ (*Callitriches palustris*, 第 1 図) について、無菌培養系を用いて陸上と水中における根の形態を比較観察した。これにより、ミズハコベには根毛および内部形態について顕著な表現型可塑性、すなわち「異形根性」がみられることが発見した。陸上条件では根毛が豊富で、細く細胞間隙率の低い根が形成されるのに対し、水中条件では根毛が乏しく、太く細胞間隙率の高い根が形成された (第 2 図)。根毛の表現型可塑性は根からの水分吸収の必要性が低い水中で根毛の形成コストを削減すること、細胞間隙の可塑性はイネなどで研究されているように (Takahashi et al., Plant Cell Monographs, 2014 など)、水中における酸欠ストレストレスの緩和することに寄与すると推測される。一方、ミズハコベの細胞間隙の形成においてはイネのような細胞死だけでなく、細胞剥離や、水中条件で細胞分裂が増加して根が太くなり、細胞間隙の形成されるスペースの割合が上昇することも重要であることがわかった。

異形根性の制御機構について調べるため、水陸両生植物の異形葉性の制御に重要な植物ホルモンやその阻害剤の処理を行なったところ、アブシシン酸が根毛形成を正に制御し、ジベレリンが細胞分裂を負に制御することで、陸上条件の根が誘導されることがわかった。さらに、アワゴケ属の近縁種や系統的に離れたアカバナ科の水陸両生植物 *Ludwigia arcuata* の観察から、根毛の表現型可塑性が収斂進化した可能性が示唆された。本発表では、新しく発見された水陸両生植物の異形根性について、形態、植物ホルモンによる制御機構、および進化の観点から報告する。



第 1 図. ミズハコベの異形葉性。
スケールバー: 1 cm



第 2 図. ミズハコベの異形根性。
スケールバー: 200 μm (上), 100 μm (下)

スギ第一世代精英樹と第二世代精英樹における根系構造の品種間差

吉村知也¹⁾・祁答院宥樹²⁾・渡辺敦史³⁾

¹⁾九州大学大学院生物資源環境科学府, ²⁾鹿児島県森林技術総合センター, ³⁾九州大学大学院農学研究院
・連絡先({quj ko wtc0qo q{c@2: B u0n{ wuj w/wqe0r})"

樹木の地下部は、樹体全体のバイオマスの 2 割ほどを占める(刈住, 全国林業改良普及協会, 1978; 山場, 広島県林技セ研報, 2007)。加えて、樹木根は、養水分吸収機能および樹体支持機能を担う重要な器官であり、特に樹体支持機能は、土砂崩壊防止機能の発揮にも寄与する。しかしながら、樹木根の掘り取りには多大な労力と時間を要するため(刈住, 樹木根系図説, 1987), その特性把握は地上部の各器官と比較して遅れているとされる。

スギ (*Cryptomeria japonica*) は、日本において植林面積が最も大きい樹種である。日本では 1950 年代から産業利用のため成長や材質、さらには雄花着花性に基づいた優良系統の作出(精英樹選抜育種事業)が試みられており、現在第二世代品種が利用され始めた。しかし、スギの品種選抜において根の形質に関する項目はなく、地下部の育種はスギにおいて未だ行われていない。

本研究では、2013 年 2 月鹿児島県姶良市に設定された試験林において、第一世代精英樹の 1 品種(鹿児島 1 号)と第二世代精英樹の 2 品種(九育 2-33 と九育 2-160)の計 3 品種を選定し、それぞれ 3 個体ずつ計 9 個体の地下部を 2023 年 11 月に掘りとった(第 1 図)。その後、根径 5 mm 以上で定義される中径根以上の根を残し(第 2 図), SfM-MVS により三次元復元を行った。さらに、幹から直接発根する一次根の数や根元からの距離に応じた根の断面積合計を実測するとともに、斜面方位や発根角度ごとの根量分布を算出した。同一試験地に植栽されたスギ 3 品種が示す地下部の特性について報告するとともに、スギ根系育種の可能性について言及する。



第 3 図. 根掘り取りの様子



第 4 図. 写真撮影の様子" (スケールは全長 40)



根部気化冷却と酸素剤併用による高温時におけるレタスの生育抑制の軽減

深田萌絵¹⁾・淨閑正史²⁾・塚越覚³⁾・千葉奈菜⁴⁾・中野明正^{*2)}

¹⁾千葉大学園芸学研究科, ²⁾千葉大学園芸学研究院, ³⁾千葉大学環境健康フィールド科学センター,⁴⁾保土谷化学工業(株)

*連絡先 (anakano@chiba-u.jp)

緒言 地球温暖化が高温期の作物生産に致命的な影響を与えていることを背景に、種々のハウス内や培地の昇温防止技術が取り入れられている。その中でも安価で取り入れやすい対策として、まず気化冷却作用による手法を選定した。また、一般的に地温上昇による根の呼吸量増加に伴い、根の酸素不足が発生し、収量が低下することも想定された。そこで、夏期の高温によるレタスの生育抑制を低減する手法として、新たに考案した気化冷却による根域冷却法と酸素剤の底面置床法（特開2024-100716）の組み合わせによる効果を評価した。

材料および方法 2024年9月3日にレタス‘フリルアイス’（雪印種苗）をロックウールキューブ（縦横高さ：2 cm×2 cm×1.5 cm）に播種し、水道水を用いて人工光型植物工場（気温：25°C、明期：16 h, PPF：200 μmol m⁻² s⁻¹）にて1週間育苗した。同年9月11日に、発酵牛糞堆肥（N-P-K：1.5-2.1-2.8）20 gと細粒赤玉土を混和した300 mL ポットに定植した。試験は温室内で行った。試験区は酸素剤底面置床処理（O）の有無と、被覆型気化冷却処理（W）の有無を組み合わせた計4試験区（C区（対照区）、O区、W区、OW区）を設け、各処理区12株ずつとした。給水方法は全試験区で給水シート（ジャームガード・東洋紡）による底面給液法を採用した。被覆型気化冷却処理区では給水シートで培地上面まで覆い、培地上面に送風（平均0.7 m/s）を行うことで気化冷却作用促進を試みた。酸素剤底面置床処理区では酸素剤（ネハリエース：保土谷化学工業株式会社）2 gを袋状の不織布（縦横：2 cm×2 cm）に充填し、ポットの底面に置床した。地温、蒸発散速度、草丈の推移を測定し、同年10月21日に植物体のサンプリングを行った。根域の冷却および酸素剤の効果を評価するために、サンプリング時に合わせて、出液速度による根の活性の評価を行った。

結果および考察 ポット上部の土壤含水率は被覆型気化冷却処理の有無でそれぞれ54.4%，50.1%であった。昼夜温（7:00-18:00）は被覆型気化冷却処理区（W区、OW区）で処理無区（C区、O区）と比較して平均2.6°C低下した。また、処理無区（C区、O区）では培地温が40°C近くまで上昇する日があり、活着ができずに枯死した株が約8%発生した。蒸発散速度（区当たりの水の消費量）は、生育前期には被覆型気化冷却処理区（W区、OW区）で処理無区（C区、O区）と比較して有意に高かった。しかし、生育後期になると酸素剤底面置床処理区（O区、OW区）で処理無区（C区、W区）と比較して有意に高くなった。これらのことから、生育前期は被覆型気化冷却処理による蒸発散量の増加と、それに伴う高地温の抑制による生育改善が認められたと考えられた。そして、生育後期になると根が培地下部まで生育したことで酸素剤の効果が顕著に現れ、根の生育促進により根の吸水量が増加したと考えられた。収穫時の新鮮質量は被覆型気化冷却処理と酸素剤底面置床処理を共に施したOW区で最も大きく、次いで酸素剤底面置床処理のみを施したO区で大きかった。また、収穫時の出液速度も地上部の生育（総収量）と正の相関（R = 0.69）があり、被覆型気化冷却法と酸素剤底面置床法による相加的な根域環境の改善が、高温時における生育抑制の軽減に寄与する可能性が示唆された。

リン酸局所施肥位置へのコムギの根の物理的誘導で根長および収量は増加するのか

藤元琴羽³⁺・橋本叡信⁴⁺・青木博光⁴⁺・田島亮介⁵⁺・神山拓也^{3+4+*}

³⁾宇都宮大学農学部、⁴⁾宇都宮大学大学院地域創生科学研究科、⁵⁾東北大学大学院農学研究科

・連絡先(c45535: B u0wawpgo k(c/w@e0r)

【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、リン酸を局所施肥すると施肥位置で根を繁茂させ収量を増加させることが知られている。これを踏まえ、リン酸局所施肥位置へ遮根シートによりコムギの根を誘導することで収量は増加するのかを、ミニライゾトロンを用いた非破壊調査により検討した。

【材料および方法】"リン酸施肥方法" *全層^全, もしくは、局所^{局#}と遮根シートによる誘導の有無" *誘導有り^有, もしくは、無し^{無#}を組み合わせた 6 つの処理" *全有." 全無." 局有." 局無#をそれぞれ、長さ 50 の一条に対して実施し、6 反復の乱塊法で試験した。全区では窒素、リン酸、カリを"8, 34, 8i "o^{/4} で全層施用し、局区では条下にリン酸のみ深さ : eo の位置に幅 34eo で施用し、そこから深さ 8eo まで攪拌することで帶状に局所施用した。遮根シートは条播したすじから 90eo の位置に深さ"47eo まで左右均等に埋めた。コムギ品種は「農林"83"号」を条間 372eo, 株間 5eo" で播種した。根系はミニライゾトロン法で調査した。全ての処理区で直径 9eo のチューブを深さ 62eo まで、条上に垂直に挿入した。無区では条から 37"eo 離した位置にも 3 本挿入した。ミニライゾトロン法で取得した画像から、根をセグメンテーションするソフト" (TqqvRckpvg)" で根の抽出画像を作成し、その画像から画像解析ソフト" *Y kpTJ K+Q+ により根長を解析した。収穫後、収量および収量構成要素を計測した。茎立期、出穂期、収穫期に 72eo 内の個体をサンプリングし、地上部乾物重、収量および収量構成要素を計測した。

【結果および考察】"二元配置分散分析の結果、収量に有意な交互作用は認められなかつたが、それぞれの処理の影響は認められ、施肥方法により有意に増加し、誘導により有意に減少した。その結果、大きい順に、局無 472, 局有 3; 6, 全無 3: 8, 全有 35: i "o^{/3} となつた。そこで、まず、条上のチューブ上に現れた根について解析した。局所施肥をした深さ : /36eo のみで、茎立期に一過的に、施肥方法と誘導による有意な交互作用、つまり、根のリン酸局所施肥位置への誘導による相乗効果が認められ、長い方から局有、局無、全有、全無となつた。一方で、局所施肥をしていない他の位置では、"施肥方法による有意な影響は認められなかつた。しかし、これらの位置では、誘導により茎立期から収穫期まで、根長は有意に増加した。その結果、条上のチューブ深さ 2/62eo に現れた出穂期の根長は長い順に、局有、全有、局無、全無となつた。しかし、この誘導による条上のチューブの根の增加分は、条間の無区の深さ 2/62eo までの根長を超えることはなく、条上と条間の合計根長は長い方から順に、局無、全無、局有、全有となつた。以上より、リン酸局所施肥位置への根の誘導による相乗効果は一過的であり、局所施肥により施肥位置で根長は増加するが、条上と条間の合計根長は誘導によって減少し、その結果、収量が局無、局有、全無、全有の順になると考えられた。



図 1 . リン酸局所施肥と遮根シートが生育に及ぼす影響。手前から局有、全有、局無、全無。

湛水ストレス後の窒素施用がその後のコムギの生育に及ぼす影響

尾上明日香, 甲斐浩臣, 轟貴智, 田村萌, 柿田英希

福岡県農林業総合試験場

, 連絡先 (cuwqpqwgB hcte@tgh0wnwqne0r)

【目的】

近年, 気候変動に伴う生育期間中の降水量の増加により, コムギの収量, 品質の低下(湿害)が懸念されている。そのため, 生産者と実需者からは湿害の発生リスクを低減できるコムギ品種の開発を強く求められている。これまでの5か年, 生育初期での湛水処理がコムギの収量・品質に及ぼす影響とその品種・系統間差を調査してきた(尾上ら"4245)。その結果, 湛水処理を受けても収量が減りにくい系統は, 処理終了後の回復力が大きいことが特性の一つとして示唆された。今回, 湛水処理終了後の施肥量により有効茎歩合, 穂数, 収量や根の乾物重に差が認められたため報告する。

【材料および方法】

材料は4245年度(播種年度, 以下同じ)に福岡県の普及品種であるシロガネコムギを供試した。方法としては, 3月37日に同一の材料を, 湛水処理を実施する湛水区圃場と無処理区圃場に3区 60m^2 , 目標出芽本数: 7本 m^{-2} で播種し, 湛水処理開始前までは両圃場ともに同様の栽培を行った。基肥は窒素量で 7kg m^{-2} とした。湛水処理は本葉6~7葉期にあたる3月37日から3か月間, 湛水区圃場のみ暗渠, 止水栓を閉めて平日3日3回畠肩まで入水後, 自然落水する処理を行った。湛水処理終了後は暗渠, 止水栓を開放し, 無処理区圃場と同様の栽培を行った。追肥として窒素成分で 2.4kg m^{-2} の5水準 $*7-2.7-4.7-6$ を湛水区と無処理区にそれぞれ6反復設け, 湛水処理終了4週間後, 最高分げつ期にあたる4月4日に施用した。最高分げつ期の茎数, 6月中旬の穂数, 穗長の調査を行い, 収穫期に試験用コンバインで全量収穫後, 収量および収量構成要素を調査した。

【結果および考察】

これまで評価を行ってきた手法と同じ7-2区の整粒重は, 無処理区で 576g m^{-2} , 湛水区で 442g m^{-2} であり, 生育初期の湛水処理によって85%に減収した。対して, 7-4区, 7-6区では無処理区に対する湛水区の整粒重比(整粒重比)はそれぞれ95%, 98%となり, 追肥量を増やすほど整粒重比が大きくなる結果となつた。有効茎歩合や圃場における根の調査から, 同一品種でも湛水ストレスに応答して根の分布を制御していること, 湛水ストレスから脱したとき必要な窒素があることで, 植物体が回復し根や穂の形成が可能になることが示唆された。今後, 窒素量によりストレス下での生育や活動が変わるので, 脱ストレス下での回復に品種・系統間差があるのかなど, さらなる調査が必要となる。

本研究は、「国内産麦の研究開発支援事業」により行われた。

ペーパーポットによるサツマイモの育苗条件が初期生育と収量に及ぼす影響

勝田瑞阜²⁾・栗原未結¹⁾・西中未央¹⁾・田口和憲¹⁾

¹⁾国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 中日本農業研究センター

²⁾国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター
・連絡先" *newwco 274B pctq0hhe0 q0r +"

サツマイモの慣行栽培では."作業労働時間の約 6 割を育苗・植付け作業が占めている0'また."植付け用の 1 本の苗の大きさが 42"eo ~52"eo と大きく."形も不揃いであるため."手作業による植付け作業が中心である0'今後."一戸あたりの栽培面積を拡大し."大規模栽培が可能となる高効率な機械化作業体系に転換できるよう."植付け作業の機械化の進展は最重要の技術的課題である0'これまで."サツマイモの植付け作業の高効率な機械化をめざし、野菜などで機械化移植体系が確立しているセル成型苗を中心に研究開発が進められてきた.しかし、主要な青果用品種ではセル内で形成された根がまがった状態のまま肥大して、奇形いもが多発する問題があり."本法が適用できる品種は限られる" *姫野 4233+0'そこで本報告では."セル成型苗と同様に機械化移植体系が確立されているペーパーポット苗に着眼し."数種の育苗条件の違いが初期生育と収量に及ぼす影響を調査した0'

"

【試験方法】 材料は."「関東 384 号」."「高系 36 号」および"「べにはるか」の 5 品種である0'処理条件は." " 苗" *3 節" xu'3 節 3 葉+" 土" *ニッテンハードソイル" xu" ニッテン培土+" 紙筒長" *7"eo " xu'32"eo +" 育苗日数" *3 週間" xu" "4 週間+ および" 移植時に苗" *3 節 3 葉+" の茎葉部分を除去する摘葉" *有 xu" 無+" の 7 種類の組み合わせである0'実験は N6 型直交表に基づく実験計画法のもと."品種別に処理条件ごとの効果とその交互作用を分析した0'試験①では、ペーパーポット育苗は 4246 年 7 月 : 日から開始し. 園場移植は同 38 日および 46 日にハンド移植機を用いて行った0'移植後 36 週目に抜き取り調査を行い."試験区の塊根の形状観察と株ごとのいも重を測定した0'試験②では、苗" *3 節+" 育苗日数" *4 週間+" の苗を用いて."紙筒長" *7"eo +, 紙筒長" *32"eo +" および慣行苗の 5 処理間とする乱塊法とし."32 月 43 日に収量調査を行った0'

【結果】 試験①"各処理のいもの形状を比較すると. 奇形いもおよび丸いもなどが出やすい条件があり."幅広い塊根の形状が観察された0'このうち"D6 処理" *苗" *3 節 3 葉+" 紙筒長" *7"eo +" 育苗日数" *3 週間+"では、いずれの品種においても奇形率が 37' 以下と低かった0'さらに."「関東 384 号」および「高系 36 号」は."D6 処理の上いも重が慣行苗より有意に多かった0'また."直交表による処理条件の分析では."紙筒長" *7"eo +" と" 育苗日数" *3 週間+"は明らかに上いも重が高く."D6 処理の育苗が最も適した0'

試験② 収量調査結果では."苗" *3 節+" では."いずれの品種も慣行苗より収量が少なかった0'しかし."「関東 384 号」. 紙筒長" *7"eo +" は収量が最も多く、「関東 384 号」はペーパーポット育苗への適性があると考えられた."「関東 384 号」のペーパーポット苗では、N サイズの大きいいもの割合が多い傾向が認められ、これは埋設節数の減少にともない株あたりに発生する不定根の数が制限されたため."いも 3 個重が増加したものと推察された0'謝辞: 本研究の遂行にあたり."日本甜菜製糖株式会社より様々な長さのペーパーポット作成にご協力いただいた0'ここに記して感謝申し上げる0'

幸田ヒノキ林における ARATA モデル最適化の手法

吉田陽向¹⁾・柳瀬亮太²⁾・山形拓人³⁾・吉江凜平¹⁾

谷川東子⁴⁾・大橋瑞江³⁾・池野英利⁵⁾・平野恭弘^{1),2)}

¹⁾名古屋大理, ²⁾名古屋大環境, ³⁾兵庫県立大環境人間, ⁴⁾名古屋大生命農, ⁵⁾福知山公立大情報
・連絡先({quj kf cJ kpcw0l8B u0 ck0pc1 q{c/w0e0r})

樹木細根は、一般に直径 4"o o 以下で定義される根であり、森林の純一次生産量の約 5 割に寄与する。そのため、細根動態を評価することは森林土壤における炭素循環の解明に重要である。細根動態評価手法のひとつとして、フラットベッドスキャナーを用いて土壤断面を撮影し *Fcppqwtc"gv" cn0422: +、撮影画像から細根を抽出する方法がある。これまで画像からの細根抽出は手動で行われてきたが、*Mwo g"gv"cn0423: +、スキャナーで撮影した画像は1枚あたり 438"o o " "4; 9"o o " "7322"r kzgn" "923; "r kzgn+ とサイズが大きく、解析に多くの労力と時間を要することが課題である。そのため、近年では深層学習を用いた細根自動抽出が注目されている。そこで本研究では、深層学習による細根自動抽出モデル CTCVC"*[cdwnk"gv" cn04244+" を用いて、幸田ヒノキ林の画像解析を行うための端緒として、幸田ヒノキ林において CTCVC モデルによる細根画像抽出を最適化することを目的とした。

本研究では、まず CTCVC モデルに追加学習として、愛知県岡崎市の幸田ヒノキ林において撮影された画像データを加えた。次に幸田データ追加モデルを使用し、同じく幸田ヒノキ林において撮影された画像から細根を抽出した。学習には 7 枚、抽出には 4 枚のスキャナ画像を用いた。

はじめに、撮影後に何も処理を加えていない画像 *P : Pqto cn" 画像は暗くそのままでは細根は人の目で見にくい+で学習・抽出を行なった。幸田データ追加モデルでは、CTCVC モデルよりも抽出精度は大きく向上した。しかし、両モデルの抽出において、設置時に画面に記載された文字のノイズ検出が目立つ結果となった。そこで、文字ノイズが検出される部分のみ黒く塗りつぶした画像 (PD:Pqto cn"Drrem) で学習・抽出を行なったところ、学習・抽出精度は向上した。次に、PD 画像に対して、画像編集ソフトウェア I KOR にてホワイトバランス自動調整を行なった画像 *PDY : Pqto cn"Drrem"Y j kg+ で学習・抽出を行なった。その結果、学習・抽出精度は、PD 画像のみを学習させた場合よりも向上した。また、PD 画像と PDY 画像ともに学習させた場合には、PD 画像のみまたは PDY 画像のみを学習させた場合よりも学習・抽出精度はさらに向上した。本発表では、これらの結果から、CTCVC モデルを細根解析したい調査地に応用する際、効率的な学習方法について考察する。

表層から個体根系最深部までの土壤物理化学特性の変化がスギ細根形態に与える影響

柳瀬亮太³⁾・谷川東子⁴⁺・藤堂千景⁵⁺・黒見信輔³⁾・金子祥也³⁾・山瀬敬太郎⁵⁺

池野英利⁶⁺・大橋瑞江⁷⁺・檀浦正子⁸⁺・杣山哲矢³⁾・林亮太⁴⁺・平野恭弘³⁾

³⁾名古屋大環境学, ⁴⁾名古屋大生命農学, ⁵⁾兵庫県農林水産技セ森林林業セ,

⁶⁾福知山公大情報学, ⁷⁾兵庫県立大環境人間学, ⁸⁾京都大農学

・連絡先({cpcug@{qwc@{7B u@ ck@pc@ q{c/w@ce@r})"

樹木の細根は、生産・枯死・分解を通して森林生態系の炭素循環に貢献し *Twuagn"gv"cn@"4226+, そのタンオーバーの速度は根の形質と密接に関係する。細根は、直径が小さくまた比根長が高いほど、また次数が低いほど、効率的に養水分を吸収する能力に長けるが *Y cpi "gv"cn@"4243+, 寿命は短くなることが示唆されてきた *l w"gv"cn@"4242+. 一方、深さに伴い変化する土壤特性に応じて、細根の形態や分布も変化する *O cnkv" gv"cn@"4233+. しかし、既存の細根研究 362" 件で調査された土壤の深さ平均は 59"eo と浅く *Hpgt"gv"cn@"4233+, 樹木根系の土壤深層における細根形態については明らかにされていない。演者らは既報（柳瀬ら, 4246 第 7; 回根研究集会）で、異なる土壤環境を示すスギ 4 林分 6 個体において、土壤表層から根系最深部までの土壤硬度、土壤炭素及び窒素濃度と細根形態の変化について明らかにしてきた。本発表では、細根形態に影響を与える土壤物理特性について、容積重や透水係数を追加し、深さに伴う土壤物理・化学特性の変化がスギ細根の分布や次数別形態特性にどのような影響を与えるのかを明らかにすること目的とした。

本研究は、粘土質で比較的硬い土壤の広がる名古屋大稻武フィールドに生育するスギ成木 4 個体と、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スギ成木 4 個体を対象とした。スギの個体根系を構造が保たれた状態でエースコップを用いて掘り出し、土壤表層から根系最深部までの 5 次根を含む細根系を深さ別に個体あたり 86~: 2 個採取した。細根系は次数分類し、根長や根直径、乾燥重量を測定した。個体あたりの細根分布を評価するため全細根の乾燥重量を測定した。掘り取り後、土壤断面の層位と硬度を測定し、土壤試料を採取した。土壤試料から飽和透水係数、容積重など物理特性と、炭素や窒素濃度など化学特性を測定した。統計解析には一般化線形混合モデル用いて、応答変数に細根形態の各特性、固定効果に土壤物理・化学特性、ランダム効果にスギ個体と採取方角を用いて CKE 最小モデルを作成した。

再度山におけるスギ個体の細根量は、稻武と比較して多く、より深くまで分布していた。次数別細根形態について、稻武では深さに伴い有意に太く長くなり、再度山では根直径には深さに伴う変化が認められなかつたが、根長は深さに伴い有意に長くなつた。土壤物理特性について、稻武では容積重が深さに伴い有意に増加し、透水係数は 32"eo 以深で有意に低下した。再度山では容積重は 32"eo 以深で有意な変化が認められなかつたが、透水係数は深さに伴い有意に低下した。土壤化学特性について、稻武で炭素及び窒素濃度は深さに伴い有意に低下したが、再度山では 32"eo 以深で深さに伴う変化は見られなかつた。再度山のスギ林における土壤硬度、土壤炭素・窒素濃度は稻武と比較して著しく低く、透水係数は高かつた。これらの結果は、保水性に乏しい窒素制限下の土壤では細根量が多く、土壤硬度の高い土壤では細根分布が浅くなること、また細根が深さに伴い長くなることを示唆している。本発表では、一般化線形混合モデルにより解析された深さに伴う土壤物理・化学特性変化が細根形態特性に与える影響についても考察する。

スキャナ法によるスギ根系の分岐様式の観察

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 (pg46p224B i wj 0wj {qi q0e0r) "

細根(直径 0.4mm)は、土壤から水分や栄養分の吸収を行う重要な器官であり、その生産、枯死、脱落を通して、土壤に多くの炭素を投入している。日本の人工林面積の約 65%にはスギが植栽されている。スギ細根の年生産量はおよそ $4\text{t/m}^3 \text{yr}^{-1}$ で、葉の年生産量のおよそ半分に相当する。よって炭素循環における細根の役割は重要であり、森林生態系全体の炭素固定に大きく貢献している(Oeqto cen'gv'cr0"4237)。細根の働きと分岐構造とは密接な関係がある。養水分の吸収根や輸送根は分岐構造の異なる位置に存在し(O wej c"gv"cr0"423;)、低次根ほどターンオーバーは早い。そこでこれまで細根の分岐構造が、細根分類方法の一つである分岐次数法(Qtf gt/dcugf "enruukhecvkqp)を用いて研究してきた。分岐次数法は樹種と生育地を問わず細根の形質を比較することができる。しかし、細根根系は地下に隠れて観察が難しいため、分岐根の異質性に関する情報は十分ではない。例えば、細根の分岐が起こる時期、分岐数、分岐の発生位置について、未だ解明されていない点が多い。

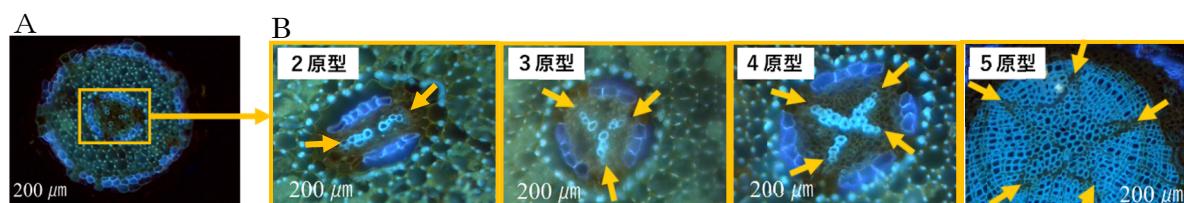
本研究では、近年注目されているスキャナ法(Fcppqwtc"gv"cr0"422;)を用い、スギ細根の分岐動態に焦点を当て、スギ根系の分岐様式の時間変化を明らかにすることを目的とした。兵庫県神戸市のスギ人工林を対象に、2019年6月から2022年5月までの5年間、スキャナ調査を実施した。そして取得した5ヶ所のスキャナ画像を、画像処理ソフト IOR と ImageJ を用いて抽出した。その後、全抽出画像内における細根動態を精査したところ、32 個の分岐過程を示す根系を得ることができた。これらの根系は、58か月の間に、4 次まで分岐した根系が 4 本、5 次まで分岐した根系が 9 本、6 次まで分岐した根系が 3 本であった。

樹木細根系の解剖構造は季節変動するのか? :ヒノキとスギにおける根の原生木部数からの探求

細井彩¹⁾・増本泰河²⁾・牧田直樹¹⁾

¹⁾信州大学大学院総合理工学研究科, ²⁾信州大学大学院総合医理工学研究科
・連絡先(u{ m{ quql35B i o ck0eqo)"

根の解剖構造において原生木部[†]*第3図#は、最初に形成される木部であり、その数は個根が枯死するまで不变である。また、根の寿命とも関連し、原生木部の数が少ない根ほど短命と考えられている。本研究は、原生木部数および資源獲得機能を反映させる皮層、中心柱の構造も評価し、季節に応じた細根系の寿命の特徴を明らかにすることを目的とした。調査は4245年9月からの3年間、信州大学手良沢山演習林のヒノキとスギの成木林で合計9回行われた。根系の末端部を3次根とする次数分類法に従って4次根を含む細根系の採取を行い、3-6次根の解剖学的横断面を作成した[#]*第3図C。次に蛍光顕微鏡を用いて個根の横断面における原生木部数を観察し、原生木部数に応じて各個根を4原型-7原型へと分類した[#]*第3図D。9回の各採取回の各次数において、観察した総横断面数に占める各原生木部数の根の割合を算出した。結果、3-6次根でヒノキは；月と32月において4原型の割合が高い傾向にあった。一方で、スギは全ての季節で5原型が72%以上を占めていた。ヒノキは；月や32月に4原型の短命な細根を保持していたと考えられる。発表では、原生木部数による細根系の寿命の季節的な特徴に加え、養水分の輸送と吸収機能に関連する皮層と中心柱の結果に注目し、スギとヒノキの樹種の特性について考察する。



第1図 ヒノキ細根の横断面の蛍光画像。Cはヒノキ細根横断面の全体像。Dは中心柱を示す。図1B内の矢印は原生木部を指す。原生木部数に応じ、4原型、5原型、6原型、7原型に分類される。

樹木細根フェノロジー解析のためのデータ共有システムの紹介と課題

森健介¹⁾・池野英利²⁾・檀浦正子³⁾・平野恭弘⁴⁾・野口享太郎⁵⁾・小林元⁶⁾・大橋瑞江¹⁾

¹⁾兵庫県立大学 環境人間学部, ²⁾福知山公立大学 情報学部, ³⁾京都大学 農学研究科, ⁴⁾名古屋大学 環境学研究科, ⁵⁾国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所, ⁶⁾信州大学農学部
・連絡先(o qtlnpgpB uj gug0w{j {qi q0e0r)"

樹木の細根成長は森林の純一次生産の20%以上に及ぶとされ (McCormack et al., 2015), その成長と枯死の理解は樹木の栄養吸収や森林の炭素循環の把握に重要である。しかし従来細根を観測するには土壌を掘り取る必要があり、同じ対象に対して連続的な測定が行えないという問題があった。その打開策として地中に撮影面を持つボックスを埋設し、そこにイメージスキャナーを挿入することで土壌断面画像を撮影するスキャナー法が提案された (Dannoura et al., 2008)。さらに、機械学習を用いてその画像から根を識別、抽出するプログラム ARATA (Yabuki et al., 2022)が開発され、連続的に土壌断面画像を撮影しそこから細根形態を自動で抽出することが可能となった。そこで本研究ではこれらの手法を用い樹木細根の成長、枯死過程やフェノロジーを解明するため、各地の試験林において自動的にスキャン画像データを収集し、解析を行うシステムの開発をすること目的とし、それらの林内設置を進めた。

このシステムでは、アクリルボックス内に設置されたスキャナーにより1日1度、自動的に土壌断面を撮影し、土壌断面画像をPCに保存する。この保存された画像は試験地の状況に応じて現地の研究者により手動で、あるいはモバイル WiFiなどを通じて自動的にクラウドサーバーにアップロードされる。このクラウドサーバーに対しては、国立情報学研究所が開発・運営している GakuNin RDM を通してアクセスを可能にすることで、研究者間でのデータの共有とセキュリティーの両立を実現する予定である。

なお、このデータ共有システムの開発に先行して、我々は要素技術であるイメージスキャナーによる撮影機器の開発、試行、撮影された画像の処理技術の開発を進めてきた。さらに、定期的にデータの収集を続けており、これらのデータを試験的にARATAにより解析することで、スキャナー法とARATAの有効性を評価してきた。その結果、我らの方法よって細根の長期的変動を追跡可能であることが明らかになってきた。

一方、この方法におけるいくつかの課題も浮き彫りになってきた。例えば撮影面の汚れ、湿度上昇に伴う曇りなどによって、抽出される根が極端に少なくなることがある、またはスキャナー撮影でラインノイズが入り、これを根として抽出されてしまうケースが見られた。これらのスキャナー撮影の問題や誤抽出は細根フェノロジーの解析に大きく影響を与える可能性がある。さらに、長期にわたる撮影では、様々な要因でスキャナーや土壌、根の位置関係が変化していくため、個々の細根レベルで成長と枯死を正確に追うことが難しい。これらの画像の処理、対策などについて検討していくのが今後の課題である。

Fcppqwtc.'O 0'gv'b10*422: +Rnpv'Tqqv."4."36/3: 0"O eEqto cem'O 0N0'gv'b10*4237+P gy "Rj { vqmqi kuv"429*5+."727/73: 0[cdwnk C0'gv'b10*4244+O gj qf u'lp"Geqmqi { "cpf "Gxqmwkqp."35*33+

樹木細根における輸送機能と吸収機能の境目はどこ？：可視-近赤外分光法からの探索

牧田 直樹^{3,+・}・谷川"夏子・中路"達郎⁴⁺⁺

¹⁾信州大学理学部, ²⁾北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

・連絡先: o cemf B uj kpuj w wQe0r "

"

樹木根の生理機能を理解するために、根系内の各機能、つまり土壤からの養水分吸収機能と輸送機能を区別することは重要であるが、その機能の境界箇所を判断することは極めて難しい課題である。本研究は、植物体の色素、有機物組成や根系の成長の段階を反映する可視/短波長赤外波長の連続分光反射光を駆使し、根系を分光画像上で多角的に評価し、吸収根と輸送根の境界を探査した。北海道大学苫小牧研究林の冷温帶林における針葉樹9種と広葉樹35種の計42種の細根系を対象に調査を実施した。生きた根系を5直径階級(2/20、20/3、3/40)に分け、67:45; 3poの連続分光反射率をハイパススペクトルカメラで撮影した。その後、根系は、形態(平均直径、比根長、根組織密度)、化学成分(炭素、窒素、リグニン濃度)および解剖特性(皮層幅、中心柱直径)が測定された。撮影された分光反射画像と実測した根特性を用いて連続反射率を変数に部分最小二乗(RNU)回帰モデルを作成し、分光反射画像から根特性を推定することを試みた。その結果、平均直径、比根長、根組織密度、窒素濃度、リグニンおよび中心柱と皮層幅の割合において有用なRNU回帰モデルが作成され、高い推定精度が得られた。本発表では、画像解析によって得られた、根系内の部位ごとの根特性を手がかりに、根系内における機能的区分を行い、吸収根と輸送根の根系空間分布について考察する。

"
"ポスター発表"

"要旨"
"

イネ側根形成の分子機構解明とその根系形態改良への応用

F QPI .[lj cq³⁺・金生真綾³⁺・櫛田聖也³⁺・NRIQ ."RevlemNqwlkI 0⁺・犬飼義明⁴⁾"

³⁾名古屋大学大学院生命農学研究科.⁴⁾名古屋大学農学国際教育研究センター"

・連絡先" *ipwnck B ci t0pc1 q{c/w0e0r +"

"

イネの根系は 3 本の種子根と成長に伴い茎葉節から次々と形成される不定根(冠根), およびそれから発生する数多くの側根によって構成される。この側根には形態的に大きく異なる 4 種類の側根; 細く短い U 型側根と, 太く長い N 型側根が存在し, 乾燥下では N 型側根の発生を促すことで根域の拡大が図られる。これまでに, この N 型側根の発育が優れることで総根長が著しく増加するイネ *qwt3* 変異体が作出・選抜され, 本変異体は節水栽培下においても水吸収能力を高く保つことを通して, 地上部の生育や収量性を維持できることが報告されている" *J cugi cy c "gv0kr04243."Rncpv'Uek0"4244."L0Ci tq0Etqr 'Uek0. そのため, この N 型側根の形成に関わる新規遺伝子の同定を試みた結果, これまでに *Y WUEJ GN/tgrv gf "j qo gqdqz*" *Y QZ" 遺伝子ファミリーに属する *S wkguegpvegpvgt/urgekkle*" j qo gqdqz" *S J D" QuY QZ7 と *QuY QZ32* が拮抗的に作用して側根形態が制御されていることを見出してきた" *Mcy ck'gv'c n04244."RPCU. 本研究では, これら 5 つの遺伝子間, および他の *QuY QZ* 遺伝子群に注目し, 側根形態の制御機構の総合的な理解を目指すとともに, 得られた知見をもとにした根系形態の改良を試みた結果について報告する。"

上記の各遺伝子群を対象に, 過剰発現体やゲノム編集技術による機能欠損型変異体等を作出し, その表現型の特徴や発現性を解析した結果, 3"QuY QZ32 は転写活性化因子として機能すること, 4"Y QZ32 遺伝子は *QWT3* 転写因子による負の制御を受けること, および 5"S J D"QuY QZ7 や *QuY QZ32* 以外にも, 側根形態制御に関わる *QuY QZ* 遺伝子が存在することなどが示唆された。加えて, N 型側根の誘導にはオーキシンが重要な役割を果たすことが明らかとなっているが" *Nwecd/Ci wukp"gv'c n04242."Rj { ukqr0Rncpv0"Mc y ck'gv'c n04244."Htqpv0Rncpv'Uek0, このオーキシンによる制御と本研究で得られた知見を統合することにより, 第 3 図に示した原品種"左"やこれまでの改良系統"中央"に比べ, 著しく N 型側根が発達する系統"右"を作出することに成功した。本発表では, これらの研究成果を紹介するとともに, この更に先へと根系形態を改良するにはどうすれば良いのかについての議論を展開したい。"

多年生ソバの湛水耐性の評価

鈴木達郎¹⁾・松浦朝奈²⁾・黒河凜緒³⁾・松島憲一²⁾・勝田端卓¹⁾

¹⁾農研機構・九州沖縄農業研究センター, ²⁾信州大学農学部・植物資源科学コース, ³⁾東海大学・農学部
・連絡先" (www.wB chiteQ q0r)

ソバは畑作物の中でも耐湿性が弱い作物とされ、その対策が急務である。ソバには耐湿性品種がないため、圃場選定や湿害程度に応じた排水対策等が農業現場における主な対策手段となっている。しかし労力やコスト等の課題があることから、耐湿性ソバ品種の開発に大きなニーズがある。普通ソバ (*Fagopyrum esculentum*) や多年生ソバ (*F. cymosum*) において耐湿性向上に貢献する可能性のあるいくつかの形質について実験室やポット試験を中心とした基礎的な研究がなされている(村上・神山, 根の研究, 2019; 松浦, 科研費報告書, 2022)。中でも多年生ソバは川辺等にも自生していることから耐湿性が強いことが予想されてきたが、圃場栽培における耐湿性の評価はほとんどなされておらず、耐湿性育種素材としての評価が不十分な状況である。

本研究では、耐湿性に関する湛水耐性に注目し、「多年生ソバは湛水耐性が強い」との作業仮説を立て以下の試験を実施した。2022年, 2023年のそれぞれ春まき, 夏まき栽培にて圃場で栽培したソバ植物体に対する湛水試験を実施した。水を溜めることができるコンクリート枠圃場に普通ソバ (一年生ソバ), ダッタンソバ (*F. tataricum*; 一年生ソバ), 多年生ソバを播種し、耐湿性が弱いとされる発芽期に湛水を開始した (以下当年播種区)。多年生ソバについては越冬株についても同日に湛水を開始した (以下越冬多年生区)。湛水期間は、現場で発生する湛水程度を反映する目的で14日間を基本とし、湛水処理終了後7日目に生存率を計測した。試験は3連で行った。また、多年生ソバと一年生ソバの根の大きさを比較するため、越冬多年生区 (栽培2年目株) と当年播種区 (湛水処理なしの普通ソバ・多年生ソバ成熟期) の根を掘り起こし観察した。

当年播種区は湛水処理開始後5日程度で茎葉の腐れが生じたことからその時点で湛水処理を終了した。越冬多年生区は被害が確認されなかつたため14日間の湛水処理を行った。湛水処理後の生存率は、当年播種区では0%~数%であったが、越冬多年生区の生存率は100%であった。対照区 (非湛水処理区) の生存率はいずれの区も100%であった。根の観察の結果、主根・側根の大きさは、越冬多年生ソバ > 多年生ソバ (当年播種成熟期) > 普通ソバ (当年播種成熟期) の順であり、特に越冬多年生ソバは発達が旺盛であった。以上の結果から、「多年生ソバは根の発達とともに冠水耐性を獲得する」との新たな作業仮説を設定した。

多年生ソバは離層形成による種子脱落性や強烈な苦みのため直接利用が難しい。そこで1970年代に多年生ソバと普通ソバ等との種間交雑研究が開始され (Krotov, Bul.VIR.N30, 1973), 日本では1990年代から耐湿性導入や多年生を活用した耕作放棄地解消の点から多年生種間雑種の開発がスタートした (廣瀬ら, 信州大学農学部紀要, 1991)。これまで多くの雑種が作出されたが (由比, 東北農業研究センター研究報告, 2005; 南, 科研費報告書, 2010; 松島, JSTプロジェクトデータベース, 2012; Matsui et al., Breeding sci., 2023), 不稔のため種子繁殖ができない等の影響もあり、雑種を用いた研究はあまりなされていない。近年、ようやく採種可能な多年生雑種が開発されたことから (Chen et al., 2016; 鈴木・松浦・松島, 特願2023-215341, 2023), 今後の解析が待たれる。

3D データを活用したサツマイモ軟腐病のリスク診断 AI の作成

兒玉晋洋¹⁾・田口和憲²⁾・西中未央²⁾・郭威¹⁾

¹⁾東京大学大学院農学生命科学研究科, ²⁾国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構
中日本農業研究センター

・連絡先 (mqqfco cB i Qgee0w\qm{q0e0r)"

近年、日本では甘味の強いサツマイモの輸出量が増加しているが、損傷した部位に軟腐病菌等が侵入することが原因で輸送中に腐敗している事例があり問題となっている。現在、リスクのある芋の選別作業は人の手で行われているが、精度の良い選別には経験が必要であり、ばらつきも多く、作業時間もかかる。そこで、腐敗リスクの高いサツマイモを輸出前に検知し除外するために機械学習を使用した選別システムを試作し、試験を行った。本発表ではシステムで使用する AI モデルを学習させるための、効率的な画像データセットの作成法と作成したモデルの試験結果について発表する。

本モデルでの学習対象は腐敗前の打撲損傷を受けたサツマイモであるが、学習用データセットの作成にはサツマイモを腐敗させる追跡試験が必要である。このためフォトグラメトリ技術によりサツマイモを三次元データ化し、追跡試験の腐敗結果がでた後に、レンダリングを行うことで効率的に学習データセットの作成することを可能とした。今回の試験でデータ化したサツマイモは「べにはるか」340 個体であり、それぞれ $F_1 \approx 0.85$ の画像の中から 111 枚をランダムに選び、追跡試験の結果をもとに腐敗の原因となった傷の位置に対してアノテーションを行うことで教師データとした。その後、教師画像データセットを CNN^* の検知モデルを追加学習することで診断モデルとした。モデルの試験はカメラ三台をコンベア上に設置し、流れてくるサツマイモを撮影し、診断することで行った。診断されたサツマイモを CNN^* に分け输出試験を行い、腐敗状況を確認した。AI モデルについてはカメラ三台のうち二台の結果が CNN^* の時 CNN^* と診断する CNN^* 、三台のうち一台が CNN^* の結果を返した時 CNN^* と扱う CNN^* の二通りで診断した。結果は CNN^* については、111 個体のうち 111 個体が CNN^* として診断され、輸出後に $\text{F1} \approx 0.85$ が腐敗した。 CNN^* については $\text{F1} \approx 0.85$ 個体のうち 111 個体が CNN^* と診断され、そのうち 111 個体が腐敗した。参考試験で行った人の手による選別では腐敗率 $F_1 \approx 0.85$ 個体(111 個)であったため、本 AI システムは腐敗につながる打撲損傷を人手の場合と同等に診断できたといえる。

本研究は農林水産省 R3 年度補正予算「スマート農業技術の開発・実証・実装プロジェクト」のうち「戦略的スマート農業技術等の開発・改良」(RUR EFFHUI 、事業主体:生研支援センター)の支援を受けた。

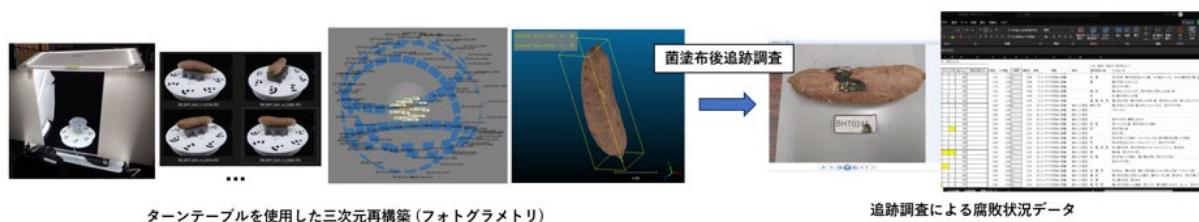


Fig1. 対象を三次元化手順と追跡実験の状況

スギ挿し木における不定根形成メカニズムの再整理に向けた挿し木試験

村田淳之介¹⁾・渡辺敦史²⁾

¹⁾九州大学大学院生物資源環境科学府, ²⁾九州大学大学院農学研究院

・連絡先 (o wtcvclwppquwng@ 8; B u0n{ wuj wvw@e0r)"

背景:挿し木は古くから用いられる苗生産手法であり、日本林業の主力樹種であるスギにおいても活用されている。従来のスギ挿し木手法（以下、土挿し）では、親個体から枝を採取して挿し穂とし、挿し穂の切断部を土に挿し付けることで不定根を形成させる。対して、近年報告された空中挿し木法（以下、エア挿し）では、適切な湿度管理により用土を用いずに空中で不定根を形成させる（栗田ら、九州森林研究, 4242）。両挿し木法では不定根の発根域が異なり、土挿しでは用土に挿し着けられた部位のみで発根するのに対し、エア挿しでは切断部から離れた穂上部でも発根することがある。この発根域の違いは、用土による不定根形成域の制限を示唆するのと同時に、「傷害が植物ホルモンをはじめとした不定根形成に関連する要因の挙動を変化させるため、切断部付近で不定根が形成される」という定説について再整理の余地を示している。そこで、本研究では土挿しにおける不定根形成域の制限要因の特定と傷害に対する応答の検証に向けた挿し木試験を行った。

不定根形成域の制限要因の特定:用土は光・接触刺激・栄養等の複数の環境要因を変化させため、それぞれ個別に研究を進めてきたが、発根域を制限する要因の特定には至らなかった。そこで、多くのモデル植物において、根に接触する水が側根形成の誘導シグナルであることに着目し (Dcq ら, RPPCU, 4236), スギにおいても挿し穂に付着した水が不定根形成を誘導するという仮説を立てた。仮説検証のため、切断部から離れた穂上部に土入りのポッドや脱脂綿を用いて保水処理を施したエア挿し試験を行った。この試験では、発根が認められた挿し穂のうち 47% で穂上部からの不定根形成誘導に成功している。ここから、挿し穂への水の付着はスギ不定根形成の誘導シグナルの1つであり、用土中の水が土挿しでの不定根形成域の制限要因である可能性が示唆された。一方で、発根が認められた挿し穂のうち 97% の挿し穂は切断部付近でのみ発根しており、傷害がスギ不定根形成の誘導シグナルであることを否定することにはならなかった。

スギ不定根形成における傷害の働きの検証:スギ挿し穂の切断部付近では、不定根形成を強力に制御するオーキシン関連遺伝子群の発現量が増加することが知られており、これらの局所的な反応が不定根形成を誘導すると考えられている（福田、森林遺伝育種, 4242）。一方で、モデル植物の不定根形成誘導において、オーキシンをはじめとした物質の輸送が傷害により阻害されることの重要性が示されている (I gto cp ら, RJ [UQQNQI KC'RNCV VCTWO , 4223])。実際、スギ挿し穂作成時に余分な葉を除去した切り傷では不定根形成が起こらないことから、スギ不定根形成においても傷害による物質輸送阻害の影響が大きいと考えられる。そこで、環状剥皮・オーキシン塗布・葉の除去等の条件を組み合わせた挿し木試験を行い、傷害による物質輸送阻害の影響を評価した。その結果、輸送器官の物理的な損傷による物質輸送の阻害が不定根形成を誘導する際の内部の生理応答に影響していることを示す結果が得られた。

根のデザイン化に向けて:以上の結果を利用し不定根の形成域を人為的に制御する根のデザイン化に向けた取り組みを紹介し、根のデザイン化が今後のスギ苗木生産に与える影響について考察する。

植物ホルモン応答と挿し木難発根性樹種センダンの不定根誘導の関係

室永藤子³⁺・村田淳之介³⁺・向井伸生⁴⁺・三樹陽一郎⁴⁺・渡辺敦史⁵⁺

³⁾九州大学大学院生物資源環境科学府、⁴⁾宮崎県林業技術センター、⁵⁾九州大学農学研究院

・連絡先(o wtqpcic0wlnqQ 2: B u0n{ w0j w0qe0r) "

センダンは東南アジアに広く分布しており、現在日本国内でも早生樹として注目されている樹種である。国内でセンダンの商業的な造林が本格的に行われる場合、苗木の安定供給が必須となる。特に、優れたクローンは品種化し、品種を中心とした林分を造成することで、非効率な木材生産を回避できる。現在、優良品種は不定胚などを利用した組織培養によって増殖されるのが一般的である。より簡単に苗木生産が可能な挿し木での増殖はセンダンでは難しいとされ、様々な条件下で安定して不定根が得られないことが知られている。そこで、本研究では、センダンの難発根性の要因解明に向けた取り組みを行なった。

事前の取り組みとして、5年生個体の当年生シートを利用して挿し木を行なった結果、通常の挿し木で不定根形成は認められなかった。一方で、宮崎県林業技術センター(以下、宮崎林技セ)では、ほぼ同樹齢の当年生シートから不定根誘導が確認された。宮崎林技セと九大での違いは、発根促進剤とされるオーキシンの利用の有無であり、宮崎林技セではオーキシンを挿し穂に塗布し、九大では塗布しなかった。そこで、植物ホルモンと不定根誘導との関係を検証するため、1年生個体のシートをオーキシン(KDC)を添加した寒天培地に挿しつけた結果を第3表に示した。このことから、不定根誘導にはオーキシンの添加が不可欠であることが示唆された。組織培養では、オーキシンはサイトカイニンとともに利用される植物ホルモンであり、両ホルモンの適正な比は個体再生に必要とされる。そのため、オーキシンの投与は不定根誘導のシグナルになると共に、内在性のサイトカイニンとの濃度比の適正化に作用していると考えられる。そこで、センダンのオーキシン・サイトカイニン両受容体遺伝子を単離し、挿しつけ後の時系列に従った遺伝子発現解析を行うことで、両植物ホルモンの関係性を明らかにしている。

センダンでは、樹齢が7年生程度になった場合には、当年生シートを利用し、植物ホルモンを投与したとしても挿し木による不定根が得られること、樹齢が上がっても茎頂部や不定胚など組織が未分化である組織を利用した組織培養は可能であること、地上部の枝を利用した挿し木が難しいのに対し、挿し穂の代わりに根を利用する分根と呼ばれる手法では樹齢が上がっても個体再生できることが知られている。これまで、確実に不定根の発生を阻害すると判明している物質はセンダンを含めた難発根性樹種では見つかっていない。オーキシン投与による不定根誘導シグナルとしての重要性から考えても、阻害物質の存在よりも、センダンの組織発達・形成に伴う樹木生理の変化が不定根誘導の成否と関係する可能性を示唆しているものと考える。

第1表. ホルモン投与と不定根誘導の関係

	Eqptqn ["]	KDC3Ω ["] o i IN ["]	KDC7Ω ["] o i IN ["]	KDC32Ω ["] o i IN ["]
供試数 ["]	39 ["]	;"	39 ["]	:
発根数 ["]	2 ["]	6 ["]	:	3 ["]
未発根数 ["]	9 ["]	5 ["]	:	6 ["]
枯死数 ["]	32 ["]	4 ["]	3 ["]	5 ["]

Control: オーキシン投与なし

IBA: インドール酢酸

ベニバナイチヤクソウの窒素嗜好性:部分的菌従属栄養植物の養分獲得戦略

金澤姫³⁺・添田愛莉³⁺・竹中柊太³⁺・米田和博³⁺・諏訪竜之介⁴⁺・牧田直樹^{3,4+}

³⁺信州大学理学部, ⁴⁺信州大学大学院総合理工学研究科

・連絡先" 44u8226fBujlpujw@ce0r+"

林床や林縁で比較的大きなコロニーをつくって群生するベニバナイチヤクソウは、光合成で炭素資源を獲得しつつも共生する菌により有機炭素獲得を部分的に行っており、特殊な養分獲得戦略をとっている。そのような特徴を持つ部分的菌従属栄養植物（混合栄養植物）の先行研究では、独立栄養と菌従属栄養に由来する炭素の割合は植物種や生活史の段階、生息環境によっても変わることが示されている。一方、ベニバナイチヤクソウの栄養吸収に関する実測情報は少ない。そこで本研究は、土壤窒素（P）資源の獲得に着目し、根系による有機態・無機態 P の吸収速度およびその生育環境を調べることで、山岳域に生息するベニバナイチヤクソウの養分獲得戦略を明らかにすることを目的とした。

調査は 4246 年 8 月に、長野県松本市、乗鞍高原で行い、光環境や標高の異なる 4 地点を調査区とした（3622'o 区、3822'o 区）。対象種は多年生の常緑草本植物、ベニバナイチヤクソウである。調査地から、個体を丸ごと掘り出し現場で速やかに P 吸収測定を実施した。根系を P 溶液 (PJ_6En と MPQ_5 の混合液, $E4J_7PQ_4$ 溶液の 4 種類で、濃度はどちらも $422\text{ }\mu\text{M N}^{+}$) に浸し、一定時間静置させた。静置後、P 溶液と根系を回収し、溶液サンプルの濃度差から吸収速度を算出した。また根系サンプルの画像および乾燥重量情報から、形態特性（根直径・比根長・根組織密度）を算出した。

結果、各 P 形態での吸収速度を比較すると、アンモニア態 P の吸収速度が最も高かった。アンモニア態 P は、直接同化でき植物にとって利用しやすい形態であるうえ、土壤に吸着し安定して存在する。そのため、ベニバナイチヤクソウは養分獲得において安定性を求める、アンモニア態 P を吸収していたと考えられる。"P 形態ごとの吸収割合は 3622'o 区、3822'o 区ともに、アンモニア態 P、硝酸態 P、有機態 P の順に高かった。しかし、3822'o 区では 3622'o 区よりも多くの有機態 P を吸収していた。つまり、標高に対する P 吸収速度の応答は、P 形態によって異なり、標高が高くなると有機態 P の寄与が大きくなり、P 嗜好性が変化することが明らかとなった。また、標高によって根の形態特性は変化していた。特に根組織密度は 3622'o 区よりも 3822'o 区で有意に高い値を示し、比根長は低い傾向にあった。"3622'o 区では細く分岐の多い、養分にアクセスしやすい獲得的な戦略をもつ根系を分布させ、3822'o 区ではストレス耐性の高い保守的な根系を分布させつつ微生物に依存しながら養分を獲得する戦略を持つことが示唆された。以上より、ベニバナイチヤクソウは、山岳域の生育環境によって根系の形態特性と微生物の依存度をおそらく変化させ、P 獲得において"4 つの戦略を可塑的に選択していると考えられる。"

シロイヌナズナにおけるビスマスによる根の細胞膜障害作用と形態形成への影響

長田武・浦直哉・小林良・中村遥香

摂南大学理工学部生命科学科

・連絡先 (vpcicvcB nkfigwuwpcp@e0r)"

レアメタルの一種であるビスマス(Dk)は国内外の鉱床に点在するだけでなく、化粧品、半導体、鉛の代替品としても利用されている。しかし、土壤中の濃度や植物への影響は不明である。そこで、我々はシロイヌナズナを用いて、Dkによる植物への影響について解明を試みている。これまでに、Dkによって鉄の過剰蓄積や細胞死の誘導、細胞周期U期に対して抑制効果を有することを明らかにしている。また、Dkが活性酸素種の一種である過酸化水素の生成を阻害し、スーパーオキシドアニオンから過酸化水素への代謝を担うスーパーオキシドジスムターゼ(UQF)の発現量を減少させることを明らかにしている。一般的に、細胞内で生じたスーパーオキシドアニオンを含む活性酸素種は、細胞膜などの脂質を酸化することで膜損傷を惹起することが知られている。そこで、まずPDV染色法を用いてスーパーオキシドアニオンの観察を試みた。次にDk存在下における細胞膜障害を評価した。さらに、根端の形態形成から根端メリシステムや幹細胞ニッチへの影響について明らかにすることを目的とした。

種々のDk濃度を含む寒天培地上にシロイヌナズナを播種し、培養4週間後、以下の解析を行った。まず、スーパーオキシドアニオンを観察するため根端のPDV染色を行なった。その結果、未処理の根ではスーパーオキシドアニオンが染色されなかったのに対して、 2E^{-6} M以上のDk含有培地で生育させた根では青色に染色された。このことから、Dkは根端においてスーパーオキシドアニオンの生成を誘導すると考えられる。

次に、細胞膜障害の指標としてイオン漏出の測定を試みた。Dk存在下で生育させたシロイヌナズナの根を収穫し、洗浄後、超純水中に浸漬した。5時間インキュベート後、浸漬溶液中に漏出したイオンについて電気伝導度を測定した。さらに、1時間沸騰水浴中で加熱処理し、その電気伝導度を測定した。加熱前の電気伝導度を加熱後の電気伝導度で除し、その割合から細胞膜障害を評価した。その結果、 3E^{-6} M以下のDk含有培地で生育させた根ではDk非含有培地で生育させた根と有意な差が認められなかつたのに対し、 4E^{-6} M含有培地で生育させた根ではイオン漏出が有意に増加していた。このことから、Dk存在下ではDkによって誘導された活性酸素種によって、細胞膜が損傷し、最終的に細胞死に至ると考えられる。

さらに、Dkによる根端の形態形成への影響を調べるためにヨウ化プロピジウム染色し、蛍光顕微鏡を用いて観察した。その結果、 2E^{-6} M含有培地で生育させた根では、根冠におけるコルメラ細胞の部分的損傷が認められるものの、4層の形成が観察された。しかし、 3E^{-6} M及び 4E^{-6} M含有培地で生育させた根では明瞭なコルメラ細胞の層が認められなかつた。特に、 4E^{-6} M含有培地で生育させた根では根端分裂組織や幹細胞ニッチが存在する部位も不明瞭であった。これらの結果から、Dkは、幹細胞によって生成された細胞を損傷させたか、細胞分裂や細胞分化の誘導を阻害している可能性が考えられる。これらには、細胞死の誘導や細胞周期の抑制が関与していると考えている。

"

砂質土壌における間断灌漑の灌水閾値がイネの生育および根系発育に及ぼす影響¹⁾

秋山颯多郎³⁺・亀岡笑⁴⁺⁺

³⁾東北大学農学部, ⁴⁾東北大学大学院農学研究科["]

・連絡先 (go kMco gqmf e: B vj qm@e0r)["]

【目的】["]

間断灌漑は、水田の湛水状態と落水状態を交互に繰り返す節水型の灌漑手法であり、砂質土壌条件下では減収リスクが高いとされる。砂質土壌条件下での栄養成長期において、土壤水ポテンシャル -42°Rc , -62°Rc , -92°Rc の灌水閾値ではそれぞれ常時湛水と比較して $37'$, $57'$, $52'$ の茎葉乾物重低下が認められ、節根伸長の可塑性は認められたものの、いずれの処理区でも側根分枝能の可塑性は認められなかつた^{*吉野ら"4242+}。先行研究結果を踏まえ、砂質土壌条件下において、 -42°Rc よりも緩やかな灌水閾値を採用することで茎葉乾物生産と節水が両立される可能性を考えた。よって本研究では灌水閾値を再設定した上で、砂質土壌における間断灌漑の灌水閾値がイネの生育および根系発育に及ぼす影響を検証した["]

【方法】["]

供試品種として日本晴^{*Qt//c'uc\kx'N. "uur. "lcrqpkc+"}を用い、東北大学青葉山圃場内の温室において以下の栽培実験を開始した。4246年7月46日に育苗トレイに播種し、砂質土を充填した317222^cワグネルポットの中心に、8月3日に水稻苗を3株植えで移植した。常時湛水^{*対照区^{"Y 2 区"}ならびに間断灌漑4処理区^{"灌水閾値が -7°Rc ^{"Y 3 区}, -42°Rc ^{"Y 4 区"}}を設けた上で、活着を確認した9月3日から間断灌漑処理を開始した。間断灌漑の実施期間中は、毎日朝：時と昼35時にポット内に設置したテンシオメータの値ならびにポット重を記録し、土壤水ポテンシャルが灌水閾値に到達した際に再灌水した。基肥量はVtcp^{"gv'cn0"}^{*4236+}を参照し、URCFの低下が確認された：月9日と：月36日に基肥の316量の窒素を追肥した。前日に全ポットを湛水状態にしたうえで、予備個体で幼穂形成を確認した：月9日に茎葉部をサンプリングし、茎葉新鮮重を測定した。また、これと同時に、森田・阿部^{*3;;+*}の方法に準じて根の出液速度を測定した。根系は流水で丁寧に洗い出したのち、亀岡ら^{*4243+}の方法に準じて根新鮮重を測定した。茎葉部は80°Cで5日間乾燥させた後に茎葉乾物重を測定した。目視で節根数を測定し、Ko ci g^{"L}に根長測定マクロ^{*Vclko c"cpf" Mcq"4235+}を使用して7段階の直径別の根長を測定した["]}

【結果と考察】["]

栽培期間を通して、温室内の気温は平年気温に比べて著しく高く推移した。Y1区、Y4区ともに間断灌漑による節水効果が認められ、Y2区に対する節水率はそれぞれ36', 48'であった。Y3区とY4区の茎葉新鮮重はY2区と比べて有意に低い値を示したが、Y3区の茎葉乾物重はY2と同程度の値を示し、Y4区の茎葉乾物重Y2区と比べて有意に低い値を示した。幼穂形成期時点の根の出液速度に有意な処理間差は見られず、Y3区とY4区の根の新鮮重はY2区と比べて有意に低い値を示した。以上の結果から、砂質土壌における間断灌水について、土壤水ポテンシャル -7°Rc を灌水閾値に設定した場合に、茎葉乾物生産と節水の両立を実現できる可能性が示された。ポスター発表では、間断灌水において根の果たす役割について、根の出液速度、根の新鮮重と共に、現在解析中の根長測定結果も踏まえて詳細に考察する["]

雪による地下部冷却は春先の葉の拡大を抑制する

庄司 森^{*1,2)}・吉村謙一²⁾

¹⁾岩手大学大学院連合農学研究科, ²⁾山形大学農学部

・連絡先(Uj qlk3342B i o ckfleqo)"

樹木は、気温上昇にともない冬芽が膨張し展葉・葉の拡大を始める。しかし、冷温帯多雪林では気温が上昇しても、融雪の遅れにより春先に土壤が長期間 0°C に冷却される。これにより、春先に積雪がなく土壤温度が上昇する森林と比較して展葉が遅れる。残雪が展葉・葉成熟に至る冬芽の膨張と葉の拡大をどのように制御し展葉を遅延させるのかは明らかになっていない。冬芽・新葉は土壤や樹体から水分が供給されることで吸水し、展葉・葉の拡大をする。一方、枝先に水分を供給する地下部は低温で通水性が著しく低下する。そのため、残雪による根の冷却が春先の展葉や葉の拡大時の吸水を抑制する可能性がある。本研究では、気温が上昇しても、残雪があることで地温上昇をしないという気温と地温のミスマッチ状態になることで、低温による根の通水が制限され、展葉や葉の拡大が遅れると仮説を立てた。イタヤカエデの苗木を用い温度制御実験を行うことで、冬芽の吸水と根の通水性に着目し、地下部を冷却した場合としなかった場合で根の通水や展葉を比較することにより、地下部冷却が展葉・葉の拡大を遅延させるプロセスを解明することを目的とした。

実験は 4 月から 6 月までの約 2 ヶ月間行い、実験期間中は全ての個体に対しインキュベータ内で温度管理をした。処理項目は、平均温度として地下部を 3.1°C、地上部を 2.6°C に冷却した冬季処理、土壤に雪をかけることによって地下部を 2.6°C に冷却し、地上部を 11.5°C に暖めた残雪処理、地下部を 11.7°C、地上部を 11.7°C に暖めた無雪処理の 3 つに分けた。苗木が受ける光の量、土壤の水分条件は一定に揃うように管理した。それぞれの処理での目視による展葉観察を行った。処理ごとの冬芽および葉の吸水成長と葉の拡大を比較するために、水分量・乾重・生重の時系列変化を調べた。処理ごとの展葉および葉の拡大時期における根の通水性を比較するために、プレッシャーチャンバーを用い加圧した水を根に通すことで単位時間あたりの根の通水性を測定した。また、低温で水チャネルタンパク質であるアクアポリンの発現が抑制されることから、塩化水銀水溶液でアクアポリン活性を阻害した場合の通水性を測定し、処理ごとのアクアポリンの寄与を調べた。

その結果、無雪処理と比較して、残雪処理において展葉が制御された。残雪・無雪の両処理で展葉に向けた冬芽吸水が確認されたが、残雪処理は無雪処理と比較して冬芽および葉の水分量・乾重・生重の増加が抑制された。冬季処理では冬芽および葉の展葉に向けた吸水・成長と、実験期間内での展葉は確認されなかつた。冬芽から葉が露出し完全に開くまでの間に他の処理と比較して無雪処理の根の通水性は著しく上昇したが、残雪・冬季処理の通水性は低いままであった。これには地下部冷却による根のアクアポリンの発現抑制が影響していることがわかった。

本研究では、樹木は地上部の温度上昇によって展葉するが地下部の温度が展葉時期に影響することがわかった。地下部の冷却により根のアクアポリン発現が制限され、通水性が低くなることによって冬芽や新葉の吸水速度が小さくなることがわかった。これらのことから、雪による地下部冷却で冬芽・葉の吸水成長が遅れ、展葉および葉の拡大が抑制されることが明らかになった。

Linux をベースとした土壤スキャナ画像の自動収集装置の開発

田中優斗¹⁾・大橋瑞江²⁾・森健介²⁾・趙星一³⁾・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⁾兵庫県立大学大学院環境人間研究科

・連絡先(54467277B hwnwej k{co c0re0r)"

近年, 地球温暖化による地球環境の変動が問題視されているが, これは人類の活動に伴う化石燃料消費によって, 大気中の炭素の絶対量が増加していることが原因の一つであると考えられる (KREE."4243). 森林の樹木はその幹や葉, 根などによって大気中の炭素を固定させ, やがて枯死や微生物による分解などによって気化させることにより, 炭素を循環させる役割を果たしている. このことから, 地球上における炭素循環機構に寄与している森林の炭素循環を把握することで, 人為的な要因と自然界の循環プロセスを統合的に理解することができ, 地球環境保全に対する新たな対策が期待できる. "

森林の炭素循環機能を明らかにする上で樹木の地上部が注目されがちだが, その地下部も炭素循環機能に大きく寄与していることが知られている. 地下部の樹木根系は樹木の幹を支える役割だけでなく, "土壤中の栄養や水分を吸収する役割を担っている" 樹木の細根は, "比較的短い周期で成長と枯死を繰り返していることから, 森林の炭素循環に大きく貢献していると考えられる. "その生態を明らかにすることによって, より精緻な樹木および森林における炭素循環量の把握が可能になると推測される. 現在, 細根の動態を継続的に計測する手法としてミニライゾロン法^{*Lqj puqp"gv"cn0"4223+}やスキャナ法^{*F cppqwtc"gv"cn0"422:}が利用されているが, これらの方では計測時には現地に赴く必要があるため, 短い間隔での継続的な計測や悪天候時の計測が困難であった. "

そこで本研究では, 細根の動態をより効率的に計測可能なシステムとして, 土壤スキャナ画像の自動収集装置を開発した. 本システムにおけるデータロギング RE では, オープンソースのオペレーティングシステム Npwz^{**Wdwpw46Q6NVU}を用いた. この RE は通電すると WUD ポートに接続されている全てのイメージスキャナ I V/U822*Ugknq"Gr uqp"Eq0"Uwy c."Lcr cp-を自動的に検出し, スキャンを行う. ポケット Y khk などによりインターネットへのアクセスが可能な調査地では, 撮影された画像はクラウドシステムに自動的にアップロードされる. このシステムを24時間タイマーと併用することで, 任意の時間に自動的にシステムが実施されることを確認した. "

多雪ブナ林の急峻な谷地形における林床植物の地下部形態の傾斜に対する応答

吉村謙一^{*1)}・平紅樺里^{1, 2)}

¹⁾山形大学農学部, ²⁾株式会社エコリス

・連絡先({0ij ko wngpB i o ckfleqo)"

山地森林は複雑な地形の上に成立しており、尾根や谷といった微地形の特有の植物が生育することにより森林全体の下層植生のβ多様性が維持される。そのため、各微地形特有の植生が形成されるプロセスは山地森林の多様性の維持機構の中でも重要な構成要素であると考えられる。特に多雪ブナ林においては斜面が急である谷部では雪による搅乱が頻発することが知られている。そこで、斜面角度が急である谷では雪による搅乱影響が強く、物理的搅乱に耐性のある植物のみが生育するという仮説をたてた。そこで本研究では多雪ブナ林の林床に生育する木本植物・草本植物の斜面における分布の違いを調べ、根系の形態や引き抜き抵抗の種間差を調べることで雪に対する物理的抵抗力が植物の斜面角度による棲み分けに影響しているのかを明らかにすることを目的とする。

調査は山形大学農学部の上名川演習林のブナ林でおこない、調査地内の冬季の積雪深は4mを超える。谷頭部を含む40m×80mのプロットを設置し、その内部に2m×2mのサブプロットを109個設置した。サブプロット内の斜面角度を測定し、サブプロット内に生育するすべての維管束植物の個体数を計測し、各種の個体数と斜面角度の関係を示した。冬季における谷全体の様子を撮影するためインターバル撮影カメラを設置し、各サブプロットには冬季前に竹を割ったものをくくりつけた割り箸を土壤に差し込んだ。これはグライドなどの土壤搅乱が生じると竹に引張の圧力がかかって割り箸が抜け、竹が斜面を滑り落ちるという原理を用いた簡易的な土壤搅乱検出器である。斜面に生育する様々な木本植物と草本植物の地際部にワイヤーをくくりつけて斜面下部方向に引っ張ることによって、根系が破断する際の最大引張力を測定した。また、この測定とは別に土壤から丁寧に根系を掘り取り、根系の形態を測定した。

斜面角度が緩やかな場所には木本植物が多く生育し、急なところには草本植物が多く生育していた。しかし、個体数が少ないものの木本植物の中でブナは斜面角度が急な場所まで生育することは可能であった。簡易搅乱検出器を用いると斜面角度が大きいほど土壤搅乱は起こりやすいことが明らかになり、冬季の様子を撮影したカメラ映像では積雪により谷がほぼ埋まりグライドなどは起こらず雪が斜面上部から徐々に融けていく様子が観察された。このことから斜面で起こる土壤搅乱は沈降圧によるものであると推察された。最大引張力は植物の地際直径と正の相関、斜面角度と負の相関があり、搅乱が生じやすい斜面角が大きいプロットでは植物は破断しやすく、搅乱に対して地下部の力学特性が適応しているとはいえないかった。しかし、ブナの根系形態をみると主根は地中深くに入り込み、側根は細かく分枝しており、最大引張力をみてもブナは最も破断しにくく、力学的に強い地下部を持つことが他の樹木と比べても斜面下部に生育するうえで有利であると考えられた。一方、草本植物は根系が浅く、最大引張力が小さく破断しやすい。これは冬季に地上部を残す木本植物と違い、冬季に地上部を落とす多年生草本植物は沈降圧に対する対応をする必要がないからであると考えられる。そのため、草本植物は沈降圧による引張がかかりやすい急斜面でも生育でき、一方木本植物は引張に対する抵抗力がある種しか急斜面で生育できないことが明らかになった。

サツマイモネコブセンチュウ抵抗性検定圃場における線虫抵抗性と系譜解析

栗原未結*・西中未央・田口和憲

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 中日本農業研究センター
・連絡先 (mxtkj_ctco ; 7; B chte0 q0r)"

【緒言】"

サツマイモネコブセンチュウ" *Uqwj gtp"tqqvnpqv'pgo cvqf g; 以下 UTMP +はサツマイモの根に感染して寄生することにより、地上部の生育不良、塊根形状のみだれおよび収量低下をもたらす。農研機構中日本農業研究センターでは同機構谷和原畠圃場*茨城県つくばみらい市+に設けた UTMP 検定圃場で選抜試験を実施し、抵抗性品種の開発を進めてきた。そこで過去 52 年にわたる抵抗性検定の結果をデータベース化し、系譜解析により抵抗性遺伝子の供与親を探索した。"

"

【材料および方法】"

UTMP 検定圃場のレースは UR6 に区分されることが報告されている*左野ら"4224, Ucpq"cpf "Ky cj qtK"4227, 百田ら"4234+。"UTMP 検定用の基準品種・系統は「農林 3 号」、「農林 4 号」、「エレガントサマー」、「ジェイレッド」、「種子島紫/9」および「関東 36 号」である。なお、「ジェイレッド」以外は UTMP のレース UR6 に対して感受性である。検定品種・系統の UTMP 抵抗性は主に細根に着生した卵のう数に注目し、株ごとに 3**強+, 4**やや強+, 5**中+, 6**やや弱+, 7**弱+の 7 段階で評価し、複数年の平均値に基づき抵抗性を評価した。""

系譜解析には農研機構およびその前身機関で記録した 3.4: 6 品種・系統の交配データを使用した。抵抗性検定の結果は 3; ; 6 年～4246 年の 52 年間で取得した計 3.369 品種・系統*内 59; 品種・系統が交配データに含まれる+の平均値データを使用した。系譜情報と UTMP 抵抗性情報を統合したネットワーク解析を行い、抵抗性品種・系統を可視化した。解析には T 言語" *T"gtukqp"6060+"を利用し、T"t cencig'\$ki tcrj \$, \$kf { i tcrj \$, \$i tcrj \$" を用いた。ネットワークのグラフ化にあたり、抵抗性評価の平均値が 4 以下のものを抵抗性" *T+, 4 より大きいものを感受性" U+"とした。また調査が行われていない品種・系統については欠測値" PC+"とした。"

"

【結果および考察】"

42 年間の基準品種における UTMP 抵抗性の評価値は、「農林 3 号」で 50±20, 「農林 4 号」で 40±20, 「エレガントサマー」で 40±20, 「種子島紫/9」で 40±20, 「ジェイレッド」で 30±20, 「関東 36 号」で 60±20 であった。藏之内ら *4238+ の報告では、UTMP 抵抗性の品種・系統の強弱関係は概ね安定していたが、42 年間の年次間差を見ると、「農林 3 号」と「種子島紫/9」では強弱感の序列が異なる年もあり、これらの品種は気温や地温、土壤水分量などの外的環境による影響を受けやすい傾向が示唆された。"

系譜情報を付加したネットワーク解析では、3 方向のデータを作成した*例ぐ品種 3→品種 4, 品種 3→品種 5+。系譜情報に抵抗性評価*T, U, PC+を付加し、数種の品種・系統の対応関係を分析すると、「農林 7 号」、「紅赤」、「2IFP/69」などの抵抗性因子に由来している可能性が示唆された。しかし現状では、系譜関係を網羅する UTMP 抵抗性の情報が不足していることから、今後はこれらの情報を蓄積していく必要がある。"

光ファイバセンサを用いた樹木粗根の肥大方向の評価^{***}

藤田早紀³⁺・山本勝^{4+**}

³⁺森林総合研究所、^{4+*}富士テクニカルリサーチ

・連絡先 "ucnhB hrtQhleQ qdr +"

【目的】樹木根系は、様々な太さの根が複雑に混在しており、主に太い根が樹木を力学的に支えている。一般的に樹種に関係なく、太いほど、その根の強度は高い。根は風など外力の影響を受けることで、その太り方に偏りが生じることが報告されている。そのため樹木は、風などの外力に対する根返りの強度が高まるように大きな力がかかる箇所の根を特に太くする、T字やI字、橢円形に変化するなどして、根の肥大成長特性を最適化していると考えられる。しかし、従来の根系調査方法には、「破壊を伴うことが多い」、「計測可能な肥大成長特性は総肥大成長量のみ」などの欠点がある。これらの欠点を補う計測技術は今のところ存在しない。そこで、本研究の目的は、非破壊的に樹木根の肥大成長分布を計測する技術を確立し、肥大の方向性を評価することである。

【材料と方法】森林総合研究所^{*}茨城県つくば市⁺の実験苗畠に生育するスギ1本、クロマツ4本^{*} 年生⁺を対象とした。8月下旬中にそれぞれの根に光ファイバ^{"#F8U23NE522R" Nwpc} ^{Kpqxcvqpu.WUC.} 2077"o o⁺を耐水性のある瞬間接着剤を用いて接着し、埋め戻した。8月下旬から32月中旬にかけて、：月8日^{"#設置から3ヶ月+}；月8日^{"#設置から4ヶ月+}；32月37日^{"#設置から5ヶ月半+}の5回光ファイバセンサの計測を実施した^{"#HDKI cwi g"8322" Nwpc} ^{Kpqxcvqpu.WUC.} 用いた光ファイバは、207"b o の分解能で、根3周に対して約422点でひずみを計測した。8月下旬、；月中旬、32月中旬に電子ノギスで根の直径計測を行った。

【結果と考察】光ファイバセンサを根に直接巻き付け、長期間土の中に置くことは初めての試みであった。水分量、地温の変化による光ファイバの劣化・断線など懸念点があったが、一部の個体で、約3ヶ月継続して計測が可能であることを確認することができた。今回得られた結果から、通常状態（見かけ上荷重ストレスがない状態）の根の肥大には大まかな「方向性」があることが明らかになった。スギ及びクロマツ②では、水平方向よりも鉛直方向の肥大が大きく、クロマツ①では、水平及び鉛直方向のほぼ均等であり、手計測でも同様な傾向が得られた。さらに、スギとクロマツで共通して9月から10月にかけてのひずみの変化量が最も顕著であり、肥大の季節性が示唆された。

エアザシを用いたチャンチンモドキの挿し木発根特性の評価

向井伸生^{*1)}・渡辺敦史^{*2)}・三樹陽一郎^{*1)}

¹⁾宮崎県林業技術センター, ²⁾九州大学大学院生物資源環境学府

・連絡先(o wnekkpqdwqB rtghOb k(c| cm10i Or)"

チャンチンモドキ(*Choerospondias axillaris*) は、ネパールから九州の西側までの暖・温帯に分布するウルシ科の樹木である。国内では人工造林の実績はないものの、成長が早く、幹が通直で用材として利用しやすいとされる。ユーカリをはじめ早性樹として知られている樹種には日本国内に自然分布していないものも多いが、チャンチンモドキは熊本～鹿児島にかけて自然分布しており、樹木の外来種問題を回避できることから、国産早生樹として有望視される。将来的に、優良系統を効率的に増殖するためには、実生ではなく、挿し木等によるクローン増殖が必要となるが、チャンチンモドキの挿し木技術は確立されていない。本研究では、用土・水等の支持体を利用することなく挿し穂から発根させる技術である「エアザシ」をチャンチンモドキに適用し、採穂部位等の条件を変えて挿し木試験を行った。その結果、一般に発根性がよいとされる当年枝を挿し穂として利用した場合、挿し穂が腐敗し、発根に至らないことが確かめられた。一方、根を挿し穂として利用する「分根」では、エアザシにより 13.3%に不定芽が生じ、クローン増殖することが可能であることが分かった。その際、垂直根では不定芽が生じなかつたことから、分根による増殖を行う際には、地表近くに分布する水平根を使用する必要性が明らかとなつた。また、分根により生じた不定芽を挿し穂として利用することで挿し木に成功したことから、分根により複数の不定芽を生じさせ、それを挿し穂として使用することで効率的な増殖が可能となる可能性が示唆された。本研究の結果は、チャンチンモドキのクローン増殖には、樹体の部位や組織発達の程度などを考慮する必要性があることを示しており、特に垂直根と水平根間で不定芽の出現に認められた相違は、新規組織発生に対する生理的応答の相違に起因すると考えられる。そのため、この現象を理解するためにはそれぞれに分類される根部位に対する生理学的アプローチの必要があると考えられる。

モンゴル北東部の森林－草原エコトーンにおける主要 5 樹種の細根形質の種特異性

増本泰河³⁺・牧田直樹³⁺・Fcxccclcx'Fcmj uwtgp⁴⁺・Igtgnlccvct'Uwnj dccvct⁴⁺・Dccvctdkgi 'Pcej kp⁴⁺・
城田徹央⁵⁺・安江恒^{5+II}

³⁾信州大学大学院総合医理工学研究科.⁴⁾モンゴル国立大学環境・森林技術学部.⁵⁾信州大学農学部
・連絡先*090 cuwo qq43B i o ck0eqo +

モンゴル北東部の森林－草原エコトーンでは、低温や乾燥に加え、草本との競争によって土壤資源の利用可能性が制限されている可能性がある。したがって、細根からどのように土壤資源を獲得するのかが樹木の生存や成長において重要と考えられる。本研究では主要樹種の樹木細根の菌根共生を含めた土壤資源獲得戦略を明らかにすることを目的とした。調査は 4245 年：月にモンゴル国立大学ウドレグ研究林^{*6: Å37P."328Å2'G"標高^{355: "o = 第 3 図+"}で行われた。調査地の年平均気温は-1.8°C、年降水量は 47; "o o あり、亜寒帯と半乾燥帯の特徴を有する。対象樹種として、外生菌根種で落葉広葉樹のシラカンバ^{"*Dgwr" rrwfrj {mc+}、落葉針葉樹のシベリアカラマツ^{"Nctk" udkkec+}、常緑針葉樹のヨーロッパアカマツ^{"Rkpwu" ufnigmatku+}を選んだ^{"*第 4 図+}。成木から 5 次根系を採取し、形態特性として平均根直径^{"*o o +}、比根長^{"*o '1/3+}、根組織密度^{"*eo /5+}を、化学特性として窒素含有量^{"*o i "i /3+}を評価した。また、顕微鏡観察により菌根感染した根端を計数することで菌根感染率^{"*感染根端数/観察根端数=}を評価した。結果、5 樹種で明確に細根の特徴が異なり、種固有の土壤資源獲得戦略が存在することが明らかとなった。シラカンバはシベリアカラマツとヨーロッパアカマツよりも有意に平均根直径が小さく、比根長が高く、菌根感染率が高かった。シラカンバは菌根菌との共生を高める事で資源獲得を行っている事が示唆された。一方、シベリアカラマツはヨーロッパアカマツよりも有意に窒素含有量が高く、根組織密度が低かったことから、細根の代謝活性を高めることで土壤資源を獲得している事が示唆された。本発表では同位体分析の結果も踏まえ、なぜ 5 樹種で異なる戦略をとるのか考察してゆく。}



第 1 図 ウドレグ研究林に広がる森林－草原エコトーンの様子。



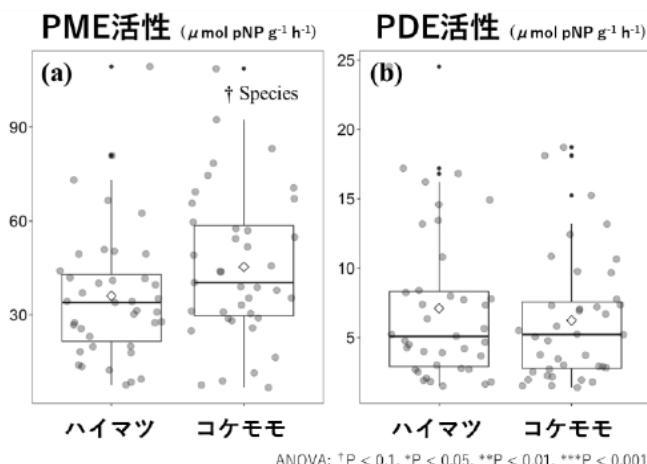
第 2 図 対象樹種の細根の写真。スケールバーは 2 cm を示す。

森林限界域における樹木の細根ホスファターゼ活性と土壌リン・窒素濃度の関係性

平野 侑¹⁾・諏訪竜之介¹⁾・北上雄大²⁾・牧田直樹¹⁾¹⁾信州大学 理学部, ²⁾三重大学大学院 生物資源学研究科

*連絡先(yuhirano92@gmail.com)

植物は土壤有機態リン(土壤 Po)の分解酵素ホスファターゼを細根から分泌して土壤 Po の分解能を高め、無機態 P を獲得している。森林限界よりも高い標高域では、低温による有機物分解速度の低さにより無機栄養の少ない土壤が形成され、ホスファターゼを介した土壤 Po からのP獲得が重要な栄養塩獲得戦略の1つとなっている可能性がある。さらに、酵素は N リッチなタンパク質であるため、ホスファターゼの分泌はその樹木の N 獲得能や土壤 N 濃度と関係している可能性がある。そのため、細根ホスファターゼ活性は、土壤有機態 N の利用能が高いエリコイド菌根(ERM)性の樹種の方が外生菌根(ECM)性樹種よりも高い可能性も考えられる。そこで本研究では、森林限界域に分布する、菌根菌タイプの異なる2樹種の細根ホスファターゼ活性2種(PME: ホスホモノエステラーゼ、PDE: ホスホジエステラーゼ)の活性と細根形態特性を調べた。調査は 2024 年 8 月に信州大学農学部西駒演習林山頂(標高 2,672 m)で行われ、外生菌根(ECM)性のハイマツとエリコイド菌根(ERM)性のコケモモの2種を対象とした。細根とともに周辺土壤もサンプリングし、土壤可給態 P、窒素 N(全 N、硝酸態 N、アンモニア態 N、有機態 N)、土壤 pH、電気伝導度(EC)、温度、含水率を調べた。その結果、コケモモはハイマツよりも高い PME 活性を示し(第 1 図 a)、土壤のP濃度や EC が低くなればなるほどその傾向は顕著であった。一方、PME 活性は土壤全 N 濃度と正の相関関係にあり、この傾向はハイマツで顕著に見られた。PDE 活性については種間差や土壤特性に対する応答は見られなかった(第 1 図 b)。これらの結果から、ERM 性のコケモモは、特に土壤 P 濃度の低い場所において PME 活性を高めることで効率的な P 獲得を行っていることが示唆された。しかし、ECM 性のハイマツではむしろ土壤 N との正の相関関係が見られたことから、土壤 N 資源によって PME 活性が制限されている可能性が示唆された。このように森林限界域において、土壤 N の利用可能性とも関連しながら、菌根菌タイプや種によって異なる土壤 Po 獲得戦略が規定されていると考えられる。



第 1 図 樹種ごとのホスファターゼ活性。(a) PME 活性、(b) PDE 活性。

Root Research 根の研究

事務局 〒104-0033 東京都中央区新川1-22-4 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: neken2024@jsrr.jp

根研究学会ホームページ <http://www.jsrr.jp/>

根の研究 第33巻 別冊2号 2024年12月19日印刷 2024年12月20日発行
発行人: 阿部淳 〒861-2205 熊本県上益城郡益城町杉堂 871-12
東海大学 阿蘇くまもと臨空校舎
編集・印刷: 第60回根研究集会実行委員会(委員長 阿部淳)

Root Research

Japanese Society for Root Research