

Root

ISSN 0919-2182
Vol.29, No.1
March 2020

Research

Japanese Society for Root Research

目 次

【巻頭言】	
会員の皆様へ	1
【原著論文】	
根箱と ImageJ を用いた迅速かつ安価なダイズ (<i>Glycine max</i>) の根および地上部の生育評価 手法の確立 揚原晋輔・真田篤史	5
【報 告】	
根研究集会—これまでの 50 回、これからの 50 回— 第 50 回記念根研究集会実行委員会	20
根研究会から根研究学会へ 森田茂紀	21
グループディスカッション報告「1. 水吸収」 且原真木・牧田直樹・松波麻耶・井ノ口華帆・大西亜耶・増本泰河・矢原ひかり・ 渡邊友実加・Moein farahnak	24
グループディスカッション報告「2. 養分吸収」 野口享太郎・福澤加里部・菅井徹人・古谷舞	26
グループディスカッション報告「3. 物質循環」 藤井黎・大橋瑞江・平野恭弘	28
グループディスカッション報告「4. 測定 / 評価方法」 田島亮介・檀浦正子・寺本翔太・服部林太郎・鈴木大介・武井玄・谷川夏子・田村梓	29
グループディスカッション報告「5-1. 環境応答 / ストレス」 亀岡笑・間野吉郎	31
グループディスカッション報告「5-2. 環境応答 / ストレス」: 根の潜在能力と根の環境を知る 塩野克宏・清水香那・久米篤	33
グループディスカッション報告「6. 生物間相互作用」 遠藤いず貴・神山拓也・小池孝良	34
グループディスカッション報告「7. 生物間相互作用」 仁木輝夫・菱拓雄	37
グループディスカッション報告「8. 収量 / 生産性 / 成分」 辻博之・関谷信人	38
第 50 回記念根研究集会に参加して 茂木京菜	39
第 50 回記念根研究集会に参加して 舛谷悠祐	41
【情 報】	
菜根譚 野菜の根の話 7. ねばるジャガイモ 中野明正	43
第 51 回根研究集会のお知らせ	44
カレンダー	46
【公 示】	
名簿データ登録 (更新) のお願い	47
根研究学会会則	49
根研究学会学術賞規定	50
『根の研究』投稿規程	51
『根の研究』原稿作成要領	52
『根の研究』論文審査要領	53
国際誌 Plant Root に掲載の 2019 年の論文	54

根の研究
根研究学会(JSRR)

会員の皆様へ



告 示

○2020—2021 年度の役員について

平野恭弘新会長のもと、新しい執行部、評議員会、編集委員会が発足しました。執行委員の自己紹介と役員一覧を今号に載せました。

○根研究学会 2020 年度総会の開催について

第 51 回根研究集会の一部として、2020 年度の定例総会を開催します。皆様ご参加下さい。

開催日：2020 年 5 月 31 日（日）、開催地：長野県、信州大学理学部（松本キャンパス）。

予定されている主な議題：2019 年度活動報告・決算、2020 年度活動方針・予算、規定等の変更について（審議事項については、その場でもご提案頂けますが、時間をかけて議論すべき議題や、資料の配付を必要とする議題については、なるべく事前に事務局までご提案下さい）。

事務局からのお知らせ

1. 電子版会誌のダウンロードについて

2020 年度から根研究学会ホームページおよび J-Stage から電子版会誌をダウンロードするためのパスワードを変更したのでご注意ください。ユーザー名の変更はありません。

根研究学会電子版会誌の URL <http://www.jsrr.jp/rspnsv/download.html>

J-Stage の URL <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/rootres/-char/ja>

2. 2020 年の根研究集会

- ・ 第51回根研究集会 [本号に開催案内を掲載・詳細はホームページにて]

参加・発表申込は4月23日（木）が締切です。宿泊は、各自、早めに予約の手配をお願いします。
長野県、信州大学理学部（松本キャンパス）

開催日時 2020年5月30日（土）12：50～31日（日）12：10（懇親会は自粛いたします）

なお、新型コロナウイルスの感染拡大状況によっては、今後根研究集会の中止、あるいは内容を一部変更して開催させていただく場合がございます。

- ・ 第52回根研究集会

熊本県熊本市の東海大学で11月21日（土）～22日（日）に開催する予定で、阿部淳会員に企画をお願いしています。22日の午後にワークショップの開催を検討しています。

- ・ 2021年度の集会 春の開催地については募集中です。秋の開催地は三重大学の予定です。

3. 学生会員の参加費は無料です

2017年から学生会員の参加費は無料になりました。これまで根研究集会の参加費は一般会員、学生会員、非会員を問わず同額でした。非会員の参加費は、一般・学生に関係なく、一般会員より1,000円程度高くなります。学生会員は集会受付で学生証の提示をお願いいたします。この機会にぜひ根研究学会学生会員にご加入いただけますよう、関係学生の皆さんにご周知いただけますようお願いいたします。

4. 投稿のお願い

会誌「根の研究」では、原著論文のほかに、ご自身の一連の研究を他分野の会員にも分かりやすく解説したミニレビューを重視しています。学術功労賞・学術奨励賞の要件である、本会における研究成果の報告は、ミニレビューによる解説も認められていますので、積極的にご寄稿下さい。また、研究手法や学生向けの実験・実習法の解説なども歓迎します。

次ページに続く

5. 根研ロゴの使用について

これまで「根研」のロゴを入れたTシャツなどのグッズを事務局が製作し、研究集会で販売してその収益を特別会計の収入としていました。しかし、売れ残りが生じると特別会計の赤字になってしまったためグッズを積極的に製作することは困難でした。そこで、会員の皆様が使用料を支払うことで根研ロゴを使用したグッズを自由に製作することができるようにしました。使用料は1製品につき300円です。詳しくは事務局までお問い合わせください。

6. 名簿データ更新のお願い（異動のないかたもご協力下さい）

住所・所属・研究テーマ等に変更のある方は本号に掲載の案内、または根研究学会ホームページ (<http://www.jsrr.jp/>) の「諸手続一名簿データ更新」のコーナーをご参照頂き、データをお送り下さい。また、各種調査に備えて今後会員の性別と学生・社会人の別を集計することにしました。特に変更のない方も名簿データの更新にご協力ください。これら追加データは、主に会員構成（男女比など）を把握するために使わせて頂きます。なお、次回の名簿発行は2021年6月の予定です。

7. 会費納入のお願い

2020年度の会費をまだお支払い頂いていない方は、下記の郵便振替口座に納入をお願いします。請求書等の伝票をご希望の方は、事務局までお知らせ下さい。

年会費（2020年）： 電子版個人3,000円、冊子版（+電子版）個人4,000円、冊子版団体9,000円
（年度は1月～12月です）

郵便振替口座 口座名義（加入者名）：根研究学会、 口座番号：00100-4-655313

[他の銀行から振込の場合：ゆうちょ銀行 ○一九店（ゼロイチキユウテン） 「当座」0655313]

根研究学会所在地・連絡先： 〒104-0033 東京都中央区新川 2-22-4 新共立ビル 2F

(株) 共立内 根研究学会事務局 TEL：03-3551-9891/FAX：03-3553-2047

- メールアドレス 事務局：neken2020@jsrr.jp 『根の研究』編集委員長：editor2020@jsrr.jp
Plant Root 編集委員長：editor2020@plantroot.org
- Web サイト 根研究学会：<http://www.jsrr.jp/> 『根の研究』オンライン版：<http://root.jsrr.jp/>
Plant Root：<http://www.plantroot.org/>

「これからの 50 回」の年輪を刻みましょう！

会 長 平野 恭弘

2020 年 - 2021 年と会長を務めさせていただくこととなりました。至らぬ点も多いかと思いますが、皆様どうぞよろしくお願ひいたします。

私は樹木の根系を対象に研究しています。樹木の根にも年輪ができるように、学生さんや若手研究者からベテラン先輩研究者の方々、また根に興味のあるステークホルダーの方々まで、皆が学会に年輪を刻むがごとく、自らが参加したくなる学会を目指していきたいと思ひます。

昨年、根研究集会は第 50 回の記念集会を終え、学会に年輪として刻まれてきた「これまでの 50 回」を振り返り、「これからの 50 回」に思ひを寄せ、参加

者全員で学会の未来を語り合いました。この様子は「根の研究」本号に特集されていますのでぜひご一読ください。

今年はまさに「これからの 50 回」の第一歩です。春に第 51 回根研究集会を長野県松本市で、秋には第 52 回を 2016 年の熊本地震でやむを得ず中止となった熊本市で開催する予定です。皆さんで語り合った未来の年輪を刻むため、根をとりまく様々な分野の研究をさらに語り合える機会にできたらと思ひます。

会員の皆様、今後とも学会企画・運営にぜひご協力いただけますようよろしくお願ひいたします。

根研究学会 2020～2021 年度 役員一覧

(2020 年 1 月～2021 年 12 月)

昨年実施の会長選挙で選出された会長が、会則に基づき、以下の方々に役員を委嘱しました。

「自分も評議員/編集委員を務めて根研の活動に貢献したい」という会員がいらっしゃいましたら、年度途中での委嘱も検討しますので、事務局 neken2020@jsrr.jp までご連絡下さい。

会 長

平野 恭弘 (名古屋大学大学院 環境学研究科)

副会長

間野 吉郎 (農研機構畜産研究部門)

副会長を務めさせていただきます間野です。ここ 20 年間、一貫してトウモロコシ近縁種であるテオシントの根に着目した耐湿性 (過剰な水分に対する耐性) の研究を行っています。平野会長のもと、私のほうでは特に Plant Root の活性化に力を入れていきたいと思ひます。根研究会で発表された研究成果をはじめ、若手研究者の積極的な投稿をお待ちしております。

田島 亮介 (東北大学 大学院農学研究科)

根研究学会は学会という名前は付いていますが、分野を超えて老若男女活発に議論できるのが良いところだと考えています。その良いところを生かせる学会を目指して、平野会長をサポートしていきたいと考えています。根研究会から根研究学会の名称が変わった頃「根の研究」の編集委員長をやっていました。それ以来、久々の学会の仕事です。よろしくお願ひ致します。普段は川渡という宮城県の温泉地にある附属施設 (農場) で教育研究をしています。

事務局長

島村 聡 (農研機構東北農業研究センター)

事務局長を 4 期連続務めることになりましたが、年々若手研究者の活動が活発化しているように感じています。若手支援を重視した運営を行っていますが、若手からベテランまで根研独特の気軽に相談できる雰囲気大きいのかもかもしれません。根研の良いところを残しつつ、新しい取組を進めていきたいと思ひますので、アイデアをお待ちしています。会員の皆様、ご協力のほどよろしくお願ひいたします。

副事務局長

塩野 克宏 (福井県立大学 生物資源学部)

本年から副事務局長を務めさせていただきます。昨年の 50 回記念で根研の歴史や会員の熱気に触れて、新しい根研の展開に少しでもお役に立てたらと思っております。会員が「根」を見て、考えて、繋がる場として根研究学会をサポートして参ります。英文誌 Plant Root の編集委員もしております。こちらの方にも原著論文だけでなく総説など、どしどし成果を投稿ください。よろしくお願ひいたします。

監査

益守 眞也(東京大学大学院 農学生命科学研究科)

評議員 (50 音順)

大橋 瑞江 (兵庫県立大学 環境人間学部)
小柳 敦史 (農研機構九州沖縄農業研究センター)
且原 真木 (岡山大学 資源植物科学研究所)
亀岡 笑 (酪農学園大学 農食環境学群)
久保 堅司 (農研機構東北農業研究センター)
神山 拓也 (宇都宮大学 農学部)
塩津 文隆 (明治大学 農学部)
檀浦 正子 (京都大学 大学院地球環境学堂)
辻 博之 (農研機構北海道農業研究センター)
中野 明正(農林水産省 農林水産技術会議事務局)
野口 享太郎 (森林総合研究所 東北支所)
馬場 隆士 (農研機構果樹茶業研究部門)
菱 拓雄 (九州大学大学院 農学研究院)
福澤 加里部 (北海道大学大学院 環境科学院)
本間 知夫 (前橋工科大学 工学部)
牧田 直樹 (信州大学 理学部)
松波 麻耶 (岩手大学 農学部)
森 茂太 (山形大学 農学部)
山内 卓樹(東京大学大学院 農学生命科学研究科)
陽川 憲 (北見工業大学 工学部)

*国立大学法人, 国立研究開発法人などの表記は省略しました。「農研機構」の正式名称は「国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構」です。

「根の研究」編集委員会 (「根の研究」の奥付参照)

編集委員長

小川 敦史

根の研究の編集委員長をもう1期務めることになりました。私を困らせるくらい多くの原稿が集まることを期待しています。本当によろしく願いいたします。根研究会に入ってもう25年くらいになります。私個人としては、元々(今でも)イネなどの作物の根の耐乾性機構の解明の基礎研究を行っているのですが、それと並行して植物工場などでの高付加価値・機能性野菜の栽培法の研究も行っています。

副編集委員長

中野 明正

野菜や果樹など園芸作物を中心に根の研究に取り組んでいます。多収や高品質をめざす上で、根は未

解明の部分が多いフロンティアです。雑誌「根の研究」に掲載される新しい知見に期待をしています。

福澤 加里部

森林での細根動態や植生-土壌系での物質循環を研究しています。「根」といっても対象、視点や手法はさまざまで、自分と近い研究者だけでなく従来の学問分野の枠ではなかなか会うことができない方々の研究に触れることも、真に根(とそれを取り巻く環境)を理解するには必要だと思います。雑誌「根の研究」を通じて会員の情報交流がさらに活発になるように考えていきます。

編集委員 (50 音順)

岩崎 光徳 ・ 宇賀 優作 ・ 亀岡 笑 ・
唐澤 敏彦 ・ 神山 拓也 ・ 辻 博之 ・
仲田(狩野) 麻奈 ・ 松波 麻耶 ・ 松村 篤 ・
南 基泰 ・ 森 茂太 ・ 山崎 篤

「Plant Root」編集委員会 (Plant Root ホームページの編集委員一覧参照)

編集委員長 (Editors-in-chief) (50 音順)

塩野 克宏 ・ 野口 享太郎 ・ 古川 純 ・
間野 吉郎

*このほか、事務局の実務は株式会社共立の三角誠司さん、栗本佳世子さんをお願いしています。

根箱と ImageJ を用いた迅速かつ安価なダイズ (*Glycine max*) の根および地上部の生育評価手法の確立

揚原晋輔¹⁾・真田篤史^{*2)}

1) フロリダ大学 Gulf Coast Research and Education Center

2) 東京農業大学国際食料情報学部

要 旨 : 著者らは、根箱のスキャン画像解析に基づいた、非破壊によるダイズ (*Glycine max*) の根の解析手法を確立した。使用した根箱は、木枠とアクリル板で構成された。本研究の主な目的は、初期生育時における野菜苗の根および地上部の発達を、根箱と、フリーソフトである画像解析ソフト ImageJ を用いて、迅速かつ安価に評価する手法を確立することであった。ダイズは、根箱に播種後、根とキャノピー画像を経時的に調査し、18 日目に抜き取った。根の投影面積は、ImageJ と 2 つの市販ソフト (栽培中の画像は WinRHIZO Tron, 抜き取り後の画像は WinRHIZO) で測定された。栽培中に ImageJ と WinRHIZO Tron で測定した根の投影面積は、単回帰分析の結果、決定係数が 0.566 ~ 0.751 の間を示し、有意な相関関係が認められた。また、ImageJ と卓上葉面積計で測定した葉面積は、決定係数が 0.678 であった。したがって、ImageJ の測定値は、栽培中の根の投影面積と葉面積の発達を相対評価する指標として利用しうると考えられた。さらに、WinRHIZO Tron は 1 つの画像解析に約 60 分要することがあり、ImageJ (1 つの画像解析に対し 2 ~ 3 分) と比べて測定項目は多岐にわたるが多大な時間と労力を要した。抜き取り後に ImageJ と WinRHIZO で測定した根の投影面積は、単回帰分析の結果、高い決定係数 (0.919) を示し、ImageJ でも抜き取り後の根の評価が可能であることを示した。したがって、本研究で用いた根箱と ImageJ による画像解析は、ダイズの根および地上部の発達を非破壊的に迅速かつ安価に評価し得ることが示された。

キーワード : ダイズ, 根箱, ImageJ, WinRHIZO, WinRHIZO Tron.

Quick and inexpensive root and shoot evaluation methods using a scanner-based rhizotron system and ImageJ in soybean (*Glycine max*) : Shinsuke AGEHARA¹⁾ and Atsushi SANADA^{*2)} (¹⁾ Gulf Coast Research and Education Center, University of Florida, ²⁾ Faculty of International Agriculture and Food Studies, Tokyo University of Agriculture)

Abstract : We developed a scanner-based rhizotron system composed of a wood frame and acrylic sheets to perform non-destructive root evaluation. The main objective of this study was to develop a quick and inexpensive method to estimate root and shoot traits of soybean (*Glycine max*) seedlings using our rhizotron and ImageJ, a free image processing program. Soybean seeds were sown in rhizotrons, and root and canopy images were collected periodically over 18 days. Seedlings were sampled at the end of the experiment for additional growth measurements. Root images were analyzed using ImageJ and two commercial programs (WinRHIZO Tron for rhizotron images and WinRHIZO for washed root images). For rhizotron images, root projected area measured by ImageJ and WinRHIZO Tron showed significant linear correlations, with R^2 ranging from 0.556 and 0.751. Leaf area measured non-destructively by ImageJ and destructively using a leaf area meter also showed a high linear correlation ($R^2 = 0.678$), suggesting that ImageJ is a useful tool to evaluate both root and leaf growth of soybean seedlings. Although WinRHIZO Tron can provide additional root measurements simultaneously, it was extremely laborious and time-consuming (up to 60 min/image) compared to ImageJ (2-3 min/image). For washed root images, there was a high linear correlation ($R^2 = 0.919$) in root projected area measured by ImageJ and WinRHIZO. These results demonstrate that our rhizotron combined with image analysis techniques using ImageJ allows non-destructive, quick, and inexpensive root and shoot growth evaluation for soybean seedlings.

Keywords : ImageJ, Rhizotron, Soybean, WinRHIZO, WinRHIZO Tron.

緒言

「目は口ほどに物を言う」とは、人間の感情が目には顕著に表れ、言葉で説明するのと同様に感情が伝わることをいい、昔からことわざとして人々に知られている。植物の場合、地上に現れている葉、莖や花などは、植物体内の栄養状態や環境ストレスなどの反応が容易に観察できる器官であるが、根もやはりそれらの状況に敏感に反応し、根の形態形成のみならず、植物体全体の生理や形態形成に影響を及ぼしうる。まさに、「根は莖や葉ほどに物を言う」のであるが、根が一般的には土の中に発達する性質上、その観察を行うことは容易ではない。

これまでに、様々な根の観察手法が報告されてきた。大橋ら (2012) は、根系の調査法を室内 (温室や実験室) と野外、破壊的と非破壊的にそれぞれ大別し、その要点についてまとめている。屋外における破壊的な観察手法は古くから用いられているが、根系全体を採取するには多大な時間と労力を要し、それにもかかわらず根系を全く崩さずに作業を行うことは難しい。一方で、部分的な採取では当然根系全体像の評価が難しい。川田ら (1963) は、モノリス法 (土壌断面の薄い標本を作製し、土壌の様子を観察する手法) により水稻根系の調査を行っているが、同一個体での継続的な観察ではなく、調査のたびに平均的な生育の植物を選ぶものの、異なる植物体を供試している。現在では、屋外における非破壊的な観察手法として、ミニライゾトロン法 (Johnson et al., 2001; Villordon et al., 2011) が用いられており、根の新たな成長だけでなく、古い根の枯死や消滅を継続的に観察できるが、観察可能部位が根と埋設されたアクリルチューブの接着面に限定されるため、試験内容や対象の作物によりチューブの埋設方法を工夫する必要がある。樹木においてはレーダ法も考案されている (Hirano et al., 2009)。

室内における根の観察は、管理された環境内で栽培可能な植物を対象としており、高い精度での測定結果を期待できる。また、屋外での観察とは異なり、栽培する植物体の数やタイミングを調整することで、作業時間や労力を分散させることが可能である。室内での試験であるため、必然的に栽培可能な植物体の大きさは制限されるが、やはり多くの根に関する研究が行われてきた。例えば、Leskovar and Cantliffe (1992) は、アブシジン酸処理が乾燥ストレス条件下におけるピーマン苗の生育に及ぼす影響を、育苗トレイやポットを用いて、人工気象器や温室で調査し、Mhgase et al. (2011) は、陸稲における養分欠乏とその症状に関する調査を温室で行った。

かつては、ポットで栽培されている植物体を抜き取

り、土などを洗い流して根を観察していたため、根長や根重のような根の量的な成長についての評価は可能であったが、根のアーキテクチャーの経時的観察のような根系形成過程の調査は難しかった。しかし、根箱やそれに関連する観察手法は、根が自然に発達した状態を非破壊かつ継続して観察することが可能である。

根箱とは、両側面あるいは片面がガラスやアクリル板のような透明な資材で構成される植物栽培容器で、栽培中の植物体の根を非破壊的に観察することができる。根箱やその類似の手法を用いた生育条件と根系発達の関係の調査は、1970年代後半からすでに行われ始めている。田中ら (1981) は窒素の施肥位置、Kono et al. (1987) や桑原 (1988) は土壌水分の変化が、ダイズの根系の発達や根粒形成に及ぼす影響を根箱を用いて調査した。また、Merhaut et al. (1989) は、透明な円筒形のビニルバッグを用いて、桃の根系発達の調査を行った。

当初、根箱での根の発達の記録は目視で行われていたが、その後市販のスキヤナが比較的安価に購入できるようになり、2000年以降には根箱の観察面のスキヤナやその画像の解析手法も報告されている (Dong et al., 2003)。根系解析のためのスキヤナ画像解析ソフトは、地中の根の解析を想定した WinRHIZO Tron や抜き取り後の根の解析を想定した WinRHIZO (Regent Instruments, カナダ) などの製品が利用されている。しかし、それらは非常に高額である。また、WinRHIZO Tron は、パソコン上で手動による根の追跡と検出作業を必要とするため、解析に多くの時間と労力を要する。そのため、オープンソースの画像解析ソフトを利用したスキヤナ画像解析も行われており、田島ら (2014) はオープンソースの画像解析ソフトである ImageJ を用いた画像解析による根長の評価手法を報告している。

Sangha et al. (2017) は、根箱とスキヤナを用いて生育中の根の画像を撮影し、その画像を ImageJ で解析することで、窒素施用とイチゴの地上部および地下部の発達の関係を調査した。ImageJ は、半自動的に根の解析を行うことが可能であり、スキヤナと ImageJ による根の継続的な観察および解析は、施肥や植物成長調節剤処理、環境ストレスなどに対する植物の反応を、処理の直後から容易、安価かつ非破壊的に調査することが可能である。他にも、ImageJ は根の画像解析だけではなく、地上部の画像解析により葉面積や草丈などの測定にも利用することができる (Deschamps et al., 2019)。また、根箱の形も様々なものが報告されている。Sangha et al. (2017) が使用し、本研究でも採用した、平たく、根がアクリル面沿いに最大限に広がるような形態の根箱は、市販の卓上スキヤナで容易にスキヤナ

画像の撮影ができ、持ち運びが容易なため、連日あるいは高頻度で多数の根箱のスキャンを必要とする野菜の初期生育時における根の発達を調査するような研究の際に適していた。一方で、Merhaut et al. (1989) はモモの根の調査において円筒形を採用し、Daniela et al. (2011) は樹木作物用に大型で四芒星型の根箱を開発した。

以上のように、根箱の利用とそこから得られる根の画像解析による、根系の発達様相の解明に関する研究は、様々な手法が開発されてきた。野菜栽培において、種子から栽培や育苗を行う際には、プライミング(鈴木ら, 1989) のような種子処理により出芽の調整や促進が可能であり、多くの研究が行われてきた。また、育苗後の野菜苗は、畑へ定植する際に一時的な吸水阻害のようなストレスを受けるため、その影響による生育の停滞を軽減するための植物成長調節剤処理に関する研究も行われてきた (Agehara and Leskovar, 2014a and 2014b)。このような種子処理あるいは苗への処理は、植物体のその後の生育や収量、品質にも大きく影響を及ぼすことが予想されるため、地上部だけの評価ではなく、地下部の発達についても初期生育を評価する手法を確立することは、非常に有用であると考えられる。なお、植物の根は、播種あるいは苗の定植後、異なる環境や処理により比較的短い期間で反応し、Agehara and Leskovar (2012) は、乾燥ストレスを与え

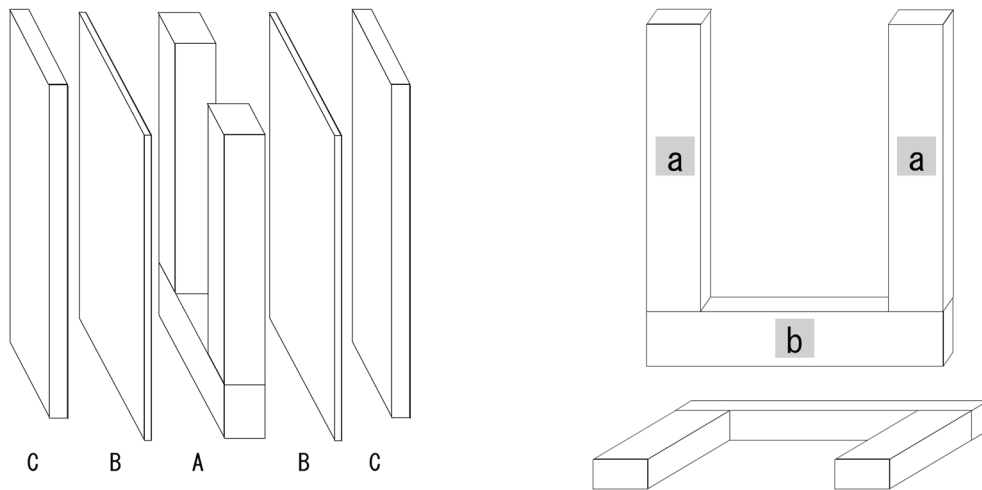
たメロン苗にアブシジン酸を処理した結果、定植後 18 日目に根の乾物重が無処理区に比べて増加したことを報告している。Aloni et al. (1991) は、異なる濃度の窒素施用がピーマン苗の根の新鮮重および乾物重に及ぼす影響を、処理後 14 日目に調査している。また、Adu et al. (2017) は、*Brassica rapa* の異なる組換え自殖系統間において、播種後 15 日目に根系発達の違いを観察しており、野菜の根系発達の評価は、初期生育の段階でも可能であることが考えられる。さらには、初期生育での根の評価は、試験期間の短縮や労力の軽減にもつながる。

そこで本研究では、迅速かつ安価な野菜の初期生育を評価する手法を開発することを目的とし、まずは根の観察が容易であると予想されるダイズを供試材料として、根箱で栽培を行った。その植物体について、継続的なスキャン画像の解析を ImageJ で行い、その結果を市販の画像解析ソフト (WinRHIZO Tron および WinRHIZO) で行った解析結果と比較することで、スキャナと ImageJ を用いた評価方法の有用性を検証した。

材料と方法

1. 使用する根箱の設計および試験時の留意事項

本研究は、木製の枠をアクリル板で両面から挟み、木ねじで固定した根箱を用いた (Fig. 1)。根箱の外寸



Material	Width × Height × Depth (cm)
A Pressured-treated wood	36.8 × 40.2 × 3.8 (outside dimension) 22.8 × 33.0 × 3.8 (inside dimension)
B Acrylic sheet	36.8 × 40.2 × 0.5
C Polystyrene foam sheet	30.5 × 38.1 × 1.8
a Pressured-treated wood	7.0 × 33.0 × 3.8
b Pressured-treated wood	36.8 × 7.0 × 3.8

Fig. 1. Schematic representation of the rhizotron used in this study and the materials used to construct the rhizotron.

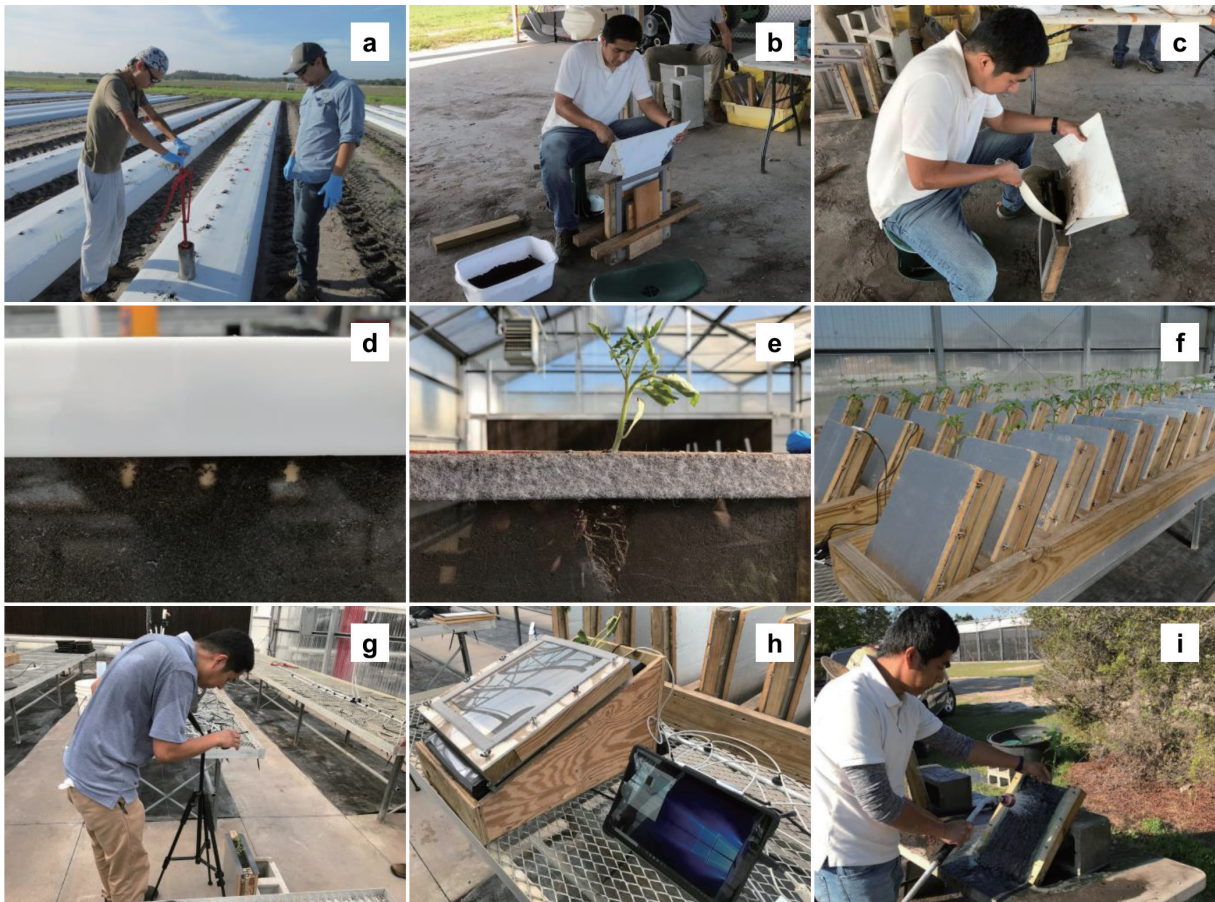


Fig. 2. Workflow of a rhizotron experiment.

(a) soil core sampling to determine the soil bulk density, (b) packing the field soil in a rhizotron using a clamp to prevent swelling of acrylic sheets, (c) adjusting the soil volume in a rhizotron, (d) soybean seeds sown 2 cm deep in a rhizotron, (e) a tomato seedling transplanted in a rhizotron, (f) rhizotrons placed on a rack with 30° inclination to induce root growth along the acrylic sheet facing downward, (g) overhead canopy imaging using a digital camera, (h) root scanning using a flatbed scanner, and (i) root washing and sampling.

は、幅 36.8 cm × 高さ 40.2 cm × 奥行 3.8 cm で、内寸は幅 22.8 cm × 高さ 33.0 cm × 奥行 3.8 cm であるが、ウォータースペースを上部に 2.5 cm 設けたため、実際に土を充填する体積は 2,806 cm³ であった。アクリル板の外側には、屈光性による根のアクリル面から土内への潜行、温度変化によるストレスおよびアクリル板内面への結露を防ぐため、地下部の観察時以外は片面銀色のウレタンマットを銀色面が外側になるように張り付けた。ウレタンマットは、ウレタンマットの内側外縁部とそこに面するアクリル板の部分にマジックテープを貼り、接着した。なお、本研究で用いた根箱の寸法は、発芽後あるいは苗の定植後の初期生育時における根の観察を目的として設定しており、目的とする根の観察時期や条件によって最適な根箱の寸法は異なる。

次に、根箱の準備から植物サンプリングまでの一連の流れの例を Fig. 2. に示す。根箱を用いた研究は、実際の栽培環境と異なることが前提ではあるが、できる

限り圃場に近い条件をそろえて試験をすることが望ましい。そのため、土は圃場の土を採取して根箱に充填し、その充填量は土壌密度と根箱の容積に基づいて算出した。本試験では、フロリダ大学 Gulf Coast Research and Education Center (以下 GCREC) 圃場の耕土を使用した。土壌密度は、土壌コア採取器で実際に作物を栽培する畝などから土壌コアを 3 か所で採取し (Fig. 2a.)、その体積と重さから計算した。本研究では、土壌密度は 1.67 g cm⁻³ で、根箱内の土を充填する部分の体積は 2,806 cm³ のため、各根箱に 4,675 g の土を充填した。根箱は、そのまま土を充填すると、木ねじでアクリル板を固定していても湾曲してしまい、根箱の各隅に隙間が生じるほか、根箱下部の木枠とアクリル板の間が少し空いてしまう。このことは、灌水した際の水の不均一な浸透や、根箱下へ土が落ちることによるアクリル面と土の間の隙間の出現とそれによる根の発達への影響の要因となる。そのため、土を充填する際には、アクリル板を両側から抑える道具 (角材と木

板、ボルトとナットで自作した、根箱の側面を抑える大型のクランプ)を使用し、充填中の膨らみを軽減させた (Fig. 2b,c).

根箱への播種および苗の定植は、片側のアクリル面に種子や苗の根が密着するように行った (Fig. 2d,e). そして、その接着面が下部となるように斜め 30° の角度で静置して栽培を行った (Fig. 2f). 根箱を利用する利点の一つは、根系の形成過程を継続的に観察することが可能である点である。そのため、角度をつけた静置は、根がアクリル板に沿って形成するために必要であった。

栽培期間中は、植物体を上からカメラで撮影 (Fig. 2g.) するキャノピー画像と、根箱のアクリル面に観察される根系をスキャナで撮影 (Fig. 2h.) するスキャン画像を、継続的に撮影した。

キャノピーは、植物体地上部の生育を評価するための指標のひとつとして撮影された。ダイズは、葉が横へ展開するため、葉の展開を可能な限り正確に評価するために、葉の展開面に対してカメラを垂直に設置してキャノピーを撮影した。また、後述する ImageJ での画像解析を容易にするために、キャノピーの撮影は、撮影対象物内にひとつの指標 (著者らは根箱内寸の横幅を指標としている) を定め、カメラと指標との距離や角度が変わらないように三脚等で固定して撮影を行った。植物体の生育に伴い、葉の展開面を垂直の角度で撮影するための三脚およびカメラの設置位置は調整する必要があるが、各回ごとの調査時においてはカメラと指標との距離や角度は固定することが望ましい。

根系のスキャン画像は、根箱につけているウレタンマットを外し、アクリル面をスキャナで撮影した。通常、試験開始から数日は片側のアクリル面にしか根系が確認されないため片側のみスキャンを行うが、その後両面に根が観察されるようになったら両面のスキャンを行った。なお、根箱は根を観察しやすくするために斜めに静置したが、植物体地上部は上方へ生育するため、根箱に対し植物体は斜めに生育した。そのため、撮影時に根箱を横に倒すと植物体が大きくなればなるほど茎の基部に大きな負担がかかり、茎が折れる恐れがある。また、根箱を横に倒すと根箱内の土の流亡も起こるため、根系のスキャン画像の撮影時は、スキャナが問題なく作動する角度で設置台を作成し、その上でスキャン画像の撮影を行った。

本研究で使用した根箱は、植物体の初期生育時の根系評価に使用されたため、植物の栽培は概ね 10 日～14 日程度で終了した。その後根を抜き取り、再度根のスキャン画像を撮影して解析するなど、更なる根の調査を行った。そのため、根の抜き取りは、可能な限

り損傷なく丁寧に行う必要があり、流水で優しく土を流しながら根を抜き取る方法が簡便かつ汎用的であった (Fig. 2i). 抜き取った根は、60%エタノール内で保存し、順次スキャン画像の撮影に供した。

2. ダイズの栽培と調査方法

本試験は、植物材料としてダイズを用いた。極めて初期の生育のみを観察して抜き取り調査を行うため、施肥は行わなかった。

ダイズ品種はアメリカで栽培される主要品種のひとつである Golden Harvest を用い、2018 年 11 月 29 日に、各根箱あたり 3 粒ずつ播種し、発芽後に間引いて 1 本仕立てとした。播種位置は、傾斜をつけて静置した根箱の中央付近かつ下側アクリル板に接する位置とした。灌水は、根箱あたり毎日 50 ml ずつ行った。栽培はビニルハウスで行い、35 個の根箱を供試した。

栽培期間中は定期的に根のスキャン画像を撮影し、根の投影面積を測定した。また、キャノピーのオーバーヘッド画像も同時に撮影し、葉面積を測定した。なお、キャノピー画像の撮影は、カメラを葉の展開面に対して垂直に設置して行ったが、葉の展開面に対してカメラが斜めに設置されると、キャノピー面積を過少評価したり、葉同士あるいは葉と茎が重なってキャノピー面積を正確に測定できないため、植物の成長に応じて、撮影日ごとにカメラの設置場所を調整する必要があった。

植物体は、2018 年 12 月 17 日に根箱から採取し、葉面積を卓上葉面積計 (LI-3100C Area Meter, LI-COR, アメリカ) で測定した。根は、流水で土や土壌有機物を洗い落とした後に、スキャン画像を撮影し、根の投影面積を測定した。なお、根のスキャン画像からは根長を測定することも可能であるが、後述するどの手法を用いた場合でも、投影面積を測定した画像と同じ画像から同じ寸法に基づいて測定を行うため、測定手法間における根長の測定値の傾向は、根の投影面積測定値の傾向と同様になることが明らかであり、本試験では評価対象としなかった。

3. ImageJ による栽培期間中の根のスキャン画像およびキャノピー画像の解析と、抜き取り後の根のスキャン画像の解析

栽培期間中の根のスキャン画像およびキャノピーの画像は、オープンソースの画像解析ソフト ImageJ (<http://rsb.info.nih.gov/ij/index.html>) を用いて解析した。栽培期間中の根のスキャン画像の撮影は、最大読み取りサイズが A4 サイズのスキャナ (perfection V800, Epson, アメリカ) を用いて、反射原稿用のスキャン設定のもと、解像度 300 dpi, 24 bit カラーに設定して

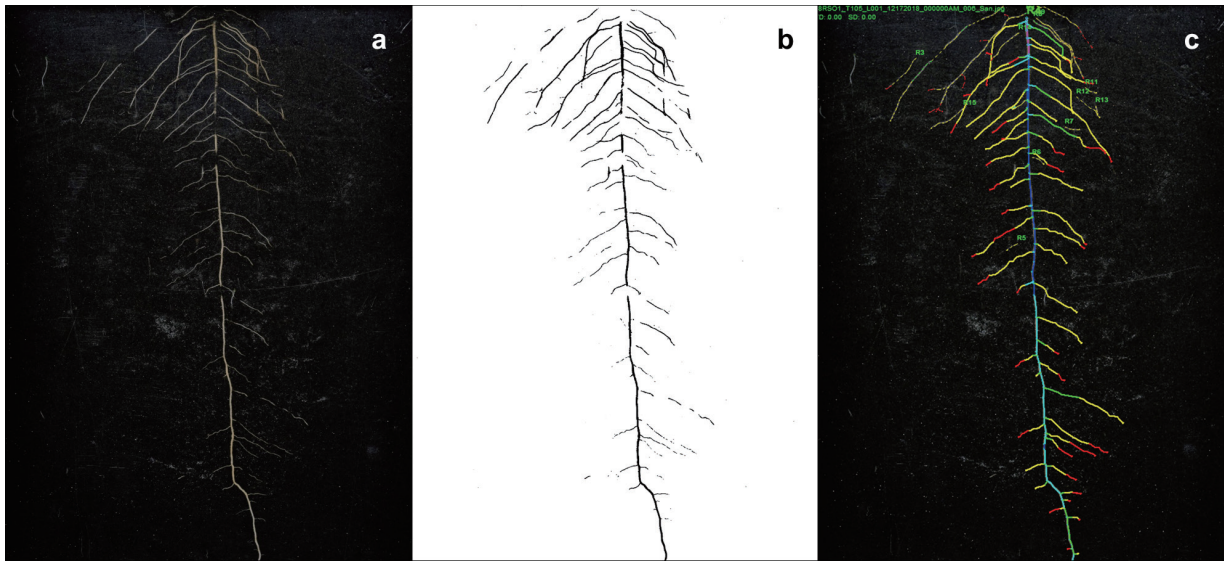


Fig. 3. Rhizotron images of a soybean seedling processed by ImageJ and WinRHIZO Tron for the root projected area measurement at 18 days after sowing.

(a) original rhizotron image, (b) image processing by ImageJ, and (c) image processing by WinRHIZO Tron. Different colors in the WinRHIZO Tron image represent different root diameters.

行った。また、抜き取り後の根については、最大読み取りサイズが A3 サイズの別のスキャナ (expression 10000 XL, Epson, アメリカ) を用いて、反射原稿用スキャン設定のもと、解像度は 400 dpi, 24 bit カラーに設定してスキャンを行った。

ImageJ は、背景の切り取りや画像のコントラストの調整、画像内対象物の長さや面積の測定、画像内粒子数の測定とそれら個別の面積の測定など、様々な機能を備えているが、本試験では、それらの機能のうち、背景の切り取りと、残された調査対象物の面積を測定する機能を用いた。ImageJ は、set scale 機能を使い、ソフト内に既知の寸法を設定することで、読み込んだ画像の対象とする部位の面積を計算する機能が備わっているため、まず初めに既知の寸法を設定した。その後、threshold 機能で測定対象とする根のみが選択されるよう閾値を選択し、make binary 機能で背景を除去した。それだけでは画像内に多くのノイズと一緒に検出されてしまった雑草の根などが残っていたため、remove outlier 機能で一定サイズピクセル以下のノイズを一斉消去した後、手動で不要な部分を消去して調査対象物だけの画像とした。実際に ImageJ で背景を除去した画像を、栽培期間中の根のスキャン画像については Fig. 3a, b. (a がオリジナル画像, b が背景除去後) に、抜き取り後の根のスキャン画像については Fig. 4a, b. (a がオリジナル画像, b が背景除去後) に示した。最後に、set measurement 機能で面積の測定を行うように設定し、各画像の根の投影面積測定を行った。

なお、植物の根は新しい根と古い根で色が異なるこ

とがあり、それにより閾値を変えると当然選択される根の範囲も変わり、投影面積などの解析結果が変化する。そのため、threshold 機能による閾値の設定方法は以下の通りとした。まず初めに、ImageJ に読み込んだ画像の根の一部を解析前に拡大表示して、その一か所の根径を長さ測定ツールで測定した。次に、その画像について背景除去やノイズ消去などの操作を行った後、根径を測定した部位を再度拡大表示して、同じ場所で根径を測定した。背景除去を行う際には、この 2 回の根径の測定値が同様となるような閾値を設定した。

4. WinRHIZO Tron による栽培期間中の根のスキャン画像の解析

栽培期間中の根のスキャン画像は、画像解析ソフト WinRHIZO Tron でも解析を行った。WinRHIZO Tron は、地中の根の画像解析を想定して開発されたソフトで、時間的に前後した同一根系の個別の根について手動で追跡することにより、新たに成長した根、成長の止まった根、枯死した根を分類しながら根系の発達状況を評価することができる。根の追跡時には、根径を同時に計測できるため、本解析により、根の投影面積のみでなく、全体あるいは主根および側根別に見た根長や根径を測定することも可能であった (Fig. 3a,c)。本研究では、ImageJ による解析との比較のため、根の投影面積の測定結果のみを示した。

読み込まれた画像内の根は、根径を選択しながらマウスで追跡し、最終的に根の投影面積を含む各測定値

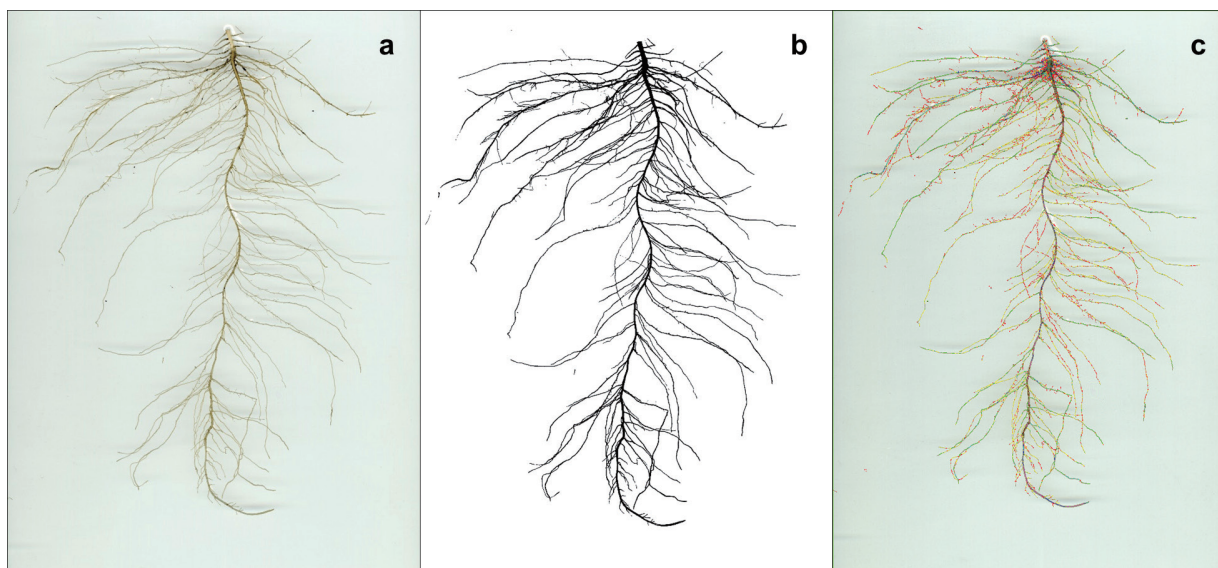


Fig. 4. Images of washed soybean roots processed by ImageJ and WinRHIZO for the root projected area measurement at 18 days after sowing.

(a) original root image, (b) image processing by ImageJ, and (c) image processing by WinRHIZO.

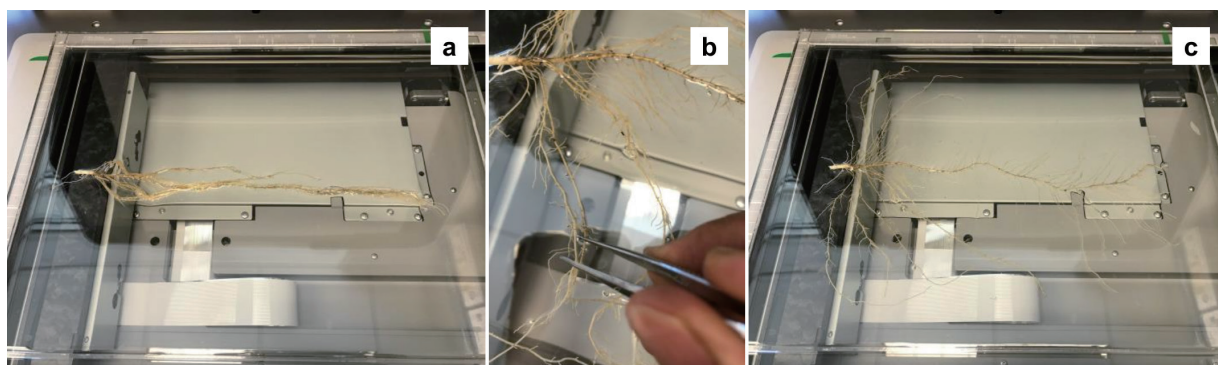


Fig. 5. Preparation of washed roots of a soybean seedling for root scanning.

(a) soybean roots placed in an acrylic tray filled with water, (b) spreading out lateral roots using round-tip tweezers, and (c) roots spread out on a scanner bed with minimal overlapping.

が Text file として保存された。同時に、根の追跡履歴は別ファイルとして保存され、同一根系のそれ以降のスキャン画像が WinRHIZO Tron 内で読み込まれる際には、ファイル名と追跡履歴のファイルに基づいて、過去の追跡履歴が表示された。そのため、新しいスキャン画像については、過去の追跡履歴を更新すればよく、画像解析ごとにすべての根を追跡し直す必要がない。ただし、スキャンをする際に、スキャン対象物が常にスキャナ上の同じ位置になければ、スキャン画像内の根の位置が画像ごとに大きくなりすぎてしまい、解析前の位置調整に時間を要するため、注意が必要であった。

5. WinRHIZO による抜き取り後の根のスキャン画像の解析

抜き取り後の根のスキャン画像の解析は、画像解析ソフト WinRHIZO で行った。WinRHIZO は、抜き取り

後に土を洗い落とした根の画像解析を想定して開発されたソフトである。

本試験では、WinRHIZO に含まれる機能のうち、背景からの根の抽出と、投影面積の測定機能についてのみ紹介する。WinRHIZO は、高価である分とても優れた機能を備えており、解析用の画像の質が良好であれば、背景からの根の抽出と投影面積および表面積の測定は、対象の画像を読み込むことでほぼ自動的に行われる。画像の質とは、解像度のみでなく、根の広がり方や、影の入り具合などを含む。本試験では、スキャナ上に幅 40 cm × 奥行 30 cm × 高さ 1 cm、厚み 1.5 mm のプラスチックトレイを置き、水を約 250 ml 入れ、その中で根を広げてからスキャンを行った (Fig. 5.)。当初、水洗いした後の根はひとまとまりになっていたが、プラスチックトレイの上で、ピンセットや指などを使い、スキャン対象域内に根を広げた。なお、ピン

セットは先の鋭いものとプラスチックトレイを傷つけ、スキャン画像の品質を下げる要因となるため、尖っていないものを使用した。この作業は非常に細やかで時間を要するが、根の重なりは画像の質の低下と不正確な測定につながるため、十分に留意する必要があった。スキャン画像の質は、プラスチックトレイの厚みと高さ（高さはスキャン時のカバーの高さに関係）、水の量によっても異なり、プラスチックの厚みが厚く、トレイに高さがあり、また水が多く入っていると、画像のコントラストが低くなる。また、プラスチックトレイを使用するため、スキャン時にカバーをしても、状況によっては横からの光が入り、画像に影が映ることがある。影が大きく、濃く画像に移ってしまうと、WinRHIZOによる自動的な根の抽出機能では適切に処理されず、影が根と同様に解析対象物と認識されるか、根の一部が影と共に背景として除外されてしまう。そのため、スキャン時は十分な大きさのカバーを用いるか、カバーの上にさらに暗幕をかけることでこの問題を回避することができる。

WinRHIZOによる根のスキャン画像の解析は、WinRHIZO Tronによる解析と同様、根径ごとに長さや面積を測定することが可能であり、解析後の画像には根径ごとに異なる色で表示された (Fig. 4c.)。しかも、WinRHIZO Tronの場合は手動による根の追跡と根径の選択を随時行う必要があるが、WinRHIZOの場合は画像の質が良く、解析のためのソフト上の設定を適切に行えば、それらの測定も自動で行われるため、解析に要する時間の大幅な短縮につながった。

根の画像解析を行う際は、いずれの解析手法を用いる場合でも同様であるが、良好な質のスキャン画像を撮影することが、解析を正確かつ容易に進めるために必要不可欠であった。

結果と考察

1. 試験で用いた根箱の操作性および根の抜き取り方法

本試験で使用した根箱は、Fig. 1. で示した通り外寸が横幅 36.8 cm、高さ 40.2 cm、奥行 3.8 cm であり、土を充填した後の重量は、水分含量にもよるが約 5 kg であった。そのため、根のスキャン画像を撮影する際などの根箱の持ち運びは、一人でも可能であった。また、根箱を斜めに設置し、ウレタンマットで遮光することにより、根は根箱の下側の側面のアクリル板に沿って伸長し、目視での根の確認に限らず、スキャナでの撮影と画像解析が十分可能であった。木枠とアクリル板は、根箱につき合計 8 か所をボルトで固定しており、土の充填の際にも固定器具を使用することで、土の充填後のアクリル板の膨らみは非常に少なく、それによる隙間からの土が落ちることもなかった。遮光

や恒温のためのウレタンマットは非常に軽量で、根箱との脱着は根箱のアクリル面とウレタンマットに貼り付けたマジックテープによるため簡単であった。このように、根箱の材料は、木とガラス (原田ら, 1957) を使用した初期のものから、現在の木材やアクリル板、プラスチックの使用へと移り変わり、安全性や耐久性の向上、軽量化など、操作性が向上していると考えられる。また、根箱は 30° の角度で傾けて静置させる必要があるが、Fig. 2f. のような木の設置台をあらかじめ作成したことで、根箱を置くだけで 30° の傾斜を維持し、角度の細かい調整などは不要であった。根箱を用いた根の発達の調査は、同一個体で何度でも調査を行える利点をもつ反面、その調査回数や根箱の個数に応じて、労力を要する作業である。本試験で用いた根箱は、取り扱いが容易であり、根の研究を進めるうえで実用であったと考えられる。

なお、ダイズは播種後 18 日目まで根箱で栽培し、その後の調査に供するために抜き取った。根箱からの植物体の抜き取りは、アクリル板を片面のみ外したのち、流水で優しく土を洗い落として行った (Fig. 2i.)。本研究で使用した根箱は、土を挟む両側のアクリル板をボルトで留めてあったため、ボルトを外すことで容易に片側のみのアクリル板を外すことができ、もう片側のアクリル板は根の洗浄中に根箱内の土を受け止めていたため、丁寧な土の洗い流しと根の洗浄が可能であり、根をほぼ破損することなく得ることができた。抜き取り後の根は、さらに根の投影面積等の解析に用いるため、正確なデータを得るためには可能な限り根の破損がないことが望ましく、本研究で使用した根箱は、この点においても有用であった。なお、根箱に限らず、ポット栽培でも根の破損を最小限に抑えながら根を抜き取ることが可能であるが、根箱を利用する最も大きな利点は、同一個体について栽培期間中の根の発達を継続的に観察することが可能な点である。ポット栽培では、生育時期ごとにポット栽培植物を抜き取ることで段階的な根の生育を調査することは当然可能であるが、そのためには抜き取り用のポット栽培植物を別途用意する必要がある。温室などの限られたスペースで試験を行う場合は、一度に実施可能な処理数や栽培個体数などが制限される。本試験と同様に、栽培期間中に継続的な根の観察を行いつつ、根をほとんど破損させずに抜き取ることができるような根箱の試験も報告されている。Adu et al. (2107) は、*Brassica rapa* の組換え自殖系統を根箱で栽培し、継続的な根系観察を行い、系統間における根の発達の違いを調査したが、土は実際に作物を栽培する畑から採取したものの、一度乾燥させ、2 mm のふるいを通した後に根箱に充填した。Sarker and Karmoker (2009) は、リン酸

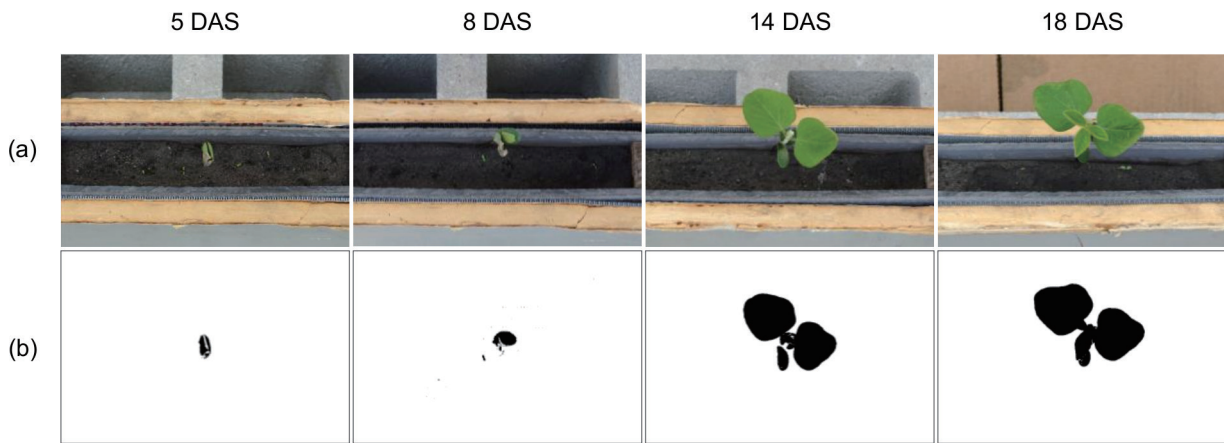


Fig. 6. Overhead canopy images of soybean seedling.
 (a) original canopy images taken by a digital camera, and (b) binary images processed by ImageJ. DAS = days after sowing.

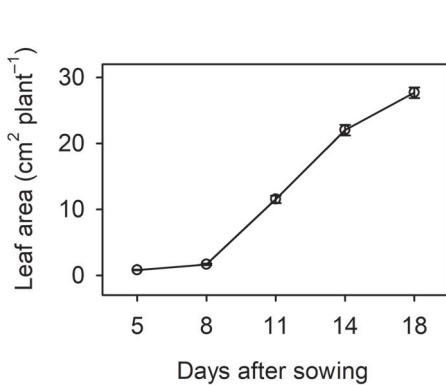


Fig. 7. Leaf area development of soybean seedlings evaluated non-destructively by canopy image analysis with ImageJ.

欠乏下におけるレンズマメの根の発達を評価するために、やはり根箱を使った継続的な根の観察を行ったが、その際には根箱内に珪砂のみを充填している。根箱に充填する土および培地は、研究目的によって検討されるべきであり、すべての場合において圃場の土が最適であるとは言えない。しかし、本研究の最終的な到達点は、様々な野菜苗の生育を評価する手法の確立を見据えており、本試験における土の調整方法は、より実用的なデータを収集するのに効果的であったと考えている。

2. ImageJによるキャノピー面積の測定

ダイズの地上部は、播種後5日目で出芽が確認され、約9日目で子葉の展開、約14日目で初生葉の展開が確認された。その間、経時的にキャノピーのオーバーヘッド画像を撮影し、キャノピー面積をImageJで解析した。Fig. 6.は、デジタルカメラで撮影した実際のキャノピー画像と、ImageJで背景の切り取り処理を行い、キャノピー面積のみを抽出した画像を示す。ImageJで画像を読み込み、背景を切り取った時点では、

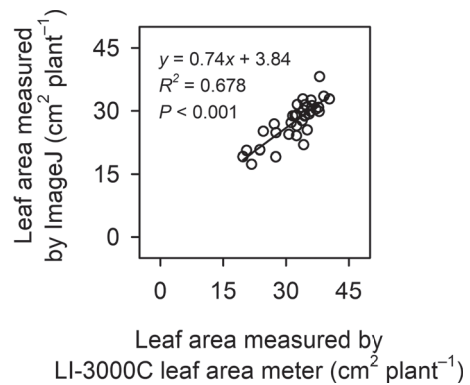


Fig. 8. A linear correlation between leaf area measurements using LI-3100C leaf area meter and ImageJ on soybean seedlings (n = 35).

LI-3100C and ImageJ were used for destructive and non-destructive measurements, respectively.

若干のノイズが入っていたが、手動でそのノイズを容易に消去することができた。抽出されたキャノピー画像は、根箱の内寸など、画像内の既知のスケールを基準として、面積が測定された。その結果をFig. 7.に示す。Fig. 6.の画像からもわかるように、播種後5日目と8日目のキャノピー面積は小さく、増加もあまり見られなかった。しかし、その後子葉および初生葉が展開することで、キャノピー面積は急速に増加した。そして、18日目に植物体を抜き取った後、葉を葉面積計で測定した値と、ImageJで測定したキャノピー面積を比較し、Fig. 8.に示した。単回帰分析により得られた回帰直線の傾きは0.74、切片は3.84を示した。そして、分析対象となる範囲のX軸の値(卓上葉面積計の測定値: 19.7-40.3 cm²)とその値から導かれるY軸の値(ImageJの測定値: 18.4-33.7 cm²)を比較すると、X軸の値が小さい時はImageJと卓上葉面積計の測定値の差異が7%であったのに対し、X軸の値が大きくな

ると測定値の差異は16%と大きくなった。そのため、ImageJによる測定値は、卓上葉面積計による測定値とは相違があり、キャノピー面積が大きくなるほどその差が大きくなった。本試験では、キャノピー画像を葉の展開面に対して垂直に撮影したが、植物体の生育が進むにつれて葉の重なりが生じたことが、測定値の相違の主要因と考えられた。ただし、回帰直線の決定係数は0.678と高い値を示したことから、ImageJの測定値は、ダイズの初期生育時における葉面積の増加を相対的に評価するための指標として利用することが可能であると考えられた。このことは、抜き取り時のImageJデータの有用性が示されたのみでなく、抜き取り前から葉面積の大きさを相対評価できることが示された。

栽培期間中の葉面積の測定は、可搬式葉面積計を用いることでも可能であるが、本試験のような双子葉植物の初期生育の葉は非常に小さく、正確に測定することが難しい場合がある。また、撮影したキャノピー画像からの葉面積の測定は、WinFOLIA (Regent Instruments, カナダ) などで可能だが、ソフト購入のための初期費用が大きい。一方で、ImageJはフリーソフトであり、操作も非常に簡単で、植物体のように周りの色とのコントラストがはっきりしている場合は、キャノピー画像のみの抽出が容易である。

植物の葉は、光合成や呼吸、蒸散にかかわる重要な器官である。葉面積の大きさはそれらの速度や量に直接的に影響を及ぼし、結果として植物体の成長量とも大きなかわりを持つ。そのため、葉面積は植物の成

長量を評価するうえで、重要な指標のひとつである。

3. ImageJ および WinRHIZO Tron による栽培中の根の投影面積の測定

ダイズの根は、播種後速やかに主根を伸長させ、5日後には約10 cmの長さとなった。8日後には根の基部から側根も発生し始め、14日後には主根が根箱の下部まで到達するものも見られた。この頃から、根の成長は主根よりも側根の方が旺盛となり、根の中央部でも側根の発生が観察されるようになった (Fig. 9)。栽培期間中は、根の成長過程を継続的にスキャナで撮影し、Fig. 3a. のような画像を得た。本研究では、根箱の根を撮影するスキャナの解像度を300 dpiに設定したが、これらの画像は、ImageJで読み込み、背景除去および根の投影面積測定を行うのに十分な画質であった。また、WinRHIZO Tronで画像解析を行った結果、単純な根の投影面積の測定だけでなく、根径ごとの投影面積や根長なども測定可能であった。Pan et al. (1998) はライゾトロンで栽培したジャガイモの根を200 dpiの解像度で撮影することで主根や側根の判別が可能であることを示し、Dong et al. (2003) はリンゴの根を150 dpiの解像度で撮影して根長を測定した。また、Nagel et al. (2012) は様々なイネやアラビドプシスなどいくつかの植物について600 dpiの解像度で根のアーキテクチャーを解析している。撮影時のスキャナの解像度は、その後の画像解析の内容により調整すべきである。根箱内における大まかな根の分布位置の確認や根長および根数の確認のみであれば、植物の種類や生

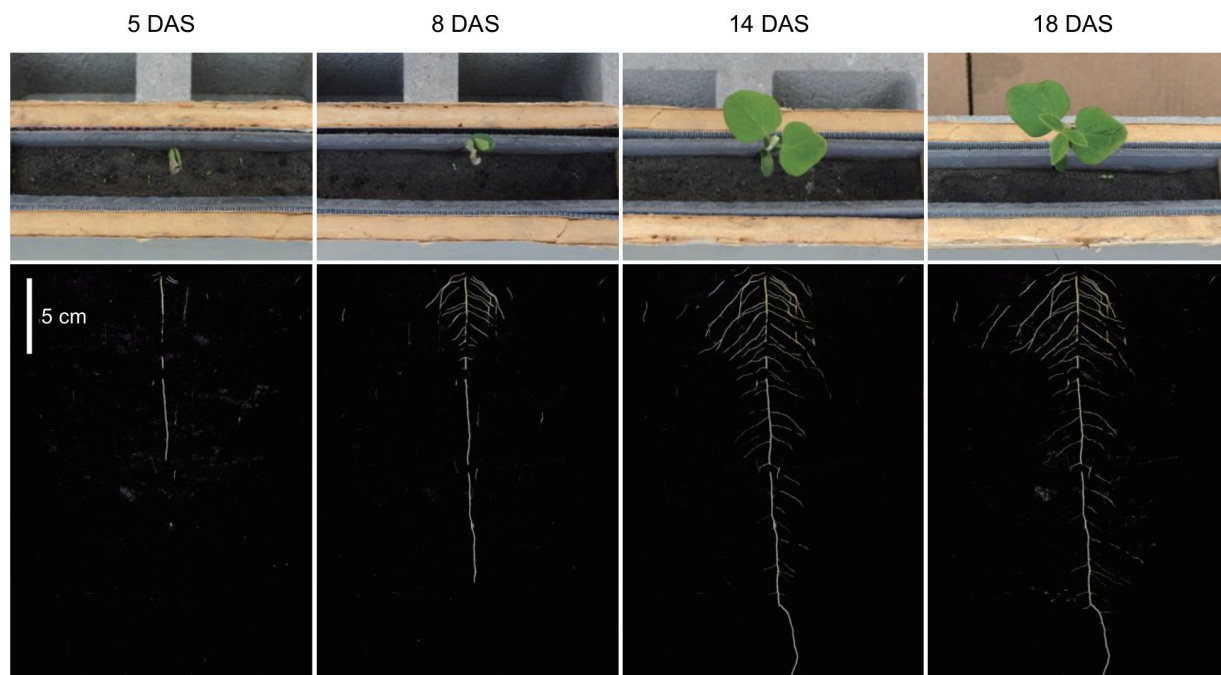


Fig. 9. Canopy and root development of a soybean seedling grown in the rhizotron. DAS = days after sowing.

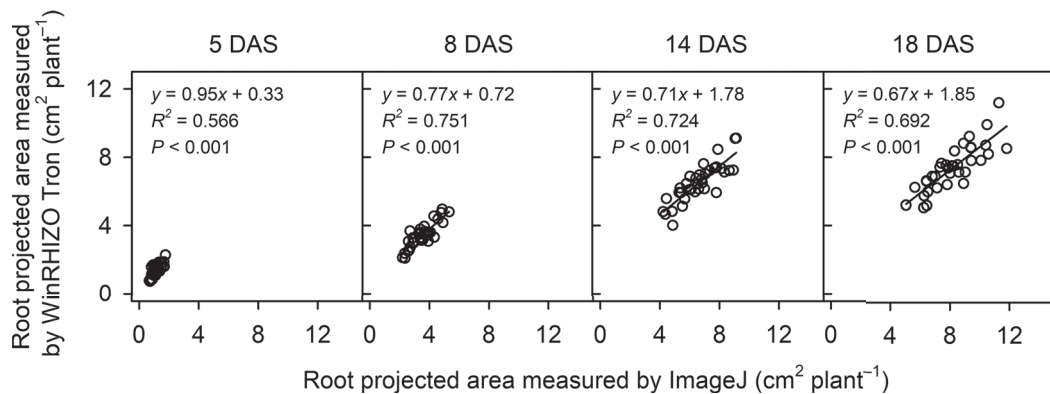


Fig. 10. Temporal changes in the linear correlation between ImageJ and WinRHIZO Tron root projected area measurements performed on rhizotron images of soybean seedlings (n = 35).

DAS = days after sowing.

育ステージにもよるが、スキャン時の解像度は低く設定することも可能であり、スキャンに要する時間も短い。しかし、根の投影面積や、根径ごとの長さや面積を測定したい場合は高い解像度での撮影が求められ、解像度が高いほど細やかな解析も可能であるがスキャン時間は非常に長くなる。本研究は根の投影面積の測定を目的としており、解像度を 300 dpi に設定したが、画像解析のために十分な画質が得られたと考えられた。

次に、ImageJ と WinRHIZO Tron の両ソフトで経時的に測定したサイズの根の投影面積の関係を Fig. 10. に示す。4 回の根の投影面積測定結果について撮影日ごとに単回帰分析を行い、その回帰直線の傾きを見ると、5 日目が 0.95 なのに対し、その後徐々に低下し、8 日目、14 日目、18 日目にはそれぞれ、0.77、0.71、0.67 となった。また、切片の値は、5 日目が 0.33 なのに対し、8 日目、14 日目、18 日目にそれぞれ、0.72、1.78、1.85 と大きく増加した。次に、回帰直線の傾きおよび切片に基づき、各測定日ごとの測定値について詳細をみると、まず 5 日目において、X 軸 (ImageJ) の値の範囲は 0.67-1.75 cm² であり、その値によって導かれる Y 軸 (WinRHIZO Tron) の値 0.96-1.99 cm² を示した。そして、X 軸の値が最小の時は、ImageJ と WinRHIZO Tron の測定値に 44% (0.29 cm²) の差異が認められたのに対し、ImageJ の値が最大の時にはその差異が 14% (0.24 cm²) まで減少した。この結果から、5 日目における ImageJ と WinRHIZO Tron の測定値は、根の発達が小さいときほど、大きな差異が認められた。播種 5 日目は、主根が伸長しているものの、側根の発達はわずかに確認できる程度であり、測定される投影面積が非常に小さい。そのため、上述したような ImageJ および WinRHIZO の測定値の間で得られた 0.24-0.29 cm² の差異は、測定の誤差による影響が大きいと考えられた。8 日目は、X 軸の値が 2.18-5.30 cm²、Y 軸の

値が 2.40-4.80 cm² で推移し、回帰直線の傾きは 0.77、切片の値は 0.72 であった。8 日目において、X 軸の値が最小の時は WinRHIZO Tron の測定値が ImageJ の測定値に比べて大きく評価され、その差は 10% であったが、X 軸の値の増加に伴い X 軸と Y 軸の値の差異が縮小し、X 軸が最大の時には反対に ImageJ の測定値が WinRHIZO Tron の測定値よりも 10% 大きくなった。14 日目は、X 軸の値が 4.26-9.16 cm²、Y 軸の値が 4.80-8.28 cm² で推移し、回帰直線の傾きは 0.71、切片の値は 1.78 であった。14 日目も、8 日目と同様の傾向を示し、X 軸の値が最小の時は WinRHIZO Tron の測定値が ImageJ の測定値よりも 13% 大きく評価されたが、X 軸の値の増加に伴い Y 軸の値との差異が小さくなり、最終的には X 軸の値が最大の時に ImageJ の測定値の方が WinRHIZO Tron の測定値よりも 10% 大きくなった。18 日目は、X 軸の値が 5.06-11.82 cm²、Y 軸の値が 5.24-9.77 cm² で推移し、回帰直線の傾きは 0.67、切片の値は 1.85 であった。X 軸と Y 軸の差異は、X 軸の値が最小時は 4% 程度であり、ImageJ と WinRHIZO Tron の測定値がかなり近い値を示したが、X 軸の値が最大の時に差異が 17% と大きく、ImageJ の測定値の方が大きく評価される結果となった。以上の結果から、ImageJ と WinRHIZO Tron で測定した根の投影面積の値は、絶対値としてみると、まだ根の発達が小さい 5 日目および 8 日目で誤差が小さく、その後ある程度根が発達した 14 日目や 18 日目において誤差が大きくなった。しかし、相対値としてみると、5 日目および 8 日目においても、14 日目および 18 日目と同様あるいはそれ以上の値の誤差を、2 つのソフト間で観察した。また、これらの結果は、ImageJ から実際の値を求めるためには、生育初期の 18 日間においても異なる回帰式を用いる必要があることを示した。なお、18 日目の測定で、ImageJ と WinRHIZO Tron による根の測定値は、根の発達に伴い差異が大きくなったが、そ

の要因として考えられるのは、ImageJで根の画像を抽出する際の操作である。Fig. 3bに示すように、ImageJでは、根箱のスキャン画像から背景を切り取り、根のみを抽出した後、その投影面積を測定する。その手順としては、まず適当な閾値により根を背景から区別して抽出し、その後細かいノイズをピクセルサイズを設定して一斉自動消去して、最後に大きなノイズの消去を手作業で行う。発達初期の根は、主に太くて明確な主根や側根で構成されているため、根の抽出が容易である。しかし、その後側根からの二次根など、細根が多く生じるようになると、背景からの抽出時の閾値やノイズの自動消去時のピクセルサイズの設定により、細根が消去されてしまうことがある。Tajima et al. (2011)は、イネの根長をImageJにより測定する際、閾値によって値が異なることを報告しており、閾値の設定は根の投影面積の評価にも大きく影響すると考えられたため、本試験では閾値は各調査日ごとに、材料と方法に示した閾値設定方法に順じて初めに設定し、その日のすべての画像で可能な限り統一した。しかし、ノイズ消去時のピクセルサイズの設定は、細根が消去されないように、根の発達が進むにつれて若干小さく設定されたため、18日目の測定では根の付近に小さな凹凸のような形でノイズが残り、投影面積の一部として測定されたと考えられた。一方で、WinRHIZO Tronによる根の投影面積の測定は、根を一本ずつ、根径を設定しながら手動で追跡して行うため、根以外の部位を誤測定することはなかった。その結果、根の発達が進むにつれてImageJでの測定値が過大評価されるようになり、回帰直線の傾きが徐々に低下したと考えられた。

一方で、決定係数は、5, 8, 14, 18日目でそれぞれ0.556, 0.751, 0.724, 0.692となっており、高い値を示した。したがって、ImageJの測定値は、根の投影面積の増加についても、相対的に評価する指標として利用することが可能であると考えられた。さらには、ImageJが半自動的に根の抽出や投影面積の測定を行い、1つの画像解析に2~3分を要するのみなのにに対し、WinRHIZO Tronでは、根を1本ずつ手動でマウスで追跡しながら測定を行うため、側根が発達した根を解析する場合、1つの画像に30~60分を要することもあった。そのため、ImageJの利用は、迅速かつ簡易に根の相対的な成長の評価をする際に有効であることが示された。その他、WinRHIZO Tronは、根径ごとの投影面積や根長、根の体積など多岐にわたるデータを同時に測定できるが、Regent社から購入する必要があるため、非常に高価であるため、根の研究を始める際の初期投資としては捻出が難しい場合もあるのに対し、ImageJはフリーソフトであるため、ソフトの入手も容易であった。

4. ImageJ および WinRHIZO による抜き取り後の根の投影面積の測定

ダイズは、根箱に播種後18日目に、Fig. 2i.に示すように、優しく流水で土を落としながら、根の破損を最小限にして抜き取られた。根箱から抜き取られた根には細かい土の塊や小石などが絡まっていることがあり、それらは根の投影面積の誤測定の要因となる。そのため、根を傷めないようにそれらを丁寧に洗い落とし、水をはったトレイ上で根を広げ、根の投影面積の測定材料とした。

トレイ上に広げられた根は、スキャナで撮影し、Fig. 4a.のような画像を得た。撮影時の解像度は400 dpiに設定したが、ImageJおよびWinRHIZOで画像解析を行うのに十分な画質であった。Fig. 4b.は、スキャン画像をImageJで解析した画像で、根箱の根の画像解析時と同様、背景から根のみが抽出され、その後投影面積の測定が行われた。Fig. 4c.はスキャン画像をWinRHIZOで解析した画像で、根径ごとの根の投影面積を自動的に解析し、その結果が色分けして画面に表示された。

抜き取り後の根の投影面積について、ImageJとWinRHIZOで測定した値の関係をFig. 11.に示した。単回帰分析により得られた回帰直線の傾きは0.95、切片は2.78を示した。そして、分析対象となる範囲のX軸の値(WinRHIZOの測定値: 20.5-44.3 cm²)とその値から導かれるY軸の値(ImageJの測定値: 22.3-44.9 cm²)を比較すると、X軸の値が最も小さい時にImageJとWinRHIZOの測定値の差異が9%であったが、その後それぞれの測定方法による測定値は近い値を示すようになった。また、決定係数は0.919で、非常に高い値を示した。したがって、抜き取り後の根の投影面積測定については、ImageJとWinRHIZOで同様の結果が得られることが示された。ImageJはフリーソフトな

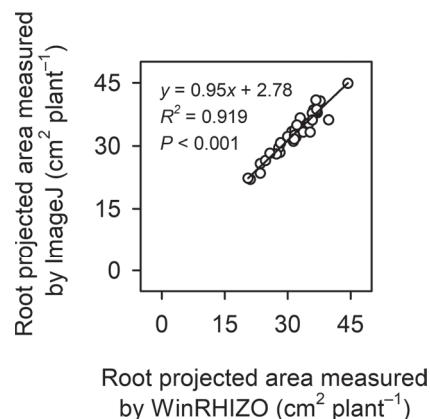


Fig. 11. A linear correlation between ImageJ and WinRHIZO root projected area measurements performed on washed root images of soybean seedlings (n = 35).

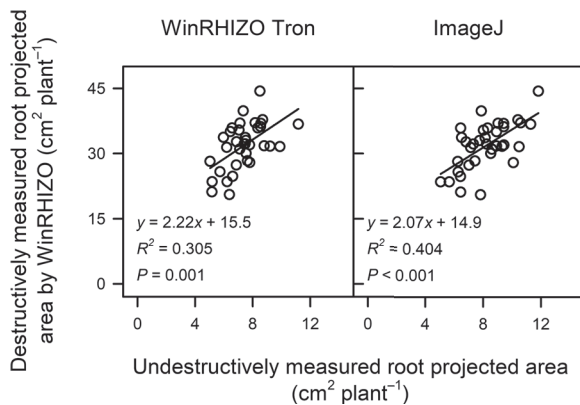


Fig. 12. A linear correlation between undestructive (WinRHIZO Tron and ImageJ) and destructive (WinRHIZO) root projected area measurements performed on soybean seedlings at 18 days after sowing ($n = 35$).

Undestructive measurements were performed on rhizotron root images, whereas destructive measurements were performed on washed root images.

のに対し、WinRHIZOはWinRHIZO Tron同様購入する必要があり、価格も非常に高価である。しかし、WinRHIZOは根径ごとの根の投影面積および表面積や根長、体積などが測定可能であるため、ImageJよりも得られる情報量は多岐にわたる。

なお、播種後18日目には、抜き取り後の根の解析を行う前に、WinRHIZO TronおよびImageJによる非破壊での根箱の根の解析も行っており、それらの根の投影面積と、WinRHIZOによる抜き取り後の根の投影面積による単回帰分析の結果をFig. 12.に示した。単回帰分析で得られた決定係数は、WinRHIZO TronとImageJでそれぞれ、0.305と0.404であった。この値は、WinRHIZOによる根の投影面積の測定値を、WinRHIZO Tronでは30.5%、ImageJでは40.4%説明できることを示している。Metcalf et al. (2007)は、イングロスコア法で採取した根の乾物重と、土壌中に挿入した根箱の根のスキャン画像をWinRHIZO Tronを用いて非破壊的に解析した根長密度について単回帰分析を行った結果、0.43の決定係数を得た。本研究でも、WinRHIZOとImageJの測定値による単回帰分析で同様の決定係数が得られたため、ImageJの利用により、先行研究と同程度の精度で、非破壊による根の投影面積の測定値から実測値を予測できることが示された。一方で、X軸に示した根箱の根の投影面積はWinRHIZO Tronが5.04-11.17 cm²、ImageJが6.25-11.28 cm²であったのに対し、Y軸に示した抜き取り後の投影面積は28.16-36.71 cm²であった。したがって、WinRHIZO TronやImageJにより非破壊で測定した根の投影面積は、WinRHIZOにより測定した抜き取り後の根の投影面積と比べると、値を過小評価することが

示された。この要因は、根箱内で発達する根の大部分がアクリル面では確認できない土の中に発達しており、アクリル面に沿って発達し、非破壊により測定が可能な根が一部分に過ぎないためである。そのため、画像解析ソフトと根箱を利用した非破壊による根の解析は、実際の根の投影面積を測定しうるものではなく、あくまでも相対的な根の発達の評価をするための手法であることが、この結果からも示された。

5. スキャナとImageJを組み合わせた根の生育評価手法の有用性

本試験は、野菜の初期生育時の根の発達を調査するのに適したサイズの根箱を用いてダイズを栽培し、栽培期間中および抜き取り後の根の生育を評価する手法として、スキャナによる根箱の根の画像撮影を行い、異なる画像解析ソフトによる根の投影面積測定の有用性を評価した。ダイズの利用に関しては、主根が太く、下部へ良く伸長し、側根もきれいに左右へ伸長したため、本試験の遂行にあたり、根の観察に非常に望ましい材料であったと考えられた。なお、本試験では、栽培期間が18日間と短く、地上部は初生葉の展開、地下部は一次側根が出た段階までの評価であったが、キャノピー面積、根の投影面積ともに、18日目までの調査において、それらの成長の相対評価が可能であり、乾燥ストレス条件下におけるアブシジン酸処理がメロン苗の根の発達に及ぼす影響を定植後18日目に評価したAgehara and Leskovar (2012)、異なる濃度の窒素施用がピーマン苗の根の発達に及ぼす影響を定植後14日目に確認したAloni et al. (1991)、*Brassica rapa*の組換え自殖系統間において播種後15日目に根系発達の違いを観察したAdu et al. (2017)の報告とも合わせて考察すると、同程度の試験期間で野菜苗の根の評価が可能であることが示された。

根箱自体は、1970年代頃から根の評価のために使用されているが、経時的な根の評価方法は、根の冠根伸長方向角度の測定(川田ら, 1980)、根粒の観察(田中ら, 1981)、根系の形態や側根発生パターンの観察(Merhaut et al., 1989)などが、根箱のガラスおよびアクリル面の目視や手作業で行われた。しかし、安田(1991)は、写真撮影した後コピー機によって白黒画像に変換したホウレンソウの根の解析にコンピューターを使用したことを報告し、Dong et al. (2003)は、根箱の根の画像をスキャナで撮影し、コンピューター上で画像解析を行う方法を報告するなど、近年では根箱の根の画像はコンピューター上での解析ソフトを用いた解析が主流となった。画像解析に用いられるソフトは、根の解析用に作成され、多機能ではあるものの高価な市販の製品が販売されている。一方で、根の研究全般

に関しては, Lebowitz (1988), Pan and Bolton (1991) や木村 (1998) のような, 独自の画像解析プログラムによる根長や根径の測定や, その他フリーソフトを利用した根の画像解析 (間下ら, 2008; 田島, 2014; Mohamed et al., 2017) など, 高額なソフトを使用しない評価方法も試みられている. しかしこれまでに, 根箱の根の画像を解析する手法として ImageJ を用いた研究報告はわずかである (Sangha et al., 2017). そして, それらの報告においても, ImageJ とその他の解析ソフトとの比較は論じられていない. そこで, 本研究では, 根箱の根の画像について ImageJ と WinRHIZO Tron を, 抜き取り後の根について ImageJ と WinRHIZO をそれぞれ用い, 根の発達を評価する指標のひとつとして根の投影面積を測定し, その測定値を比較した. その結果, とともに ImageJ で, 根の投影面積については他のソフトによる実測値とはことなるものの, 根の発達度合いを示す相対値として評価し得ることが示された. また, 測定にかかる労力についても, 同等か ImageJ の方が簡便に行えることが分かった. しかも, フリーソフトであり, 入手に際し費用は不要である. 一方で, WinRHIZO Tron および WinRHIZO は, ImageJ よりも多岐にわたる項目の測定が可能だが, 高額であり, 特に WinRHIZO Tron において測定には長時間を要する.

また, 根の発達とともに, 地上部の生育を調査することは, 当然植物体の生育を評価するうえで重要である. 本試験では, ImageJ によるキャノピー面積の測定も行ったが, これは植物体の葉面積の測定に相当し, 植物の成長量の重要な指標の一つである. その結果, ImageJ によるキャノピー面積の測定は, 葉面積の増加を相対的に評価しうることが示され, また葉の採取なしに, 同一個体で継続的に測定することが可能であることもわかった.

以上の結果から, 本研究で開発した根箱の利用と, スキャナにより撮影した根およびオーバーヘッド画像の ImageJ による解析手法は, ダイズの初期生育時における根の発達を評価する手法として, 根の発達を十分に評価しつつも, 労力およびコストを削減することが可能であることが示された. なお, 本研究の成果は, ダイズに限らず, 様々な野菜の初期生育を評価するために用いることを目標としており, 今後の応用研究の発展を期待している.

引用文献

- Adu, M., Yawson, D., Bennett, M., Broadley, M., Dupuy, L., White, P. 2017. A scanner-based rhizobox system enabling the quantification of root system development and response of *Brassica rapa* seedlings to external P availability. *Plant Root* 11: 16-32.
- Agehara, S., Leskovar, D. 2014. Age-dependent effectiveness of exogenous abscisic acid in height control of bell pepper and jalapeño transplants. *Sci. Hort.* 175: 193-200.
- Agehara, S., Leskovar, D. 2014. Growth reductions by exogenous abscisic acid limit the benefit of height control in diploid and triploid watermelon transplants. *HortScience* 49: 465-471.
- Agehara, S., Leskovar, D. 2017. Characterizing concentration effects of exogenous abscisic acid on gas exchange, water relations, and growth of muskmelon seedlings during water stress and rehydration. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 137: 400-410.
- Aloni, B., Pashkar, T., Karni, L. 1991. Nitrogen supply influences carbohydrate partitioning of pepper seedlings and transplant development. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116: 995-999.
- Deschamps, S., Whitaker, V., Agehara, S. 2019. White-striped plastic mulch reduces root-zone temperatures during establishment and increases early season yields of annual winter strawberry. *Sci. Hort.* 243: 602-608.
- Dong, S., Neilsen, D., Neilsen, G.H., Weis, M. 2003. A Scanner-based root image acquisition technique for measuring roots on a rhizotron window. *HortScience* 38: 1385-1388.
- Glinski, D.S., Karnok, K.J., Carrow, R.N. 1993. Comparison of reporting methods for root growth data from transparent-interface measurements. *Crop Sci.* 33: 310-314.
- 原田重雄, 渡辺明, 三ツ井稔 1957. 根箱による茶の根系調査について. *茶研報* 9: 16-19.
- Hirano, Y., Dannoura, M., Ando, K., Igarashi, T., Ishii, M., Yamase, K., Makita, N., Kanazawa, Y. 2009. Limiting factors in the detection of tree roots using ground-penetrating radar. *Plant Soil* 319: 15-24.
- Johnson, M.G., Tingey, D.T., Phillips, D.L., Storm, M.J. 2001. Advancing fine root research with minirhizotrons. *Environ. Exp. Bot.* 45: 263-289.
- Judd, L., Jackson, B., Fonteno, W. 2015. Advancements in root growth measurement technologies and observation capabilities for container-grown plants. *Plants* 4: 369-392.
- 川田信一郎, 片野学, 山崎耕宇 1980. 水稻冠根の伸長方向角度および屈地性について. *日作紀* 49: 301-310.
- 木村和彦 1998. 画像解析による根長と根の直径の測定 - その1. 実践編 -. *根の研究* 7: 8-11.
- Kono, Y., Tomida, K., Tatsumi, J., Nonoyama, T., Yamauchi, A., Kitano, J. 1987. Effect of soil moisture conditions on the development of root systems of soybean plant (*Glycine max* Merr.). *Jpn. J. Crop Sci.* 56: 597-607.
- 桑原真人 1988. 大豆根の伸長・分布および根粒活性と土壤水分. *土壤の物理性* 57: 15-21.
- Leskovar, D., Cantliffe, D. 1992. Pepper seedling growth response to drought stress and exogenous abscisic acid. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117: 289-293.
- Lebowitz, R.J. 1988. Digital image analysis measurement of root length and diameter. *Environ. Exp. Bot.* 28: 267-273.
- 間下なごさ, 今井克彦 2008. 根箱, スキャナ及びパソコンを用いたカーネーション根の形態解析. *愛知農総試研報* 40: 65-68.
- Merhaut, D.J.F., Latimer, J.G., Daniell, J.W. 1989. Use of

- transparent polyethylene rhizo-bags to study growth of peach roots. *HortScience* 24: 1038.
- Metcalf, D.B., Meir, P., Williams M. 2007. A comparison of methods for converting rhizotron root length measurements into estimates of root mas production per unit ground area. *Plant Soil* 301: 279-288.
- Mghase, J., Shiwachi, H, Takahashi, H., Irie, K. 2011. Nutrient deficiencies and their symptoms in upland rice. *J. ISSAAS*. 17: 59-67.
- Mohamed, A., Monnier, Y., Mao, Z., Lobet, G., Maeght, J.L., Rame, M., Stokes, A. 2017. An evaluation of inexpensive methods for root image acquisition when using rhizotrons. *Plant Methods* 13: 11.
- 森田茂紀, 関谷信人, 阿部淳 2013. 根系の形成を「見る」. *根の研究* 22: 111-118.
- Nagel, K.A., Putz, A., Gilmer, F., Heinz, K., Fischbach, A., Pfeifer, J., Faget, M., Blossfeld, S., Ernst, M., Dimaki, C., Kastenholz, B., Kleinert, A.K., Galinski, A., Schar, H., Fiorani, F., Schurr, U. 2012. GROWSCREEN-Rhizo is a novel phenotyping robot enabling simultaneous measurements of root and shoot growth for plants grown in soil-filled rhizotrons. *Funct. Plant Biol.* 39: 891-904.
- 中野明正, 上原洋一, 山内章 2000. 有機性液肥 (コーンステイアブリカー) の施用がトマトの初期生育および根圏環境に与える影響 - 根箱法を用いた解析 -. *生物環境調節* 38: 211-219.
- 大橋瑞江, 中野愛子, 平野恭弘 2012. 土の中の根をみる方法. *森林科学* 65: 8-11.
- Pan, W.L., Bolton, R.P, Lundquist, E.J., Hiller, L.K. 1998. Portable rhizotron and color scanner system for monitoring root development. *Plant Soil* 200: 107-112.
- 李玉莹, 林万里子, 坂本圭児, 吉川賢 2003. ホストレスが臭柏 (*Sabina vulgaris* Ant.) とカイヅカイブキ (*Juniperus chinensis* var. *kaizuka* Hort.) の地下部の発達に与える影響. *日緑工誌* 29: 107-112.
- Sangha, B., Agehara, S. 2017. Using a scanner-based rhizotron system to characterize root morphological responses of bare-root strawberry transplants to nitrogen fertilization rates. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 130: 129-132.
- Sarker, B., Karmoker, J. 2009. Effects of phosphorus deficiency on the root growth of lentil seedlings (*Lens culinaris* Medik) grown in rhizobox. *Bangladesh J. Bot.* 38: 215-218.
- 鈴木晴雄, 尾林誠一, 小泉元三 1989. ニンジンの出芽に対する数種の播種前種子処理の効果. *園学雑* 58: 407-414.
- 田島亮介 2014. ImageJ を用いた画像解析による根長の評価. *根の研究* 23: 75-81.
- 田中明, 斎藤豊 1981. 根箱を用いたダイズに対する窒素肥料施肥位置の研究. *土肥誌* 52: 469-474.
- Villordon, A., Bonte, D., Solis, J. 2011. Using a scanner-based minirhizotron system to characterize sweetpotato adventitious root development during the initial storage root bulking stage. *HortScience* 46: 513-517.
- 安田典夫 1991. 画像処理によるハウレンソウの根表面積測定. *土肥誌* 62: 410-416.

根研究集会 —これまでの50回, これからの50回—

第50回記念根研究集会実行委員会

委員長 山内章* (名古屋大学大学院生命農学研究科)

委員 犬飼義明・仲田麻奈・井成真由子 (名古屋大学農学国際教育研究センター)

平野恭弘 (名古屋大学大学院環境学研究科)

この度は、100名を超える参加者を得て、記念すべき50回目の節目の研究集会を成功裏に開催できたことを、主催者を代表して、参加者、学会員、また、学会執行部等、関係するすべての皆様に心よりお礼申し上げます。

1991年に第1回の研究集会を行って以来、これまでに開催してきた50回の研究集会と研究会・学会の歴史を振り返り、それを踏まえてこれからの50回を展望する、という目標を掲げた。そのために、各時代に、それぞれの分野で役割を果たし、関わりを持ってくださった方達に、参加し、討論に加わり、お互いに交わり、今後の方向性を語り合う機会を提供するように、プログラムの構成を考えた。その結果、この趣旨をよく理解してくださって、これほど多くの方が参加して下さったことに、心より感謝申し上げます。

それぞれの研究人生において、主要な研究課題が、様々な内的、外的要因によって変遷していくことは当然である。そのことによって、発足当初からおられる方、ある時期に積極的に参加していたが、しばらくご無沙汰していた方、また、つい最近になって参加され始めた若い方など、実に多様な参加者が、この第50回集會に集い、議論に参加されている様は、感動的でもあった。

これまでの研究を振り返ることによって、植物器官の中で、「根」が、これほどまでに多様な分野の研究者

を強く引きつけ、組織できる理由を改めて認識できたのではないだろうか？植物形態・生理学に関わる基本的研究課題の豊富さ、植物生理・遺伝学研究材料としての優位性、作物生産における機能的役割の重要性などにみられるように、根は、'hidden half'として、未解明なことがらが非常に多く、研究対象として実に魅力的である。一方、研究手法、国内外の研究動向、研究費申請、論文執筆などに関する情報交換、学会誌のあり方と意義、研究集会のもち方、学会賞のあり方などに関わって、今後に向けての、根研究学会の課題と展望についても大いに意見交換ができた。会場からの要望もあり、これまでの根研究会・根研究学会の歩みを発足者の一人である森田茂紀先生に、また、今後の根の研究に関して各グループに別れて議論した内容を、これに続く9つの記事として、個々の代表者らに纏めて頂いた。是非ともご一読頂ければ幸いである。

今回の参加者は上述のように100名余であったが、準備の過程で、なんとしても参加したいのだが、やむを得ない事情で参加はできないが、本会の発展を通じて根の研究の進展を心から願っている方が多くいらっしゃることを改めて知ることができた。その方たちとともに、次の50回にむけて、さらなる研究の飛躍のために、努力を続けていきたい。



50回目の節目を迎えた根研究集会へご参加頂いた皆様。

根研究会から根研究学会へ

森田茂紀

東京農業大学農学部

2019年11月23日と24日の2日間、名古屋大学において第50回記念根研究集会在開催され、これまでの50回を振り返るとともに、これからの50回を考える企画が組まれた。第1部において学会の歴史を簡単に振り返るための話題提供を行ったが、その後、実行委員会からの求めに応じて、メモを作成することになった。以下、学会史試論のための覚書である。

●根研究会の設立

世界における根の研究の一つの大きな動きとして、1982年にオーストリアでクッチェラを中心とするグループが国際シンポジウムを開催した。この流れが国際根研究学会 (ISRR: International Society of Root Research) となり、回を重ねるにつれて日本からの参加者が増えていった。

その過程で、将来的にISRR国際シンポジウムを日本で開催したいという希望が生まれてきた。著者は、そのためには受け皿が必要であると考えて、日本の根研究者の組織を作るべきだと提案した。

1991年の某日、東京大学農学部前の喫茶店「蘭」に、阿部淳、根本圭介、中元朋実、森田茂紀の4名が集まり、上記の組織を作ることで合意した。これが根研究会、現在の根研究学会の始まりといえる。

●第1回根研究集会

上記の集まりでは、会員のために役立つ研究会作りを目指すこととし、研究集会の開催とニューズレターの発行を活動の中心とすることを決めた。そこで、つくば根セミナーを主宰していた小柳敦史と、水稻根の研究拠点の一つである名古屋大学の山内章のお二人に声をかけ、早速、東京大学農学部で第1回の根研究集会 (中元朋実のネーミング) を開催した。

根研究集会では未発表の研究結果だけでなく、進行中の研究の紹介や、単にアイデアを提示する発表も可とし、異なる分野の研究者が参加することを想定して、質疑応答や議論に十分な時間を取ることにした。第1回根研究集会では30人ほどの研究者が集まり、議論をかわした。

●ニューズレター

研究会としての活動として考えたのが、ニューズレターの発行である。既存の学会では論文が掲載される学会誌の他に、会員に有用な情報を提供するためにニューズレターを発行することがある。これを真似ようと考えた。すなわち、根の研究に係る学会やシンポジウムの情報を掲載したカレンダーを中心にしたものを目指した。

「根の研究」と題したニューズレターの第1号には、東京大学農学部の中西友子による中性子線を利用した根の研究や、小柳敦史によるつくば根セミナーの紹介を掲載した。題字の「根の研究」は羽場桂子の揮毫によるものである。ワープロ原稿を両面コピーして二つ折りを挟むだけの、文字通り手作りのB5版であった。

●原著論文の投稿

ニューズレターとして始まった「根の研究」は年1, 2回の発行のつもりであったが、初年目から季刊にできた。発行を重ねるうち、突然、小柳敦史から原著論文が投稿されてきた。学会誌という認識はなかったが、せっかくの機会なので、編集委員会や投稿規定を急ぎ作り対応した。フットワークがよいことが取り柄の、若い研究会ならではのことである。

それが、現在のようなA4版にきちんとした印刷、製本された「根の研究」となり、そのほかに、オープンジャーナルの「Plant Root」を出すまでの立派な学会に進化してきた。

●研究会体制の進化

根研究会は、このように自分たちのためになるものを、みんなで作っていくという雰囲気が当初よりあった。運営しているのが若手であるため、既存学会の因習にとられることなく、いいと思ったアイデアはすぐに試行し、うまくいかなければ直していく、ダメな理由、やらない理由を探さない、作らないというポリシーで進めた。

発足当初は会長不在で、それで押し通すつもりであったが、会員が増えるにつれて、きちんとした組織であるようにみせることが会員にとってメリットになるということに気付き、著者が対外的な連絡の窓口という趣旨で代表となり、その後、会長を務めることとなった。

きちんとやらないが、やっているようにみせ、ボランティアで汗をかく人間が手を抜けるようにした。きちんとやっているようにみせるための努力として、会則制定、Website 開設、学会会議への登録などを行った。

●横断的組織として

研究会設立当初、日本作物学会の会員が多かったため、日本農学会への登録について議論にあがった。しかし、既存の学会とは異なり、根と根を取り巻く環境に興味を持ち、仕事をしている者なら誰でも歓迎することを最大のモットーとして作り出したものであることから、このアイデアは見送った。

ちなみに、日本作物学会 70 周年記念大会における基調講演の中で、学会の長老から、根研究会の設立は日本作物学会における分派活動であるとの批判を頂いた。この方には、根研究会設立の趣旨が理解できなかったようで、同時に根研究会が日本作物学会にとってはすでに脅威となるほどのプレゼンスがあると考え、講演後に「激励をありがとうございます」とお礼を申し上げたところ、「だから、お前は嫌われるんだよ」と大変なお褒めの言葉を頂いた。

●研究会賞の設置

会員の役に立つことは、どんどんやろうというポリシーに則り、研究会賞を設置した。研究会予算は完全に会費だけに頼るものだったので、苦しい時代が続いてきたが、顕彰制度は賞状代だけですむ費用対効果が大きい企画と考えて、すぐに取り入れた。その後、優秀発表賞を加えるなど、進化してきた。

ただ、顕彰制度を作っても、実際に推薦があるか、毎年続いていくかが気にかかった。しかし、始めてみるとそれは杞憂で、推薦と授賞は現在まで続いており、研究や実践で活躍している方が多いことが証明されている。

当初、奨励賞は修士論文レベル、本賞は博士論文レベルということを想定し、若手にどんどん賞を出し、それがキャリアアップにつながることを願っていた。優秀な若手が多いために、ハードルがやや高くなっているのが気になる。なお、受賞した方は、学会および次の年代へのお返しとして、「根の研究」や「Plant Root」に原稿を書くとか、学会運営に積極的に協力するなどをお願いしたい。

●研究会の出版活動

根研究会は、異なる研究的背景を持った方々が集まっているので、テキストがほしいという希望が当初よりあったので、著者と阿部淳で「根ハンドブック」(表紙: 谷本英一)を作成した。見開き 2 ページで 1 項目を分

かり易く解説したもので、依頼原稿を二人で編集して印刷、製本したものである。そういうものがなかったからか、版を重ね、現在品切れである。現在でも需要があるようなので、改訂版の発行が必要なのかもしれない。

巽二郎がこの「根ハンドブック」を朝倉書店に売り込んでくれたおかげで、同社から「根の事典」の打診があった。これは大きな仕事となるので、著者を代表とする編集委員会を組織し、編集にあたった。途中、森田の長期海外出張が入ったため、実質的には森田・阿部編集という形になった。これまでにない分野の事典であるため、現在にいたるまでロングセラーとなっている。

養賢堂からでている「農業および園芸」に連載講座を持たせて頂いたことも、非常にありがたかった。足かけ 17 年、合計 200 回の連載となった(最終回は 199 回であるが、途中、1 回だけダブリがある)。雑誌連載は、そのときだけで消えてしまう可能性が大きいので、養賢堂のご了解を得たうえで「根の研究の最前線」合計 7 冊に再整理した。

●ワークショップ

研究集会のほかにも、特定のテーマを取り上げた企画もいろいろと出てきた。その一例としては、唐津市で開催された「理想型根系を考える」をあげることができる。山内章が中心となって企画したもので、果たして理想型根系というものが想定できるのか、できるとしたらどういうものであるかについて、自然植生や草本性・木本性作物など様々な対象について研究を進めている研究者が集まって議論を行った。その成果は、山内章編として「植物根系の理想型」が博友社からでている。

また、実際に研究手法を含めて学ぶ機会として、小柳敦史が企画し農研機構福島試験地で開催された土壤動物に関するワークショップがある。参加者全員が実体顕微鏡を使って土壤動物の観察を行った。このような研究手法を中心としたワークショップの開催は、今でもニーズが高い。

●国際会議の誘致

2001 年 11 月 11 ~ 15 日、長年の夢であった第 6 回 ISRR シンポジウムを名古屋の国際会議場で開催することができた。「9.11」から時間が経っていなかったにも関わらず、34 ヶ国から 350 名の参加があった。日本における根の研究のレベルが高く、根研究会として研究者が組織化されていることを世界にアピールする絶好の機会となった。

また、2014 年には、国際樹木根会議を日本で開催す

ることに、根研究会が大きく貢献した。

●苜住基金の設置

この間、多くの先輩研究者からご支援を頂いてきたことは、感謝の念に堪えない。とくに、樹木根の研究で世界的な評価を受けている苜住昇からは研究会に300万円の寄付を頂いた。研究会では、これを温存することは考えず、有効に使い切ろうということでコンセンサスができた。そこで、若手研究者の海外渡航（後に国内研修のための旅費を含む）を支援する苜住基金を設置した。この基金を利用して、これまでに多くの若手研究者が海外で研究成果を発表したり、国内研究者から研究手法などを学んできた。

●研究会から学会へ

以上のように、わずか30年足らずの期間に、根研究会は発展をとげ、現在は根研究学会として根とそれを取り巻く研究に大きく貢献している。学術分野や学術組織を横断する特徴をうまく活かし、組織の維持発展のためではなく、学術と研究者の発展に貢献することを強く期待している。

本稿では、先輩後輩を問わず、敬称を省略させて頂いた。本会のポリシーに合致するものとしてご海容頂きたい。

以上

グループディスカッション報告「1. 水吸収」

且原真木¹⁾・牧田直樹^{*2)}・松波麻耶³⁾・井ノ口華帆⁴⁾・大西亜耶¹⁾・増本泰河²⁾・矢原ひかり²⁾・渡邊友実加⁴⁾・Moein Farahnak⁵⁾

- 1) 岡山大学資源植物科学研究所
- 2) 信州大学理学部
- 3) 岩手大学農学部
- 4) 名古屋大学大学院生命農学研究科
- 5) 九州大学大学院生物資源環境科学府

根水吸収のグループディスカッションに教職員3名、学生6名が参加しました。地域や環境および対象種の研究背景の異なる多様なメンバーでしたが、みな、当然ながら根の水吸収に関心をもって研究をしています。樹木を研究対象としている者が4名、作物が5名で、研究スタイルもさまざまです。「根のもっとも基本的な機能が水吸収だ」、ということは全員の一致する思いですが、水吸収を理解するうえで、技術的なことやデータの解釈の仕方など、どのような点で困っているかについて意見交換をしました。

まず根の水透過性という基本的な値の測定が簡単ではない、特に樹木においては難しいということが話題になりました。水透過性を測る方法としてプレッシャーチェンバーやプレッシャープローブがありますが、どの方法をどのように使うべきか、また得られた結果をどのように解釈すべきかが確立していないのが現状です。また、それを確立させるために、一般のジャーナルでは記載されないような実験上のコツ、測定上の細かいノウハウなどを共有化して、根の水透過性測定技術をより一般的なものとするために、「根の研究」誌などで方法論文としてまとめる案が出ました。このほか、非破壊で植物体の水輸送を測定する方法として、樹木では熱収支法が使えること、また植物一般や野外で応用するには制限があるものの、CT、MRI、放射能などを使う技術も話題に上りました。

次に、林学における水収支のモデルでは、通水抵抗(根の水透過性の逆数)は静的なものとしてあまり重要視されていない、という現状が話題となりました。野外の森林での実測例をまずは増やしていき、値の持つ意味を理解することが大事であることが課題にありました。さらに外的内的環境に応じて根の水透過性は、可変で制御可能であるという点において、生物学的に変化する部分を明確化する重要性が議論されました。

作物を対象とした研究も含めれば、水吸収に関わる

様々な原理原則の研究は進みつつあります。アクアポリン、根の形態と水吸収の関係についての理解、根形態形成の制御遺伝子、環境に応じた根の水透過性の制御など、水吸収に関与する役者は明らかになりつつあります。しかし、それぞれのメカニズムの繋がりはまだ体系化できていません。分子メカニズム、細胞、個体、生理、生態レベルでの知見を統合して、「すべての植物に共通する水吸収とはこういうものだ!」という水吸収の「基本形」を明らかにすることが、これからの大事なテーマになる、とグループとしての認識に至りました。さらにはこの基本形を個別の対象(樹木・作物)や特定の環境(種々のストレス)に派生/適用させることができるようになれば、植物の水吸収の理解とそのアウトプットのイメージが深まるのではないかという、まとめとなりました。これを実現させるためにはワークショップや共同研究が大切、分野横断的なチームで競争的資金にもチャレンジしたい、という今後の研究展開にも繋がる提案がありました。

参加者の感想

水吸収グループワークに参加し、多くの学びがありました。自身が取り組んでいる研究における課題を共有した際には貴重な意見を頂き、今後の研究に対するモチベーションにもつながりました。今後またこのような機会があれば是非参加したいです。(井ノ口華帆)

今回のディスカッションは、根の水吸収研究が抱える問題点について深く議論でき、非常に内容が濃いものになりました。いつか根水吸収の制御機構を明らかにできるように私も研究の発展に貢献したいと改めて思いました。(大西亜耶)

根の役割として大きい水吸収ですが、メカニズム及び測定手法にまだ多くの課題が残されていると感じま

* 連絡先 〒390-8621 長野県松本市旭 3-1-1
Tel: 0263-37-2479 E-mail: macky@shinshu-u.ac.jp

した。だからこそ多くの可能性を秘めているこの分野は面白いと感じました。これから始める研究への期待が沸き上がっています。(増本泰河)

作物の研究は視点が細かく、また樹木と作物では成長や構造などが異なるからこそ参考になることもあり、とても勉強になりました。水吸収は特に樹木根研究で進んでいない分野なので、このような機会に作物の方と情報共有できるのは嬉しかったです。(矢原ひかり)

GWでの議論を通して、根の水吸収研究の重要性を改めて認識できました。特に、水通導性の測定手法は多くの工夫と試行錯誤が必要な作業であると実感していますので、同様の測定をしている研究者や学生と今後、積極的に情報交換等をさせていただけたらと思います。(渡邊友実加)

Pressure chamber method has been widely used to understand roots and shoots water relation. Using this

method, I'd like to try to know how different diameter of roots, such as smaller roots and larger roots, impact on water uptake in forests. (Moein Farahnak)

水輸送、水吸収の研究は、研究すべきことがたくさん残っています。次の世代の方々による研究の発展を大いに期待しています。(且原真木)

さまざまな根を扱う研究者が一堂に集まり議論をすすめれば、根にまつわる大きな課題を乗り越えられるかもしれない。そんな期待を持つことができた、時間でした。ラグビーと同様に、根っこ界も One Team！これからが楽しみでたまりません。(牧田直樹)

若い学生さんたちが研究に真摯に取り組んでいる様子が分かり、非常に頼もしく感じました。根研のこれからの歴史の第一歩となるようなグループディスカッションとなり、今後の研究へ向けてのモチベーションが高まりました。(松波麻耶)



写真1 水吸収について議論する様子.



写真2 学生らによる発表.

グループディスカッション報告「2. 養分吸収」

野口享太郎^{*1)}・福澤加里部²⁾・菅井徹人³⁾・古谷舞⁴⁾

- 1) 森林総合研究所東北支所
- 2) 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター
- 3) 北海道大学大学院農学院
- 4) 大阪府立大学生命環境科学研究科

グループ2(養分吸収)のディスカッションは、上野秀人さん(愛媛大)、海野佑介さん(環境科技研)、小田あゆみさん(信州大)、小柳敦史さん(九州沖縄農研)、菅井徹人さん(北海道大)、中村奈緒子さん(名古屋大)、平野侑さん(東京農大)、藤本稜真さん(信州大)、古谷舞さん(大阪府大)、福澤加里部(北海道大)、野口享太郎(森林総研東北)の11名により行われた。研究のスケールはポット、圃場、森林など様々であったが、実際に土の中の根を研究対象としている点では、予想よりもギャップは小さかった。主に窒素(N)とリン(P)を対象とした研究が紹介され、例えばダイズのN固定により土壤中のP可溶化酵素の活性が高まることや、P欠乏によりN欠乏症状が現れること、熱帯雨林はP制限状態にあり、N固定やN施肥によりP可溶化酵素の活性が高まることなど、作物でも樹木でもNとPの相互作用が現在も重要な研究テーマと考えられた。今後の課題については、主に養分吸収に関わる根の形態について議論が交わされた。例えば、ダイズのP欠乏耐性品種の根の伸長量が大きいかことや、低温に伴う根の生育阻害によりP欠乏が生じること、根圏微生物によっては、オーキシン様物質を分泌することにより、根の伸長を促進するものがあることなどが紹介されたが、このような生物間相互作用-形態の変化-養分吸収のつながりは、養分吸収に関する今後の研究テーマとして、面白いかもしれない。その他、未解明の課題として、根で呼吸などに利用される炭素(C)と養分吸収・利用の関係、有機態N吸収の仕組みなどが挙げられたほか、研究手法については、分光スペクトルイメージによる根の養分状態の非破壊解析や、同位体(例えば¹⁵N)を利用する方法、根の活性を評価する手法、養分吸収に関連する遺伝子発現解析などの利用による研究の進展の可能性について意見が交わされた。(野口・福澤)

ここでは、樹木を主に扱う一学生としてのグループディスカッションの感想を報告する。今回は、お互いの

研究の簡単な紹介を通じた話題提供とフランクな情報交換の場となり、養分吸収という機能形質の将来的な評価に関する興味深い情報も挙げられた。特に根研究学会でしか巡り合わない作物を扱う方々の情報はとても新鮮に感じられた。なかでも古谷舞さん(大阪府立大)から紹介いただいたダイズのコアコレクションを用いた研究は、比較的遺伝情報が充実していない樹木を扱った実験デザインにも参考になる側面が多い。近年ではコアコレクションを用いた実験から、特定の形質を定量し、それらの形質に関してゲノムワイド連鎖解析(GWAS)を行う一連のフローが普及しつつある。従来のQTL解析を飛躍的に効率化するGWASを活用することで、形質に関する候補遺伝子を容易に絞り込めることが期待される。

一方、環境に対する植物自体の純粋な応答形質を抽出する際には、培地土壌を厳密に扱う必要もあり、さらなる実験デザインの改善が必要になるだろう。なかでも根粒菌やアーバスキュラー菌根菌、外生菌根菌と植物との共生関係は、養分吸収を評価する上で無視できない。他方、植物や微生物の養分吸収における経時的変動にも議論が及んだ。藤本稜真さん(信州大)から、根呼吸の24時間サイクルを測定した経験について紹介いただき、植物の養分吸収や共生菌との相互作用についても、日内の変動を測定してみてもどうかといった視点も挙げられた。

いずれの項目も評価手法に発展の余地が大きいかことが共有された。養分吸収を評価する上での課題は山積みであるが、先進的な取り組みと柔軟な発想に基づいた一層の発展が期待される。(菅井)

ここからは作物を専門とする一学生の感想を述べる。筆者は今回行われたような学会でのグループディスカッションの場に初めて参加したため、当初は議論についていけるのか、不安に感じていた。しかしそれは杞憂だった。まず、現在の研究テーマ、現在困っていることや今後やっていきたいと思っていることを共有した後に、各々が興味のあることを自由に話すという流れでディスカッ

*連絡先 〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷 92-25
Tel: 019-648-3944 E-mail: kyotaro@affrc.go.jp

ションは進められた。参加者は専門に扱う植物も違えば、着目しているスケールも組織・器官レベルから生態系レベルまで様々だったが、植物の根と土壤中の養分吸収という大枠のテーマは共通しており、思っていたよりも共通点が見られた。筆者はポット内の限られた条件で作物であるダイズとPに関する研究を行っているが、今回のディスカッションを通して、圃場や森林といった外部環境や他の生物の影響を強く受ける条件での作物や樹木の研究の話聞いてとても刺激を受けた。例えば熱帯性のマメ科樹木にPとNを施用することでP可溶化酵素の活性が高まる一方でバイオマス量やP吸収量に変化がないことが紹介されたが、これはNが植物体内のP量

を維持しているためではないかと思った。筆者が現在行っている実験ではP欠乏条件でダイズを栽培すると、P欠乏症状の前にN欠乏のような症状が起こっており、樹木と同様にNが植物体内のP量を維持するために働いている可能性が考えられた。このようにNとPの相互作用は作物でも樹木でも重要な研究テーマとなりうると感じた。

今回のグループディスカッションに参加して得られたものは大きかった。自身の研究から近い分野を飛び越えて広く知見を深めたり議論したりできる場というのはなかなか他にないと思う。今後もこうした会があればぜひ参加したい。(古谷)



活発な議論が行われたグループディスカッションの様子。

グループディスカッション報告「3. 物質循環」

藤井黎^{*1)}・大橋瑞江²⁾・平野恭弘³⁾

- 1) 京都大学大学院農学研究科
- 2) 兵庫県立大学環境人間学部
- 3) 名古屋大学大学院環境学研究科

<参加者>

桑辺七穂 (兵庫県立大学)・茂木京葉 (酪農学園大学)・菅原拓也 (北見工業大学)・西村滯 (名古屋大学)・日名子結衣 (信州大学)・藤井黎 (京都大学)・吉田巖 (名古屋大学)・斎藤琢 (岐阜大学)・大橋瑞江 (兵庫県立大学)・平野恭弘 (名古屋大学)

根研究集会の第50回記念イベントで行われたグループディスカッションにおいて、我々のグループは「物質循環」という課題で今後50回(25年)の根の研究集会を考えるとという難しいものであった。しかし幸い、我々のグループは比較的若手が多く、教員3名の他は、25年後も現役であろう修士1年生が5名、学部4年生が2名という構成であった。グループを取りまとめる2名の教員の巧みな誘導の元、まずは自分の研究紹介を交えた自己紹介が行われた。その後、それぞれの研究テーマに共通する項目として、「根の環境応答」、「根の枯死と分解」、「根の伸長と生産」の3つに絞って議論することが提案された。そして、それぞれの項目について、今後の研究の展開を語り合うこととなった。ただし今後の展開と言っても、メンバーは研究を始めて1-2年しかたっていない面々である。議論するというよりは、今抱えているお悩みを相談する、という形式で気楽な雑談が繰り返された。

まず「根の環境応答」を見る際に気をつけるべきこととして種毎の特性をしっかりと区別する必要があることを共有した。手法面だけでも、根だけを冷やす工夫など室内実験での環境操作の難しさや、環境計測のための機器設置の仕方や測定頻度など、フィールドでの環境計測について目的別に手法が確立していないことが挙げられた。

「根の枯死と分解」について、根の枯死の判定方法は未だ確立しているとはいえない。また根の形態に着目し、どの部分から枯死が始まるのかを詳細に見る、粗根と細

根という分類で研究対象を分断せずに両者の繋がりをよく観察するといった姿勢が求められるだろうとの意見が出された。そのなかで今から25年かけて研究対象として観察すれば、粗根の枯死・分解過程をも直接追跡できるのではないかと自由で大胆な意見も生まれた。

「根の伸長と生産」を見るうえで避けて通れないのはサイト間、サイト内のばらつきだ。ばらつきを生む要因には、既に様々なものが報告されているが、知見がまとまっている状況ではない。またフィールド調査の難しさとして、サイト内のサンプルからどうやって植物個体レベルへとスケールアップするかが指摘された。

そもそも25年前から今日まで、根の研究にはどのような進展があっただろう。地上部と地下部の繋がりを考えてみると、作物では物質の上下動によるインタラクションが確認されている一方で、樹木根ではあまり報告が無いように思える。今後はよりミクロな内部メカニズムに焦点を当てていく必要があるだろう。またこの期間のコンピュータの能力向上は目覚ましく、シミュレーションやモデルを用いた統計解析、非破壊的な画像解析を活かした研究が取り組まれている。現時点で破壊的手法に任せざるを得ない問題をどう克服していくかも重要な鍵だ。

さらにこの25年の間に根の研究分野で起きた画期的な出来事として、根の研究者が飛躍的に増大したことが挙げられた。これは根研究学会がもたらした最も大きな功績と言える。今回の50回記念集会でも、学部生や修士学生らの活発な参加が印象的だった。この傾向が続けば25年後には根の研究者がさらに増えて、地上部の研究者に匹敵する数、すなわちTR比(植物の地上部と地下部の比率)で言えば1.0となるかもしれない、という未来志向的な見解も出された。もしそうなれば、これまで土壌というブラックボックスに隠されていた生態系の物質循環の全容が白日の下にさらされる日が来るのかもしれない。

*連絡先 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 農学部総合館
Tel: 075-753-6096 E-mail: rei.fujii.75u@st.kyoto-u.ac.jp

グループディスカッション報告「4. 測定 / 評価方法」

田島亮介^{*1)}・檀浦正子²⁾・寺本翔太³⁾・服部林太郎⁴⁾・鈴木大介⁵⁾・武井玄⁶⁾・
谷川夏子⁶⁾・田村梓⁶⁾

- 1) 東北大学
- 2) 京都大学
- 3) 農研機構
- 4) クミアイ化学
- 5) 兵庫県立大学
- 6) 信州大学

私たちのグループでは根系の「測定 / 評価方法」について議論をおこなった。根系を研究するとき、根系を定量・定性的に「測定」をして、その意味を「評価」する。土の中にあり、地上部に比べると測定が難しい根系において、「測定 / 評価方法」は土台・基礎となる重要な部分である。議論は対面形式で行われた。初対面のメンバーが多かったため、まず自己紹介をして手探りで話し合いを進めた。その中で、上記の通り、測定と評価ではその役割が違うため、「測定」と「評価」を分けて整理することを思いついた。

まず根系の測定方法を考えると、近年のコンピュータを中心とした工学技術の導入による変化は著しい。例えば、スキャナの低価格化、一般化に伴って、スキャナをフィールドで土の中に埋めることで、非破壊的、連続的に根系画像を取得することができるようになった。土の中に埋めるまではしなくとも、採取した根の画像を、スキャナを用いてコンピュータに読み込むことは、根研究学会においては現在「普通」のことであると言える。しかし、これが「普通」の状況になったのは最近のことで、2010年代に入ってからのことである。それ以前はスキャナを使うことそのものが「先進的」であった。

現在でも技術の導入・普及は盛んである。例えば今回の50回記念根研究集会では、エックス線コンピュータ断層撮影(エックス線CT)を用いたイネ根系の可視化(寺本ら2019)やハイパースペクトルカメラを用いた樹木細根系の機能特性の予測(谷川ら2019)などが発表された。

次にこれら新しく導入された(あるいはされつつある)測定方法で得られた情報を用いて根系をどのように評価するかについて議論を行った。評価の段階では、まずは新しい手法で測定した計測値がどれだけ信頼できるかを示す必要がある。そこで、これまでの根の研究で蓄積されてきたデータとの整合性を見ていくことになる。新し

い手法で得られる情報はこれまでと比較して膨大であるため、過去に評価されてきたデータとの整合性をみるためには、測定した情報を少なからず縮約することになる。その際に情報の大部分を捨象して比較せざるを得ないことも多い。より具体的に述べると、先に挙げたエックス線CTによって得ることのできる根の3次元の形態形成の時系列での変化の情報であれば、1次元の根の深さとの対応を見ることであり、ハイパースペクトルカメラで得た可視光以外も含めた根の色情報であれば、目視で判定されてきた根の生死の判定との関係を見ることである。これらの評価で過去のデータとの整合性が取れた場合、新しい手法を測定手法の1つとして加えることができる。

ここで続いて議論になったことは、「新しい測定方法で膨大な情報が得られたとしても、評価したいことがこれまでと変わらないときに、新しい測定方法ではなくこれまでの方法を用いればそれで十分なのではないか?」ということである。ここで我々は様々な議論をおこなったが、「必ずしもそんなことはない」という結論に至った。評価したいことが具体的に決まっているのであれば、確かにこの意見は正しい。測定の簡便化は別として「何を評価するか」の目的が明確である場合には、それに応じた測定方法を選べば良いのであって、必ずしも最新の方法を追求する必要はない、ということである。目的なく新しい手法に手を出すのではなく、あくまで目的に即して、どの測定手法を用いるか選ぶ姿勢は、労力の限られている中で根の研究をする上では確かに重要である。そのためには、何を知りたいのか、その目的を測定を行う前に考えることが肝要である。一方で、新しい普遍的な事実・法則などを帰納的に推測したい場合は、いまままで得られてこなかった高密度・高次元のデータが必要不可欠となる。根の深さのような1次元の情報しか持っていない段階で3次元+時系列のような根の情報が得られ

* 連絡先 〒 989-6711 宮城県大崎市鳴子温泉字蓬田 232-3 東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター
Tel: 0229-84-7364 E-mail: tazy@tohoku.ac.jp

た時にどのような解釈ができるのかは想像しえない。しかし、3次元+時系列のような「先進的」な測定に挑戦して膨大な情報が得られれば、その情報から見える「新しい何らか」の事実が必ずあるはずである。この過去の測定方法では見えなかった事実が重要であれば、その「先進的」な方法は近年当たり前におこなわれるスキャナを用いた測定方法のように「普通」になり、多くの研究者に利用されると期待される。この「新しい何らか」が必要であるか否かは、注目している観点が違う2者に起こる論争と同じように思われた。すなわち、根にさほど注目する必要のない研究者が「根を詳細に見る必要があるのか」と疑問を持つことと、これまでの「測定/評価方法」で得られる情報にのみ関心がある研究者が、「それほど膨大な情報を得る必要があるのか」と疑問を持つことは同じ構図に見える。

議論を始める前は長いと思っていた時間も終わってみれば意外と短く、思いつくままに議論をしていたら、根系の具体的な「測定/評価方法」についてあまり議論を深めることはできなかった。これは、近年の測定技術の著しい発達のため、「測定/評価方法」が多様に富んで

きているためとも思われた。これまでの50回の中に想像していなかったような根の測定に関する新技術が出てきたように、次の50回の間にも今は想像しえない新技術が次々と出てくる可能性が高い。それに伴って、得られる根系の情報の質と量が今後どんどん高く、多くなることが予想される中で、それらに対してどう向き合っていくのかを議論できたことの意義は大きい。根研究学会は、個々の研究者が挑戦する新しい測定手法を場として受け入れ、議論し、そこで得られた情報をこれまでの研究と関連づけて掘り下げ、深めていくことが必要だろう。議論を通じて、その土壤は根研究学会にすでにあると感じた。こういった議論を今回のような場に限らず継続的に実践していきたい。

引用文献

- 寺本翔太, 高安聡子, 宇賀優作 2019. エックス線CTを用いたイネ根系の4次元可視化パイプラインの構築. 根の研究 28: 81.
- 谷川夏子, 中路達郎, 小島実和, 牧田直樹 2019. 可視-近赤外分光反射率を用いた20樹種の樹木細根系の機能特性の予測. 根の研究 28: 99.

グループディスカッション報告「5-1. 環境応答 / ストレス」

亀岡笑¹⁾・間野吉郎^{*2)}

1) 酪農学園大学 農食環境学群

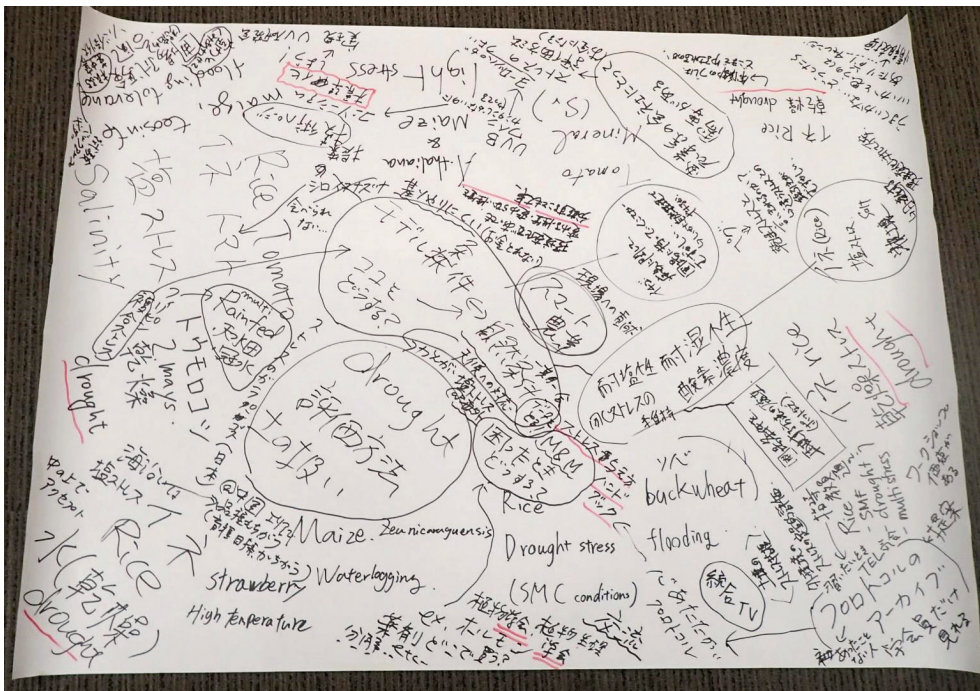
2) 農研機構 畜産研究部門

「5-1 環境応答 / ストレス」グループは、学生9名、社会人5名のグループ構成であった。グループディスカッションでは学生たちを中心に根の研究への悩みに関する意見が多く寄せられ、最終的にはそれらの悩みへの具体的な解決法について複数の提案がなされたのでここに報告する。

グループディスカッションでは、まず初めに参加者全員で対象作物と着目する環境ストレスの種類について発表があった。作物種は、イネ、トマト、アラビドプシス、トウモロコシ、テオシント、ソバ、イチゴとさまざまであった。環境ストレスも、光ストレス、過湿、乾燥、塩、ミネラル、乾湿の繰り返し、高温などバリエーションに富んでいた。続いて参加者から、環境応答 / ストレスに関する研究を進める中で悩む点について自由に意見を述べてもらった。制御の精度、標準化、着目する以外の気象要素の年次変動、実験として設定するスト

レス環境と現実の環境との乖離など、共通する悩みが多く挙げられた(第1図)。以下に具体例を報告する。

洪水、干害や塩害といった特に海外で深刻化する環境ストレスに関する研究は日本国内でも多く行われる。しかし海外の諸地域と日本とではそもそもの環境条件が大きく異なるため、実際の栽培試験ではターゲットとする環境ストレスの再現等で多くの悩みが発生する、という意見が挙げられた。これに関しては、留学生から母国での環境ストレスの特徴が紹介された。フィリピンについては単一のストレスを相手にするのではなく異なるタイプのストレスが複合的かつ同時に作物に対して発生することが、また中国では国の広大さゆえにエリアごとに作物の育種目標が異なることがそれぞれ紹介され、国が違えばストレス研究における背景事情も大きく異なることが改めて理解できた。これら複雑でバリエーションに富む環境ストレスの再現方法、



第1図 根研イベント Part2「5-1 環境応答 / ストレス」の討論で使用したA0用紙(841 × 1189mm)。14名の参加者が、それぞれ対象作物とストレスの種類を用紙の周囲に記載した後、討論で出た意見や関連性などを書き加えた。

* 連絡先 〒 329-2793 栃木県那須塩原市千本松 768
Tel: 0287-37-7800 E-mail: mano@affrc.go.jp

定量化方法の最適解はどのようにして導き出せるのか、多くの悩みが寄せられた。

関連して、モデル条件としてストレス再現と自然条件の乖離については多くの葛藤が聞かれた。参加者の栽培試験における具体例としては、ソバの栽培試験において甚大な台風被害によって著しい倒伏が引き起こされ、その年の試験結果が使い物にならなかったこと、外環境で乾燥ストレスを一定期間与える試験計画を組んだものの、日照不足が続いたせいで想定したような乾燥ストレス程度に至らず、試験計画を変更して乾燥ストレスを与える期間を延長せざるを得なかったこと（その試験計画の変更が果たして許容されるのか、その可否に関する判断はどのような方法でなされるべきなのか）などが学生たちから紹介された。参加者からは、このような圃場におけるストレス試験を行う上で不可避のリスクへはどのように対応すべきなのか、という悩みが寄せられた。これに対して、山内章氏から寄せられたコメントが大変有益であったので報告する。山内氏からは、論文執筆を見据えて圃場試験を実施するのであれば、セットでポット試験などを気象変動の影響を受けにくい実験系を組み合わせることが奨励されること、また不可避の災害や気候変動との遭遇は一期一会と捉えるべきで、それら気象条件ならびに同条件下での作物生育反応自体が有益な知見になる可能性を孕むがゆえに、各種気象データをしっかり記録しておくべきことがコメントとして寄せられた。悩める学生のみなさんにはぜひ参考にしていただければと思う。

ディスカッション参加者の中で共通して挙げられた悩みの中で特に目立ったのは、ストレスの制御方法、定量評価方法であった。特に学生から、手法再現時に論文の「材料と方法」部分での説明だけでは不十分な際や、自分が実施している環境ストレス再現・制御方法について不安・悩みが尽きない際に具体的な相談場所があれば、という意見が多く寄せられた。「根ハンド

ブック」のように「ストレスの与え方ハンドブック」がほしいという意見も挙がり、ディスカッション参加メンバーから多く賛同の声があがった。外環境のストレスの定量的評価方法については民間会社からみても大きな需要があるという意見もあった。

以上のように、検定方法についての数多くの悩みが出ているが、いずれも実際にどのように解決すればよいのかは長年同様の実験を行って来た研究者でも対応が難しいことが多い。その後のディスカッションの中で学会として取り組むべき解決方法として、前述した「ストレスの与え方」のプロトコル集を作り技術の共有を図ることが提案された。例えばプロトコル集のアーカイブを作り、学会のHP上で会員が見ることができるサイトを作り情報を蓄積するとともに未来に伝達するというものである。このような情報は、今後50回の根研究集会(25年)を見据えた根の研究の発展につながる。

最後に、「5-1 環境応答/ストレス」のグループディスカッションに参加して責任著者が感じたことを述べさせていただきたい。今回話題となった乾燥耐性や耐湿性などのストレス耐性の検定は環境の影響を受けやすく、実験の再現性が低いため精度の高い検定は極めて困難ではある。ゆえにストレスの与え方を検討する以前に、健全な植物を育て生育がよく揃った植物を用いて検定することが極めて重要なことを忘れてはならない。健全で均一に生育した植物を実験に供試した上で、周囲の環境条件に対して十分な気配りを行い、長年地道にデータを積み上げることによって初めて最適な「ストレスの与え方」が見えてくる。経験値が上がることによって、検定中の植物の状態を見ながらストレスの与え方を臨機応変に調整する手段が身に付いていくため、悩み・不安は解消されていく。この段階になってはじめて、実験として設定するストレス環境と現実のストレス環境の乖離について考えるスタート地点に立つことが出来る。

グループディスカッション報告「5-2. 環境応答 / ストレス」：根の潜在能力と根の環境を知る

塩野克宏¹⁾・清水香那¹⁾・久米篤^{*2)}

1) 福井県立大学大学院生物資源学研究所

2) 九州大学大学院農学研究院

環境応答 / ストレスのグループディスカッションでは、はじめての学会参加という学部3年生からベテランの大学教員、農研機構や企業の研究員まで、13名の様々な根研究者が集まりました。研究材料は山岳森林の樹木根から世界のイネ、北海道のサツマイモ、宇宙を利用した根の生理学と多種多様。「根」と「環境」をキーワードにつながったグループでした。グループディスカッションでは各自の研究内容や興味についての紹介に続いて、それぞれの研究対象における課題、将来目標について議論を進めました。個別の研究方法については樹木系と作物系で大きく異なるものの、地球環境変動に伴って生じる様々な問題、例えば、気温上昇による樹木分布や栽培地域の変化、降水レジームの変化や海面上昇などに対応するための耐塩性、冠水抵抗性品種の開発など、根の潜在的な能力を評価しそれを発揮させること、そして根が置かれている環境を測定したいという点では方向性が一致していました。また、根の潜在能力の探求という観点からは、宇宙ステーションの微小重力環境を利用した根の重力反応や水分応答機構の研究も紹介されました。

森林の樹木を調べている研究者からは、山全体の根がこの評価ができる技術、地下のリモートセンシング技術が欲しいという希望が出されました。根という地下部だけを考えるのではなく、地上部の環境との違いから地下部をみる、という視点が提案され議論されました。植物の地上部と地下部がおかれている環境の大きな違いは、地上部は大気中でよく攪拌された比較的均一な環境にあるのに対して、地下部は土壌粒子や水によって物質の移動や拡散が制限され、水、養分、酸素といった環境条件が非常に不均一な環境にあることです。そのため、地上の葉が比較的均質・規則的であるのに対して、根の場合には、土壌環境の時空間的な不均一さに応じた不均質な根の発達が生じているという捉え方です。

参加者の声

私の参加したグループでは、学生がグループの半分を占めていたので、あまり緊張せずグループディスカッションに参加することができました。扱っている植物や

環境ストレスの異なる様々な分野の方と話すことで、私の凝り固まっていた考えを柔軟にすることができたのではないかと思います。さらに、企業の方や樹木の研究をされている方の話を聞いて、実験室の中だけにとどまらず、実際にフィールドへ出て植物を見ることが大切だと改めて感じました。(清水香那・修士1年)

まとまるのかな？グループディスカッションをはじめの前から少し不安でしたが、案の定、まとまらない。初めて来た根研でいきなり次の50回を考えてといわれた方から根研の創設時を知る方まで幅広い参加者。バックグラウンドが違えども、「根」を見て、「根」で悩んで、「根」から学んでいるということは共通していました。異なる視点、方向、次元から「根」という一つの対象についての考えを聞いていると、これまでの自分の考えをムズムズと刺激される。そんな感覚を受けました。全員が同じ方向に向かうのではなく、ゆるくほどよい距離感でまとまって、互いを刺激し合う。それが「根研っぽい」ということなのかな？そんな風感じました。

(塩野克宏)

根の表面は土壌環境や水環境、微生物環境とのインターフェースです。しかし、土の中の根は直接見ることができません。根が死ぬとはどういうことか、どう見分けるのかという問いにも明確に答えられません。根と地下環境を正確に測定する技術の開発は、これからの大きな課題となるでしょう。根を介した植物と環境の相互作用について、遺伝子から気候変動まで幅広いスケールを視野に入れた研究が進められるでしょう。モデル植物によって得られた知見をどう生かしていくかも課題です。農業現場では、根っこが伸びたら収量が増えるのか、儲かるのか、という観点に変換し、野外では、根っこが生態系物質循環や生物間相互作用で果たしている役割の理解につなげる研究が求められています。現在、月面農場や火星居住計画が現実のものとして推進されており、地球の植物の根を理解するためには、宇宙船における根、火星の農業における根の研究も役立つでしょう。(久米篤)

* 連絡先 〒 819-0395 福岡県西区元岡 744
 Tel: 092-802-4673 (代表) E-mail: akume@agr.kyushu-u.ac.jp

グループディスカッション報告「6. 生物間相互作用」

遠藤いず貴¹⁾・神山拓也²⁾・小池孝良^{*3)}

1) 兵庫県立大学環境人間学部

2) 宇都宮大学農学部

3) 北海道大学農学研究院

参加者：自己紹介（所属：今のテーマ）

神山（宇大・教員：作物のアーバスキュラー菌根菌）、渡辺（茨城試・園芸：クロマツを正月の門松に、連作障害）、山内（会社経営：銅入りメッシュで根の成長制御、芽への影響不明、アスパラ病害抑制）、上原（岐大応生・修士：オタネニンジン＝朝鮮人参、連作障害・アレロパシー、キキョウ）、遠藤（兵県大・研究員：根の脱落物質、フェノールと土壤微生物）、暁（信大理・修士：針葉樹、広葉樹の根の滲出物質の差異）、野崎（群馬・高校：教材—高校生にも“生態系について見える”話題を）、小池（北大・研究員：カラマツ菌根菌）

議論の進め方：

「相互作用」を中心に置き（図1）、参加者が抱く疑問・話題を詰める方法で議論を行った。メンバーの構成は院生、企業、大学・高校の教員、研究員、試験場など多岐に渡り、“研究目標達成”への“時間概念”も各々多様であった。関心のある分野も微生物生態～植物生理生態～生態系～教材開発へ、とさまざまであった。共通の関心である「相互作用」に注目し、関連性を論じた。

相互作用の意味：

かつて、共立出版の生態学シリーズ「植物の相互作用」（1973）の執筆にあたり、穂積和夫の巻頭言“あまりに難しいタイトルを吉良竜夫先生（生態学の西の「雄」）から頂き、背筋が冷たくなった！”と小池は聞いていた。本グループでは、この難しい内容を議論することになった。本書には、アレロパシー（他感作用）の記述もあった（しかし、大半は草本植物の均質群落でのロジスティック・モデルと演習）。共生と寄生を理解するためには、シンク・ソースのバランス、つまり炭素分配の理解が重要である。そのためには地下部（＝根系**後述：根圏・根系・根）と地上部の相互作用まで理解を広げる必要がある。

“根とその周辺”には、アレロパシー物質、滲出物、離脱細胞などの物質が存在する、これらの物質が共生・寄生を制御しているであろう（ここは、後述する）。炭はアレロパシー物質を吸着し、また、ECM（外生菌根菌）・AM（アーバスキュラー）等の棲み処にもなるため、炭を連作障害回避に使えるかもしれない。炭については、作成時の燃焼温度が重要であり、高温すぎても低

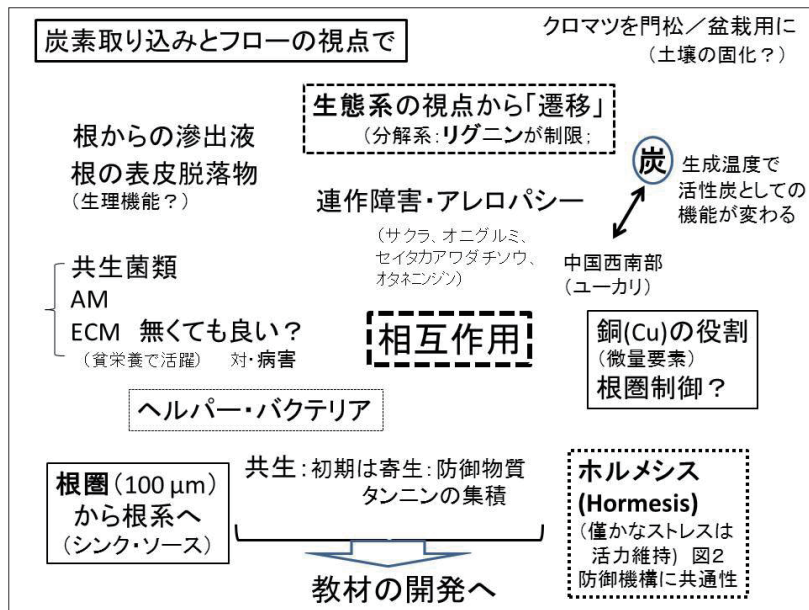


図1 相互作用をめぐる議論の概念図.

* 連絡先 〒060-8589 札幌市北区北9条西9丁目
Tel: 011-706-2498 (植物栄養学: 渡部研究室) E-mail: tkoike@for.agr.hokudai.ac.jp

温すぎても使えない。山火事での炭の生成温度 (< 400 °C) (Kajiura ら, 2015) (炭の物理的構造が変化し, イオン捕捉機能などを介して炭の機能が変わる) が重要である (Makoto ら, 2011)。

議論の中で, 谷本先生 (植物ホルモン・生理系) から質問 (リグニンの話) をいただいた。リグニンは構造が決まらず, Chapin III, FS ら (2002) Ecosystem ecology の中で, 分解系が生態系のすべてを制御する (当時, 京大・大園さんらの研究, 京大森林生態学≡リグニン化学か!) ことが指摘された。ただ, タンニンなどの分解系において, ワラジムシ, シカなどに見られるタンニン (Cu 蛋白+糖+フェニル基) を分解するタンナーゼを有する菌類の存在は無視できず, 現象の解明には“常識”は常に疑う必要がある。

生態系概念で, 連作障害・アレロパシーの理解も可能になるか?! ニッチェのとらえ方で解釈が可能になるかもしれない。ジャンセン・コンネルのモデル, あるいは広義にはストレスの少ない場所で子ども (実生) は育ちにくい (富士山のイタドリのパッチの話や, ある樹種の下では同種の実生は育ちにくい, という話) など。

僅かなストレスで, 別のストレスへの耐性が発揮される (例えば, 同じ遺伝子 [SLAC1] が CO₂ と O₃ への応答を制御している): ホルメシス (Hormesis) での解釈の一般化ができる (図2: Agathokleous and Calabrese, 2020)。一方で, 適度なストレスがあると進化 (適応 = 小進化; どこでジャンピングがあるかを究明する: 特に2次代謝産物は進化を反映すると考えられている) につながる。暁さんの“根からの滲出液組成”に注目した研究は, APG (被子植物系統グループ: Angiosperm Phylogeny Group) などの分類において, 針葉樹の位置はエングレー分類の位置づけとあまり変わっていない。

“根からの滲出液組成”も含む二次代謝産物は, 進化の産物であるため, 分類において役立つ可能性がある。そのため, 暁さんの“根からの滲出液組成”に注目した研究に, 進化生物学の視点も加えていくことで, 今後の植物種の種特性解明の糸口が生まれるかもしれない。

過去にパーセント・オーダーの高濃度の二酸化炭素 (CO₂) であった環境で, 植物とシアノバクテリアは共生関係を結び, その後, 植物の細胞 (葉緑体) となった。このため, C3 植物の CO₂ 固定酵素 (RubisCO: ribulose - 1,5 - bisphosphate carboxylase/oxygenase) は, 名称通り CO₂ と O₂ の両方を触媒するなど, いわゆる“CO₂ 固定効率”が悪く, そのためか, 葉の窒素の約 70 % は RubisCO へ分配されている。光呼吸の抑制が試みられたが, 進化学的に不可避なプロセスであることが証明された。

根圏, 根系, 根

記録をまとめる中で, お互いの「根」(根圏, 根系など) の認識に違いのあることが解った。そこで, “場外”議論として, 今更であるが, ここに, 根圏と根系を考えて見たい。小池の認識は, 根圏 (rhizosphere), 根系 (root system) であった。

ここで, 古典として拠り所とする「農業技術大系: 土壌と根圏」での定義を基礎に考える: 根圏の範囲は, 土壌生化学の木村真人 (1987) によると数 mm ~ 1 cm 程度が, 1つの範囲とされてきた。しかし, この範囲も土壌微生物の生息数の点からは, 当然, 土壌の性質 (砂質, 埴質) によって変わる。また, 植物栄養学の視点からは, 根圏は根の周辺の約 100 μm という考えもある (大崎満氏)。広く受け入れられている考え方からは, 根圏は「植物の根の分泌物と土壌微生物とによって影

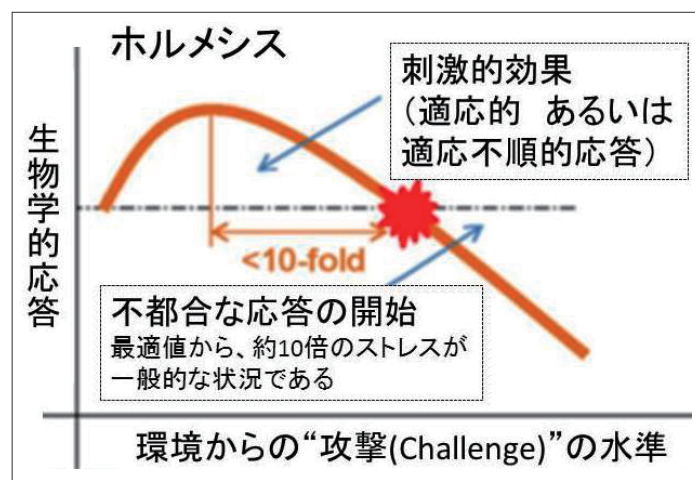


図2 ホルメシスの概念図。

(Agathokleous and Calabrese 2020 から作成)

*: 見かけ上, 適応・不適応な応答が釣り合っている点

響されている土壤空間」とされる。植物は根から多くの化合物を分泌するが、これらの分泌物は根圏中の他の生物の生育をうながすことがある(根圏効果)。また、根系とは根全体を指す言葉であり、根全体から影響を受ける土壤領域はもちろん根圏と言えが、全体でなく一部でもそれは根圏である。あるいは、根圏制御の視点からは、大切なのは、「根」ではなく、根(+そこに集まる微生物)由来の「物質/ガス」がその環境を決めている、と考えられている(江澤辰広氏 私信)。

根系(root system)について、根研究学会50回記念研究集会での議論時の神山の認識(**根系)は、「根系=種子根、不定根、側根、根毛から構成される総体」であった。その後、個人的に名古屋大学の山内章教授と議論した結果、山内教授は、1個体の根系を構成する根が、機能、形態において異なり、それぞれ相互に影響を及ぼしつつ役割を分担し、器官として機能している総体を根系(root system)と認識し、そのような「システム」として機能しているという意味を根系という用語に込めたいと論じていた(山内 私信)。また、構成根間の差異を意識せずに、すべての根を同じとみなし評価する際には根群(roots)と呼ぶのがふさわしいと述べていた(山内 私信)。

今後：

広く認識されている根系および根圏(分泌物、そこに生息する微生物類などと土壤)を、さまざまなスケール(ミクロ・メソ・マクロスケール)から研究を進めている研究者が密接に連携することで、土壤生態系の理解が進むと思われる。樹木生理学では、Whole plant physiologyの視点から大気環境の変化が光合成産物の生産と分配を介して、根圏微生物の種組成へも影響があることを認めている(Wang et al. 2016)。このような環境変動を考慮に入れることで研究の進展が見込まれる。ソース・シンクの視点から、相互作用を深く理解出来る可能性がある。ある生物が適応的かどうかを考える上で、進化学的視点を取りこんだ相互作用の研究への期待が高まる。

参考文献

Agathokleous, E., Calabrese, E.J. 2020. A global environmental

- health perspective and optimisation of stress, *Science of the Total Environment*, 704(C):135263. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135263.
- Bardgett, R.D., Wardle, D.A. 2010. *Aboveground-Belowground Linkages Biotic Interactions, Ecosystem Processes, and Global Change*. Oxford Series in Ecology and Evolution.
- (和訳: 深澤 遊, 吉原 佑, 松木 悠訳 2016. 地上と地下のつながりの生態学, 東海大学出版会)
- Chapin III, F. S., Matson P. A., Mooney P. M. 2002. *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Springer, 436p.
- 穂積和夫. 1973. 植物の相互作用, 共立出版・生態学シリーズ
- 井鷲裕司, 伊藤元巳. 2018. 新しい植物分類体系: APGで見る日本の植物, 文一総合出版
- Kajiura, M., Wagai, R., Hayashi, K. 2015. Optimal Thermolysis Conditions for Soil Carbon Storage on Plant Residue Burning: Modeling the Trade-Off between Thermal Decomposition and Subsequent Biodegradation. *Journal of Environmental Quality* 44:228-235.
- 木村真人. 1987. 根圏と土壤微生物. 土壤施肥編 農業技術大系 第1巻 土壤と根圏 I. 農文協, 東京. pp. 21-29.
- 九州大学・大学院理学/生命科学院・植物生理学HP: <http://www.biology.kyushu-u.ac.jp/~plant/Kenkyu2.html>
- 河野恭広. 1987. 根の形態と分布量. 土壤施肥編 農業技術大系 第1巻 土壤と根圏 II. 農文協, 東京. pp. 1-19.
- Kozaki, A., Takeba, G. 1996. Photorespiration protects C3 plants from photooxidation. *Nature* 384: 557-560.
- Makoto, K., Choi, DS, Hashidoko Y, Koike, T. 2011. The growth of *Larix gmelinii* seedlings as affected by charcoal produced at two different temperatures. *Biology and Fertility of Soils* :47: 467-472.
- McNear, Jr. D.H. 2013. The Rhizosphere - Roots, Soil and Everything In Between. *Nature Education Knowledge* 4(3):1, (<https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/the-rhizosphere-roots-soil-and-67500617/>)
- Wang, X.N., Agathokleous, E., Qu, L.Y., Watanabe, M., Koike, T. 2016. Effects of CO₂ and/or O₃ on the interaction between root of woody plants and ectomycorrhizae. *Journal of Agriculture Meteorology* 72: 95-105.
- 山内章. 2016. 作物根系の構造およびその可塑性の機能的意義. 日本作物学会講演会要旨集 第241回日本作物学会講演会. 272-275.
- Yamauchi, A., Pardales Jr, J. R., Kono, Y. 1996. Root system structure and its relation to stress tolerance. In: Ito, O., Johansen, C., Adu-Gyamfi, J.J., Katayama, K., Kumar Rao, J.V.D.K., Rego, T.Tj. Eds. *Dynamic of roots and nitrogen in cropping systems of the semi-arid tropics*. Tsukuba (Japan): Japan International Research Center for Agricultural Sciences. pp. 211-233.

グループディスカッション報告「7. 形態形成」

仁木輝夫・菱拓雄*

九州大学

形態形成のグループ討議の参加人数は10名ほど、グループリーダーは仁木と菱が務めた。議論は、主に各研究者にとって役に立つ研究ツールの獲得と情報の共有について話し合われた。仁木のほうからは、主にミクロ形態観察の新手法の紹介があった。プラスチック樹脂による薄切片法を用いることで、よりミクロスケールにおける詳細な組織観察が可能であることが示され、形態形成研究の発展に新たな技術開発が重要であることを示した。

菱の方からは、データの共有や集約について話をした。近年、様々な生物分野で、世界的なデータベースを構築し、これを共有する動きがある。根研究学会は根の専門集団であり、農学、林学など背景は様々であっても、根に関するデータ蓄積を独自に行うことができる。様々な目的を持って集まる根研究学会では、みなが共通の目的に向かって研究する、というよりも、目的はともかく、我々全員が得た研究データをデータベースに

集約し、将来の研究に資する形作りが重要であること、また、こうした公共知につながる情報の集約は、学会やその分科会などが主導し、それまでの会員の活動を無駄にせず、未来に活用する必要性について説明した。

会場からは習得の経験談や研究における重要性について、仁木のほか、主に技術開発を主目的としている会員から手法開発の具体的な経緯などについて説明があった。また、50年という長期目標を考えるには、できることがなにか、という技術的問題よりも、何が知りたいのかを考えたほうが良いという意見も出された。一方で、データベース作成に関しては、方法の標準化の検討が必要であるという意見が出された。また、形態の研究に限らず、学会の分科会で方法論のレクチャーなどを行ってほしいなどの意見があった。残念ながら時間の関係で意見の集約にはつながらなかったが、今後取り組んでいく問題についていくらかの問題意識の共有がなされたと思われる。

* 連絡先 〒 819-0395 福岡県西区元岡 744
Tel: 000-000-0000 E-mail: takuohishi@gmail.com

グループディスカッション報告「8. 収量 / 生産性 / 成分」

辻博之^{*1)}・関谷信人²⁾

1) 農研機構・北海道農業研究センター

2) 三重大学

グループディスカッションの内容

テーマ8のグループディスカッション参加者は5名であった。ディスカッションに先立ち、参加者それぞれの対象作物、興味の対象(研究テーマ)、根研究の対象等を紹介してもらい、それらを基に本テーマの「収量/生産性/成分」の研究において、今後の根の研究をどのように進めるべきかを議論した(図1)。

参加者の対象作物は、水稻や畑作物・薬用植物など多様であり、研究テーマも多様であった。根研究の対象としては従来からの根系定量や養分吸収が多かったが、地上部を介した根の養水分吸収制御として、地上部にあてる光の波長に注目した研究テーマなども紹介された(図2)。



図1 ディスカッションの様子。

「次の50回」への期待

以上のように、参加者の興味の対象や根の研究テーマは多様であるが、「根系や根圏の制御をいかにして行うか」、「制御のために根圏にいかなる働きかけをすべきか」を、参加者の共通テーマとしてあげることができた。

近年の研究資金獲得では、成果の社会実装が求められる事が多く、根の研究の成果の出口の一つは、根を介した作物制御を実現することにあると考えられる。これまでの50回の根研究集会は、様々な対象を様々な方法で研究する者が「根」という共通点で集まり、成果をもちよる「場」を作り出してきた。「次の50回」では、その「場」を活用し、共同研究等を活性化し、成果の創出や社会実装実現の起点となることが求められると考える。今回のディスカッションは有意義なものであったが、今後も切り口を変えたディスカッションを定期的に行うことが、研究集会を活性化させることに有効なのではないだろうか。

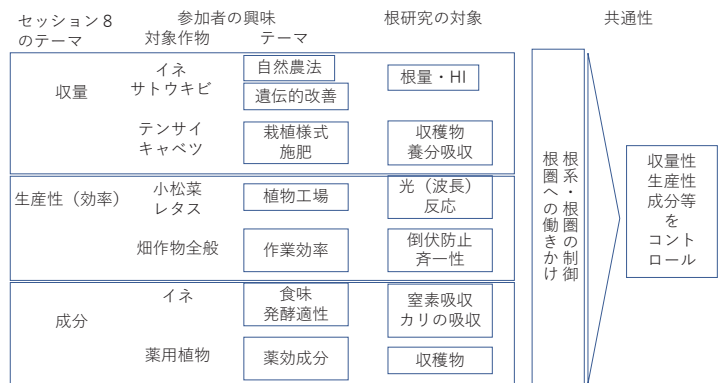


図2 セッション8のディスカッションの要約。

* 連絡先 〒082-0081 北海道河西郡芽室町新生南9-4
Tel: 0155-62-9284 E-mail: tuzihiro@affrc.go.jp

第 50 回記念根研究集会に参加して

茂木京菜

酪農学園大学 農食環境学類 環境共生学類 4 年

2019 年 11 月 23, 24 日に名古屋大学において開催された、第 50 回記念根研究集会に参加し、「埋没腐植土層を含む火山灰堆積土壌における樹木根の分布と特性」という研究題目でポスター発表をさせていただきました。発表では多くの先生や学生の皆様からの意見に触れることができました。頂いた意見の中でも根の硬さと土壌密度との関係や、細根と粗根の関係については着目していなかったため、これからの研究活動に取り入れていきたいと思っています。2 日目のグループディスカッションでは「3. 物質循環」のグループに参加しました。そこでは現在研究を行っている中で直面した困難についての解決策を議論し、これからの 50 回に活かすという流れで話しましたが、立場の異なる人が議論する中で解決策が生まれる過程を体験し、大変充実した時間を過ごすことができましたと感じています。

最後に学会発表は本大会が初めての参加でしたが、プログラムを通して受賞講演や、各種 50 回記念イベント、懇親会やディスカッションの場を用意して頂き、多くの先生や学生の皆様とお話することができました。これから根の研究を進めるにあたり研究者の皆様と繋がる大きなきっかけになったと感じています。このような機会を提供して下さった根研究会の関係者の方々にお礼を申し上げます。ありがとうございました。

吉野ひなき

酪農学園大学 農食環境学類 循環農学類 4 年

第 50 回記念根研究集会に参加し、「サラダスピナーを用いた水稻根系の新鮮重測定法の効率性の検証」と

いう研究題目でポスター発表をしました。この研究では、水稻根の新鮮重を、サラダスピナーを活用して定量的に評価し、それによって栽培試験における水分制御誤差を抑える方法について考察しました。ポスター発表を通じて、研究結果を人に伝える難しさを痛感したことや、研究に対する厳しい意見もいただきました。自身の研究モチベーション向上につながりました。今後はそういった意見・質問にも適切に応えられるように卒業研究を進めていきたいと思っています。

グループディスカッションでは「5-1. 環境応答/ストレス」グループに参加しました。ディスカッションでは特に、ストレスのかけ方やその制御について話し合わせ、ストレスの種類が異なっても課題とするところは同じであると実感しました。

参加者の方々との交流面では、私は来年度から就農を予定していますので、参加者の方々から営農に生かせるような話を聞くことができたことや、年の近い他大学の学生同士で研究の話ができたことが大変刺激になりました。最後になりますが、根研究会を企画・運営して下さった関係者の方々にお礼申し上げます。ありがとうございました。

船越太貴

酪農学園大学 農食環境学類 循環農学類 4 年

私にとって、第 50 回記念根研究集会は初めての学会参加でした。最初は正直不安な気持ちが大きかったのですが、参加者同士のディスカッションや、様々な分野における根の知識にふれることで根の研究の最前線を垣間見ることができ、大変充実した 2 日間となりました。

「50 回記念イベント Part I: これまでの 50 回を振り返って」では、根研究会でこれまでに様々な書籍が



写真1 ポスター発表の様子 (茂木)



写真2 酪農学園大学からの参加記念写真。

刊行されてきたことを知り、中でも『根っこのえほん』（中野 明正さん）に対して大変感銘を受けました。本学会終了後、実際に絵本を拝見しましたが、段階を追って説明がなされていてより具体的に根の形態を理解することができました。絵本という形でよりフラットに小さい根の形態について触れることが、若い年齢層の方々が作物について勉強し始めるための大きなきっかけづくりになるだろうと強く感じました。

ポスター発表会では、様々な分野における根の問題点に触れ自身の知見を広めることができました。私は現在、イネの塩ストレスに関する卒業研究に取り組んでいます。塩ストレスに関する研究に取り組む研究者や学生のみなさんと、実際にお会いして直接ディスカッションをするのは今回が初めてでした。卒業研究に関する知見が多く得られ、大変有意義で貴重な時間となりました。

グループディスカッションにおいては、「5-1. 環境応

答/ストレス」のグループに参加し、ディスカッションでは各参加者が取り組む研究の悩みや課題点が挙げられました。試験対象の作物種が異なっても問題として定義されることは共通することに驚くとともに、現場での生産性を考慮した上での研究は大変有益で、その需要も大きいということに改めて気づかされました。

様々なことが自身にとって初めてでしたが、本会の催し、ポスター発表、グループディスカッションを通じて、自らアクションを起こしコミュニケーションを積極的に行う重要性を実感しました。「交流することが学びにつながる」という言葉がまさに当てはまり、これから様々な場においても、意見交換など交流の場を大切にしていこうと思いました。

最後になりますが、根研究学会を企画・運営して下さった関係者の方々にお礼申し上げます。ありがとうございました。

第 50 回記念根研究集会に参加して

舩谷悠祐

岩手大学大学院連合農学研究科

第 50 回記念根研究集会が、2019 年 11 月 23・24 日に名古屋大学豊田講堂を会場に行われた。筆者は残念ながら最後まで参加することが叶わなかったが、記念すべき 50 回目の根研究集会の様子を報告したい。

23 日午後は総会の中の、学会賞の授賞式・受賞講演から研究会が始まり、学術功労賞が森田茂紀先生（東京農業大学）、学術賞が福澤加里部先生（北海道大学）と遠藤いず貴博士（兵庫県立大学）に、そのほか 5 件の論文賞が授賞された。森田先生からは参加者全員に、根研究会内外で根の調査のバイブルとなっている「根系の●●を「見る」」シリーズ（根の研究 22,24 巻掲載）などを冊子にした『エリアンサス・ネピアグラスの根フィールド根系を見る—形態・形成・構造・機能—』をいただいた。座右に置いて活用したい。

続いて 50 回記念イベントに突入し、創立の経緯やこれまでの活動について、森田先生、阿部淳先生（東海大学）、小柳敦史先生（農研機構 九州沖縄農業研究セ

ンター）をはじめ重責を担ってこられた先生方からお話をいただいた。先達の先生方が陽に陰に活動を続けられた結果、作物・樹木という枠組みを超えて交流・情報交換ができる今の根研究学会があるということがわかった。会場の参加者からも質問やコメントをする時間が設けられ、Root Research 誌に投稿・掲載経験がある河合翼氏（名古屋大学）が、査読を担当された編集委員の先生方と一緒に論文をブラッシュアップした経験の話され、若手研究者を育てる気風に満ちた学会であることを改めて感じた。また、「苅住」海外渡航支援を通して若手研究者の育成に大きく貢献された苅住昇先生からビデオメッセージをお寄せいただき、参加者一同大いに励まされた。

懇親会は学内の「レストラン花の木」で行われ、味噌カツ・きしめん・手羽先など「名古屋メシ」を肴に、参加者から持ち寄られた各地の銘酒を堪能しながら親睦を深めた。最後に、『下を向いて測ろう』（「上を向い



写真1 記念イベントの様子。



写真2 「根研究者応援歌」の熱唱。



写真3 グループディスカッションの様子。



写真4 集合写真。

て歩こう」の替え歌、村上敏文先生作詞)を、服部林太郎氏のリードで合唱しお開きとなった。この歌は根研究会創立20周年記念シンポジウムの懇親会でも歌われたという由緒ある曲とのことである。著作権上の問題で歌詞をここに記せないのが本当に残念であるが、すべての「根研究者の応援歌」と思う。筆者は最近、根洗いをしながらこの歌を歌っている。懇親会の後も、三々五々遅くまで二次会・三次会が行われたようである。

翌24日は9時からポスター発表が始まり、早い時間帯にもかかわらず多くの参加者が集まった。今回の研究発表はポスター発表のみで63題もの発表が行われた。終了予定時刻の11時を過ぎても各ポスターの前で

は熱心な質疑が繰り広げられた。筆者はやむを得ずポスター発表後に会場を後にしたが、8つのテーマごとのグループディスカッションや、昼食パーティー、「これからの50回を考える」と題した総合討論の時間がもたれ、同様に熱い議論が繰り広げられたようである。

なお、本集会をもって犬飼義明先生(名古屋大学農学国際教育研究センター)から平野恭弘先生(名古屋大学大学院環境学研究科)へ会長の引継ぎが行われた。記念すべき第50回根研究集会を運営された山内章先生はじめ実行委員会の先生方に深く御礼申し上げる。次回は2020年春に信州大学で行われるとのこと、参加・発表して会員の皆様と議論することを楽しみにしている。

菜根譚 野菜の根の話 (連載)

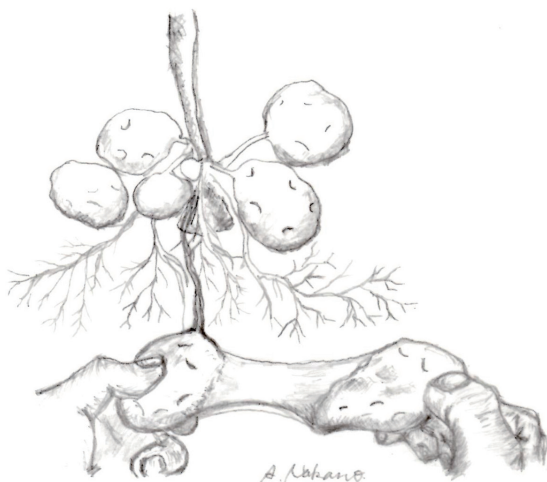
中野明正

農林水産省 農林水産技術会議事務局

7. ねばるジャガイモ

最近、ゲノム編集でジャガイモがモチ性にできる可能性が出てきた。まさに2020年は血圧を下げることで知られるGABA(γ-アミノ酪酸)を通常のトマトの数倍含有するゲノム編集トマトが上市された元年にもなり、ゲノム編集に社会の注目が集まっている。そして、ゲノム編集技術自体、今年もノーベル賞の最有力候補のひとつであろう。

遡ること40年、1980年頃は「第一次バイオテクノロジーブーム」であった。ジャガイモ(ポテト)とトマトを細胞融合し雑種「ポマト」が作出された。植物細胞壁を酵素で溶解したプロトプラストをポリエチレングリ



コールで処理するとプロトプラスト同士が融合する。この技術により本来自然交雑できない異種間の雑種を作ることになった。ポマトは暖地性のトマトにジャガイモの耐寒性を持たせる目的で開発されたが、実際完成した植物はトマトとしてもジャガイモとしても不完全で生産現場では役に立たない失敗作として評価された。一時、未来の植物と注目されたポマトは消えていった。しかし、まさに時代背景として「植物バイオテクノロジー」黎明期であった。私も高校時代にこのような記事に触れ、食料問題の解決を志し農芸化学を専攻しようと思ったひとりである。

モチ性のジャガイモに話を戻す。ゲノム編集技術により、粘り気を高めるでんぷん含量を高めた。でんぷんにはアミロースとアミロペクチンの2種類があり、アミロペクチン含量が高いほど、モチモチして粘る食感になる。ジャガイモ品種「さやか」はでんぷんの約8割がアミロペクチンであるが、それを9割に高めると粘り気が出る。ゲノム編集技術でアミロースを合成する酵素の遺伝子の機能だけを抑制する変異体が創られ、アミロースの比率が1~2割低下する個体が得られた。ジャガイモは1個体の中に同じ遺伝子を4組持つので自然発生に依存する交配育種では難しかった。ゲノム編集技術で初めて可能となった成果である。

一方で、科学技術の成果であるゲノム編集農産物が社会に受け入れられるか否かは、生産、流通、消費等様々なステークホルダーの相互作用の総合的な結果である。粘り強い取り組みが必要だろう。

第51回根研究集会のお知らせ 51th Biannual Meeting of JSRR

第51回根研究集会を2020年5月30日(土)～31日(日)に、信州大学松本キャンパス(長野県松本市)を会場にして開催します。「根研究学会」の会員以外の方も発表・聴講可能です。研究集会の長野県での開催は初めてとなります。季節的にも良い時期ですので研究集会の前後は是非、松本市内・長野県内の観光地にも足を運んで頂ければと思っております。皆さまお誘い合わせの上、ふるってご参加ください。お待ちしております。

<日時> 2020年5月30日(土) 12:50～5月31日(日) 12:20
May 30th, 2020 (Sat.) 12:50～May 31th, 2020 (Sun.) 12:20

<会場> 信州大学理学部(松本キャンパス) 〒390-8621 長野県松本市旭3-1-1
Faculty of Science, Shinshu University, 3-1-1 Asahi, Matsumoto, Nagano, 390-8621, Japan
交通アクセスと案内図 Access
https://www.shinshu-u.ac.jp/access/matsumoto/#accesscont_traffic

<プログラム概要(予定)> Program (tentative)

5月30日(土)

11:30-12:50 受付 Registration ポスター掲示 Posters display
12:50-13:00 開会の挨拶 Opening remarks
13:00-15:00 口頭発表(学生会員) Oral session (Student member)
15:00-15:30 写真撮影と休憩 Group-photo & Break
15:30-17:30 ポスター発表 Poster session

※新型コロナウイルス感染症が拡大している状況を受け、参加者及び関係者の健康・安全面を第一に考え、誠に残念ではありますが、懇親会は自粛いたします。

5月31日(日)

9:00-10:45 口頭発表(一般会員) Oral session (Regular member)
10:45-11:00 休憩 Break
11:00-11:10 表彰式 Awards ceremony
11:10-12:10 総会 General meeting
12:10-12:20 閉会の挨拶 Closing

【詳細は、根研究学会 HP (<http://www.jsrr.jp>) に掲載します】

Updated information will appear in <http://www.jsrr.jp>

<参加費> Registration fee (当日お支払い下さい)

一般会員 General members	3000円 ¥3000
一般非会員 General non-members	4000円 ¥4000
学生会員 Student members	無料 Free
学生非会員 Student non-members	4000円 ¥4000

※学生の会員は参加費無料ですが、集会受付で学生証の提示をお願いいたします。

<参加・研究発表の申し込み> Registration

* 各種締め切り日

- ・ 参加・発表申込：2020年4月23日（木）Registration for presentation: by April 23th (Thur.), 2020.
- ・ 講演要旨：2020年5月14日（木）Abstract by May 14th (Thur.), 2020

参加申し込み

参加・研究発表のお申し込みは **Google フォーム** より必要事項を入力して送信ください。

Please write in the registration form by **Google Form**.

参加申し込みをする方は、下記 URL にアクセスください。Access the below URL.

<https://forms.gle/mcRbGZPWa5p8dxMs5>

飛び入り参加（発表無し）も可能ですが、できれば4月23日（木）までに申し込みをお願いします。

It is recommended to submit the registration form by April 23h (Thur.), 2020.

発表形式 Type of presentation

口頭発表（発表12分＋質疑8分（学生）or3分（一般）、予定）またはポスター発表から選択

Oral presentation (12 min + 8 or 3 min discussion) or Poster presentation

講演要旨の提出 Abstract submission

* 講演要旨提出の締め切り：2020年5月14日（木） Submit by May 14th (Thur.), 2020

MS-Word で作成した講演要旨原稿を電子メールの添付ファイルで送ってください。メールの表題は「要旨原稿」としてください。電子メール送り先：macky@shinshu-u.ac.jp

Send the abstract as MS-Word file to macky@shinshu-u.ac.jp

<講演要旨の書き方> (A4半ページ) Style of abstract

* 根研究学会ホームページから要旨様式をダウンロードできます (http://www.jsrr.jp/abstract_form.doc).

1. A4版1ページに、上3.5cm 下16.0cm 左右2.5cm ずつの余白を取る。(A4半ページになる)
One page of A4 size paper with margins (top: 3.5 cm, bottom: 16.0 cm, right and left 2.5 cm for each).
2. 冒頭にタイトル・講演者名・所属・連絡先（電子メールアドレス）を記載した後、1行あけて本文を書く。Type the title, author(s), affiliation, email address and then abstract sentences.
3. タイトル：ゴシック系あるいは明朝系の太字・10ポイント・センタリング（中央寄せ）。
Use 10-point Gothic (Helvetica, Arial) or Bold Times font with centering for the title.
4. 講演者名・所属・連絡先：明朝系・10ポイント・センタリング。連絡先は括弧に入れる。
Use 10-point Times font (e.g., MS Times New Roman) 10 point, centering for the name(s) of author(s), affiliation and corresponding email.
5. 本文：明朝系・9ポイントを目安にする。
Insert a break line under the affiliation, and then type the abstract sentences with 9-point Times font.

<講演要旨提出、問い合わせ先> Contact

第51回根研究集会実行委員会 Local organizing committee

牧田直樹（信州大学理学部）〒390-8621 長野県松本市旭3-1-1

Naoki MAKITA (Shinshu University) 3-1-1 Asahi, Matsumoto, Nagano, 390-8621, JAPAN

E-mail macky@shinshu-u.ac.jp

【カレンダー】

植物・土壌・環境など、根に関わりのある学術集会の情報をお寄せ下さい(E-mail : neken2020@jsrr.jp)
国内・海外, 規模の大小を問いません. 2月, 5月, 8月, 11月の月末までに情報をお寄せ頂くと, その翌月に発行の会誌に掲載できます.

*各会議の正確な情報はご自身でご確認下さい. 国際会議では, 開催日や申込締切日に変更されることはよくあります. 申し込み・問い合わせは, 直接主催者までコンタクトして下さい.

*国際会議では, 要旨登録の締切日はしばしば延長されます. 下記のカレンダーで締切を過ぎていても, ホームページで確認するか, 主催者に問い合わせを試みることをお勧めします.

*海外での会議の日本語名称は, 根研究学会事務局で便宜的に意識したものです.

2021年

第51回根研究集会 *New!*

51th JSRR Biannual Meeting

2020年5月30日(土)-31日(日)

信州大学理学部 (松本キャンパス)

May 30-31, 2020; Matsumoto, Nagano, Japan

<http://www.jsrr.jp/>

発表申込締切4/23 要旨締切5/14

詳しくは会誌「根の研究」や根研ホームページの案内をご覧ください

第11回世界ダイズ研究会議 9月

World Soybean Research Conference 11

September 6-11, 2020; Novi Sad, Serbia

<https://wsr11.com/>

要旨締切 7/1

第8回根の構造と機能 9月 *New!*

国際シンポジウム

8th International Symposium on Structure and Function of Roots (ISSFR 2020).

September 6-10, 2020 (変更の可能性有り); Slovakia

Prof. A. Lux (luxalexander@hotmail.com)

植物と菌の生態学と進化論 6月

45th New Phytologist Symposium: Ecological and evolutionary consequences of plant-fungal invasions

June 20-22, 2020; Campinas-SP, Brazil

<https://www.newphytologist.org/symposia/45>

アジア植物病理学会議 9月

Asian Conference on Plant Pathology

September 15-18, 2020; 筑波

<https://acpp2020.org/>

第8回世界作物学会議 6月

8th International Crop Science Congress

June 21-25, 2020; Saskatoon, Saskatchewan, Canada

<https://www.icsc2020.com/>

要旨締切 口頭4/15 ポスター5/15

第52回根研究集会 *New!*

52th JSRR Biannual Meeting

2020年11月21日(土)-22日(日)

(変更の可能性有り)

東海大学農学部 (熊本キャンパス)

第26回植物再生産会議 6月

26th ICSPR Plant Reproduction 2020

International Conference on Sexual Plant Reproduction

June 22-26, 2020; Prague, Czech Republic

<https://www.iaspr.org/index.php?browse=news&nid=52>

2021年

第11回国際根研究学会シンポジウム

11th Symposium of the International Society of Root Research (ISRR)

May 24 - 28, 2021; Columbia, Missouri, US

<http://isrr11.org/>

気孔2020

6月

46th New Phytologist Symposium: Stomata 2020

September 11-14, 2020; Kaifeng, China

<https://www.newphytologist.org/symposia/46>第10回アジア作物学会議 8月-9月 *New!*

10th Asian Crop Science Association Conference (ACSAC 10)

August 31-September 3, 2020; Nagoya, Japan

<http://acsac10.org/> 要旨締切3/31

公 示

名簿データ登録（更新）のお願い

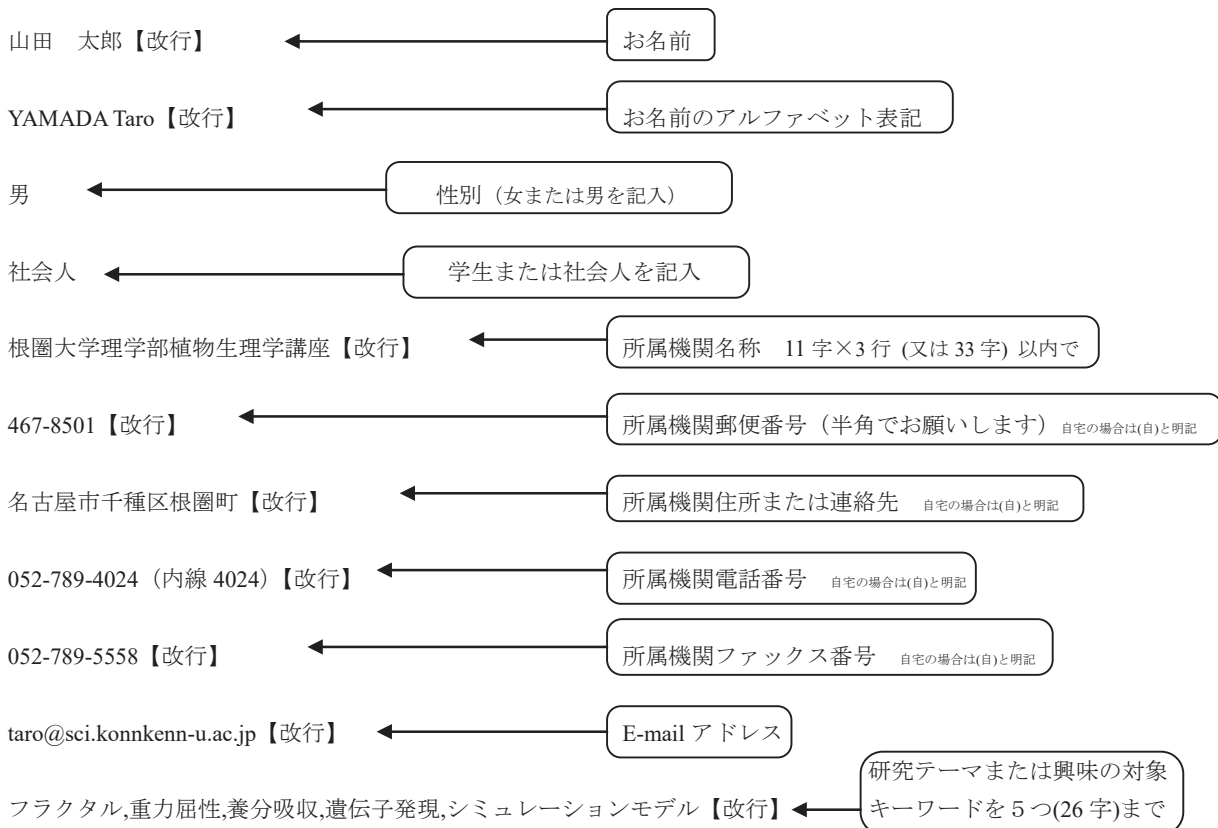
根研究学会では、会員の皆様にデータ登録をお願いしております。これは、会誌発送を確実にするとともに、会員相互の交流を目的とするものです。特に異動などで変更が生じた方は、お手数ですが以下の要領でデータ更新をお願いいたします。この名簿データをもとにして、隔年で会員名簿を会員の皆様にお届けいたします。以下の様式をご利用いただき、ご登録にご協力いただきますようお願いいたします。

発送手段は、E-mail、FAX、郵送いづれでも結構です。なお、E-mailでの登録は、標題 (subject) を“根研名簿”として下さい。 また FAX、郵送の場合には、裏面の様式をコピーして郵送あるいは FAX にてお送り下さい。根研究学会ホームページの入会・登録変更フォーム・退会フォームのサイトからも簡単に手続きできるようになりました。

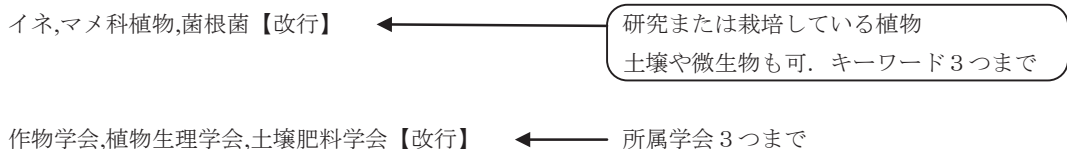
E-mailでの送信は以下の例の手順でお願いします。

注意としては、数字、ローマ字、コンマは半角でお願いします。なお、全ての項目を記入する必要はありませんが無記入の項目に対しては【改行】のみ入力して下さい。

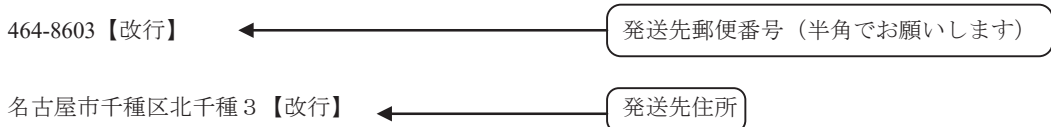
送付先：neken2020@jsrr.jp 題名(Subject)を「根研名簿」として下さい。



注) コンマ (半角) の後ろにはスペースを入れないで下さい (以下同様)。



会誌の郵送先が上記の住所と異なる場合のみ以下の項目を続けて下さい。



以上の入力終了しますと、モニター上は次のような状態になっています。

山田 太郎
YAMADA Taro

男

社会人

根圏大学理学部植物生理学講座

467-8501

名古屋市千種区根圏町

052-789-4024 (内線 4024)

052-789-5558

taro@sci.konnkenn-u.ac.jp

フラクタル,重力屈性,養分吸収,遺伝子発現,シミュレーションモデル

イネ,マメ科植物,菌根菌

作物学会,植物生理学会,土壤肥料学会

464-8603

名古屋市千種区北千種3

会誌の送付先が所属機関と異なる方のみ

=====**郵送・FAX用フォーム**=====

送り先：〒104-0033 東京都中央区新川 2-22-4 新共立ビル 2F (株) 共立内 根研究学会事務局

FAX：03-3553-2047

フリガナ
ご氏名：_____

氏名のアルファベット表記：_____

所属機関名称：_____

所属機関住所：(〒□□□□-□□□□) _____

(または連絡先) _____

TEL _____ (内線 _____) FAX _____

E-mail アドレス _____

主な研究テーマまたは興味の対象に関するキーワード (伸長, 重力屈性, 組織形成, 養分吸収, ストレス耐性, 遺伝子発現, 根系調査法, ミニライゾトロンなど.)

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

研究または栽培している植物のキーワード (イネ科作物, マメ科作物, 林木, 果樹, チャ, トウモロコシ, ダイズ, アラビドプシスなど. 土壌や微生物でも可.)

(1)

(2)

(3)

所属の学会等：_____

会報送り先 (上記住所と異なる場合)

：(〒□□□□-□□□□) _____

公 示

根研究学会会則

(2015年9月総則改定・2020年1月附則改定)

総 則

第1条 本会は、根研究学会（英語名称は Japanese Society for Root Research, JSRR）と称する。本会は、1992年1月1日に根研究会として設立され、2013年1月1日より根研究学会と改称する。

第2条 本会は、植物の根（その他の地下器官を含む、以下同様）およびこれを取り巻く環境に関する学術を進展させるとともに、同学の士の親睦を深めることを目的とする。

第3条 本会は、第2条で規定した目的を達成するために、つぎの事業を行なう。

1. 研究集会・シンポジウムその他の会合の開催
2. 会誌「根の研究」及び国際誌「Plant Root」の刊行
3. 根研究学会賞の授与
4. 「名誉フェロー」称号の授与
5. 国際交流の推進
6. その他、本会の目的を達成するために必要な事業

第4条 本会の所在地は、事務局の所在地とし、附則においてこれを定める。

会員

第5条 本会の会員は、個人会員および団体会員とする。個人会員は本会の趣旨に賛同して入会した個人、団体会員は同じく本会の趣旨に賛同して入会した団体または機関とする。

第6条 本会に入会しようとする場合は、氏名、所属、連絡先、その他の必要事項を明記した文書に、会費を添えて本会に申し込むものとする。また、本会を退会しようとする場合は、その旨を文書で本会に連絡しなければならない。ここでいう文書は電子媒体も認める。

第7条 会員は、下記の年会費を前納しなければならない。2016年度以降の年会費は、1. 電子版会誌のみ購読の個人会員 3,000円、2. 電子版と冊子版会誌購読の個人会員 4,000円、3. 冊子版会誌のみ購読の団体会員 9,000円。ただし、1月をもって年度の始まりとする。長期に渡り会費を滞納した場合は、退会扱いにすることがある。

役員

第8条 本会に、つぎの役員をおく。会長1名、副会長2名、監査1名、評議員数十名、正副事務局長各1名。評議員数は、個人会員数の5%~10%を目安とする。

第9条 会長は、その他の役員と協議しながら会務を統括し、本会を代表する。副会長は会長を補佐し、会長に事故あるときや長期に渡り不在となる場合に、その代理を務める。監査は、会務を監査する。評議員は、重要な会務を審議し、執行する。

第10条 会長は個人会員の中から選出する。選出方法は別にこれを定める。副会長、監査、評議員および正副事務局長は、個人会員の中から会長が委嘱する。

第11条 役員は任期は、2年とする。任期途中で役員が交代があった場合、後任者の任期は前任者の残余の任期とする。会長、副会長、監査の各役職は連続して5年以上は重任できない。

委員会

第12条 第3条で規定した事業を遂行するために、重要な事業については、それぞれ委員（および委員長）をおく。委員（および委員長）は、会長が委嘱する。

会則の施行と改定

第13条 本会の会則は、1992年1月1日より施行され、2015年10月1日より現行の改定版の会則が適用される。

第14条 会則の改定は、本会の総会において審議し、出席者の過半数の賛成をもって行うことができる。

以上

附則

会の所在地

第1条 会の所在地は2014年1月より「東京都中央区新川2-22-4 新共立ビル2F (株)共立内 根研究学会事務局」とする。

会長および事務局長

第2条 2020年度・2021年度の会長と事務局長は以下のとおりである。

会長：平野 恭弘（ひらの やすひろ）

勤務先：名古屋大学 大学院環境学研究科

自宅住所：〇〇〇〇

事務局長：島村 聡（しまむら さとし）

勤務先：国立研究開発法人 農研機構東北農業研究センター

自宅住所：△△△△

以上

[自宅住所は個人情報保護のため略記してあります]

根研究学会学術賞規定

1. 本会は、会則第3条に基づき、本規定を定める。
2. 本会は、植物の根（その他の地下器官を含む、以下同様）およびこれを取り巻く環境に関する学術の発展に寄与したのに対して根研究学会賞を贈り、これを表彰する。
3. 根研究学会賞としては、根研究学会学術功労賞、根研究学会学術奨励賞、根研究学会学術論文賞、根研究学会学術特別賞、および根研究学会優秀発表賞をおく。根研究学会学術功労賞および根研究学会学術奨励賞は、植物の根およびこれを取り巻く環境に関する学術の発展に寄与した根研究学会会員の研究を対象とする（すでに原著論文として発表されたもので、少なくともその一部が、根研究学会の研究集会・シンポジウムなどの会合、あるいは会誌などで会員で紹介されていること）。根研究学会学術論文賞は、植物の根およびこれを取り巻く環境に関する学術に寄与した根研究学会会員により「根の研究」または「Plant Root」に公表された論文を対象とする。なお発表形態（例えば、原著論文であるか総説であるか）を問わない。根研究学会学術特別賞は、植物の根およびこれを取り巻く環境に関する学術の発展に寄与した業績を対象とする。会員であるかどうか、また、業績の形態（例えば、出版物かどうか）を問わない。根研究学会優秀発表賞は、根研究学会の研究集会における優秀な口頭発表ならびにポスター発表を対象とする。
4. 根研究学会学術論文賞および根研究学会優秀発表賞を除く各根研究学会賞はいずれも会員もしくは関連分野の研究者などから推薦のあった対象について、根研究学会学術論文賞は「根の研究」または「Plant Root」の編集委員から推薦のあった対象について、いずれも評議員が審議し、その結果を踏まえて、会長および副会長が協議して決定を行なう。ただし、会長および副会長は、根研究学会学術論文賞および根研究学会優秀発表賞を除き、任期中に推薦すること、あるいは推薦されることができない。根研究学会優秀発表賞は研究集会内で決定を行なう。

以上

各賞の業績や候補者年齢などの目安については、会誌『根の研究』第20巻1号を参照するか、事務局にお問い合わせ下さい。

各賞の英語名称は以下の通りです。

根研究学会賞：Academic Awards of Japanese Society for Root Research

学術功労賞：The JSRR Award for Excellent Achievement in Root Research

学術特別賞：The JSRR Special Prize for Applied Root Research

学術論文賞：The JSRR Excellent Paper Prize

学術奨励賞：The JSRR Young Investigator Award

優秀発表賞：The JSRR Excellent Presentation Award

『根の研究』 投稿規定

(2019年3月改定)

1. 本誌は根に関する「原著論文」や「短報」のほか、新しい実験・調査技術を紹介する「技術ノート」、ご自身の研究を中心に紹介する「ミニレビュー」、特定のテーマに関する「総説」、学生等初心者を対象とした実験手法の開発・工夫を紹介する「教育」、学会・シンポジウムなどの「報告」、「文献紹介」、「研究室紹介」、「会員の研究紹介」、「オピニオン」などの原稿を募集しています。これまでに掲載されていないジャンルについても検討しますのでご提案下さい。
2. 原著論文、短報、総説、技術ノートについては、査読者による審査に基づいて、採用・不採用を編集委員長が決定します。
3. 原稿は原稿作成要領に従ってワープロ等で作成し、編集委員長宛にお送り下さい。可能な限り、E-mailの添付ファイルまたはデータディスクとしての送付をお願いします。詳しくは編集委員長までお問い合わせください。なお、お送り頂いた原稿などはお返し致しません。特に返却が必要な場合は原稿送付時に明記しておいて下さい。
4. 著者名は本名を原則としますが、ペンネームや匿名での投稿を希望される場合も、編集委員長からは連絡がとれるよう、原稿送付時にお名前と連絡先をお知らせ下さい。
5. 採用決定後は、できるだけ早い号に掲載します。原則として毎年3月・6月・9月・12月の4回発行で、それぞれの前月下旬に掲載記事を最終決定します。
6. 著者に課せられる投稿料はありません。また、原稿料や謝礼金もありません。ただし、原稿作成・送付の過程で生じる著者側の経費については学会では負担しませんのでご了承下さい。図表は原則として著者自身で作成して下さい。やむを得ずトレースなどが必要な場合には、実費を負担して頂きます。図は、オンライン版のPDFはカラーが使えますが、印刷は原則として白黒です。印刷もカラーをご希望の場合には、カラー印刷の経費をご負担いただきます。別刷はpdf版を無料で進呈致します。紙印刷の別刷を希望される方には経費著者負担にて50部単位で作成します。採択後、必要部数をお知らせください。別刷1部の基本単価は1ページ25円×ページ数ですが、アート紙の使用やカラー印刷等の特殊な場合には、追加の実費を負担していただきます。
7. 原稿および編集に関する問い合わせは「根の研究」編集委員長宛とします。
8. 本誌に掲載された著作物・画像の著作権は根研究学会に帰属します。ただし、著者自身による再利用・再加工は自由に行えます。掲載された著作物・画像は、根研究学会により、電子ファイルやバックナンバー集などとして再発行・再配布されることがあります。また、論文の類については、JStageにも掲載されます。投稿後、本誌への掲載が決定した時点で、著者（共著者を含む）にこれらをご了解いただいたものとみなします。
9. 所属機関のリポジトリに登録された博士論文でも学会誌などに未掲載の内容については掲載可とします、ただし、以下の点に注意してください。
 - ・元原稿が存在する旨を付記してください（「本稿は、〇〇大学大学院〇〇研究科提出の修士論文あるいは博士論文の一部に、加筆修正を行った」など）。
 - ・博士論文そのままではなく、単独の論文として寄与しうるような必要な改変・修正を施してください。

<原稿送付先:2018-19年度>

〒010-0195

秋田市下新城中野字街道端西 241-438

秋田県立大学 作物生態学講座

「根の研究」編集委員長 小川敦史

電子メール: editor2020@jsrr.jp, Tel:018-872-1630

『根の研究』 原稿作成要領

(2017年3月改定)

1. 原稿の送付は、電子媒体によることを原則とし、送付に際しては、E-mail添付ファイルまたはデータディスクを送付してください。これらによる送付が困難な場合には、「根の研究」編集委員長にご相談ください。
2. データ作成に際しては完成誌面のような2段組にはせず、①テキスト（テキストはページと行が分かるように）、②図表、③図表の説明文、それぞれ別のファイルとして保存してください。また、これらのファイルの作成の際に使用したソフトの形式（使用ソフト名とバージョン）が分かるようにしてください。テキスト・表については作成形式、図・写真・イラストについてはJPEG・GIF等がわかるように、また、ファイル名に、投稿者名を記入してください。
3. 以下の要素で原稿を構成して下さい。原稿中の句読点は「，」，「。」を用いてください。「()」は半角とし、その外側がそれらや句読点のとき以外は半角のスペースを入れて下さい。℃と%は全角を用いてください。英数字には半角文字を用い、数値と単位の間には半角スペースを入れてください。ただし、℃と%については例外として、数値と単位の間には半角スペースは入れないでください。

(1) 表題

(2) 著者名・所属

(3) 要旨（原著論文・総説・ミニレビュー・技術ノート）日本語 600字以内、英語 250単語以内。原則として著者の責任で英文添削を受けたものを投稿して下さい。困難な場合には編集委員会にご相談下さい。その他のジャンルについて要旨の有無は任意とします。

(4) キーワード（原著論文・総説・ミニレビュー・技術ノート）：5つまでとし、和文は五十音順、英文はアルファベット順に記載してください。その他のジャンルについてキーワードの有無は任意とします。

(5) 本文：適宜小見出しをつけながら、読みやすいように作成して下さい。読者には様々な分野の方がいますので、専門用語には説明をつけるなどご配慮下さい。原著論文および短報については、緒言・材料と方法・結果・考察（あるいは結果と考察）・謝辞という体裁で作成して下さい。

(6) 引用文献（引用がある場合のみ）：本文中の引用箇所には（Tanaka and Yamada, 1986; Tanaka et al., 1986; 山田ら, 1990）といった表記で文献を指示し、本文の後に「引用文献」として以下のスタイルを参照して、筆頭著者名のアルファベット順に並べて下さい。

<雑誌>

森田茂紀, 萩沢芳和, 阿部 淳 1997. ファイトマーの数と大きさに着目したイネの根系形成の解析—ポット試験による根量の品種間差の解析例—. 日作紀 66: 195-201.

BeCARD, G., Douds, D.D., Pfeffer, P.E. 1992. Extensive in vitro hyphal growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in the presence of CO₂ and flavonols. Appl. Environ. Microbiol. 58: 821-825.

<単行本>

可知直毅 1996. 草本植物における最適な地上部/地下部比. 山内 章編 植物根系の理想型. 博友社, 東京, pp. 129-148.

Nobel, P.S. 1994. Root-soil responses to water pulses in dry environments. In Caldwell, M.M., Percy, R.W. eds., Exploitation of Environmental Heterogeneity by Plants. pp. 285-304.

(7) 図表：著作権・版権を侵害するような引用・複写をしないようご注意ください。他の研究者またはご自身の既発表論文をもとにご自身で作図した場合にも、図の説明文中に（Smith et al., 1992 より改変）などの但し書きを加えてください。図表以外でも、著作権者の承諾なしに他の文献から複写したものをそのまま掲載することはできませんのでご注意ください。また、図および図中の文字の大きさは、段組1段文または2段文の幅を考慮して作成してください（1ページ最大字数 2100字、21字/行×50行/段×2段）。

図は、オンライン版のPDFはカラーが使えますが、印刷は原則として白黒ですので、グラフなどは色の違いだけでなく濃淡の差で凡例の区別がつくようにご配慮下さい。印刷もカラーをご希望の場合には、カラー印刷の経費をご負担いただきます。

(8) 原稿の分量は、短報・報告・文献紹介・研究室紹介については刷り上がり2ページ以内を目安にし、その他は特に分量を指定しません。

(9) その他、詳細については、最新号をご参照ください。

『根の研究』
論文審査要領

(2000年3月新設)

1. 編集委員長は編集委員を委嘱します。
2. 編集委員長は投稿原稿の内容に対応する編集委員を選び、審査を依頼することがあります。
3. 編集委員長あるいは編集委員は校閲者2名を選び、投稿原稿の校閲を依頼します。
4. 校閲結果に基づき、編集委員は論文の採否を編集委員長に答申します。
5. 投稿原稿の最終的な採否は編集委員長が決定します。採択決定日を受理日とします。
6. 修正を求めた原稿が3ヶ月以内に再提出されない場合は取り下げたものとみなします。
7. 採択された論文の掲載順序や体裁は編集委員長が決定します。
8. 校正は著者が行います。校正に際しては原稿の改変を行ってはいけません。



国際誌 *Plant Root* に掲載の 2019 年の論文

Plant Root Editors in Chief

阿部淳, 塩野克宏, 関谷信人, 間野吉郎, 野口享太郎, 古川純

2019 年に *Plant Root* に掲載された論文の一覧です。今年も、多くの方からの投稿・寄稿で *Plant Root* を読み応えのある雑誌に高めて頂くよう、皆様のご協力をお願いします。総説も歓迎します。投稿・論文掲載は無料です。*Plant Root* の論文閲覧・投稿規定の確認などは、<http://www.plantroot.org/> をご覧頂き、投稿やお問い合わせは editor2020@plantroot.org までご連絡ください。また、投稿の際には *Plant Root* のトップページに「論文の本文」と「送り状」の雛形 (Manuscript sample (docx), Cover letter sample (docx)) のファイルをお使いください。

原著論文 2, 短報 2 (いずれも査読制)

Short Report

The relationship between individual root anatomy and fine root system development in blueberry seedlings: dominance of diarch roots in initial root systems

Takashi Baba, Satoshi Nakaba, Satoshi Noma, Ryo Funada, Takuya Ban

2019 Volume 13 Pages 1-8

<https://doi.org/10.3117/plantroot.13.1>

Original Research Article

Effect of strontium on the growth, ion balance, and suberin induction in *Solanum lycopersicum*

Takeshi Nagata

2019 Volume 13 Pages 9-14

<https://doi.org/10.3117/plantroot.13.9>

Original Research Article

Promotion of adventitious root formation in root-cut mung bean seedlings by a commercial alkaline hydrolysis product of soy oil and its ingredients, unsaturated long-chain fatty acids

Shigeru Satoh, Taira Okubo, Yoshihiro Nomura

2019 Volume 13 Pages 15-22

<https://doi.org/10.3117/plantroot.13.15>

Short Report

Effects of ratoon harvesting on the root systems of processing spinach

Takayuki Suzuki, Erika Kamada, Takanori Ishii

2019 Volume 13 Pages 23-28

<https://doi.org/10.3117/plantroot.13.23>

論文の審査状況について

2019 年に *Plant Root* に投稿された論文数は 18 報 (13 報が海外からの投稿) で、そのうち受理されたものが 3 報、審査中が 1 報です。編集委員や審査員の皆様には改めて感謝申し上げます。今後も査読や運営に関するご助言などご支援いただけますよう、よろしくお願いいたします。

Plant Root に投稿された論文は、編集委員と審査員によって accept・reject に拘わらず非常に丁寧に審査されています。この労力を多くの根研の会員の皆様の投稿論文に向けられれば良いと思っております。根研究集会で発表された成果など、会場で Editors in Chief や編集委員に声をかけていただければ投稿に向けた相談に乗りますので、是非 *Plant Root* にご投稿ください!

Plant Root ホームページ : <http://www.plantroot.org/index.htm>

J-Stage (*Plant Root*) : <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/plantroot/-char/en>

Root Research 根の研究

編集委員長	小川 敦史	秋田県立大学生物資源科学部
副編集委員長	中野 明正	農林水産省農林水産技術会議事務局
	福澤加里部	北海道大学北方生物圏フィールド科学センター
編集委員	岩崎 光徳	農研機構・果樹茶業研究部門
	宇賀 優作	農研機構・次世代作物開発研究センター
	亀岡 笑	酪農学園大学循環農学類
	唐澤 敏彦	農研機構・中央農業研究センター
	神山 拓也	宇都宮大学農学部
	辻 博之	農研機構・北海道農業研究センター
	仲田(狩野)麻奈	名古屋大学大学院生命農学研究科
	松波 麻耶	岩手大学農学部
	松村 篤	大阪府立大学大学院生命環境科学研究科
	南 基泰	中部大学応用生物学部
	森 茂太	山形大学農学部
	山崎 篤	農研機構・九州沖縄農業研究センター

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 : neken2020@jsrr.jp

根研究学会ホームページ <http://www.jsrr.jp/>

年会費 電子版個人 3,000 円, 冊子版 (+電子版) 個人 4,000 円, 冊子版団体 9,000 円

根の研究 第29巻 第1号 2020年3月15日印刷 2020年3月20日発行
発行人: 平野恭弘 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町
名古屋大学大学院環境学研究科
印刷所: 株式会社共立 〒104-0033 東京都中央区新川 2-22-4 新共立ビル 2F

The background of the page is a grayscale image of a root system, showing a dense network of roots of varying thicknesses and lengths, typical of a plant's root structure.

Root Research

Japanese Society for Root Research

Original Paper

Quick and inexpensive root and shoot evaluation methods using a scanner-based rhizotron system and ImageJ in soybean (*Glycine max*)

Shinsuke AGEHARA and Atsushi SANADA 5