

Root

Research

Japanese Society for Root Research

ISSN 0919-2182
Vol.31, No.1
March 2022

目 次

【巻 頭 言】

会員の皆様へ 1

【ミニレビュー】

林床にササが生育する冷温帯林における細根バイオマス，生産量および枯死量の時間変化
福澤加里部 7

【書籍紹介】

書評『森林保護学の基礎』小池孝良，中村誠宏，宮本敏澄 編，191 pp，農文協，東京，
2021，（本体 4200 円＋税，ISBN：978-4-540-12210-1）. 大橋瑞江 21

【情 報】

菜根譚 野菜の根の話 15. 宇宙から見た根 中野明正 23

第 55 回根研究集会のお知らせ 24

【報 告】

第 54 回根研究集会に参加して 栗原僚 26

第 54 回根研究集会プログラム 27

第 54 回根研究集会発表要旨 32

【公 示】

根研究学会会則 50

根研究学会学術賞規定 51

『根の研究』投稿規定 52

『根の研究』原稿作成要領 53

『根の研究』論文審査要領 54

国際誌 Plant Root に掲載の 2021 年の論文 55

根の研究
根研究学会(JSRR)

会員の皆様へ



告 示

○根研究学会 2022 年度総会の開催について

第 55 回根研究集会(中野明正実行委員長)の一部として、2022 年度の定例総会を開催します。皆様ご参加ください。

開催日:2022 年 6 月 4 日(土) (オンライン形式)

予定されている主な議題: 2021 年度活動報告・決算, 2022 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, その場でもご提案いただけますが, 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ください)。

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

2022 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ました。ご注意ください。なお, 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. 2022 年の根研究集会

- ・ 第55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・発表申込みは5月6日(金)が締切りです。

開催日時 2022年6月4日(土)9:00~20:10

oVice(オヴィス)”というバーチャル空間で, オンライン開催!

- ・ 第56回根研究集会

秋・冬の研究集会は福岡県福岡市の九州大学(伊都キャンパス)で現地開催する予定です(安彦友美実行委員長)。詳細が決まりましたら根の研究、メルマガ、HPなどで告知します!なお、集会は現地開催を予定していますが、新型コロナウイルス感染状況の悪化等により開催の見通しが立たない場合には、オンライン開催を検討します。

- ・2023年度の集会 開催地については募集中です。立候補ありましたら事務局長にお知らせください。

3. 学生会員の研究集会への参加費は無料です

学生会員の研究集会への参加費は無料です!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。この機会に是非、根研究学会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。

なお、一般会員の研究集会への参加費は有料です。また、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。

次ページに続く

4. 「苜住」国内研修支援の募集

- ・本支援は、根研究学会所属の若手会員（申請時の年齢が40歳以下）の国際的な活躍を支援するため、海外の学会等に参加して根に関する研究成果を公表したり調査に出向いたりするための渡航経費の一部を補助するものです。
- ・新型コロナウイルスの国際的な感染状況を考え、今回は会員間の横のつながりを強めることを目的に、ポスドク・学生会員向けに根に関する研究方法習得のためなどの国内研修の旅費として年間4件程度（前後期各1～2件、1件3万円を目安）を助成します。
- ・期間は前期を1月～6月、後期を7月～12月とします。受付は随時行い、各期間で採択数に達した時点で終了とします。
- ・審査方法は正副会長と正副事務局長で合議し、評議員にメーリングリストで報告後、決定します。
- ・採択された場合には「根研究学会国内研修助成採択」の証明書を授与するとともに、会誌に1ページの報告をしていただきます。
- ・申請書（書式A4 一枚）には、以下の書式に従い、1）申請者情報、2）訪問先、3）現在行っている主な研究の概要と訪問による研究進展効果（400字程度）を記載し、指導教官または受入研究者経由で以下の根研究学会事務局までE-mailの添付ファイルとして提出の上、郵送でもお送り下さい。

〒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

E-mail : neken2022@jsrr.jp

根研究学会「苜住」国内研修支援申請書

申請題名：

1) 申請者

申請者氏名：

申請者所属：

連絡先（住所 メールアドレス 電話番号）：

生年月日：

会員種別： 正 / 学生

指導教官または受入研究者氏名： 印

所属・職：

2) 訪問先

訪問場所（連絡先 受入研究者名）：

訪問期間：

3) 現在行っている主な研究の概要と訪問による研究進展効果（400字程度）：

- ・採択された場合には、訪問終了後に会誌「根の研究」にレポートとして投稿（写真2枚程度を含む原稿量1ページ）をお願いします。

5. 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、積極的にご寄稿ください。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

6. 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、研究集会で販売することで、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うため、なかなかグッズを積極的に製作できませんでした。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できるようにしています。

会員の皆様により気軽に根研ロゴを使用していただくため、2021年10月1日からの使用料を1製品につき100円に値下げしました！これを機に、会員の皆様オリジナルの「根研」のロゴを入れたTシャツ、グッズを着て、根研究集会、職場や研究室のイベントに参加しませんか？積極的なご利用を期待しています！詳しくは事務局（neken2022@jsrr.jp）までお問い合わせください。

7. 名簿データ更新のお願い

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。特に異動など変更が生じた方は、お手数ですが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」の入会・登録変更フォームより、データを入力してください。

なお、この名簿データをもとにして、隔年で会員名簿を皆様にお届けいたします。次回の名簿発行は2023年6月の予定です。

8. 会費納入のお願い

2022年度の会費をまだお支払いいただけていない方は、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ください。

年会費（2022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

[他の銀行から振り込みの場合：ゆうちょ銀行 〇一九店（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：neken2022@jsrr.jp 『根の研究』編集委員長：editor2022@jsrr.jp
Plant Root 編集委員長：editor2022@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/>

根の研究の楽しさを伝えたい

会長 中野 明正

2022年～2023年と会長を務めさせていただくこととなりました。社会の在り方が大きく変わる中、根研究会の現状と今後についての考えを共有させていただきます。

農学、林学、植物学、育種学、分子生物学、園芸学、等々、様々な専門分野がある中、根の研究（根学）はこのような異分野の研究者が集う自由な「学際領域」として発展してきました。一方で、多くの学会では会員数が減少し、根研究学会もその例外ではありません。このような状況下でも、根の研究の自由闊達で、風通しの良い伝統を維持しつつ、新たな学問領域として発展させる必要があると考えます。

(1) 根の研究の楽しさのアピール

根の研究の楽しさについては、教育・研究に携われる会員の皆様のより一層の活躍に期待したいと思います。最近「根の研究」においても『教育』の投稿も増え、それを参考に研究に取り組む者が増えています。手法は研究の基本です。会誌などを通じて実際研究の楽しさが伝わります。また Youtube を活用した動画でも楽しさが伝わる優れたコンテンツが発信されています。

(2) 若手会員を増やしたい

持続的な運営には、会員の増加が欠かせません。会員の皆様、特に若い研究者は、学生の研究者とともに、是非、根の調査・研究も組み込んでいただき、

根の研究の発展・継承に貢献いただくことを期待しています。

(3) 根の研究の重要性のアピール

昨年、全国紙に根の研究の成果が掲載されました。台風による倒木（災害）の原因を根の研究により明らかにされた平野前会長の成果は社会にその存在を示した好事例です。災害対応、脱炭素社会や有機農業など根の研究の成果に期待がかかる社会状況になりつつあります。

(4) 時代の変化に対応した運営へ

コロナの影響でリモート環境の整備が加速された面もあります。様々な意見交換や会の運営にも『メール審議』や『リモート会議』を活用して、かろやかな運営を試みたいと思います。

(5) 責任ある学際研究の実施にむけて

研究しやすい環境や公正な研究活動の推進に向けて、学会としてさらに取り組みを進めたいと思います。

「根の研究」の1丁目1番地として、まずは、根の研究の楽しさを広めていきたいと思います。会員の皆様におかれましては、今後とも、根の研究成果の発出に努めていただくとともに、学会の企画・運営にも、積極的にご協力いただけますよう、よろしくお願いいたします。

根研究学会 2022～2023 年度 役員一覧

(2022年1月～2023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 neken2022@jsrr.jp までご連絡下さい。

会長

中野明正（千葉大学学術研究・イノベーション推進機構）

研究の方向性は、①園芸イノベーションの推進：園芸作物の可能性を広げる民間との共同研究により新結合を実践しています、②園芸作物の知の基盤構築：根に関する研究を特色とし『園芸根学』の創成をめざしています、③実学としての園芸学の追求：研究開発した生産技術を世界的視野で生産現場へ実装、フィールドは宇宙（月面）にも及び、地球にも

応用可能な持続的農業の確立をめざしています。

副会長

大橋瑞江（兵庫県立大学環境人間学部）

根研には修士課程の学生だった時から長年お世話になってきました。樹木と作物は同じ植物でありながら学術交流の場が殆どありません。そのような中で根研は両者を結びつける貴重な役割を果たしてきました。他にも先生と学生、研究者と実務家など、根研が取り持つ縁は幅広いです。根研が持つ独特の

持ち味を失わず、根研がさらに発展するようサポートしたいと思っています。よろしくお祈りします。

間野吉郎（農研機構・畜産研究部門）

前期に引き続き、副会長を務めさせていただきます。根に着目したイネ科作物の耐湿性の分子育種がメインテーマです。中野会長のもと、新しい取組も積極的に取り入れた楽しく活発な学会活動にお役に立てればと思います。英文誌 *Plant Root* の編集委員長 (Editors-in-chief) もしており、*Plant Root* の活性化に力を入れていきたいと思っています。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。

事務局長

塩野克宏（福井県立大学生物資源学部）

本年から事務局長を務めさせていただきます。根研の先達の背中を見ながら育ってきましたが、気がつくくと運営の立場に立っていました。身が引き締まる思いです。根研創立のころから流れる「会員のためになるものを、みんなで作っていきい雰囲気」、「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。つくらない。」というポリシーを引き継いで、良い意味で「きちんとやりすぎず」、会員を巻き込んだ楽しい取り組みを展開していきたいと思っています。研究では土壌中の酸素の非破壊イメージングができる二次元酸素オプトードというものをはじめました。研究の面でも面白いこと、やっていきたいです。

副事務局長

陽川憲（北見工業大学工学部）

副事務局長を拝命いたしました。根研に関わり始めてまだ日の浅い私がいきなり役職を任せられて、身が引き締まっております。植物研究分野は沢山ありますが、根は共通する器官として重要なはずですが、幅広い方々に根研に興味を持って貰えるように学会をサポートして行けたらと存じます。私は、根の屈性なら何でも興味を持って研究しております。英文誌 *Plant Root* でも科目編集委員をしておりますので、成果の投稿をいただければ幸いです。

監査

塩津文隆（明治大学農学部）

評議員（50音順）

宇賀優作（農研機構・作物研究部門）

小川敦史（秋田県立大学生物資源科学部）

且原真木（岡山大学資源植物科学研究所）

亀岡笑（酪農学園大学循環農学類）

唐原一郎（富山大学学術研究部理学系）

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）

島村聡（農研機構・東北農業研究センター）

田島亮介（東北大学大学院農学研究科）

檀浦正子（京都大学大学院地球環境学学堂）

辻博之（農研機構・北海道農業研究センター）

中園幹生（名古屋大学大学院生命農学研究科）

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）

平野恭弘（名古屋大学大学院環境学研究科）

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）

古川純（筑波大学アイソトープ環境動態研究センター）

本間知夫（前橋工科大学工学部）

牧田直樹（信州大学理学部）

松浦朝奈（信州大学農学部）

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（名古屋大学大学院生命農学研究科）

山崎篤（農研機構・九州沖縄農業研究センター）

*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

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）

雑誌「根の研究」は、根を愛する人々をつなぐ架け橋です。学問領域は違っても「根」という対象への興味が尽きない人々に、自らの研究への激励と研究のヒントを与える雑誌だと思っています。自分も根の研究を始めて二十数年、傍らにはいつも「根の研究」がありました。そんな雑誌の編集委員長はとても重大な役ですが、ますます活発に「根」に関する情報交換ができるように微力を尽くす所存です。皆様、ぜひ積極的な投稿をお願いします。原稿の種類は、「原著論文」、「短報」、「技術ノート」、「ミニレビュー」、「総説」などのいわゆる論文類のほか、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」と多様です。また上記にない新たなジャンルも歓迎いたします。根の研究に携わる人々がそれぞれお持ちの情報や思いを共有する場として、これからも皆様の役に立つ雑誌でありたいと願っています。

副編集委員長

小川敦史（秋田県立大学生物資源科学部）

学生の頃に根研究会に入ってもうすぐ30年になるうとしています。研究会を立ち上げてくださった先生方の志を受け継いで、まだまだ頑張っていきたいと思っています。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。

松波麻耶 (岩手大学農学部)

2009年に開催された第31回根研究集会で初めて根研に飛び込みました。当時は根マニアたちの熱い議論に圧倒され、完全にアウェーの気分でしたが、あれから早13年、いつしか編集副委員長を拝命するほど根研に馴染んでいます。「根の研究」では、根の真理を追究する熱い研究や、根への愛溢れる記事など、全国の会員の皆様が「よし、今日も根に向き合おう!」と励まされるような内容を発信していきたいと思います。ご投稿、お待ちしております!

編集委員 (50音順)

岩崎光徳 (農研機構・果樹茶業研究部門)

宇賀優作 (農研機構・作物研究部門)

亀岡笑 (酪農学園大学循環農学類)

神山拓也 (宇都宮大学農学部)

檀浦正子 (京都大学大学院農学研究科)

辻博之 (農研機構・北海道農業研究センター)

仲田(狩野)麻奈 (名古屋大学農学国際教育研究センター)

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)

山崎篤 (農研機構・九州沖縄農業研究センター)

山本岳彦 (農研機構・東北農業研究センター)

上級編集補佐

島村聡 (農研機構・東北農業研究センター)

「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)

犬飼義明 (名古屋大学農学国際教育研究センター)

野口享太郎 (森林総合研究所東北支所)

平野恭弘 (名古屋大学大学院環境学研究科)

間野吉郎 (農研機構・畜産研究部門)

上級編集補佐 (Senior Editorial Assistant)

島村聡 (農研機構・東北農業研究センター)

編集委員 (Subject Editors) (Alphabetical sequence)

Dr. Tomomi Abiko
(Kyushu University, Japan)

Dr. Hideki Araki
(Yamaguchi University, Japan)

Prof. Hiroyuki Daimon
(Ryukoku University, Japan)

Dr. Karibu Fukuzawa
(Hokkaido University, Japan)

Dr. Shintaro Hara
(Institute for Agro-Environmental Sciences, NARO, Japan)

Prof. Maki Katsuhara
(Okayama University, Japan)

Dr. Akihiko Kinoshita
(Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Japan)

Dr. Yoshihiro Kobae
(Rakuno Gakuen University, Japan)

Dr. Bohdan Konôpka
(National Forest Centre, Forest Research Institute Zvolen, Slovakia)

Dr. Katashi Kubo
(Tohoku Agricultural Research Center, NARO, Japan)

Dr. Takeshi Kuroha
(Institute of Agrobiological Sciences, NARO, Japan)

Dr. Naoki Makita
(Shinshu University, Japan)

Dr. Atsushi Matsumura
(Osaka Prefecture University, Japan)

Prof. Motoyasu Minami
(Chubu University, Japan)

Prof. Mikio Nakazono
(Nagoya University, Japan)

Dr. Naoto Nihei
(Fukushima University, Japan)

Prof. Atsushi Ogawa
(Akita Prefectural University, Japan)

Prof. Mizue Ohashi
(University of Hyogo, Japan)

Dr. Atsushi Oyanagi
(NARO, Japan)

Dr. Kosala Ranathunge
(University of Western Australia, Australia)

Prof. Yowhan Son
(Korea University, The Republic of Korea)

Dr. Koya Sugawara
(Institute of Livestock and Grassland Science, NARO, Japan)

Dr. Daisuke Takata
(Fukushima University, Japan)

Dr. Yusaku Uga
(Institute of Crop Science, NARO, Japan)

Dr. Akihiro Yamamoto
(University of Miyazaki, Japan)

Dr. Takaki Yamauchi
(Nagoya University, Japan)

Dr. Ken Yokawa
(Kitami Institute of Technology, Japan)

*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。

林床にササが生育する冷温帯林における細根バイオマス、生産量および枯死量の時間変化

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

要 旨：細根の生産-枯死-分解プロセスは森林生態系の炭素や養分循環において重要であるが、十分に理解されていない。これは、細根が地下にあって目にする事ができないために、細根量としては評価できても、同時に起こっている細根の生産と枯死・分解の時間変化（細根動態）に関する評価が極めて限られているためである。細根量（バイオマスまたは密度）に対する細根生産量や細根枯死（分解）量の比率として表現される細根回転速度（ターンオーバー速度）の大きさの違いは、森林生態系の細根生産量や枯死量の大きさの違いとして現れる。そのため、細根動態を正確に評価することが求められる。本稿では、著者らが北海道北部の林床にクマイザサ (*Sasa senanensis*) が密生する冷温帯林において行った、コア法を用いた細根バイオマスと、非破壊的手法であるミニライゾトロン法を用いた細根密度と細根生産・枯死の時間変化に関する事例研究を紹介する。その中で、上層木および林床に密生しているクマイザサの地上部フェノロジーと細根生産および枯死の時間変化の関係を考察した。また、森林の生産性における細根の寄与を知るために、細根生産量と地上部純一次生産量を比較した。そして、冷温帯林の生産性における細根生産の重要性を示した。

キーワード：環境要因、クマイザサ、細根ターンオーバー速度、純一次生産量、地上部フェノロジー。

Temporal variation in fine-root biomass, production, and mortality in a cool-temperate forest covered with understory *Sasa senanensis* : Karibu FUKUZAWA (Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University)

Abstract : The fine root production–mortality–decomposition process is crucial for carbon and nutrient cycling in forest ecosystems, however the process remain understudied. This is because quantifying temporal changes in fine root production and mortality or decomposition which occur simultaneously (fine root dynamics) has been quite limited even if fine root biomass can be evaluated, as fine roots are invisible belowground. The difference in fine root turnover rate which is expressed as the ratio of fine root production or mortality (decomposition) to fine root amount (biomass or density) is seen in the difference in fine root production or mortality in forest ecosystems. Thus, such dynamics must be evaluated accurately. Here, I reviewed our case study that investigated temporal changes in the fine root biomass using core method, and fine root density, production, and mortality using the non-destructive minirhizotron method in a cool-temperate forest covered with dense understory dwarf bamboo (*Sasa senanensis*) in northern Hokkaido. In this review, I considered the correlations of aboveground phenology of overstory trees and the dwarf bamboo with the temporal patterns of fine root production and mortality. In addition, to understand the contribution of fine roots to forest productivity, I compared fine root production with aboveground net primary production. Ultimately, I demonstrated the significance of fine root production in the productivity of the cool-temperate forest.

Keywords : Aboveground phenology, Environmental factor, Fine root turnover rate, Net primary production, *Sasa senanensis*.

1. はじめに

植物細根（直径 2 mm 未満と定義されることが多い）は、全樹木バイオマスへの寄与は小さいものの（Karizumi, 1977 ; Vogt et al., 1996 ; Scarascia-Mugnozza et al., 2000 ; Helmisaari et al., 2002 ; Hertel et al., 2009）、回転が速い（ターンオーバー速度が大き

い）ために森林生態系の炭素や養分循環において重要な構成要素であると考えられている（McClougherty et al., 1982 ; Hendrick and Pregitzer, 1992, 1993 ; Nadelhoffer and Raich, 1992）。地上部と地下部を含む純一次生産量（NPP : Net Primary Production, 以下では NPP と呼ぶ）合計に対する細根生産量の割合は 40–60% であることが報告されている（Aber et al., 1985 ;

Hendrick and Pregitzer, 1993 ; Vogt et al., 1996 ; Tateno et al., 2004). しかし, 細根ターンオーバー速度や細根生産量は同じ環境条件においてもかなり変動することも知られ, 一般化するにはかなりの不確実性が残されている (Finér et al., 2011 など). 直接観測することが難しい地下部の細根動態やその生産性に関する報告例は地上部に比べ限られているため, さらなる研究が必要である.

細根量の時間変化は, 細根ターンオーバー速度と年間の細根生産量・枯死量を評価する上で必要不可欠な情報である. 細根バイオマスの時間 (季節) 変動は空間変動に比べると小さいことが知られている (Yuan and Chen, 2012). 一方, ミニライゾトロン法などの非破壊的手法により, 生産と枯死・分解が同時に起こる細根プロセスにおいて, 個々の根を継続的に追跡することが可能となるため, 根長密度 (RLD : Root Length Density) や細根生産, 細根枯死速度の時間変化が検出されている (Hendrick and Pregitzer, 1992 ; Satomura et al., 2007). しかし, 細根生産のピーク時期については報告間で必ずしも一致せず, 環境要因に加えて植物個体全体での炭素配分と関連した地上部フェノロジー (内因的要因) との関係性が指摘されている (Joslin et al., 2001 ; Tierney et al., 2003 ; Steinaker et al., 2010). また, 細根生産量は年により2倍以上の差があることがアラスカのヤナギ類が優占する森林において報告され (Ruess et al., 1998), 気候の年々変動が細根生産量に及ぼす影響が示唆されている. このように, 細根動態には複数の要因が関与しているため, 年間を通じた細根動態観測を行い, 環境要因や内因的要因の変化パターンと関連付けることが, 細根動態を一般化し予測につなげる上で欠かせない.

また, 細根動態パターンは樹種間でも異なるため (Kozłowski and Pallardy, 1997 ; Steinaker et al., 2010 ; Fukuzawa et al., 2010 ; McCormack et al., 2014 ; Makoto et al., 2020), 単一種の人工植栽地でない限りは森林の種構成を考慮する必要性も指摘されている. さらに, 森林を構成するのは樹木だけではない. 林床植生が森林の炭素や養分循環に果たす役割の重要性が, 温帯林や寒帯林において指摘されている (Nilsson and Wardle, 2005 ; Moore et al., 2007 ; Cavard et al., 2011 ; Finér et al., 2011). 例えば, 北欧において林床植生の森林全体のバイオマスへの寄与は小さいが, NPP においては林床植生が樹木に匹敵しうることが報告されている (Helmisaari et al., 2002 ; Nilsson and Wardle, 2005). 一方, 我が国では森林の代表的な林床植生としてササ類が広く分布し, 例えば北海道では森林面積の 89% にササ類が生育している (Toyooka, 1983). 北海道北部の冷温帯林における観測から, ク

マイザサの細根バイオマスは樹木より大きいことが報告されており (Fukuzawa et al., 2007), ササの細根生産パターンが森林全体の細根生産パターンを決定する可能性が示唆される. ここで, 森林の NPP や炭素・養分循環における林床植生や細根生産の役割を理解するためには, 樹木や地上部 NPP と比較することが必要である (Vogt et al., 1986).

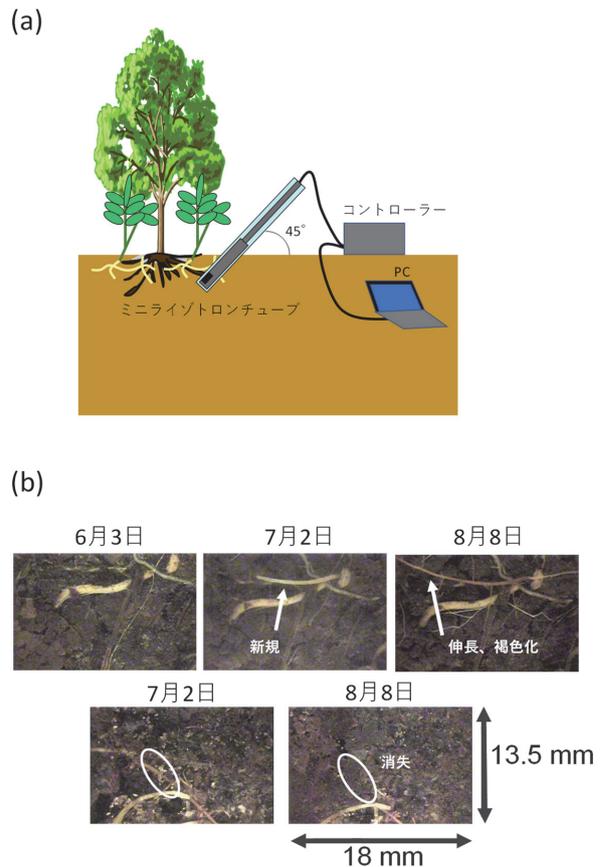
本稿では, 著者らがこれまでに北海道北部の林床にクマイザサ (*Sasa senanensis* ; 以下ではササと呼ぶ) が密生する冷温帯林において行った, 細根バイオマス・生産量・枯死量の時間変化と環境要因・地上部フェノロジーとの関係, および地上部 NPP との比較に基づいた細根生産量の寄与評価に関する研究事例を紹介するとともに, 今後の展望について述べたい.

2. 細根バイオマスと細根生産量・枯死量を測定する方法

細根バイオマスを測定するには, オーガーを用いて一定体積の土壌コアを採取し, 洗浄により根のみを取り出し, 乾燥 (例えば, 70°C・48 時間) 後に重量を測定するコア法がよく用いられる. より大きな土壌ブロックを掘り出し, 同じく洗浄によって根を取り出すモノリス法という方法もある. これらの方法では採取した断面積を用いて, 単位面積当たりの生根や枯死根の重量 (細根バイオマス, 細根ネクロマス : g m^{-2}) に変換する. 根の垂直分布を知るために土壌深度別に分けて評価することも多い. 一方, 細根生産量の評価法は複数ある. 古くから用いられてきたのは, 同じく土壌コアを用いて根を連続的に採取し, その測定間隔の差を細根生産量とする連続コア法 (破壊的手法) である. 連続コア法はさらに計算方法により, 有意差のある細根バイオマスの最大値と最小値の差を細根生産量とする最大-最小法 (Vogt et al., 1986), 各測定間隔の細根バイオマス, ネクロマス, 細根分解量の差の総和を細根生産量とするコンパートメントフロー法 (Santantonio and Grace, 1987), 細根バイオマスの正の差 (増加分) のみを合計する方法 (Persson, 1978), 各測定間隔の細根バイオマスとネクロマスの差の総和とする決定行列法 (Decision matrix : McClougherty et al., 1982 ; Yuan and Chen, 2013 ; Brunner et al., 2013) などに分けられる. 測定間隔間で有意な差がない場合には過大評価になるため補正を行っている研究がある一方 (Vogt et al., 1998), 有意差がないデータも計算に組み込んでいる研究例もある (Brunner et al., 2013). いずれの方法においても, 細根バイオマスやネクロマスの時間変化が検出できない場合には評価することが難しい. さらに, 毎回異なる場所で破壊的に採取しているために細根量に空間的ばらつきが生じることも,

時間変化の検出に影響する。イングロスコア法は、あらかじめ土壌を採取して根を除去し、一定体積のメッシュ状のイングロスコア内に根を含まない土壌を充填して埋設し、一定期間後に回収する方法であり、期間内にイングロスコア内に侵入した根の量を細根生産量とする (Oliveira et al., 2000 ; Tatenno et al., 2004)。この方法は根を含まない土壌の準備による攪乱 (根を取り除く行為や土壌構造の破壊など土壌の性質の変化) を伴うので絶対値の評価には注意を要するが、同じ条件で行われるのでプロット間比較や各種野外処理の影響を調べるときにしばしば用いられる。

一方、非破壊的手法には、ミニライゾトン法、ライゾトン法、ルートウィンドウ法、スキャナー法などの直接的な方法 (Smit et al., 2000 ; Dannoura et al., 2008)、また炭素収支法 (Nadelhoffer and Raich, 1992)、窒素収支法 (Nadelhoffer et al., 1985) などの間接的方法や、細根ターンオーバーを評価する方法として、炭素安定同位体 ^{13}C ラベリングを用いる方法 (Matamala et al., 2003)、放射性同位体 ^{14}C (radiocarbon) 濃度を指標とする方法 (Gaudinski et al., 2001 ; Joslin et al., 2006) がある。直接的な方法においては根が出現する土壌断面を観察する。その中でミニライゾトン法は、圃場の地下室にて根を観測するライゾトン法を多様な多地点のフィールドで観測できるように小型化したものであり、森林での観測に適している。また、画像撮影や PC での解析技術の発展に伴い、ルートウィンドウ法に比べて画像撮影を行うミニライゾトン法やスキャナー法の利用が増えている。ミニライゾトン法では、あらかじめ埋設した透明のアクリル製のチューブに CCD カメラを挿入し、チューブに接した土壌面に現れた根を連続的に観察することで、個々の根の成長と枯死・分解のプロセスを別々に追跡できるため、同時に起こる細根生産と枯死・分解を精度よく評価することができる (第 1 図 ; Hendrick and Pregitzer, 1992 ; 里村, 2001 ; Satomura et al., 2007)。また画像内の細根を PC 上でトレースし、根長の変化を計測する。近年は画像上の根の投影面積から細根量を評価する研究例もある (Narisetti et al., 2019)。いずれにしてもミニライゾトン等で得られたデータは画像上の二次元データであるので、物質循環における細根の役割を検討するためには、細根バイオマスの測定も同時に行い、単位土地面積あたり・重量ベースの生産量や枯死量に変換する必要がある。その方法は、(1) ミニライゾトンの観察面深度をある一定値と仮定し二次元から三次元に変換するもの (Lopez et al., 2001)、(2) 土壌体積当たりの細根量とミニライゾトン上の画像当たりの細根量の比を利用するもの (Noguchi et al., 2005)、(3) 細根ターンオーバー速度と



第 1 図 ミニライゾトン (Bartz Technology 社製, BTC-100X カメラシステムおよび BTC I-CAP ソフトウェア) を用いた細根動態観測システムの概要 (a) と画像例 (b)。チューブは透明のアクリル製。

細根バイオマスから細根生産量・枯死量を算出する方法 (Hendrick and Pregitzer, 1993) などがある。(1), (2) では直径毎の根長と根重の関係をあらかじめ測定しておき、根長データを根重に変換する必要がある。なお、著者らは方法 (3) を用いた。

ミニライゾトン法において、個々の根を追跡するには、WinRHIZO Tron (Regent Instruments 社, カナダ) や MSU ROOTS Tracer (ミシガン州立大学, 米国) などの根画像解析ソフトが市販されている。細根生産は、測定間隔中に画像に新たに出現した根の根長と既存根の伸長分の根長の合計、また細根枯死は、画像から消失した根の根長合計と定義されることが多く (Tingey et al., 2000 ; Satomura et al., 2007)、著者らもその定義を用いた。ここで、根の消失を枯死と定義するときには、生理的枯死を経て微生物による分解までを含んだパラメーターであることに留意する必要がある (Tingey et al., 2000 ; Satomura et al., 2007)。

根長データは、すべて画像面積 (例えば、 18×1.35 mm) あたりの根長である RLD (mm cm^{-2}) に変換して

解析されることが多い。細根ターンオーバー速度 (yr^{-1}) は、年間の累積の細根生産・細根枯死 (分解) ($\text{mm cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$) と年最大または平均細根量 (RLD : mm cm^{-2}) を用い、以下の式 1, 2 により算出する (Gill and Jackson, 2000 ; Gill et al., 2002)。また、細根量において初期値を用いている研究もある (Hendrick and Pregitzer, 1992, 1993)。

$$\text{生産 TN 速度} = \text{年細根生産} / \text{最大または平均細根量} \quad (\text{式 1})$$

$$\text{枯死 (分解) TN 速度} = \text{年細根枯死 (分解)} / \text{最大または平均細根量} \quad (\text{式 2})$$

ここで、TN はターンオーバーを表す。重量ベースの細根生産量・枯死 (分解) 量 ($\text{g m}^{-2} \text{yr}^{-1}$) への変換は、根長 (mm cm^{-2}) ベースと重量 (バイオマス, g m^{-2}) ベースの細根ターンオーバー速度が等しいとの仮定のもと、以下の式により算出する (Hendrick and Pregitzer, 1993)。

$$\text{重量ベースの細根生産量} = \text{細根バイオマス} \times \text{生産 TN 速度} \quad (\text{式 3})$$

$$\text{重量ベースの細根枯死 (分解) 量} = \text{細根バイオマス} \times \text{枯死 (分解) TN 速度} \quad (\text{式 4})$$

3. 調査研究の概要

ここでは、著者らの研究 (Fukuzawa et al., 2013) の概要について紹介したい。著者らの研究目的は、(1) 冷温帯林における細根バイオマス、生産量、枯死量の時空間変動 (季節変動、年々変動および土壌深度変動) を明らかにすること ; (2) 細根動態要因を気温、地温、降水量、土壌水分率などの気候要因や植物体内の内因的な制御に関わる地上部フェノロジーと関連付けることにより、細根動態の制御要因を明らかにすること ; (3) 細根ターンオーバー速度や重量ベースの細根生産量、枯死量を定量的に評価し、森林の NPP における細根生産の寄与を明らかにすること、であった。北海道北部に位置する北海道大学天塩研究林内の冷温帯林において、0.25 ha のプロットを設定し、その中で優占樹種であるミズナラを対象木とし、ミズナラ樹冠下にて細根動態 (対象木より 2 m 地点) と樹木の肥大成長率およびリターフォール量を調べた。林分 (状態が一樣のひとまとまりの森林) レベルの樹木の地上部 NPP と粗根生産量の評価のために、毎木調査を行った。また、林床にはクマイザサが密生しており、細根動態におけるササの役割についても検討した。

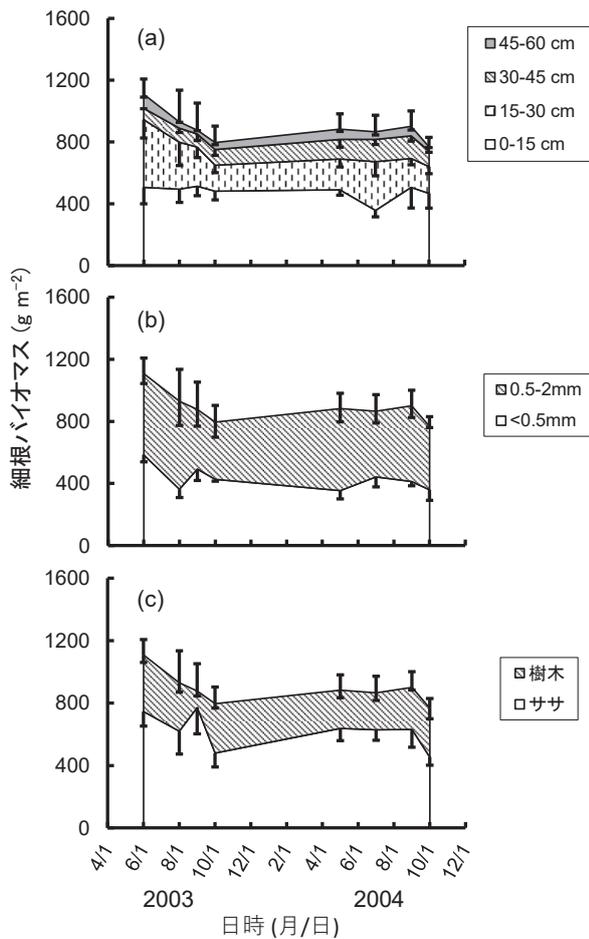
著者らの研究では、コア法 (内径 4.2 cm) を用いて

細根バイオマス (生根)・ネクロマス (枯死根) を、ミニライゾトロン法 (チューブ内径 5.08 cm) を用いて根長、細根生産および枯死の時間変化と細根ターンオーバー速度をそれぞれ評価した。コア法による細根バイオマス調査は、2003-2004 年に各年 4 回行い、土壌深度 60 cm まで 15 cm 毎に定量した。ミニライゾトロンは、2001 年 6 月にチューブを埋設し、2002 年 4 月から 2004 年 11 月まで生育期に月 1 回の頻度で観測を行い、土壌表層から 45 cm 深まで 15 cm 毎の平均値を集計した。また、2003-2004 年の冬季間に何回か観測を行った。ミニライゾトロンで得られた画像の解析には、MSU ROOTS Tracer を用いた (現在は販売されていない)。細根データの解析は前章に記載の方法により行った。なお、消失根を細根枯死と定義したため、以下の著者らの研究結果の紹介においては、「枯死分解」と表記する。重量ベースの細根生産量の算出は、全期間の平均または最大細根バイオマスに全期間の平均ターンオーバー速度 (平均 RLD または最大 RLD を用いた算出値) をそれぞれ乗じて算出した (式 3)。

細根以外の観測として、気候要因は細根観測期間中に連続自動観測を行った。地上部フェノロジーを把握するため、上層木およびササの植物面積指数 (Plant Area Index : PAI) を月に 1 回プロット内にて測定した。一方、地上部 NPP および粗根生産量の評価のために、0.25 ha プロット内にて毎木調査を行った。全樹木の胸高直径 (高さ 1.3 m) を計測し、既存の胸高直径-バイオマス関係式 (アロメトリー式 : Takagi et al., 2010) に当てはめて、幹、枝、粗根のバイオマス (乾物重量) を計算した。そして幹と枝の合計を地上部バイオマスとした。林分のバイオマス (g m^{-2}) はプロット内の単木のバイオマスを合計し、プロット面積で除することにより算出した。プロット内の成熟したミズナラについて、年輪幅の計測により年平均肥大成長率を求め、地上部および粗根バイオマスに乗じることにより、地上部および粗根肥大成長量 (年バイオマス増加量 : $\text{g m}^{-2} \text{yr}^{-1}$) を算出した。リターフォール量 (葉生産量 : $\text{g m}^{-2} \text{yr}^{-1}$) はミズナラ樹冠下にて測定した。樹木の地上部 NPP ($\text{g m}^{-2} \text{yr}^{-1}$) はリターフォール量と樹木地上部肥大成長量の合計として計算した。また、ササの葉と稈生産量を刈り取り法により、当年性の稈と葉のバイオマスとして評価し、その合計をササ地上部 NPP ($\text{g m}^{-2} \text{yr}^{-1}$) とした。

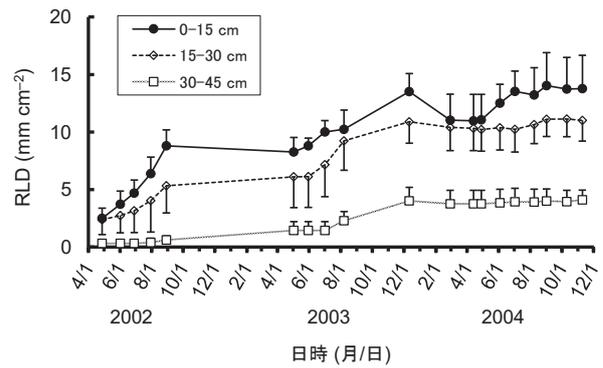
4. 細根生産量・枯死量の時空間変動と制御要因

著者らの研究において、コア法を用いて定量した細根バイオマスは、明瞭な時間変化を示さなかった (第 2 図)。細根バイオマスは、生育期の生産を反映して秋に最大になるとの報告もある (McClougherty et al.,



第2図 細根バイオマスの時間変化。
(a) 土壌深度, (b) 直径, (c) 植物種毎の各
サンプリング日における平均値と標準誤
差 (n = 3; 上向き: 全体, 下向き: 各要素)
を示す。Fukuzawa et al. (2013) より改変。

1982; Brassard et al., 2009) 一方, 季節変化が小さいかまたは見られないという報告例が多い (Persson, 1978; Aber et al., 1985; Yuan and Chen, 2010). これは, 破壊的手法においては毎回別の場所でサンプリングされるので, 空間変動の方が時間変動よりも大きいときに空間変動が時間変動を覆い隠してしてしまうためである (Santantonio and Grace, 1987). 一方のミニライゾトロン法により得られた RLD は, 生育期に上昇し休眠期にやや低下するという明瞭な季節変化パターンを示した (第3図). このような RLD の時間変化パターンは多くのミニライゾトロンを用いた既往研究でも報告されている (Hendrick and Pregitzer, 1993; Noguchi et al., 2005; Satomura et al., 2006). 細根バイオマスと RLD は, とともに細根量の指標となるパラメーターであるが, ミニライゾトロン法は非破壊的方法であり常に同一根を観測しているために, コア法のような空間変動の問題は発生せず, このような違いが生じたと



第3図 各土壌深度における根長密度 (RLD) の時間変化。
平均値と標準誤差 (n = 3) を示す。Fukuzawa et al.
(2013) より改変。

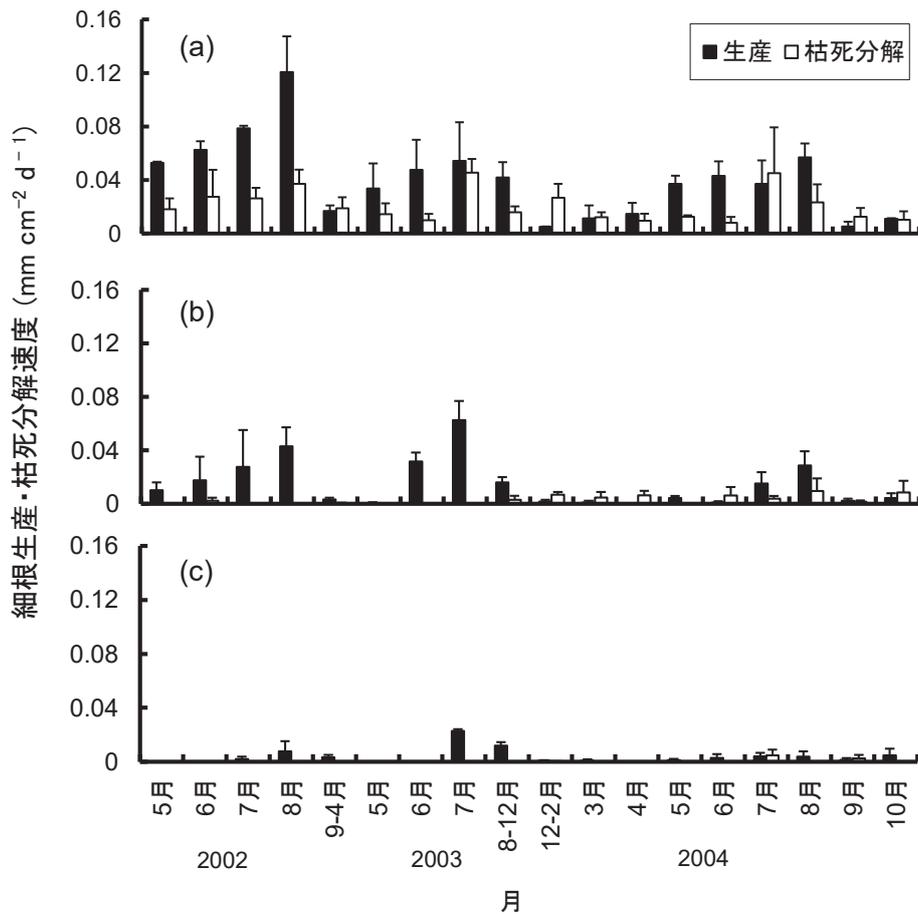
考えられた (Hendricks et al., 2006; Satomura et al., 2007). したがって, コア法よりもミニライゾトロン法の方が実際の細根量の時間変化を正確にとらえているといえよう。

また, ミニライゾトロンは, 個々の根を直接観測するため, 細根生産と枯死の季節変化パターンを評価するのに適している. ミニライゾトロンにより観測された細根生産速度は, 生育期, 特に夏中盤から晩夏にかけて高まる一方, 休眠期には低いことも示された (第4図). 一方, 細根枯死分解速度は7月に高い傾向がみられたものの, その時間変化は明瞭ではなかった (第4図).

各年の細根バイオマス, ネクロマス, 細根生産速度, 細根枯死分解速度について, 土壌深度, 時間 (時期) およびその交互作用の影響について検討したところ, 土壌深度は一部の年のネクロマス, 細根枯死分解速度を除いて有意な影響を及ぼしていたのに対し, 時間は細根生産速度のみに有意な影響を及ぼしていた (第1表). このこともバイオマスやネクロマス, 細根枯死分解速度の不明瞭な季節変化と細根生産速度の明瞭な季節変化を示すものである. 土壌深度の影響については, 細根バイオマス, RLD, 細根生産速度, 細根枯死分解速度ともに表層で最大となり, 深層になるほど減少・低下するという明瞭なパターンを示し (第2図, 第3図, 第4図), 北方樹種について報告されている Gale and Grigal (1987) のパターンと一致した.

細根バイオマスは, 直径別では 0.5 mm 未満の根は 0.5-2 mm の根と同程度あり, 植物種別ではササの根が全体の 59-88% を占めていた (第2図). 森林内であるにも関わらず林床植生ササの根は細根バイオマスの主要な構成要素であった.

環境要因との関係においては, 細根生産速度は表層 30 cm において地温と強い正の関係があり, 地温が重要な因子であることが示された (第2表). 強い土壌乾



第4図 各土壌深度における細根生産および枯死分解速度の時間変化。
 (a) 0-15 cm, (b) 15-30 cm, (c) 30-45 cm. 黒色, 白色のバーはそれぞれ細根生産・細根枯死分解速度の平均値であり, エラーバーは標準誤差 (n = 3) を示す. Fukuzawa et al. (2013) より改変.

第1表 土壌深度, 時間と交互作用が細根バイオマス, ネクロマス, 細根生産と枯死速度に及ぼす影響.

	年	深度	時間	深度 × 時間
バイオマス	2003	27 ***	1.07	0.79
	2004	38.6 ***	0.28	0.92
ネクロマス	2003	1.44	1.10	0.97
	2004	11.3 **	0.65	0.34
生産	2002	29.3 ***	7.64 *	2.54
	2003	7.86 *	7.44 *	1.14
	2004	24.3 **	5.95 *	2.66
枯死分解	2002	28.5 ***	0.39	0.39
	2003	18.8 **	2.29	3.23
	2004	2.94	1.06	0.83

反復測定 ANOVA の F 値を示す。
 * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$
 Fukuzawa et al. (2013) より改変.

第2表 回帰分析による細根生産・細根枯死分解速度と環境要因および内因的要因の関係.

深度 (cm)	回帰式	N	R ²	P
細根生産速度 (mm cm⁻² d⁻¹)				
0-15	Ln (生産) = 0.107 (地温) - 4.51	18	0.24	*
	Ln (生産) = 0.0921 (気温) - 4.45	18	0.42	**
15-30	Ln (生産) = 0.789 (PAI _{樹木}) - 4.845	14	0.36	*
	Ln (生産) = 0.260 (地温) - 7.50	18	0.50	***
	Ln (生産) = 2.39 (ΔPAI _{樹木}) - 5.30	14	0.33	*
30-45	Ln (生産) = 5.69 (PAI _{樹木}) - 27.7	14	0.65	***
細根枯死分解速度 (mm cm⁻² d⁻¹)				
0-15	Ln (枯死) = 1.17 (ΔPAI _{樹木}) - 4.32	14	0.50	**

N: 観測数, R²: 自由度調整済み決定係数. 細根生産速度, 枯死速度は対数変換した. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$
 Fukuzawa et al. (2013) より改変.

燥に曝されない冷温帯林, 寒帯林で行われた多くの報告でも同様の季節変化パターンが報告されており, 地温が細根生産の重要な制御要因であることが示唆され

ている (Tryon and Chapin, 1983; Burke and Raynal, 1994; Steele et al., 1997; Ruess et al., 1998; Tierney et al., 2003; Steinaker et al., 2010). Alvarez-Uria and Korner (2007) は, 地温制御実験系における観測によ

り、地温が低い状態では春の細根の成長が阻害されることを示した。一方、Fukuzawa et al. (2013) では、細根生産速度は気温や地温が比較的高い9月～10月に低いことが示されている。Tierney et al. (2003) は、春から晩夏までの期間は水や養分需要を満たすために新根が必要である一方、植物の代謝活性が低下する休眠期前の期間における水や養分の必要性は低下するために、温度と細根生産速度の関係は春と秋の間で異なること、そして環境要因に加えて植物の内因的要因が細根生産パターンに関与していることを示唆した。

また、細根生産速度は、表層30 cmにおいて気温とも強く関係していた(第2表)。気温は細根生産に直接的に影響しないので、地上部の光合成を介した内因的制御が関与している可能性が指摘されている(Tierney et al., 2003)。Joslin et al. (2001) は米国テネシー州の温帯林での観測から、葉フェノロジー、特に初夏の葉の展開後の光合成産物の供給増加がその後の細根生産に重要な役割を果たしていることを示唆した。異なる葉フェノロジーをもつ樹木と林床植生からなる天然生林では、地上部との関係はさらに複雑である。ミズナラは一斉開葉型の樹種であり、5月下旬～6月上旬に一斉に開葉し、生育期間中にその葉量を維持する。クマイザサ葉の平均寿命は1.98年であり(Yajima et al., 1997)、稈の成長と葉の展開は7月に最も集中する。土壤深度15-30 cmにおいて細根生産速度はササの葉量の指標となるササPAI (PAI_{ササ})ではなく、ササPAIの増加量(Δ PAI_{ササ})と強い正の関係があった(第2表)。これは、秋に当年性葉が落葉することなく、また越冬した葉が翌年の夏季以降に順次落葉するササにおいて、PAI_{ササ}そのものより Δ PAI_{ササ}の方が葉の展開パターンを反映するからである。一方で表層0-15 cmの細根生産速度は樹木PAI (PAI_{樹木})とも有意な正の関係があった。樹木細根はササに比べて表層に集中分布する傾向があり(Fukuzawa et al., 2007)、このような土壤深度間での違いが生じたのかもしれない。また、細根生産速度が表層より極度に少ない30-45 cmにおいては、PAI_{ササ}と有意な関係があった。これはこの層において夏以降にも継続する細根生産パターンを示すためであると考えられる。細根生産の時間変化パターンが樹木とササの両方の地上部フェノロジーとの関係がみられたことと関連して、細根生産のピークタイミングはシュート(葉)生産より樹木で8週遅れであるのに対し、イネ科草本では2-4週遅れと短いことが報告されている(Steinaker et al., 2010)。そのことを考慮に入ると、林床にササが密生する冷温帯林において、環境要因の影響に加えて、異なる葉生産タイミングとその後の異なる細根生産のタイムラグをもつ各植物群(樹木とササ)の予想される細根生産パターン(内

因的要因の影響)の点からも、このサイトにおいて夏中盤から晩夏に細根生産が高まることは妥当であるといえる。

一方、細根生産速度と降水量または土壤水分率の関係は弱く(第2表)、土壤水分率は温度ほど細根生産を制御する重要な要因ではないことが示唆された(Steinaker et al., 2010)。北海道北部のこの冷温帯林における土壤体積水分率は30%を下回ることはなく、夏季に激しい土壤乾燥に曝されないことが夏中盤から晩夏の継続的な細根生産を可能にしていると考えられた。

細根枯死分解速度と温度、降水量、土壤水分を含む環境要因との関係性は弱かった(第2表)が、表層15 cmにおいて、 Δ PAI_{ササ}と有意な正の関係があった。北方の冷温帯林において、細根枯死速度は細根生産速度がピークを迎えた後の晩夏から秋にかけて最大になり、各年における細根生産と細根枯死の季節変化パターンは一致しないことが報告されている(Tierney et al., 2003; Tingey et al., 2005; Brassard et al., 2009)。それに対してFukuzawa et al. (2013)では、必ずしも秋に細根枯死が高まっていない。細根枯死の制御要因に関する知見は細根生産よりもはるかに少ないが、冷温帯林において地温が高いサイトにおいて細根枯死量が高まることや(Hendrick and Pregitzer, 1993)、ミカン属やリンゴにおいて落葉による炭素制限のために細根枯死が促進されることが示唆されている(Eissenstat and Duncan, 1992; Eissenstat and Yanai, 1997)。環境要因や植物地上部との関係を考慮した内因的要因の双方から今後のさらなる研究が必要である。また細根枯死の季節変動を知るには、枯死の定義について考慮しなければならない(Tingey et al., 2000; Satomura et al., 2007)。多くのミニライゾトロンを用いた研究では、細根の消失を枯死と定義しており、生理学的な枯死だけでなく、分解まで含んでいる。そのために著者らの研究においても細根枯死の季節変動が見えづらく、他の要因との関係が明確でなかった可能性がある。一方、著者らの研究では黒色根を経て消失する細根本数割合は全消失根の1%に過ぎなかった(福澤, 未発表)。このことは、色を基準とした枯死評価を行った場合(黒色根への変化を枯死に含めた場合であるが)でも、消失と定義した細根枯死分解速度と大きく変化しないことを示唆する。色を基準に枯死判別を行った場合であっても、細根枯死の不確実性は残る可能性がある。

5. 細根生産量・枯死量と年々変動

3年間の観測から、年細根生産は年により有意に異なり、表層において2004年に対して2002年に有意に高かった(第3表)。既往研究では、観測1年目に細根

第3表 各年における年細根生産 (P) と年細根枯死分解 (M) および枯死に対する生産割合 (P/M).

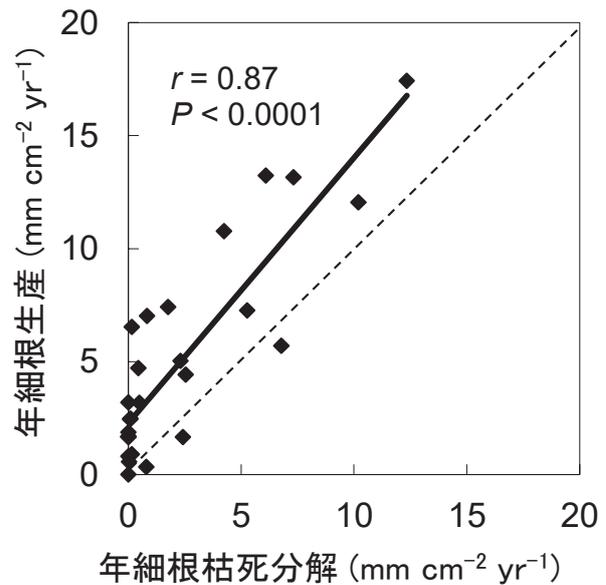
深度 (cm)	年	年細根生産 (P) (mm cm ⁻² yr ⁻¹)	年細根枯死分解 (M) (mm cm ⁻² yr ⁻¹)	P/M
0-15	2002	13.8 (1.94) a	7.96 (2.36) a	1.91
	2003	10.8 (1.82) ab	7.19 (1.52) a	1.58
	2004	5.85 (0.87) b	3.70 (1.56) a	2.27
15-30	2002	3.86 (1.39) a	0.21 (0.14) a	25.3
	2003	5.59 (0.72) a	1.19 (0.57) a	7.16
	2004	1.68 (0.72) a	0.88 (0.57) a	1.22
30-45	2002	1.11 (0.56) ab	0 a	-
	2003	2.44 (0.43) a	0.02 (0.02) a	34.3
	2004	0.57 (0.14) b	0.27 (0.26) a	10.2

平均と標準誤差 (n = 3) を示す. 異なるアルファベットは各土壌深度において観測年の間に有意な差 (Tukey HSD 検定, $P < 0.05$) があることを示す.

Fukuzawa et al. (2013) より改変.

生産が高まることが報告され, ミニライゾトロンチューブ埋設による根切断に対する補償成長やチューブ埋設による窒素無機化の促進によることが指摘されている (Joslin and Wolfe, 1999). そのため, 多くの研究ではチューブ埋設から時間をおいてから観測を始めている. Fukuzawa et al. (2013) においても, チューブ埋設の翌年から観測を始めており, チューブ埋設の影響は大きくないと考察されている. 一方, Ruess et al. (1998) は複数年の観測から, 細根生産が暖かく乾燥した年に高いことを示唆した. Fukuzawa et al. (2013) は各年の気候条件を比較し, 2002年の生育期 (5月-8月) の平均地温は観測期間の中で平均的, 平均気温は最低であった一方, 春 (3月-4月) の平均気温が全期間平均より 1.2℃ 高かったことを指摘した. 関連して, 2002年に東アジア全体において生育期初期の純生態系生産量 (総光合成量と生態系の総呼吸量の差) が高いことが報告されており, 同年の春季の高温が樹木葉の展開時期を早め光合成量が増加したためであることが示唆されている (Saigusa et al., 2008). 細根生産量は地上部生産量と正の関係性をもつことから (Vogt et al., 1986), この年の高い地上部生産量が細根生産量を高めたことが示唆される.

また, 各年の年細根枯死分解が年細根生産よりも最大で 60% 低かった (第5図, 第3表). 細根生産と細根枯死の関係性については既往研究でもさまざまな報告がある. 例えば, Noguchi et al. (2005) は, 温帯のスギ人工林において細根生産と細根枯死がほぼ釣り合っていることを報告した. 一方, 細根枯死量の方が低くなるとの報告が米国の冷温帯林や草地において報告されている (Hendrick and Pregitzer, 1993; Gill et al., 2002). Gill et al. (2002) はこの不一致をチューブ埋設



第5図 各チューブおよび土壌深度における年細根生産と年細根枯死分解の関係. Fukuzawa et al. (2013) より改変. 図中の斜線は 1 : 1 線を示す.

後に出現した若い根をみていることと, 前述のとおりチューブ埋設後の細根生産の促進のためとした. しかし, Fukuzawa et al. (2013) においては, 最も細根が集中する表層 0-15 cm 層の細根生産・枯死比率は年によって大きく変化しなかったことから (第3表), チューブ埋設の影響は小さいと考察された. 他方, 観測年数の経過に伴い細根枯死が増加することや, 細根生産と細根枯死が釣り合うまでには数年を要することが報告され, 長期観測の必要性が指摘されている (Joslin et al., 2000; Krasowski et al., 2010).

6. 細根ターンオーバー速度と森林生態系の NPP における細根生産の寄与

北海道北部の冷温帯林において, 細根生産ターンオーバー速度は 0.2-2.7 yr⁻¹, 細根枯死分解ターンオーバー速度は 0-1.6 yr⁻¹ と算出された (第4表). 細根生産および枯死分解ターンオーバー速度ともに深度が増すごとに低下したことから, 表層において細根の寿命が短いまたは分解が速いことが示唆された. Fukuzawa et al. (2007) はミニライゾトロンの画像解析における直径 0.5 mm 未満の根の割合が表層 0-15 cm では 80% であったのに対し, 30-45 cm においてはわずか 16% であることを報告しているように, 深度によって細根の直径分布が大きく異なる. 直径が小さい根ほど寿命が短く, ターンオーバー速度が大きいことが知られており, 深度ごとの直径分布の違いが細根ターンオーバー速度の違いをもたらす大きな要因であると考えられる (Joslin et al., 2006).

第4表 各年における根長密度 (RLD) に対する年細根生産 (P) または年細根枯死分解 (M) の比率として計算される細根ターンオーバー速度 (yr^{-1}).

土壌深度 (cm)	年	生産		枯死分解	
		P / RLD _{最大}	P / RLD _{平均}	M / RLD _{最大}	M / RLD _{平均}
0-15	2002	1.65 (0.33) a	2.65 (0.64) a	0.95 (0.27) a	1.57 (0.54) a
	2003	0.79 (0.05) ab	1.00 (0.02) ab	0.53 (0.08) a	0.67 (0.11) a
	2004	0.43 (0.03) b	0.44 (0.01) b	0.30 (0.15) a	0.30 (0.13) a
	3年平均	0.84 (0.05)	1.04 (0.11)	0.53 (0.08)	0.66 (0.13)
15-30	2002	0.73 (0.14) a	1.66 (0.80) a	0.03 (0.03) a	0.05 (0.04) a
	2003	0.56 (0.15) a	0.72 (0.26) ab	0.10 (0.03) a	0.12 (0.04) a
	2004	0.16 (0.06) a	0.17 (0.06) b	0.09 (0.08) a	0.09 (0.08) a
	3年平均	0.42 (0.08)	0.52 (0.12)	0.08 (0.03)	0.10 (0.03)
30-45	2002	0.81 (0.15) a	2.76 (1.23) a	0 a	0 a
	2003	0.69 (0.15) a	1.01 (0.28) ab	0.01 (0.01) a	0.01 (0.01) a
	2004	0.19 (0.10) a	0.20 (0.11) b	0.05 (0.05) a	0.05 (0.05) a
	3年平均	0.49 (0.09)	0.62 (0.10)	0.03 (0.02)	0.03 (0.02)

平均と標準誤差 (n = 3) を示す。RLD_{最大} : 年間の最大 RLD, RLD_{平均} : 年間の平均 RLD.
異なるアルファベットは, 各土壌深度において観測年の間に有意な差 (Tukey HSD 検定, $P < 0.05$) があることを示す。
Fukuzawa et al. (2013) より改変。

第5表 既往研究との細根ターンオーバー速度および細根生産量の比較.

地域・森林タイプまたは樹種	土壌深度 (cm)	観測方法 (細根枯死の定義)	ターンオーバー速度 (yr^{-1}) 細根生産量 ($\text{g m}^{-2} \text{yr}^{-1}$)	引用元
細根生産ターンオーバー速度				
カナダ, 寒帯林	0-30	ミニライゾトロン	1.4-3.3	Steele et al. (1997)
米国, 温帯林	0-10	ミニライゾトロン	0.7-0.8	Burton et al. (2000)
米国, 冷温帯林	0-30	ミニライゾトロン	1.0-1.1	Hendrick and Pregitzer (1993)
中部地方, 冷温帯林	0-20	ミニライゾトロン	0.9-1.2	Satomura et al. (2006)
全球, 全タイプ (レビュー)	-	複数の方法	0.1-2.6	Gill and Jackson (2000)
全球, 全タイプ (レビュー)	-	ミニライゾトロン	1.2	Finér et al. (2011)
欧州, ブナ・トウヒ林 (レビュー)	-	決定行列法 (連続コア)	0.9-1.1	Brunner et al. (2013)
北海道北部, 冷温帯林	0-15	ミニライゾトロン	0.8, 1.0	Fukuzawa et al. (2013)
細根枯死ターンオーバー速度				
米国, 温帯林	0-10	ミニライゾトロン (枯死 / 消失)	0.4-0.5	Burton et al. (2000)
米国, 草地	0-20	ミニライゾトロン (枯死 / 消失)	0.3	Gill et al. (2002)
中部地方, 冷温帯林	0-20	ミニライゾトロン (消失)	0.4-1.1	Satomura et al. (2006)
北海道北部, 冷温帯林	0-15	ミニライゾトロン (消失)	0.5, 0.7	Fukuzawa et al. (2013)
細根生産量				
カナダ, 寒帯林	0-30	ミニライゾトロン	58-235	Steele et al. (1997)
米国, 冷温帯林	0-30	ミニライゾトロン	730-808	Hendrick and Pregitzer (1993)
関東地方, スギ人工林	0-40		320	Noguchi et al. (2005)
寒帯, 寒帯林 (レビュー)	-	複数の方法	311	Finér et al. (2011)
温帯, 温帯林 (レビュー)	-	複数の方法	428	Finér et al. (2011)
全球, 全タイプ (レビュー)	-	ミニライゾトロン	420	Finér et al. (2011)
欧州-北米, 寒帯広葉樹林 (レビュー)	-	複数の方法	201	Yuan and Chen (2010)
北海道北部, 冷温帯林	0-60	ミニライゾトロン	589, 726	Fukuzawa et al. (2013)

- : レビューにおいて土壌深度が統一されていないことを示す。

Fukuzawa et al. (2013) は, RLD 最大値, RLD 平均値を用いた3年平均算出値の順に表示。

Fukuzawa et al. (2013) におけるターンオーバー速度の最大値 (1.7 yr^{-1} : RLD_{最大} を用いた算出値) は, Gill and Jackson (2000) による細根生産ターンオーバー速度のレビュー (0.1 ~ 約 2.6 yr^{-1}) の上限に近く, Steele

第6表 冷温帯林における樹木とクマイザサの地上部純一次生産量 (NPP) と地下部・細根生産量.

部位	NPP (g m ⁻² yr ⁻¹)
地上部	
樹木リターフォール	267 (75)
樹木肥大成長	72 (19)
樹木地上部計	339
ササ葉	230 (37)
ササ稈	459 (105)
ササ地上部計	689
地下部	
樹木粗根肥大成長	16 (4)
細根生産	589 (107), 726 (132)
地上部・地下部生産合計	1632, 1769
細根生産割合 (%)	36, 41

平均と () 内に標準偏差を表示. 反復数は, 樹木の肥大成長率測定にて3, 地上部ササ NPP にて4, 細根生産にて6, リターフォールにて9であった. 細根生産においては, RLD_{最大値}, RLD_{平均値}を用いた算出値の順に表示. 樹木地上部および粗根の肥大成長率は, 地上部および粗根バイオマスに肥大成長率を乗じるにより算出した. Fukuzawa et al. (2013) より改変.

et al. (1997) による 1.4–3.3 yr⁻¹ の範囲に収まっていた (第5表). 一方, 表層 15 cm の3年平均細根生産ターンオーバー速度は多くの既往研究の報告と一致した (Burton et al., 2000; Hendrick and Pregitzer, 1993; Satomura et al., 2006; Brunner et al., 2013; Finér et al., 2011). 細根枯死ターンオーバー速度に関する報告は生産よりも限られている. Fukuzawa et al. (2013) の表層 0–15 cm における3年平均細根枯死分解ターンオーバー速度 0.5 または 0.7 yr⁻¹ (第4表) は, Satomura et al. (2006) の 0.5–1.1 yr⁻¹ と同程度か若干低かったのに対し, Burton et al. (2000) の 0.4–0.5 yr⁻¹ より若干高く, Gill et al. (2002) の約 0.3 yr⁻¹ より高かった (第5表).

細根生産ターンオーバー速度より算出した重量ベース・単位土地面積当たりの深さ 60 cm までの平均細根生産量は 589 または 726 g m⁻² yr⁻¹ と算出された (第5表, 第6表). 特に RLD_{平均}を用いたときに Hendrick and Pregitzer (1993) の細根生産量に匹敵した. しかし, カナダのバンクスマツ, アスペン, 黒トウヒ林における報告 (Steele et al., 1997) や関東地方のスギ人工林における細根生産量の報告 (Noguchi et al., 2005) より大きかった. なお, 著者らの研究における 0–30 cm の平均細根生産量は 511 または 628 g m⁻² yr⁻¹ であった. また, 全球スケールでの寒帯林平均や温帯林平均, ミニライゾトロンを用いた細根生産量の平均 (Finér et al., 2011), 寒帯の広葉樹林平均 (Yuan and Chen, 2010) などよりも大きく, 全球スケールでみても北海道北部で

の細根生産量は大きかった. Finér et al. (2011) は, 全球スケールのデータセットによる解析から, 細根生産量に最も強く影響する要因は温度や降水量などの環境要因よりも細根バイオマスであると述べており, 細根ターンオーバー速度の変動よりも細根バイオマスの変動の方が大きいことを示唆している. Fukuzawa et al. (2013) の観測サイトでは, 細根ターンオーバー速度は全球平均に近かったことから, 細根生産量が大きかったのは細根バイオマスが大きいためであると考えられた. また, 梁川 (2015) は, このサイト周辺の樹種構成が異なる複数の林分における総細根バイオマスは, 樹木地上部バイオマスの大きさに対応せず, ササが生育している林分で高まることを報告している. Brassard et al. (2011, 2013) は, 種の多様性が高まると細根バイオマスや細根生産量が増加することを示唆している. また梁川 (2015) では, コア法とイングロスコア法を用いた樹木とササの細根バイオマスと生産量から各植物の細根ターンオーバー速度を算出したところ, 両者の間に有意な差は見られなかった. これらの知見と Fukuzawa et al. (2013) において細根バイオマスに占めるササの割合が高いこと (第2図) をあわせると, 樹木とは異なる機能タイプ (林床植生, 草本) であるササが生育することが細根バイオマスを高め, さらにこの森林の細根生産量を高めていることが示唆された.

一方, 細根生産量は地上部生産量の変化に連動して変化するため, 地上部地下部生産を合計した総 NPP における細根生産量割合が, より森林生産における細根の役割を理解するために有用な指標となる. Fukuzawa et al. (2013) における細根生産割合は 36% または 41% であった (第5表). ターンオーバー速度の計算法の違いは細根生産割合に決定的な違いをもたらさず, 相当量の光合成産物 (炭素) が地下の細根へ転流していることが示唆された. Vogt et al. (1996) は既往研究のレビューにより, 森林全体の NPP に対する地下部生産量の割合を 3–54% と報告しており, Fukuzawa et al. (2013) の結果はその上限に近い. ミニライゾトロンを用いた観測では, Hendrick and Pregitzer (1993) は米国ミシガン州の冷温帯林において細根生産割合を 58–60% と報告しているが, Lopez et al. (2001) はスペインの地中海性ナラ林において 11% と報告している. 一方, Aber et al. (1985) は米国北部の複数のサイトにおいて窒素収支法と連続コア法 (最大–最小) を用いた評価により, 広葉樹林で細根生産割合は 24–41% および 4–35%, 針葉樹林で 18–30% および 10–38% と報告している. Tateno et al. (2004) は近畿地方の冷温帯林においてイングロスコア法を用いて斜面位置に沿った観測により, 細根生産割合が

16-56%で変動し、斜面上部(尾根)に向かうほど高まることを報告している。Fukuzawa et al. (2013) の値はこれらの報告の上限値に近く、森林のNPPにおける細根生産の重要性を示した。

7. おわりに—まとめと今後の展望—

北海道北部の林床にササが生育する冷温帯林における細根バイオマスと、ミニライゾトロンを用いた細根量、細根生産と枯死の時間変化に関する研究事例を紹介した。細根バイオマスの時間変化は小さかったが、RLDは夏に高まる明瞭な季節変化パターンを示した。細根生産は夏中盤から晩夏に高まる明瞭な季節変化パターンを示し、環境要因の関係では地温、気温との関係が強かった一方、土壌水分との関係は弱かった。細根生産速度は、優占樹種であるミズナラとササの地上部フェノロジー ($PAI_{ミズナラ}$, $\Delta PAI_{ササ}$) と有意な正の関係があったことから、温度要因に加えて、上層木と林床植生の内因的要因による影響も受けていることが示唆された。3年間の平均細根生産量はターンオーバー速度の算出法により、589 または $726 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ と見積もられ、それぞれ全NPPの36%、41%を占めた。細根バイオマスにおけるササの割合が大きかったことから、細根生産においてもササの寄与が大きいたことが推定された。これらの結果から、ササが生育する冷温帯林において、細根生産は季節変動と年々変動をすること、そしてかなりの割合の同化産物が地下部の細根系へ転流することが示された。

一方、今後も引き続き取り組まれるべき課題もある。細根枯死分解の時間変化や制御要因は明瞭ではなかった。これには、上述の通り、枯死の定義が関係している可能性がある。しかし、色を基準に枯死判定した場合でも枯死判定が難しいことに変わりはない。近年発達している根圏における非破壊分光画像計測技術(中略ら, 2012)の応用により、生理学的枯死と分解の分離が可能となり、細根枯死-分解の詳細なメカニズム解明が進むことを期待したい。また、短期の観測研究が多いのが現状であるが、長期観測により細根動態の不確実性を減らすことができるであろう。

また、多様な種で構成される混交林における細根動態は、各構成種の細根動態の総和であるが、画像中の根を構成種ごとに分別することは難しいため、種ごとに分けて評価した研究は極めて少ない。本調査地では著者らにより、ミニライゾトロン画像中で白色根と褐色根に分けて評価した結果、木化しない白色根の割合が多かったことから、当該森林においてクマイザサ根の割合が多いことが示唆されている(Fukuzawa et al., 2015)。また北海道東部の比較的植生構成が単純な森林(上層木ミズナラ、林床ミヤコザサの2種)において、

積雪減少を模倣した積雪除去処理を行い、ミズナラとミヤコザサそれぞれの細根動態を評価したところ、細根生産の時間変化パターンは2種の間で大きく変わらないが、積雪減少に対してミヤコザサのみが応答し、細根生産タイミングを早めることが報告され(Fukuzawa et al., 2021)、環境変化に対する細根の応答が種間で異なる可能性が示唆されている。Tanikawa et al. (2019) は、複数の樹種を用いた計測により、可視-近赤外分光反射率の樹種特性を明らかにした。このような新たな画像解析技術を用いることにより、種ごとの細根動態の評価が進めば、環境変動下における細根動態の理解はさらに進むであろう。

謝辞

本研究を進めるにあたり、野口享太郎博士(森林総合研究所)、里村多香美博士(元香川大学)および柴田英昭教授、高木健太郎准教授、佐藤冬樹教授、小池孝良名誉教授、笹賀一郎名誉教授(北海道大学)には多大なご助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- Aber, J. D., Melillo, J. M., Nadelhoffer, K. J., McClaugherty, C. A., Pastor, J. 1985. Fine root turnover in forest ecosystems in relation to quantity and form of nitrogen availability: a comparison of two methods. *Oecologia* 66: 317-321.
- Alvarez-Uria, P., Korner, C. 2007. Low temperature limits of root growth in deciduous and evergreen temperate tree species. *Funct. Ecol.* 21: 211-218.
- Brassard, B. W., Chen, H. Y. H., Bergeron, Y. 2009. Influence of environmental variability on root dynamics in northern forests. *Crit. Rev. Plant Sci.* 28: 179-197.
- Brassard, B. W., Chen, H. Y. H., Bergeron, Y., Pare, D. 2011. Differences in fine root productivity between mixed- and single-species stands. *Funct. Ecol.* 25: 238-246.
- Brassard, B. W., Chen, H. Y. H., Cavard, X., Laganier, J., Reich, P.B., Bergeron, Y., Pare, D., Yuan, Z. Y. 2013. Tree species diversity increases fine root productivity through increased soil volume filling. *J. Ecol.* 101: 210-219.
- Brunner, I., Bakker, M. R., Bjork, R. G., Hirano, Y., Lukac, M., Aranda, X., Borja, I., Eldhuset, T. D., Helmisaari, H. S., Jourdan, C., Konopka, B., Lopez, B.C., Perez, C.M., Persson, H., Ostonen, I. 2013. Fine-root turnover rates of European forests revisited: an analysis of data from sequential coring and ingrowth cores. *Plant Soil* 362: 357-372.
- Burke, M. K., Raynal, D. J. 1994. Fine root growth phenology, production, and turnover in a northern hardwood forest ecosystem. *Plant Soil* 162: 135-146.
- Burton, A. J., Pregitzer, K. S., Hendrick, R. L. 2000. Relationships between fine root dynamics and nitrogen availability in Michigan

- northern hardwood forests. *Oecologia* 125: 389-399.
- Cavard, X., Bergeron, Y., Chen, H. Y. H., Pare, D. 2011. Effect of forest canopy composition on soil nutrients and dynamics of the understorey: mixed canopies serve neither vascular nor bryophyte strata. *J. Veg. Sci.* 22: 1105-1119.
- Dannoura, M., Kominami, Y., Oguma, H., Kanazawa, Y. 2008. The development of an optical scanner method for observation of plant root dynamics. *Plant Root* 2: 14-18.
- Eissenstat, D. M., Duncan, L. W. 1992. Root-growth and carbohydrate responses in bearing citrus trees following partial canopy removal. *Tree Physiol.* 10: 245-257.
- Eissenstat, D. M., Yanai, R. D. 1997. The ecology of root lifespan. *Adv. Ecol. Res.* 27: 1-60.
- Finér, L., Ohashi, M., Noguchi, K., Hirano, Y. 2011. Fine root production and turnover in forest ecosystems in relation to stand and environmental characteristics. *For. Ecol. Manag.* 262: 2008-2023.
- Fukuzawa, K., Dannoura, M., Kanemitsu, S., Kosugi, Y. 2010. Seasonal patterns of root production of Japanese oak seedlings and dwarf bamboo grown in rhizoboxes. *Plant Biosyst.* 144: 434-439.
- Fukuzawa, K., Shibata, H., Takagi, K., Satoh, F., Koike, T., Sasa, K. 2007. Vertical distribution and seasonal pattern of fine-root dynamics in a cool-temperate forest in northern Japan: Implication of the understory vegetation, *Sasa* dwarf bamboo. *Ecol. Res.* 22: 485-495.
- Fukuzawa, K., Shibata, H., Takagi, K., Satoh, F., Koike, T., Sasa, K. 2013. Temporal variation in fine-root biomass, production and mortality in a cool temperate forest covered with dense understory vegetation in northern Japan. *For. Ecol. Manag.* 310: 700-710.
- Fukuzawa, K., Shibata, H., Takagi, K., Satoh, F., Koike, T., Sasa, K. 2015. Roles of dominant understory *Sasa* bamboo in carbon and nitrogen dynamics following canopy tree removal in a cool-temperate forest in northern Japan. *Plant Species Biol.* 30: 104-115.
- Fukuzawa, K., Tateno, R., Ugawa, S., Watanabe, T., Hosokawa, N., Imada, S., Shibata, H. 2021. Timing of forest fine root production advances with reduced snow cover in northern Japan: implications for climate-induced change in understory and overstory competition. *Oecologia* 196: 263-273.
- Gale, M. R., Grigal, D. F. 1987. Vertical root distributions of northern tree species in relation to successional status. *Can. J. For. Res.* 17: 829-834
- Gaudinski, J., Trumbore, S., Davidson, E., Cook, A., Markewitz, D., Richter, D. 2001. The age of fine-root carbon in three forests of the eastern United States measured by radiocarbon. *Oecologia* 129: 420-429.
- Gill, R. A., Burke, I. C., Lauenroth, W. K., Milchunas, D. G. 2002. Longevity and turnover of roots in the shortgrass steppe: influence of diameter and depth. *Plant Ecol.* 159: 241-251.
- Gill, R. A., Jackson, R. B. 2000. Global patterns of fine root turnover for terrestrial ecosystems. *New Phytol.* 147: 13-31.
- Helmisaari, H. S., Makkonen, K., Kellomaki, S., Valtonen, E., Makkonen, E. 2002. Below- and above-ground biomass, production and nitrogen use in Scots pine stands in eastern Finland. *For. Ecol. Manag.* 165: 317-326.
- Hendrick, R. L., Pregitzer, K. S. 1992. The demography of fine roots in a northern hardwood forest. *Ecology* 73: 1094-1104.
- Hendrick, R. L., Pregitzer, K. S. 1993. The dynamics of fine root length, biomass, and nitrogen content in two northern hardwood ecosystems. *Can. J. For. Res.* 23: 2507-2520.
- Hendricks, J. J., Hendrick, R. L., Wilson, C. A., Mitchell, R. J., Pecot, S. D., Guo, D. 2006. Assessing the patterns and controls of fine root dynamics: an empirical test and methodological review. *J. Ecol.* 94: 40-57.
- Hertel, D., Moser, G., Culmsee, H., Erasmi, S., Horna, V., Schuldt, B., Leuschner, C. 2009. Below- and above-ground biomass and net primary production in a paleotropical natural forest (Sulawesi, Indonesia) as compared to neotropical forests. *For. Ecol. Manag.* 258: 1904-1912.
- Joslin, J. D., Gaudinski, J. B., Torn, M. S., Riley, W. J., Hanson, P. J. 2006. Fine-root turnover patterns and their relationship to root diameter and soil depth in a ¹⁴C-labeled hardwood forest. *New Phytol.* 172: 523-535.
- Joslin, J. D., Wolfe, M. H. 1999. Disturbances during minirhizotron installation can affect root observation data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 218-221.
- Joslin, J. D., Wolfe, M. H., Hanson, P. J. 2000. Effects of altered water regimes on forest root systems. *New Phytol.* 147: 117-129.
- Joslin, J. D., Wolfe, M. H., Hanson, P. J., 2001. Factors controlling the timing of root elongation intensity in a mature upland oak stand. *Plant Soil* 228: 201-212.
- Karizumi, N. 1977. Root biomass. In: Shidei, T., Kira, T. eds., *Primary Productivity of Japanese Forests*, JIBP Synthesis 16. University of Tokyo Press, pp 45-52.
- Kozłowski, T. T., Pallardy, S. G., 1997. Vegetative growth. In: Kozłowski, T. T., Pallardy, S. G. eds., *Physiology of Woody Plants*. 2nd edn. Academic Press. pp 36-67.
- Krasowski, M. J., Lavigne, M. B., Olesinski, J., Bernier, P. Y. 2010. Advantages of long-term measurement of fine root demographics with a minirhizotron at two balsam fir sites. *Can. J. For. Res.* 40: 1128-1135.
- Lopez, B., Sabate, S., Gracia, C. A. 2001. Annual and seasonal changes in fine root biomass of a *Quercus ilex* L. forest. *Plant Soil* 230: 125-134.
- Makoto, K., Wilson, S. D., Sato, T., Blume-Werry, G., Cornelissen, J. H. C. 2020. Synchronous and asynchronous root and shoot phenology in temperate woody seedlings. *OIKOS* 129: 643-650.
- Matamala, R., Gonzalez-Meler, M. A., Jastrow, J. D., Norby, R. J., Schlesinger, W. H. 2003. Impact of fine root turnover on forest NPP and soil C sequestration potential. *Science* 302: 1385-1387.
- McClagherty, C. A., Aber, J. D., Melillo, J. M. 1982. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. *Ecology* 63: 1481-1490.

- McCormack, M. L., Adams, T. S., Smithwick, E. A. H., Eissenstat, D. M. 2014. Variability in root production, phenology, and turnover rate among 12 temperate tree species. *Ecology* 95: 2224-2235.
- Moore, P. T., Van Miegroet, H., Nicholas, N. S. 2007. Relative role of understory and overstory in carbon and nitrogen cycling in a southern Appalachian spruce-fir forest. *Can. J. For. Res.* 37: 2689-2700.
- Nadelhoffer, K. J., Aber, J. D., Melillo, J. M. 1985. Fine roots, net primary production, and soil nitrogen availability: A new hypothesis. *Ecology* 66: 1377-1390.
- Nadelhoffer, K. J., Raich, J. W. 1992. Fine root production estimates and below-ground carbon allocation in forest ecosystems. *Ecology* 73: 1139-1147.
- 中路達郎, 野口享太郎, 小熊宏之 2012. 根圏動態研究における非破壊分光画像計測の可能性. *植物科学の最前線* 3: 22-29.
- Narisetti, N., Henke, M., Seiler, C., Shi, R., Junker, A., Altmann, T., Gladilin, E. 2019. Semi-automated Root Image Analysis (saRIA). *Sci. Rep.* 9: 19674.
- Nilsson, M. C., Wardle, D. A. 2005. Understory vegetation as a forest ecosystem driver: evidence from the northern Swedish boreal forest. *Front. Ecol. Environ.* 3: 421-428.
- Noguchi, K., Sakata, T., Mizoguchi, T., Takahashi, M. 2005. Estimating the production and mortality of fine roots in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantation using a minirhizotron technique. *J. For. Res.* 10: 435-441.
- Oliveira M. R. G., van Noordwijk, M., Gaze, S. R., Brouwer, G., Bona, S., Mosca, G., Hairiah, K. 2000. Auger sampling, ingrowth cores and pinboard methods. In Smit, A. L., Bengough, A. G., Engels, C., van Noordwijk, M., Pellerin, S., van de Geijn S. C. eds., *Root Methods: A Handbook*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp. 175-210.
- Persson, H. 1978. Root dynamics in a young Scots pine stand in central Sweden. *OIKOS* 30: 508-519.
- Ruess, R. W., Hendrick, R. L., Bryant, J. P. 1998. Regulation of fine root dynamics by mammalian browsers in early successional Alaskan taiga forests. *Ecology* 79: 2706-2720.
- Santantonio, D., Grace, J. C. 1987. Estimating fine-root production and turnover from biomass and decomposition data: a compartment-flow model. *Can. J. For. Res.* 17: 900-908.
- Saigusa, N., Yamamoto, S., Hirata, R., Ohtani, Y., Ide, R., Asanuma, J., Gamo, M., Hirano, T., Kondo, H., Kosugi, Y., Li, S. G., Nakai, Y., Takagi, K., Tani, M., Wang, H. M. 2008. Temporal and spatial variations in the seasonal patterns of CO₂ flux in boreal, temperate, and tropical forests in East Asia. *Agric. For. Meteorol.* 148: 700-713.
- 里村多香美 2001. ミニライゾトロンによる樹木細根の純生産の解析. *根の研究* 10: 3-12.
- Satomura, T., Fukuzawa, K., Horikoshi, T. 2007. Considerations in the study of tree fine-root turnover with minirhizotrons. *Plant Root* 1: 34-45.
- Satomura, T., Hashimoto, Y., Koizumi, H., Nakane, K., Horikoshi, T. 2006. Seasonal patterns of fine root demography in a cool-temperate forest in central Japan. *Ecol. Res.* 21: 741-753.
- Scarascia-Mugnozza, G., Bauer, G. A., Persson, H., Matteucci, G., Masci, A. 2000. Tree biomass, growth and nutrient pools. In Schulze, E. D. eds., *Carbon and Nitrogen Cycling in European Forest Ecosystems*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg. pp. 49-62.
- Smit, A. L., George, E., Groenwold, J. 2000. Root observations and measurements at (Transparent) interfaces with soil. In Smit, A. L., Bengough, A. G., Engels, C., van Noordwijk, M., O'Pellerin, S., van de Geijn, S. C. eds., *Root Methods: A Handbook*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp. 235-271.
- Steele, S. J., Gower, S. T., Vogel, J. G., Morman, J. M. 1997. Root mass, net primary production and turnover in aspen, jack pine and black spruce forests in Saskatchewan and Manitoba, Canada. *Tree Physiol.* 17: 577-587.
- Steinaker, D. F., Wilson, S. D., Peltzer, D. A. 2010. Asynchronicity in root and shoot phenology in grasses and woody plants. *Glob. Chang. Biol.* 16: 2241-2251.
- Takagi, K., Kotsuka, C., Fukuzawa, K., Kayama, M., Makoto, K., Watanabe, T., Nomura, M., Fukazawa, T., Takahashi, H., Hojyo, H. et al. 2010. Allometric relationships and carbon and nitrogen contents for three major tree species (*Quercus crispula*, *Betula ermanii*, and *Abies sachalinensis*) in northern Hokkaido, Japan. *Eurasian J. For. Res.* 13: 1-7.
- Tanikawa, N., Nakaji, T., Yahara, H., Makita, N. 2019. Exploring patterns of fine root morphological, chemical, and anatomical traits of 12 tree species from visible-near-infrared spectral reflectance. *Plant Soil* 445: 469-481.
- Tateno, R., Hishi, T., Takeda, H. 2004. Above- and belowground biomass and net primary production in a cool-temperate deciduous forest in relation to topographical changes in soil nitrogen. *For. Ecol. Manag.* 193: 297-306.
- Tierney, G. L., Fahey, T. J., Groffman, P. M., Hardy, J. P., Fitzhugh, R. D., Driscoll, C. T., Yavitt, J. B. 2003. Environmental control of fine root dynamics in a northern hardwood forest. *Glob. Chang. Biol.* 9: 670-679.
- Tingey, D. T., Phillips, D. L., Johnson, M. G. 2000. Elevated CO₂ and conifer roots: effects on growth, life span and turnover. *New Phytol.* 147: 87-103.
- Tingey, D. T., Phillips, D. L., Johnson, M. G., Rygielwicz, P. T., Beedlow, P. A., Hogsett, W. E. 2005. Estimates of Douglas-fir fine root production and mortality from minirhizotrons. *For. Ecol. Manag.* 204: 359-370.
- Toyooka, H. 1983. Sasa growing in Hokkaido as biomass resources. *Bamboo J.* 1: 22-24.
- Tryon, P. R., Chapin III, F. S. 1983. Temperature control over root growth and root biomass in taiga forest trees. *Can. J. For. Res.* 13: 827-833.
- Vogt, K. A., Grier, C. C., Vogt, D. J. 1986. Production, turnover, and nutrient dynamics of above- and belowground detritus of world forests. *Adv. Ecol. Res.* 15: 303-377.
- Vogt, K. A., Vogt, D. J., Bloomfield, J. 1998. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production

- of forests at an ecosystem level. *Plant Soil* 200: 71-89.
- Vogt, K. A., Vogt, D. J., Palmiotto, P. A., Boon, P., O'Hara, J., Asbjornsen, H. 1996. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. *Plant Soil* 187: 159-219.
- Yajima, T., Watanabe, N., Shibuya, M. 1997. Changes in biomass of above- and under-ground parts in *Sasa kurilensis* and *Sasa senanensis* stands with culm height. *J. Jpn. For. Soc.* 79: 234-238.
- 梁川紗奈江 2015. 林床植生ササが森林の細根動態及び養分吸収に果たす役割. 北海道大学修士論文 pp. 58.
- Yuan, Z. Y., Chen, H. Y. H. 2010. Fine root biomass, production, turnover rates, and nutrient contents in boreal forest ecosystems in relation to species, climate, fertility, and stand age: Literature review and meta-analyses. *Crit. Rev. Plant Sci.* 29: 204-221.
- Yuan, Z. Y., Chen, H. Y. H. 2012. Fine root dynamics with stand development in the boreal forest. *Funct. Ecol.* 26: 991-998.
- Yuan, Z. Y., Chen, H. Y. H. 2013. Simplifying the decision matrix for estimating fine root production by the sequential soil coring approach. *Acta Oecol.* 48: 54-61.

書籍紹介

書評『森林保護学の基礎』小池孝良, 中村誠宏, 宮本敏澄 編, 191 pp, 農文協, 東京, 2021, (本体 4200 円+税, ISBN : 978-4-540-12210-1).

大橋瑞江

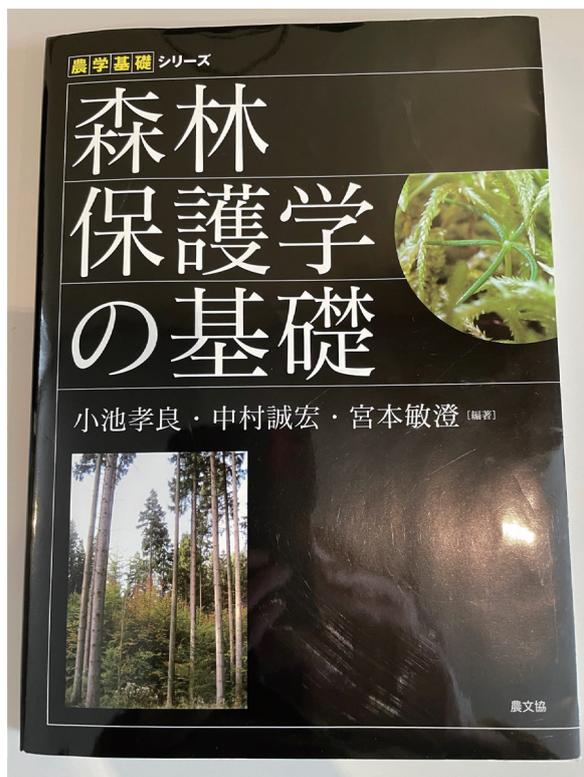
兵庫県立大学環境人間学部

本書は森林保護学の「基礎」と名付けているが、読んで欲しい読者は決して初学者だけではない。樹木、森林、生態、環境など、関連の専門家や研究者にも、ぜひ一読して欲しい一冊である。なぜならこの本は、従来の森林保護学を一新し、時代の要請に応えた新しい保護学を提案した指南書であるからである。

森林保護学の歴史は長い。樹木は寿命が長く、収穫までに数十年を要する。この長期間にわたり、樹木はビニールハウスなどの管理された環境ではなく、野外の厳しい自然の中で過ごす。そして台風や干ばつなどの自然災害、病害の発生などに襲われる。人の手で植栽された樹木にとって、これらのイベントを乗り越えて生育することは容易ではなく、人によって適宜、保護することが必要となる。日本は古来より森林資源に恵まれてきたため、山で森林を育て、収穫する産業が成り立ってきた。そのために森林を適切に管理し、保全するための学問も必然的に発展してきた。そのような必然性の中で生まれてきたのが森林保護学である。そして近年、気候変動などの環境問題が危惧される中で、森林保護学は新たな方向性を求められている。それが本書で紹介される、生態系の一部としての森林の管理であり、生態系サービスを損なわない「総合的生物多様性管理 (IBM)」である。

本書は「基礎」と名付けていることから、学生や一般の読者が手に取りやすい工夫が至るところでなされている。全体を通じてカラフルな写真やイラストをふんだんに使い、専門的な内容を平易な言葉でわかりやすく解説している。また科学的な図表を、必要のない線を省いてシンプルな形に改変し、色や矢印を効果的に配置することで、誰にでもわかりやすいように掲載している。これらの工夫は、幅広い読者に向けたものでありながら一方で、専門家にも十分に学べる内容となっている。例えば鮮明なカラー写真は森林の病害や害虫がもたらす病徴を示す重要な資料であり、統計に裏付けられた図表は最新の研究成果から精選されたものである。さらに豊富な注釈は幅広い内容に及ぶ専門用語をきめ細やかに網羅している。

本書は8つの章から構成されている。序章では、「森



林保護学とは何か？」という問いかけをもとに、森林保護学の定義の変遷を説明している。第1章「森林生態系の特徴と地域環境」では、森林の機能と多様性の維持機構を解説しながら、森林の衰退と保護の必要性を説いている。第2章「森林被害の特徴と保護の考え方」では、造林の歴史及び森林の利用と被害の歴史を概説しながら、人工林での保育施策が森林保護の一環であることを説明している。続く第3章は、「気象災害、火災、大気汚染からの森林の保護」についてである。低温や大気汚染など自然がもたらすストレスやかく乱による被害を取り上げ、症状、特徴、原因、対策を写真や図解を用いて詳述している。気象災害が多く、気候変動の影響が不透明な日本では、これらの知識を生かして長期的視野に立った造林計画を立てることが重要であろう。第4章「病害—病原微生物や寄生による樹木への影響」は、林業関係者や造園業者にとって最

も実用的な章であるといえよう。病名を具体的に上げながら、タネ、芽生えの段階、枝や幹の病害、葉の病害とわかりやすく分類して、病気の原因や症状、防除法を解説している。第5章の「害虫—昆虫による樹木への影響」もまた、実用的な知見に富む章であるが、それだけにはとどまらない。害虫とは何か、という問いかけに始まり、ただの昆虫と害虫の違いや生物多様性の観点をもつ総合的な森林防除、害虫管理の必要性を説き、樹木側の反応についても生物相互作用の視点を取り入れて解説している。第6章は「野生動物と森林管理」である。野生動物による林業被害の歴史と、生態系の一員としての役割に配慮した近年の管理の考え方について紹介している。最後の第7章は、「森林保護から生態系保全へ」として新しい保護学の考え方を提唱する本書の総括である。病虫害を管理するだけでなく、生物多様性をより豊かにすることによって害虫

を「ただの虫」に位置付けるという画期的な考え方を示し、生物多様性の維持・増進をもたらす新たな総合防除を森林保護に導入することを提案している。

本書を読むと、森林を保護するということは、我々日本人にとって身の回りの自然を守るということと同じであることに気づかされる。それほど森林は我々にとって身近な存在であり、我々の生活は森林がもたらす生態系サービスの上に成り立っている。本書は「学」という言葉からは敷居の高さを、黒い表紙からはとっつきにくさを感じるかもしれない。しかし環境問題に関心がある人、自然や生物が好きな人は、是非手に取ってページを開いてみて欲しい。森林保護に関する知識を得るだけでなく、知らず知らずのうちに執筆者らの熱意に引き込まれ、生態と環境に関する学問分野への深い関心が生まれるに違いない。

菜根譚 野菜の根の話

中野明正

千葉大学 学術研究・イノベーション推進機構

15. 宇宙から見た根

2021 年は人類史上かつてないほど多くの民間人が宇宙を訪れ「宇宙旅行元年」とも呼ばれている。かつて、「青かった」や「国境はなかった」など、先人たちが外から見た地球を表現してきた。我々自身が宇宙から地球を眺める可能性も出てきた。そのとき皆さんはその体験をどう表現するだろうか。今すぐに宇宙に行けなくても、想像することはできる。宇宙、つまり大気の外から地球を眺める気持ちになってみる。まずゆで卵を用意しこれを地球に見立てる。宇宙とはこの卵のどこから眺めていることになるのだろうか？まず、地球の直径は、約 13,000 km である。皆さんの周りを包む大気（対流圏）の厚さは、おおよそ 10 km ぐらいなので、地球の直径の 1,000 分の 1 になる。これを卵に当てはめると、おおよそ卵のうす皮が大気に相当する（※卵殻膜は約 0.07 mm = 70 μm とされ、卵の直径を 70 mm とする）。地球は大気というとても薄い皮でおおわれて、その環境を保ち、生き物たちを育てているということに改めて驚かされる。

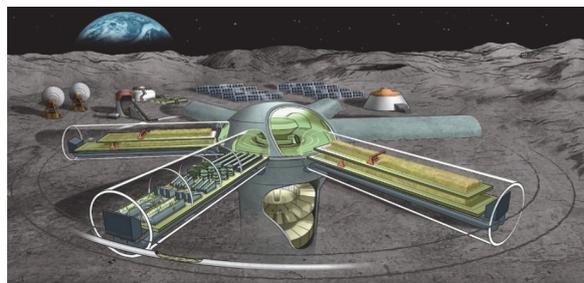
さらに、もっと驚くことがある。土壌の厚さはどうだろうか。小学生にこの話をすると、「地球は土の塊ではないの?」、つまり「地球 = 土」と思う児童も多いようである。その時は、土の成り立ちと農林業との関係を説明することになっている。つまり、①厳密にいうと、農林業で重要な生物を育むのは土（母材）ではなくて「土壌」であるということ。②土壌の「壤」という字は、お酒をつくる「醸す（かもす）」と「つくり」が共通するように、生物により岩石が何億年もの時間をか

けて「醸され」てできたものであること。そして、③その土壌の厚さはなんと 20 cm にも満たなく、薄い大気（対流圏）の厚さのさらに 1 万分の 1 ということ（対流圏は 10 ~ 20 km なので、土壌の厚を 15 cm 程度と考える）。なんと薄い「薄皮」の上に人類は立っているのかを想像してもらおう。さらに、④月に土壌がないこと、そしてそれは、そこには生物がないからということ、を説明する。そのとき、小学生は、土を踏みしめ、空を見上げるのである。

実際に宇宙から地球を体験する人が増えれば、地球の見方も大きく変わるかもしれない。今までかろうじて食料や環境を提供し続けてくれた地球をどのように守り維持し、次の世代につなげていくのか。宇宙から地球を眺めると、薄皮に細い根が縦横無尽に伸びている様子が頭に浮かんでこないだろうか。

参考文献

中野明正 2022. 「おいしく安心な食と農業, 土・環境・未来」文研出版.



月面農業のイメージ (JAXA 提供)

第55回根研究集会のお知らせ (55th Biannual Meeting of JSRR on Line)

今回は、諸般の事情を総合的に勘案しまして、”oVice(オヴィス)”というバーチャル空間で、オンラインにて開催します。詳細は、参加申込みをされた方にご案内を、E-mailでお送りいたします。

本集会では、『根の研究のフロンティア』をテーマに、基盤研究(宇宙)および実用研究(養液栽培)の2名の研究者の方にご講演して頂きます。また一般講演では、口頭発表(12題)とポスター発表(15題)を募ります。本学会は、研究成果を披露するだけでなく、根に関して、意見を聞いたり、問題提起したりする場でもあります。そのような場として、発表の場をご活用いただくよう、奮ってご参加ください。

<日時> 2022年6月4日(土) 9:00~17:15

June 4th, 2022(Sat.) 9:00~17:15

※懇親会 Web 開催で、18:00~20:00 を予定(懇親会は参加無料です)

<場所> オンライン開催のため各自の職場・自宅などからアクセスしていただきます。

Site: Access from your own site.

<参加費> Registration fee (お支払い方法については、後日ご連絡いたします)

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

※非会員の方で、会員として参加される場合には、参加申込み前に学会入会手続きを済ませてください。

<プログラム概要(予定)> Program (tentative)

6月4日(土)

9:00-9:10 受付 Registration (※おおよそこの時間にお入りください)

9:10-9:15 開会の挨拶 Opening remarks

9:15-10:30 「宇宙と根の研究」招待講演1 “Root Method” Special Lecture 1

10:30-11:45 「養液栽培と根の研究」招待講演2 “Root Method” Special Lecture 2

11:45-12:30 お昼休憩 Lunch break

12:30-16:00 口頭発表 (12 課題)

16:00-17:15 ポスター発表 (15 課題)

17:15-18:00 総会 (優秀発表賞の発表を含む)

18:00-20:00 懇親会 (Web において開催予定: 懇親会の参加費は無料)

20:00-20:10 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・研究発表の申込み> Registration

* 各種締切日

・ 参加・発表申込み: 2022年5月6日(金) Registration for presentation: by May 6th (Fri.), 2022.

・ 講演要旨提出: 2022年5月13日(金) Abstract: by May 13th (Fri.), 2022

予定した発表数に達しましたら、受付を締め切りますので、ご了承ください。

Please note that the registration will be closed when the number of presentations reaches the expected number.

【参加または発表申込み Registration method】 ※まずはお申込みをお願いします。

***参加・発表申込締め切り：2022年5月6日（金）Registration for presentation: by May 6th (Fri.), 2022.**
参加または研究発表のお申し込みは、下記の(1)～(4)の情報を anakano@chiba-u.jp まで送信ください。

Please send the registration form to anakano@chiba-u.jp

- (1) 参加のみですか、発表されますか？
(Only participation, Oral presentation or Poster presentation)
・参加のみ、・口頭発表、・ポスター発表
- (2) 発表される場合、根研究学会優秀発表賞にエントリー（する・しない）
(Do you entry into The JSRR Excellent Presentation Award? Yes or No)
- (3) 氏名、所属
(Name and affiliation)
- (4) 連絡先：メールアドレス
(E-mail address)

※口頭発表（15分：質問込み）Oral presentation (15 min include of Question time)

【講演要旨の提出 Abstract submission】

***講演要旨提出の締切り：2022年5月13日（金） Submit by May 13 (Fri.), 2022**

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：anakano@chiba-u.jp

Send the abstract as MS-Word file to anakano@chiba-u.jp

<講演要旨の書き方> (A 4 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 3.5 cm 下 16.0 cm 左右 2.5 cm 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、問合せ先> Contact

中野明正（千葉大）〒277-0882 千葉県柏市柏の葉 6 丁目 2-1（柏の葉キャンパス）

E-mail : anakano@chiba-u.jp

Akimasa Nakano (Chiba University) 6-2-1 Kashiwa no ha, Kashiwa, Chiba, 277-0882, JAPAN

第 54 回根研究集会に参加して

栗原僚

前橋工科大学大学院 工学研究科 生物工学専攻 2 年

第 54 回根研究集会が、2021 年 11 月 27・28 日にオンラインにて開催されました。ここで 2 日間通しての集会の様子と感想を述べたいと思います。まず 1 日目は、中路達郎先生、檀浦正子先生による「根を測る」招待講演から始まりました。「根を測る」と一概に言っても、近赤外反射率を用いたものや、市販のスキャナを土壌中に埋没させるものなど様々な手法が有ることを知り、「根を測る」ことの奥深さを改めて知ることが出来ました。その次に根研究学会賞として、小柳敦史先生、藤田早紀先生による講演が行なわれ、根域の環境改善により、食糧自給率の向上や東日本大震災の復興などに役立っていることを知り、今後の根系研究の可能性を感じました。その後「根を測る」Workshop として田島亮介先生による画像解析ソフトウェアを用いた植物の形態解析方法について、各々が集会前に取り込んだ ImageJ を使い、簡単な画像処理を教えてくださいました。画像から具体的な植物の形態を把握することが出来る技術を、今までそのようなソフトウェアに触れたことがない私でも、楽しく分かりやすく理解することができ、今回の Workshop のように各々のパソコンを使用するような講義は、対面ではなくオンライン開催だからこそスムーズに行えたのではないかと感じています。

2 日目は 9 時からポスター発表が始まり、根を測る部門が 8 題、一般研究が 17 題での発表が行なわれました。私は一般研究部門で参加し、桑という植物中の有効成分についての研究発表を行ないました。桑を水耕栽培するというあまり目立たない研究テーマだと感じていましたが、同じ根を研究するものとして、桑という植物についての生理機能や有効成分、実験条件について意欲的に意見交換を行なうことで、自身の研究

課題を様々な視野から見つめ直す機会となり、今後の研究活動の弾みになりました。私は全てのセッションに参加することは出来ませんでした。それぞれ 30 分の持ち時間で熱心な議論が展開されていたようであり、終了予定時刻の 12 時を過ぎても滞ることなく討論が行なわれていました。最後になりますが、第 54 回根研究集会を運営された関谷信人先生はじめ根研究集会実行委員の先生方に深く御礼申し上げます。



根研究集会の様子①



根研究集会の様子②

第 54 回根研究集会プログラム

2021 年 11 月 28～29 日の 2 日間にわたり 73 名の参加者を得て第 54 回根研究集会が開催されました。本集会では、「根を測る最前線」を全体テーマとして、招待講演、ワークショップ、ポスターセッションが企画されました。

初日には、根を測る技法の開発において目覚ましい成果を上げられた中路達郎（北海道大）会員と檀浦正子（京都大）会員に「根を測る」と題して講演して頂きました。また、田島亮介（東北大）会員には「根長測定ワークショップ」と題して ImageJ の根長測定マクロプログラムの使用法をご指導いただきました。

翌日には、根を測るための技法紹介に特化した「根を測る」セッション（8 課題）と通常の研究紹介である「一般研究」セッション（17 課題）にて研究ポスターが発表されました。「根を測る」セッションで発表された研究は、英文誌 *Plant Root* に新設されたカテゴリー「Root Method」に掲載される道が用意されています。

異分野から集合した根研究者の全てが「根を測る」ことに強い関心を持っており、この“共通言語”のおかげで参加者の活発なインタラクションを生み出すことができました。

<日 時> 2021 年 11 月 27 日（土）9:00～2021 年 11 月 28 日（日）12:50

<方 法> Zoom オンライン会議システム

<プログラム概要>

11 月 27 日（土）

- 09:00-10:00 受付
- 10:00-10:10 開会の挨拶
- 10:10-11:40 「根を測る」招待講演 1
- 11:40-13:00 お昼休憩
- 13:00-14:00 「根を測る」招待講演 2
- 14:00-14:20 休憩
- 14:20-14:30 受賞式
- 14:30-15:30 受賞講演
- 15:30-15:45 休憩
- 15:45-17:30 根長測定ワークショップ
- 18:45-20:00 懇親会

11 月 28 日（日）

- 09:00-10:25 ポスターセッション（根を測る 1～8, 一般研究 1～4）
- 10:25-10:35 休憩
- 10:35-12:05 ポスターセッション（一般研究 5～17）
- 12:05-12:15 休憩

12:15-12:30 事務連絡
12:30-12:40 優秀発表賞表彰式
12:40-12:50 閉会の挨拶

<プログラム詳細>

11月27日(土)

09:00-10:00 受付

10:00-10:10 開会の挨拶

10:10-11:40 招待講演 1

地中を分光観測してみると

中路達郎(北海道大学)

11:40-13:00 お昼休憩

13:00-14:00 招待講演 2

根を測る—スキャナ法による根の動態解析

檀浦正子(京都大学農学研究科)

14:00-14:20 休憩

14:20-14:30 受賞式

14:30-15:30 受賞講演

<学術功労賞>小柳 敦史(農研機構)

コムギをはじめとする作物根の根系形成とその改善による環境ストレス耐性の向上に関する研究

<学術奨励賞>藤田早紀(森林研究・整備機構 森林総合研究所)

東日本大震災の復興を担う海岸林造成に関する根系評価に関する基礎研究

15:30-15:45 休憩

15:45-17:30 ImageJ 根長測定ワークショップ

画像解析アプリケーション ImageJ を用いた解析の実例

田島亮介(東北大学大学院農学研究複合生態フィールド教育研究センター)

18:45-20:00 懇親会

11月28日(日) ★優秀発表賞エントリー

9:00-9:30 根を測る 1★

SfM を用いた樹木根の分岐角度の計測

岡本祐樹^{1*}・池野英利²・平野恭弘³・谷川東子⁴・山瀬敬太郎⁵・藤堂千景⁵・檀浦正子⁶・大橋瑞江¹

¹兵庫県立大学環境人間学研究科 ²福知山公立大学情報学部 ³名古屋大学大学院環境研究科 ⁴名古屋大学大学院生命農学研究科 ⁵兵庫県立農林水産技術総合センター ⁶京都大学大学院農学研究科

9:05-9:35 根を測る 2★

ルートプレッシャープローブを用いたイネ個根の水通導性測定及び異形根の水吸収能力の評価

渡邊友実加*・三屋史朗・山内章

名古屋大学大学院生命農学研究科

9:10-9:40 根を測る 3★

エックス線 CT を用いたイネ根系計測のためのベクトル化ソフトウェアの開発

寺本翔太¹，七夕高也²，宇賀優作^{1*}

¹農研機構・作物研究部門²かずさ DNA 研究所

9:15-9:45 根を測る 4★

シロイヌナズナ根部のみを光から保護する市販シャーレ用アタッチメントの考案

市川晴雪・陽川憲*

北見工業大学

9:20-9:50 根を測る 5★

非接触スキャナを用いた地表根評価手法の効率化

宮下智貴*・塩野克宏

福井県立大学大学院生物資源学研究科

9:25-9:55 根を測る 6

回帰モデルを利用した根の位置情報からの細胞の齢の推定とその利用

山内卓樹^{1*}・犬飼義明²・中園幹生³

¹名古屋大学生物機能開発利用研究センター・²名古屋大学農学国際教育研究センター・³名古屋大学大学院生命農学研究科

9:30-10:00 根を測る 7

養液栽培における生育阻害要因の迅速解析にむけた画像処理システムの構築

中野明正*¹・趙鉄軍²・

¹千葉大学学術研究・イノベーション研究推進機構，²新潟食料農業大学

9:35-10:05 根を測る 8

生育期間を通じた圃場におけるイネの根の現存量，発生量，枯死量の推定

田島亮介^{1*}，茄子川恒²，増子晶彦¹，那波多目健太¹，宇野亨¹，西田瑞彦¹，伊藤豊彰³，齋藤雅典^{1,4}

¹東北大学大学院農学研究科，²山形大学農学部，³新潟食料農業大学，⁴現・岩手大学農学部

9:40-10:10 一般研究 1★

桑種子苗の水耕栽培時の根域の気相曝露処理による有効成分の変動

栗原僚¹，神戸隆介²，木下明³，本間知夫^{1*}

¹前橋工科大学・院・生物工学²神戸万吉商店³ハイトカルチャ

9:45-10:15 一般研究 2★

チガヤ 2 生態型間 F1 雑種における両親を上回る通気組織の可塑性

野村康之^{1,2,*}・有馬聡²・京極大助³・山内卓樹⁴・富永達²

¹龍谷大学 食と農の総合研究所・²京都大学 農学研究科・³兵庫県立 人と自然の博物館・⁴名古屋大学 生物機能開発利用研究センター

9:50-10:20 一般研究 3★

播種深度および土壌水分の変化がイネの根の伸長へ及ぼす影響

米倉茉優^{1*}・塩津文隆²

¹明治大学大学院農学研究科・²明治大学農学部

9:55-10:25 一般研究 4★

2次元酸素オプトード法を用いた根圏酸化モニタリング法の確立

芝日菜子^{*}、塩野克宏

福井県立大学生物資源学部

10:25-10:35 休憩

10:35-11:05 一般研究 5★

リン局所施肥に対するコムギ根系の時空間的応答

橋本叡信^{1*} ・ 村上隼² ・ 青木博光¹ ・ 神山拓也¹

¹宇都宮大学農学部 ・ ²宇都宮大学大学院地域創生科学研究科

10:40-11:10 一般研究 6★

イネの酸素漏出バリア誘導のトリガーを感知する組織の探索

江岸祐夏^{*}、塩野克宏

福井県立大学生物資源学部

10:45-11:15 一般研究 7★

深根性緑肥作物の根系発達が土壌硬度および三相分布、飽和透水係数に及ぼす影響

アクリッシュ穂波^{*}・荒川竜太・瀬上修平・大石真実(大阪環農水研)

10:50-11:20 一般研究 8★

キキョウの発育及び根組織内機能性成分含量に及ぼす菌根菌共生の影響

酒井菜々子^{1*}、松原陽一²、渡部大輔³、尾関俊亮⁴、田澤義之⁴

¹岐阜大院自然科学技術研究科,²岐阜大応用生物科学部,³岐阜市農林部,⁴(株)テイコク

10:55-11:25 一般研究 9★

カリウム欠乏環境でイネの根細胞壁の構造は変化するのか

茂木京菜^{*1} 森泉美穂子² 阿江教治¹ 亀岡笑¹ 小八重善裕¹ 中谷暢丈¹ 保原達¹

酪農学園大学¹ ・ 龍谷大学²

11:00-11:30 一般研究 10★

山岳域における樹木細根の非構造的炭水化物貯蔵の樹種間差

橋本裕生^{*1}・岡本瑞輝¹・Shitephen Wang²・檀浦正子²・牧田直樹¹

¹信州大学理学部,²京都大学大学院農学研究科

11:05-11:35 一般研究 11

シロイヌナズナにおけるビスマスによる根の伸長阻害

長田武*, 西村信人, 辻本葉奈

摂南大学理工学部

11:10-11:40 一般研究 12

アラスカ内陸部の永久凍土クロトウヒ林におけるクロトウヒと下層植生の細根成長

野口享太郎¹・松浦陽次郎²・森下智陽¹・鳥山淳平³・Yongwon Kim⁴

¹森林総研東北・²森林総研・³森林総研九州・⁴アラスカ大学

11:15-11:45 一般研究 13

冷温帯林における林床植生の存在が細根バイオマス・生産量に及ぼす影響

福澤加里部^{1*}・梁川紗奈江²・高木健太郎¹・柴田英昭¹・佐藤冬樹¹

¹北大・北方生物圏セ・²北大院・環境科学

11:20-11:50 一般研究 14

イネ WOX ファミリー遺伝子による可塑的な側根原基サイズの制御機構

河合翼^{1*}・赤星良輔¹・高橋(野坂)美鈴²・高橋宏和¹・兒島孝明¹・佐藤豊²・中園幹生¹・山内章

¹・犬飼義明³

¹名大院生命農学・²遺伝研・³名大農国センター

11:25-11:55 一般研究 15

乾燥と塩の複合ストレス条件下におけるイネ根系反応の品種間差

仲田(狩野)麻奈^{1*}・Cabral Maria Corazon Julaton^{2,3}・Marcelo Via Ann Candelaria³・江原宏¹

¹名古屋大学農学国際教育研究センター・²名古屋大学大学院生命農学研究科・³フィリピンイネ研究所

11:30-12:00 一般研究 16

腐植酸苦土肥料施用が塩条件下のイネの生育に及ぼす影響

曾根 千晴^{1*}・飯野 藤樹²・高橋 真智子³・一條 利治³・増田 隆仁³

秋田県立大学 生物資源科学部¹・デンカ株式会社²・デンカアヅミン株式会社³

11:35-12:05 一般研究 17

長期計測された樹木生体電位のビッグデータ解析と衰退度推定への応用

本間 知夫^{1*}・岡 大輔²・吉岡 威³・茂木 和弘²・白石 洋一²

¹前橋工大・院・生物工 ²群馬大・院・知能機械創製理工 ³内山緑地建設(株)

「根を測る」招待講演

地中を分光観測してみると

中路達郎

北海道大学(nakaji@fsc.hokudai.ac.jp)

本講演では、(1) 樹木細根と土壌の客観判別、(2) 細根形質の非破壊予測、(3) 細根の枯死判別・・・といった課題を解決するべく、諸先生方に誘われ、共同研究者・学生とともに試行錯誤してきた話を紹介する。

1) 土壌と根の分離

植物組織と土壌の分光反射率は特定波長で大きく異なる。特に近赤外波長域(波長 700~1000nm)の反射率は、土壌よりも植物体のほうが高く、上空から地表面を観測する研究(リモートセンシング)では、色情報である可視波長域(波長 400~700nm)とともに近赤外反射率が植生エリアの抽出に多用されている。一方、樹木根研究の現場では、土壌と樹木細根、植物遺体(リター)の色に大きな違いがないことが多く、ライゾトロン等で得られる土壌断面画像の解析における目視判別の難しさや個人差が問題となってきた。このため、画像分類における近赤外反射率の有効性を確かめるべく、ポプラを対象に連続分光反射率画像の計測実験を行った。結果、近赤外波長(850nm 近辺)では、含水率に関わらずその反射率は土壌<リター<細根となること、細根の近赤外反射率は加齢や枯死によって低下することが明らかになり、通常のカラー画像に近赤外情報を加えることで、画像判別の正解率が向上することが示された(Nakaji, Noguchi&Oguma, 2008, PlantSoil)。

2) 樹木根の形質と土壌有機物

一般に、可視~近赤外波長域の反射情報には、色素組成や組織の厚さが反映され、短波長赤外(波長 1000~2500nm)では、水分や二次代謝物質などの成分が影響する。樹木細根研究における連続分光反射率の応用性を知るため、まず、樹木根の形質および種間差がどのように分光反射率で表現されるか調査した。信州大学手良沢山演習林で 12 樹種の細根をサンプリングし、可視~近赤外の連続分光反射率を計測すると、いずれの樹種も可視域から近赤外波長帯にかけて反射率が上昇したが、色の明るさや太さ、SRL の種間差は可視波長域と近赤外波長域における大きな反射率の差として検出された(Tanikawa et al., 2019, PlantSoil)。また、ガラスケース内で育成したポプラの細根と土壌を対象に、短波長赤外域の連続分光反射率画像を計測し、有機物組成の空間分布の予測を試みたところ、成長に伴う炭素、リグニンおよびセルロースの組成変化や蓄積増加が 19~35%の予測誤差で可視化することも示された(Nakaji et al., 2011, Proc. Rhizosphere3)。

3) 枯死判別

樹木根の枯死判別はその定義と客観評価ともに難しい課題である。2019 年から北海道大学苫小牧研究林において、枯死に伴う樹木細根の生理活性、色、組織の変化について集中観測し、それらと画像情報(UV 蛍光、可視、近赤外反射画像)との関係について解析している。ヒノキを対象にした観測では、ヒトの目視・触感による枯死判別(枯死面積率)は呼吸活性と有意な負の相関関係にあった。しかし、枯死率 50%を境に生死 2 グループに分けて比較すると、ヒノキ細根の比重、SRL、RTD、窒素含有量、色情報(色相、彩度、明度)および UV 蛍光強度にはグループ間の有意差は認められなかった。一方、細根直径に対する近赤外反射の強さは枯死根グループで有意に低く、細根直径と近赤外反射率の回帰分析(有意な正相関)における傾きは枯死根のほうが有意に低かった。そこで、画像上で計測可能な直径と近赤外反射率をもとに、枯死部位を予測した結果、枯死面積の予測値(生根グループ 48%, 枯死グループ 62%)は若干の過大評価であるものの、目視判別(同 35%, 61%)と同様の傾向を示した。

以上のように、まだ一般性や予測限界などにも課題はあるが、近赤外波長帯を含む分光反射画像計測は樹木細根の生理的・生態学的な解析において有効なツールであると思われる。(支援: 科研 18H02243, 21K19140)

「根を測る」招待講演

根を測る—スキャナ法による根の動態解析

檀浦正子

京都大学農学研究科

(dannoura.masako.4w@kyoto-u.ac.jp)

根の研究・評価手法は大きく分けて、掘り取り、コアサンプリング、モノリスなどの破壊的な採取を伴う手法と、ライゾトロン、ルートウィンドウ、ミニライゾトロンなどの非破壊的な観察手法とに分けられる。例えば根箱を透明にして観察する場合や、ライゾトロンと呼ばれる設備を作り、地下で根系を観察する場合には、研究対象植物を隔離し生育させることになる。ミニライゾトロンやスキャナ法は、ライゾトロン等と組み合わせて使用することもできるが、生態系の自然状態の中に多点で設置して使用することもできる。いずれの場合も、非破壊的な観察手法において、評価対象となる根系画像は、手描き、カメラ、スキャナ等で獲得されることになる。例えばミニライゾトロンは透明の筒を土壌中に埋め込んで小型 CCD カメラ(Bartz 社製)やスキャナー(CID 社製)で画像を撮影する。

本講演で紹介するスキャナ法^{1,2)}は、市販のスキャナ(多くの場合 A4 サイズ)を土壌中に埋設し、定期的に画像を撮影することで、根の成長や消失を評価するものである。スキャナ法の利点のひとつは観察画面が比較的大きいことである。ミニライゾトロン(Bartz 社では 16*18mm あるいは、CID 社では円筒全周をスキャンするため 216*196mm)に比べ、格段に大きく、根系全体の様子をとらえることができる。また、スキャナを埋設して PC に接続して置けば、連続的に観察できることも利点である。1 台の PC で複数台のスキャナを制御でき、インターネット環境下での自動撮影も可能である。また、安価であるため導入が容易である。

ただし、設置の際には、攪乱の影響を考える必要がある。野外で根を切断するように垂直に撮影面を作成すると、パイオニアルートと呼ばれる通常よりも直径の大きな根が観察され 1 年程度は影響が残ることも報告されている³⁾。ルートマットが形成されるような野外において水平にスキャナを挿入する場合や、圃場などで植物体が小さいときから始める場合は、攪乱の影響をかなり少なくすることができる。

本講演では、いくつかの樹種において撮影した画像や解析事例を紹介する。また根系の画像解析には市販のソフトや、フリーの画像解析用ソフトを使用するが、その画像解析に時間がかかることも課題となっている。そこで、機会学習による根の自動認識プログラムを用いて画像解析を行う研究についても紹介する。この講演で、スキャナ法が意外と簡単だということが分かって、皆様の根に関する疑問を解き明かすツールとして、研究の一助となれば幸いである。

1) Dannoura M., Kominami Y., Oguma H., and Kanazawa Y., The development of an optical scanner method for observation of plant root dynamics. *PlantRoot*, 2, 14-18, 2008.

2) Dannoura M., Kominami Y., Makita N., and Oguma H. Chapter 8 Flat Optical Scanner Method and Root Dynamics, S. Mancuso (ed.), *Measuring Roots*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg pp127-133, 2011. DOI 10.1007/978-3-642-22067-8_8

3) Nakahata, R., Osawa, A. Fine root dynamics after soil disturbance evaluated with a root scanner method. *Plant Soil* 419, 467-487 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3361-3>

「根を測る」ワークショップ

画像解析アプリケーション ImageJ を用いた解析の実例

田島亮介*

東北大学大学院農学研究複合生態フィールド教育研究センター

(tazy@tohoku.ac.jp)

ImageJ はオープンソースの画像解析ソフトウェアであり、様々な画像処理や画像解析を利用者が画面を見ながら直感的におこなうことができるため、医学、生命科学を中心に多くの研究分野で利用されている。ImageJ はアメリカ国立衛生研究所(National Institutes of Health, 略称 NIH)で開発されていた、同様にオープンソースの画像解析ソフトウェアであった NIHImage の後継である。プログラミング言語 Java で構築されており、Windows, Mac, Linux 等の様々な OS 上で動作する。現在も精力的に開発が続けられており、複数のサイトから最新版をダウンロードして利用することができる(<https://imagej.nih.gov/ij/>と <https://imagej.net/software/imagej/>)。ImageJ は画像処理や画像解析の基本的な機能を備えており、単独で利用しても様々な解析をすることが可能だが、利用者が作成したマクロやプラグインを導入することで、一連の動作の自動化やさらに複雑な解析をおこなうこともできる。

マクロとプラグインは ImageJ 上では同じような動作をすることも多いが、その記述方法は異なっている。マクロは Java に似ているものの ImageJ 独自の言語で作成される。一方、プラグインは ImageJ の API(アプリケーション・プログラミング・インタフェース)を利用するものである。そのため、プラグインはマクロより複雑な動作を記述することができ、また同じ動作をする場合にマクロより速く処理できる場合が多い。しかし、簡単なプラグインを作成する場合でも、マクロより記述が煩雑になる。様々な機能を持ったマクロやプラグインが利用者によって作成され、Web 上で公開されており、目的にかなえばそのまま、あるいは目的に応じて変更して利用することができる。また、様々な解析に必要なプラグインがあらかじめ導入された強化版 ImageJ とも言えるソフトウェアとして Fiji がある。Fiji も精力的に開発がなされており、Web から最新版をダウンロードして利用することができる(<https://imagej.net/software/fiji/downloads>)。

近年植物の形態を評価するためにデジタル画像を用いることは一般的になっている。このデジタル画像による植物形態の評価には ImageJ は非常に有用である。しかしながら、利用方法について書かれた「ImageJ User Guide」(<https://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/index.html>, 同じサイトから pdf 版もダウンロード可能)はあるものの、いざダウンロードしても独力ですぐ解析を始めることは容易であるとまでは言えない。そこで、本ワークショップでは ImageJ を利用して、植物の形態の解析をするために必要な基本的な画像処理や画像解析の方法について、実例を紹介しながら説明する。ImageJ の画像処理や画像解析の機能は多岐にわたるが、一般的な解析の際に用いる「Measure」、「Analyze particle...」の利用とその際に有用な画像処理の説明が中心となる。加えて、マクロの利用方法、簡単なマクロの作成方法、発表者が公開している根長測定マクロ(<https://github.com/blukaniro/rootmeasure>)の利用方法についても説明する。

根長測定ワークショップ動画⇄

<https://www.youtube.com/watch?v=lfrqSCBApps>



学術功労賞

コムギをはじめとする作物根の根系形成とその改善による環境ストレス耐性の向上に関する研究

小柳 敦史（農研機構）(oyanagi@affrc.go.jp) 推薦者 辻 博之（農研機構）

【略歴】小柳敦史会員は、1983年4月に農林水産省農業研究センター（現在の農研機構）に採用された。採用後の3年間はサツマイモの塊根裂開症の発症要因についての調査研究を行い、それ以降は一貫してコムギの根系の分布に関する研究を進めた。これまでの農業研究センター、東北農業研究センター・福島研究拠点、作物研究所での28年間の研究生活において、根に関する成果をPlant Rootを含む17編以上の研究論文で発表された。さらに、小柳会員が紹介・提案した根の伸長角度の調査法や根の深さ指数は、明確な作物根系の評価手法として多くの研究者によって用いられており、根の研究の発展に大きく貢献した。

【コムギの根系形成に関する研究】作物の根は養分・水分の吸収に極めて重要な役割を持っているが、その研究の進展は調査に多大な労力を必要とするため地上部と比較して遅滞している。本研究は、コムギの根系形成において根の環境に対する反応が担う役割を明らかにするとともに、根系の深さに着目してコムギの環境ストレス耐性との関係を検討した。

まず寒天培地を用いたコムギ根の重力屈性反応を調査したところ、日本のコムギ品種では水田裏作として栽培される機会の多い南日本で育成された品種は、畑作栽培の多い北日本で育成された品種に比べて種子根の水平面からの伸長角度が小さいことを明らかにした。このことは育成地の気象等の環境条件が品種育成の過程の選抜に影響を及ぼす可能性を示したものである。また、根の伸長角度が異なる品種の水分屈性には明瞭な品種間差異があることを明らかにするとともに、コムギ品種を根の重力屈性の強弱と水分屈性の強弱の組み合わせによる4つのグループに分類した。

次に、寒天培地を用いた評価法をより高精度にするため、バスケット法を開発して温室で得られた根の伸長角度のデータと、その品種が最終的に畑で作る根系の深さに関係があるかどうかを調査した。その結果、幼植物で種子根の伸長角度が大きい品種は畑でも深い根系をつくることを発見し、品種育成において本手法は有用である可能性を示した。

さらに、水田転換畑における耕起栽培と不耕起栽培における根の垂直分布の違いを検討し、不耕起栽培により浅根化する作物（ダイズ、水稻）と大きく変化しない作物（小麦）があることを明らかにし、その違いには生育期の土壌水分条件の違いが関与したものと推察した。これらの研究の過程で提案された「根の深さ指数(RDI)」は、現在でも圃場における様々な作物の根系の評価手法として広く活用されている（1999年学術特別賞「根の深さ指数」による根系の定量化）。

上述の研究はコムギの品種間で根の分布の比較を行ったものだが、その場合根の形質以外の遺伝的背景により早晚性や草姿が大きく異なるため、圃場における根の分布がコムギの生育や各種形質に及ぼす影響を比較検討することは困難である。そこで、コムギの倍加半数体の中からバスケット法で種子根の伸長角度を調べて、伸長角度が小さい系統と大きい系統を選抜した。それらの実験系統群を用いて、過湿な水田圃場において土壌の過湿と追肥を組み合わせによる生育と子実収量を比較したところ、遺伝的な浅根化はコムギの耐湿性をある程度向上させることがわかった。同時に、圃場の土面の高低が耐湿性評価の結果に影響を及ぼすことを示した。このように、根系以外の遺伝的背景をある程度揃えた実験を行うことにより、日本のコムギ生産において課題となる湿害の軽減に、根系の遺伝的な改良が有効であることを示した。

【根の研究の発展への貢献】以上の一連の研究は、世界的に極めて重要なコムギを材料に、根系形成に及ぼす各種環境要因を明らかにし、根の環境反応を特に重力屈性、水分屈性の面から解析し、作物栽培における根の役割の理解に大きく貢献した。また、根系形成と育成地の環境に関する考察、遺伝的背景を調節した実験法の検討、さらには根の通気性に着目した遺伝的改良(https://www.naro.go.jp/laboratory/brain/inv_up/theme/2008/023743.html)は、現在活発に進められている根系の改良による耐湿性研究の原点であり、同研究の新たな方向性を明示し多くの研究者に影響を与えた。

学術奨励賞

東日本大震災の復興を担う海岸林造成に関する根系評価に関する基礎研究

藤田 早紀

森林研究・整備機構 森林総合研究所

(sakif@ffpri.affrc.go.jp)

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の津波によって、東北地方太平洋沿いのクロマツ海岸林は幹折れや根返り等、甚大な被害を受けた。根返りが見られた被害地では、地下水位が高く、根系が深くまで発達していなかったことから、十分に津波に耐えられなかった可能性が指摘された。このことから、復興現場では、根系が十分に発達できる厚い有効土層を確保するため、元の地盤から高さ約2mの盛土を生育基盤として造成している。生育基盤は十分な安定性を確保するため重機で整備され、締固められている。しかし、締固めにより透水性・排水性が低下し、降雨後の滞水発生とその長期化が課題となっている。現地調査や先行研究により、クロマツは滞水に対して感受性が強いことが指摘されており、植栽苗の生育不良が懸念されている。本研究は、滞水の水位や期間がクロマツ苗に及ぼす影響を明らかにし、東北地方の復興現場に貢献できる知見を蓄積することを目的とした。そのために、2年生のクロマツ苗を対象とした、3条件の滞水試験を実施した。研究方法として、イングロース法を用いた細根成長量や地上部活性の調査と、滞水による根の形態や色の変化に対する画像解析を行った。

まず第1の実験では、クロマツと導入が検討されている4種の落葉広葉樹とともに、7月中旬から2.5ヶ月の滞水処理を行った(水位＝土壌表面)。その結果、クロマツは滞水下では細根成長が著しく制限されるとともに、細根の組織密度の低下や色の黒色化といった変化から滞水によるダメージを受けることが明らかになり、比較検討に用いた落葉広葉樹に比べ滞水による負の影響が大きかった。また、滞水を解除して翌春まで一部苗木を育成したところ、クロマツの滞水区のみで苗木の枯死が見られたことから、クロマツ苗の滞水に対する感受性の高さが確認された。

第2の実験では、クロマツが受ける滞水水位の影響について調査した。ここでは、対照区(滞水なし)に加え、全滞水区(水位＝地表面)と部分滞水区(水位＝ポットの下半分のみ滞水)の2つの水位に対する細根成長の垂直分布を測定した。その結果、部分滞水区では、滞水しているポット下部では細根成長がほとんど見られなかったのに対し、滞水していないポット上部では、対照区のポット上部に比べ細根成長が有意に増加した。滞水開始前の地上部活性(蒸散)は処理間で差異なかったが、全滞水区では滞水開始後から実験終了時まで対照区に比べて有意に低かった。しかし、部分滞水区では、一度低下した蒸散量が実験終了時までに対照区と同程度まで回復した。このことから、クロマツは水位が低い場合、細根成長の垂直分布を変えることで、地上部活性を維持できることが明らかになった。

第3の実験では、クロマツが受ける滞水期間の長さ、滞水解除後の回復へ及ぼす影響について調査した。ここでは、短期区(7日間)、中期区(17日間)、長期区(28日間)を設け、それぞれ異なるタイミングで滞水を開始し、8月末に一斉に滞水を解除した。滞水解除後は、通常状態で1ヶ月育成し、細根成長量と蒸散の推移を調査した。その結果、短期区および中期区では、滞水解除後、比較的速やかに蒸散速度が対照区と同程度の値まで回復した。しかし、長期区では、蒸散速度の回復は遅く、個体によっては、実験終了時まで回復しない個体もあった。回復が見られた個体では、滞水解除後に成長したと思われる白根が観察され、蒸散速度の回復には新たな細根を成長させる時間が必要であることが明らかになった。そのため滞水解除後の速やかな回復には、滞水期間を短期化が重要であることが示唆された。

以上、本研究では、復興現場で根系および苗木を健全に成長させるために重要な要素を実験的に示した。それは、滞水水位を下げ、根系が発達できる有効土層を確保すること、また滞水期間の短期化である。今後は、育成基盤の改良として試行されている耕耘、明渠・遊水地の造成が滞水環境や根系に及ぼす影響を調査し、その効果を評価する必要がある。

ポスターセッション「根を測る 1」★

SfM を用いた樹木根の分岐角度の計測

岡本祐樹^{1*}・池野英利²・平野恭弘³・谷川東子⁴・山瀬敬太郎⁵・藤堂千景⁵・檀浦正子⁶・大橋瑞江¹

¹兵庫県立大学環境人間学研究所 ²福知山公立大学情報学部 ³名古屋大学大学院環境研究科
⁴名古屋大学大学院生命農学研究科 ⁵兵庫県立農林水産技術総合センター ⁶京都大学大学院農学研究科
(Mail: nd21f004@stshse.u-hyogo.ac.jp)

樹木根は、水分と栄養分を吸収し輸送する、斜面の土壌安定性を高めるなど様々な機能を持つ重要な器官であり、その構造と機能は密接な関係がある。しかし、根系の構造計測には人的・時間的労力が多数必要となり、多くの場合樹木根は解体されるため再利用が難しい。そのため、再利用可能かつ効率的な手法の開発が必要である。近年画像から物体を三次元的に再構成する技術が開発・利用されており、その一つに Structure-from-Motion (SfM) がある。SfM を樹木根の計測に適用することで、樹木根構造データの半永久的な保存、従来の樹木根の形態計測に伴う労力の削減が期待できる。これまでの研究で、我々は SfM によって樹木根の直径が十分な精度で計測可能であることを明らかにした。そこで本発表では、樹木根の基本的な形態情報の一つである根の分岐角度に対し、SfM による計測が適用可能か調べることを目的として研究を行った。本研究ではまずクロマツ樹木根を対象に SfM を用いた三次元再構成を行った。その後、得られた三次元構造データを基に分岐角度を計測し、実測値と比較した。その結果、実測値と SfM による計測値との間に強い相関が見られ、回帰直線の傾きは1に近い値を示した。このことから、SfM による角度計測が可能であることが示された。

ポスターセッション「根を測る 2」★

ルートプレッシャープローブを用いたイネ個根の水通導性測定及び異形根の水吸収能力の評価

渡邊友実加*・三屋史朗・山内章

名古屋大学大学院生命農学研究科

(*watanabe.yumika@a.mbox.nagoya-u.ac.jp)

根の吸水能は水通導性によって決まる。イネ根系は、形態、内部組織構造などが異なる 3 種類の異形根(種子根と節根を含む主軸根、L 型側根および S 型側根)で構成されている。したがって、根系としての吸水メカニズムを解明するためには、これら異形根毎の水吸収・輸送機能や異形根間の役割分担を明らかにする必要がある。著者らはこれまでに、プレッシャーチャンバー法を用い、出穂期の根系の水通導性(Hydraulic conductivity, L_{pr})を測定し、その L_{pr} と、根系全体に対する S 型側根の表面積割合との間に有意な正の相関があることを示した(Watanabe *et al.*, 2020)。この結果は、異形根間で、根系全体の水吸収に対する貢献度が異なり、中でも特に S 型側根が高い水吸収能力を持つことを示唆している。そこで本研究では、先行研究で得られた「根系」全体の水通導性と各異形根の表面積割合との関係を、「個根」レベルで実証することを目的とした。イネ品種 IRAT 109、日本晴および Swarna を水耕栽培し、側根を分枝している主軸根軸を水通導性の測定に用いた。また、処理区として浸透圧ストレス区(PEG 6000, 10% w/w)を設け、対照区と比較した。個根の水通導性を測定できるルートプレッシャープローブで、静水圧差が水流の駆動力となる Hydrostatic L_{pr} と浸透圧差が駆動力となる Osmotic L_{pr} を測定したところ、浸透圧ストレスによる通導性の有意な減少が IRAT 109 の Hydrostatic L_{pr} および Swarna の Osmotic L_{pr} で認められた。さらに、各 L_{pr} の値と個根全体に対する各異形根の表面積割合の間には S 型側根のみで有意な正の相関が認められ、上述の根系全体の場合と同様に、S 型側根の水吸収に対する高い貢献度が個根レベルでも明らかとなった。

ポスターセッション「根を測る 3」★

エックス線 CT を用いたイネ根系計測のためのベクトル化ソフトウェアの開発

寺本翔太¹, 七夕高也², 宇賀優作^{1*}

¹農研機構・作物研究部門²かずさ DNA 研究所

(連絡先: yuga@affrc.go.jp)

根系形態は土中に不均一に分布する養水分の吸収効率に関与する重要な形質である。様々な土壌環境に最適な根系はそれぞれ収斂すると考えられるため、根系を設計・改良することは作物栽培上、重要である。土中の根系を観察する技術として、我々はエックス線 CT 画像中の根系を可視化するソフトウェア RSAvis3D (Teramoto et al. 2020 Plant Methods) を作成した。RSAvis3D は土中の根系を非破壊で観察できるが、得られるデータは画像であるため、根系の定量化はできない。そこで、我々は、RSAvis3D 画像から根系をベクトル化するソフトウェア RSAtrace3D を作成し、根系形質の定量化を試みた (Teramoto et al. 2021 BMC Plant Biol)。ベクトル化とは、根を線と捉え、線の繋がりを座標点の連続で表現する手法である。座標軸上に根系の位置情報がプロットできるため、定量化が容易となる。我々は、浅根型水稻 IR64, 深根型陸稲 Kinandang Patong, および中間型の系統 Dro1-NIL を栽培し、RSAvis3D および RSAtrace3D を用いて根系を定量化した。根の伸長角度と RDI (root distribution index: 根分布の重心, 大きいほど根の分布が深層に偏っている) を計算したところ、両形質に品種間差異が認められた。数値の大小はそれぞれの品種の根系を反映しており、RSAtrace3D を用いて根系の定量化が可能であることを示した。本研究は、JST CREST (JPMJCR17O1) の支援を受けたものである。

ポスターセッション「根を測る 4」★

シロイヌナズナ根部のみを光から保護する市販シャーレ用アタッチメントの考案

市川晴雪・陽川憲*

北見工業大学

(*yokawaken@mail.kitami-it.ac.jp)

自然界における植物の根は通常、光に晒されていない環境で生育している。しかし、植物の根も地上部と同様にすべての光受容体が発現しており、光に敏感であることが知られている。さらに、シロイヌナズナやトウモロコシの根が光から遠ざかる負の光反応も報告されている [Yokawa et al. Trends Plant Sci 2013 など]。また、根への光照射により、根の伸長や重力屈性、オーキシンのシグナル伝達、塩や浸透圧ストレスへの応答が変化することも報告されている [Silva-Navas et al. Plant J 2015]。つまり、根が光に露出した植物は、自然状態とは異なった形態形成もしくは環境応答を起こすため、研究結果への正しい解釈に影響を及ぼしうる。しかしながら、多くのシロイヌナズナ研究においては透明のプラスチックシャーレと培地を用いて育成が行われている。そこで、本研究では 3D プリンターを用いて、市販の円形シャーレにフィットし、根への光の直接照射を防ぐ装置の製作を行った。これを用いることで、根が暗闇で生育した自然に近いシロイヌナズナ根を研究に用いることができる。

ポスターセッション「根を測る5」★

非接触スキャナを用いた地表根評価手法の効率化

宮下智貴*・塩野克宏

福井県立大学大学院生物資源学研究所(連絡先: s2173015@g.fpu.ac.jp)

地表根(地表面付近に伸長する不定根)は, 酸欠状態の土壌における酸素獲得(Ueno et al., *Jpn J Trop Agr*, 1989)や塩害水田におけるイネの収量低下の軽減(Kitomi et al., *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*)に寄与することから, 作物の環境ストレス回避に役立つ重要形質であると考えられている。これまでに, 地表根形成量は, 定性的評価方法として目視によるスコア化(Mano et al., *Jpn J Crop Sci*, 2005), 定量的評価方法として根数や根長の計測(Uga et al., *Theor. Appl. Genet*, 2012)により評価されてきた。しかし, 従来法では多くの個体の地表根を素早く, 定量的に評価することはできない。そこで本研究では, 地表根の定量的評価手法の効率化を目的として, 非接触スキャナ(FI-SV600A, FUJITSU)と ImageJ(画像解析ソフト)を用いた地表根形成量の評価を試みた。実験には, イネ *Oryza sativa* (T65)の遺伝的背景に地表根形成能力を持つ野生イネ *O. glumaepatula* (IRGC105668)の染色体断片を置換した染色体断片置換系統群 58 系統を用いた。植物体は 1/10000 a ポットで約 150 日間, 湛水条件(湛水深度 0~5 cm)で生育させたものを用いた。育てた植物体の地上部を切除後, (1)目視による 4 段階のスコア化, (2)非接触スキャナで取得した画像から ImageJ を用いて表面積を測定, (3)乾燥重量の測定の 3 つの手法で地表根形成量を評価した。その結果から, 非接触スキャナを用いた地表根評価手法の有用性について検討した。詳細は発表にて報告する。発表では, 本手法の更なる効率化や精度向上に向けて, 皆様と議論したい。

ポスターセッション「根を測る6」

回帰モデルを利用した根の位置情報からの細胞の齢の推定とその利用

山内卓樹^{1*}・犬飼義明²・中園幹生³

¹名古屋大学生物機能開発利用研究センター・²名古屋大学農学国際教育研究センター・

³名古屋大学大学院生命農学研究科

(*atkyama@agr.nagoya-u.ac.jp)

植物の根を構成する細胞は先端に位置する根端分裂組織で生み出される。そのため, 根の細胞は根端部で最も若く, 地上部に近づくにつれて齢が進む。根端部からの距離は細胞の齢をある程度反映するが, 互いに伸長率が異なる根では, 根端部からの距離が一定であっても細胞の齢は異なる。本研究では, 植物体内に形成される空隙である通気組織の形成率を例として, 根端部からの距離をもとに細胞の齢を推定する手法の確立を目的とした。Gompertz 曲線(信頼度成長曲線)は, 集団の加齢に依存した死亡率を表す曲線として定義され, 指数関数的な増加が時間経過とともに緩やかになる S 字状の関数で表される。通気組織形成率は, 時間の経過に依存した細胞集団の死亡率としても捉えられるため, イネの根の部位毎の通気組織形成率は Gompertz 曲線によって正確に回帰することができた。そこで, 野生型のイネと過去に報告したオーキシンおよびエチレンに関連する変異体の根の部位毎の通気組織形成率と伸長率を用いて, 細胞の齢に依存した通気組織形成率の比較をおこなった。その結果, 根の位置情報に依存した解析とは異なる側面からの解釈を得ることができた。本手法は, イネ以外の植物種の通気組織形成率や側根形成数などにも適用できるため, 本発表で紹介したい。

ポスターセッション「根を測る 7」

養液栽培における生育阻害要因の迅速解析にむけた画像処理システムの構築

中野明正*1)・趙鉄軍 2), 1: 千葉大学学術研究・イノベーション研究推進機構,

2: 新潟食料農業大学

(anakano@chiba-u.jp)

養液栽培は、根に直接養液を供給できるため、生産の最大化が図られている。日本においても農業生産現場への普及が進み、施設栽培面積の 5% に及ぶ。一方で通常の栽培に比べ、導入コストが高いため、可能な限り生産性を最大化する取り組みが求められている。養液栽培の生育阻害要因としては、有害微生物(藻類や病原性微生物)の増殖やアレロパシー物質の蓄積があり、これらを抑制する資材の開発を効率的に行う必要がある。藻類については栽培槽に発生し、養液栽培に使われるパネルに汚れとして固着し、特に衛生的な管理の観点から問題がある。また資源の有効利用の観点から循環型養液栽培が求められるが、生育を抑制するアレロパシー物質等の生育阻害物質の蓄積の影響が考えられる。

本報告ではこれらの生育阻害因子を抑制する候補資材の効率的かつ定量的な評価法を提案する。本手法では、生育初期の少ない根量を評価するため、透明容器の底面に根を展開させ画像による評価する手法を採用した。また、コントラスト良く根系発達を追跡可能となるように黒ウレタンを活用したシステムを考案した。これにより、地上部の生育量と地下部の生育量を同時に評価することが可能となった。このシステムに生育阻害要因である、藻類や病原性微生物を効率的に抑制する資材を添加して、それらの効果を、地上部や根部に与える影響と合わせて評価できた。

ポスターセッション「根を測る 8」

生育期間を通じた圃場におけるイネの根の現存量、発生量、枯死量の推定

田島亮介^{1*}、茄子川恒²、増子晶彦¹、那波多目健太¹、宇野亨¹、西田瑞彦¹、伊藤豊彰³、齋藤雅典^{1,4}

¹ 東北大学大学院農学研究科, ² 山形大学農学部, ³ 新潟食料農業大学, ⁴ 現・岩手大学農学部

(tazy@tohoku.ac.jp)

圃場において、生育に伴って変化する根量(現存量、発生量、枯死量)を評価すること、特に近年重要視されている土壌炭素蓄積の評価等に重要である面積あたりの根量を評価することは難しい。そこで、本研究では、ある時点で現存する根を全量掘り取って評価できる枠栽培試験に、一定期間の根の発生量を評価できるイングロースコア法を組み合わせた方法(試験 1)と、現存する根の一部を採取して評価するコアサンプリング法とイングロースコア法を組み合わせた方法(試験 2)をおこなって、イネの根量を評価することを試みた。いずれの試験も東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター内の水田でおこない、試験 1 では化学肥料/有機質肥料施用の比較、試験 2 ではケイ酸施用/無施用の比較もおこなった。1 時期 1 地点の調査では、試験 1 では 1 枠と 2 つのイングロースコアを、試験 2 ではコア、イングロースコアそれぞれ 3 つを採取した。根の採取は、イネの生育に応じておこない、根量としては根の乾物重を評価した。加えて、試験 2 では各採取時に節根数も測定し、この節根数と採取した根量を用いた簡易的なモデルによって根量の推定をおこなった。試験 1,2 いずれの方法でも面積あたりの根量の評価をおこなうことができたと考えられるが、実規模圃場での評価に用いるには試験 2 の方法の方がより簡便であると考えられた。

ポスターセッション「一般研究1」★

桑種子苗の水耕栽培時の根域の気相曝露処理による有効成分の変動

栗原僚¹⁾, 神戸隆介²⁾, 木下明³⁾, 本間知夫^{1)*}

¹⁾前橋工科大学・院・生物工学 ²⁾神戸万吉商店 ³⁾ハイトカルチャ

(*連絡先:本間知夫 thomma@maebashi-it.ac.jp)

我々は生薬としても利用されている桑の根を採取することを目的として、発芽発根させた桑種子苗をセラミック管を用いた栽培および水耕栽培を行うことで多量の根を得る方法を確立した。そして得られた根・茎・葉の各桑素材の機能性評価及び有効成分の分析を行っている。現在、栽培中の苗に対する処理によってさらに有効成分を増やすことを検討していたところ、養液栽培を行っている苗の根域の気相曝露によって個体生育の促進や有効成分の増加を示す報告を知り¹⁾²⁾, 水耕栽培時の桑種子苗の根域の気相曝露処理を行い、各桑素材中の有効成分の変化を調べる実験を開始した。セラミック栽培で生育させた桑種子苗の水耕栽培を開始して2週間後より、伸長した白色根の上部25%~50%を気相中に曝露させ、さらに2週間生育させた後(処理苗)、各桑素材を回収・乾燥した。有効成分として桑に特異的に含まれるデオキリノジリマイシン(DNJ), γ -アミノ酪酸(GABA)について調べたところ、DNJ含有量は処理苗の葉・根において有意に増加した(約2~3倍)が、GABA含有量は処理苗の茎・根では変化がなく、葉では僅かに減少した。現在、処理苗の数を増やして栽培を実施中であり、気相曝露させる部位の割合や曝露処理期間などについても検討する予定である。

【文献】1)坂本他,園学雑,70,622-628(2001) 2)木村周二他,特願 2009-091489(2009)

ポスターセッション「一般研究2」★

チガヤ2生態型間F1雑種における両親を上回る通気組織の可塑性

野村康之^{1,2,*}・有馬聡²・京極大助³・山内卓樹⁴・富永達²

¹⁾龍谷大学 食と農の総合研究所・²⁾京都大学 農学研究科・³⁾兵庫県立 人と自然の博物館・

⁴⁾名古屋大学 生物機能開発利用研究センター (green.plant8931@gmail.com)

植物は通気組織と呼ばれる空隙を介して、地上部から地下部へと酸素を輸送することで、土壤の湛水に起因する根の酸欠に応答する。通気組織は、植物体内における酸素の拡散効率を高めることに貢献するため、通気組織の形成範囲は植物の生育地の土壤水分と関連することが想定される。チガヤはイネ科の多年生草本であり、根茎による栄養繁殖を行う。チガヤには比較的乾燥した環境に生育する普通型と湿潤な環境に生育する早生型が存在する。各適応を反映して、早生型では普通型と比べて葉、根茎および根における通気組織の形成範囲が広い。一方、日本では2生態型を両親とするF1が存在し、東北地方に多数分布する。その要因を調査した結果、F1は乾燥から湛水まで幅広い環境に生育していた。また、F1では両親と比べて通気組織の形成範囲の可塑性が大きく、葉、根茎および根の通気組織の形成範囲が生育地の土壤水分含量と強い相関を示すことが明らかになった。この傾向を検証するため、灌水条件と湛水条件で栽培実験を行った結果、F1は条件間における根茎の通気組織形成の変化が両親よりも大きいことが示された。さらに、両親では条件間において乾物重で示される生育量にトレードオフがみられたが、F1は灌水条件では普通型、湛水条件では早生型と同等の生育を示した。以上の結果から、通気組織の可塑性がF1の幅広い土壤水分への適応を決める要因であることが考えられた。

ポスターセッション「一般研究 3」★

播種深度および土壌水分の変化がイネの根の伸長へ及ぼす影響

米倉茉優^{1*}・塩津文隆²

¹ 明治大学大学院農学研究科・² 明治大学農学部

(*cf200215@meiji.ac.jp)

天水稲作は世界の稲作栽培面積の 50%を占めているが、収量は低く、その大きな要因として水不足による乾燥ストレスが挙げられる。昨年度の圃場試験の結果より、乾燥条件下において播種深度 2 cm 以下の方が収量が高くなることが明らかとなった(米倉 2021, 日本作物学会第 251 回講演要旨集)。そこで本研究は、播種深度と土壌水分の変化がイネのどの生育段階で大きく影響するのかを検討するため、初期生育における根の伸長を調査した。試験は、明治大学生田キャンパスの人工気象室にて、根箱 (W200 mm×D50 mm×H250 mm, アクリル) を用いて行った。品種は IRAT109 を用いた。試験開始時の土壌含水率を 30%に設定し、播種後 4 日目以降、土壌含水率 30%以上 (以下, W 区) と 20~25% (以下, D 区) の 2 処理区を設けた。播種深度は 1 cm と 3 cm の 2 処理区を設けた。これらを組み合わせて 4 処理区設けた。1 週間ごとに草丈、アクリル板に出現した根長、播種後 30 日目には個体あたりの根長および根乾物重、茎葉部乾物重を調査した。草丈は播種後 13 日目まで急激に伸長し、両土壌水分とも 1 cm の方が大きかった。表出した根は播種後 13 日目で急激に伸長し、両土壌水分とも 1 cm の方が長かった (ただし、播種後 26 日目を除く)。個体あたりの根長は、両土壌水分において 1 cm の方が値が高く、また、根径 2 mm 以上の太い根は 1 cm の方が有意に値が高かった。茎葉部乾物重は、両土壌水分において 1 cm の方が値が高かった。以上より、イネの初期生育において播種深度 1 cm の方が生育が良く、特に根長において太い根の増加が要因であると示唆された。また、播種後 13 日目前後で生育に変化が見られたのは、発育に伴い胚乳からの養分供給から、光合成器官からの養分供給へ変化したことが原因であると考えられる。今後、播種深度と土壌水分がイネの根系形成の変化を通じて他の生育時期の生長に及ぼす影響を検討する必要がある。

ポスターセッション「一般研究 4」★

2 次元酸素オプトード法を用いた根圏酸化モニタリング法の確立

芝日菜子*, 塩野克宏

福井県立大学生物資源学部 (*s1821022@g.fpu.ac.jp)

我が国の水田転換畑では、水はけが悪いため土壌が過湿状態となりやすく、畑作物の湿害(生育阻害)が問題となっている。過湿状態の土壌が低酸素になるため、畑作物は湿害を受けるが、イネなどの湿生植物はそのような環境にあっても順調に生育できる。この過湿土壌に対する湿生植物と畑作物の適応力の違いは、根の酸素獲得様式の違いに起因すると考えられている(Pedersen et al. *New Phytol* 2020)。しかし、土壌中の酸素の空間分布を直接定量することは技術的に困難なため、実際の根の酸素獲得様式を評価できなかった。当研究室では、これまでに光化学反応を利用した「2 次元酸素オプトード法」による水耕液での根圏酸化モニタリングに成功しているが、土壌でのモニタリングには成功していない。私たちは苗立ち期の酸素獲得様式の比較を念頭に、土壌における 2 次元酸素オプトード法を確立するために本研究を実施した。2 次元酸素オプトード法で計測できるのはオプトードガラス面に接した部分に限られるため、根圏酸化の観測には栽培する根をガラス面に沿わせる必要がある。種子根がガラス面を沿うための土の種類と栽培容器の傾斜角度を最適化するため、3 種類の土壌[ボンソル 1 号, クミアイニツピ 1 号, 水田の土(福井県大永平寺キャンパス圃場)]を用い、栽培容器を 35° または 60° に傾けてイネを栽培した。現在、試験評価中のため、結果は発表にて報告する。観測条件の最適化の後、耐湿性の異なるイネと畑作物の根圏酸素動態を比較することで根の酸素獲得様式の違いを評価する予定である。

ポスターセッション「一般研究 5」★

リン局所施肥に対するコムギ根系の時空間的応答

橋本叡信^{1*}・村上隼²・青木博光¹・神山拓也¹

¹宇都宮大学農学部・²宇都宮大学大学院地域創生科学研究科

(a183142@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

リンは有限な資源であるため、効率的な利用が求められる。植物はリンの局所施用に対し、根を局所的に繁茂させ、生育を改善することが知られている。しかし、どの程度のリン濃度差でいつ根を繁茂させ、生育を改善するのかわかっていない。本研究では、根系が土壌中のリン濃度差に対して示す経時的応答と、この応答が地上部生育へ及ぼす影響を調べた。透明なアクリル製根箱(40×24×2 cm)を平置きし、4つに区分した土壌(芝の目土)にN(1.26g 乾土kg⁻¹)とK₂O(1.80g 乾土kg⁻¹)を均一に施用し、P₂O₅(0.60g 乾土kg⁻¹)を4つの各土壌に【25:25:25:25(対照区), 0:33:33:33(0区), 50:17:17:17(50区), 75:8:8:8(75区), 100:0:0:0(100区)】の比で施用した。農林61号を根箱中央に播種して39日間栽培した。毎日、根箱底面のスキャナ画像を取得し、画像をセグメント化するソフト(RootPainter)で根の抽出画像を作成し、画像解析ソフト(WinRhizo)により根長を測定した。栽培後、地上部乾物重を測定した。その結果、75区と100区の地上部乾物重は対照区と比べ有意に増加した。また、約2週間後から50区、75区と100区では、リン濃度の高い土壌中の根長密度は対照区と比べ増加したが、リン濃度の低い土壌中では逆の傾向を示した。以上より、土壌中のリン濃度が不均一な条件では、植物は生育初期から土壌中のリン濃度に応じて根を効率的に分配し、地上部乾物重を増加させたと考えられた。

ポスターセッション「一般研究 6」★

イネの酸素漏出バリア誘導のトリガーを感知する組織の探索

江岸祐夏^{*}、塩野克宏

福井県立大学生物資源学部

イネは耐湿性の重要形質の1つである酸素漏出バリアを形成する湿生植物である。根の基部側に形成される酸素漏出バリアは、基部からの酸素の漏れを抑制することで根端への酸素供給を可能にする。土壌過湿状態が継続し、土壌還元化の中期段階に増加するFe²⁺(Mongon et al. *Funct. Plant Biol.* 2014)や有機酸(Colmer et al. *Plant Cell Environ.* 2019)がイネの酸素漏出バリア誘導のきっかけ(トリガー)となると考えられている。最近、我々は土壌還元化の初期段階に起きる硝酸態窒素の低下がバリア誘導のトリガーとなることを見いだした(塩野ら、未発表)。バリア形成の上流にあたる、トリガーの感知メカニズムの解明には、感知に関わる組織の特定が有効だと考えた。そこで、本研究では水耕栽培している根の一部だけを低硝酸態窒素にして生育させる栽培系(Split-root system)の確立を目指した。実験には好気的な水耕液で15日間生育したイネ(日本晴品種)を用いた(28°C, 24 h light)。1本の根を根端側と基部側に区画分けし、一方を純水(硝酸態窒素欠)に、もう一方を標準濃度の養分が入っている水耕液に浸しながら栽培を継続した。区画分け開始直後と3日後にコンパクト型水質計(LAQUAtwin NO3-11, 堀場アドバンスドテクノ)を用いて両区画の硝酸濃度を測定した。その結果、3日間、純水区の硝酸濃度の上昇はなかった。また、Split-root systemで栽培した根は生育を止めることなく伸長を続けていた。これにより、目的とした、水耕で根の一部だけを低硝酸態窒素にできるSplit-root system栽培が確立できた。

ポスターセッション「一般研究7」★

深根性緑肥作物の根系発達が土壌硬度および三相分布、飽和透水係数に及ぼす影響

アクリッシュ穂波*・荒川竜太・瀬上修平・大石真実(大阪環農水研)

(KongoH@mbox.kannousuiken-osaka.or.jp)

【目的】深根性の緑肥作物は硬盤層の改良効果があるといわれる。しかし、緑肥の種類による根系発達の違いや、一般的に硬盤改良に用いられる機械深耕とその効果を比較した事例は少ない。そこで本研究では、土壌硬度、硬盤の三相分布および飽和透水係数について、機械深耕と比較することにより、3種類の緑肥の硬盤層改良効果を明らかにした。

【方法】大阪環農水研内圃場で、ソルガム‘ラッキーソルゴーNeo’、クロタラリア‘ネコブキラー’、ヒマワリ‘緑肥用ひまわり’を各2g/m²、4条播種し2か月栽培する区、耕深40cmの深耕ロータリー区、緑肥無栽培かつ不耕起の対照区を設けた。緑肥の栽培終了後、各区において幅100cm、深さ40cmの土壌断面を作成し、10cmメッシュで土壌硬度(山中式土壌硬度計)を測定した。また、深さ25~35cmで100mlの土壌コア試料を採取し、三相分布および飽和透水係数を計測した。

【結果および考察】ソルガム区とクロタラリア区は、深さ40cmまで細根が確認でき、緑肥の株元位置に関わりなく深さ20cm以下の土層の土壌硬度が低下した。また、両区は深さ25~35cmの硬盤層において、対照区に比べ深耕ロータリー区と同等に、容積重の低下、孔隙率の増加、透水性の増加が確認された($P < 0.05$)。

ポスターセッション「一般研究8」★

キキョウの発育及び根組織内機能性成分含量に及ぼす菌根菌共生の影響

酒井菜々子^{1*}、松原陽一²、渡部大輔³、尾関俊亮⁴、田澤義之⁴

¹岐阜大院自然科学技術研究科、²岐阜大応用生物科学部、³岐阜市農林部、⁴(株)テイコク

(連絡先:z4522018@edu.gifu-u.ac.jp)

キキョウ (*Platycodon grandiflorus*) は薬用・観賞用のほか食用としても利用され、根組織は薬効成分のトリテルペノイドサポニンをはじめフラボノイド類などの機能性成分を含有している。薬用植物におけるアーバスキュラー菌根菌の共生反応については不明な点が多く、これまでにキキョウにおける菌根菌共生及び内生成分変動についての知見はみられない。本研究では、キキョウにおける菌根菌共生反応について、栄養・生殖成長及び根組織内機能性成分変動面から調査した。キキョウ成形苗へ菌根菌 (*Glomus mosseae*, *Gl. fasciculatum*) 接種を行い、異なる栽植密度で圃場に定植した。その結果、慣行栽培の2年養成苗において、菌根菌定着は確認され根乾物重は一部の菌根菌区で対照区より増加した。この場合、根組織内における数種遊離アミノ酸 (GABA を含む) 及びトリテルペノイドサポニンを主体とする二次代謝成分含量 (UPLC/Q-TOF-MS 分析) は菌根菌区で増大するケースが多く、これらの程度には菌種・栽植密度差がみられた。一方、キキョウの3種園芸品種を用いた菌根菌接種検定の結果、1・2年養成苗の両者において、菌根菌区の多くで発育促進、抗酸化物質、数種遊離アミノ酸・二次代謝成分含量の増大が確認され、その程度には品種間差がみられた。以上のことから、キキョウにおいて菌根菌共生による植物体発育促進及び根組織内機能性代謝成分増大の可能性が示唆された。

ポスターセッション「一般研究 9」★

カリウム欠乏環境でイネの根細胞壁の構造は変化するのか

茂木京菜^{*1} 森泉美穂子² 阿江教治¹ 亀岡笑¹ 小八重善裕¹ 中谷暢丈¹ 保原達¹

(酪農学園大学¹ (s22031012@stu.rakuno.ac.jp)・龍谷大学²)

土壌中に存在するカリウム(K)の多くは、鉍物中に存在する非交換態 K であり、それに比べて植物が利用可能とされる交換態Kはわずかである。交換態 K が少ない環境でも、イネを含む一部の植物は健全な生育を示し非交換態 K を利用することが示唆されている。非交換態 K を利用する方法としては、根細胞壁表面との反応によって鉍物の結晶構造を崩壊させ、溶出した K を吸収する可能性が報告されている。しかし、この反応にイネの細胞壁表面に存在する官能基がどのように寄与するかは不明である。本研究ではイネの根の官能基の電荷的な特徴を把握するために、液肥によって K コントロール栽培した根を用いて、陽イオン吸着量、吸着形態、吸着の強度を調べた。栽培には珪砂を培地に用いて、液肥で+K 区と-K 区を作成し、イネを栽培後、乾物重量、元素含量を測定した。官能基特性については、陽イオン交換容量、根の表面へ陽イオン吸着形態を把握するために、陽イオン逐次抽出をおこなった。結果、乾燥重量当たりの K 含量は、+K 区で有意に高く、陽イオン交換容量は-K 区で高い傾向があった。陽イオンを根に吸着させて逐次抽出した試験では、Fe³⁺を除いて酢酸アンモニウム、クエン酸、塩酸抽出性及び、抽出後の根に残留したイオンはほとんど検出されなかったが、Fe³⁺については根への残留が認められ、特に-K 区で高い傾向にあった。これらのことから、根の表面には Fe³⁺との結合部位が存在し、鉍物の結晶構造が崩壊に関わっている可能性があり、特に K 欠乏環境によってこの部位が増加する可能性が考えられた。

ポスターセッション「一般研究 10」★

山岳域における樹木細根の非構造化炭水化物貯蔵の樹種間差

橋本裕生^{*1}・岡本瑞輝¹・Shitephen Wang²・檀浦正子²・牧田直樹¹

¹信州大学理学部、²京都大学大学院農学研究科

(*連絡先 E-mail: 18s6019f@shinshu-u.ac.jp)

山岳域では土壌の養水分流出や凍結などのストレスに晒されやすいことから、樹木根の資源獲得や成長が制限される。生理機能の調整要因である非構造化炭水化物(NSC)は、ストレス下での生存において重要であり、細根の NSC 貯蔵は資源獲得を左右する。また、常緑樹と落葉樹の根系の NSC 貯蔵を明確にすることは、樹木の環境適応を理解するうえで重要である。本研究は長野県の乗鞍岳の標高 2500m 地点において、常緑針葉樹のオオシラビソと落葉広葉樹のダケカンバの直径 2mm 以下の細根を採取し、可溶性糖濃度とデンプン濃度を定量化することを目的とした。細根系は 3 つの直径階級(D≤0.5mm, 0.5<D≤1.0mm, 1.0<D≤2.0mm)ごとに測定された。結果、可溶性糖濃度と総 NSC 濃度はダケカンバの方がオオシラビソよりも、全直径階級で明確に高かった。デンプン濃度は、0.5<D≤1.0mm の細根系ではダケカンバの方がオオシラビソよりも低かったが、他直径において有意差は認められなかった。ダケカンバはオオシラビソに比べ総 NSC に対する可溶性糖の割合が高く、80-90%を占めていた。ダケカンバの細根系は夏季に可溶性糖濃度を高めることで、生理機能を活性化させ、資源獲得と成長を促進しており、オオシラビソは冬季の生存のための貯蔵を行っていると考えられる。細根の非構造化炭水化物貯蔵の系統学的違いや、他の生育機能との関係を明確にするため、より詳細な研究が必要である。

ポスターセッション「一般研究 11」

シロイヌナズナにおけるビスマスによる根の伸長阻害

長田武*, 西村信人, 辻本葉奈

摂南大学理工学部 (t-nagata@lif.setsunan.ac.jp)

ビスマス (Bi) は水道管の鉛の代替や、医薬品、化粧品、半導体などに用いられる。しかし、環境基準がなくほとんどの農耕地の濃度は不明であり、植物への影響も解明されていない。そこで、我々は Bi のシロイヌナズナへの影響を明らかにすることを目的としている。本研究では、根端への影響、回避や伸長について検討を試みた。

種々の Bi 濃度を含む寒天培地上にシロイヌナズナ col-0 を播種し、2 週間後の根について調べた。まず、根端コルメラ細胞のアミロプラストを染色した結果、Bi 濃度 $1\mu\text{M}$ および $2\mu\text{M}$ ではアミロプラストが観察されず、根全体が染色された。この結果は、Bi によって重力感知が妨げられる可能性を示唆している。次に、水平分割 MS 寒天培地を用いて Bi 非含有培地から Bi 含有培地へ根が伸長したときに、根の回避が誘導されるか検討を試みた。その結果、いずれの Bi 濃度においても回避は誘導されず、Bi 濃度 $1\mu\text{M}$ および $2\mu\text{M}$ では分化伸長領域の細胞の伸長が抑制されていたが、移行領域の細胞の伸長は促進していた。また、分割 MS 寒天培地を 45 度傾けた斜傾条件下においても検討を試みたが、水平条件と同様に回避は誘導されなかった。これらの結果から、Bi は根の回避を誘導することなく、分化伸長領域の細胞伸長を阻害することで根の伸長を妨げると考えられる。

ポスターセッション「一般研究 12」

アラスカ内陸部の永久凍土クロトウヒ林におけるクロトウヒと下層植生の細根成長

野口享太郎¹・松浦陽次郎²・森下智陽¹・鳥山淳平³・Yongwon Kim⁴

¹森林総研東北・²森林総研・³森林総研九州・⁴アラスカ大学 (kyotaro@affrc.go.jp)

アラスカ内陸部では、北向き斜面や低地に分布する永久凍土上にクロトウヒ林が成立する。これまでの報告から、これらの永久凍土林では細根への同化産物分配が極めて大きく、地下部炭素フラックスにおいて細根が重要な役割を担うと考えられている。一方、活動層(夏季に融解する鉱質土層)の厚さなど、永久凍土環境は斜面位置などの立地条件により大きく異なるが、それが細根の成長に及ぼす影響については不明な点が多い。そこで本研究では、アラスカ大学カリーブポーカークリーク試験地内の北向き斜面上の、異なる斜面位置に分布するクロトウヒ林において、イングロースコア法によりクロトウヒと下層植生の細根成長速度について調査した。その結果、クロトウヒの細根成長速度は、活動層が薄く、地上部サイズの小さい斜面下部ほど低下する傾向を示したが、リターフォール量に対する細根成長量の割合(細根への分配)は逆に増加した。これに対して、ツツジ科低木を中心とする下層植生の細根成長速度は、クロトウヒとは逆に斜面下部ほど大きくなり、細根への分配も増加した。その結果、細根成長量全体に占める下層植生の割合は、斜面上部で 25%だったのに対し、斜面下部では 60%であった。また、クロトウヒと下層植生の細根形態を比較すると、下層植生のほうが細根の直径が小さく、ターンオーバーが速いと考えられた。これらの結果は、斜面上部と比べて活動層が薄く、低温、貧栄養な斜面下部のクロトウヒ林では、ツツジ科低木など下層植生の細根が、地下部炭素フラックスにおいて、より重要な役割を担うことを示唆している。

ポスターセッション「一般研究 13」

冷温帯林における林床植生の存在が細根バイオマス・生産量に及ぼす影響

福澤加里部^{1*}・梁川紗奈江²・高木健太郎¹・柴田英昭¹・佐藤冬樹¹

(¹北大・北方生物圏セ・²北大院・環境科学 (caribu@fsc.hokudai.ac.jp))

森林における細根バイオマス・生産量を一般化し予測につなげるには、細根量と地上部植生量や環境要因との関係を調べる必要がある。しかし、不確実な点が多く残されており、構成種の多様性を考慮に入れる必要性が指摘されている。本研究では、冷温帯林の代表的な林床植生であるササの密度が異なる林分間での比較により、細根量と地上部樹木量および林分・土壤環境要因の関係を調べた。その際、樹木細根とササ細根の分別によりササの役割を解明することを目指した。調査は北海道北部に位置する北海道大学天塩研究林内の 4 林分(人工林, 天然林, 二次林, ササ地)で行った。ササの種類はクマイザサであった。土壤表層 10cm の細根バイオマスと細根生産量を樹木・ササおよび全体について測定した。地上部樹木量(地上部バイオマス, 立木密度, 胸高断面積合計)と林分・土壤環境(開空率, 地温, 土壤含水率, 土壤化学性等)を測定し、回帰分析により細根バイオマス・生産量との関係を調べた。細根バイオマスはササ地, 二次林, 天然林, 人工林の順で高く、細根バイオマスに占めるササ割合は人工林で最小, ササ地で最大であった。細根バイオマスと地上部バイオマスの関係について、樹木およびササにおいて有意な正の関係があった。しかし、総細根バイオマスは地上部樹木量との間に有意な負の関係がみられた。以上より、林床植生を含めた総細根バイオマスは、地上部樹木量の増加には対応せず、ササの存在により高まることが明らかになり、森林の細根量の決定因子としての林床植生の重要性が示された。

ポスターセッション「一般研究 14」

イネ WOX ファミリー遺伝子による可塑的な側根原基サイズの制御機構

河合翼^{1*}・赤星良輔¹・高橋(野坂)美鈴²・高橋宏和¹・兒島孝明¹・佐藤豊²・中園幹生¹・山内章¹・犬飼義明³

1. 名大・院生命農学, 2. 遺伝研, 3. 名大・農国センター(*kawai.tsubasa@j.mbox.nagoya-u.ac.jp)

イネ側根には、メリステムが大きく、長く、高次の分枝を形成する L 型側根と、メリステムが小さく、短い S 型側根が存在する。土壤乾燥条件下で L 型側根を可塑的に形成することが地上部の生育維持に貢献するが、側根タイプ決定に重要な側根原基サイズ制御に関わる分子機構は未だ明らかでない。私たちはこれまでにイネ種子根の根端を切除することで L 型側根の形成を促進する実験系を確立し(Kawai et al. 2017, *Plant Root*)、根端切除下で野生株よりも多くの太い側根を形成する *qhb/Oswox5* 変異体を同定した(第 48 回根研究集会@前橋)。側根原基サイズ制御に関わる遺伝子を同定するべく、根端切除 12 時間後に生じた L 型側根原基、およびコントロール区で生じた S 型側根原基をレーザーマイクロダイセクション法により単離し、RNA-seq 解析を行ったところ、*QHB/OsWOX5* と同じく WOX 型転写因子をコードする *OsWOX10* が L 型側根原基で発現上昇することが分かった。CRISPR/Cas9 により作成した *Oswox10* 変異体を土壤乾燥条件下で栽培したところ、野生株に比べて L 型側根直径の有意な低下が見られた。さらに *qhb/Oswox5* 変異体では、土壤乾燥条件下で野生株よりも *OsWOX10* 発現量が上昇しており、より多くの太い側根を形成した。以上より、*OsWOX10* が土壤乾燥条件下において L 型側根の形成を促進する一方、*QHB/OsWOX5* はその発現を抑制することで L 型側根の増加を抑制すると考えられた。

ポスターセッション「一般研究 15」

乾燥と塩の複合ストレス条件下におけるイネ根系反応の品種間差

仲田(狩野)麻奈^{1*}・Cabral Maria Corazon Julaton^{2,3}・Marcelo Via Ann Candelaria³・江原宏¹

¹名古屋大学農学国際教育研究センター・²名古屋大学大学院生命農学研究科・³フィリピンイネ研究所

(*mnakata@agr.nagoya-u.ac.jp)

熱帯アジアの沿岸部において、乾燥と塩の複合ストレスによって、イネの収量と生産性が大きく低下することが問題となっている。本研究では、乾燥ストレスと塩ストレスに強いイネを選抜し、これらのストレス軽減に貢献できる根系形質を明らかにすることを目的とした。Oryza SNPs イネ品種群(計 20 品種)を用いて、ストレスなし(対照区)、乾燥ストレス(8% PEG4000)処理、塩ストレス(100mM NaCl)処理、乾燥ストレス→塩ストレス処理、塩ストレス→乾燥ストレスの 5 処理区を設け、水耕条件下で栽培した。乾物重をもとに、品種と栽培条件について主効果相乗交互作用(AMMI)解析を行い、ストレス条件において比較的高い安定性(stability)を示すイネを選抜した。それらの根系形質について調べたところ、塩ストレス条件では根が全体的に太くなる特徴が確認されたものの、ストレスに適応できるイネ品種特異的な特徴は不明であった。また、複合ストレスの場合、最初に遭遇するストレス影響をより強く受けることが示唆された。現在、解剖学的形質や化学特性について調べており、それらの結果も考慮し、議論を深めていく予定である。

ポスターセッション「一般研究 16」

腐植酸苦土肥料施用が塩条件下のイネの生育に及ぼす影響

曾根 千晴^{1*}・飯野 藤樹²・高橋 真智子³・一條 利治³・増田 隆仁³

秋田県立大学 生物資源科学部¹・デンカ株式会社²・デンカアヅミン株式会社³

(ccsone@akita-pu.ac.jp)

世界の平均海面水位の上昇に伴い、デルタや沿岸部のイネで塩害が頻発している。イネの耐塩性は根から茎葉部への Na 吸収と関係がある。そこで、バイオスティミュラント(BS)の一種で根の生育促進効果が報告されている腐植酸を施用し、塩条件下でのイネの生育を調査した。植物体は、1/2 ホーランド溶液で水耕栽培した。【試験①】アジアイネのソルトスター、IR28, ひとめぼれ, あきたこまちを供試した。播種 14 日後より、水耕液に 50mM NaCl を加える塩処理区、腐植酸苦土肥料(アヅミン)を加えるアヅミン区、塩処理区にアヅミンを加えるアヅミン塩処理区を設け、2 週間栽培した。【試験②】ソルトスターとひとめぼれを供試した。播種 14 日後より、試験①と同じ処理区に加え、塩処理区と同じ浸透圧になるよう PEG6000 を加える PEG 区、PEG 区にアヅミンを加えるアヅミン PEG 区を設けた。実験①より塩処理によって全ての品種で茎葉部乾物重が低下し、途中で枯死した IR28 を除き、アヅミン塩処理区で塩処理区よりも茎葉部乾物重が高い傾向があった。実験②より、ソルトスターにおいて、塩処理区に比べアヅミン塩処理区で茎葉部乾物重が有意に高く、茎葉部 Na 含有率が有意に低かった。ソルトスターの地下部乾物重では、塩処理区とアヅミン塩処理区間で有意差は認められなかった。塩条件下での腐植酸苦土肥料施用は、根での Na 吸収を抑制し、イネの耐塩性を向上させている可能性が考えられた。

ポスターセッション「一般研究 17」

長期計測された樹木生体電位のビッグデータ解析と衰退度推定への応用

本間 知夫^{1*}・岡 大輔²・吉岡 威³・茂木 和弘²・白石 洋一²

(¹前橋工大・院・生物工 ²群馬大・院・知能機械創製理工 ³内山緑地建設(株))

(*連絡先:本間知夫 thomma@maebashi-it.ac.jp)

樹木の根系状態を非破壊的に捉えて評価するために、演者らは岡本らによって開発された液絡法による生体電位計測法にて、屋外の様々な場所で、様々な樹木を対象として計測を行ってきた。これまでは得られた電位値や変動を見て、演者の経験を元に根系状態を推察していたが、この方法を広めるためには、得られた電位値から客観的かつ定量的な評価基準・指標を決めることが求められていた。数年にわたって計測されてきた電位データは、情報科学的な解析を専門とする研究者から見ればビッグデータである。そこで様々な手法で電位データの解析すること、そして樹木医により診断された各個体の衰退度と得られた解析値との関係を調べることを試みた。2019年1月より前橋駅前通りの街路樹のけやき2個体(W22, E20)で、また2019年8月より前橋工科大学構内のけやき1個体(MIT)で電位計測を行っており、対象個体が多い方が良いとの判断から、2019年8月上旬から2020年2月中旬に計測されたこれら3個体の電位データを解析に使用した。データ処理方法として、データクレンジング(欠損値の補完, 外れ値のスムージング), 電位と気象データの相関解析, 統計解析(月平均値・標準偏差の算出, 電位微分曲線の微分係数の算出), スペクトル解析などを行ったところ、衰退度と関係するような分類が出来ることが分かり、さらに解析を進めているところである。

公 示

根研究学会会則

(2021年6月総則改定・2022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発展させるとともに、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 役員任期は、2年とする。任期途中で役員交代があった場合、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、事務局長、副事務局長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、2022年1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 2022年度・2023年度の会長と事務局長は以下のとおりである。

会長：中野 明正（なかの あきまさ）

勤務先：千葉大学 学術研究・イノベーション推進機構

自宅住所：〇〇〇〇

事務局長：塩野 克宏（しおの かつひろ）

勤務先：福井県立大学 生物資源学部

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に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

(2022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、ミニレビュー、技術ノート、教育については、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、PDFに変換して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、原則として毎年3月・6月・9月・12月の4回発行の冊子体および本会ホームページでのオンラインで掲載されます。各発行月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・再加工は自由にできます。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、査読付き論文類については、J-Stage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: 2022-23年度>

〒098-2501

北海道中川郡音威子府村字音威子府 483

北海道大学北方生物圏フィールド科学センター中川研究林

「根の研究」編集委員長 福澤加里部

電子メール: editor2022@jsrr.jp, Tel:01656-5-3216

『根の研究』 原稿作成要領

(2022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. 原稿は、根研究会ホームページ「根の研究 投稿規定」(<http://www.jsrr.jp/rspnsv/rule.html>)に掲載のテンプレートをダウンロードし、それにしたがって本文、図、表、写真などを1つのファイルに作成してください。作成したファイルをPDFに変換して原稿をお送りください。また、ファイル名に、投稿者名を記入してください。論文採択後、掲載のために解像度の良い図、表、写真ファイルを提出していただくことがあります。
3. 以下の要素で原稿を構成して下さい。原稿中の句読点は全角の「，」，「。」を用いてください(引用文献を除く)。「()」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(原著論文・総説・ミニレビュー・技術ノートは英文併記)
 - (2) 著者名・所属(原著論文・総説・ミニレビュー・技術ノートは英文併記)
 - (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。同一筆頭著者の論文が複数あるときは、第2著者以降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.

Beard, 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. pp. 129-148.

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

Caldwell, M.M., Pearcy, R.W. 1994. Exploitation of environmental heterogeneity by plants. Academic Press.

 - (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段分または2段分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など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。
4. 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。
5. 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 2021 年の論文

Plant Root Editors in Chief

犬飼義明, 野口享太郎, 間野吉郎, 平野恭弘 (2022-)
古川純 (2018-2021), 塩野克宏 (2018-2021),

2021 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 (2007-2022 年まで)。 *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 editor2022@plantroot.org までご連絡ください。また、投稿の際には *Plant Root* のトップページに掲載した「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。

2022 年以降に *Plant Root* に掲載された論文は、クリエイティブコモンズ表示ライセンス (CC-BY; <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) の条件下で公開されます。2021 年以前に掲載された論文の著作権は JSRR に帰属されます (<http://www.plantroot.org/copyright.htm> を参照下さい)。

原著論文 4, 短報 3, 総説 1 (いずれも査読制)

Short Report

In vitro inoculation effects and colonization pattern of *Leohumicola verrucosa*, *Oidiodendron maius*, and *Leptobacillium leptobactrum* on fibrous and pioneer roots of *Vaccinium oldhamii* hypocotyl cuttings
Takashi Baba, Dai Hirose, Takuya Ban
2021 Volume 15 Pages 1-9
DOI <https://doi.org/10.3117/plantroot.15.1>

Original Research Article

Root system characteristics under different water regimes in three cereal species
Natsumi Ueda, Shiro Mitsuya, Akira Yamauchi, Maria Corazon J. Cabral, ...
2021 Volume 15 Pages 10-18
DOI <https://doi.org/10.3117/plantroot.15.10>

Original Research Article

Expression analysis of genes for cytochrome P450 CYP86 and glycerol-3-phosphate acyltransferase related to suberin biosynthesis in rice roots under stagnant deoxygenated conditions
Shunsaku Nishiuchi, Kohtaro Watanabe, Saori Sato, Hirokazu Takahashi, ...
2021 Volume 15 Pages 19-35
DOI <https://doi.org/10.3117/plantroot.15.19>

Review Article

Effects of elevated CO₂ on plant root form and function: a review
Zhong Ma
2021 Volume 15 Pages 36-49
DOI <https://doi.org/10.3117/plantroot.15.36>

Original Research Article

Influence of wind and slope on buttress development in temperate tree species
Nanaho Kuwabe, Kiyosada Kawai, Izuki Endo, Mizue Ohashi
2021 Volume 15 Pages 50-59
DOI <https://doi.org/10.3117/plantroot.15.50>

Short Report

Vertical distribution of tree fine roots in the tephra profile with two buried humic soil layers

Keina Motegi, Yoshihiro Kobae, Emi Kameoka, Mikoto Kaneko, Tomoko Hata ...

2021 Volume 15 Pages 60-68

DOI<https://doi.org/10.3117/planroot.15.60>

Original Research Article

AtF-box gene expression fine-tunes *Arabidopsis thaliana* root development

Miroslava Zhiponova, Jefri Heyman, Lieven De Veylder, Anelia Iantcheva

2021 Volume 15 Pages 69-78

DOI<https://doi.org/10.3117/planroot.15.69>

Short Report

Involvement of kiwifruit root autotoxicity in its replant problem

Shun Okada, Hisashi Kato-Noguchi

2021 Volume 15 Pages 79-84

DOI<https://doi.org/10.3117/planroot.15.79>

論文の審査状況について

2021年に *Plant Root* に投稿された論文数は20報（14報が海外からの投稿）で、そのうち受理されたものが6報、審査中が2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.planroot.org/index.htm>

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

編集委員 (2022年1月～2023年12月)

Editors in Chief

Dr. Yasuhiro Hirano (Nagoya University, Nagoya, Japan), **Prof. Yoshiaki Inukai** (Nagoya University, Nagoya, Japan), **Dr. Yoshiro Mano** (Institute of Livestock and Grassland Science, NARO, Nasushiobara, Japan), **Dr. Kyotaro Noguchi** (Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Morioka, Japan)

Senior Editorial Assistant

Dr. Satoshi Shimamura (Tohoku Agricultural Research Center, NARO, Daisen, Japan)

Subject Editors (in alphabetical sequence of family names)

Dr. Tomomi Abiko (Kyushu University, Fukuoka, Japan), **Dr. Hideki Araki** (Yamaguchi University, Yamaguchi, Japan), **Prof. Hiroyuki Daimon** (Ryukoku University, Kyoto, Japan), **Dr. Karibu Fukuzawa** (Hokkaido University, Sapporo, Japan), **Dr. Shintaro Hara** (Institute for Agro-Environmental Sciences, NARO, Tsukuba, Japan), **Prof. Maki Katsuhara** (Okayama University, Kurashiki, Japan), **Dr. Akihiko Kinoshita** (Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Kumamoto, Japan), **Dr. Yoshihiro Kobae** (Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido, Japan), **Dr. Bohdan Konôpka**

(National Forest Centre, Forest Research Institute Zvolen, Zvolen, Slovakia), **Dr. Katashi Kubo** (Tohoku Agricultural Research Center, NARO, Fukushima, Japan), **Dr. Takeshi Kuroha** (Institute of Agrobiological Sciences, NARO, Tsukuba, Japan), **Dr. Naoki Makita** (Shinshu University, Matsumoto, Japan), **Dr. Atsushi Matsumura** (Osaka Prefecture University, Sakai, Japan), **Prof. Motoyasu Minami** (Chubu University, Kasugai, Japan), **Prof. Mikio Nakazono** (Nagoya University, Nagoya, Japan), **Dr. Naoto Nihei** (Fukushima University, Fukushima, Japan), **Prof. Atsushi Ogawa** (Akita Prefectural University, Akita, Japan), **Prof. Mizue Ohashi** (University of Hyogo, Himeji, Japan), **Dr. Atsushi Oyanagi** (NARO, Tsukuba, Japan), **Dr. Kosala Ranathunge** (The University of Western Australia, Perth, Australia), **Prof. Yowhan Son** (Korea University, Seoul, The Republic of Korea), **Dr. Koya Sugawara** (NARO Institute of Livestock and Grassland Science, Nasushiobara, Japan), **Dr. Daisuke Takata** (Fukushima University, Fukushima, Japan), **Dr. Yusaku Uga** (Institute of Crop Science, NARO, Tsukuba, Japan), **Dr. Akihiro Yamamoto** (University of Miyazaki, Miyazaki, Japan), **Dr. Takaki Yamauchi** (Nagoya University, Nagoya, Japan), **Dr. Ken Yokawa** (Kitami Institute of Technology, Hokkaido, Japan)

Root 根の研究 Research

編集委員長	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
副編集委員長	小川 敦史	秋田県立大学生物資源科学部
	松波 麻耶	岩手大学農学部
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・作物研究部門
	亀岡 笑	酪農学園大学循環農学類
	神山 拓也	宇都宮大学農学部
	檀浦 正子	京都大学大学院農学研究科
	辻 博之	農研機構・北海道農業研究センター
	仲田(狩野)麻奈	名古屋大学農学国際教育研究センター
	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
	山崎 篤	農研機構・九州沖縄農業研究センター
	山本 岳彦	農研機構・東北農業研究センター
上級編集補佐	島村 聡	農研機構・東北農業研究センター

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 : neken2022@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 31 巻 第 1 号 2022 年 3 月 15 日印刷 2022 年 3 月 20 日発行
発行人：中野明正 〒277-0882 千葉県柏市柏の葉 6-2-1
千葉大学 学術研究・イノベーション推進機構
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

Root Research

Japanese Society for Root Research

Mini Review

Temporal variation in fine-root biomass, production, and mortality in a cool-temperate forest covered with understory *Sasa senenensis*

Karibu FUKUZAWA 7