

Root

Research

Japanese Society for Root Research

ISSN 0919-2182
Vol.31, No.4
December 2022

目 次

【巻 頭 言】

会員の皆様へ 103

【技術ノート】

ルートプレッシャーチャンバー法を用いた樹木細根系の水透過性の測定：
野外条件下で測るために 増本泰河・矢原ひかり・且原真木・牧田直樹 105

【情 報】

菜根譚 野菜の根の話 18. 二刀流と二流 中野明正 115

【報 告】

作物学者の根の研究—巽二郎先生を偲んで— 山内章 116

苅住さん、ありがとうございました 野口享太郎 120

樹木根研究者 苅住昇先生を偲ぶ—文献調査から 平野恭弘 122

第56回根研究集会に参加して 江岸祐夏 127

第56回根研究会集会プログラム 128

【会 告】

2022年度根研究学会賞の決定について 132

2022年度根研究学会臨時総会報告 135

「根の研究」第31巻 総目次 137

根の研究
根研究学会(JSRR)

会員の皆様へ



事務局からのお知らせ

1. 第56回根研究集会の開催と2022年度根研究学会賞の受賞報告

9月17日～18日に九州大学農学部附属農場でOnline & Onsite形式にて第56回根研究集会が開催されました。安彦友美実行委員長、中村哲洋・望月俊宏・梶原良徳・富吉啓太・瀬戸苑子・梶原さゆり・坂元ユカリ実行委員ならびに土壌モノリス制作協力隊（土壌学研究室の山元夕衣乃さん・Ei Phyu Thaeさん・池田卓弥さん）の皆様のおかげをもちまして開催することができました。ありがとうございました。本集会では、「根と根を取りまく環境」をテーマとして、九州大学の平舘俊太郎先生による「土壌のできかたとはたらきを探る：考えかたと調べかた」の招待講演と土壌モノリス標本の作り方の実演、理化学研究所の和田智之先生による「循環型共生農業プラットフォーム構築のための高度人工気象チャンバーシステムの開発」の招待講演も開催されました。また、学術功労賞（辻博之氏）、学術奨励賞（寺本翔太氏）および学術特別賞（藤井太一氏・南基泰氏・市橋泰範氏・佐藤匠氏・熊石妃恵氏・渡部卓也氏）の受賞が発表されました。台風接近の影響で日程変更が生じたため、授賞式と受賞記念講演は2023年春の根研究集会で執り行う予定です。詳しくは今号に掲載の報告と根研HP掲載の31巻別冊2号をご覧ください。優秀発表賞については、江岸祐夏氏、仲畑了氏の2名が受賞しました。

2. 2023年の根研究集会

・2023年度の集会

第57回根研究集会（春）を2023年5月末に神奈川県川崎市の明治大学（生田キャンパス、塩津文隆実行委員長）で開催する予定です。

第58回根研究集会（秋）を2023年秋に兵庫県姫路市の兵庫県立大学（姫路環境人間キャンパス、大橋瑞江実行委員長）で開催する予定です。

3. 2023年より「Plant Root」の掲載料が有料化され、「根の研究」にオープンアクセスオプションが導入されます！

2022年度根研究学会臨時総会で承認されましたように、2023年1月1日より、「Plant Root」の掲載料が有料化され、「根の研究」にオープンアクセスオプションが導入されます。これにより、安定した学会運営を持続的に続けていけるよう、前進すると期待しています。

- ・「Plant Root」の掲載料は、根研究学会会員 20,000 円/編、非会員 25,000 円/編とします。
- ・「根の研究」のオープンアクセスは、論文の情報発信力を高めるためのオプションサービスで、論文受理後に著者がオープンアクセス料（20,000 円/編）を支払うことにより、根研究学会非会員でも出版と同時に論文にアクセスできるようになります。非会員が J-Stage に掲載された論文を出版 1 年後にアクセスできるディレイド・オープンアクセスは無料（0 円）です。

4. 2023年の「苺住」国内研修支援の募集について

- ・苺住基金は、根研究学会所属の若手会員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。
- ・現在、2023年度（2023年1月 - 12月）の海外研修を検討中で、年末または年始に募集の詳細をアナウンスする予定です。

5. 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

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. 「根の研究」への投稿にテンプレートをご使用ください！

著者の執筆負担軽減と校正・編集作業の効率化のため、根の研究のテンプレートを整備しました。テンプレートの word ファイル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>) からダウンロードできます。こちらにしたがって原稿を作成していただきますようお願いいたします。なお、テンプレート中の青字は投稿に関する規定や記載例です。投稿時には削除してください。

8. 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>

9. 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—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。

10. 会費納入のお願い

2022 年度の会費をまだお支払いいただいていない方は、下記の郵便振替口座に納入をお願いします。請求書等の伝票をご希望の方は、事務局までお知らせください。

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/>

ルートプレッシャーチャンバー法を用いた樹木細根系の水透過性の測定：野外条件下で測るために

増本泰河¹⁾・矢原ひかり¹⁾・且原真木²⁾・牧田直樹^{*1,3)}

1) 信州大学大学院総合理工学研究科

2) 岡山大学資源植物科学研究所

3) 信州大学理学部

要 旨：樹木細根（直径 2 mm 以下の末端根）の吸水機能を評価することは、樹木の生理活動の正確な理解につながるとともに、土壌－樹木間の相互作用系の理解を深化させることから、森林生態系における水循環の正確な理解においても重要である。本稿では、野外条件下で樹木細根の水透過性（root hydraulic conductivity）を計測する手法について紹介する。水透過性は、組織における水の流れやすさを示し、根系全体の吸水速度や葉の蒸散速度に影響を与えることが知られている。作物や樹木の実生の根系を対象とした研究では広く用いられてきた一方で、これまで技術的な問題から、野外森林の成木における細根の水透過性の評価は私たちが知る限り未だ多くない。紹介する手法では、持ち運び可能なプレッシャーチャンバーを用いて、根の末端に人工的に一定の圧力を加え、一定時間ごとに根の切断面から出液した水の量を評価することで、水の流れやすさを示す指標である水透過性を計測する。この手法では、根系の切断面から出液した水の量を短時間で評価するため、蒸発や土壌粒子などの不純物の影響を受けにくく、野外においても計測を行うことが可能となる。本稿をきっかけに多くの方が樹木細根の水透過性に興味を持ち、計測に取り組んでいただけると幸いである。

キーワード：通水コンダクタンス、プレッシャーチャンバー法、水吸収、水輸送、野外測定。

Field measurement of tree fine root hydraulic conductivity using a root pressure chamber technique : Taiga MASUMOTO¹⁾, Hikari YAHARA¹⁾, Maki KATSUHARA²⁾ and Naoki MAKITA^{*1,3)} (¹⁾Graduate School of Science and Technology, Shinshu University, ²⁾Institute of Plant Science and Resources, Okayama University, ³⁾Faculty of Science, Shinshu University)

Abstract : Water uptake by plant roots is important for plant physiology governing plant water use and productivity. As a common method for root water uptake, root hydraulic conductivity is widely used and defines the intrinsic ability of roots to conduct water across a water potential gradient between the root surface and the xylem in the roots. An advantage of root hydraulic conductivity methods is that there is a direct measurement of the water movement. The pressure chamber has been widely used in the measurement of hydraulic conductivity of plant in mainly crop and small size of seedlings. On the other hand, there is a little information on direct measurement of water uptake of tree fine roots (usually < 2 mm in diameter) under forest field, mostly due to inadequacy in the techniques available. Here, we have introduced a technique for measuring root hydraulic conductivity to determine the fine root physiological function in forest field condition.

Keywords : Field measurement, Hydraulic conductance, Pressure chamber method, Water transport, Water uptake.

緒言

樹木は、主に直径 2 mm 以下の末端根（細根）を通して土壌から水を獲得している（牧田, 2020）。そして、獲得された水は植物の肥大成長や各栄養成分の輸送、光合成活動に利用され、成長を維持させている（村井ら, 2009）。水を土壌から根内部へと吸収し、吸収した水を根の基部や地上部へと輸送する根の働きは吸水機能と定義され、樹木細根の吸水機能を評価すること

は、樹木の生理活動を理解するうえで重要である。また、樹木細根の吸水機能の評価は、土壌－樹木間の相互作用系の理解を深化させ、森林生態系における水循環の正確な理解につながる。しかしながら、根の吸水機能そのものの直接的な評価は、根系の取り扱いの難しさおよび、根系の乾燥や根系に付着した土壌粒子などの不純物の影響により困難である。

本稿では、根の吸水機能の直接的な評価方法である水透過性に着目した手法を紹介したい。水透過性とは、

根や葉、枝などの植物器官における水の流れやすさを示す指標であり、吸水機能の内、吸収した水を根の基部や地上部へと輸送する根の働きを特に反映し、水ポテンシャル差と共に、植物内の水の流速を表す水フラックス (water flux) を規定する主要因となる (種子田ら, 2016)。水ポテンシャル差は、土壌と根系や葉と根系など2つのコンパートメントの水ポテンシャルによって決定されるため、根系以外の要因の影響を強く受ける。一方、水透過性は根系自体の道管直径などの解剖的構造やアクアポリンの発現量などの生理活性の影響を強く反映されるため、作物や実生苗の根系を対象とした研究の測定項目として広く用いられている (e.g. Rieger and Litvin, 1999; Katsuhara and Shibasaki, 2007; Faustino et al., 2015)。例えば、Rieger and Litvin (1999) は5種の植物を対象に根系の水透過性を測定し、根の解剖的構造の違いが根系の水透過性に影響を与えることを報告している。なお、水の流れやすさを意味する用語として水コンダクタンス、通導コンダクタンス、透水コンダクタンス、通水コンダクタンス、水分通導度、通導率、水透過性など様々な名称が使われている。厳密にはそれぞれ意味と英語表記が異なっており、根系全体としての水透過性は hydraulic conductance ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$)、根表面積で標準化された水透過性は hydraulic conductivity ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$) と呼ばれ、研究目的によって使い分けられている (種子田ら, 2016; Tyree and Zimmermann, 2012)。根の分野では一般的に、根系全体の水透過性を通水コンダクタンス ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$)、根表面積で標準化された水透過性を根水透過性 ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$) として使用している。本稿では、根系全体の項目を根系全体の水透過性 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$)、根表面積で標準化された項目を、以下、根水透過性 ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$) として使用する。

作物や樹木の実生苗の根系を対象とした研究において、根水透過性は、土壌水分、低酸素、塩ストレス、地温、土壌の栄養塩濃度等の要因によって変化し、根系全体の吸水速度や葉の蒸散速度に影響を与えることが知られている (村井ら, 2009; Rodríguez-Gamir et al., 2010)。一方で、これまで技術的な問題から、野外森林の成木における細根系の水透過性の評価は私たちが知る限り未だ多くない。既往研究で用いられている植物の水の移動を測定する手法として、高圧流速計測法や減圧チャンバー法、蒸散流を利用する方法など様々あるが (Venturas et al., 2017)、例えば高圧流速計測法や減圧チャンバー法では水の流速を測定する際に直接電子天秤に接続する必要があるため、野外森林下において用いることは困難である。また、蒸散流を利用する手法では根系をすべて掘り出す必要があるが、成木の場合、根系が深くそして広範囲に分布し、多量

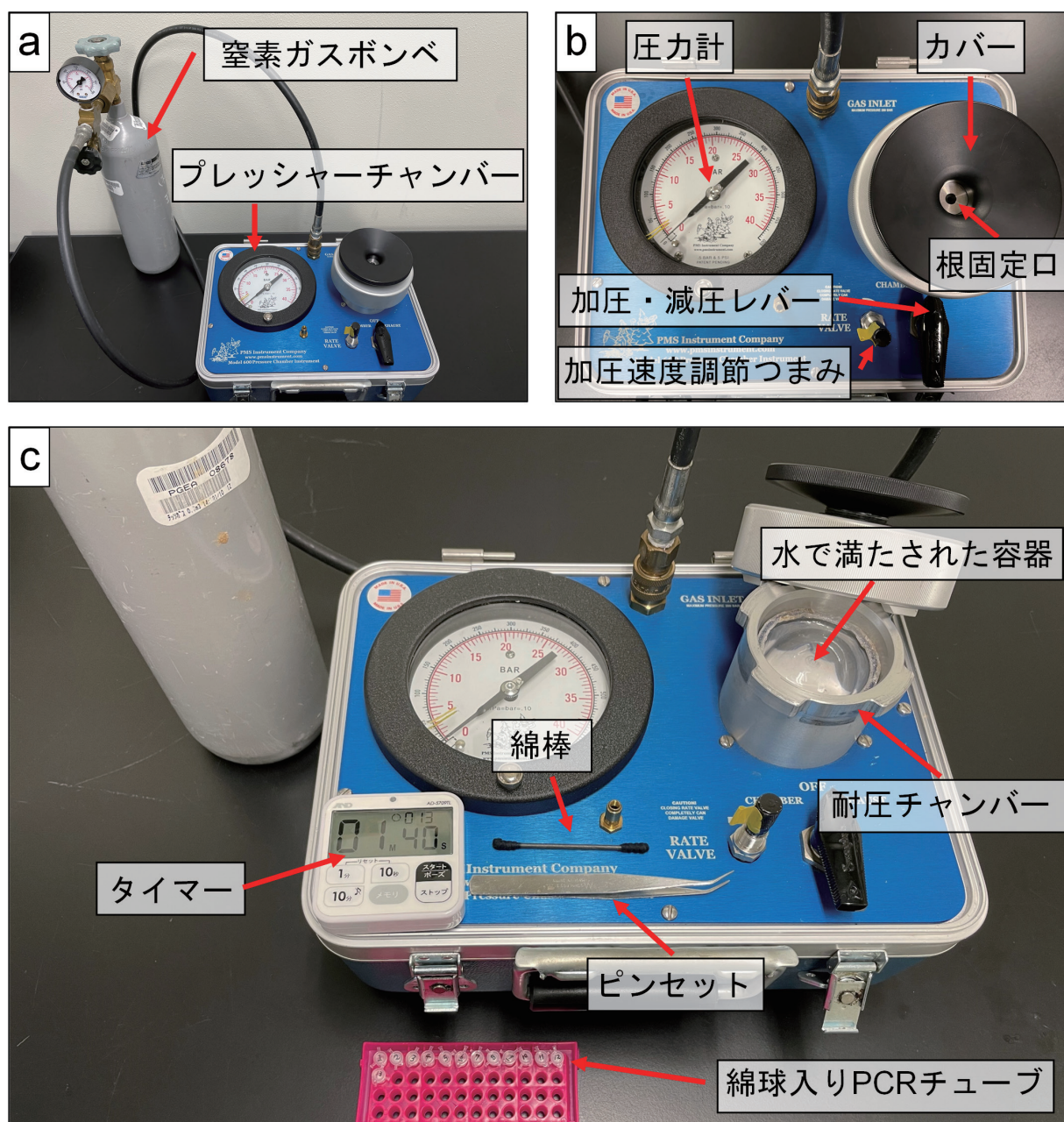
の土壌を捕捉しているため、根系すべてを掘り出すことは現実的でない。そこで、本稿では、耐圧容器を用いたルートプレッシャーチャンバー法 (e.g. Horie et al., 2011) を土台に、野外森林下で細根系の水透過性を計測できるように改良した手法について紹介する。

材料と方法

本題であるルートプレッシャーチャンバー法について記述する前に、自然下における植物体内の水の流れについて簡単に触れておきたい。植物体内の水の流れは、2つのコンパートメント間 (例えば根系の内外や根系と葉の間など) の水ポテンシャル勾配 (あるいは水ポテンシャル差) を原動力として駆動される (石井ら, 2017)。そして、水透過性によって水の通しやすさが評価される。この二つの要素を加味すると、単位時間あたりに移動する水の量は、以下のように記述できる。

$$\begin{aligned} & (\text{単位時間あたりの}) \text{ 水の移動量} \\ & = \text{水ポテンシャル勾配} \times \text{系全体での水透過性} \end{aligned} \quad (\text{式 1})$$

水ポテンシャルとは水の化学エネルギーの指標であり、浸透ポテンシャルと圧ポテンシャルの和となっている。なお、水ポテンシャルの構成因子には重力ポテンシャルやマトリックスポテンシャルもあるが、根の水透過性を測定する系において、これらは変化しないと考えてよいので、水の駆動力となる「水ポテンシャル差」においては、これら2つの因子は考慮しなくてよい。浸透ポテンシャルは、浸透圧にマイナスを付けた値となる。物理的圧力 (静水圧) がかかっていない条件では圧ポテンシャル = 0 なので、水ポテンシャル = 浸透ポテンシャルとなる。純水の浸透ポテンシャルを 0 と定義し、純水よりも水分子の濃度が低い溶液 (すなわち溶質が存在している溶液) では水ポテンシャル (= 浸透ポテンシャル) は負の値を示す (種子田ら, 2016)。蒸散により葉内の水分が失われると、葉内の水ポテンシャルが低下し、植物内に水ポテンシャル勾配が生じる。水は、水ポテンシャルの高いところから低いところへ移動するため (寺島, 2013)、水ポテンシャル勾配に従って土壌の水が根で吸い上げられ、根、茎、葉の植物体内を通り、地上部の水を失った組織へ輸送される (種子田ら, 2016)。根系を対象としたルートプレッシャーチャンバー法は、対象の植物組織内または組織外の水に物理的静水圧をかけることで、人工的に水ポテンシャルを変化させて水ポテンシャル勾配を制御し、植物内の水の移動速度を変化させて計測する手法である (Tyree and Zimmermann, 2012)。以下で計測手法を記述する。



第1図 プレッシャーチャンバー装置概要。

(a) プレッシャーチャンバー装置の全体風景。(b) プレッシャーチャンバーの拡大図。(c) 細根を測定する際の水透過性計測時の準備内容。

1. プレッシャーチャンバー装置概要

本手法で使用するプレッシャーチャンバー装置 (Model 600 Pressure Chamber Instrument, PMS 社) は、市販されている装置として入手しやすく、容易に携帯することができる。主に葉の水ポテンシャル測定のために開発された装置であるが、筆者らは、そのような装置を樹木細根の水透過性に応用した。

プレッシャーチャンバー装置を用いた本手法は、固定した細根系サンプルに、窒素ガスを用いて任意の一

定圧力を加えることができる (第1図 a)。装置には圧力計がついており、耐圧チャンバー内の圧力を常にモニタリングすることができる (第1図 b)。また、加圧・減圧レバーや加圧速度調整つまみを用いて、耐圧チャンバー内の圧力を容易に調節することが可能である。耐圧チャンバーを密閉するカバーは取り外しが可能であり (第1図 c)、カバーの中心にある固定口に根の基部を固定できる。根の基部を固定した状態でカバーを耐圧チャンバーに装着すれば、チャンバー内に根の末端のみが入り、チャンバー外に根の基部が出ている状

況を作り出すことができる。この状況でチャンバー内を加圧することで、根の末端から基部にかけての水ポテンシャル勾配を作り出すことが可能となる。この装置は、前述のように野外条件下における葉の水ポテンシャル測定に多く用いられており (e.g. Kannenberg et al., 2019 ; Kamakura et al., 2021), コンパクトで比較的軽量であるため、小型の窒素ポンベと合わせることで容易に野外に携帯し、根水透過性を計測することができる。なお、本来この装置は、葉などの地上部器官の水ポテンシャルなどを測定するために開発され、根水透過性を測定することを想定していないため、耐圧チャンバー内に直接水を貯めることができない。したがって、チャンバー内に水を溜めるには、別途容器を耐圧チャンバーに入れておく必要がある。

2. 根水透過性計測のための準備物

根水透過性の計測には、第2図および第1表でまとめた物品を準備する必要がある。根系の切口を整える鋭利なハサミまたはカミソリ、そして根系と装置に固定するためにテフロンテープが必要である。また細かな作業を行うためにピンセットは作業効率を高める。プレッシャーチャンバーの装置として、プレッシャーチャンバー本体だけでなく、圧力ガスである窒素ポンベ、ポンベと装置を繋ぐ耐圧ホースは必需品である。加えて、計測に用いる水（目的の温度帯に調整したイオン交換水）とともに、水の受け皿となる耐圧チャンバー内に入れる容器が必要である。この容器は、根をチャンバーに固定した際に根全体が過不足なく水につかるように、耐圧チャンバーと同じ高さのものを使用することが好ましい。根系の切断面からの水の出液を捕らえるために、綿球および0.2 mL PCR チューブ、そしてその出液量を測定するための精密電子天秤の準備も必要である。また、計測中に出液した余分な水を吸い取るために綿棒があると便利である。加えて、根サンプルを撮影するためのスキャナー、その画像を解析するWinRHIZOやImageJなどの画像解析ソフトも重要である。さらに、100秒間の測定を何度も繰り返すため、インターバル機能のあるタイマーがあると便利である。上記で述べた準備物を用いての方法を下記で説明する。

3. 根水透過性の算出原理

根水透過性の計測手順の具体的な説明の前に、その算出原理について説明したい。根水透過性は一定圧力を加えた際に単位根表面積を流れる水の流速と定義されるため、理論上は式2を用いて求めることができる。

$$\text{根水透過性 (m}^3\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{MPa}^{-1}) = \frac{\text{出液速度 (m}^3\text{s}^{-1})}{\text{加えた圧力 (MPa)} \times \text{根表面積 (m}^2\text{)}} \quad (\text{式} 2)$$

ここで式2の出液速度、根水透過性、加えた圧力はそれぞれ、式1の（単位時間あたりの）水の移動量、系全体の水透過性を根表面積で割ったもの、水ポテンシャル差、に相当する。

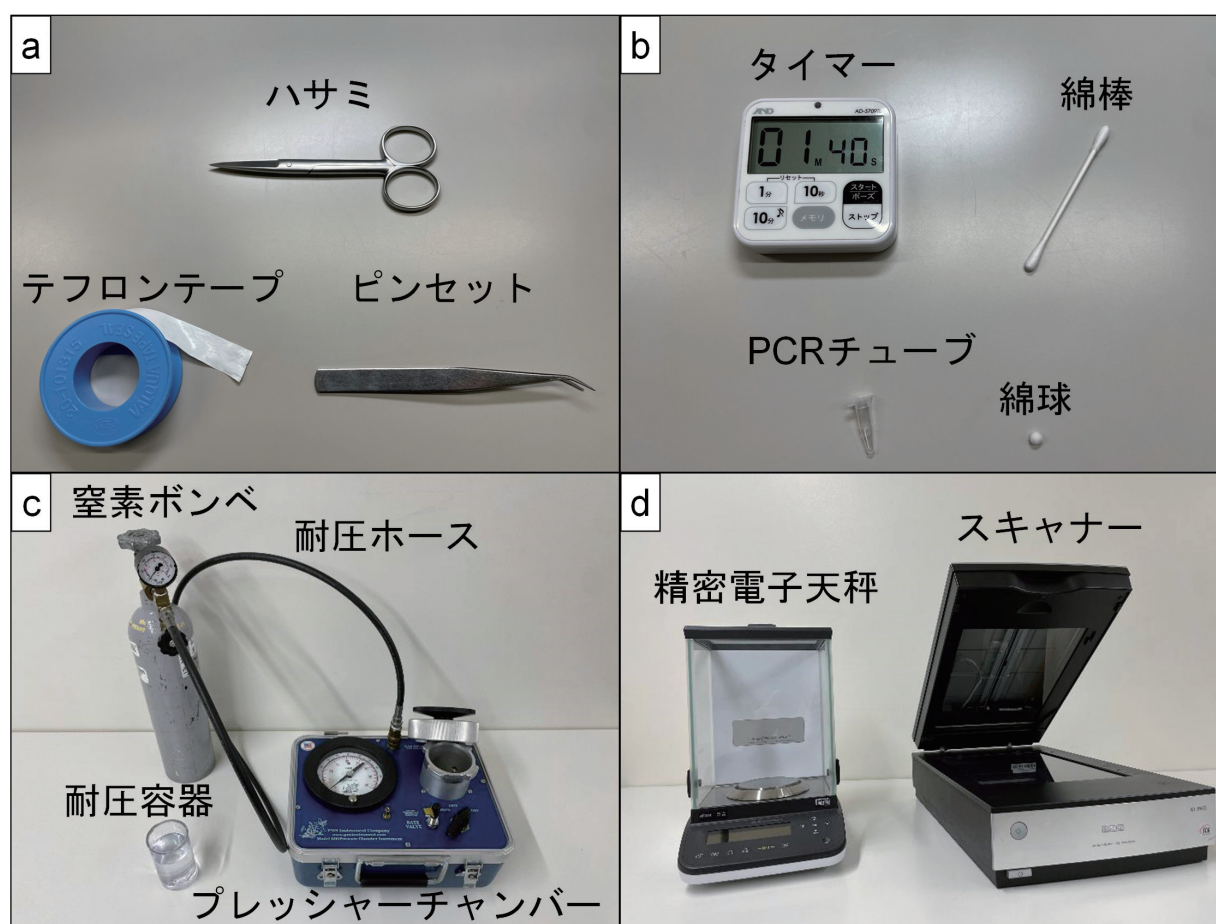
一方で、実際の根水透過性の計測は定常流下で行う必要がある。したがって、本手法ではまず計測が定常流下で行われたかを判別する。同圧力下で100秒間の計測を連続して5回繰り返し、得られた出液量をもとに各経過時間 (s) における累計出液量 (m³) を計算し、経過時間をx軸、累計出液量をy軸にとった散布図を作成する (第3図a)。5点を用いて回帰直線を作成し、決定係数が0.99以上であった場合、定常流下の測定であるとみなし、回帰直線の傾きから出液速度 (m³m⁻²s⁻¹) を算出する。計測に用いた根系を洗い出し等で乱雑に扱ってしまった場合、細胞壁、細胞膜、木部、師部、仮道管などが損傷し、根系内部の水の流れが不安定となる可能性がある。その結果、第3図aで示す、圧力と出液速度の関係の回帰線の決定係数が0.99を下回り、線形が維持されなくなる。したがって、根系の扱いをできる限り丁寧に行うことがきわめて重要である。

1点の圧力下でのみの計測の場合、圧力と出液速度の回帰直線のy切片が0とならないケースがあるため、Kaneko et al. (2015) に従い、計測は2点の圧力下で行う。2点間の圧力差および出液速度の変化から式3を用いて根水透過性を算出できる (第3図b)。

$$\text{根水透過性 (m}^3\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{MPa}^{-1}) = \frac{\text{出液速度の変化 (m}^3\text{s}^{-1})}{\text{圧力差 (MPa)} \times \text{根表面積 (m}^2\text{)}} \quad (\text{式} 3)$$

また、加圧開始直後の100秒間および、圧力変更後の200秒間は根からの出液が安定しないため、実際の根水透過性の計測は1300秒間行う（加圧直後の100秒 + 1圧力下で500秒 + 圧力変更後の200秒 + 1圧力下で500秒）。この過程で13個のPCRチューブを使用する。

なお、植物の水透過性を計測に関しては、理想的には3点以上の圧力下で計測することが望ましい。しかしながら、細根は構造的に脆弱である未成熟な組織を多く含むため、長時間の加圧は計測結果に影響を及ぼす可能性がある。加えて、草本種において時間経過とともにアクアポリンの活性が変化し、根の水透過性が変化することが報告されていることから (Javot and



第2図 根水透過性の計測に使用する物品の写真。

(a) 採取した細根にテフロンテープを巻く際に使用する物品。(b) 細根の切断面からの水の出液を測定する際に使用する物品。(c) プレッシャーチャンバー装置に用いる物品。(d) 水の出液測定後に使用する物品。各写真の記号は第1表の各物品の番号と対応している。

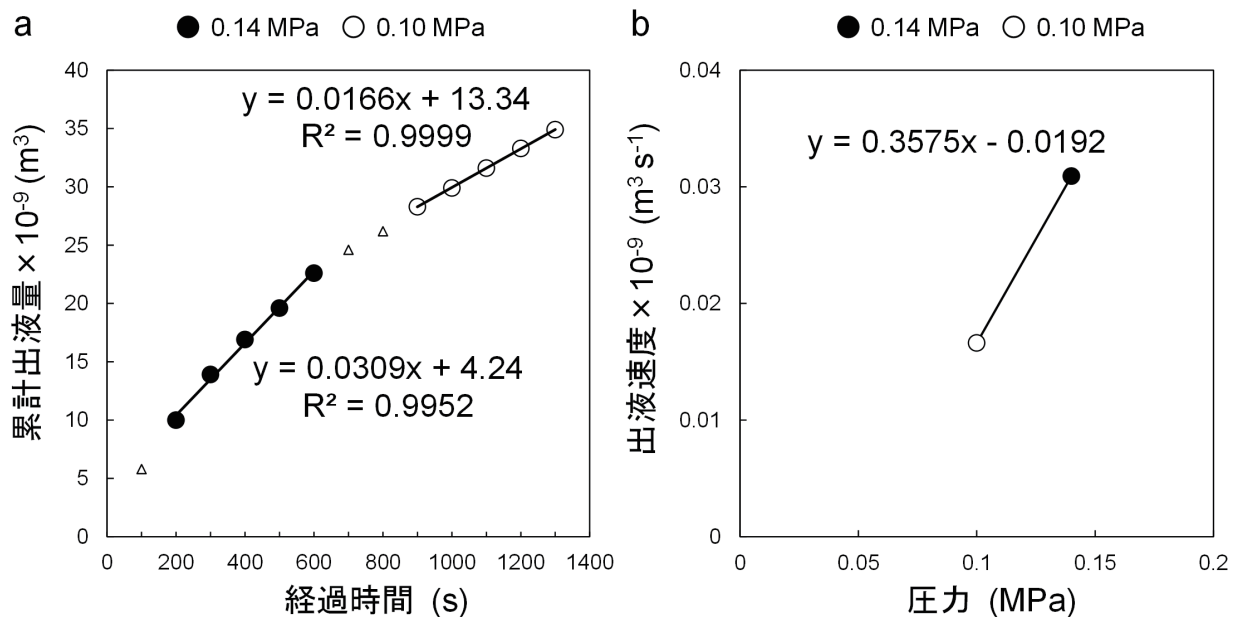
第1表 根水透過性の測定に使用する物品の詳細な型番。

一般名	商品・型番	会社名	記号
ハサミ	ハサミ直セン刀両鋭 No.10	アズワン	a
ピンセット	TRUSCO ステンレス製ピンセット 125 mm 先曲り型	トラスコ中山	a
テフロンテープ	テープシール 20-101305	バルカー	a
タイマー	防水インターバルタイマー AD-5709TL	A & D	b
綿棒	リーダー 抗菌綿棒	日進医療器	b
PCR チューブ	ピオラモ PCR チューブ 0.2 mL	アズワン	b
綿球	Cotton Pellets Size 3	Richmond Dental & Medical	b
窒素ボンベ	－	－	c
耐圧ホース	プレッシャーチャンバーの付属品	PMS	c
プレッシャーチャンバー	Model 600 Pressure Chamber Instrument	PMS	c
耐圧容器	－	－	c
精密電子天秤	分析てんびん AP224X	SHIMADZU	d
スキャナー	A4 フラットベッド GT-X980	EPSON	d

表中の各物品の記号は第2図と対応しており、第2図中の該当する記号の写真に各物品の写真が掲載されている。

Maurel, 2002), 樹木細根を対象とする場合も水透過性は根を採取してから可能な限り早く計測する必要があると考えられる。以上のことを考慮し、本手法では

2点の圧力下で計測を行っている。実際に2点の圧力下で計測を行っている研究も存在することから (e.g. Kaneko et al., 2015), 事前に計測に用いる圧力を含む



第3図 根水透過性の算出過程に必要な (a) PCR チューブの重量差から求めた累計出液量と経過時間の関係性と (b) 出液速度と圧力の関係性の図。

黒色の点は 0.14 MPa 下で得られたデータ、白色の点は 0.10 MPa 下で得られたデータを示す。(a) に関して白三角の点は水の出液が不安定な加圧および圧力変更直後に得られたデータを示し、回帰直線の算出には使用しない。回帰直線の傾きはそれぞれの圧力下における出液速度を示す。回帰直線の決定係数 (R^2) を基準に測定が定常流下で行われたかを判断し、 $R^2 \geq 0.99$ のものを測定成功とみなし計算に用いる。(b) に関して、回帰直線の傾きは根系全体の水透過性を示す。

複数の圧力において圧力と出液速度の関係に直線性があることを確認した上で、2 点の圧力下で計測を行う場合は問題ないと考え。

また、計測に用いる圧力について、本手法では実際に樹木細根で測定された水ポテンシャルのレンジの中から、十分な出液量が得られる圧力を選択している。細根における、圧力と出液速度の関係が直線性を示す圧力範囲や、水ポテンシャル値の範囲、十分な出液量が得られる圧力は、対象とする樹種や根系の大きさによって変化してしまうため、事前に適した圧力を確かめる必要がある。

4. 綿球入り PCR チューブの準備

根水透過性の計測前に、水の出液量を測定するための準備を行う。出液した水は、PCR チューブ内に綿球を詰めたものを使用して採取する。まず、チューブ本体とチューブの蓋を切り離す。これは、根水透過性計測時に、チューブ中の綿球が根に触れるように蓋を開けて設置する必要があるためである。次に、チューブに綿球を詰める。前述した2つの作業が完了した綿球入りチューブを1根系の測定に必要な13個用意し、蓋に1から13までの番号をそれぞれ記入する。それぞれの綿球入りチューブの重量を精密電子天秤で事前に測定し、記録する。なお、計測に用いる PCR チューブや綿球は様々なサイズが市販されているため、対象

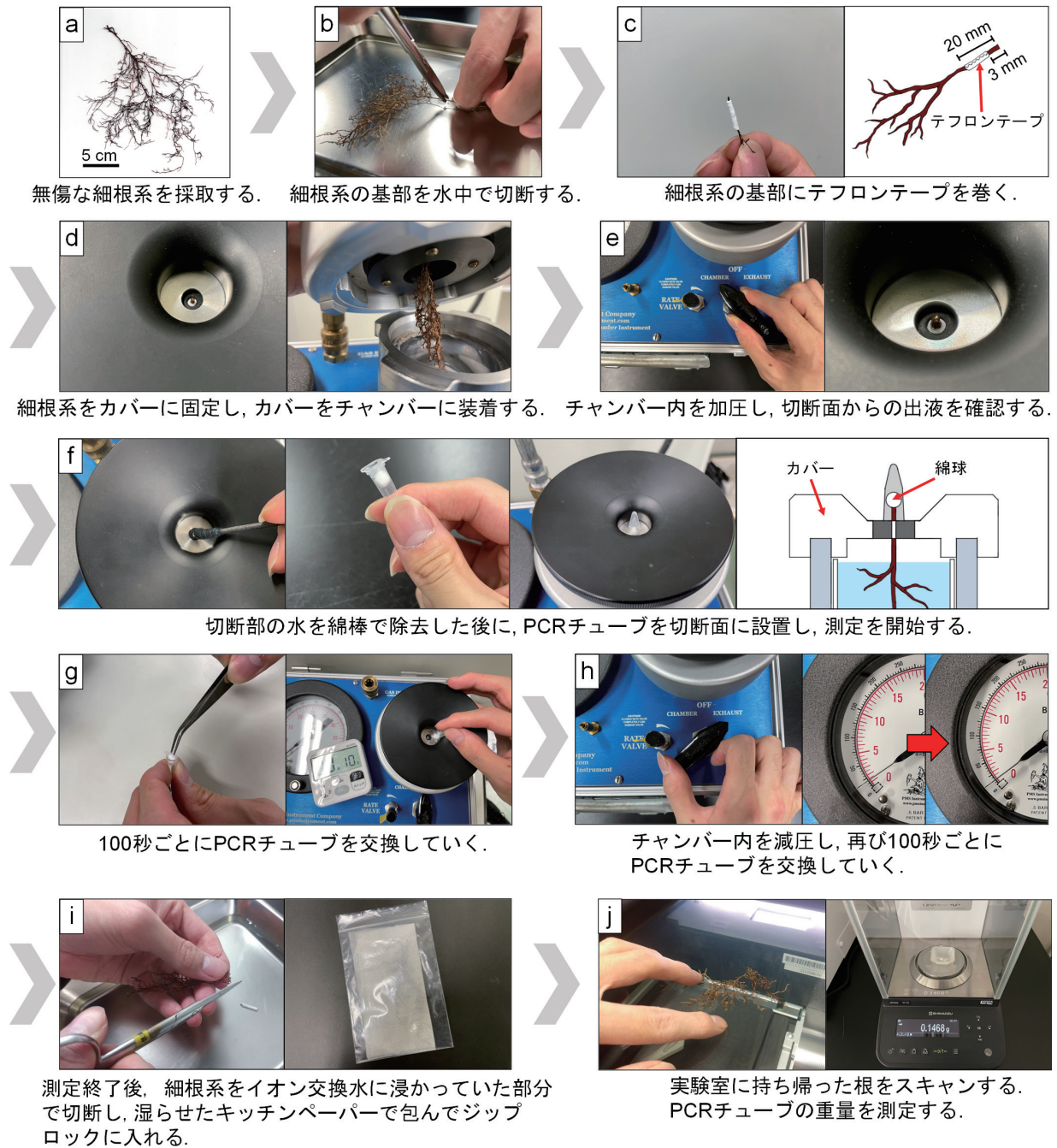
とするサンプルの大きさや、使用感によって適宜調整していただきたい。

5. 根水透過性の計測手順

野外条件下で樹木細根系の根水透過性を計測する際の手順について詳細に解説していく。

[手順1] スコップで細根系を傷つけないように慎重に採取する。採取した細根系は、水道水あるいは雨水や渓流水で洗浄し、付着している土壌粒子や菌糸を丁寧に取り除く(第4図a)。これは、土壌粒子などの不純物が根に付着していた場合、水が根表面に到達するまでの障害になり、計測結果に影響を及ぼす可能性があるためである。特に野外環境では、根に付着した土壌が落ちにくく、対象とする根系サンプルが大きすぎた場合、土壌を洗い落とすのに時間がかかり、根の乾燥や付着した土壌粒子などの不純物の計測結果への影響が大きくなる。紹介する手法は、短時間かつ少量のサンプルで水透過性を計測することができるため、根の乾燥や土壌粒子などの不純物の影響を受けにくく、野外における計測に適していると考え。

[手順2] 根サンプルの基部をハサミやカミソリなど切れ味の良い刃物で切断する(第4図b)。なお、この作業は、断面の乾燥を防ぎ、細根系内部への空気の流入を防ぐために水中で行う(水切り)。



第4図 根系の採取から、試料の調節、根水透過性の測定までの計測の流れ。

切断部から軸方向 20 mm 以内の部位が、直線で分岐の少ないサンプルであると、プレッシャーチャンバーの固定が確実となり、ガスのリークのリスクが抑えられる。

[手順3] 細根系をカバーに固定した際に隙間が生じないように、切断部から約 3 mm 離して、細根系の基部にテフロンテープを巻く (第4図 c)。この時巻くテフロンテープの量は、細根系の直径によって調節する必要があるが、プレッシャーチャンバーの耐圧チャンバーを密閉するためのカバー

に細根系を差し込んだ際に少し抵抗を感じる程度にする。こうすることで、測定時のガス漏れを大幅減らすことができる。

[手順4] チャンバー内にプラスチック容器を入れ、目的の温度帯に調整したイオン交換水で満たす。切断部側のテフロンテープを巻いていない部分がチャンバーの外に出るように細根系をカバーに固定する (第4図 d)。細根系の末端部の大部分がイオン交換水に浸るようにカバーをチャンバーに装着し、チャンバーを密閉する。

[手順5] チャンバー内を 0.14 MPa で加圧する。正常に加圧できていると、チャンバー内とチャンバー外の圧力勾配に従って水が細根系の末端から吸われ、切断部から出液する。この作業時、カバー付近の音をよく聞き、ガス漏れがないかを確認していただきたい。

「シュー」といった異音が聞こえガス漏れしている場合、チャンバー内の圧力を一定に保つことができないため、測定を中止し、テフロンテープの巻き具合やカバーの締め具合を調整し、再度加圧する。ガス漏れが継続される場合は、根サンプルが傷ついてしまったか、テフロンテープを巻いた箇所が曲がっている等の理由が考えられるため、別のサンプルに変更することをお勧めしたい (第4図 e)。

[手順6] 切断部から水の出液が確認できた場合、切断部の水を綿棒で除去し、浸出液のない初期状態を作成する。その後、速やかに綿球入りの PCR チューブを根系基部に設置する (第4図 f)。この時、チューブ内の綿球が細根系の切断部に触れるようにする。

[手順7] タイマーをスタートさせ、圧力を維持したまま 100 秒ごとに綿球入りチューブを交換していく (第4図 g)。交換時、チューブを切断面から外してから 10 秒ほどは表面張力によって出液した水が切断面にたまっているの、この間に素早く次のチューブを設置する。あらかじめ綿球をチューブの上部に配置させておくとしスムーズに設置が行える。測定は 0.14 MPa 下で 600 秒間行う (合計で 6 個の綿球入りチューブを用いる)。異音を確認されなくても徐々にガス漏れしている可能性があるため、加圧中は常に圧力計を確認し、ガス漏れがないか確認する。

[手順8] 600 秒経過後 (7 個目のチューブを設置した後) にチャンバー内の圧力を 0.10 MPa に減圧する (第4図 h)。減圧は急速に行うと根系内に気泡が発生する恐れがあるため、0.14 MPa から 0.10 MPa の減圧は徐々に行うことが望ましい。減圧後、圧力を維持したまま 100 秒ごとにチューブを交換し、0.10 MPa 下で 700 秒間測定を行う (合計で 7 個の綿球入りチューブを用いる)。1 サンプルにつき合計 1300 秒間、13 個の PCR チューブを用いて測定を行う。

[手順9] 測定終了後、チャンバーの圧力を抜き、カバーから細根系サンプルを取り外す。細根系をイオン交換水に浸かっていた部分で切断し (第4図 i)、末端部分を乾燥しないように水で湿らせたキッチンペーパーで包み、ジップロックにいれ、

保冷して実験室に持ち帰る。測定に使用した綿球入り PCR チューブについても保冷して実験室に持ち帰る。

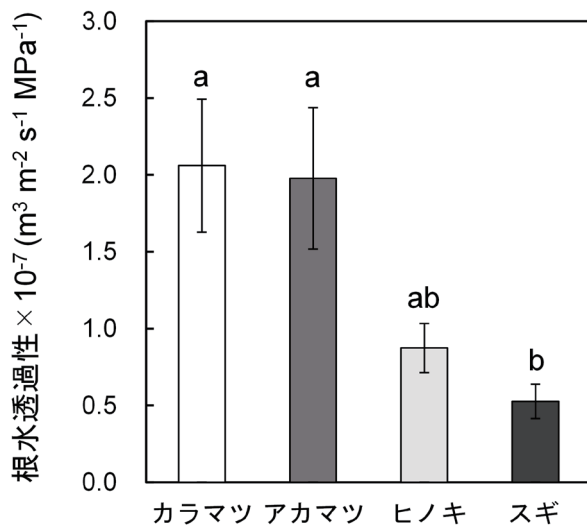
[手順10] 実験室に持ち帰った細根系はスキャナーでスキャンし (第4図 j)、取得した画像について形態解析ソフト (例えば WinRHIZO) を用いて根表面積 (m^2) を測定する。綿球入り PCR チューブについては精密電子天秤を用いて重量を測定し、測定前と測定後の PCR チューブの重量差 (g) を算出する。水の密度が約 1 g cm^{-3} ため、得られた重量差 $\times 10^{-6}$ をすることで 100 秒間に切断面から出液した水の量 (m^3) を求めることができる。なお、PCR チューブの重量測定は、蒸発による重量の減少を最小限にするために、根水透過性の計測を行った当日に行うことが望ましい。難しい場合は、可能な限り早く重量を測定することを推奨する。

6. 根水透過性の算出

得られた出液量をもとに各経過時間 (s) における累計出液量 (m^3) を計算し、経過時間を x 軸、累計出液量を y 軸にとった散布図を作成する (第3図 a)。加圧および圧力の変更直後 (およそ 1 分前後) は出液が不安定なため、0.14 MPa については PCR チューブ試料の 2 点目から 6 点目を用いて、0.10 MPa については 9 点目から 13 点目を用いて回帰直線を作成する。作成した回帰直線の決定係数を基準に測定が定常流下で行われたかを判断し、決定係数が 0.99 以上のものを測定成功とみなし計算に用いる。それぞれの回帰直線の傾きがそれぞれの圧力下における出液速度 ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) である。続いて、得られた出液速度をもとに加えた圧力 (MPa) を x 軸、出液速度を y 軸にとった散布図を作成する (第3図 b)。再び回帰直線を作成し、得られた回帰直線の傾きがサンプル根系の水透過性 ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$) である。この個々の根系の水透過性を根表面積で標準化することで根水透過性 ($\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$) を算出することができる。

測定例と研究展望

最後に、本手法を用いて細根系の水透過性を測定した冷温帯林に生育している針葉樹 4 種を対象とした著者らの研究を紹介する (Masumoto et al., 2022)。対象とした樹種は、落葉樹で外生菌根種のカラマツ (*Larix kaempferi*)、常緑樹で外生菌根種のアカマツ (*Pinus densiflora*)、常緑樹で内生菌根種のヒノキ (*Chamaecyparis obtuse*) とスギ (*Cryptomeria japonica*) であり、野外森林に生育している細根系を用いた。結果として、細根系の根水透過性の平均値は $0.51\text{--}2.06 \times 10^{-7}$



第5図 ルートプレッシャーチャンバー法を用いた針葉樹4種の細根系における水透過性。エラーバーは標準誤差を示す (n = 6)。各棒グラフの上のアルファベットは Tukey の HSD 検定による樹種間の有意差を示す ($P < 0.05$)。Masumoto et al. (2022) より一部改変。

$\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$ であった (第5図)。また、樹種間で比較すると、根水透過性は、同じ部位にも関わらず、スギの根系よりもカラマツやアカマツの根系の方が有意に高く、樹種間で異なった。本手法を用いることで、根水透過性は、樹種特有の吸水機能を有していることが明確となり、樹木根の生理機能を理解する上で重要な知見を与えることが示唆された。

本分野は、課題がまだ多く残されている。例えば、上述した Masumoto et al. (2022) に関しても、限られた樹種での知見であり、議論を森林や地域スケールに拡大するためには広葉樹を含む、より幅広い特性を持った樹種を対象に研究を行う必要がある。また、成木において、同樹種内でも生育環境の違いや樹齢によって細根の形態や解剖構造が異なることが報告されており (e.g. Doi et al., 2017; Hishi et al., 2017), 細根の形態や解剖構造は、水透過性と関係することから (Masumoto et al., 2022), 種間差だけではなく、種内変動にも着目をする必要がある。さらに、同個体においても根の水透過性は時間変化する可能性がある。例えば、草本では、根の水透過性が夜明け前に低く、午前中に高くなることが報告されている (Henzler et al., 1999)。これは、気孔が開くことにより蒸散要求が高まり、それに応じて根の水透過性も高くなるという生理反応であると考えられる。このような根の水透過性の日変化は、成木でも発生する可能性があるため、測定時間を統一化するなどの工夫とともに今後の研究で検証していくが重要である。したがって、今後、さまざまな環境下における種間／種内での検証を進めるこ

とがより正確な計測に向け重要であると考ええる。

一方で、樹木細根における本手法の適用例は未だ少なく、計測に用いる圧力や扱い方等、まだまだ検討すべき項目が残っている。例えば、どの程度根系が損傷した場合に計測結果に影響がでるのかは未だ検証の余地がある。また、本手法は外圧を用いて強制的に吸収させていることから、実際の能動的な吸水機能と必ずしも一致しない可能性がある。道管中の樹液の流れを測定する樹液流測定など、他の水の移動を捕らえた手法とクロスチェックさせていくことが根の吸水機能の真値を導き出すうえで必要であろう。

課題はまだ多いが、本手法を基に、根の吸収に関する研究を促進させることによって、樹木の資源獲得機能や土壌の水分動態および樹木を介した水循環における「根の役割」の理解につながると期待される。本稿をきっかけに多くの方が樹木根系の水透過性に興味を持っていただき、本分野の課題および手法の改良に共に挑戦していただけると幸いである。

謝辞

本稿で紹介した手法は、岡山大学で主催されました第45回根研究集会のワークショップをきっかけとして開発されました。主催していただいた根研究学会にこの場をお借りして感謝申し上げます。また本手法の開発および本稿を取りまとめるにあたり、神戸大学の東若菜博士、京都大学の鎌倉真依博士および信州大学の研究室員から有益なご助言をいただいたことに厚くお礼を申し上げます。

引用文献

- Doi, R., Tanikawa, T., Miyatani, K., Hirano, Y. 2017. Intraspecific variation in morphological traits of root branch orders in *Chamaecyparis obtusa*. *Plant Soil* 416: 503-513.
- Faustino, L. I., Moretti, A. P., Graciano, C. 2015. Fertilization with urea, ammonium and nitrate produce different effects on growth, hydraulic traits and drought tolerance in *Pinus taeda* seedlings. *Tree Physiol.* 35: 1062-1074.
- Henzler, T., Waterhouse, R. N., Smyth, A. J., Carvajal, M., Cooke, D. T., Schäffner, A. R., Steuble, E., Clarkson, D. T. 1999. Diurnal variations in hydraulic conductivity and root pressure can be correlated with the expression of putative aquaporins in the roots of *Lotus japonicus*. *Planta* 210: 50-60.
- Hishi, T., Tateno, R., Fukushima, K., Fujimaki, R., Itoh, M., Tokuchi, N. 2017. Changes in the anatomy, morphology and mycorrhizal infection of fine root systems of *Cryptomeria japonica* in relation to stand ageing. *Tree Physiol.* 37: 61-70.
- Horie, T., Kaneko, T., Sugimoto, G., Sasano, S., Panda, S. K., Shibasaka, M., Katsuhara, M. 2011. Mechanisms of water transport mediated by PIP aquaporins and their regulation via phosphorylation events under salinity stress in barley roots.

- Plant Cell Physiol. 52: 663-675.
- 石井弘明, 東若菜, 新良貴歩美, 黒田慶子 2017. 高木の通水構造と機能. 日林誌 99: 74-83.
- Javot, H., Maurel, C. 2002. The role of aquaporins in root water uptake. *Ann. Bot.* 90: 301-313.
- Kamakura, M., Tsuruta, K., Azuma, W. A., Kosugi, Y. 2021. Hydraulic architecture and internal water storage of Japanese cypress using measurements of sap flow and water potential. *Ecohydrology* 14: 1-6.
- Kaneko, T., Horie, T., Nakahara, Y., Tsuji, N., Shibasaka, M., Katsuhara, M. 2015. Dynamic regulation of the root hydraulic conductivity of barley plants in response to salinity/osmotic stress. *Plant Cell Physiol.* 56: 875-882.
- Kannenber, S. A., Novick, K. A., Phillips, R. P. 2019. Anisohydric behavior linked to persistent hydraulic damage and delayed drought recovery across seven North American tree species. *New Phytol.* 222: 1862-1872.
- Katsuhara, M., Shibasaka, M. 2007. Barley root hydraulic conductivity and aquaporins expression in relation to salt tolerance. *Soil Sci. Plant Nutr.* 53: 466-470.
- 牧田直樹 2020. 根の水吸収. 平野恭弘, 野口享太郎, 大橋瑞江編 森の根の生態学. 共立出版. pp. 142-156.
- Masumoto, T., Ito, T., Akatsuki, M., Makita, N. 2022. Fine root hydraulic conductivity relates to root functional traits in four coniferous species. *Rhizosphere* 21: 100489.
- 村井(羽田野)麻理, 櫻井淳子, 桑形恒男 2009. 植物の水吸収に着目して地上部と地下部の結びつきを考える. 日生態会誌 59: 43-54.
- Rieger, M., Litvin, P. 1999. Root system hydraulic conductivity in species with contrasting root anatomy. *J. Exp. Bot.* 50: 201-209.
- Rodríguez-Gamir, J., Intrigliolo, D. S., Primo-Millo, E., Forner-Giner, M. A. 2010. Relationships between xylem anatomy, root hydraulic conductivity, leaf/root ratio and transpiration in citrus trees on different rootstocks. *Physiol. Plant.* 139: 159-169.
- 種子田春彦, 大條弘貴, 大塚晃弘 2016. 根, 茎, 葉の水の流れやすさを測る一測定手法とそこからわかること一. 日生態会誌 66: 447-464.
- 寺島一郎 2013. 植物の生態—生理機能を中心に—. 裳華房.
- Tyree, M. T., Zimmermann, M. H. 2012. 植物の木部構造と水移動様式 (内海泰弘, 古賀信也, 梅林利弘 訳). 丸善出版. pp. 175-215.
- Venturas, M. D., Sperry, J. S., Hacke, U. G. 2017. Plant xylem hydraulics: What we understand, current research, and future challenges. *J. Integr. Plant Biol.* 59: 356-389.

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

18. 二刀流と二流

「二刀流」という言葉、かつては剣豪宮本武蔵が佐々木小次郎との戦いで勝利した鬼気迫る剣法であった。いまや「二刀流」はメジャーリーガー大谷翔平の代名詞にもなり、さわやかさすら感じる言葉に変容した。2022年の大谷は打者として首位打者にもなれなかったし、投手として最多勝も上げられなかった、しかし両方同時に極めて高い評価を受けたことは、その業績を評価するには100年以上前のベブルースにさかのぼらなければならいほど、ユニークなものであった。

方や「刀」が抜けた「二流」という言葉はどうであろうか。これは、今日的に見れば、決して良い意味の言葉ではないだろう。しかし、辞書を引くと面白いことがわかる。①一流に及ばない。②二つの流派、とある。一般に一とか二とかは順番を表す言葉として一流二流を使うのであるが、本来は「二つの流れ」という数を表す意味だったようである。

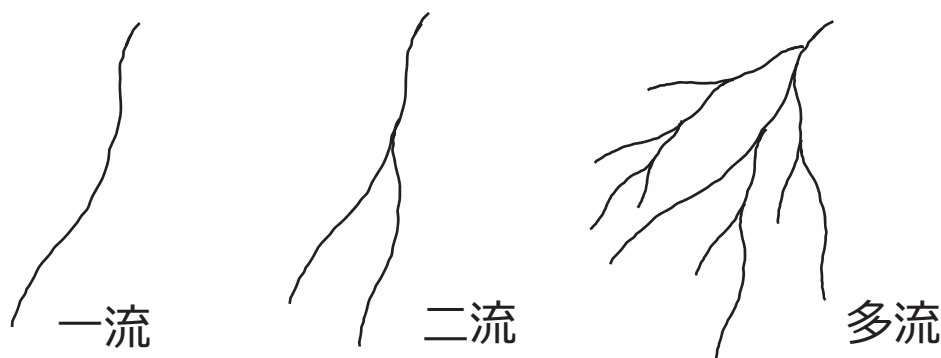
三流というとさらに悪い意味と思われるが、『三国志』で有名な魏の劉劭が書いた『人物志』という本には、「国家の要職に就かせる人物は三流の人物が良い」とあり、その意味するところは「一流とは、一つのこ

との専門家、二流とは二つのことの専門家」という意味で使われ、劉劭は三流の人いや、それ以上の四流、五流の人に国をまかせないといけいないと言っている。つまり法律の専門家だけでもダメ、経営の専門家だけでもダメというわけである。研究を進める上でも、この視点は重要ではないかと思う。〇〇学の学問としては、順番での一流を目指すべきだろうが、新たな発想を生み出すには、二流、三流の視点が重要だ。このような意味で、根研究学会は、それぞれ一流を極めようという研究者が二流目を求めて参加される方が多いのではと思う。ぜひ周りの人にも一流目でも良いが、二流目、三流目として根の研究への参加を勧めていただきたい。

数にまつわれれば、「百術は一誠にしかず」という言葉もある。これは吉田松陰の叔父の玉本文之進の言葉である。いろいろな技術を弄しても、それを何のためにするかという“清い志”こそ重要であるということである。一流を目指すもよし。何のために研究するのか？考えさせられる言葉である。

参考文献

安田登, 2021. 三流のすすめ. ミシマ社.



作物学者の根の研究—巽二郎先生を偲んで—

山内章

名古屋大学アジアサテライトキャンパス学院

2022年1月7日に他界された巽先生は、私の研究室の先輩であり、恩師であり、また上司でもあった。研究はもちろんのこと、人生の様々な面でお世話になり、また多くを学ばせていただいた。

巽先生は、単に研究者というより、「学者」としてお呼びするにふさわしい方であった。作物学を基盤とされ、その領域とご関心は、植物栄養学、園芸学（中野ら、2001；2002；2003a；b；c）、環境生態学（巽、2007）から、民族植物学、文化人類学等にも広く及び、また、農業現場では、先進的な取り組みを進めておられる農家とも幅広く親交を深められ、さらに、これらの幅広い知識やご経験を一般の方に啓発する活動にも力を入れていて（巽、1993）、出発物に加えて、民放ラジオのレギュラー番組まで持たれていた。また、地元春日井市では、永年に渡って同市の環境審議会委員を務められ、地域にも大きく貢献された。

楽しかった思い出と言えば、たとえば、私が大学院の学生時代に、名古屋大学にイリノイ大学のハーラン教授が半年間共同研究で滞在され、研究や授業の合間に、日本の栽培植物（作物や野菜など）に異常なまでに興味を示されるハーラン先生を巽先生とスーパーなどによくお連れし、楽しい時間を過ごした。その際実施された講義は出版されているが（ハーラン、1984）、巽先生はその分野でも非常に博識であられ、資源植物の研究も展開されていた（巽、2017；巽・三竹、2003）。アメリカのTexas A & M大学で在外研究をされていたときには、かの有名な、オオムギの根が培地の養分勾配に見事に反応して可塑性を示した実験（Drew and Saker, 1975）を行ったDrew博士の研究室に滞在され、そのときポスドク（Texas Tech大学とTexas A & M大学）をしていた私は、研究面でもまたプライベートでもたいへんお世話になった。1997年に根研究会学術特別賞（国際半乾燥熱帯作物研究所日本政府特別プロジェクト第2次研究グループ（伊藤治氏・松永亮一氏・飛田哲氏・片山勝之氏・J. J. Adu-Gyamfi氏）の受賞対象となった、「国際半乾燥熱帯作物研究所における作物根系と窒素の動態に関する国際研究集会」ではインドでの旅をご一緒させていただき、さらにその際に発表した内容に基づいてそれぞれ

総説を書かせていただく（Tastumi, 1996；Yamauchi et al., 1996）など、楽しかった思い出が尽きない。またネパールをこよなく愛し（巽、2001）、新婚旅行はネパールに行かれたと伺っているが、ネパールからの留学生と一緒に指導させていただいたのも（Khadka and Tatsumi, 2006a；b）、私の経験を一段と広げることになった。

このような中で、巽先生が展開された植物根に関する研究はとにかく独創的でおもしろい。大別すると次の2分野にまとめることができる。貫かれているのは、根を根系としてのシステムとして、また根系を植物個体全体の成長や機能に位置づけて捉える視点である。

物質経済から見た根系—地上部関係

イネにおいて、個体全体の成長の視点から、出葉と節からの発根が同調することはよく知られている（藤井、1961；森田、2000）。一方、根系の成長と機能は地上部からの光合成産物の供給に依存し、逆に、地上部の成長は、根系から供給される養水分に依存する。このように根系と地上部とは物質転流から見て、非常に強い相互依存関係にある。巽先生は、この2者間を見事に結びつけた。

根系—地上部間を移動する物質の中では、水以外ではCとNが圧倒的に多い。根はNの吸収器官とされているが、節から発生間もない新根では、地上部から供給されるNが全Nの約半分を占め、この地上部からのN供給は、一つ上の節からの発根とそれに伴うN供給と同調して停止する。言い換えると、根は新根のうち、Nに関して相対的にシンクの機能を果たしていて、齢が進むにつれて、培地からのN吸収、供給が相対的に増加しソース、すなわち吸収器官としての機能を担い始める。培地から吸収されたNはその根で利用されるのではなく、地上部に送られ、固定・同化され、その後分解されたものが根系に再転流し、上位節から発生する相対的に若い新根の発生、伸長に利用される。このように根は、齢の進行に伴ってNに関してシンク的な性格からソース的な性格が変わっていく。これを下位根（相対的に古い根）から上位根に向かって、地上部の出葉と同調して繰り返し、個体全

体の成長と機能が進行していく実態を明らかにした (Okano et al., 1983; 巽, 2013; 巽・河野, 1980; Tatsumi and Kono, 1980; Tatsumi and Kono, 1981; 巽ら, 1983).

また, ある特定の節根に注目すると, 地上部からの C (光合成産物) の供給は, 一つ上の節からの発根が始まり, N 供給が停止した後も継続し, その根は伸長し続け従って乾物重も増加する. また N と同様に, C についても新しい C (新規固定炭素, その日の日中に光合成によって固定されたもの) と, 古い C (すでに組織に分配・固定されたものが再転流したもの) を区別し, その動態についてとくに根系への分配に注目し調べられた (Tatsumi et al., 1992).

一方 N について見ると, 地上部からの N 供給が停止した後に伸長を継続している節根軸においては, 皮層崩壊が生じ, それに伴って組織タンパクの分解によって N が放出され, 側根発育に利用されていると考えられている. 一方, その節根軸の側根発生域と皮層崩壊の節根内の位置がよく合っていることもこの傍証になっている (河野・山田, 1972; 巽, 2013).

それ以前も, 物質の転流・分配に関する研究は盛んに行われていたが, 上述のように, 植物体全体の成長と, これに関わる物質の転流, 分配との関係を定量的に結びつけて解析する物質「経済」については, それまで, 維管束のサイズが相対的に大きくそれに伴って試料の採取や分析が比較的やりやすいマメ科植物について先行して研究成果が出ていたが, イネに関してはほとんどわかっていなかった (巽, 2013). これを可能にしたのが, 安定同位体の導入である. 巽先生は, 非常に早い段階から ^{13}C トレーサーや ^{15}N トレーサーを研究に導入して, 成長の規則性がよくわかっているイネを中心に物質経済の研究を発展させた. さらに, 炭素や窒素の安定同位体自然存在比 ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) を用いる研究へと発展させ, 水ストレス, 窒素欠乏ストレス応答を始めとする総合的生理機能研究の途を開かれた (Khadka and Tatsumi 2006a; b; Kano-Nakata et al., 2014).

根系構造のフラクタル解析

巽先生を含む, 私たちの研究室の根系に関しての理解は, その成長や機能は, それを構成する個々の根の成長や生理機能の単なる寄せ集めではなく, それらの間の機能的役割分担と有機的な相互作用によって発揮される, というものであった. その中で, 側根は, 量的にも機能的にも圧倒的に重要であり (巽, 2007), その定量的評価が重要な研究課題であった.

私は, 大学院に入って, 1ヶ月齢のイネとトウモロ

コシの根系を構成しているすべての節根とそれから発生した側根の数, 長さ, 直径を計測した (Yamauchi et al., 1987). ひたすら毎日, 実験室に来ては根を計測し続け, この2個体の計測に約6ヶ月を要した. これらのデータを基に, 根系構造の全体像を知ろうとした.

巽先生も側根の重要性や, 根系構造の定量化にはたいへん興味を持たれていて, とくに根系の分枝構造の定量化や機能的意義について多に議論したことをよく覚えている. 根系の構造に関する定量化は, 上述のような発育モデルに基づいた定量的な記述に加えて, それぞれ特長のあるトポロジーモデルや形状モデルなどが提案されてきたが, 決定的な問題点は, 計測に労力や時間がかかることである. それに対して巽先生が取り組まれたフラクタル解析は自ら考案された方法によって, コンピューター画像解析によるデータ取得が可能な点が非常に大きな利点である (Tatsumi, 1996; 巽, 1999; 巽, 2007). 自己相似性が特徴のフラクタル構造は, 自然界にも多く存在することが知られてから, 複雑な形を有した自然界の構造がフラクタルであることが次々と明らかになっていく中で, 巽先生は, 植物根系がフラクタル構造を取っていることを世界で初めて証明した (Tatsumi et al., 1989). この論文が発表された後には, 息せき切ったように, 根系構造のフラクタル解析の論文が次々と出て, 種間差, 品種間差, 成長に伴う変化, 土壌環境による影響などが次々と明らかになっていった. フラクタルに関わる最も基本的な指標にフラクタル次元があるが, これは, 根の長さや表面積に加えて, その根系分布の複雑さを反映する分枝密度や根径分布も反映していると考えられ (巽, 1995), 根系構造モデルへの発展の途も開いた.

精神的な支柱として

巽先生は, 精神的な支柱として若い人たちを後押ししてきて下さった. 2001年に, 第6回 International Society of Root Research Symposium (根研究会, 2001) の開催を日本で引き受け, 名古屋で開催することを決めることは当時大きな決断が必要であったが, 巽先生が後押しをして下さった.

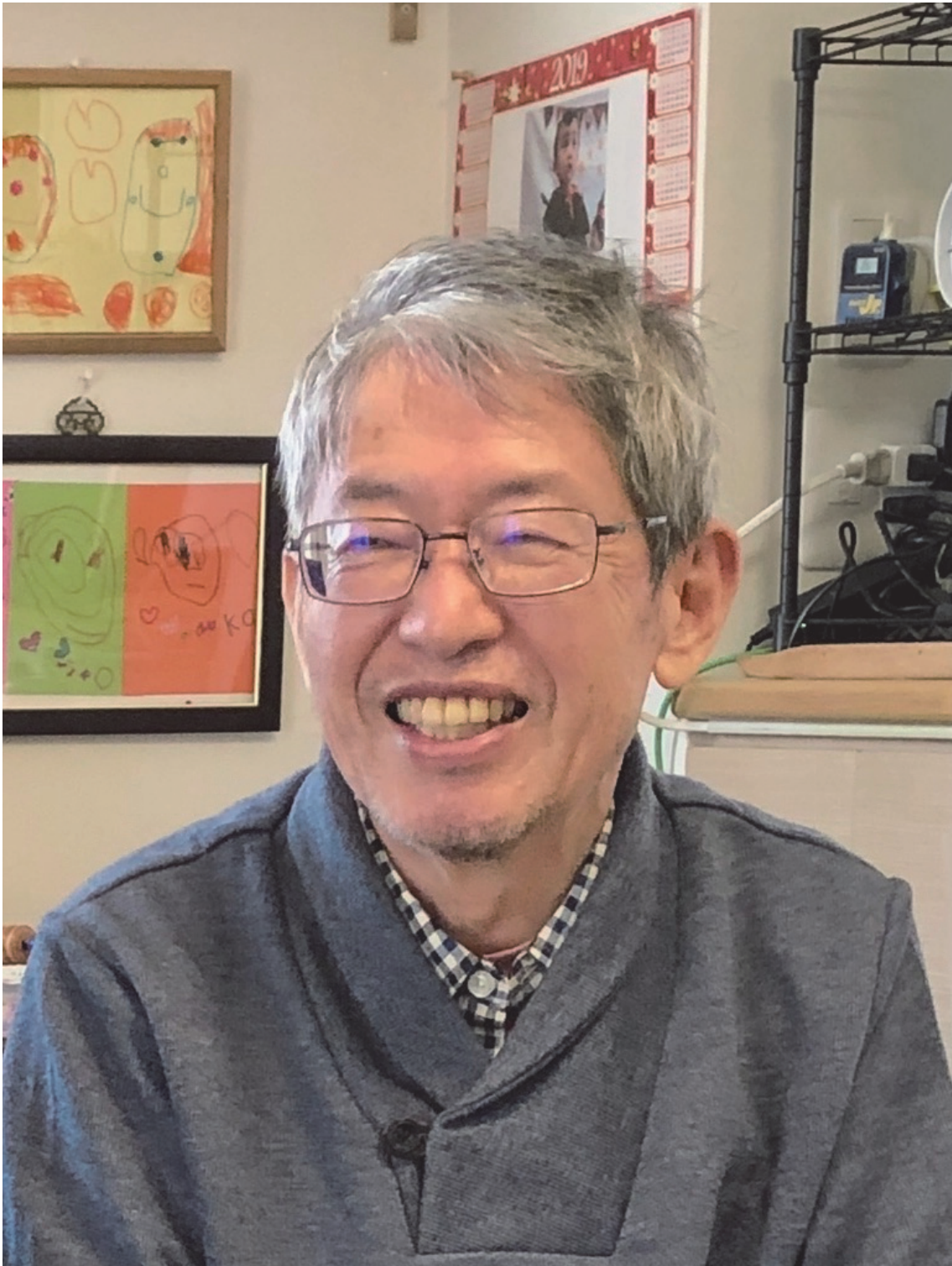
2011年に, 根研究会は20周年を迎え記念シンポジウムを開催したが, その時の会長は巽先生であった (根研究会, 2011). 2012年からは阿部淳氏が会長となられ, 2013年1月より, 根研究会は学会として新しいスタートを切ったが, それまでの研究会内の議論を先導し, 学会への転換へ大きく貢献された.

このように研究会, 学会の大きな節目には, 常に巽先生が支えていて下さっていた. 学問を楽しみ, 新しいものを求め, その成果は独創的であり, それゆえ周りを惹きつけた.

心より巽先生のご冥福をお祈りいたします。

引用文献

- Drew, M. C., Saker, L. R. 1975. Nutrient supply and the growth of comparison of the effects of a localized supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in barley. *New Phytol.* 75: 479-490.
- 藤井義典 1961. 稲麦における根の生育の規則性に関する研究. 佐賀大農彙 12: 1-117.
- ギヤスライトジョン, 巽二郎 1993. 八木さんちの田んぼ: ジョンとジローのOh! 米日記. 愛知書房. 1-83.
- ハーラン, ジャック R. 1984. 作物の進化と農業・食糧. (訳) 熊田恭一, 前田英三. 学会出版センター. 1-210.
- Kano-Nakata, M., Tatsumi, J., Inukai, Y., Asanuma, S., Yamauchi, A. 2014. Effect of various intensities of drought stress on $\delta^{13}\text{C}$ variation among plant organs in rice: comparison of two cultivars. *Am. J. Plant Sci.* 5: 1686-1693.
- Khadka, J., Tatsumi, J. 2006a. Difference in $\delta^{15}\text{N}$ signatures among plant parts of perennial species subjected to drought stress with special reference to the contribution of symbiotic N_2 -fixation to plant N. *Plant Prod. Sci.* 9: 115-122.
- Khadka, J., Tatsumi, J. 2006b. Alteration in intra-plant distribution of $\delta^{15}\text{N}$ in response to shading in legumes. *Plant Prod. Sci.* 9: 219-227.
- 森田茂紀 2000. 根の発育学. 東京大学出版会. 1-208.
- 中野有加, 中野明正, 渡邊慎一, 岡野邦夫, 巽二郎 2003a. トマトの湿気中根と水中根の外部および内部形態の比較. 園学雑 72: 148-155.
- 中野有加, 中野明正, 渡邊慎一, 高市益行, 巽二郎 2003c. 養液栽培トマトの湿気中根および水中根の養水分吸収に及ぼす高根域温度の影響. 根の研究 12: 35-40.
- 中野有加, 渡邊慎一, 岡野邦夫, 巽二郎 2001. トマトの幼植物の生長および養水分吸収に及ぼす培養液流動の影響. 生物環境調節 39: 199-204.
- 中野有加, 渡邊慎一, 岡野邦夫, 巽二郎 2002. 養液栽培トマトの湿気中根および水中根の生理活性と形態に及ぼす生育温度の影響. 園学雑 71: 683-690.
- 中野有加, 渡邊慎一, 岡野邦夫, 巽二郎 2003b. 根分け法におけるトマトの水中根と湿気中根による ^{15}N の吸収と体内分布. 園学雑 72: 156-161.
- 根研究会 2001. 第6回国際根研究学会シンポジウム報告. 根の研究 10: 142-155.
- 根研究会 2011. 根研究会創立20周年シンポジウム 主催者からのメッセージ. 根の研究 20: 167.
- Okano, K., Komaki, S., Matsuo, K., Hirose, D., Tatsumi, J. 1995. Analysis of canopy photosynthesis in mature tea (*Camellia sinensis* L.) bush at late autumn. *Jpn. J. Crop Sci.* 64: 310-316.
- 坂本有加, 渡邊慎一, 岡野邦夫, 巽二郎 2001. 保水シート耕方式の養液栽培における根域の気相/液相部比率がトマトの生育・収量に及ぼす影響. 園学雑 70: 622-628.
- Tatsumi, J. 1996. Fractal analysis of root distribution. In Ito, O. et al. eds., *Dynamics of Roots and Nitrogen in Cropping Systems of Semi-arid Tropics*. Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba. 211-233.
- 巽二郎 1995. フラクタル解析による根系分布パターンの定量的評価. 日作紀 64: 50-57.
- 巽二郎 1999. 根系構造のとらえ方: フラクタル次元, 空隙性, およびマルチフラクタル. 土壌の物理性 82: 11-19.
- 巽二郎 2001. ネパールの農林業の現状と将来. 熱帯農業 45: 357-359.
- 巽二郎 2007. 地球環境と作物. 博友社. 1-156.
- 巽二郎 2007. 作物の形態研究法: マクロからミクロまで 根の形態測定法: フラクタル解析の利用. 日作紀 76: 604-609.
- 巽二郎 2013. イネの根の成長と地上部・地下部関係. 作物研究 58: 9-13.
- 巽二郎 2017. 工芸作物の栽培と利用. 作物栽培大系 7. 日本作物学会「作物栽培大系」編集委員会 監修. 朝倉書店. 1-249.
- Tatsumi, J., Endo, N., Kono, Y. 1992. Root growth and partitioning of ^{13}C -labelled photosynthate in the seminal root of corn seedlings as affected by light intensity. *Jpn. J. Crop Sci.* 61: 271-278.
- 巽二郎, 飯嶋盛雄, 門平睦代, 西村美彦. 2001. ネパールにおける作物生産の現状と持続的生産におけるアグロフォレストリーと飼料木の役割. 東海作物研究 131: 11-13.
- 巽二郎, 河野恭広 1980. 地上部からの窒素供給と水稻根の生長. 日作紀 49: 112-119.
- Tatsumi, J., Kono, Y. 1980. Nitrogen uptake and transport by the intact root system of rice plants—comparison of the activity in roots from different nodes—. *Jpn. J. Crop Sci.* 49: 349-358.
- Tatsumi, J., Kono, Y. 1981. Translocation of foliar-applied nitrogen to rice roots. *Jpn. J. Crop Sci.* 50: 302-310.
- 巽二郎, 三竹かおり 2003. 利島における油科ヤブツバキ林の変遷. 東海作物研究 134: 5-7.
- 巽二郎, 岡野邦夫, 河野恭広 1983. 節位を異にする水稻根への窒素と炭素の転流—葉に供与した ^{15}N と ^{13}C の追跡. 日作紀 52: 220-228.
- Tatsumi, J., Yamauchi, A., Kono, Y. 1989. Fractal analysis of plant root systems. *Ann. Bot.* 64: 499-503.
- Yamauchi, A., Y. Kono, J. Tatsumi. 1987. Quantitative analysis on roots system structures of upland rice and maize. *Jpn. J. Crop Sci.* 56: 608-617.
- Yamauchi, A., Pardales Jr, J. R., Kono, Y. 1996. Root system structure and its relation to stress tolerance. In Ito, O. et al. eds., *Dynamics of Roots and Nitrogen in Cropping Systems of Semi-arid Tropics*. Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba. 211-233.



学問を楽しみ、後進を支えて下さった巽二郎先生

苅住さん、ありがとうございました

野口享太郎

森林総合研究所東北支所

樹木根研究の大家である苅住昇氏が令和4年2月8日に亡くなりました。私が苅住さんの訃報に接したのは2月28日のことで、職場の掲示板でこのとても残念なニュースについて知りました。95歳というご高齢でしたので、いつかはこのような日が来るとってはいたのですが、実際にそうになってしまうと、とても悲しく寂しい気持ちです。苅住さんは私の職場である森林総合研究所の大先輩ですが、実は私が直接お目にかかったのは2、3回ほどしかありません。そんな私が追悼文を書いてもいいものかという悩ましい気持ちもありますが、この機会に、私にとっての苅住さんについて少しご紹介させていただきたいと思います。

私は平成12年(2000年)の4月に森林総合研究所に職を得て、樹木根の研究に携わるようになりました。それまで在籍していた大学院では別の分野の研究をしていたため、当時は苅住さんのことは全く存じ上げませんでした。樹木根の研究を始めて間もなく、あの有名な「樹木根系図説(誠文堂新光社)」や林業試験場研究報告に掲載された一連の論文「The Mechanism and Function of Tree Root in the Process of Forest Production I-V (1974-1990)」など、苅住さんの著作を目にすることになりましたが、これらはとにかくデータの量が膨大で、今でも圧倒されます。ただ、そのころの私にとっては、苅住さんはこれらの著書や論文の中で登場する過去の研究者という遠い存在でした。また、当時の上司から「近づきたい雰囲気の人だった」とも聞いていたので、少し恐れのようなものもありました。しばらくして、何かの用事で隣の研究室にいらっしゃった苅住さんに初めてお会いしました。恐る恐るご挨拶に伺ったのですが、思っていたのと違ってとても気さくな方で、お茶席でにこにこ迎えてくださったのが思い出されます。このときの苅住さんのお話は、戦争中のことから始まって徐々にゆっくりと進んで行くので、失礼ながら「いつになったら本題に入るのだろう?」と思ったりもしましたが、今考えると、丁寧に自己紹介してくださっていたのかもしれませんが、実は、このときの苅住さんの来訪の目的が何だったのかよく思い出せないのですが、この初めてお会いしたときのことは強く印象に残っています。その後も森林総研の

食堂などで苅住さんをお見かけすることがありましたが、このときすでに80歳近くになられていたはずですが、図書館で調べ物をするために森林総研まで足を運ばれていたそうです。

この頃、私は同僚の平野恭弘さん(当時・森林総研関西支所、現・名古屋大学)、兵庫県立大学の大橋瑞江さんとともに、日本森林学会で樹木根研究を発表するためのセッション「樹木根の成長と機能」を企画し始めており、苅住さんに講演をお願いしたいと考えていました。結果としては、残念ながら体調の問題や、後に出版される「樹木根系図説」の改訂版の執筆でご多忙であったなどの事情により、ご講演いただくことはかなわなかったのですが、私たちがお送りした講演依頼の手紙に対し、電話で丁寧なお返事をくださったほか、前述の林業試験場研究報告の論文をまとめて製本したものを送ってくださいました。このように苅住さんは律儀な方で、私のような若造に対してもとても親切にしてくださいました。図書と言えば、苅住さんは最近の著書である「森林の根系特性と構造—バイオマス算定に向けた基礎解析(鹿島出版会)」も送ってくださいました。この本は林業試験場研究報告の論文がベースになっていますが、和文で分かりやすくまとめられており、さらに別表・資料としてエクセルファイルにまとめられたデータがCD-ROMに納められています。これから苅住さんの研究やデータをレビューする方々にとっては、とても役に立つ図書ではないかと思います。なお、この本には「あとがき」があり、江戸時代までさかのぼる根の研究の歴史や、苅住さんご自身が根の研究に携わることになった背景、周囲への謝意などが綴られており、「根」という研究対象に対する苅住さんの視線や研究者としての苅住さんの厚みのようなものが感じられます。これから根の研究、特に樹木根の研究に携わる方々には、機会があれば是非読んでいただきたいと思います。

最近の数年間、年賀状のやりとりをさせていただきました。苅住さんの年賀状には、故郷の自然やご自宅の草木を詠んだ詩歌などが添えられており、苅住さんの自然や植物に対する暖かいまなざしを感じさせるものでした。また、ある年には剣道・居合道について

書かれていましたが、荻住さんは教士七段で大学生に教えていると伺ったことがあります。私は武道には詳しくないのですが、教士七段というのは並大抵の努力でなれるものではないそうで、荻住さんが日々の努力と研鑽を怠らない方であったことは想像に難くありません。残念ながら昨年（令和3年）いただいた年賀状が最後となってしまいました。この年賀状には震災の津波に耐えて話題となった高田松原の「奇跡の一本松」の根系スケッチが添えられていました。「樹木根系図説」をご覧になった方はよくご存じと思いますが、荻住さんのスケッチは細根の様子まで精緻に描かれて

おり美しさを感じます。このように、90歳を超えてなお、研究者として樹木の根系に向き合った荻住さんの姿勢にはただ感銘を受けるばかりです。

冒頭に述べましたように、私自身は荻住さんに直接お会いしたのは2、3回ばかりで、深くお付き合いさせていただいたとは言えないのですが、その著書だけでなく、電話や葉書などでのやりとりを通じて、親しみを感じさせてくださる方でした。また、声の力強さが印象的な方でもありました。亡くなられたことが残念でありませんが、改めて感謝とともにご冥福をお祈りいたします。

樹木根研究者 苅住昇先生を偲ぶ一文献調査から

平野恭弘

名古屋大学大学院環境学研究科

In memory of tree Dr. Noboru Karizumi—From the literature review : Yasuhiro HIRANO (Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)

樹木根の世界的研究者であり、国内で唯一の樹木根系の専門図鑑「樹木根系図説」(苅住 1979, 2010c)を執筆された苅住昇先生が、2022年2月にご逝去されました。心よりお悔やみ申し上げます。私自身、誠に残念ながら苅住先生と直接お会いした経験はありませんが、樹木根研究者として、今回は、苅住先生の業績を可能な限り顧みながら、ご偉業を会員と共有させていただき、先生を偲ぶこととさせていただきます。

1. ご経歴

苅住先生は、1927年松山市に生まれ、1948年愛媛農林専門学校(現愛媛大学)農学部をご卒業後、農林省林業試験場植生研究室に勤務された。「森林生産の場における根系の機構および機能」をまとめ、農学博士を授与され、1981年に「樹木根系図説」の執筆で日本林学会賞を受賞された。1990年に日本大学農獣医学部短期大学部教授、1991年に樹木医1期生となられ、1992年に初代樹木医会会長(後に名誉顧問)を務められた(苅住, 2010c)。2000年「樹木根系研究に基づく樹勢回復事業への実践活動」と題して、根研究学会学術特別賞を受賞されている。

2. 国際的研究

2001年に名古屋で第6回国際根研究集会 ISSR シンポジウムが開催された際、海外からの研究者が樹木根系図説を熱心に手に取り、根系図を見入りながら、これはすごいね、と観察されていた様子を、私は鮮明に記憶している。樹木根系図説は、野外に生育する主要樹木 562 種の根系について詳細な根系図が記載されており、日本語で書かれているものの、学名が記載されているため、海外からの根研究者も内容を理解できているようであった。苅住先生の特筆すべき業績には、林業試験場研究報告(林試研報, 現在 森林総合研究所研究報告)に、The mechanism and function of tree root in the process of forest production (I-V) があり、樹木根の調査法 (Karizumi, 1974a)、根量と分布 (Karizumi, 1974b)、根密度と根表面積 (Karizumi, 1976)、根の成

長量と吸収量 (Karizumi 1985)、土壌への還元量 (Karizumi, 1990)などに焦点を当てている。いずれも英文で書かれており、国際論文にも多数引用されている。

樹木根系図説をまとめる以前、「樹木の根の形態と分布」(苅住, 1957a)では、50種について根系図や水平及び垂直分布を記載されている。この論文では諸言に続き、当時の国際研究および根の用語についてまとめられている。また1958年には樹木根の国内外の文献を整理されたり(苅住・塘, 1958)、1962年に国際会議の報告ではあるが「高等植物の根の分泌物質」について当時の国際的な動向を記載されている点(苅住, 1962)なども、国際的研究を把握される先生の関心の高さをお伺いできる。スギ林(苅住・寺田, 1958, 1959ab, 1960)やカラマツ林(苅住・寺田, 1961)の根系構造も精力的に報告され、後にヒノキ林(苅住・寺田, 1984)について、31年生の黒色土では根の最大深さ143cmの記載をおこなった。様々な視点から樹木根系を取りまとめられており、根の働きと根系(苅住, 1957b)、生長(苅住, 1963a, 1978)、立木密度の影響(苅住, 1963c)、材木の根系—根量測定法と吸収構造(苅住, 1996)などは、初心者にもわかりやすくそれぞれ説明されている。1970年代にまとめられた日本学術会議国際生物学事業計画特別委員会(JIBP)の報告書では、森林生態系の物質循環の視点から、根量を報告された(Karizumi, 1977, 1978)。

3. 大型根箱実験

林業試験場は、東京目黒から筑波研究学園都市へ1978年に移転された。その際に、大型根箱が建設された(苅住ら, 1980)。大型根箱は、広さ340cm×350cm、高さ350cmで、土壌温度や水分も測定できるようになっている。これらを用いて3年生スギ、ヒノキ、クロマツ、カラマツなどの苗木の根成長観察が行われ、スギでは深さ100cm、ヒノキでは深さ80cmまで根が成長したとされている。また大型根箱に生育したアカマツでは、根の成長が著しい時とそうでない

時があり、その変動が大きいこと、根端成長は地上部成長とは対応しないことなどを明らかにしている(寺田・荻住, 1983a)。また、深さ5 mを確保できる人工気象室を用いて、スギ苗根系の深さが120 cmまで至ることを報告している(荻住・寺田, 1982a)。根の観察はないものの、深さ2 mを確保できるライシメータを用いて過湿区と乾燥区を設置し、スギ苗では過湿区で、ヒノキ苗では乾燥区で樹高成長が良いことを観察した(荻住ら, 1980, 寺田・荻住, 1984)。いずれもポットで育てられた苗などと比較して、深い土壌を確保できる大型の根箱で実験した国内の報告は、佐藤(1995)を除きあまり例がない。大型根箱では、地温を制御した実験も行っており、小型根箱に稚樹を植栽して行われた地温変化と根系成長実験(寺田・荻住 1982a, 1983b)と比較して、格段により深い土壌に生育する根の動態を明らかにしている点は意義深い。このような大型根箱の実験は今なお希少である。荻住・寺田(1982a)は、野外の根系成長と比較すると、深い土壌も観察できる人工気象室で生育された根系では、その深さ分布様式が異なることから、野外森林における根系成長の理解に、この知見を外挿することは難しい点も指摘している。これは、野外条件下と実験環境下との結果の解釈を注意深くする必要があることを示唆し、今後私たちも注意していくべき点である。

4. 海岸林

2011年の東日本大震災の津波で、クロマツをはじめとする海岸林が壊滅的な被害を受けた。岩手県陸前高田市の高田の松原で唯一倒伏しなかった「奇跡の一本松」について、荻住(2012a)は、その根系強度と津波荷重を推定し、一本松の根系強度が津波荷重を上回った結果として、一本松が倒伏しなかったことを考察した。また震災直後から一本松を保護するため、矢板囲いが行われたものの、周囲からの地下水位の上昇は抑えられなかったことを報告している(荻住, 2012b)。震災直後の困難な時期に、一本松の保存、および後世への記録にご尽力されたことは、今後、海岸林の津波被害を受けた時、私たちに大きな示唆を与える貴重な資料となるであろう。次世代へ伝えるべき記載という観点でも、改めて尊敬の念が堪えない。津波被害を受けた海岸のクロマツは、本来の深い直根型の根系ではなく、浅い水平根型の根系をもち、倒伏に対して脆弱であったことも報告されている(林野庁, 2012)。現在、東北地域では広大な面積に海岸林の再生が行われており、倒伏抵抗力を高める点からも健全な根系成長の長期モニタリングが必要である。

荻住先生は、早くから海岸林根系にも着目されてきた。海岸林での樹木植栽は、その生育基盤の硬度や地

下水位の高さに依存する過湿環境で、根系の成長不良等の影響を受けることがある(荻住・寺田, 1982b, 寺田・荻住, 1982b)。海岸砂地に植栽するクロマツ苗への客土は、貧栄養の砂質土壌と比較して、垂下根を発達させ、根系を深く成長させることに効果があった(寺田・荻住, 1980)。海岸林ではないが、カラマツでは過湿環境により根呼吸の低下も報告している(荻住, 1963b)。樹木の倒伏抵抗力には、根が補強する土壌緊縛力の評価が必要であるが、荻住(2012a)では様々な樹種の根系強度を過去の知見からまとめ、海岸林を構成するアカマツやクロマツについて推定を行った。倒伏抵抗については、海岸林以外にもブナ林の下層植生状況、ササ類などにより、土壌緊縛力が大きく変化することを明らかにしている(寺田ら, 1975, 寺田・荻住, 1976, 荻住, 1987)。

5. 植生

荻住先生は、林業試験場で植生研究室に所属されており、植生研究にも精通されている。1956年には高縄半島(北四国)のブナ林(荻住・得居, 1956)、また野尻湖・琵琶湖の植生(荻住, 1956)、1970年には「邪馬台国植生考」と題し「倭人伝」から邪馬台国の植生を考察し、照葉樹林など温暖な地域であったことを示唆した(荻住, 1970)。外国樹種の導入経緯について、明治から昭和にかけて、それらの植栽地や面積、その後の推移を報告している(荻住, 1969)。亜高山針葉樹林やスギ林の林床植生について、その生態学特性の解析報告もある(山本・荻住, 1981, 辻村ら, 1981)。

6. 街路樹

樹木医である荻住先生は、街路樹は幹の材生産や品質向上を目的とする林木と異なり、鑑賞価値を高め樹形の整った健全な育成が必要であるとしている(荻住, 2005e)。そのため、街路樹の根系調査にも精力的であった。林業試験場内の車道沿いの街路樹マテバシイとソメイヨシノの根系も観察されている(寺田・荻住, 1987)。樹木医1期生としてご活躍され(荻住, 2010b)、舗装道路への根上りが問題となるケヤキの根系調査では、小さな土壌孔隙を通して根が成長していくことを報告している(岩田ら, 1996)。また樹勢を高めるためには、根の活力を高めることが必要で、その技術も報告されている(荻住, 2010a)。

7. 根の系譜

荻住先生は、「根の系譜」と題した25回の連載を2005年から2008年にかけて雑誌「グリーン・エージ」の中で執筆された(荻住, 2005e-g, 2006a-j, 2007a-h, 2008a-d)。系譜とは、同じ要素のつながりや関係性の

系図を意味し、根という用語がどのように日本で使われてきたかについて、詳細に記録をされた。根という漢字は漢字成立の殷の時代から中国で用いられ、日本では古事記にさかのぼるようである(荻住, 2005e) 荻住先生は、日本の根の研究のルーツ、第一人者は、中国文化に詳しい儒者の貝原益軒(かいばらえきけん)であり、中国の農書「齊民要術」を参照し、「花譜」や「大和本草」で、植樹時の根の扱いを紹介したという(荻住, 2005g, 2007a, 2010a)。益軒の花譜では、すでに適地適木の考えも示されている(荻住, 2007b)。「最新樹木根系図説」の1章(荻住, 2010c)や「森林の根系特性と構造」のあとがき(荻住, 2015)にも、この根の系譜がまとめられて/いるので、根研究者の皆さんにはぜひご一読していただきたい。

「根の系譜」の連載の前には、「植木屋松村久左衛門とその時代」と題した植木屋に関する連載をされている(荻住, 2005a-d)。植木屋業が定着した江戸時代以降、多くの農家が植木屋もしており、貝原益軒の細根保護を重視した植樹・栽培管理技術など樹木医の観点からも、先生のこの連載の動機になっておられたのかもしれない。

8. 受け渡された「樹木根」のバトン

私は樹木根に興味を持ち、樹木根系図説を学生のころから拝読し、スギは深根性、ヒノキは浅根性など基本的なことから、吸収根(白根)の構造や機能といった専門的なことに至るまで、多くのことをこの図説を通して学ばせていただいた。根研究学会では、先生が寄付された若手根研究者への「荻住基金」を通して、同年代の根の研究者や学生が国際学会に参加するなど、先生の実存は大きな目標であり偉大であった。私が根の国際学会に参加した際、日本は根の研究の一大勢力である、と海外の研究者からお言葉をいただいたこともある。これも「荻住基金」により、若手から積極的に国際学会に参加できる土壌を育てていただいた結果と言えるだろう。唯一、荻住先生のお姿を拝見することができたのは、第50回記念根研究集会において、名古屋大の山内章先生、犬飼義明先生らと実行委員会を通して、荻住先生に「荻住基金」採択者の御礼メッセージを届け、そのご返礼として送っていただいたビデオメッセージで熱く語る先生の姿であった。現在、「荻住基金」は、「森の根の生態学」(平野ら, 2020)の全執筆者のご協力により、売り上げの一部を寄付させていただくことでも継続をさせていただいている。先生からお渡しいただいた「樹木根」のバトンを次の世代へ引き渡せるよう、根の研究を志す皆でその意思を引き継いでいきたい。2010年に改訂された最新樹木根系図説の序にある荻住先生の次のお言葉を忘れず

に、今後ますます樹木根研究を、皆さんと共に盛り上げていきたい。

「樹木の根の組織や働きについてはいまだ不明な点が多い。この本が今後の若い研究者の研究の積み石になれば幸いである」(最新樹木根系図説 序より)

謝辞

本報告の執筆をご推薦いただいた「根の研究」編集委員長 福澤加里部氏をはじめ根研究学会の皆様、また文献収集に多大な協力をいただいた名古屋大学環境学研究科の鬼頭照枝氏と杓谷桂子氏に、この場をお借りして御礼申し上げます。

引用文献

- 平野恭弘, 大橋瑞江, 野口享太郎 2020. 森の根の生態学. 共立出版.
- 岩田彰隆, 木田幸男, 甲野毅, 荻住昇 1996. ケヤキ街路樹の根系生長が歩道に与える影響. ランドスケープ研究 59: 49-52.
- 荻住昇 1956. 野尻湖・琵琶湖の植生. 日林誌 38: 306-310.
- 荻住昇 1957a. 樹木の根の形態と分布. 林試研報 94: 1-205.
- 荻住昇 1957b. 根の働きと根系. 山林 881: 13-22.
- 荻住昇 1962. 高等植物の根の分泌物質: 生態学的考察. 日林誌 44: 185-187.
- 荻住昇 1963a. 育苗育林技術の基礎としての林木の根の働きと生長. 分かりやすい林業研究解説シリーズ 3. 林業科学技術振興所.*
- 荻住昇 1963b. 根の呼吸から見た野辺山のカラマツの生長. 長野林友. 9月号: 2-7.
- 荻住昇 1963c. 本数密度と根の成長. 山林 946: 944-955.
- 荻住昇 1969. 外国樹種のその後—導入の経緯とその見通し (II) 各論 (3) 関東・中部・近畿地方. 林業技術 328: 9-14.
- 荻住昇 1970. 邪馬台国植生考. 林業技術 334: 15-20.
- Karizumi, N. 1974a. The mechanism and function of tree root in the process of forest production I, Method of investigation and estimation of the root biomass. 林試研報 259: 1-99.
- Karizumi, N. 1974b. The mechanism and function of tree root in the process of forest production II, Root biomass and distribution in stands. 林試研報 267: 1-88.
- Karizumi, N. 1976. The mechanism and function of tree root in the process of forest production III, Root density and absorptive structure. 林試研報 285: 43-149.
- Karizumi, N. 1977. Root biomass. In Shidei, T., Kira, T. eds., Productivity of Terrestrial Communities. JIBP synthesis 16. University of Tokyo Press. pp. 45-52.*
- Karizumi, N. 1978. Underground biomass. In Kira, T., Ono, Y., Hosokawa, T. eds., Biological Production in a Warm-temperate Evergreen Oak Forest of Japan. JIBP synthesis 18. University of Tokyo Press. pp. 82-88.*
- 荻住昇. 1978. 根のはたらきと生長. 林業改良普及双書69. 全国林業改良普及協会.*

- 苅住昇 1979. 樹木根系図説. 誠文堂新光社.
- Karizumi, N. 1985. The mechanism and function of tree root in the process of forest production IV, Root growth and water absorption. 林試研報 331: 39-125.
- 苅住昇 1987. ササ類の地下部の構造と土壤緊縛力. *Bamboo J.* 4: 167-174.*
- Karizumi, N. 1990. The mechanism and function of tree root in the process of forest production V, Reduction of inorganic matters to soil and formation of porosity resulting from root system, 林試研報 357: 21-52.
- 苅住昇 1996. 林木の根系—根量測定法と吸収構造—, 山内章編 植物根系の理想型. pp. 87-128. 博友社.
- 苅住昇 2005a. 植木屋松村久左衛門とその時代 (その 1)—高田植木屋共と東花植木師商名鏡の植木屋松村久左衛門—. *グリーン・エージ* 32 (5): 30-32.
- 苅住昇 2005b. 植木屋松村久左衛門とその時代 (その 2)—高田植木屋共と東花植木師商名鏡の植木屋松村久左衛門—. *グリーン・エージ* 32 (6): 38-41.
- 苅住昇 2005c. 植木屋松村久左衛門とその時代 (その 3)—高田植木屋共の成立と衰退—. *グリーン・エージ* 32 (7): 32-36.
- 苅住昇 2005d. 植木屋松村久左衛門とその時代 (その 4)—高田植木屋共の成立と衰退—. *グリーン・エージ* 32 (8): 32-36.
- 苅住昇 2005e. 根の系譜 (1) 育樹技術と根という漢字の成立. *グリーン・エージ* 32 (9): 30-33.
- 苅住昇 2005f. 根の系譜 (2) 竹林の根茎と白兔漂流説話. *グリーン・エージ* 32 (11): 38-42.
- 苅住昇 2005g. 根の系譜 (3) 古代農書にみる根と移植, 栽培法. *グリーン・エージ* 32 (12): 41-45.
- 苅住昇 2006a. 根の系譜 (4) 四時纂要と陳敷農書の根. *グリーン・エージ* 33 (1): 32-37.
- 苅住昇 2006b. 根の系譜 (5) 元の三大農書と種樹書の根. *グリーン・エージ* 33 (2): 36-41.
- 苅住昇 2006c. 根の系譜 (6) 種樹は天にしたがって, その性をいたすのみ. *グリーン・エージ* 33 (3): 39-43.
- 苅住昇 2006d. 根の系譜 (7) 松中の大根を去りて, 四辺の髯根を留める. *グリーン・エージ* 33 (4): 35-39.
- 苅住昇 2006e. 根の系譜 (8) 樹を移すに時無し, 樹に知らしむる勿れ. *グリーン・エージ* 33 (5): 34-38.
- 苅住昇 2006f. 根の系譜 (9) 植えて根を揺かせば尺ばかりの樹も活かず. *グリーン・エージ* 33 (6): 32-37.
- 苅住昇 2006g. 根の系譜 (10) 大梅樹を移すに溝泥に植えれば活ざるものなし. *グリーン・エージ* 33 (7): 34-40.
- 苅住昇 2006h. 根の系譜 (11) 万物時によって氣を受け, 氣によって生ず. *グリーン・エージ* 33 (8): 36-41.
- 苅住昇 2006i. 根の系譜 (12) 園芸書物, 花鏡 (秘伝花鏡) と広群芳譜. *グリーン・エージ* 33 (9): 25-31.
- 苅住昇 2006j. 根の系譜 (13) 中国農書の終焉とわが国農書の始まり. *グリーン・エージ* 33 (11): 33-39.
- 苅住昇 2007a. 根の系譜 (14) 百姓伝記から花譜へ. *グリーン・エージ* 34 (1): 34-39.
- 苅住昇 2007b. 根の系譜 (15) 植物の生理現象, 根の生理学, 花壇地錦抄の成り立ち. *グリーン・エージ* 34 (3): 21-26.
- 苅住昇 2007c. 根の系譜 (16) 其の木の中に心になりて種ゆること大
事なり. *グリーン・エージ* 34 (5): 34-39.
- 苅住昇 2007d. 根の系譜 (17) 10年のはかりごとは樹を植えるにある. *グリーン・エージ* 34 (6): 28-31.
- 苅住昇 2007e. 根の系譜 (18) 農業全書の植樹法を診る. *グリーン・エージ* 34 (7): 34-39.
- 苅住昇 2007f. 根の系譜 (19) 髯根を愛育するは培養法の奥義なることを熟知せよ. *グリーン・エージ* 34 (8): 24-29.*
- 苅住昇 2007g. 根の系譜 (20) 植学啓原の根茎と太山の左知, 山林雑記. *グリーン・エージ* 34 (9): 32-36.
- 苅住昇 2007h. 根の系譜 (21) 大日本植物帯調査報告書の根と根の用語. *グリーン・エージ* 34 (11): 34-41.
- 苅住昇 2008a. 根の系譜 (22) 植物誌「南方草木状」の根. *グリーン・エージ* 35 (3): 36-40.
- 苅住昇 2008b. 根の系譜 (23) 神農本草經と本草綱目, 本草綱目啓蒙の根. *グリーン・エージ* 35 (5): 26-31.
- 苅住昇 2008c. 根の系譜 (24) 貝原益軒と大和本草にみる根の利用. *グリーン・エージ* 35 (6): 34-39.
- 苅住昇 2008d. 根の系譜 (25) 「根の系譜」のまとめと文献. *グリーン・エージ* 35 (8): 39-45.
- 苅住昇 2010a. 根の活力を高める技術. *グリーン・エージ* 37 (1): 43-45.
- 苅住昇 2010b. 樹木医に思うこと. *グリーン・エージ* 37 (12): 14-16.
- 苅住昇 2010c. 最新樹木根系図説. 誠文堂新光社.
- 苅住昇 2012a. 東日本大震災の巨大津波で倒伏しなかった陸前高田松原の「一本松」の根系強度. 根の研究 21: 45-52.
- 苅住昇 2012b. 高田松原の一本松, 今泉天満宮の大杉の塩害と樹木医技術. 根の研究 21: 73-78.
- 苅住昇 2015. 森林の根系特性と構造. 鹿島出版会.
- 苅住昇, 寺田正男 1958. 林分の地下部の構造に関する研究 (I) スギ林について. 日林論 68: 213-218.*
- 苅住昇, 寺田正男 1959a. スギ林の地下部の構造に関する研究 (II). 特に根密度について. 日林論 69: 214-217.*
- 苅住昇, 寺田正男 1959b. スギ林の地下部の構造に関する研究 (III). 日林誌 41: 279-284.
- 苅住昇, 寺田正男 1960. スギ林の地下部の構造に関する研究 (IV). 日林論 70: 126-128.*
- 苅住昇, 寺田正男 1961. カラマツ林の地下部の構造に関する研究. 日林論 71: 145-148.*
- 苅住昇, 寺田正男 1982a. 人工気象室で栽培したスギの根系. 日林論 93: 269-270.
- 苅住昇, 寺田正男 1982b. 海岸埋立地における緑化木の根系. 日林関東支論 34: 53-54.
- 苅住昇, 寺田正男 1984. ヒノキ林の地下部の構造. 日林論 95: 337-338.
- 苅住昇, 寺田正男, 山本幸右. 1980. 大型根箱による根系成長の観察. 日林論 91: 235-236.
- 苅住昇, 得居修 1956. 高縄半島のブナ林. 日林誌 38: 263-268.
- 苅住昇, 塘隆男 1958. 林木の根系に関する文献. 日林誌 40: 202-223.
- 林野庁 2012. 平成 23 年度森林・林業白書.
- 佐藤孝夫. 1995. 樹木の根系の成長に関する基礎的研究. 北海道林試研報 32: 1-54.

寺田正男, 荻住昇 1976. 根系の土壌緊縛力 (II). 日林論 87: 45.*
寺田正男, 荻住昇 1980. 海岸砂地における客土効果. 日林論 91: 233-234.
寺田正男, 荻住昇 1982a. 稚苗の根系生長と温度条件 (IV)—広葉樹について—. 日林論 93: 271-272.
寺田正男, 荻住昇 1982b. 海岸埋立地におけるパーク堆肥施用と根密度. 日林関東支論 34: 55-56.
寺田正男, 荻住昇 1983a. 地温とマツ類の根端の生長特性. 日林関東支論 35: 103-104.
寺田正男, 荻住昇 1983b. 稚苗の根系生長と温度条件 (V)—モミ属とマツ属について—. 日林論 94: 317-320.

寺田正男, 荻住昇 1984. 苗木の生長に及ぼす土性と土壌水分の影響. 日林論 95: 351-352.
寺田正男, 荻住昇 1987. 街路樹の根系生長. 日林論 98: 439-441.
寺田正男, 荻住昇, 奈良洋 1975. 根系の土壌緊縛力. 日林講 86: 220-221.
辻村透, 荻住昇, 山本幸右 1981. スギ林林床植生の組成と生活型. 日林講. 92: 225-226.
山本幸右, 荻住昇 1981. 亜高山帯針葉樹林の植生. 日林講 92: 223-224.

* 直接参照することができず間接引用をした.

第 56 回根研究集会に参加して

江岸祐夏

福井県立大学大学院 生物資源学研究科

第 56 回根研究集会が、2022 年 9 月 17・18 日に行われました。本集会には 58 名が参加し、「根と根を取りまく環境」をテーマにオンサイトとオンラインのハイブリッド形式にて開催されました。集会では 1 日目に平舘俊太郎先生 (九州大学) による「土壌のできかたとはたらきを探る：考えかたと調べかた」と題した招待講演と土壌モノリス作製実演が行われ、2 日目には全 19 題のポスター発表と和田智之先生 (理化学研究所) により「循環型共生農業プラットフォーム構築のための高度人工気象チャンバーシステムの開発」と題した招待講演が行われました。ここで、2 日間の集会の感想を述べたいと思います。

1 日目に土壌モノリス作製の實習に参加しました。私は今回初めて土壌モノリスというものを知りました。土壌モノリスとは土壌の断面をそのままの姿で固定した標本のことで、モノリスの作成により土壌の水はけ具合や還元化具合などを知ることができ、作物が育ちやすい環境であるかの推測に役立つことを学びました。私も実際にモノリス作製を体験し、30 分ほどの短時間できれいな土壌の層の標本を取得できることに驚きました。また、土壌に着目している平舘先生と根に着目している他の先生方ではモノリスを見る視点が異なり興味深く感じました。私は 2 日目のポスター発表で「過湿土壌で増加するアンモニアはイネの酸素漏出バリア形成に影響するか？」と題した発表を行いました。質疑応答で多くの先生方、研究者の方からご質問をいただき意見交換をすることができました。実

は私自身、なぜその結果になったのか解釈できない実験結果があったのですが、同じ分野の大先生から納得のいくコメントを頂き、結果を違う視点から見直すことができました。私が思っている以上に、皆さんが私の研究に興味を持っていただいていることを、発表を通して実感し、今後の研究活動のモチベーションがアップしたと感じています。各発表で持ち時間いっぱい積極的に議論が交わされており、皆さんにとっても収穫の多い集会になったのではないかと思います。

最後になりますが、第 56 回根研究集会を運営された九州大学の安彦友美先生をはじめ根研究集会実行委員の方々に深くお礼を申し上げます。



土壌モノリス作成實習の様子

第 56 回 根研究集会プログラム

2022 年 9 月 17-18 日に 58 名の参加者により第 56 回根研究集会が Onsite&Online 形式にて開催されました。本集会では、「根と根を取りまく環境」をテーマとして、招待講演、実習とポスター発表が企画されました。招待講演 A として、平舘俊太郎先生(九州大学)より「土壌のできかたとはたらきを探る：考えかたと調べかた」と題し、講演と土壌モノリス標本の作り方を実演していただきました。招待講演 B では、和田智之先生(理化学研究所)より「循環型共生農業プラットフォーム構築のための高度人工気象チャンバーシステムの開発」と題した講演をして頂きました。続いてポスター発表(19 課題)が発表されました。Onsite&Online の参加者をつなげるよう実習ではライブ配信を取り入れるなど参加しやすく、交流しやすく、根研らしく、議論が交わされていました。

なお、第 56 回根研究集会要旨集は「根の研究」第 31 巻別冊 2 号として根研 HP、会誌「根の研究」ダウンロード(<http://www.jsrr.jp/rspnsv/download.html>)からご覧になれます。ダウンロードに関する、ユーザー名、パスワードは通常の会誌ダウンロードのものと同一ものです。

<日 時>2022 年 9 月 17 日(13:30-17:00), 18 日(8:00-11:00)

<開催場所>九州大学 農学部 附属農場 アグリバイオ研究施設 1 階/実習棟

<方 法>オンサイトとオンライン形式 (oVice)

<プログラム概要>

2022年9月17日(土)

13:30-	受付
14:30-14:35	開会・会長の挨拶 (千葉大学 中野明正 根研究学会会長)
14:35-17:00	招待講演A「土壌のできかたとはたらきを探る：考えかたと調べかた」 九州大学 大学院農学研究科土壌学研究室 教授 平舘俊太郎先生 土壌モノリス作製実演 oVice Live配信

2022年9月18日(日)

*:Onsite, ★優秀発表賞エントリー

ポスター発表	Room A	Room B	Room C	Room D	Room E
8:00-8:30	A-1	B-1★	C-1★	D-1★	E-1★
8:30-9:00	A-2	B-2	C-2★	D-2★	E-2★
9:00-9:30	A-3★	B-3	C-3	D-3★	E-3★
9:30-10:00	A-4★		C-4★	D-4★	E-4
10:00-10:45	招待講演B「循環型共生農業プラットフォーム構築のための高度人工気象 チャンバーシステムの開発」 理化学研究所 光量子制御技術開発チーム チームリーダー 和田智之先生				
10:45-11:00	受賞者など発表 次期集会の実行委員会のご挨拶 閉会				

ポスター発表

A-1 培地被覆フィルムの形状がチュウゴクグリ緑枝挿し穂の発根に及ぼす影響

黒田英明¹⁾・渡邊圭太¹⁾・鉄村琢哉²⁾ (1) 兵庫県立農林水産技術総合センター, ²⁾ 宮崎大学農学部)

A-2 ヒノキの落ち根特性

吉田巖¹⁾・土居龍成¹⁾・和田竜征¹⁾・谷川東子²⁾・平野恭弘¹⁾ (1) 名古屋大学大学院環境学研究科, ²⁾ 名古屋大学大学院生命農学研究科)

A-3 同一環境下で生育した異なる産地由来のスギ細根形態の比較

★仲畑了^{1,2)}・東若菜^{2,3)}・田邊智子^{2,4)}・河合清定⁵⁾・日浦勉¹⁾ (1) 東京大学大学院農学生命科学研究科, ²⁾ 京都大学大学院農学研究科, ³⁾ 神戸大学大学院農学研究科, ⁴⁾ 京都大学大学院地球環境学舎, ⁵⁾ 国際農林水産業研究センター)

A-4 塩ストレス初期段階における耐塩性オオムギ K305 の根水透過性 (L_{pr}) 下方制御とオオムギアクアポリン HvPIP2;1 のリン酸化の解析

★大西亜耶¹⁾・且原真木¹⁾ (1) 岡山大学資源植物科学研究所 (IPSR))

B-1 水耕栽培における超音波霧化处理が養液濃度に与える影響

★Regina Ancilla Natasya・趙鉄軍・浅野亮樹

(新潟食料農業大学食料産業学部食料産業学科)

B-2 深層学習を用いた二種の細根自動抽出ソフトウェアの評価

山形拓人¹⁾・池野英利²⁾・木村敏文¹⁾・礪川悌次郎³⁾・岡本祐樹⁴⁾・大橋瑞江¹⁾

(¹⁾ 兵庫県立大学環境人間学部, ²⁾ 福知山公立大学情報学部, ³⁾ 兵庫県立大学大学院工学研究科, ⁴⁾ 兵庫県立大学大学院環境人間学研究科)

B-3 電子スピン共鳴法 (ESR) による根から生じる活性酸素種の測定

蔭西知子・陽川憲 (北見工業大学工学部)

C-1 茎ブロッコリーの摘心による地上部および地下部の形態の経時的変化

★佐竹文¹⁾・岡田和樹¹⁾・元木悟²⁾ (¹⁾明治大学大学院農学研究科, ²⁾明治大学農学部)

C-2 根長解析システム (WinRHIZO) を用いたアスパラガス 2 品種の根系分布の推定

★岡田和樹¹⁾・佐竹文¹⁾・元木悟²⁾ (¹⁾明治大学大学院農学研究科, ²⁾明治大学農学部)

C-3 シロイヌナズナにおけるストロンチウムによる根の細胞死

長田武・新井将生 (摂南大学理工学部生命科学科)

C-4 非生物的ストレス条件下におけるネギ類バイオリソースの根部代謝物網羅解析

★田中僚太郎¹⁾・松永幸子^{2,6)}・Abdelrahman Mostafa³⁾・辻本壽⁴⁾・執行正義⁵⁾・平田翔¹⁾ (¹⁾九州大学大学院農学研究院, ²⁾鳥取大学大学院連合農学研究科, ³⁾ガララ大学理学部, ⁴⁾鳥取大学乾地研, ⁵⁾山口大学大学院創成科学研究科, ⁶⁾東京大学大学院農学生命科学研究科)

D-1 Control mechanisms of promoted root development by *our1* mutation in rice

★Dong Yihao¹⁾・Cornelius M. Wainaina²⁾・Ryosuke Akahoshi¹⁾・Tsubasa Kawai³⁾・Yoshiaki Inukai²⁾ (¹⁾ Grad. Sch. Bioagr., Nagoya U., ²⁾ ICREA, Nagoya U., ³⁾ Inst. Crop. Sci., NARO)

D-2 過湿土壌で増加するアンモニアはイネの酸素漏出バリア形成に影響するか？

★江岸祐夏・塩野克宏 (福井県立大学大学院生物資源研究科)

D-3 Effect of rhizosphere root oxygen deficiency on root distribution and oxygen concentration profiles in maize and rice ★Phanthasin Khanthavong^{1,3)}・Shotaro Tamaru¹⁾・Shin Yabuta²⁾・Jun-Ichi Sakagami^{1,2)} (1)The United Graduate School of Agricultural Science, Kagoshima University, 2) Faculty of Agriculture, Kagoshima University, 3) National Agriculture and Forestry Research Institute (NAFRI), Dong Dok, Ban Nongviengkham, Vientiane 7170, Laos)

D-4 Effect of P-dipping priming on roots of NERICA 4 to withstand drought and nutrient stress under rainfed lowland ★Emmanuel Odama^{1,2)}・Yasuhiro Tsujimoto³⁾・Shin Yabuta⁴⁾・Isao Akagi⁴⁾・Jun-Ichi Sakagami⁴⁾ (1)The United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University, Japan, 2)Abi Zonal Agricultural Research and Development Institute, Arua City, Uganda, 3)Crop, Livestock and Environment Division, JIRCAS, Japan, 4)Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Japan)

E-1 キビおよびシコクビエの根への低酸素ストレスが根形態と地上部特性に及ぼす影響 ★田丸翔太郎¹⁾・勝濱直椰²⁾・後藤啓太¹⁾・藪田伸³⁾・坂上潤一³⁾ (1) 鹿児島大学大学院連合農学研究科, 2) 鹿児島大学大学院農林水産学研究科, 3) 鹿児島大学農学部

E-2 Deep-Place fertilization facilitates nutrient uptake by inducing root growth to fertilizer in rice ★Mumtahina Nabila¹⁾, Aozora Moriwaki²⁾, Keigo Yoshinaga²⁾, Aya Matsuoka³⁾, Hiroyuki Shimono²⁾, Maya Matsunami²⁾ (1) United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University, 2) Faculty of Agriculture, Iwate University, 3) Graduate School of Arts and Sciences, Iwate University)

E-3 マルチ資材の利用が生育初期におけるササゲの根系形成に及ぼす影響 ★平川翔唯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)

E-4 ササゲ(*Vigna unguiculata*)において VuCLE25 ペプチドは根伸長と乾燥応答を調節する 添石浩太¹⁾・石井孝佳²⁾・湯浅高志¹⁾ (1) 宮崎大学農学部, 2) 鳥取大学乾燥地研究センター)

2022 年度 根研究学会賞 の決定について

今年度の根研究学会賞については、本誌『根の研究』の前々号（第31巻第2号）において候補募集の告示を致しました。推薦があった業績について、専門分野に近い複数の会員に評価を依頼し、その答申に基づいて正副会長で審議の結果、下記の通り、学術功労賞1件、学術奨励賞1件、学術特別賞1件の授賞が決定しました。ここに、会員の皆様に御報告します。

功労賞、奨励賞および特別賞の受賞者は9月17日－18日に開催された第56回記念根研究集会において発表されました。大型台風の影響で集会の予定を変更したため、授賞式と受賞記念講演は、2023年5月末に開催される第57回記念根研究集会（明治大学）で執り行う予定です。受賞者には、賞状と副賞（根研ロゴ入りパーカー）をお贈りしました。受賞記念講演の要旨は、本号と同時に発刊された第31巻別冊2号に根研究集会の一般発表の要旨集と一緒に掲載しています。

＊「業績の概要」は、推薦状や審査報告を基に、根研究学会事務局が要約したものです。

＊過去の受賞業績一覧は、根研究学会のホームページに掲載しています。

授賞が決定した業績とその概要

【学術功労賞 1件】

業 績：農耕地土壌の保全的表層管理と作物の根系発育および生育・収量との関係

受賞者：辻 博之（農研機構北海道農業研究センター）

推薦者：大門 弘幸（龍谷大学農学部）

業績の概要：受賞者は不耕起栽培下での根系の伸長角度、初冬まきコムギの越冬性と種子根の地中貫入程度、そして直播タマネギのリン酸直下施肥への反応、直播テンサイの栽植密度と根系発達の関係など、生育する畑地環境に応じた根の反応を多角的に解析し、それを巧みに利用した栽培技術を開発した。これらの研究は不耕起栽培、局所施用による減肥など、現在のトレンドである、持続的な低投入農業技術開発を先導してきた。受賞者の研究は根発育様相の解明という学術的業績だけでなく地域農業にも貢献する特筆すべきものである。以上から、根研究学会学術功労賞にふさわしい業績として高く評価された。

業績（関連の論文等）

1. 辻博之 (2018) 個体間の距離がテンサイの根重に及ぼす影響. 根の研究 27: 53.
2. 藤田直聡・辻博之 (2020) 短紙筒狭畦移植機と自走式多畦収穫機等を用いたテンサイの狭畦栽培. 北海道農業研究センター2007年の成果情報.
3. 藤田直聡・辻博之・有岡敏也 (2021) てん菜における新たな移植および収穫技術の利用の有無別にみた大規模畑作経営の作付面積と所得の比較-労働力減少および経営耕地面積の増加による影響- 農研機構研究報告 6: 53-65.

他に、関連原著論文12編、総説・解説記事等4編。

【学術奨励賞 1件】

業 績：根系の表現型解析に関する新しい方法の開発

受賞者：寺本 翔太（農研機構作物研究部門）

推薦者：宇賀 優作（農研機構作物研究部門）

業績の概要：地中における根系の表現型を解析するため、正確かつ省力性の高い手法が広く求められている。受賞者はこれまでに、最近のトレンドである深層学習などのAI 技術を積極的に取り入れた作物根系の可視化に取り組み、塹壕法により断面に露出した写真から自動的に根の分布を評価する手法を開発し、論文にて発表してきた。受賞者の特筆すべき成果として、ポット栽培したイネの根系を、X線CTを駆使して非破壊的に3次元で再構築する手法、RSAtrace3Dを開発し

た。これにより、イネの耐干性育種の発展のみならず、多様な作物の根系育種の新しい展開につながることを期待される。最近では、ゲノム科学的手法を用いて国内のイネの栽培品種の不定根数に関するゲノムワイド関連解析を実施し、関連する遺伝子領域の同定にも成功している。今後、国内の栽培品種の根の表現型と地理的特性に関連する遺伝子領域を多数同定することが期待されている。以上の観点から、今回の根研究学会学術奨励賞の受賞者として相応しいと評価された。

業績 (関連の論文等)

1. Shota Teramoto, Masanori Yamasaki, Yusaku Uga. (2022) Identification of a unique allele in the quantitative trait locus for crown root number in *japonica* rice from Japan using genome-wide association studies. *Breeding Sci* Article ID: 22010.
2. Yuta Miyoshi, Yuto Nagao, Mitsutaka Yamaguchi, Nobuo Suzui, Yong-Gen Yin, Naoki Kawachi, Eiji Yoshida, Sodai Takyu, Hideaki Tashima, Taiga Yamaya, Noriyuki Kuya, Shota Teramoto, Yusaku Uga. (2021) Plant root PET: visualization of photosynthate translocation to roots in rice plant. *J Instrum* 16(12):C12018.
3. Shota Teramoto, Takanari Tanabata, Yusaku Uga. (2021) RSAtrace3D: robust vectorization software for measuring monocot root system architecture. *BMC Plant Biol* 21: 398.
4. Yuko Numajiri, Kanami Yoshino, Shota Teramoto, Atsushi Hayashi, Ryo Nishijima, Tsuyoshi Tanaka, Takeshi Hayashi, Taiji Kawakatsu, Takanari Tanabata, Yusaku Uga. (2021) iPOTs: Internet of Things-based pot system controlling optional treatment of soil water condition for plant phenotyping under drought stress. *Plant J* 107(5): 1569-1580.
5. Taiji Kawakatsu*, Shota Teramoto*, Satoko Takayasu, Natsuko Maruyama, Ryo Nishijima, Yuka Kitomi, Yusaku Uga. (2021) The transcriptomic landscapes of rice cultivars with diverse root system architectures grown in upland field conditions. *Plant J* 106: 1177-1190. *: equally contributed.

他に、関連原著論文3編、総説・解説記事等3編。

【学術特別賞 1件】

業 績：次世代シーケンサーを活用した DNA メタバーコーディングによる島根県大根島オタネニンジン栽培圃場における土壤微生物相の経年変化の解析

受賞者：藤井太一・南基泰（中部大学応用生物学研究科），市橋泰範・佐藤匠・熊石妃恵（理化学研究所バイオリソース研究センター植物-微生物共生研究開発チーム），渡部卓也（由志園アグリファーム株式会社）

推薦者：南 基泰（中部大学応用生物学研究科）

業績の概要：薬用植物オタネニンジン（オタネニンジン）は薬価基準に達する根を収穫するまでに4～6年を要し、一度栽培すると連作障害のため10年以上は栽培が困難となる「いや地現象」が起きる。これまで、各産地の農家らの実践技術に基づいて施肥試験や有機物投入による土壌の理化学性改良、土壌消毒、水耕栽培などの研究が続けられてきた。しかし、土壌改良の主役である土壌微生物や根圏環境の詳細な変動は不明であった。受賞者らは、オタネニンジンの栽培圃場において、栽培前から収穫直後までの5年間栽培した圃場の土壌微生物叢のメタゲノム解析を行う技術を開発した。その技術により、栽培期間中に変動があった細菌や栽培後期にアーバスキュラー菌根菌などを検出し、これらの細菌や真菌とオタネニンジンの成長等との関連を示した。これは長年の未解決課題に風穴を開ける画期的な研究成果といえる。また、本技術は汎用性が高く、他の作物においても適用可能である。以上から、根研究学会学術特別賞にふさわしい業績として高く評価された。

業績 (関連の論文等)

1. Taichi Fujii, Motoyasu Minami, Takuya Watanabe, Takumi Sato, Kie Kumaishi, Yasunori Ichihashi

- (2021) Characterization of inter-annual changes in soil microbial flora of *Panax ginseng* cultivation fields in Shimane Prefecture of Western Japan by DNA metabarcoding using next-generation sequencing, *Journal of Natural Medicines*, 75(3):1067-1079.
2. Taichi Fujii, Takako Mori, Yoshiaki Tatsuo, Yasumasa Takao, Hiroharu Fujino, Takashi Tsuchida, Motoyasu Minami (2021) Identification of *Valeriana fauriei* and other Eurasian medicinal valerian by DNA polymorphisms in psbA–trnH intergenic spacer sequences in chloroplast DNA, *Journal of Natural Medicines*, 75(3):699-706.
 3. Taichi Fujii, Kaoru Ueno, Tomoyasu Shirako, Masatoshi Nakamura, Motoyasu Minami (2021) Identification of *Lagopus muta japonica* food plant resources in the Northern Japan Alps using DNA metabarcoding, *Plos One*, 17(3): e0252632.

他に，原著論文 3 編．

2022 年度 根研究学会臨時総会報告

ハイブリッド開催された第 56 回根研究集会の一部として、臨時総会を予定していましたが、台風 14 号上陸の影響を受けてスケジュール変更を余儀なくされ、臨時総会は開催できませんでした。そこで、2022 年 9 月 22 日に会員に臨時総会資料をメルマガ配信し、意見、コメントを募るかたちでメール審議をし、下記の通り、(1) Plant Root 掲載料と (2) 根の研究「オープンアクセスオプション」制度の 2 つの新制度の導入が承認されました。これらの新制度は 2023 年 1 月 1 日より運用開始の予定です。

1. 新制度提案の背景

根研究学会は、1992 年から 30 年の歴史を歩んできました。本会には植物の根や根に関連した植物・土壌・農業・環境保全などに関心をもつ、個人会員 279 名、団体会員 6 (2022 年 8 月 9 日時点) が参加しています。2022 年に入り、ホームページを通じた情報発信の強化、会員による勧誘活動により、新入会される方が増えてきています。入会・退会者を併せて個人会員は 11 名の増加となり、根研の会員数の減少に歯止めがかかっているようにみえます。

一般会計が赤字にならずに根研究学会の活動を運営するには 300 人以上の会員が望ましいと算出されています。しかし、急激な会員数の増加は見込めません。その現状の中で、継続的な根研究学会の運営を模索していく必要があります。そこで、2022 年春に開催された第 55 回根研究集会から根研究集会要旨の公開は別冊 (PDF オンライン公開) のみとして、冊子体への掲載を取りやめました。これにより冊子体印刷ページ数を減らし、印刷費用を削減しました (削減見込額 52,800 円/年。算出根拠: 要旨集 16 ページ $\times$ 1,650 円/ページ = 26,400 円、を春と秋の 2 回)。支出の削減の一方で、2022 年秋の根研究集会から要旨を半ページから 1 ページ (カラー化) にしています。これにより要旨集には、より詳しい研究内容が掲載できるようになりました。

安定運営のためには、更に 10 万円程度の収益改善が望まれます。そこで、今回、Plant Root 掲載料の導入と根の研究「オープンアクセスオプション」の導入を提案させていただくことにしました。

植物科学だけでなく脱炭素社会の実現のため、根と根をとりまく研究の重要性はますます高まっています。今回の提案は、単なる収支改善ではなく、本会の目的である、「学術の発展と同学

の士の親睦を深めること」の基盤となる、持続的かつ安定した学会運営に向けた、前向きな提案として捉えていただけると嬉しいです。

2. Plant Root 掲載料提案

2007 年に創刊された Plant Root 誌は根研究学会 (旧: 根研究会) の英文誌として 15 年間にわたり、学術論文を公開し、根の研究の発展に寄与してきました。Plant Root 誌は創刊から掲載料無料の OPEN Access ジャーナルとして、根研究学会が運営費をサポートするかたちで運営してきました (年間 92,440 円、内訳: サーバー利用料 (特別会計), 22,440 円; BIB 作業料 (一般会計), 70,000 円)。しかし、現在の根研究学会の予算からすると、これ以上の継続したサポートが困難です。

そこで、Plant Root 誌を自己運転し、ホームページなどの改善に用いることで発信力を高めることを目的に、Plant Root 誌の掲載料の導入を提案いたします。

根研究学会会員: 20,000 円/編

非会員*: 25,000 円/編

*国際送金の受取手数料が 5,000 円/編程度必要。
非会員の多くは外国人著者を想定。

算出根拠: Plant Root 誌の運営にはサーバー利用料 (22,440 円) と BIB 作業料 (7,000 円/編) がかかる。2018-2021 の平均年間掲載数 (5.5 報) から算出した年間必要経費は 60,940 円/年。1 報の掲載での収益を 2 万円とした場合、掲載数が 3 報以上あれば、Plant Root 誌の年間必要経費を掲載料で賄えます。4 報以上の掲載できた場合には黒字になり、Plant Root 誌のホームページの拡充など情報発信力の強化などに収益を利用できます。さらに、根研究学会の一般会計・特別会計から支出していた 92,440 円/年の削減が見込め

ます。

備考:

- 掲載料の徴収は2023年1月1日の投稿から適用開始。本案件が決定され次第速やかに、Plant Root ホームページに「来年から掲載料を徴収します」と記載。2023年1月1日以降、投稿受付時にも著者に連絡する。
- 本案検討にあたり、過去5年間にPlant Rootに掲載された論文の日本人責任著者(17名)に導入の賛否を確認しました。8名の方から回答をいただき、87%(7名)の方から概ね賛同する意見と、掲載料があっても投稿していたとの回答をいただきました。

3. 根の研究「オープンアクセスオプション」の提案

根の研究は根研究学会(旧:根研究会)の屋台骨を支える機関誌です。根の研究に掲載された原著論文・総説・ミニレビュー等のJ-Stageに収録される論文を会員は発刊と同時に読むことができます。しかし、非会員がJ-Stageに掲載された論文を読めるのは1年後です。このタイムラグは会員にとっては特権ですが、著者にとってはいい発表をしてもなかなか世間にその成果が広まりにくいという側面があります。そこで、著者がオープンアクセス権の取得料金を支払うと、非会員でも根研会員への公開と同時に読める状態にできるという「オープンアクセスオプション」を提案します。

○根の研究の投稿料等

投稿料 ￥0

(オプション)

オープンアクセス料 ￥20,000

ディレイド・オープンアクセス料 ￥0

※ホームページの投稿規定に上記のような内容を盛り込む予定です。これにより研究費からの支払時に支出の根拠資料として利用できます。

本案は飽くまでもオプションで、著者が希望すれば選択できるという制度です。オープンアクセスオプションを選択しなければ、これまで同様に、**掲載料は無料**です。本制度は、著者にとって論文の公開が早められるだけでなく、根研究学会にとっては財政の改善につながります。

算出根拠:

J-Stageに掲載される文献の作成にかかる経費として、1編につきPDF作成費:5,500円と印刷費・紙代(1,650円/ページ)がかかります。2018-2022の平均ページ数(7.2ページ)から算出した必要経費は17,050円となります。10ページ以上の学術論文は20%(6報/計30報)程度でした。ですので、9ページ分の経費を計上すれば80%の学術論文では、オープンアクセス料で作成料が賄えます。9ページの論文の作成料は20,350円ですので、区切りのいい金額として2万円を提案しました。

備考:

- オープンアクセス論文の公開方法
オープンアクセスが可能となった論文は根研のホームページトップに「オープンアクセス論文」の項目を加えて、直接トップからPDFへのリンクを張ります(新規ページは設けない)。公開から1年後の通常公開に併せてオープンアクセスリンクを解除し、J-Stageからのアクセスのみとします。

- オープンアクセス論文の対象範囲
根の研究に掲載された原著論文・総説・ミニレビュー等のJ-Stageに収録される論文のみです。J-Stageに収録されないその他の記事(情報、報告、会員の研究紹介、書籍紹介など)はこれまで通り、**無料**です。

以上

根の研究

第 31 卷 (2022 年) 総目次

【巻頭言】

会員の皆様へ	1(1)
会員の皆様へ	59(2)
会員の皆様へ	81(3)
会員の皆様へ	103(4)

【原著論文】

石灰施肥がクリ園における細根成長速度，細根形態と外生菌根形成に与える影響 田中(小田)あゆみ・野口享太郎・古澤仁美・木下晃彦・仲野翔太・小長谷啓介・水谷和人・柴田尚・ 山中高史	61(2)
干しいも加工用サツマイモ栽培時のポリエチレンマルチ畦被覆と被覆期間が塊根形質ならびに干しいもの特性に及ぼす影響 藏之内利和・高田明子・藤田敏郎・片山健二・西中未央・田口和憲	83(3)
パルプ培地がダッタンソバズプラウトの根および地上部の生育にあたえる影響 中井勇介・渡辺慎一	90(3)

【技術ノート】

ルートプレッシャーチャンバー法を用いた樹木細根系の水透過性の測定：野外条件下で測るために 増本泰河・矢原ひかり・且原真木・牧田直樹	105(4)
--	--------

【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(1)
---	------

【会員の研究紹介】

Journal of Plant Research への論文掲載報告 岡本尚・北村さやか・正木伸之	70(2)
--	-------

【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，191pp，農文協，東京，2021，(本体 4200 円＋税，ISBN：978-4-540-12210-1). 大橋瑞江	21(1)
--	-------

【情報】

菜根譚 野菜の根の話 15. 宇宙から見た根 中野明正	23(1)
第 55 回根研究集会のお知らせ	24(1)
菜根譚 野菜の根の話 16. 産地偽装，歴史は繰り返す	

中野明正	71(2)
第 56 回根研究集会のお知らせ	72(1)
菜根譚 野菜の根の話 17. 根っこに「えら」がある？	
中野明正	98(3)
菜根譚 野菜の根の話 18. 二刀流と二流	
中野明正	115(4)

【報 告】

第 54 回根研究集会に参加して	
栗原僚	26(1)
第 54 回根研究集会プログラム	27(1)
第 54 回根研究集会発表要旨	32(1)
第 55 回根研究集会プログラム	74(2)
第 55 回根研究集会に参加して	
金子祥也	100(3)
8th International Symposium on Physiological Processes in Roots of Woody Plant (第 8 回国際樹木根会議)	
に参加して	
今若舞	101(3)
作物学者の根の研究—巽二郎先生を偲んで—	
山内章	116(4)
苅住さん、ありがとうございました	
野口享太郎	120(4)
樹木根研究者 苅住昇先生を偲ぶ—文献調査から	
平野恭弘	122(4)
第 56 回根研究集会に参加して	
江岸祐夏	127(4)
第 56 回根研究会集会プログラム	128(4)

【公 示】

根研究学会会則	50(1)
根研究学会学術賞規定	51(1)
『根の研究』投稿規程	52(1)
『根の研究』原稿作成要領	53(1)
『根の研究』論文審査要領	54(1)
国際誌 Plant Root に掲載の 2021 年の論文	55(1)

【会 告】

2022 年度根研究学会総会報告	76(2)
2022 年度根研究学会賞の決定について	132(4)
2022 年度根研究学会臨時総会報告	135(4)
「根の研究」第 31 巻 総目次	137(4)

Root Research 根の研究

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・東北農業研究センター
	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 4 号 2022 年 12 月 15 日印刷 2022 年 12 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

Technical Note

Field measurement of tree fine root hydraulic conductivity using a root pressure chamber technique

Taiga MASUMOTO, Hikari YAHARA, Maki KATSUHARA and Naoki MAKITA 105