

Root Research

ISSN 0919-2182
Vol.30, No.3
September 2021

Japanese Society for Root Research

目 次

【巻 頭 言】

会員の皆様へ 51

【原著論文】

- 冷風と CO₂ の同時処理によるイチゴの根系発達促進と炭素同位体比による効率評価
中野明正・大川千鶴・黒田史絵・川口哲平 53
- 湛水条件下のマンゴー接ぎ木樹における根活性と穂木および台木間の炭水化物分配の関係
佐伯爽・岩崎直人 58
- 2020年7月に倒木化した岐阜県大湫町神明大杉の根系状況
平野恭弘・南光一樹・土居龍成・西村滯・杵山哲矢・谷川東子 65

【教 育】

- 植物組織の空隙率測定方法—3. 切片法—
野村康之・塩野克宏・島村聡・山内卓樹 76

【情 報】

- 菜根譚 野菜の根の話 13. 根を深く 中野明正 83
- 第54回根研究集会のお知らせ 84

【報 告】

- 第53回根研究集会に参加して 87
- 第53回根研究会発表プログラム 92
- 第53回根研究会発表要旨 100

【会 告】

- 2022-2023年度 根研究学会会長選挙の結果について 109

根の研究
根研究学会(JSRR)

会員の皆様へ



告 示

○2022-2023 年度の根研究学会会長選挙の結果 [概要]

根研究学会会則の第 8 条、第 10 条および第 11 条に基づき、2022-2023 年度（2022 年 1 月 1 日-2023 年 12 月 31 日）の期の根研究学会会長の選挙を行ない、立候補が 1 名であったため、無投票で来期の会長は、中野明正会員に決定しました。詳細と中野会員の立候補届を本号に掲載していますので、ご参照ください。

事務局からのお知らせ

1. 2021 年の根研究集会

- ・ 第54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・メールにて]

参加・発表申込は10月29日（金）、要旨提出は11月12日（金）が締切です。新型コロナウイルス感染症の終息の見通しが立たないため、Zoomを利用したオンライン形式での開催になります。

開催日時 2021年11月27日（土）～11月28日（日）（ネット懇親会は27日（土）夜）

- ・ 2022年度の集会

第55回根研究集会（春）を千葉県柏市の千葉大学柏の葉キャンパスで開催する予定です。

第56回根研究集会（秋）の開催地は未定です。

2. 根研ロゴの使用料値下げについて

会員の皆様が使用料を支払うことで根研ロゴを使用したグッズを自由に製作することができるようにしていますが、積極的に会員の皆様に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。詳しくは事務局までお問い合わせください。

3. 学生会員の参加費は無料です

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

4. 電子版会誌のダウンロードについて

2021年度から根研究学会ホームページおよび J-Stage から電子版会誌をダウンロードするためのパスワードを変更したのでご注意ください。ユーザー名の変更はありません。

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

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

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、積極的にご寄稿下さい。また、研究手法や学生向けの実験・実習法の解説なども歓迎します。

次ページに続く

6. 名簿データ更新のお願い（異動のないかたもご協力下さい）

住所・所属・研究テーマ等に変更のある方は本号に掲載の案内，または根研究学会ホームページ（<http://www.jsrr.jp/>）の「諸手続—名簿データ更新」のコーナーをご参照頂き，データをお送り下さい。また，各種調査に備えて今後会員の性別と学生・社会人の別を集計することにしました。特に変更のない方も名簿データの更新にご協力ください。これら追加データは，主に会員構成（男女比など）を把握するために使わせて頂きます。なお，次回の名簿発行は2023年6月の予定です。

7. 会費納入のお願い

2021年度の会費をまだお支払い頂いていない方は，下記の郵便振替口座に納入をお願いします。請求書等の伝票をご希望の方は，事務局までお知らせ下さい。

年会費（2021年）： 電子版個人3,000円，冊子版（+電子版）個人4,000円，冊子版団体9,000円
（年度は1月—12月です）

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

[他の銀行から振込の場合：ゆうちょ銀行 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：neken2021@jsrr.jp 『根の研究』編集委員長：editor2021@jsrr.jp

Plant Root 編集委員長：editor2021@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/>

冷風と CO₂ の同時処理によるイチゴの根系発達促進と炭素同位体比による効率評価

中野明正^{*1)}・大川千鶴²⁾・黒田史絵²⁾・川口哲平²⁾

1) 千葉大学園芸学研究科

2) ヤンマーグリーンシステム株式会社

要 旨 : 冷風と CO₂ の同時処理が初期のイチゴ‘よつぼし’の生育に与える影響を評価した。地上部の乾物重の増加は認められなかったが、根部では重量や根長が有意に増加した。また、 $\delta^{13}\text{C}$ 値は、処理により地上部、根部とも有意に低下し、施用した CO₂ が吸収され、根部にも転流していることが示された。日中の CO₂ 濃度を 600 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ に維持したが、その同位体推定吸収効率は 51%にとどまった。炭素同位体自然存在比は、さらに効率の良い CO₂ 施用法開発に向けた指標となる可能性が示された。

キーワード : 根系発達, CO₂ 施用, 自然同位体比, 炭素含有率, 冷風.

Increase of root dry weight of strawberry by simultaneous application of cool air and CO₂ and evaluation using carbon stable isotope ratio : Akimasa NAKANO¹⁾, Chizuru OHKAWA²⁾, Shie KURODA²⁾ and Teppei KAWAGUCHI²⁾
(¹⁾Chiba University Graduate School of Horticulture, ²⁾YANMAR GREEN SYSTEM CO., LTD.)

Abstract : Effects of simultaneous application of cool air and CO₂ were evaluated on initial growth of strawberry ('Yotsuboshi'). However, these treatments did not increase shoot dry weight, the root fresh and dry weight were increased. Natural abundance of ¹³C of both parts are decreased significantly by the treatment, these results suggested that applied CO₂ was absorbed and translocated to the root. Even though CO₂ concentration has been maintained around 600 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ in the day time, CO₂ use efficiency evaluated by ¹³C natural abundance was estimated only 51%. Natural abundance of ¹³C could be an indicator for developing more efficient CO₂ application method.

Keywords : Carbon content, Cool air, CO₂ application, Natural abundance, Root development.

緒言

イチゴの安定生産においては、冷却(壇ら, 2019)や CO₂ 施用が有効であることが示されてきた(和田ら, 2010)。また、冷却と CO₂ 施用の複合処理の有効性も示されている(加藤ら, 2015)。一方で、これらの効果の評価については、収量や光合成など地上部の反応性について評価されるのみである。根については、収量に関連して品種間差を評価した事例はあるが(Mochizuki et al., 2014) 環境制御によって、根部がどのように反応しているのか解明した事例はない。

このような冷却や CO₂ 施用等の環境制御は高設栽培で実施されることが多いが、高設栽培では、培地調整などの作業を容易にすることもあり、ピートモスなどの軽量の有機質の培地が一般に用いられる(岩崎, 2005)。このような培地では、細根が有機物に絡みつくため、栽培終了後に、詳細な根の調査を行うことはほぼ不可能に近い。そのため、このような環境制御と根との関連について評価した事例が少ないと考えられる。また、最近、種子繁殖性のイチゴの‘よつぼし’(登

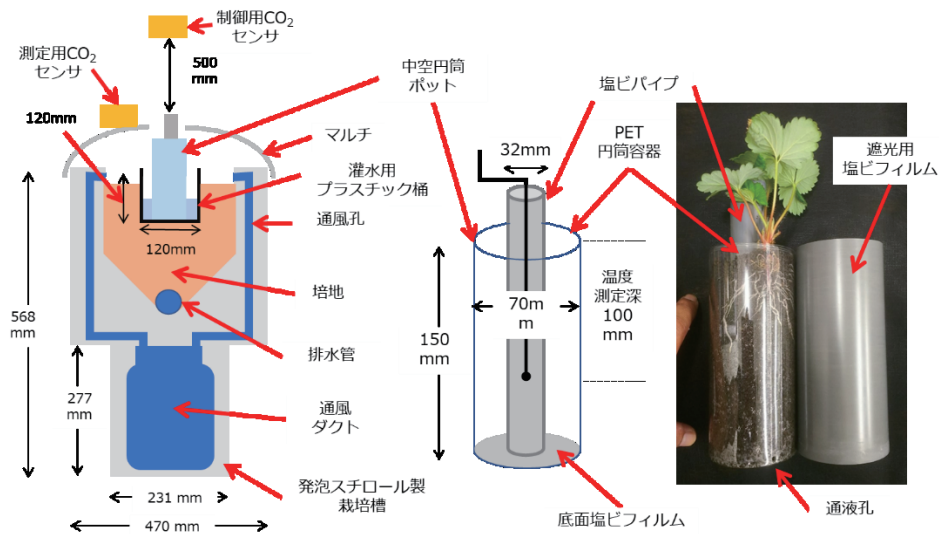
録番号 : 25605, 登録日 : 2017 年 2 月 8 日) が開発されたが、新しい品種であるために根に関する知見はない。

そこで、本報告では、冷風と CO₂ の同時処理が可能なイチゴ生産用の断熱送風栽培槽(ヤンマーグリーンシステム株式会社)のシステムを活用して、環境制御がイチゴ‘よつぼし’の根系に与える影響を定量化することを目的とした(第 1 図左)。実験系として、ハンドリングが容易な中空円筒ポット法(第 1 図右, 中野ら, 2021)を用い約 1 か月の評価を行った。合わせて、根への CO₂ の分配や効率的な CO₂ 施用法の評価指標として、炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) の適用の可能性について考察した。

材料と方法

1. 中空円筒ポットによるイチゴの生育

くみあいニッピ園芸培土 1 号(日本肥糧株式会社製造, 性状 : pH 5.8 ~ 6.5, EC 1.2 dS/m 以下)を培養土として用いた。この培養土の 1 kg あたりの肥料含有量は、N : 220 mg (内アンモニア態窒素が 177 mg, 硝



第1図 断熱送風栽培槽 (左) と中空円筒ポット (右).

酸態窒素が 44 mg), P_2O_5 : 2775 mg, K_2O : 220 mg, MgO : 220 mg であった. この培養土を第1図 (右) に示した中空円筒ポット (容量 450 mL) に充填した. 同ポットに苗テラス (三菱ケミカルアグリドリーム (株)) で育苗したイチゴ‘よつぼし’の苗 (2020年4月28日に播種し, 約2カ月育苗) を同年6月29日に定植した. ポットの外側は遮光用塩ビフィルムで覆い (第1図右), 根に光が当たらないようにした. その後, 千葉大学柏の葉キャンパス植物工場内のヤンマーグリーンシステム株式会社のハウス圃場に設置してある, 断熱送風栽培槽 (第1図左) の培地内にプラスチック桶 (縦 120 mm, 横 300 mm, 高さ 120 mm) を埋設して, その桶内に中空円筒ポットを設置した. この処理区を冷風 CO_2 区とし, このような処理の影響がない位置に, 同じプラスチック桶を同ハウス圃場内に設置し, その中にイチゴ苗を定植した中空円筒ポットを設置した区を対照区とした. その後, 両区を同年7月29日まで育成させた. 灌水は3日に1度程度1株あたり 100 mL を桶に注ぎ入れた. すなわち底面給水とした. 処理区ごとの個体の反復数は4とした.

栽培施設内の平均気温は $26.3 \pm 5.4^\circ C$ であった. また, CO_2 は 7:00 ~ 17:00 まで冷風ダクトに CO_2 ボンベからシリコンチューブにより供給される $500 \mu mol mol^{-1}$ になると停止する設定とした (第1図左). 冷風は施設園芸用ヒートポンプ (NGP104T-N, ネボン株式会社) を用いて, 風速 2 ~ 4 m/s に設定し供給した.

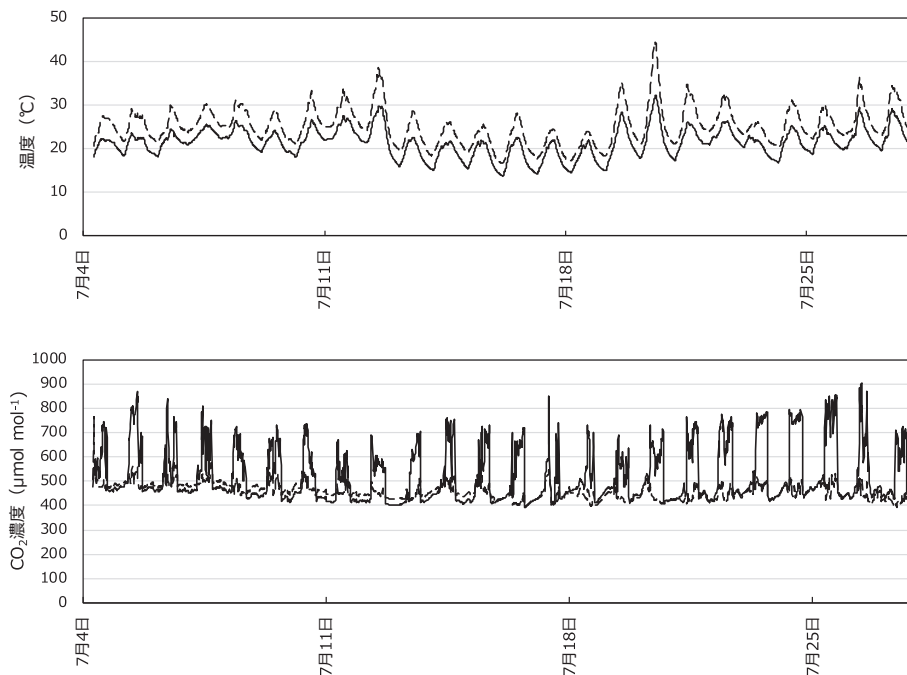
実験作物近くの第1図左および右の部位において CO_2 センサ (株式会社ティアンドデイ, TR-76Ui) および根域の温度センサ (株式会社ティアンドデイ, TR-71wb) により 15 分間隔でデータを取得し, 7月4日 7:00 から 7月27日 : 24:00 までの取得データを解析した.

2. フレキシブルピンネット法による根系の回収と根の評価

栽培終了後に地上部を切断採取した後, ポットから根系を培地ごと引き抜いた. その後フレキシブルピンネット法 (中野ら, 2021) で根系を採取して, 流水中で培地を除去して根を取り出した. フレキシブルピンネット法は, 円筒の局面に沿って展開した根を, プラスチック製の柔軟な剣山のようなネットを活用して2次的に回収する手法であり, イチゴのような小型の作物で1カ月程度の短期間の根の生育評価に活用できる手法である (中野ら, 2021). この手法で採取した根を, キッチンの排水口を覆い, 生ごみなどの残渣が排水パイプに流れ込むのを抑制する水切りネット (ポリエチレン製) に入れ, 電気脱水機 (HS-S60A, ハイスマートジャパン (株)) で1分間脱水処理 (2,800 rpm) した. 脱水後は根をビニル袋に入れ, 重量測定まで水分の蒸発が発生しないようにした. この状態の根の重量を新鮮重とした. 得られた根の一部をランダムに 1 g 程度採取し WinRhizo (Regent Instruments Inc.) を用いて, 総根長および根の平均直径を計測した. 測定後は $80^\circ C$ で 24 時間乾燥し乾物重を測定し, 比根長を算出した. また根長測定に用いなかった大部分の根についても同様に乾物重を測定して, 乾物率を算出した.

3. 炭素および炭素安定同位体比の分析

地上部および根部について乾物重測定後微粉碎し, 約 0.1 mg を正確に秤量し, Thermo Fisher Scientific 社 (株) 製元素分析計/安定同位体質量分析計 (EA/IRMS) により炭素含有率および炭素安定同位体比を測定した. $\delta^{13}C$ 値の算出については, $\delta^{13}C$ -PDB (Pee Dee 層から産出する Belemnite) を標準物質として, 以下



第2図 栽培期間中の冷風 CO₂ 処理の根部温度と地上部 CO₂ 濃度.
対照：実線，冷風 CO₂ 処理：破線.

第1表 冷風 CO₂ 処理がイチゴの部位別の重量に与える影響.

	地上部			根部			T/R 比 (DW)
	FW (g)	DW (g)	乾物率	FW (g)	DW (g)	乾物率	
対照	21.5	4.78	0.222	8.3	0.82	0.098	5.8
冷風 CO ₂	20.8	4.93	0.235	11.8	1.23	0.104	4.1
T-test ^z	ns	ns	ns	*	*	*	*

Z : 5%の危険率で有意差あり (*), なし (ns).

の式 $\delta^{13}\text{C} = \text{R sample} / \text{R standard} - 1$ (R sample : 試料の ¹³C/¹²C 値, R standard : 上記標準物質の値) により算出した. 単位は‰ (パーミル) である. なおこの分析については, 昭光サイエンス (株) に依頼して実施した.

結果

1. 地上部および地下部の環境条件と生育

処理個体の周辺の環境条件を第2図に示す. CO₂ については昼間の濃度は対照区で $469 \pm 30 \mu\text{mol mol}^{-1}$ に対して, 冷風 CO₂ 区では $617 \pm 60 \mu\text{mol mol}^{-1}$ であった. 夜間の濃度はそれぞれ, 対照区で $451 \pm 21 \mu\text{mol mol}^{-1}$ に対して, 冷風 CO₂ 区では $446 \pm 20 \mu\text{mol mol}^{-1}$ になっていた. 温度については, 対照区で $25.2 \pm 4.3^\circ\text{C}$ に対して, 冷風 CO₂ 区では $21.3 \pm 3.3^\circ\text{C}$ となっており, 環境条件については, 想定された差異が形成できていた.

イチゴの地上部の新鮮重, 乾物重, 乾物率については, 本栽培条件では冷風と CO₂ の同時処理の効果は認められなかった (第1表). 一方で, 根については, 外



第3図 冷風 CO₂ 処理がイチゴの根系に与える影響.

観上も差異が認められた (第3図). 根部の新鮮重, 乾物重, 乾物率についてはいずれも冷風と CO₂ の同時処理の効果が認められ (第1表), それぞれ 1.4 倍, 1.5 倍, 1.06 倍になった. そのため T/R も有意な差が認められ, 対照が 5.8 に対して 4.1 に低下した. 株あたりの根長は冷風と CO₂ の同時処理により 1.6 倍になるとともに, 根の構造についても有意な特徴が認められた (第2表). すなわち対照の平均直径が 0.365 mm に対して処理区では 0.330 mm と細い根となっていた. 比根長に

第2表 冷風 CO₂ 処理がイチゴの根系に与える影響.

	株あたり根長 (m/株)	比根長 (m/g)	平均直径 (mm)
対照	73.2	90.16	0.365
冷風 CO ₂	119.7	103.56	0.330
T-test ^Z	*	ns	*

Z : 5%の危険率で有意差あり (*), なし (ns).

第3表 冷風 CO₂ 処理がイチゴの炭素同位体比, 炭素含有率, 吸収効率に与える影響.

	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)		C (mg/gDW)		同位体推定 吸収効率 (%)	
	地上部	根部	地上部	根部	混合	全量ボンベ
対照	-30.6	-30.7	411	402	0	0
冷風 CO ₂	-33.0	-32.6	414	382	51	12
T-test ^Z	*	*	ns	*		

Z : 5%の危険率で有意差あり (*), なし (ns).

については有意差が認められなかった.

2. 地上部および根部の炭素同位体比

炭素含有率については, 地上部では処理区による差異は認められず, 根部では有意に低下した. すなわち炭素含有率は対照区 402 mg/g DW に対して, 処理区で 382 mg/g DW になり, 有意に5%低下していた. $\delta^{13}\text{C}$ 値は地上部および根部で有意に低下した (第3表). その低下は地上部で2.4‰, 根部で1.9‰であった.

考察

1. 根を含めた作物全体での冷風 CO₂ 処理の評価

本実験においては, 冷風 CO₂ 処理の地上部への効果が認められなかったため, 地上部のみで評価すると1カ月程度で, また初期生育の場合, 冷風 CO₂ 処理効果を見誤る可能性が考えられた. 気象庁のデータによると, 2020年の7月は曇天が続き, 平年値 (1981~2010年) の153時間に対して, 2020年7月は61時間であった. 地上部の生育に冷風 CO₂ 処理の効果が認められなかったことは日射が少ないことも影響した可能性があるため, 時期を変えて評価する必要があるが, 本実験期間の環境条件では, 相対的に地上部の発達が抑制され, 根部の発達が促されたと考えられる. 冷風 CO₂ 処理により株あたりの根の乾物率は増加したが (第1表), 炭素含有率は低下した (第3表). これは無機元素などの吸収が冷風 CO₂ 処理により亢進している可能性を示す新たな知見であり今後その内容について評価する必要がある. またこのような根の変化が着果後の収量の増加に寄与する可能性もあり, 根部の発達と処理後の地上部の生育および収量との関連について

調査する必要がある.

2. 施用した CO₂ の吸収量と吸収効率

(1) 施用した CO₂ の吸収量

実際, 1ヶ月で圃場に施用した CO₂ 量 (ガスボンベからの供給重量) と株数から, 1日当たり1株に施用した CO₂ の量は9.9 gであった. 本実験システムで日中のセンサ周辺の CO₂ 濃度を 600 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ 前後に維持するには, この量が必要であったということになる. 第1表および第3表の結果から, 1日1株あたりに固定された CO₂ の量を推定すると対照が0.273 gに対して CO₂ 冷風処理で0.300 gとなり, 処理区間の差は0.0270 gとなった. つまり施用量の0.3%しか利用されていない結果となった. 今回の処理は実験ではあるが, 生産現場に適用する場合は改善の余地がある. また今回の実験は幼苗期の CO₂ 施用の効果を評価したものであり, 収穫期に施用した場合は比較できないが, このような CO₂ システムにおいては, 幼苗期の CO₂ 施用の効率が低いと考えられる.

イチゴ1株1日あたりのみかけの CO₂ 吸収量を評価した研究において (加藤ら, 2015), 今回の条件に最も近いと思われる 700 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ 区では, 1.1 g/株/日とされている. この結果は収穫期の状況であり, 葉が増加すれば, 今回の条件でも, 数倍になることは想定されるため, 今回の結果0.3 g/株/日も現状から考えて妥当な結果であると思われる.

(2) 施用した CO₂ の利用効率と同位体比適用の可能性

無換気の温室における施用した CO₂ の利用率は51.6~56%と計算されている (Kuroyanagi et al., 2014). これは締め切った温室においても, 漏れなどがあり, 利用率はこの程度になることを示している. この場合は施用した CO₂ がどれだけ植物に固定されたかを示している. 今回の実験系は圃場であり密閉性が低い状況であり, このような状況でイチゴの周辺の雰囲気は日中 (7:00~17:00) において, 600 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ に維持されていたと考えられる. このような通常の生産環境に近い状態で, 今回適用した断熱送風栽培槽において, 施用した CO₂ がどのように利用されていたかを炭素安定同位体比から推定することを試みた.

まず, 処理区の雰囲気について, CO₂ 濃度と $\delta^{13}\text{C}$ 値について計算する. 通常の大気の CO₂ の $\delta^{13}\text{C}$ 値は-11‰程度であると推定される (半場, 2009). ガスボンベの CO₂ の $\delta^{13}\text{C}$ の値は-24~-38‰であるが, 今回実測したところ-30.2‰であったので, この値を使用する. また, 今回の実験結果 (第2図) から, 大気 CO₂ は 469 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (対照区の平均値), CO₂ 施肥による上乗せ分 (昼間の CO₂ 値の対照区との差分の平均

値)を $148 \mu\text{mol mol}^{-1}$ と想定した場合、ガスボンベの $\delta^{13}\text{C}$ の値が -30.2% であったので、加重平均で計算すると、本実験の処理区では $\delta^{13}\text{C}$ が -15.6% の CO_2 が日中 (7:00 ~ 17:00) の雰囲気であったと推定された。これは、今回実験した生産圃場が密閉状態ではなく、装置からの冷風の吹き出しは $2 \sim 4 \text{ m/s}$ であり、ガスボンベからの CO_2 だけでなく室内大気の CO_2 の影響を強く受ける状態にあることからこのような仮定をした。

次にイチゴ (植物体) の $\delta^{13}\text{C}$ 値についてである。C₃ 植物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は -28% 程度であるが (半場, 2009), 今回のイチゴの対照の $\delta^{13}\text{C}$ 値と地上部と根部の乾物重を用いて加重平均すると -30.6% が対照とするイチゴの $\delta^{13}\text{C}$ 値と計算された。このとき、大気 (-11%) との差は 19.6% となる。この 19.6% の値の低下はイチゴの代謝経路により共通して生じていると仮定すると、大気のみを吸収した個体は -30.6% ($= -11 - 19.6$) になると考えられる。これは、炭素同位体比から推定される、理論的にボンベ由来の施用 CO_2 がゼロの場合の値である。今回混和されたと考えられる気体の比率、つまり大気の $469 \mu\text{mol mol}^{-1}$ にボンベの $148 \mu\text{mol mol}^{-1}$ の割合で混合されたと仮定した気体の CO_2 がそのままイチゴに吸収されたとすると $\delta^{13}\text{C}$ 値は -35.2% ($-15.6 - 19.6$) になると考えられる。これは、理論的にボンベ由来の CO_2 が今回の設定条件である $600 \mu\text{mol mol}^{-1}$ まで富加されてそれを 100% 吸収した場合の値である。このゼロから 100 までの尺度を、炭素同位体から推定した吸収効率ということで、本論文では同位体推定吸収効率とする。

冷却 CO_2 区と同位体推定吸収効率を上記のような直線回帰で推定すると 51% となった。つまり植物体周辺を日中 $600 \mu\text{mol mol}^{-1}$ 程度に維持するため、乾物増加量の 300 倍程度の大過剰の CO_2 を施用した場合でも、施用した CO_2 が想定されるように十分吸収されていない可能性が示された。また、この値は、大気の $469 \mu\text{mol mol}^{-1}$ にボンベの $148 \mu\text{mol mol}^{-1}$ の割合で混合されたと仮定が入っているので、ボンベのガスの寄与割合が増えれば雰囲気 $\delta^{13}\text{C}$ 値は -15.6% からさらに低くなることも想定される。このような場合には、同位体推定吸収効率は低下することになり、全量ボンベからの CO_2 が吸収されたとすると同位体推定吸収効率は 12% になる。そのため、今回得られた同位体推定吸収効率 51% という値は今回の条件での最大値に相当する。

施用した CO_2 がより大気 $\delta^{13}\text{C}$ 値に近い要因について考察すると、まず、日射の影響が考えられた。本実験では CO_2 の施用の設定は $7:00 \sim 17:00$ であり日射が

あった時とのずれが認められた。7月15日の千葉市での日の出および日の入りの時刻は $4:35$ および $18:55$ であり、 CO_2 施用時間以外でも日射があったことになる。この期間は大気 CO_2 のみを吸収しているため、施用 CO_2 の同位体推定吸収効率を下げることになったと考えられる。期間中の全日射量に対する $7:00 \sim 17:00$ の積算日射量の比は 0.93 であり、7ポイント程度の同位体推定吸収効率の低下は、施用時間を合わせることで向上できる可能性がある。このほかにも、センサがある部分では $600 \mu\text{mol mol}^{-1}$ になっていたが、群落内に CO_2 が行き渡っていなかった、センサ部分の濃度より植物体近傍の濃度が低かった可能性もある。そのような施用 CO_2 の不均一性が同位体推定吸収効率を下げた可能性もある。

以上結果から、同位体推定吸収効率の改善に向けては、①日射に合わせた CO_2 施用法 (量管理等) を導入すること、②センサの位置をより植物体に近づけて管理すること、③ CO_2 がより群落内に入るように配管や被覆をすること、などの対策が考えられた。また、これらの改善により、実際に植物体の同位体推定吸収効率を向上させることが可能なかを検証し評価手法として確立する必要がある。

引用文献

- 壇和弘, 菅野亘, 中原俊二, 後藤直子, 本間由紀子, 遊佐真奈美, 岩崎泰永, 高野岩雄, 高山詩織, 日高功太, 高山智光, 今村仁 2019. 宮城県でのクラウン温度制御を用いたイチゴの促成栽培. 農研機構報告九沖農研 68: 10-21.
- 半場祐子 2009. 個葉から葉緑体スケールのガス交換, 光合成研究のための安定同位体測定法. 低温科学 67: 73-82.
- 岩崎泰永 2005. 固形培地の理化学性と作物の生育. 日本土壤肥料学会編 養液土耕と液肥・培地管理. 博友社, 東京. pp. 29-64.
- 加藤賢治, 小林克弘, 嶋本千晶, 中村嘉孝, 小島寛子, 大藪哲也, 番喜宏, 岩崎泰永 2015. イチゴ促成栽培におけるミスト噴霧と CO_2 長時間施用が生育・収量に及ぼす影響. 愛知農試研報 47: 51-60.
- Kuroyanagi, T., Yasuba, K. I., Higashide, T., Iwasaki, Y., Takaichi, M. 2014. Efficiency of carbon dioxide enrichment in an unventilated greenhouse. Biosyst. Eng. 119: 58-68.
- Mochizuki, Y., Iwasaki, Y., Fuke, M., Ogiwara, I. 2014. Analysis of a high-yielding strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) cultivar 'Benihoppe' with focus on root dry matter and activity, J. Japan. Soc. Hort. Sci. 83: 142-148.
- 中野明正, 増田英莉子, 石原良行 2021. 中空円筒ポットとフレキシブルピンネット法による根系観察および採取法. 根の研究 30: 5-7.
- 和田義春, 添野隆史, 稲葉幸雄 2010. 促成, 半促成栽培におけるイチゴ品種 'とちおとめ' の高 CO_2 濃度下の葉光合成速度促進に及ぼす光と温度の影響. 日作紀 79: 192-197.

湛水条件下のマンゴー接ぎ木樹における根活性と穂木および台木間の炭水化物分配の関係

佐伯爽・岩崎直人*

明治大学大学院農学研究科

要 旨 : 本研究では、接ぎ木部まで水没させた接ぎ木樹の根の呼吸活性と炭水化物の分配および落葉の程度について調査し、樹体の枯死の機構について考察した。湛水処理開始直後は、根の呼吸活性が低下することから根糖含量は増加するが、湛水処理が継続する間は根の呼吸活性が回復することがないにもかかわらず、根糖含量は徐々に減少して対照区との差はなくなった。落葉の程度は個体差が大きく、根および台木木質部の糖含量と相関が見られた。湛水処理期間中の根の呼吸活性は根糖含量と正の相関が見られたことから、湛水処理による根の呼吸活性の低下は酸素不足のみに起因するのではなく、炭水化物の分配も関与するものと考えられた。

キーワード : クロロフィル蛍光, 水分生理, 熱帯果樹, 落葉。

Relationship between root activity and carbohydrate distribution between scion and rootstock in grafted mango trees under flooding : Akira SAEKI and Naoto IWASAKI* (Graduate School of Agriculture, Meiji University)

Abstract : Grafted mango trees tend to die when the graft union is submerged in water. In this study, we investigated the root vigor using triphenyl tetrazolium chloride (TTC) reduction tests in relation to carbohydrate distribution and defoliation, when the trees were submerged up to 5 cm above the graft union. Immediately after the commencement of flooding treatment, the root sugar content increased due to the decrease in the root vigor. Although the root vigor did not recover during flooding treatment, the root sugar content gradually decreased to a level not significantly different from that in the non-treated control. Defoliation in flooding trees varied greatly and was correlated with the sugar content of the roots and wood of the rootstock. As the root vigor during the flooding treatment was positively correlated with root sugar content, it was considered that the decrease in root vigor due to flooding was not only caused by oxygen deficiency but also by the decreased supply of photoassimilates from the scion.

Keywords : Chlorophyll fluorescence, Defoliation, Tropical fruit, Water relation.

緒言

近年の地球的規模の環境変動は、世界各地における大規模な洪水の発生頻度を高めており、多くの農作物が被害を受ける危険性が增大している。2011年には、タイ王国において大規模な洪水が発生し、広範囲の農地が長期間に亘って冠水したが、土地の利用形態が洪水以前と同じ状態に復旧される割合は、特に果樹園で低かったことが報告されている(原ら, 2014)。マンゴー樹は、熱帯アジアの多くの国々で栽培されている重要な果樹で、これまで地下部の冠水が樹体の生育に及ぼす影響について多くの研究が行われてきた結果、比較的耐水性が高いとされている(Schaffer, 1998; Whiley and Schaffer, 1997)。一般に、果樹作物では地下部が冠水すると葉の光合成速度が低下し、樹体の物質生産性が低下することが報告されている(Schaffer et al., 2006)。パッションフルーツにおいて土壌水分含量が

37.7%の湿潤土壌条件下では光合成速度が低下し、結果として根のデンプン含量が低下することが報告されている(島田ら, 2018)。マンゴーにおいても湛水処理期間中に光合成速度が低下すること(Larson et al., 1991; Larson et al., 1992)が報告されており、結果として地下部の炭水化物代謝に影響していると考えられる。しかしながら、マンゴーにおける湛水処理期間中の根における炭水化物含量の推移について調査した例は見当たらず、湛水が根の炭水化物代謝に及ぼす影響と樹体の耐水性との関係は明らかではない。

一方、著者らはマンゴーの接ぎ木樹と実生樹を供試して湛水処理を行い、接ぎ木樹においてのみ接ぎ木部が水没すると枯死する樹が見られたことを報告した(Saeki and Iwasaki, 2020)が、接ぎ木部が水没する湛水処理を行った樹の全てが同様に枯死するのではなく、穂木部が枯死しても台木部は枯死しない樹もあるなどの個体差が見られた。その枯死の機構については解明

されていないが、台木部も含めて枯死した接ぎ木樹では穂木部が先に枯死し、その後台木部が枯死することから、光合成産物の転流が関与している可能性が示唆された。しかしながら、湛水処理期間中のマンゴー樹における葉の水ポテンシャルやクロロフィル蛍光を測定した結果では、光合成の指標となる F_v/F_m 値や水ポテンシャルの変動は小さく、2ヶ月近い湛水処理を行って葉が萎れ始めてから両指標共に徐々に低下することから、光合成の低下が枯死を誘導する可能性は低いと考えられた。

本研究では、マンゴーの接ぎ木樹において地下部を湛水条件に置いた際の幹および根の炭水化物含量の差異について調査し、樹体の枯死との関係について検討した。

材料と方法

1. 実験材料

2012年および2016年に苗木業者から購入した、台湾在来系(柴マンゴー)に接ぎ木された‘アーウィン’樹を供試した。樹は、市販の培養土を用いて約40Lの不織布ポットに植栽され、明治大学の実験温室内で管理された。

2. 湛水処理および根の採取

湛水処理は、2015年6月19日から8月14日および2017年6月10日から8月7日に行った。湛水処理には、大型のコンテナ(2×3×0.6m)を用いた。2015年では、接ぎ木部が水没しないように地際部の上10cmまで台木を浸水させた湛水区、台木と接ぎ木部の上約5cmまで幹を水没させた深湛水区および無処理の対照区を設定したが、2017年では深湛水区および対照区とした。両年共に、各処理区において接ぎ木樹を4樹供試した。湛水処理に用いた大型コンテナの水位は2~3日毎に確認し、また、エアポンプ(GX-500, ジェックス株式会社)で通気して溶存酸素を維持した。

根の採取は、2015年度では処理期間中は6月25日から8月13日まで約1週間毎に、2017年度は同じく6月18日から7月25日まで1週間から2週間の間隔で行った。なお、2015年は湛水処理終了後も、9月に3回の根の採取を行った。約1gの細根を地表面下3cm以下から採取し、TTC還元力および糖含量の測定に供試した。なお、炭水化物の分析には凍結乾燥後に粉碎した試料を用いた。

3. 根の糖含量の測定(2015年および2017年)

糖は、凍結乾燥した粉末試料50mgから80%熱エタノールで1時間抽出した。上澄み液を採取し、遠心エバポレーター(CBE-200D, 東京理化学器械株式会社)で

エタノールを除去し、蒸留水で100mlに定容した。

糖の定量は、アンスロン法で行った。試料液1mlにアンスロン試薬6mlを加え、100℃で10分間加熱した後、流水中で室温まで冷却した。その後、分光光度計(V-630, 日本分光株式会社)を用いて620nmで吸光度を測定した。なお、糖含量はスクロースで作成した検量線を用いて算出した。

4. 根活性(TTC還元力)の測定(2015年および2017年)

採取した細根の0.2gを0.4%-塩化2,3,5-トリフェニル-2H-テトラゾリウム(TTC)溶液とリン酸緩衝液(pH7.0)の混合液(1:1)に浸漬し、暗黒下で37℃に設定したインキュベーター(FMU-0541, (株)フクシマガリレイ)内に3時間静置した。その後、約5mlの99.5%エタノールと共にホモジナイズし、その上澄み液を99.5%エタノールで25mlに定容した後、520nmで吸光度を測定した。純品のトリフェニルホルマザン(TPF)で作成した検量線から、1gの細根が3時間に生成したトリフェニルホルマザンの量を算出して根のTTC還元力とし、この値を根活性とした。

5. 葉のクロロフィル蛍光の測定(2015年)

葉のクロロフィル蛍光は処理期間中、約1週間毎に当年枝に着生した葉を用いて、午前中に測定した。なお、測定はクロロフィル蛍光測定装置(Mini-pam, Walt)を用い、専用のクリップを用いて30分間、暗順応させたのちに測定した。これらの測定結果から、最大量子収率($F_m - F_o / F_m = F_v / F_m$)を算出した。なお、今回使用した機器の飽和パルス光は、光合成有効放射束密度で7000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ であった。

6. 落葉調査および幹の炭水化物含量(2017年)

処理開始前に各樹の前年葉および当年葉数を数え、その後の落葉数を約3日毎に調査した。処理終了時に各樹体を掘り上げ、台木部と穂木部に分けて幹を採取した。採取した幹は、樹皮を含む皮部と材(木質部)に分けて約5mm程度に細断し、速やかに-70℃で凍結した。凍結した試料は凍結乾燥後に粉碎し、上述の方法で糖含量について測定した。

7. 統計処理

処理区間の平均値の比較は、カレイダグラフ v. 4.5 (株式会社ヒューリンクス)を用いて、FisherのLSDまたはt検定によって行った。一方、共分散分析は、エクセル統計 v. 2.00 ((株)社会情報サービス)を用いて行った。

結果

1. 樹体の生育

1) 2015 年の結果

全ての処理区において処理期間中に枯死した樹はなかった。しかしながら、処理終了後約 2 週間経過した頃に、深湛水区の 4 樹中 1 樹において萎れが始まり、その後枯死した。他の処理区においては、処理後においても萎れが観察された樹や枯死に至った樹はなかった。

湛水区および深湛水区における根糖含量は、処理開始後 1 週間後には増加して対照区に比べて $10 \text{ mg g}^{-1} \text{ DW}$ 程度高い値であった (第 1 図)。その後、根糖含量は湛水区および深湛水区共に徐々に減少したこと、さらに対照区で 8 月になって増加傾向になったことから、処理終了時の 8 月 13 日では処理区間差はなかった。また、深湛水処理区で枯死に至った樹と枯死しなかった樹における根糖含量の差は 7 月中は見られなかったが、8 月になって枯死に至った樹で急激に低下した。

根の TTC 還元力は、湛水区および深湛水区で処理開始後から低下し、処理終了まで対照区に比べて有意に低い値で推移した。湛水区では全ての樹が処理終了後に回復したが、深湛水区で枯死した樹では 9 月以降も減少し続けた。一方、深湛水区で枯死しなかった 3 樹は、枯死樹と同様に処理期間中の根の TTC 還元力は対照区に比べて有意に低下したが、処理終了後は速やかに回復した。

処理期間中の根の TTC 還元力は、湛水区と深湛水区において糖含量との間に有意な正の相関関係が見られたが、対照区では有意ではなかった (第 2 図)。糖含量を共変量とした共分散分析の結果は、処理区と糖含量の交互作用は有意ではなかったことから、各処理区の回帰直線は並行であることを否定できなかった (第 1 表)。また、糖含量を調整した後の回帰直線も $P < 0.001$ で有意であった (第 2 表) ことから、糖含量を調整した各処理区の TTC 還元力を比較した。その結果、対照区は $218.8 \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$ であったのに対し、湛水区と深湛水区では各々 $105.0 \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$ および $117.7 \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$ で、共に対照区に比べて有意に低い値であった。しかしながら、湛水区と深湛水区の間には有意差はなかった。

葉の Fv/Fm は処理期間中から処理後を通して、処理区間で差はなかった。しかしながら、深湛水区で処理終了後に枯死した樹では処理後に急激に低下し始め、9 月下旬には 0 になった。

2) 2017 年の結果

深湛水区において処理期間中に枯死した樹はなかつ

たが、7 割以上の葉が落葉した樹および半数程度の葉が落葉した樹が各 1 樹あった。しかしながら、処理終了時に樹を解体したので処理後の経過は観察していない。

Fv/Fm の推移は両処理区で差がなかったこと、根の TTC 還元力は深湛水区で低下したが糖含量は増加したことについては、2015 年度の結果と同じであった。対照区の根糖含量は $20 \sim 30 \text{ mg g}^{-1} \text{ DW}$ の間で推移したが、最後の試料は 7 月 25 日に採取しており、2015 年の結果に見られるような増加傾向になる以前であった。

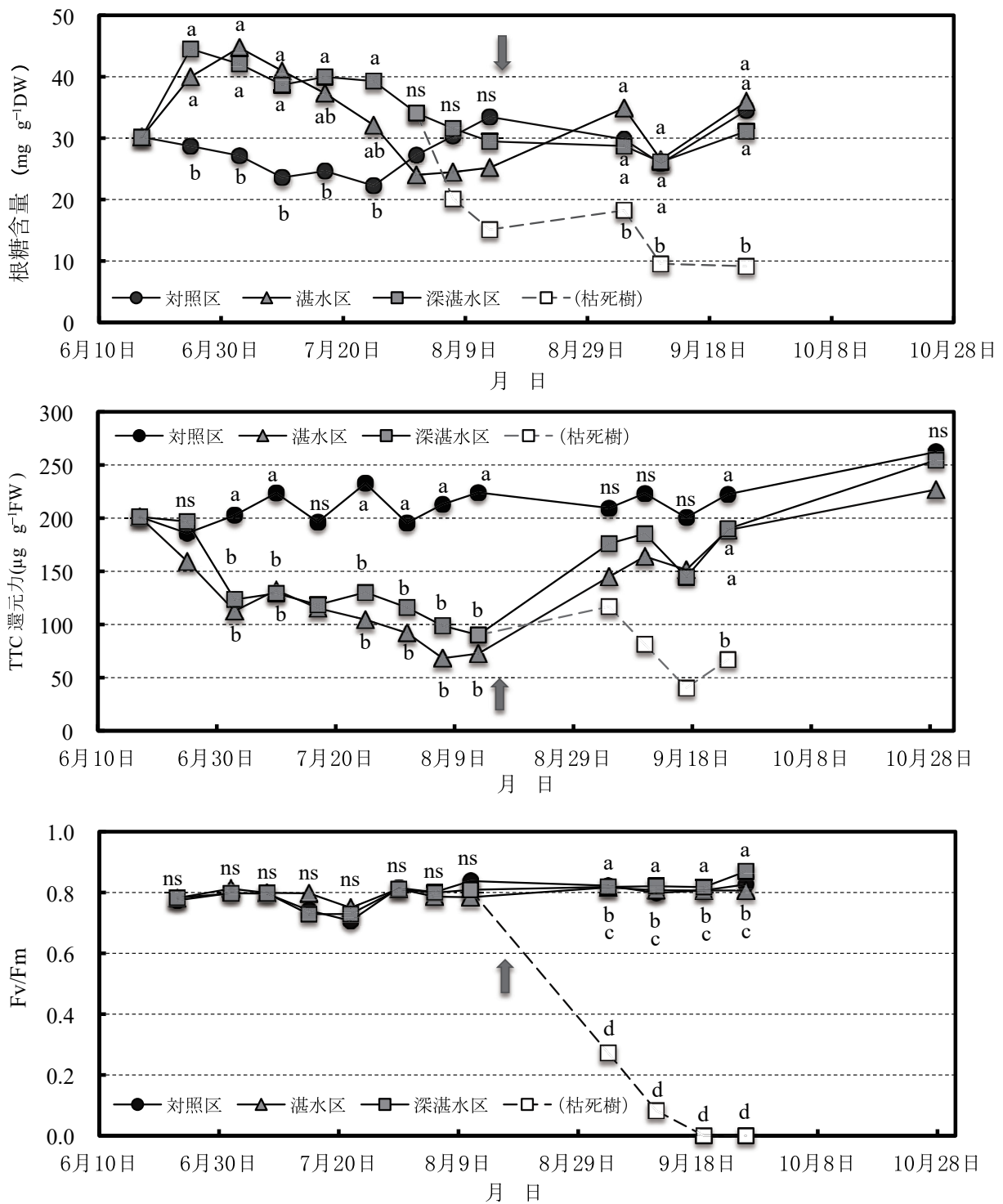
落葉は対照区では見られなかったが、深湛水区では時間の経過と共に顕著な落葉が見られた (第 3 図)。しかしながら、深湛水区においても個体差が大きく、7 月 13 日を除いて処理間で有意差はなかった。なお、当年葉は深湛水区の 1 樹で、2 枚が落葉したのみであったため、旧葉の結果のみ示した。

7 月 25 日の深湛水区において根糖含量が $12 \text{ mg g}^{-1} \text{ DW}$ 程度まで低下した樹で累積落葉数が 90 枚であったが、同じく $28 \text{ mg g}^{-1} \text{ DW}$ 前後であった 2 樹では 43 枚と 11 枚で個体差が見られた (第 4 図)。対照区では根糖含量は $16 \sim 34 \text{ mg g}^{-1} \text{ DW}$ の範囲であったが、累積落葉数は 0 ~ 3 枚で深湛水区に比べると遙かに少ない値であった。7 月 25 日の累積落葉数と根糖含量の間には、深湛水区で正の相関が見られたが有意ではなかった。一方、処理終了日直前の 8 月 4 日の累積落葉数と台木木質部の糖含量においては、5% レベルで有意な正の相関が見られた。

2. 幹の各部位における糖含量と根糖含量の関係

対照区における皮部糖含量は、穂木に比べて台木で高い値を示し、5% レベルで有意な差であった (第 3 表) が、木質部においては両者に差はなかった。深湛水区においては穂木の皮部および木質部の糖含量が、対照区に比べて有意に増加した。しかしながら、台木の糖含量は皮部および木質部共に顕著な増加は見られず、対照区と比べて有意な差はなかった。また、深湛水区における皮部糖含量は、穂木と台木間で有意差は見られなかった。

一方、台木の木質部糖含量は根糖含量と高度に有意な正の相関関係を示し、台木の木質部糖含量が高い樹の根糖含量が高くなった (第 5 図)。この結果は、対照区と深湛水区において差は無く、同一の回帰直線で説明できた。深湛水区において落葉が激しかった樹の木質部糖含量は極端に低い値を示しており、Smirnoff-Grubbs の棄却検定の結果では $P = 0.05$ の有意水準で仮説が棄却されたため、相関関係の分析の際には除外した。



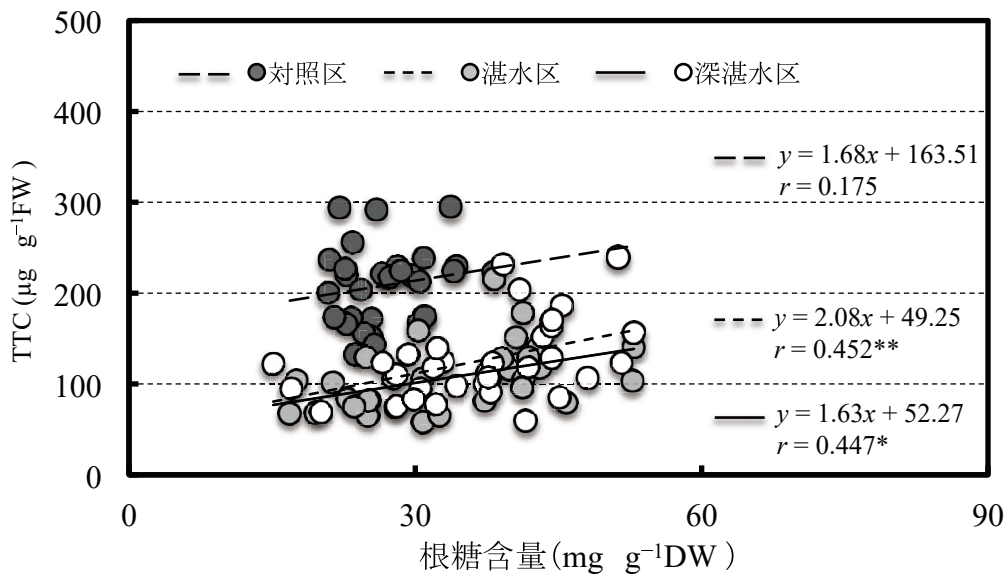
第1図 湛水処理期間中のマンゴー接ぎ木樹における根糖含量(上), 根のTTC還元力(中)および葉のFv/Fm(下)の経時的变化(2015年).

図中の矢印は, 湛水処理が終了した時を示す. 異なるアルファベットは, 処理間でFisherのLSDによる5%レベルで有意差があること, nsは処理間に有意差が無いことを示す.

考察

本研究で根活性の評価に用いたTTC還元力の測定は, 細胞内の電子伝達系に参与するコハク酸脱水素酵

素から電子を受け取ることで, TTCがTPFに還元される反応を利用している. したがって, TTC還元力は脱水素酵素の活性を示す(Aimi and Fujimaki, 1958; Kun and Abood, 1949)もので, 呼吸速度と関係がある



第2図 湛水処理期間中の根における糖含量とTTC還元力の関係(2015年).
**と*は、それぞれ1%および5%レベルで有意であることを示す。

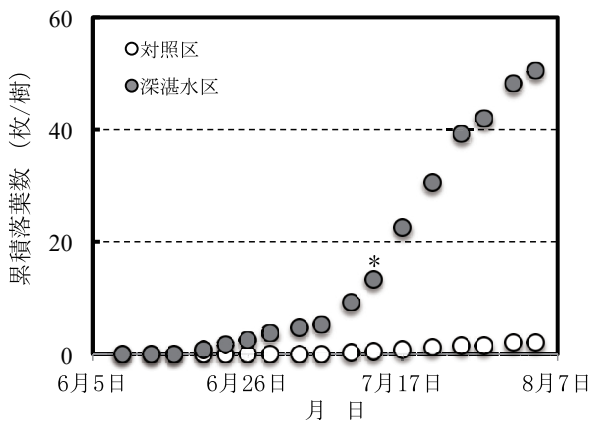
第1表 湛水処理期間中の根のTTC還元力と糖含量の関係における根糖含量を共変量とした共分散分析の結果.

	自由度	平均平方和	F-値	P-値
処理区(A)	2	4272.9037	2.8714	0.0619
糖含量(B)	1	12222.6283	8.2137	0.0052 ^{z**}
交互作用(A×B)	2	153.2997	0.1030	0.9022
残渣	89	1488.0813		

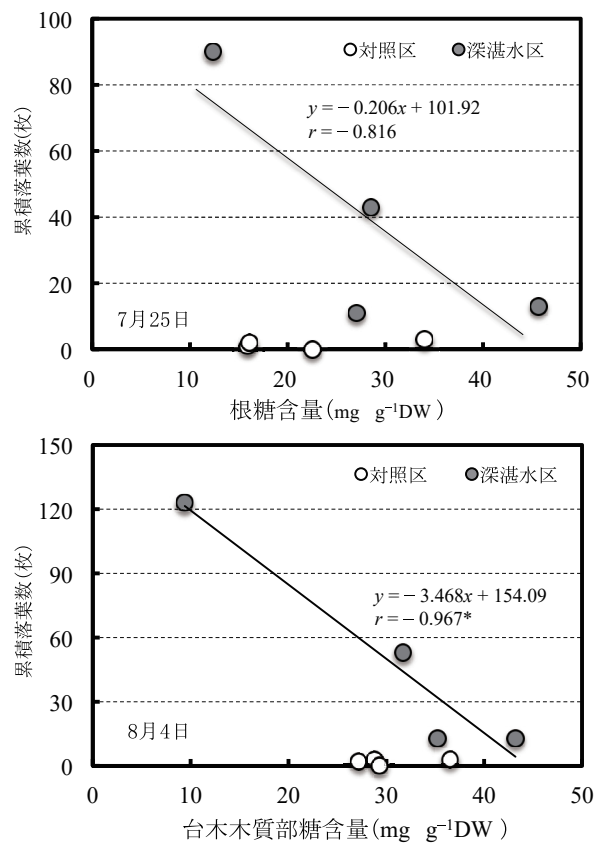
z** は1%レベルで有意であることを示す。

第2表 湛水処理期間中の根のTTC還元力と調整後の糖含量の回帰直線における有意性について.

	自由度	平均平方和	F-値	P-値
処理区	2	102251.1129	70.0952	P < 0.001
糖含量	1	21682.8357	14.8640	P < 0.001
残渣	91	1458.7454		



第3図 湛水処理が落葉に及ぼす影響(2017年).
*は処理間でt検定による5%レベルの有意差があることを示す。



第4図 湛水処理期間中の落葉と根の糖含量および台木の木質部糖含量の関係(2017年).

と考えられている(Comas, 2000). 根が酸素の不足する条件に置かれると、葉から根に酸素が供給されることが報告されており(Yoshida and Eguchi, 1994). 湛水条件下における根の呼吸活性を測定する方法として、酸素吸収量や二酸化炭素放出量を測定する方法よりも

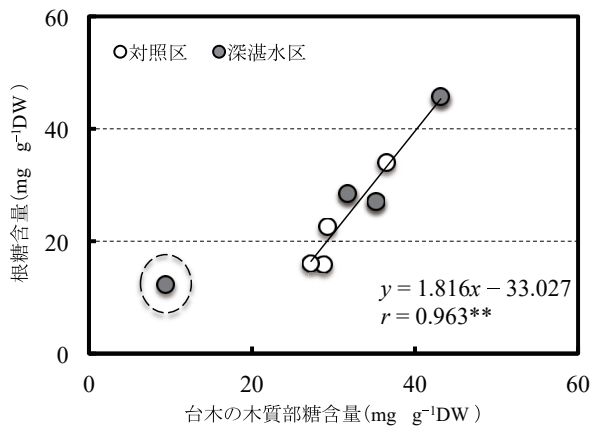
第3表 湛水処理が穂木と台木の皮部および木質部の糖含量^zに及ぼす影響.

		皮部	木質部
対照区	穂木	40.4c ^z	28.7b
	台木	100.8a	30.4b
深湛水区	穂木	68.9b	57.6a
	台木 ^x	83.7ab	36.7ab

^z 単位は mg g⁻¹ DW.

^y 異なるアルファベットは皮部および木質部における Fisher の LSD による 5% レベルの有差があることを示す.

^x 木質部糖含量が極端に低い値を示した 1 樹は除外した.



第5図 台木の木質部糖含量と根の糖含量の関係 (2017年).

** は、1% レベルで有意であることを示す.

回帰直線は、点線で囲まれた外れ値を除いて算出した.

適していると考えられた。本実験では、接ぎ木部が水没する深湛水処理と地下部のみが水没する湛水処理共に TTC 還元力を有意に低下させたことから、地下部の水没は根呼吸活性を低下させると考えられる。しかしながら、湛水処理区においては、深湛水処理区と同程度にまで TTC 還元力が低下しても、処理終了後には回復して枯死する個体は無いことから、この程度の低下は根の枯死を示しているとは考えられない。この結果は、前報 (Saeki and Iwasaki, 2020) の結果と一致している。根の TTC 還元力は、ナシの台木に用いられるマメナシやホクシマメナシを湛水条件に置くと低下すること (Robbani et al., 2006) やタバコにおいて根圏の酸素濃度を減少させると低下する (Harris and Van-Bavel, 1957) ことが報告されている。一方、リンゴにおいては湛水処理による根の TTC 還元力の低下は台木の種類によって異なり、強勢台木であるマルバカイドウに比べて、わい性台木である M.9 で大きく低下することが報告されている (李ら, 1982)。

本実験では、湛水処理開始後 1 週間程度で根糖含量は増加したが、これは根の呼吸活性の低下が原因であると考えられた。しかしながら、その後湛水処理が継続する間は TTC 還元力が回復することがないにもか

かわらず、湛水処理開始 10 日頃から根糖含量は徐々に減少して対照区との差がなくなった。さらに、湛水処理期間中の TTC 還元力は根糖含量と正の相関が見られたことから、湛水処理期間中の TTC 還元力の低下は根系の酸素不足のみに起因するのではなく、根糖含量の低下も関与していると考えられた。これらの結果は、湛水処理の影響が穂木部から現れることを報告した以前の報告 (Saeki and Iwasaki, 2020) の結果と一致している。しかしながら、共分散分析による根糖含量を調整した後の TTC 還元力における処理区間差は、湛水区と深湛水区の間には見られず、根糖含量の影響は両処理期間中において差はないと言える。低酸素ストレス耐性の高い樹種において、光合成産物の葉から根への供給は低酸素ストレスの影響を受けた状態においても低下することはないが、構造炭水化物やデンプンへの分配が減少して可溶性糖への分配が多くなることが報告されている (Kogawara et al., 2006)。また、カンキツ類やカキなどでは、幹の環状剥皮によって地下部への乾物分配が減少し、根の成長や呼吸量が減少することが報告されている (文室, 1998; 文室, 2011; Wallerstein, 1978)。したがって、深湛水処理区において枯死した樹では処理終了後も根糖含量は継続して減少することから、地上部からの光合成産物の供給量が減少していると考えられる。

根糖含量と台木木質部糖含量の関係は高度に有意な正の相関を示すが、湛水処理によって激しく落葉した樹では両者共に低い値を示しており、その回帰直線から大きく外れていた。落葉が激しくなったのは湛水処理後約 1 ヶ月経過した 7 月 13 日頃からで、その後約 1 ヶ月に亘って湛水処理を続けたことで、光合成産物の供給が減少した可能性も考えられる。

本研究における 2015 年の実験では、湛水および深湛水処理期間中に枯死した樹はなかったが、接ぎ木部が水没する深湛水処理区においてのみ処理終了後に 1 樹が枯死した。前報 (Saeki and Iwasaki, 2020) においても、本実験と同様に深湛水処理区においてのみ枯死することを報告したが、その原因として接ぎ木部が水没すると穂木と台木間における光合成産物の移動が制限される可能性が考えられた。2017 年の実験において約 2 ヶ月間の湛水処理によって、穂木の皮部および木質部における糖含量は増加するが、台木では両部位において対照区と有意な差はなかった。また、台木の木質部糖含量が高くなるほど、根糖含量も高くなることから、湛水処理によって台木と穂木の間における光合成産物の分配が影響され、結果として根糖含量が減少すると考えられる。樹体の衰弱が問題となるユスラウメ台木の '川中島白桃' では、比較的健全な生育を示す普通台木に比べて、果実生育期間中の細根のデンプン

やソルビトール含量が少なく、樹体衰弱の原因であると報告されている(矢野ら, 2000; Yano et al., 2002). したがって、本実験における湛水処理期間中の根糖含量の減少は根の活性を低下させ、その結果として台木部の枯死に至るのではないかと考えられる。

本実験において、台木部全体が水没すると台木の皮部および木質部糖含量の増加は穂木部と比較して抑制される理由は明らかではない。リンゴにおいて、M. 9などのわい性台木に接ぎ木された場合、品種によっては穂木部の生育が衰弱する不親和性を示すことが知られている(福田ら, 1991; 福田・瀧下, 1993). この原因の一つとして、接ぎ木部における養分の移動制限が示唆されている(Fukuda, 1989)ことから、マンゴー樹においても接ぎ木部における養分の移動制限がある可能性が考えられ、この点については今後検討する必要がある。さらに、接ぎ木部における養分の移動制限が、台木ではなく穂木部の枯死を誘導する原因は明らかではなく、今後検討する必要がある。

引用文献

- Aimi, R., Fujimaki, K. 1958. Cell-physiological studies on the function of root. (1) Chemical and enzymatic constitution associated with the structural differentiation of root in rice plant. Japan. Jour. Crop Sci. 27: 21-24.
- Comas, L. H., Eissenstat, D. M., Lakso, A. N. 2000. Assessing root death and root system dynamics in a study of grape canopy pruning. New Phytol. 147: 171-178.
- Fukuda, H. 1989. Growth of two apple cultivars Fuji and Tsugaru grafted on M. 9. Acta Hort. 243: 213-216.
- 福田博之, 瀧下文孝, 工藤和典, 櫻村芳記 1991. M. 9 わい性台木利用リンゴ樹における乾物生産とその樹体内分配に対する着果程度の影響. 園学雑 60: 495-503.
- 福田博之, 瀧下文孝 1993. 強勢台木とわい性台木を用いたリンゴ‘ジョナゴールド’樹の乾物生産およびその分配の比較. 園学雑 62: 513-517.
- 文室政彦 1998. カキ‘西村早生’樹の生長, 養分吸収, 水分ストレスおよび根の呼吸活性に及ぼす新梢伸長初期の環状剥皮の影響. 園学雑 67: 219-227.
- 文室政彦 2011. ウンシュウミカン成木における乾物生産と分配の特性およびそれらに及ぼすマルチ敷設と環状はく皮の影響. 園学研 10: 359-366.
- 原祐二, 行松宏展, タイタークダナイ, 土屋一彬 2014. バンコク首都圏郊外における2011年洪水時以降の農地利用の変容. 農村計画学会誌 33: 191-196.
- Harris, D. G., van Bavel, C. H. M. 1957. Root respiration of tobacco, corn and cotton plants. Agro. J. 49: 182-184.
- Kogawara, S., Yamanoshita, T., Norisada, M., Masumori, M., Kojima, K. 2006. Photosynthesis and photoassimilate transport during root hypoxia in *Melaleuca cajuputi*, a flood-tolerant species, and in *Eucalyptus camaldulensis*, a moderately flood-tolerant species. Tree Physiol. 26: 1413-1423.
- Kun, E., Abood, G. L. 1949. Colorimetric estimation of succinic dehydrogenase by triphenyltetrazolium chloride. Science 109: 144-146.
- Larson, K. D., Schaffer, B., Davies, F. S. 1991. Flooding, leaf gas exchange, and growth of mango in containers. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116: 156-160.
- Larson, K. D., Schaffer, B., Davies, F. S., Sanchez, C.A. 1992. Flooding, mineral nutrition and gas exchange of mango trees. Scientia Hort. 52: 113-124.
- 李彰厚, 杉浦明, 苦名孝 1982. 湛水処理がリンゴ台木の生長と体内の生理的変化に及ぼす影響. 園学雑 51: 270-277.
- Robbani, M., Banno, K., Kakegawa, M. 2006. Differential flooding tolerance of some dwarfing pear rootstock clones selected from the progenies of *Pyrus betulaefolia* and *P. calleryana*. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 75: 297-305.
- Saeki, A., Iwasaki, N. 2020. The Submergence of the graft union causes the death of grafted mango trees (*Mangifera indica* L.) under flooding. Agronomy 10, 1121.
- Schaffer, B. 1998. Flooding responses and water-use efficiency of subtropical and tropical fruit trees in an environmentally-sensitive wetland. Ann. Bot. 81: 475-481.
- Schaffer, B., Davies, F. S., Crane, J. H. 2006. Responses of subtropical and tropical fruit trees to flooding in calcareous soil. HortScience 41: 549-555.
- 島田温史, 富永茂人, 山本雅史 2018. 水分管理がパッションフルーツの樹体生育および果実品質に及ぼす影響. 園学研 17: 1-10.
- Wallerstein, I., Goren, R., Ben-Tal, Y. 1978. Effect of ringing on root starvation in sour orange seedling. J. Hort. Sci. 53: 109-113.
- Whiley, A. W., Schaffer, B. 1997. Stress physiology. In: Litz RE, ed. The Mango: Botany, Production and Uses. London: CAB Mango: International Press, pp. 147-173.
- 矢野隆, 新聞志帆, 井上久雄, 森口一志 2000. 衰弱発生程度の異なるユスラウメ台木モモ樹2品種のデンプン, 可溶性糖含量の季節的变化. 園学雑 69: 711-717.
- Yano, T., Inoue, H., Shimizu, Y., Shinkai, S. 2002. Dry matter partitioning and carbohydrate status of ‘Kawanakajima Hakuto’ peach trees grafted onto different rootstocks or with an interstock at pre-bloom period. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 71: 164-170.
- Yoshida, S., Eguchi, H. 1993. Environmental analysis of aerial O₂ transport through leaves for root respiration in relation to water uptake in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) in O₂-deficient nutrient solution. J. Exp. Bot. 45: 187-192.

2020年7月に倒木化した岐阜県大湫町神明大杉の根系状況

平野恭弘^{*1)}・南光一樹²⁾・土居龍成¹⁾・西村濤¹⁾・杵山哲矢¹⁾・谷川東子³⁾

1) 名古屋大学大学院環境学研究科

2) 国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所 森林防災研究領域

3) 名古屋大学大学院生命農学研究科

要 旨：令和2年7月豪雨中の7月11日夜、岐阜県瑞浪市大湫町の神明神社に生育し、町のシンボルである大杉が倒木化した。本研究は、大杉倒木の要因解明に向けた基礎的な知見を得るため、倒木時の豪雨など気象状況とともに大杉倒木の根系状況を明らかにすることを目的とした。2020年7月11日の日降水量は 137 mm day^{-1} 、時間最大雨量 43 mm h^{-1} の豪雨を記録したが、これは過去40年間に大杉が経験した雨量であった。2020年7月は特に日照時間が短く、樹体や土壌が乾きにくい状態であることが推察された。倒木化した大杉は、横方向に最大9.1 m、縦方向に最大6.6 mの直径、最大厚さ2.3 mをもつ巨大な根鉢を地表面に露わにした。根鉢中心部には腐朽が広がり、倒木時に土壌に残存した根には剥ぎ取られたような形跡が認められた。レーザースキャナを用いて、倒木化した大杉の三次元構造をデジタル化して再現した結果、根系体積は 43.2 m^3 と推定された。倒木化した大杉の地下部の広がりや地上部との体積比からも、スギとして大杉の根系は小さいことが示唆された。根系および気象の状況から倒木化の要因として、長年の生育中に根系に進んだ腐朽、および長期間の雨と日照不足に伴う土壌水分量増加による根の土壌支持力の低下、さらにこの気象下における樹体地上部の水分量増加によって、地下部・地上部バランスが崩れたことが推察された。

キーワード：根系支持力、災害、根の深さ、根鉢、令和2年7月豪雨。

Root system of the giant *Cryptomeria japonica* tree collapsed at Shinmei shrine in Okute town, Gifu, in July 2020. : Yasuhiro HIRANO¹⁾, Kazuki NANKO²⁾, Ryuusei DOI¹⁾, Rei NISHIMURA¹⁾, Tetsuya IRIYAMA¹⁾ and Toko TANIKAWA³⁾
(¹⁾Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ²⁾Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, Forestry and Forest Products Research Institute, ³⁾Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University)

Abstract : On the night of July 11, 2020, the giant *Cryptomeria japonica* tree collapsed during the heavy rainfall event in Okute Town, Gifu. The purpose of this study is to clarify the characteristics of the root system of the fallen tree together with the weather conditions such as heavy rainfall at the time. In July 2020, there were few sunshine hours which could induce higher water contents of the tree and soils. A large area of decay was observed in the root system close to the center of the stem and roots remaining in the soil showed signs of stripping. Using a laser scanner, the three-dimensional structure of the tree was digitally reproduced, and the volume of root system was estimated to be 43.2 m^3 . The diameter of the root-soil plate and the volume ratio to the aboveground part suggested that the root system of the tree was relatively small compared with those of other *C. japonica* trees. Based on the evaluation of the root system and weather conditions, the soil reinforcement by roots could be reduced due to decay during the long-term growth periods, and the balance between the above- and below-ground parts of the tree might be disrupted by the increase in the water contents of the tree and soils caused by prolonged rainfall and lack of sunlight.

Keywords : Disaster, Root anchorage, Root depth, Root soil plate, The Heavy Rain Event of July 2020.

緒言

近年の地球規模における気候変動に伴い、国内でも大雨や短時間強雨の発生頻度が増加傾向にある(気象庁, 2021b)。このため国内の森林では、斜面地における表層崩壊や土砂流出、人工林の倒木や流木化などの

災害リスクが年々高まりつつある(山瀬, 2020)。また樹木の倒木化は台風など強風で起きることも多く、2018年8月の台風21号により、関西地方で山地だけでなく平地においても数多くの樹木が倒木化したことは記憶に新しい(Tanikawa et al., 2021)。

2020年(令和2年)7月3日から7月31日にかけて、

九州地方から中部地方では大雨特別警報が出るなど記録的な大雨が生じ、各地で人的や物的被害が発生した。気象庁ではこの一連の大雨の名称を「令和2年7月豪雨」と定めている(気象庁, 2020)。この令和2年7月豪雨期間中の7月11日夜22時30分頃、豪雨の中、岐阜県瑞浪市大湫町の神明神社の大杉が倒木化した(大湫大杉を応援する若手有志の会, 2020)。当時推定樹齢1300年、樹高40mとされたこの大杉は、ご神木として大湫町のシンボルであり、県指定の天然記念物であった(瑞浪市, 2020)。大湫町は1604年に中山道の大湫宿が新設された宿場町で、神明神社は1608年に創建の記録がある(瑞浪市, 2020)。この神明神社の大杉倒木は、直後からマスコミ等により被害が報じられ、大雨による影響が要因として指摘された(朝日新聞, 2020; 毎日新聞, 2020)。大杉の倒木状況を記録したこれらの映像では、巨大な根系が地表に露わとなった一方、大きな幹や多数の枝葉からなる大杉の地上部に対して、根系や根と土壌が一体化した根鉢が貧弱であったことが映し出された。このため、倒木化の要因の一つとして、大雨だけでなく、大杉の地上部と地下部がアンバランスであった可能性もあげられる。

本研究では、この大湫町神明神社の大杉倒木化について、その要因を解明する基礎的な知見を得るため、倒木時の豪雨や風速など気象状況とともに大杉倒木の根系状況を明らかにすることを目的とした。災害による樹木の倒木状況は、災害直後の被害地における立ち入り規制や、それらの住民環境や感情に配慮する必要があるため、学術的に貴重な試料であってもそれらを詳細に記載し後世へ残しておくことは難しいことが多い。本研究では、大湫町の協力の元、倒木化直後に根系調査を行うことで倒木状況を記載し、今後の巨木維持管理への基礎資料とすることも目的とした。

調査地と方法

1. 調査地と対象木

調査地は岐阜県瑞浪市大湫町の神明神社で、対象木は当時推定樹齢1200年から1300年、樹高約40m、目通り周囲(高さ1.3mの幹周囲長、環境省自然環境局生物多様性センター, 2018)約11mの巨木に該当するスギ(*Cryptomeria japonica*) (通称、大湫神明神社の大スギ、神明大杉)である。対象とした大杉は、比較的鉛直に成長した主幹とやや南東に傾斜した後に主幹と平行に鉛直方向に成長した副幹からなり、境内の地表から2mほど高い位置に建てられた拝殿の南東側に、幹の北東側を拝殿に上がるための石階段に、幹の南西側を石垣と一段低い境内の高さにある池に挟まれながら斜面上に立っていた。すなわち、北西側の幹表面最下層は拝殿下の土壌に覆われていたが、南東側の

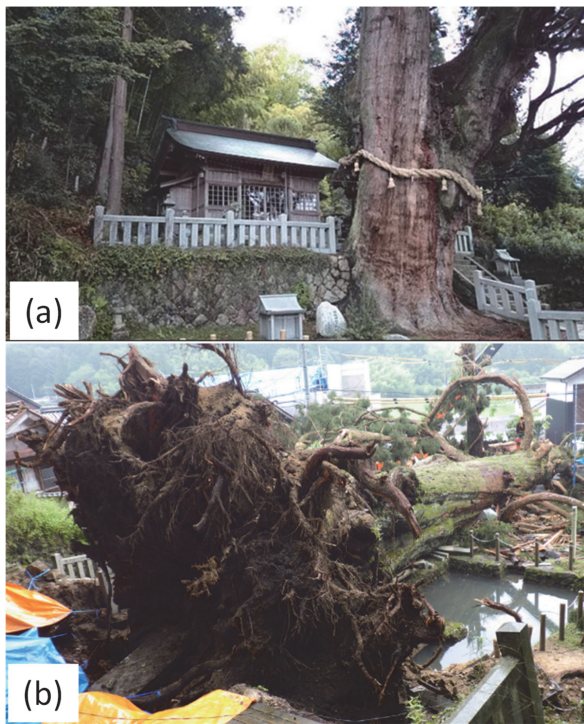
根元付近の幹表面は境内に露わになっていた(第1図a, 大湫町御神木・大杉応援の会, 2020)。この大杉は大湫町で古くからご神木とされ、江戸時代にはすでに記録に残されており、根元付近の池では水が今でも湧き出ている(瑞浪市, 2020)。大湫町は大湫宿と呼ばれる中山道の宿場町であり、この地は、湿地が多く水はけの悪い土地を意味する大久手とも表された。このあたりの表層地質はデイサイトおよび流紋岩の火成岩からなる。大杉は2004年5月に落雷による損傷を受け、それ以前の樹高は約60mと記載されている(大湫町, 2020)。落雷以降樹勢が低下し、2012年には「大杉維持保存処理事業」が行われ、先端部の危険枯枝切除により樹高が40mになったと記録がある(大湫町, 2020)。2020年7月11日夜22時30分頃、豪雨の中、大杉は倒木化した。本研究ではこの倒木化した大杉を研究対象とした。調査はいずれも大湫町および神明大杉再生検討会議から学術調査に関する許可を得て行われた。なお倒木化後に大杉の樹齢は、炭素14年代測定法および酸素同位体比を用いた年輪年代法による倒木試料測定の結果、670年であったことが報告されている(大湫町御神木・大杉応援の会, 2020)。

2. 大杉倒木の評価

倒木化から6日後の2020年7月17日に大杉倒木状況の把握のため、倒木の写真撮影(第1図b)などの予備踏査を行った。倒木化から11日後の2020年7月22日、大杉倒木の(1)幹など地上部、(2)根鉢、(3)土壌中に残存し露出した根について、直接測定を行った。神社の境内前には公道があり、この時点で幹の先端部はすでに境内と公道の境界付近で切断され、頂端などの幹上部は片づけられていた(第2図a)。2020年9月5日には、根鉢の土壌が大湫町により、根系と幹の保存のために洗い流され、ほぼ根系のみが露わになった。倒木化から73日後の2020年9月15日に、(4)大杉倒木の幹と、根鉢から土壌を洗い流された根系の体積推定のため、3次元スキャナを用いた測定を行った。また2020年9月16日には、再度土壌中に残存し切断により地表に露出した根と、倒木根系の根の切断面観察を行った。

(1) 地上部評価

大杉の樹高を測定するため、拝殿側に向いていた幹の表面を観察し、土壌の付着の有無から判断した幹上の地表面を基準として、境内と公道との境界付近で切断された幹断面までの距離を、30m巻き尺を用いて直接測定した(第2図a, b)。また7月17日の予備踏査時に倒木時に幹頂端が存在した山車舎前の地点を大湫町から聞き取り、幹切断面からのその地点までの距



第1図 岐阜県大湫町の (a) 倒木前の大杉の生育状況 (大湫町御神木・大杉応援の会, 2020) および (b) 倒木6日後の大杉の状況 (2020年7月17日撮影)。

離も同様に巻き尺を用いて直接測定した。これらの距離を加算することで、倒木時の大杉推定樹高とした。

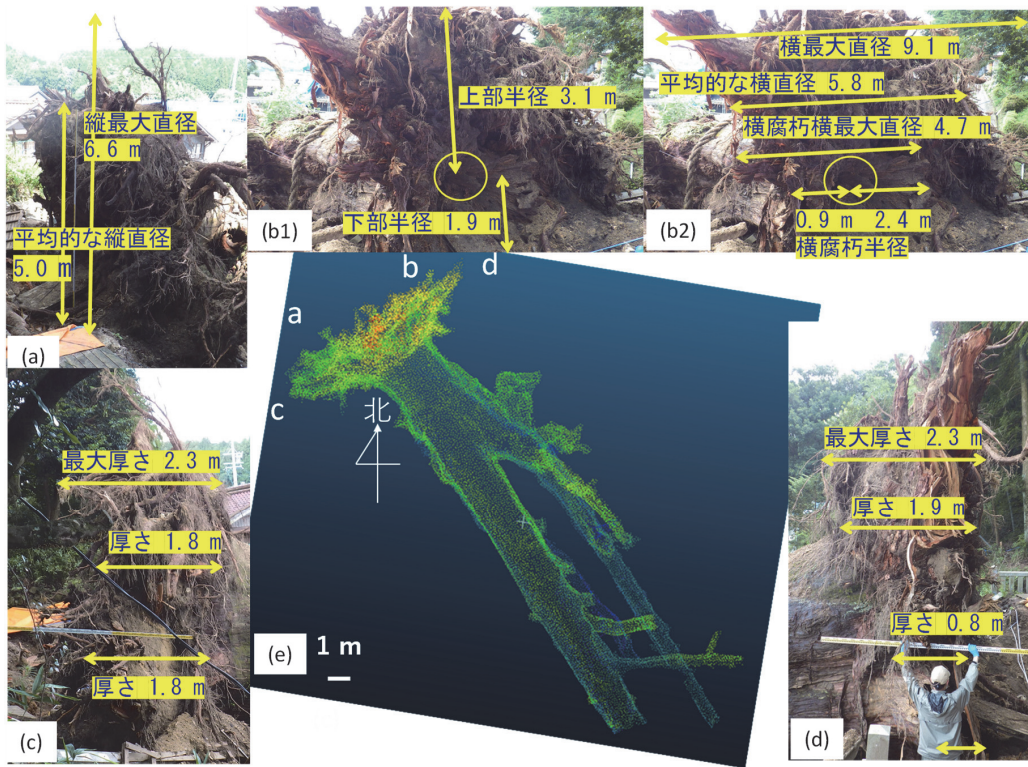
大杉倒木の幹周囲長 (拝殿側地表面から高さ 1.3 m) について、上記で同定した幹と根元境界の地表面跡から幹表面上 1.3 m の地点に、30 m 巻き尺を幹の周囲に這わせて直接測定した。この測定では倒木状況から巻き尺を幹周りに一周させることができなかったため、半周分を計測し2倍した値を周囲長とした。また倒木大杉の幹の横に地表から 5 m アルミスタッフを直立させた状態で、幹の南西および北東の両側からそれぞれ胸高幹直径 (拝殿側地表面から高さ 1.3 m, DBH) を測定した (第2図 b, c)。

(2) 根系と土壌が一体化し地上に露わになった根鉢の評価

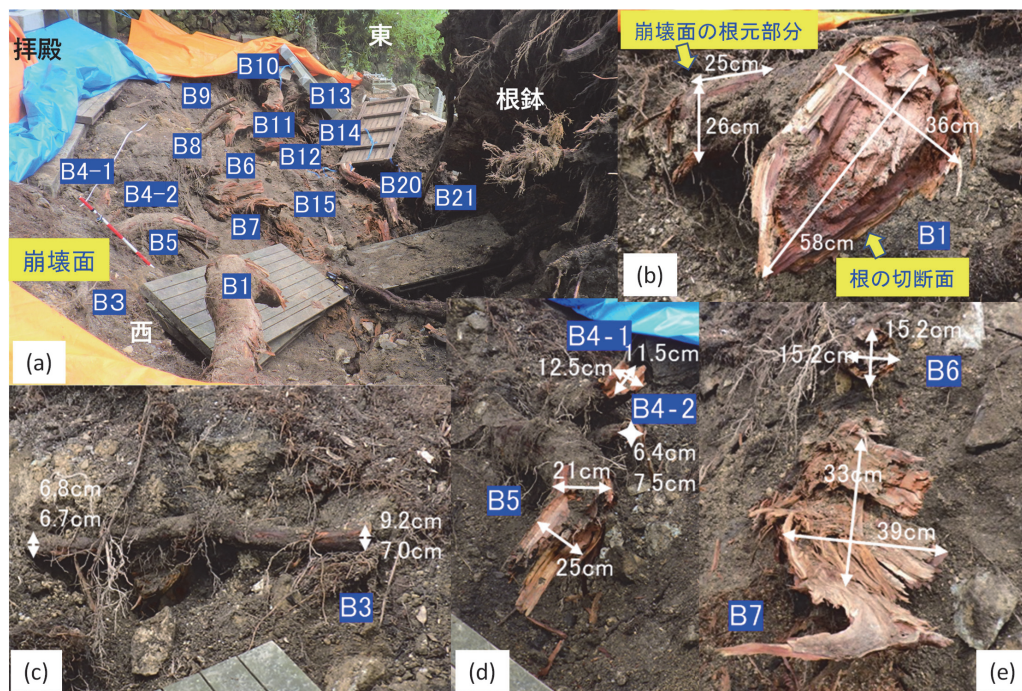
倒木化した大杉の根鉢について、縦 (地表に鉛直) 方向と横 (地表と平行) 方向の最大と平均的な直径を、5 m アルミスタッフをあて直接測定した (第3図 a, b)。根鉢の裏側 (幹側と反対側) 平面からは、幹の髓にあたる中心部分 (第3図 b の円) が観察され、それを取り巻くように根の腐朽が認められた。腐朽の広がった縦方向および横方向の最大および平均的な直径、また



第2図 大杉倒木の幹における (a) 幹切断面までの幹長, (b) 胸高幹直径 (DBH) と胸高幹半周囲長, (c) 胸高幹直径 (DBH). (b) における点線は地表面, (a) ~ (c) における両矢印線を測定. (2020年7月17日, 22日撮影)



第3図 大杉倒木の根鉢における (a) 縦最大直径と平均的な縦直径, (b1) 縦上部および下部半径 (円内は幹の髓の位置), (b2) 横最大直径と平均的な横直径, 横腐朽最大直径と横腐朽半径 (円内は幹の髓の位置), (c) 南西側から見た厚さ, (d) 北東側から見た厚さ, (e) 3次元レーザーで測定された大杉, a から d はそれぞれの写真の撮影方向を示す。(写真は2020年7月17日と22日撮影, レーザーは2020年9月15日測定)



第4図 拝殿の地表面から境内側に崩れた土壌 (崩壊面) に残存し地表に露わになった直径5 cm 以上の大杉の根. (a) 根鉢西側から東を向いて撮影された根の様子. (b) ハート型に切断された根の切断面と崩壊面上の根元部分, (c, d) 根の途中で切断された根, (e) 平面状に剥ぎ取られたように薄い平面が残る根. B1 ~ B21 は根の同定番号. (2020年7月22日撮影)

その中心部分から縦方向の上部および下部半径について、アルミスタッフを用いて上記と同様に測定した(第3図b)。上記の根鉢の平均的な直径とは、地表に露わになった根鉢の裏側平面を、蒲鉾をスライスした切り口のように「楕円から一部分(土壤中に隠れた部分)を切り取った形」と仮定した時の最大直径と定義し(第3図a, b)、根鉢の最大直径とは、「この“楕円から一部分を切り取った形”からさらに放射状に外側(幹と反対側)へ孤立的に成長した根の先端までを含めた長さ」と定義した(第3図a, b)。根鉢の厚さについて、根鉢の南西側から3か所と北東側から4か所、アルミスタッフを用いることで、直接測定を行った(第3図c, d)。根鉢の平均厚さは、この7カ所で測定した平均値とした。

(3) 土壌に残存し地表に露わになった根

拝殿の地表面の高さまで石垣と石階段(第1図a)に囲まれていた大杉周囲の土壌は、倒木時に境内側に崩れ落ちた。その崩壊面には倒木した大杉の根が土壤中から露出し千切られた状態で存在していた(第4図a)。これらの土壌に残存し地表に露出した直径5 cm以上の根をすべて数え、その位置と拝殿の地表面を0 cmとした深さを記録した。具体的には、拝殿前にある西側灯籠の土台の角を拝殿の地表面の基準点として、対象とする根の切断面と土壌崩壊面の根元部分について、北からの方位角度、基準点からの水平距離と深さを測定した。根の切断面とは地表に露わになった切断面または千切られた根の先端部であり、崩壊面の根元とは崩れ落ちた土壌の崩壊面に表れた根の土壌表面における部分を指す(第4図a, b)。根の地表先端部である切断面と根元部分の直径は、最大値とそれに対する垂直の2方向を測定した。

土壌に残存した根を調査した時に、上記の基準点の水平面を地表面である深さ0 cmとした3深度20-30 cm, 80-90 cm, 120-130 cmから、各深度3地点ずつ、計9地点の土壌試料を採取した。土壌試料は、実験室に持ち帰り、十分に風乾した後、礫や有機物を取り除き、2 mmの篩を通し分析試料とした。土壌pH(H₂O)の測定のため、分析土壌試料2 gに対して5 mLの純水を加え、1時間振とう後静置した溶液について、pHメーター(HORIBA, pH METER F-71)にて測定した。

(4) 幹および根系状況のレーザー測定による三次元デジタル化と体積推定

上述の通り、根鉢から土壌が洗い流された後、倒木化した大杉の状況を三次元にデジタル化し、長期保存可能なデータとするため、またデジタルデータから幹および根系の体積を推定するため、森林3次元計測シ

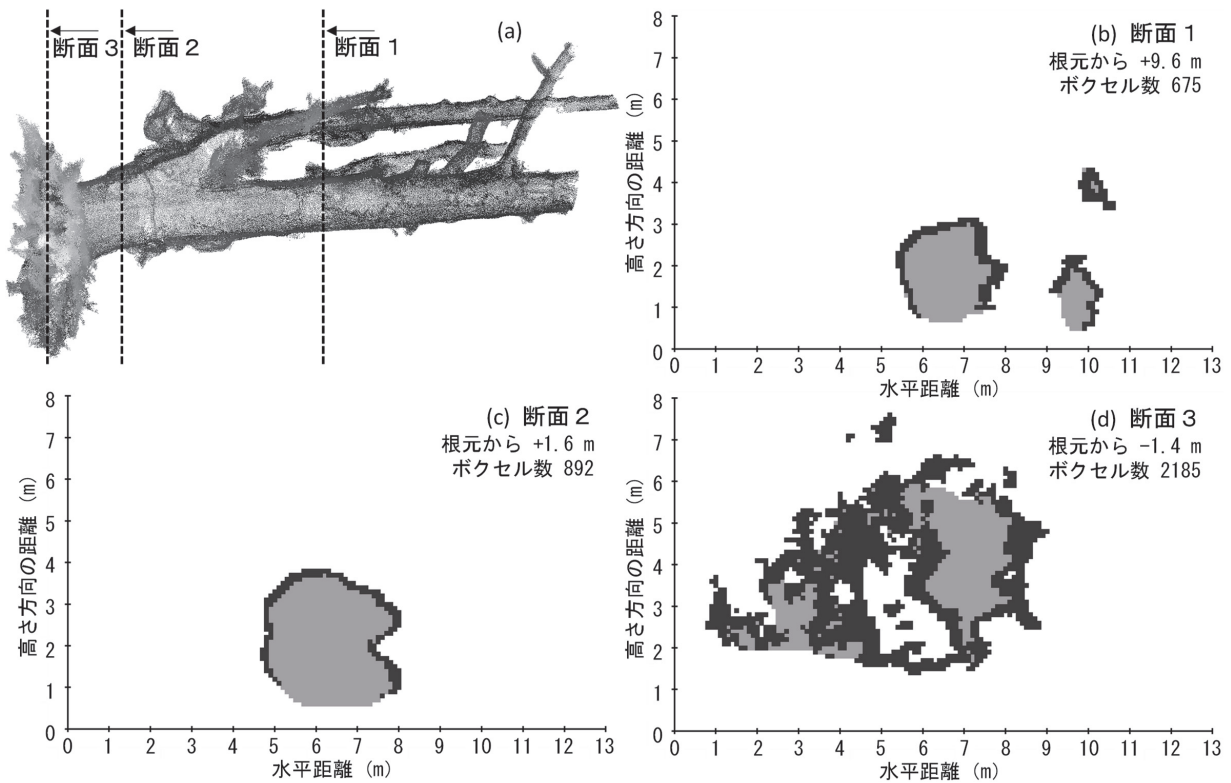
ステム OWL (Optical Woods Ledger, 株式会社アドイン研究所)を用いた3次元レーザースキャナ測定を倒木大杉の周囲で行った。本システムは、赤外線レーザーを上部270°に照射し、森林内の樹木の表面を点群データとして記録、樹高やDBH、またそれらから立木の材積を推定することができる。直径の誤差は2 cm以内、検出保証距離は30 m、1地点当たりの計測時間は45 s、計測ポイント点数は43,200 point s⁻¹である(株式会社アドイン研究所, 2021)。本研究では、倒木周囲および主幹や副幹の間、幹表面の上部など36地点で計測を行った。

OWLManager ver 1.4.2.3 (株式会社アドイン研究所)によりスキャンデータを合成し、倒木全体の点群データを得た(第3図e, 第5図a)。R software version 4.0.1の‘voxR’ package version 1.0.0 (Lecigne et al., 2018)により、10 cmのボクセルデータ(voxel, volumeとpixelの造語、コンピュータで立体を表現するデータの最小単位)に変換した。ボクセル内の点群の数が5以上あった場合に倒木本体があったと仮定した。3次元スキャンでは樹木表面のデータしか得られないため、幹を頂端切断面から根元方向に10 cmごとにスライスし、前後のスライスや倒木全体のデータを見ながら、木部が存在したであろう幹内側の部分を判断し、ボクセルを埋めた(第5図b, c, d)。最後に、スライス断面ごとにボクセルの数をカウントし、スライス断面あたりの幹および根系体積を算出した。これらのスライス断面あたりの体積を、2.(1)で樹高測定した際の地表面を境界の根元として、地上部の枝を含む幹と根系に分け、それぞれのスライス断面を加算することで体積を算出した。

大杉主幹および副幹の幹切断面から頂端部は、すでに切断され試料が存在しなかったため、上記レーザー測定を行い算出された幹直径と立木当時の地表面からの高さを用いて、主幹および副幹の体積推定を行った。レーザー測定された主幹および副幹については、頂端切断面から根元方向に10 cm間隔で、幹直径を算出できるため、各幹について幹直径-根元からの高さの関係式を構築した後、それぞれの幹を円錐と仮定して、それらの関係式から幹直径と根元からの高さを推定し体積を算出した。

3. 倒木時の気象要因

倒木時の気象要因である降水量、日照時間、風速について、大湫町の最寄りのAMeDAS観測地点である恵那の気象データから抽出を行った(気象庁, 2021a)。降水量については2020年7月11日の日降水量、時間最大降水量、7月11日から前2週間の降水量を、日照時間については2020年7月の月日照時間および7



第5図 (a) 3次元レーザーで測定された大杉倒木。(b-d) 樹頂方向から見た倒木の断面図。黒色はレーザースキャナで測定されたボクセル。灰色は木部と判断したボクセル。

月1日から11日の11日間の日照時間を、風速については、2020年7月11日の最大瞬間風速および7月11日から前2週間の日最大瞬間風速を抽出した。

これらの値が過去の気象データと比較してどの程度であったかを評価するため、日および時間最大降水量については過去の7月の観測最大値を抽出し、2週間降水量については7月の2週間平均値を算出した。月日照時間については、2010年から2019年の7月の10年間の平均値を抽出し、その値から11日間日照時間を算出した。日最大瞬間風速については、同じく10年間の年最大値を各年抽出し、その10年間の最大年と最小年の値およびその観測日を抽出した。

結果

1. 倒木時の気象要因

大湫町最寄りのAMeDAS観測地点恵那の気象データでは、2020年7月11日の日降水量は137 mm day⁻¹であり、時間最大雨量43 mm h⁻¹を21時14分に記録している(第1表a)。この日降水量は、恵那における2020年の最大値であり、1976年以来7月としては1994年7月19日の143 mm day⁻¹に続き観測史上2位と多い。また時間最大雨量も7月としては2012年7月19日の45.5 mm h⁻¹に続き同様に2位の値となった。一方、7月以外では日降水量の最大値は、例えば1983

年9月28日に207 mm day⁻¹、1989年9月3日に195 mm day⁻¹など、200 mm day⁻¹近くの値を過去に記録している。時間最大雨量も1988年6月27日に75 mm h⁻¹、2005年8月5日に77 mm h⁻¹などの値であった。

また2020年7月11日を含めて前2週間の降水量は、486 mm 2 weeks⁻¹であった(第1表a)。過去同様に日降水量が年最大で2週間の降水量が多い年月には、1989年9月に482 mm 2 weeks⁻¹、1999年に452 mm 2 weeks⁻¹などが認められた。

2020年7月の日照時間は、70.5 h month⁻¹と2010年の観測以来最低値であった(第1表b)。2020年7月1日から大杉が倒木化した7月11日までの11日間では、14.7 h 11 days⁻¹であった。2010年から2019年の7月における日照時間の10年間平均値は186 h month⁻¹であり、11日間とすると平均で66 h 11 days⁻¹となる。

2020年7月11日の最大瞬間風速は、北西風で9.7 m s⁻¹を17時49分に記録した(第1表c)。また前2週間の最大瞬間風速の最大値は、西南西風で18.9 m s⁻¹を7月8日7時21分に記録している。2010年から2019年の10年間における最大瞬間風速の年最大値は、最小の年で2014年10月に記録された17.2 m s⁻¹、最大の年で2017年9月の25.2 m s⁻¹であった。

第1表 岐阜県大湫町最寄り AMeDAS 観測地点の恵那における2020年7月の気象観測値 (a) 降水量, (b) 日照時間, (c) 風速, と過去の観測値との比較 (気象庁2021aより引用または算出).

気象観測項目	2020/7 観測値	観測年月日	過去の観測値	観測年月日
(a) 降水量				
			7月観測最大値	
日降水量 (mm day ⁻¹)	137*	2020/7/11	143	1994/7/19
時間最大降水量 (mm h ⁻¹)	43*	2020/7/11	45.5	2012/7/19
			7月2週間平均	
前2週間降水量 (mm 2 weeks ⁻¹)	486**	2020/6/28-7/11	124	2010-2019年の7月2週間
(b) 日照時間				
			7月10年間平均値	
月日照時間 (h month ⁻¹)	70.5***	2020/7	186	2010-2019年の7月
11日間日照時間 (h 11 days ⁻¹)	14.7	2020/7/1-7/11	66****	2010-2019年の7月11日間
			10年間の年の日最大値 *****	
日最大瞬間風速 (m s ⁻¹)	9.7 (北西)	2020/7/11	最大年 25.2 (南西)	2017/9/17
前2週間日最大瞬間風速 (m s ⁻¹)	18.9 (西南西)	2020/7/8	最小年 17.2 (南西)	2014/10/14

*1976年以降の7月の各降水量観測史上2位.

**1989年9月に日最大195mm 前2週間482mmの記録あり.

1999年6月に日最大153mmの前2週間452mmの記録あり.

***2010年以降の月日照時間最低値.

****2010-2019年7月の月平均値186hから11日間に換算.

*****日最大瞬間風速の年最大値について、過去10年間の最大年と最小年の値.

2. 倒木化した大杉の状況

(1) 地上部状況

倒木化した大杉の根元から調査時の幹切断面までの樹高は、19.8 m (第2図a), 幹切断面から倒木頂端が観察された地点までの樹高は、22.3 mであり、大杉の樹高は42.1 mと算出された (第2表a). 大杉の胸高幹直径は2.7 m, 幹周囲長は10.1 mであった (第2図b, c). レーザー測定で取得された点群データにより、倒木化した大杉の残存した幹の状況を再現することができた (第3図e, 第5図a). レーザー測定された幹表面の点群データを利用し、その内部を体積として根元から頂端方向に10 cm 間隔で算出し加算したところ、根元から幹切断面 (上記計測から樹高19.8 m) までの幹体積は、主幹と副幹を合わせて140.2 m³となった (第2表b, 第5図b, c, d). さらに幹直径と根元からの高さとの関係から、円錐と仮定した場合、幹切断面よりも上部頂端などの幹体積は、18.2 m³と推定された. すなわち倒木化した時点で大杉が保有していた主幹と副幹の地上部体積は、158.4 m³と見積もられた.

(2) 地下部状況

倒木化した大杉の根鉢の平均直径は、縦方向および横方向について5.0 m, 5.8 mであった. 根鉢平面を楕円形とした時、楕円外に伸長していた根を含めたそれぞれの最大値は、縦6.6 m, 横9.1 mの大きさであった (第2表b, 第3図a, b). 根鉢裏面の平面を拝殿側から観察すると、古い成長部分である根株中心付近で腐朽が進んでいた (第3図b). また幹の髄付近と思われる幹中心を観察でき、この幹中心を頂点として円錐

状に腐朽による空洞化が確認された. 根鉢の一部は、倒木した方向の土壌中に埋まっているため、その幹中心から根鉢の縦方向の上部半径は3.1 mと、縦方向の下部半径1.9 mよりも1.2 mほど大きかった (第3図b1). また腐朽のある範囲の横方向平均直径は3.3 m, 最大直径は4.7 mであった (第3図b2). 根鉢の厚さは、最小0.4 mから最大2.3 mと倒木化した根鉢の上部側で厚くなり、平均では1.6 mであった (第3図c, d).

レーザー測定時には土壌が洗い流されおおよそ根系のみで、その状況はデジタル化され大杉の三次元構造として再現された (第3図e, 第5図a). これらの根表面の点群データを用いて、地上部と同様に算出された根系体積は43.2 m³であった. 大杉の幹に対する根系の体積比は、0.273となった (第2表c).

大杉倒木時に拝殿前の土壌に残され崩壊面に露出した直径5 cm以上の根は22本観察された (第4図, 第6図, 第7図). これらの根の位置を真上から見ると、倒木前の大杉の北東側にある石段下などに存在していたと推測される根が残存していた (第4図, 第6図a). また根の位置について、拝殿の地表面を0とした時の深さ別に見ると、同様に大杉の北東側に存在した根が、拝殿のある地表面から深さ2 m程度まで生育しており、平面状に薄く引きちぎられた様子が観察された (第4図e, 第6図b). 残存した根の最大直径は79 cmであった. 倒木前の大杉の南西側に存在していたと推測される根は、数少ないものの、成長した根の途中から切断されたような形跡であった (第4図c, d). 特に直径58 cmのハート型の切断面をした根について (第4図b), 土壌が洗い流された後の根系側にもその

第2表 大湫町大杉倒木の (a) 地上部, (b) 地下部, (c) 根系と幹の比, (d) 土壌の状況.

		備考
(a) 大杉倒木地上部		
推定樹高 (m)	42.1	幹切断面の上下樹高の加算値
幹切断面までの樹高 (m)	19.8	第2図 (a)
幹切断面から倒木時梢端位置までの樹高 (m)	22.3	
胸高幹平均直径 (DBH) (m)	2.7	第2図 (b) (c)
胸高幹周囲長 (m)	10.1	第2図 (b)
推定幹体積 (m ³)	158.4	幹切断面の上下幹体積の加算値
幹切断面までの幹体積 (m ³)	140.2	レーザー測定* より計算
幹切断面より上部幹の推定体積 (m ³)	18.2	レーザー測定* の幹直径と幹高さの 関係式から幹を円錐と仮定して推定
(b) 大杉倒木地下部		
根鉢 縦方向平均直径 (m)	5.0	第3図 (a)
縦方向最大直径 (m)	6.6	第3図 (a)
縦方向上半径 (m)	3.1	第3図 (b1)
縦方向下半径 (m)	1.9	第3図 (b1)
横方向平均直径 (m)	5.8	第3図 (b2)
横方向最大直径 (m)	9.1	第3図 (b2)
横方向腐朽平均直径 (m)	3.3	第3図 (b2)
横方向腐朽最大直径 (m)	4.7	第3図 (b2)
平均厚さ (m)	1.6	第3図 (c) (d)
最大厚さ (深さ) (m)	2.3	第3図 (c) (d)
最小厚さ (m)	0.4	第3図 (c) (d)
推定根系体積 (m ³)	43.2	レーザー測定* より計算
(c) 大杉倒木 根系/幹 体積比 (m ³ m ⁻³)	0.273	レーザー測定* より計算
(d) 土壌		
土壌に残存露出した直径 5 cm 以上の根数 (本)	22	第4図, 第6図
pH (H ₂ O) 深さ 20-30 cm	4.64	
深さ 80-90 cm	4.59	
深さ 120-130 cm	4.61	

*レーザー測定のみ 2020 年 9 月 15 日. その他の測定は 2020 年 7 月 22 日.

切断面が確認され (第7図), その切断面間の直線距離は 427 cm であった. また残存した根にも腐朽がすすみ, 倒壊痕にはボロボロに乾燥した断面も確認された.

土壌に残存した根を測定した際に採取した深さ 20-30 cm, 80-90 cm, 120-130 cm の土壌 pH (H₂O) は, それぞれ 4.64, 4.59, 4.61 と, 深さに関わらずいずれも酸性であった (第2表 d).

考察

1. 気象要因と倒木化

大湫町神明神社の大杉は, 2020 年 7 月 11 日夜, 豪雨の中, 倒木化した. この要因として当初から大雨の影響が指摘されたものの (朝日新聞, 2020; 毎日新聞, 2020), 気象要因との関係性については未だ十分に示されていない. 当日の大雨は豪雨と呼ばれる状況で, 7月上旬も令和2年7月豪雨と名称づけられるほど雨は降り続き, 当日前2週間では20年間の平均年降水

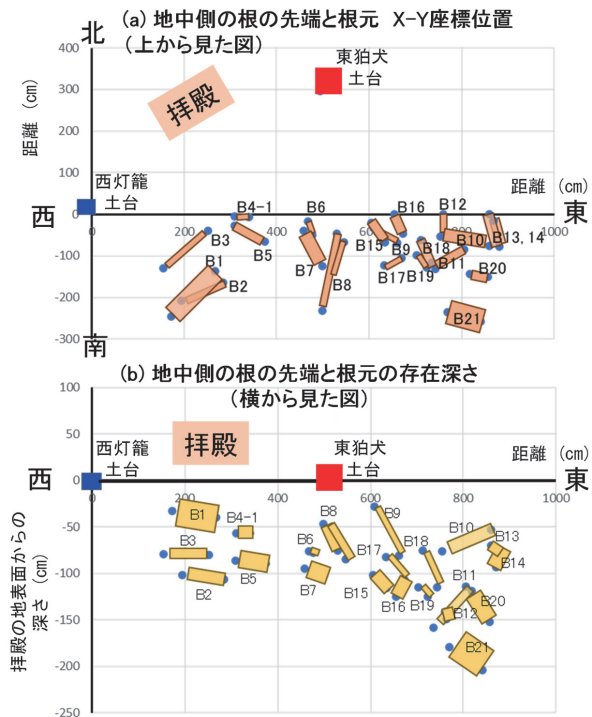
量 1817 mm year⁻¹ の4分の1以上の降水量を記録した. 一方で, 大杉はこのような豪雨を7月には1994年に, 他の月を考慮すれば1989年9月に日雨量 195 mm day⁻¹, それ以前2週間 482 mm 2 weeks⁻¹ など, 少なくともここ40年以内に何回か経験をしている (第1表, 気象庁, 2020). すなわち, 今回の降水量は大杉の樹齢670年の生育期間を考慮すれば特別に多量ではない. したがって, 今回の豪雨のみが倒木化の要因とは結論できないであろう.

この令和2年7月豪雨の期間で, 2010年からの記録であるが過去最低値を示した気象要因に日照時間がある. 2020年7月1日から11日までの日照時間は例年のわずか2割程度である (第1表, 気象庁, 2020). これを上記の期間中の降水量の多さと重ねて考察すると, 降水量の多い雨が降り続くだけでなく日照時間が少ないため土壌や樹体が乾燥しない, 特に土壌は極めて湿った状態また地下水位はおそらく極めて高い状態

であり、かつ通常より滞水が長期間であったことが推察される。ヒノキ (*Chamaecypris obtusa*) では根鉢直下の土壤水分量が高まると倒伏抵抗力が低下することが明らかにされている (Kamimura et al., 2012)。本研究

結果から結論づけることはできないが、7月豪雨中の地下水位の高さや土壤水分量の高さも、倒木化要因の一つとして考慮すべきかもしれない。

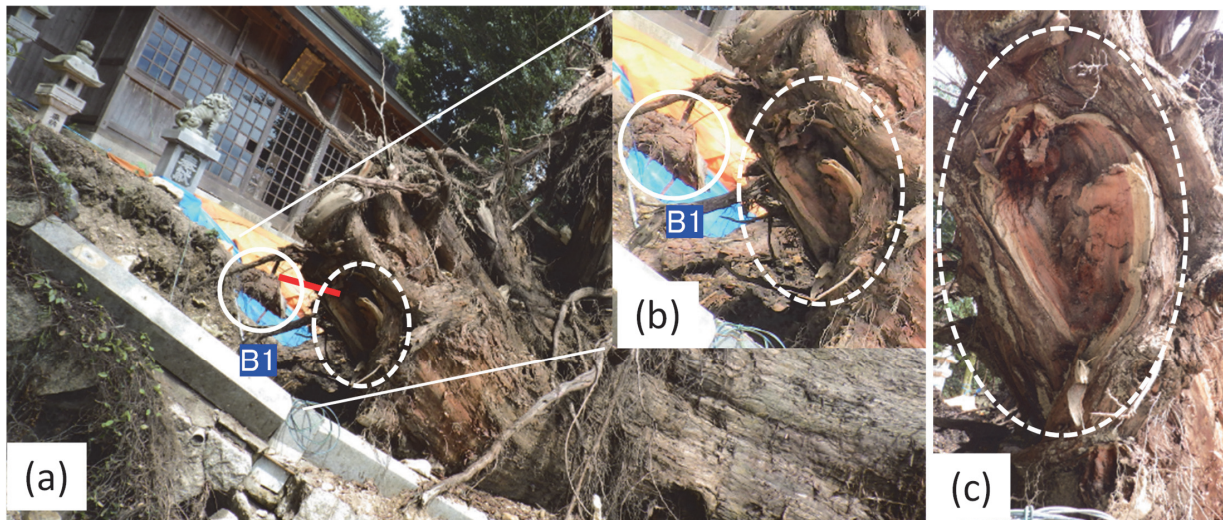
一般的に樹木の倒木化要因の一つとして強風があげられる (Hale et al., 2012)。2018年8月の台風21号による京都市のスギの倒木化では、雨よりもむしろ強風の急激な風向変化が要因として推察されている (Tanikawa et al., 2021)。台風の通過前に強風は東風であったが、通過後わずか数時間以内に南南西に変化し、かつ、京都市では戦後最大の最大週間風速が記録され、多くのスギの倒木方向が通過後の風向に同調的であった (Tanikawa et al., 2021)。2020年7月11日の3日前に大杉は南風 18.9 m s^{-1} の強風を受けていた。その後11日に風向を変えて北西から 9.7 m s^{-1} の強風を倒木化の約5時間前に受けていた。一方で、これらの最大瞬間風速は過去と比較して特別に強いわけではなかった。本研究では強風の急激な風向変化の影響を要因の一つとして考慮したものの、本期間では数日にわたる風向変化であることから、倒木化の要因としてこの影響は挙げられないであろう。



第6図 拝殿土台下の土壤に残存し露出した直径5 cm以上の大杉の根について (a) 地上から見た位置図と (b) 横からの位置図。深さは拝殿地表面からの深さ。根の太さは大小のみ反映。根の総本数は22本だが1本位置未測定で図中には21本記載。B1～B21は根の同定番号。

2. 大杉の根系状況

倒木化した大杉は、横方向に最大9.1 m、縦方向に最大6.6 mの直径、最大厚さ2.3 mをもつ巨大な根鉢を地上に露わにした (第1図b)。これまでも樹木が根返りした際の根鉢半径には、胸高幹直径 (DBH) との強い関連性が示されており、例えばフランスカイガンショウ (*Pinus pinaster*) の根鉢半径はDBHの2.2倍と報告されている (Danjon et al., 2005)。関西地方で台風



第7図 倒木根系側の切断面 (点線内) と土壤に残存した切断面 (B1白丸内)。両断面直線距離 (赤線) は427 cm。(a) 根系の西側に観察された切断面。(b, c) 土壤に残存した根切断面 (B1, 第5図a) と同じハート型の根系側切断面。(2020年9月16日撮影)

深さに関しても DBH との関係性が報告されており (Tanikawa et al., 2021), この式に大杉の DBH 2.7 m をあてはめると, 根鉢の直径は 24 m に, 厚さは 3.2 m となる. 荻住 (2015) では黒色土に生育する DBH 48 cm のスギの根は最大 3.4 m の深さに到達したと報告している. また Karizumi (1974) は, 29 林分における DBH 5.2 cm から 36.9 cm の範囲のスギで, 根の最大深さが最大で 3.3 m と記録している.

このようなスギ根系やそれより浅い根鉢の厚さや広がり方を考慮すると, いずれの既報 (Karizumi, 1974; 荻住, 2015; Tanikawa et al., 2021) も, その調査対象が大杉のように巨木ではないため単純な比較は難しいが, 地上部の大きさから推定される根鉢の大きさよりも, 大杉の根鉢が小さいことは明らかである. その様相は, レーザースキャナで三次元構造が再現された倒木の地上部・地下部状況でも見ることができる. スギは樹種特性として, 根系型に斜出根型, 垂直分布に深根性を示す (平野, 2020). このため, クロマツ (*Pinus thunbergii*) やアカマツ (*Pinus densiflora*) のように直根を成長させることはないが, 斜め下方に粗根を成長させることで, 根系を形成する. 大杉の幹中心付近に粗根は観察されず, 主要な粗根は斜め下方向や水平方向に成長をしていた. 幹中心付近の円錐状の腐朽の様子から, 600 年以上と長期間にわたる大杉の生育とともに, 幹中心の粗根は腐朽および分解作用を受けて消失し, 幹のより外側に根が成長した結果, 倒木時の根系のような広がりになったものと推察される. 根の深さ方向について, 大杉の DBH の大きさを考慮すれば根鉢の厚さが薄いだけでなく, 崩壊した土壌表面に露出した粗根も 22 本と少なく, 拝殿前の土壌中に斜め下方向に成長していたものの, 深さ方向に成長した粗根はほとんど認められなかった.

レーザースキャナ測定から算出された大杉の根系体積は 43.2 m³ となり, 幹体積に対する根系体積の比は 0.273 であったが, これはスギの地下部/地上部重量比 0.26 (Fukuda et al., 2003) や先のスギ 29 林分における比 0.29 (Karizumi, 1974) に近い値であった. 大杉の地上部体積には枝葉が含まれておらず, 重量比で枝葉は地上部の約 24% 程度とすると (Karizumi, 1974), 実際の大杉の地下部/地上部比は 0.23 程度まで低下する. また 2004 年 5 月に落雷による損傷を受ける以前の樹高は約 60 m と記載されている (大湫町, 2020). これらのことは, スギとして大杉の根系が地上部に対して小さいことを支持するものである. また大湫町が倒木化した大杉の根鉢から土壌を洗い流した時, その根鉢側からの流水が幹内を通り幹上部から出てきたことを確認している. このことは, 通常の樹木では幹内に流れ込むことのほとんどない雨水が, 豪雨時に大杉の幹

内に流れ込み地上部重量を増加させることで, 地上部と地下部の重量バランスを一時的に変化させたことも推察される. また幹内を通過した雨水は根鉢付近の土壌へ供給され, 土壌水分を高めたことで倒伏抵抗力を低下させた可能性もある.

拝殿前の地表面から崩壊した土壌中に残存し崩壊面に露出した直径 5 cm 以上の根は 22 本であった. 特に大杉根系の南西側では北東側と比較して太い根の数が少なかった. これは大杉の南西側に湧水池がありそちら側に太い根が成長できなかったこと, 大杉北東側には拝殿の地表面に上がる石階段があり, その下に根が生育していたことが推察された. また土壌中に残存した根は, ハート型をした根の切断面に代表されるように, これらの根の切断面の観察から, 引き抜かれたというよりもむしろ大杉の倒木時に破断したと推察される形態を示していた. また残存したいくつかの根にも腐朽が進んでいる様子も確認され, 根の断面積と関係性の高い根系支持力 (Yamase et al., 2019) の低下が推察された.

3. まとめにかえて

樹木の倒木化要因として, その主因と誘因を整理する必要がある. 本研究における倒木大杉の根系状況から, 主因として大杉の地上部に対する地下部根系の生育の貧弱さ, 長年の生育に伴う土壌水分環境に影響を受けた根系腐朽の状況が示唆される. 誘因として, 倒木直前の長期にわたる豪雨と日照不足による大杉樹体内の地上部における水分量の増加, 土壌水分量の増加に伴う根系支持力の低下が推察される. これらを検証するためには, さらなる根系および土壌調査, 分析が必要とされる. 特に根の腐朽状況やさらなる根系状況の評価などは, 神戸大学および樹木医の現地調査グループによる速報 (黒田ら, 2021; 村尾ら, 2021; 宮島ら, 2021) の内容が, 今後詳細に報告される予定である.

国内の社寺林にも多く存在する巨木や, 森林において大径木化した樹木などの倒木化は, 近年の気候変動に伴い, 今後ますます注視すべきである. 本研究では, 倒木の根系に初めて 3 次元レーザースキャナ測定を適用し, 倒木化の状況を幹など地上部とともに非破壊で評価することに成功した. 今回取得された 3 次元デジタルデータは, 大杉の倒木化の記録が後世まで残され, 今後様々な方面での利用やさらに詳細な解析も可能となる利点を持つ. 本研究のように, 倒木化した状況を学術的知見として後世に残し, 様々な倒木化の要因を考慮する基礎知見として蓄積することが, 倒木化に対する減災の観点からも, 今後一層重要となるであろう.

謝辞

本研究は、町のシンボルがこのような大きな被害を受けた直後にもかかわらず、学術的に貴重な価値を認めただき、本調査についてご承認およびご協力いただいた大湫町および神明大杉再生検討会議の皆様から感謝をいたします。本調査と大湫町の調整をしていただいた名古屋大学環境学研究科の高野雅夫教授、本調査にご示唆をいただいた神戸大学農学研究科の黒田慶子教授、岐阜県樹木医の多賀正明氏に感謝いたします。本論文を査読していただいた方には有益なご示唆をいただき、ありがとうございます。本研究の一部は、科研費(20H03028, 20H03024)の助成を受けたものである。

引用文献

- 朝日新聞 2020. 天然記念物の神木倒れる 樹齢 1200 年超、家屋も破損。2020 年 7 月 12 日。 <https://www.asahi.com/articles/ASOBS583abov6p0mvr8ft1g.html>
- 株式会社アドイン研究所 2021. 森林 3 次元計測システム OWL, HP. <https://www.owl-sys.com/>
- Danjon, F., Fourcaud, T., Bert, D. 2005. Root architecture and wind-firmness of mature *Pinus pinaster*. *New Phytol.* 168: 387-400.
- Fukuda, M., Iehara, T., Matsumoto, M. 2003. Carbon stock estimates for sugi and hinoki forests in Japan. *For. Ecol. Manag.* 184: 1-16.
- Hale, S. E., Gardiner, B. A., Wellpott, A., Nicoll, B. C., Achim A. 2012. Wind loading of trees: influence of tree size and competition. *Eur. J. Forest Res.* 131: 203-217.
- 平野恭弘 2020. 1.1.1 粗根. 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. 東京. pp. 10-14.
- Kamimura, K., Kitagawa, K., Saito, S., Mizunaga, H. 2012. Root anchorage of hinoki (*Chamaecyparis obtusa* (Sieb. Et Zucc.) Endl.) under the combined loading of wind and rapidly supplied water on soil: analyses based on tree-pulling experiments. *Eur. J. Forest Res.* 131: 219-227.
- 環境省自然環境局生物多様性センター 2018. 巨樹・巨木林の基本的な計測マニュアル. pp. 7-9.
- Karizumi, N. 1974. The mechanism and function of tree roots in the process of forest production I. Method of investigation and estimation of the root biomass. *Bull. Gov. For. Exp. Sta.* 259: 1-99.
- 苅住昇 2015. 森林の根系特性と構造. 鹿島出版会. 東京. 446 pp.
- 気象庁 2020. 令和 2 年 7 月豪雨. 気象庁 HP. https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2020/20200811/jyun_sokuji20200703-0731.pdf
- 気象庁 2021a. 過去の気象データ・ダウンロード. 観測地点 恵那. 気象庁 HP. <https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>
- 気象庁 2021b. 気候変動監視レポート 2020. 気象庁 HP. pp. 33-36. <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/index.html>
- 黒田慶子, 多賀正明, 村尾満, 宮島英好, 森靖雄 2021. 岐阜県大湫町神明神社における大杉倒壊の原因解明 (1). —巨木倒壊の原因と管理の問題点—. *樹木医学研究.* 25: 71-72.
- Lecigne, B., Delagrangé, S., Messier, C. 2018. Exploring trees in three dimensions: VoxR, a novel voxel-based R package dedicated to analysing the complex arrangement of tree crowns. *Ann. Bot.* 121: 589-601.
- 毎日新聞 2020. 神木倒木「けが人なし救い」樹齢 1200 年, 片付け作業 岐阜・瑞浪. 2020 年 7 月 13 日. <https://mainichi.jp/articles/20200713/k00/00m/040/221000c>
- 宮嶋英好, 多賀正明, 村尾満, 森靖雄, 黒田慶子 2021. 岐阜県大湫町神明神社における大杉倒壊の原因解明 (3). —年輪変動から推測した過去200年の成長の歴史—. *樹木医学研究.* 25. 印刷中.
- 瑞浪市 2020. 神明神社の大杉. 大杉概要. 瑞浪市 HP. https://www.city.mizunami.lg.jp/kankou_bunka/spot/1001290/1002203.html
- 村尾満, 多賀正明, 宮島英好, 森靖雄, 黒田慶子 2021. 岐阜県大湫町神明神社における大杉倒壊の原因解明 (2). —樹幹支持能力の解析—. *樹木医学研究.* 25. 印刷中.
- 大湫町 2020. 神明の長寿大杉. 大湫町 HP. <http://okute-shuku.jp/okuteshuku/spot/course-power>
- 大湫町 御神木・大杉応援の会 2020. 大湫町 御神木 大杉. facebook HP. <https://www.facebook.com/okute.osugi/>
- 大湫大杉を応援する若手有志の会 2020. 大湫町 御神木・大杉応援サイト HP. https://peraichi.com/landing_pages/view/shinmeio_sugi
- Tanikawa, T., Ikeno, H., Todo, C., Yamase, K., Ohashi, M., Okamoto, T., Mizoguchi, T., Nakao, N., Kaneko, S., Torii, A., Inagaki, Y., Nakanishi, A., Hirano, Y. 2021. A quantitative evaluation of soil mass held by tree roots. *Trees* 35: 527-541.
- 山瀬敬太郎 2020. 樹木根の発揮する減災機能. 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. 東京. pp. 305-331.
- Yamase, K., Tanikawa, T., Dannoura, M., Todo, C., Yamamoto, T., Ikeno, H., Ohashi, M., Aono, K., Doi, R., Hirano, Y. 2019. Estimating slope stability by lateral root reinforcement in thinned and unthinned stands of *Cryptomeria japonica* using ground-penetrating radar. *Catena* 183: 104227.

植物組織の空隙率測定方法—3. 切片法—

野村康之¹⁾・塩野克宏²⁾・島村聡³⁾・山内卓樹^{*4,5)}

- 1) 龍谷大学 食と農の総合研究所
- 2) 福井県立大学生物資源学部
- 3) 農研機構東北農業研究センター
- 4) 名古屋大学生物機能開発利用研究センター
- 5) 科学技術振興機構・さきがけ

要 旨：根の皮層に形成される通気組織は、冠水土壤において大気と触れる地上部と細胞分裂が活発な根端部をつなぐ気体の通り道となるため、植物の耐湿性に寄与する重要な形質である。一方、皮層で顕著にみられる微小な細胞間隙も同様の役割を担うことが知られている。本連載第1回目および第2回目で紹介した空隙率の測定方法は、通気組織と細胞間隙を総合して評価する手法である。一方、切片法は根の横断切片の画像を解析するため、通気組織と細胞間隙を個別に評価できる。本稿では、論文では具体的に示されることがない切片画像の解析方法について詳しく解説する。

キーワード：画像解析, 細胞間隙, 切片, 通気組織, 方法論。

Measurement of plant tissue porosity: III. Cross-section method : Yasuyuki NOMURA¹⁾, Katsuhiko SHIONO²⁾, Satoshi SHIMAMURA³⁾ and Takaki YAMAUCHI^{*4,5)} (¹⁾Research Institute for Food and Agriculture, Ryukoku University, ²⁾Faculty of Bioscience and Biotechnology, Fukui Prefectural University, ³⁾Tohoku Agricultural Research Center, NARO, ⁴⁾Bioscience and Biotechnology Center, Nagoya University, ⁵⁾PRESTO, Japan Science and Technology Agency)

Keywords : Aerenchyma, Cross section, Image analysis, Intercellular space, Methodology.

1. はじめに

植物の根の空隙は、地上部から根端部への酸素の通気に寄与するため、植物の耐湿性の強弱と密接に関連している。根の空隙は、主に間隙の大きな通気組織と微小な細胞間隙に分類される(島村ら, 2021 第2図参照)。根の皮層を構成する細胞は、表皮や中心柱を構成する細胞と比べて大きい傾向にあるため、皮層では必然的に細胞間隙が大きくなる(島村ら, 2021 第2図参照)。根の横断切片を観察すると、通気組織と同様に細胞間隙も気体で満たされていることから、皮層の細胞間隙が根における酸素の通気に一定の貢献をしていることがわかる。一方、通気組織は皮層細胞の崩壊や細胞間隙の拡大によって大きく発達するため(Jackson and Armstrong, 1999)、微小な細胞間隙よりも酸素の通気に大きく貢献すると考えられる。実際に、根全体および皮層に占める通気組織の面積の割合で示される通気組織形成率は、イネなどの湿生植物においてコムギやトウモロコシなどの非湿生植物と比べて高い傾向にある(Yamauchi et al., 2019)。このことから、通気組織を介した根の通気が植物の湿地への適応に重

要な役割を果たすことを窺い知ることができる。

本連載の第1回目と第2回目で取り上げた空隙率の測定方法(島村ら, 2021; 宮下ら, 2021)は、根に占める通気組織と細胞間隙の総和を計測する手法である。そのため、これらの手法では空隙の総和に対する通気組織の貢献だけを評価することはできない。本稿では、根の横断切片の画像を解析することで、根に占める通気組織と細胞間隙の割合を個別に評価することができる切片法について主に通気組織を対象として紹介したい。

2. 切片法

(1) 横断切片の作製と画像取得

横断切片の作製に用いる根は、茎に最も近い部位(基部)をハサミやカミソリで切断し、予め水を満たしたコニカルチューブ等に回収して、油圧式真空ポンプで10分以上減圧して脱気する。その際、微小な細胞間隙には気体が残るため、水が突沸しない程度にできる限り強く減圧して気体を完全に取り除くことをお勧めする。

横断切片の作製には、根の各部位から5 mm 程度の



第1図 イネの不定根の横断切片の例。

(A) 適切に作製された横断切片。黒い矢印は皮層細胞の崩壊により形成された通気組織を示す。(B) 歪んだ横断切片。(C) 厚みのある横断切片。(D) 脱気が不完全で気泡が残った横断切片。白抜き矢印が黒く写った気泡を示す。

断片を切り出して使用する。その後、少量の水を滴下したスライドガラス上でピンセットを用いて固定した根の断片をカミソリで切断する。水耕栽培したイネの根の様に比較的細く柔らかい場合はフェザー製の炭素鋼の両刃が良いが、比較的太く硬い根の場合はフェザー製のステンレスの両刃をお勧めする。また、圃場や野外で採取した根から横断切片を作製する場合には、根が非常に硬くなっていることや反対に脆くなっていることがある。徒手切片法を適用することが技術的に困難な場合は、ホルマリン-酢酸等で固定してパラフィン切片をミクロトームによって作製することも可能であるが、固定の際に根の内部構造が変化する恐れがあるためお勧めしない。一方、日本医科器械のプラントミクロトーム (MTH-1) は、ピス等に根を挟むことで組織を固定することなく一定の厚みの横断切片を作製することができる。日本医科器械のホームページでは、詳しい使用方法も公開されているため参照されたい (URL: <https://www.nihonika.co.jp/product/846.html>)。

徒手切片法は簡易的である一方、100–200 μm 程度の厚みで安定した切片を作製するためには技術的な訓練が必要である。適切に作製した根の横断切片 (第1図A) と比べて、歪んだ切片 (第1図B) や、分厚い切片 (第1図C) では根の輪郭や空隙の位置が不鮮明であり、各組織の面積の測定が困難である。また、適切に切片を作製した場合でも、予めしっかりと脱気されていない場合は第1図Dに示すように、残った気体が黒く写ることによって正確な空隙の面積が測定できないことがある。このような場合には、スライドガラス上の水滴の中に切片を置いて再度油圧式真空ポンプで脱気するか、少量の99.5%エタノールを滴下してピペティングすることで余分な気体を除去できる。

作製した根の横断切片の撮影には、透過型の光学顕微鏡を用いる。実体顕微鏡であっても透過照明できるものであれば横断切片の撮影に適用することができる。撮影の際は、カバーガラスをかけることで横断切

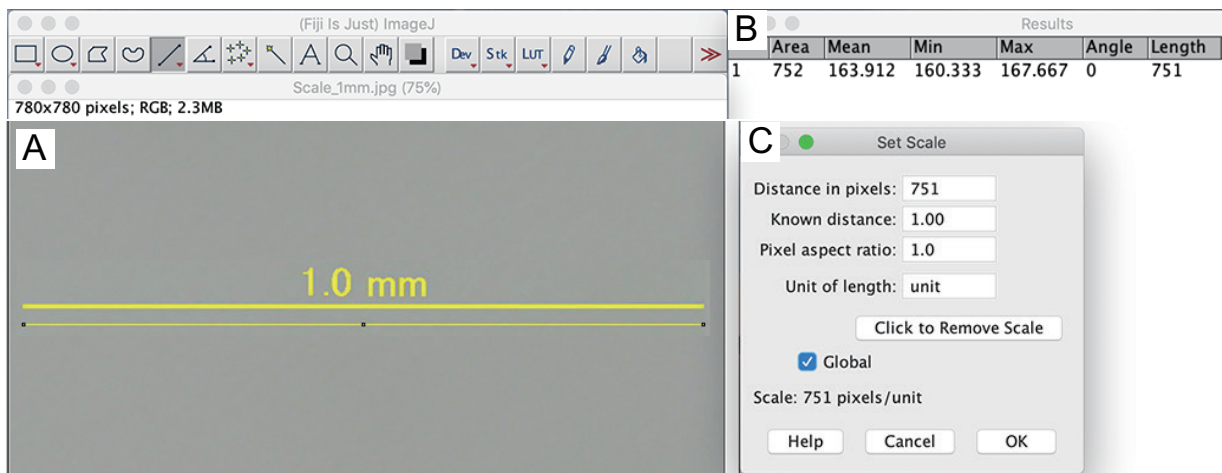
片に均一に焦点を合わせられるが、薄い切片は非常に崩れ易いため、ピンセット等で支えながらゆっくりとカバーガラスをかけることに注意する。デジタル画像解析ではピクセル値から実際のサイズを逆算するため、既知の長さのスケールを含んだ画像を解析対象の画像と同じ倍率と解像度で取得しておく必要がある。

(2) 画像解析による根の各組織の面積の定量

コンピュータによる画像解析が利用できなかった時代は、根の横断切片を撮影した画像を現像し、拡大した写真自体や写真を投影した模造紙から通気組織をハサミで切り抜いて重さを測定して面積を算出していた (Armstrong, 1971; Atwell et al., 1988; Kawai et al., 1998)。画像解析用のソフトウェアが視覚的に簡便に利用できるようになったことは、通気組織をはじめとした根の解剖学的形質の研究を大いに発展させてきた。

ImageJ は、米国国立衛生研究所 (National Institute of Health; NIH) で開発されたオープンソースの画像解析ソフトウェアである (Schneider et al., 2012)。Windows と Mac の両方で使用することができ、NIH の専用サイト (URL: <https://imagej.nih.gov/ij/download.html>) からダウンロード可能である。また、ImageJ に生物画像の解析に必要なプラグインを予め搭載したパッケージが Fiji (Fiji is just imageJ) である (Schindelin et al., 2012)。高度な画像解析への応用も見据え、予め Fiji のサイト (URL: <https://imagej.net/Fiji>) からダウンロードして ImageJ を利用することをお勧めする。解析手順は以下の通りである。

[手順1] スケールの定義: Fiji の [File > Open] から既知の長さのスケールが入った画像を選択して開く。Fiji のツールバーから Straight ツールを選択してスケールと同様の長さの線を引く (第2図A)。[Analyze > Measure] を選択すると第2図Bのように Results の中に長



第2図 ImageJソフトウェアでのスケールの設定.

(A) Straight ツールで既知の長さのスケールと同じ長さの線を引き、(B) Measure によってピクセル数で表される長さを計測する。(C) Set Scale で既知の長さとしてピクセル数を設定する。

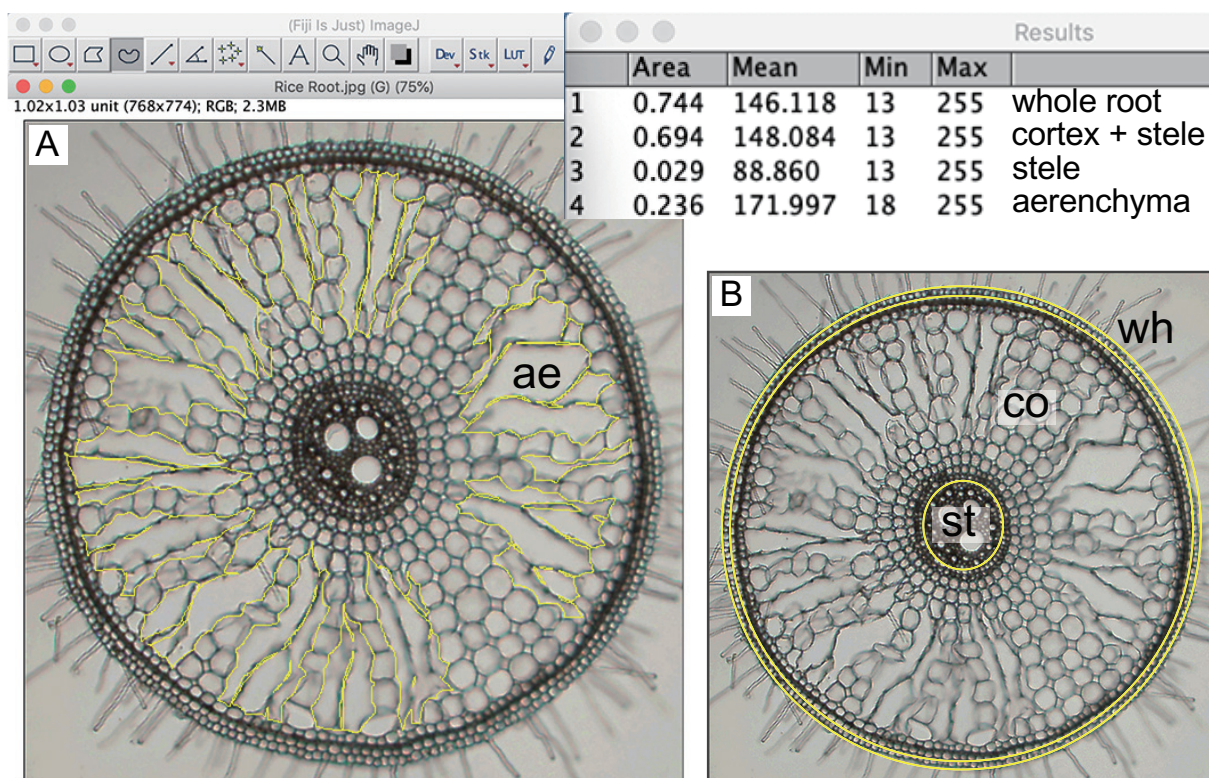
さ (Length) が表示される。その後、[Analyze > Set Scale] を選択すると第2図Cのようにポップアップが表示されるので、Distance in pixels に Length (今回は 751 pixel) の値を、Known distance に既知のスケールの長さ (今回は 1 mm) を入力して Global にチェックを入れた上で OK を押して画像を閉じる。このとき Global をチェックすることで以降の画像にスケールの設定が引き継がれる。なお、通気組織形成率のように面積の割合を相対的に比較する場合は、手順1を省略して面積をピクセル数として扱うこともできる。

[手順2] 横断切片の面積の測定：横断切片の画像を選択して開く。ここでは、第3図に示したイネの横断切片を例に解説する。Fijiのツールバーから Oval ツールを選択して横断切片の外周を囲み [Analyze > Measure] を選択する (第3図B)。このとき Area に表示された値が根全体 (whole root = 0.744 mm²) の面積である。同様に、表皮の内側および内皮の内側を囲み [Analyze > Measure] を選択することで皮層 (cortex) と中心柱 (stele) を合わせた面積 (cortex + stele = 0.694 mm²) および中心柱 (stele = 0.029 mm²) の面積が計測される (補足1参照)。これらの各組織の形状は厳密には楕円形ではないが、適切に作製された横断切片では、楕円形で測定した面積が細胞の形状に沿って輪郭をトレースした場合の面積から大きく逸脱しないため、Oval ツールを利用して時間を短縮することをお勧めする。

[手順3] 通気組織の面積の測定：Fijiのツールバーか

ら Freehand ツールを選択して通気組織 (aerenchyma) の輪郭をトレースする (第3図A)。通気組織は皮層細胞の内部が崩壊することで生じる空隙であるが、細胞壁は分解されずに維持され、車軸状の構造を形成して根を物理的に支える役割を担う (Jackson and Armstrong, 1999)。そのため、各通気組織は隣接する生きた細胞と皮層細胞の崩壊後に維持された細胞壁に囲まれていることを意識してトレースすることが望ましい (第3図A)。複数の通気組織をトレースする際は、Shift キーを押した状態で作業を進めることで全ての箇所を選択が可能となる。全てをトレースした状態で [Analyze > Measure] を選択することで通気組織の面積 (aerenchyma = 0.236 mm²) が計測される。ここでは説明を割愛するが、細胞間隙の測定に際しては補足2を参照されたい。

[手順4] 通気組織形成率の計算：根の通気組織形成率を示す際には、根全体に占める通気組織の面積の割合を百分率で示すことが一般的である (Colmer et al., 2006; Shiono et al., 2011; Gong et al., 2019)。第3図の結果では、通気組織の面積 0.236 mm² / 根全体の面積 0.744 mm² × 100 = 31.7% となり、イネの根では通気組織が大きく発達していることがわかる。一方、皮層と中心柱の面積比は植物種毎に異なるため (McDonald et al., 2002; Yamauchi et al., 2019)、種間の通気組織形成の程度を純粋に比較するためには、皮層に占める通気組織の面積の割合を算出することも有効である。その場合、



第3図 ImageJ ソフトウェアでの根の各組織の面積の測定。

(A) 通気組織 (ae; aerenchyma) は Freehand ツールを利用してトレースする。(B) 根全体 (wh; whole root), 皮層 (co; cortex) および中心柱 (st; stele) は Oval ツールを利用してトレースする。Measure によって測定された面積 (Area) が自動的に表示される。

通気組織の面積 0.236 mm^2 / (皮層 + 中心柱の面積 0.694 mm^2 - 中心柱の面積 0.029 mm^2) $\times 100 = 35.5\%$ のように計算する。

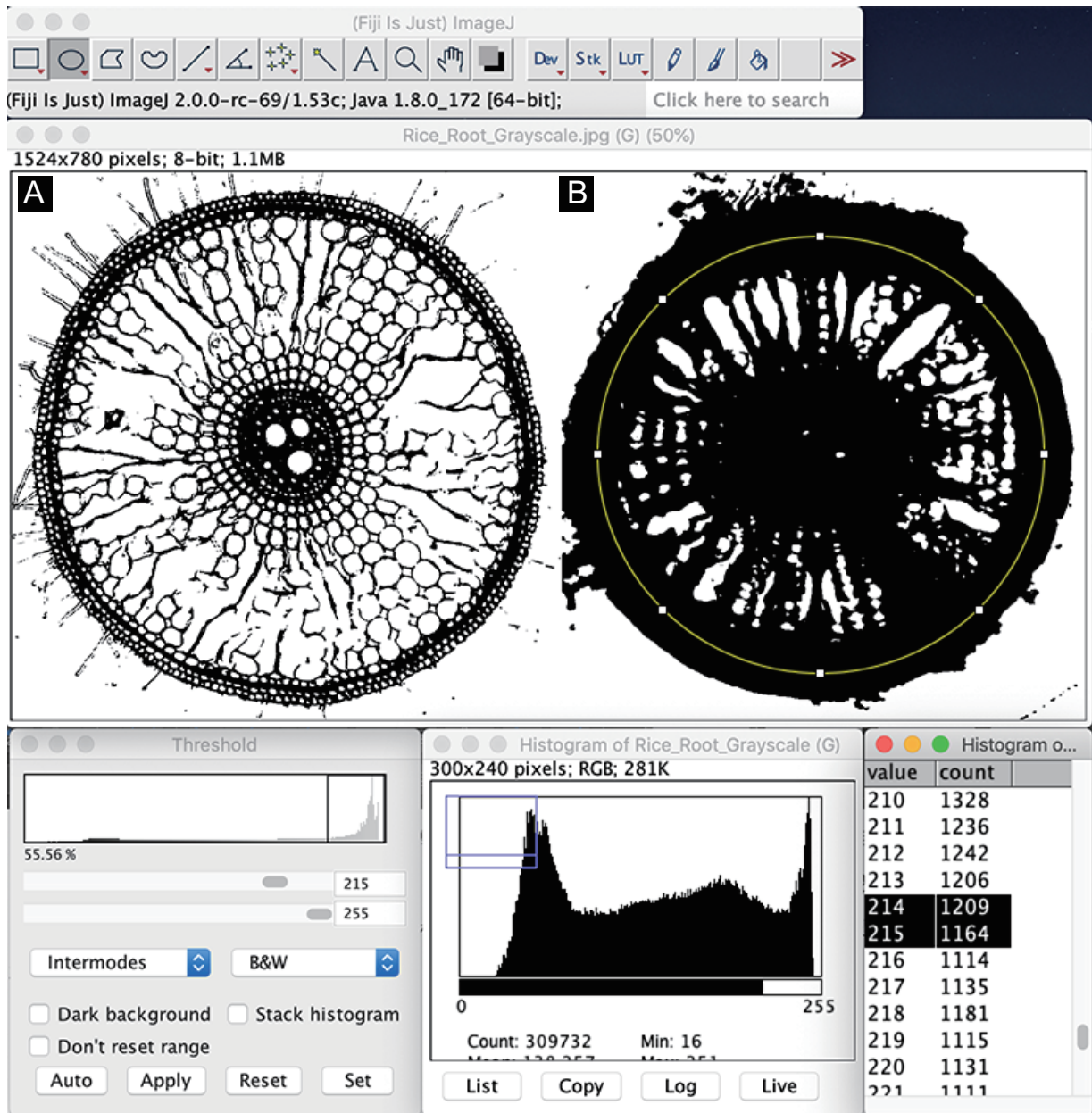
(補足 1) 根の内部構造は表皮, 皮層および中心柱に分類される。このとき, 厳密には表皮の細胞層の内側に存在する外皮や厚壁組織は皮層に分類され, 内皮も皮層の最内層として定義される (Lux et al., 2004)。この前提を理解していれば, 実験の目的に沿って外皮や厚壁組織, 内皮を皮層と区別して扱っても問題はない。

(補足 2) 細胞間隙の面積についても通気組織と同様の方法で計測することができる。しかし, 細胞間隙は極めて小さいことが多いため [Image > Zoom] を選択し, 画像を拡大して解析することをお勧めする。また, 細胞間隙には気泡が残り易いため, 減圧による脱気を徹底的におこなうことも重要である。湿生植物と非湿生植物における皮層細胞の配置と細胞間隙の関係については, Justin and Armstrong (1987) や山内 (2020) を参照されたい。

(3) ImageJ ソフトウェアによる二値化を用いた根の横断切片の半自動的画像解析

大量の切片画像の通気組織を正確にトレースするためには多大な労力を要する。この問題を解決するため, 切片画像を二値化する (ピクセルの情報を任意の閾値で '0' と '1' に分割する) 手法が報告されている (Maricle and Lee, 2002)。二値化は正確性に欠けるが, 工夫次第で正確性を改善して有用な手法に昇華できる可能性があるため, 以下に手順を解説する。なお, 上述の [手順 3] を [手順 3'] に置き換えることで通気組織形成率の解析が可能である。

[手順 3'] 第 4 図に示したように, この手法は皮層細胞の輪郭が明確な画像とは相性が悪いが, 厚みのある切片では大まかな通気組織の面積を半自動的にトレースすることができる (第 4 図 A, B はそれぞれ第 1 図 A, C と同じ画像である)。第 4 図 B の通気組織を Freehand ツールによる手作業で計測した値は 59264 pixel であり, 二値化して得られた値は 50571 pixel (手作業の 85.3%) であった。手順としては, 画像を開き [Image > Type > 8 bit] を選択し



第4図 ImageJソフトウェアでの通气組織の面積の半自動的な測定.

Typeを8bitに変換してグレースケール化した上で切片画像を観察しながらThresholdを設定して2値化する. その後, 通气組織が含まれる領域をOvalツール等で指定してHistogramからListを作成し, 閾値を超えるpixel数(countとして表示される)の総和を通气組織の面積とする.

てグレースケールに変換する. 続いて, [Image > Adjust > Threshold] を選択して表示されるポップアップ内で輝度の閾値を設定する. このとき, 設定値を境界にして画像のプレビューが白黒に変換(二値化)されることを利用して, 通气組織(空隙)とその他の領域を可視的に分割する. その後, 通气組織の含まれる領域をOvalツールで指定し, [Analyze > Histogram] を選択してポップアップ内の[List]に表示された閾値を超え

るピクセル(今回は輝度215以上)のカウントを合算する. このとき, 表示される画像は閾値を境界にして白黒にプレビューされるが, ヒストグラムが示すように各ピクセルの輝度の情報は維持されている. なお, トルイジンブルーなどで皮層を染色し, 通气組織と皮層の輝度が明確に異なる画像を取得することができれば, 横断切片の厚みに関わらず正確に領域を分割できる可能性がある.

(補足3) 本稿では詳述しないが, 通气組織を含む根の

第1表 切片法で解析した各分布域に属する植物種の不定根の部位別の通気組織形成率。

種名	分布域 ¹⁾	通気組織形成率 (%) ²⁾					
		根端部から 20 mm の部位		根端部から 50 mm の部位		基部から 10 mm の部位	
		好気条件	嫌気条件	好気条件	嫌気条件	好気条件	嫌気条件
<i>Triticum aestivum</i> コムギ	非湿地帯	0.0-0.7	8.4-16.7	0.9-8.4	17.6-23.3	4.4-14.2	21.1-25.3
<i>Zea mays</i> トウモロコシ	中間地帯	0.0-0.3	0.7-14.6	0.0-3.1	17.4-30.9	0.2-0.6	27.4-40.3
<i>Oryza sativa</i> イネ	湿地帯	1.5-5.6	4.2-16.5	18.1-26.0	33.6-51.4	29.8-35.0	45.7-55.3

好気条件に設定した水耕液で9日間栽培した植物体を好気条件および嫌気条件でさらに7日間栽培し、80-100 mmに伸長した不定根の通気組織形成率を解析した。根端部から50 mmの部位は不定根の根端部と基部の中間の位置に当たる。通気組織形成率は根全体に占める通気組織の面積の割合を百分率で示した。

1) : トウモロコシとイネの分布域はJustin and Armstrong (1987)に従い、コムギはMcDonald et al. (2001)に従った。

2) : Yamauchi et al. (2019) および Yamauchi et al. (2021a) を出典とした。

各組織の面積をユーザーインターフェース上で半自動的 (semi-automated) に測定するソフトウェアがペンシルベニア州立大学のJonathan P. Lynch博士らのグループによって開発されており (Burton et al., 2012), 専用のサイト (URL: <https://plantscience.psu.edu/research/labs/roots/methods/computer/rootscan>) で操作マニュアルとともに公開されているので参照されたい。また、機械学習を利用して全自動 (full-automated) で根の各組織の面積を測定する技術の開発も進められている (Yamauchi et al., 2021a)。

3. 通気組織形成率の計算方法の選択

根の各組織の面積比は植物種毎に異なり、イネなどの湿生植物の中心柱は非湿生植物と比べて顕著に小さいことが知られている (McDonald et al., 2002)。最近の研究から、イネの根は通気組織形成が起こる場である皮層を大きく発達させることで、根端部に効率的に酸素を供給することが示されている (Yamauchi et al., 2019)。一方で、皮層と中心柱の面積比にはトレードオフの関係があり、中心柱が大きく発達している植物種では、土壤中に深く根を張ることで水を効率よく地上部に吸い上げることができると考えられる (Uga et al., 2008)。皮層／中心柱の面積比のトレードオフは、異なる土壤水分に適応する多様なイネ科野生植物種の調査からも検証されている (Yamauchi et al., 2021b)。乾燥土壤に適応した非湿生植物と冠水土壤に適応した湿生植物では、皮層に占める通気組織形成率の値が同じであっても、皮層／中心柱の面積比が大きい湿生植物では根全体に占める通気組織形成率が非湿生植物と比べて大きい (Yamauchi et al., 2021b)。これは、乾燥土壤では根を深く張るために中心柱と導管を大きく発達させると共に皮層細胞を崩壊させて呼吸によるエネルギー消費のコストを抑えることが重要である一方、皮層を大きく発達させて根端部に効率よく酸素を供給す

る必要がないためである (Yamauchi et al., 2021a)。これらのことから、同じ通気組織形成率であっても分母が根全体であるか皮層であるかによって結果の解釈は異なるため、通気組織形成率を解析する際には自身の研究の目的と合致した適切な計算方法を選択することが大切である。

4. 湿生植物と非湿生植物における根の通気組織形成率

通気組織形成率の解析で得られた値の妥当性を判断するための参考として、湿生植物と非湿生植物の不定根における通気組織形成率を紹介する。根の通気組織は最も細胞の齢の若い根端部から地上部に向かって段階的に発達するため、解析対象とした根の部位や長さの違いによって値が大きく異なる (Shiono et al., 2011; Yamauchi et al., 2019)。そのため、ここでは非湿地帯、中間地帯および湿地帯に分布する植物の代表例として、著者らが切片法で解析したコムギとトウモロコシ、イネの通気組織形成率の値を紹介するに留める (第1表)。これらの結果が示すように、通気組織形成率は根の各部位で大きく異なる。そこで、はじめて通気組織形成率を解析する際には、第1表のように根端部、中間部および基部の3箇所切片画像を解析した上で、結果を総合的に解釈することをお勧めする。なお、作物に限らず様々な植物種の通気組織形成率を概観したい場合は、McDonald et al. (2002) や Yamauchi et al. (2021b) などを参照されたい。

5. おわりに

一般的に、灌水または好気条件では湿生植物の通気組織形成率が顕著に高い。一方、非湿生植物であっても灌水または嫌気条件では通気組織形成率が大きく上昇する (第1表)。このような、灌水または好気条件で湿生植物に顕著にみられる通気組織は、恒常的通気組織と定義されており、嫌気条件で湿生植物と非湿生植物に共通してみられる誘導的通気組織とは区別される (Colmer and Voesenek, 2009)。これら2タイプの通気

組織形成は、各植物種の生育環境への適応と環境変化に対する応答と関連しており、それぞれが異なるメカニズムで適切に調節されている (Yamauchi et al., 2018). 最近では、通気組織形成を始めとした根の解剖学的形質が作物の耐湿性だけでなく、耐乾性や栄養欠乏耐性にも寄与することが注目を集めている (Lynch, 2018; 2019). このような状況から、根の解剖学的形質を対象とした基礎研究と応用研究の両面が今後益々発展することが期待されている。ここで紹介した切片法を活用して、是非とも根の解剖学的形質の魅力に触れていただきたい。

謝辞

本稿の執筆に際しては、科学技術振興機構 (JST) さきがけ「フィールドにおける植物の生命現象の制御に向けた次世代基盤技術の創出」(課題番号: JPMJPR17Q8) の支援を受けた。また、野村康之と山内卓樹の共著での執筆の契機となった根研究学会の「苜住」国内研修支援に心より御礼を申し上げる。

引用文献

- Armstrong, W. 1971. Radial oxygen losses from intact rice roots as affected by distance from the apex, respiration and waterlogging. *Physiol. Plant.* 25: 192-197.
- Atwell, B. J., Drew, M. C., Jackson, M. B. 1988. The influence of oxygen deficiency on ethylene synthesis, 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid levels and aerenchyma formation in roots of *Zea mays*. *Physiol. Plant.* 72: 15-22.
- Burton, A. L., Williams, M., Lynch, J. P., Brown, K. M. 2012. RootScan: software for high-throughput analysis of root anatomical traits. *Plant Soil* 357: 189-203.
- Colmer, T. D., Cox, M. C. H., Voesenek, L. A. C. J. 2006. Root aeration in rice (*Oryza sativa*): evaluation of oxygen, carbon dioxide, and ethylene as possible regulators of root acclimatizations. *New Phytol.* 170: 767-778.
- Colmer, T. D., Voesenek, L. A. C. J. 2009. Flooding tolerance: suites of plant traits in variable environments. *Funct. Plant Biol.* 36: 665-681.
- Gong, F., Takahashi, H., Omori, F., Wang, W., Mano, Y., Nakazono, M. 2019. QTLs for constitutive aerenchyma from *Zea mays* improve tolerance of maize to root-zone oxygen deficiency. *J. Exp. Bot.* 70: 6475-6487.
- Jackson, M., Armstrong, W. 1999. Formation of aerenchyma and the processes of plant ventilation in relation to soil flooding and submergence. *Plant Biol.* 1: 274-287.
- Justin, S. H. F. W., Armstrong, W. 1987. The anatomical characteristics of roots and plant response to soil flooding. *New Phytol.* 106: 465-495.
- Kawai, M., Samarajeewa, P. K., Barrero, R. A., Nishiguchi, M., Uchimiya, H. 1998. Cellular dissection of the degradation pattern of cortical cell death during aerenchyma formation of rice roots. *Planta* 204: 277-287.
- Lux, A., Miroslava, L., Abe, J., Morita, S. 2004. Root cortex: structural and functional variability and responses to environmental stress. *Root Res.* 13: 117-131.
- Lynch, J. P. 2018. Rightsizing root phenotypes for drought resistance. *J. Exp. Bot.* 69: 3279-3292.
- Lynch, J. P. 2019. Root phenotypes for improved nutrient capture: an underexploited opportunity for global agriculture. *New Phytol.* 223: 548-564.
- Maricle, B. R., Lee, R. W. 2002. Aerenchyma development and oxygen transport in the estuarine cordgrasses *Spartina alterniflora* and *S. anglica*. *Aquatic Bot.* 74: 109-120.
- McDonald, M. P., Galwey, N. W., Colmer, T. D. 2002. Similarity and diversity in adventitious root anatomy as related to root aeration among a range of wetland and dryland grass species. *Plant Cell Environ.* 25: 441-451.
- 宮下智貴, 江尻真斗, 島村聡, 山内卓樹, 塩野克宏 2021. 植物組織の空隙率測定方法-2. アルキメデス法-. 根の研究, 30: 41-45.
- Schindelin, J., Arganda-Carreras, I., Frise, E., Kaynig, V., Longair, M., Pietzsch, T., Preibisch, S., Rueden, C., Saalfeld, S., Schmid, B., Tinevez J. -Y., White, D. J., Hartenstein, V., Eliceiri, K., Tomancak, P., Cardona, A. 2012. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nat. Methods* 9: 676-682.
- Schneider, C. A., Rasband, W. S., Eliceiri, K. W. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat. Methods* 9: 671-675.
- 島村聡, 塩野克宏, 山内卓樹 2021. 植物組織の空隙率測定方法-1. 比重瓶法-. 根の研究, 30: 8-12.
- Shiono K., Ogawa, S., Yamazaki, S., Isoda, H., Fujimura, T., Nakazono, M., Colmer, T. D. 2011. Contrasting dynamics of radial O₂-loss barrier induction and aerenchyma formation in rice roots of two lengths. *Ann. Bot.* 107: 89-99.
- Uga, Y., Okuno, K., Yano, M. 2008. QTLs underlying natural variation in stele and xylem structures of rice root. *Breed. Sci.* 58: 7-14.
- 山内卓樹 2020. イネが水田で生育するしくみ—根の解剖学的観点から. 農業技術大系 作物編, 追録 41 号, イネの生理作用 VII 根の機能と生理, 農文協, 1: 246-147-2-246-147-22.
- Yamauchi, T., Abe, F., Tsutsumi, N., Nakazono, M. 2019. Root cortex provides a venue for gas-space formation and is essential for plant adaptation to waterlogging. *Front. Plant Sci.* 10: 259.
- Yamauchi, T., Colmer, T. D., Pedersen, O., Nakazono, M. 2018. Regulation of root traits for internal aeration and tolerance to soil waterlogging-flooding stress. *Plant Physiol.* 176: 1118-1130.
- Yamauchi, T., Noshita, K., Tsutsumi, N. 2021a. Climate-smart crops: key root anatomical traits that confer flooding tolerance. *Breed. Sci.* 71: 51-61.
- Yamauchi, T., Pedersen, O., Nakazono, M., Tsutsumi, N. 2021b. Key root traits of Poaceae for adaptation to soil water gradients. *New Phytol.* 229: 3133-3140.

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

13. 根を深く

節目節目で物事を整理し見直すことは大切である。きっかけが逆境でも新たな気づきが得られることも多い。コロナ禍からの回復の兆しが見えつつあり、今後新たな時代の幕開けも予感させる。

この機に、日本語の「根」について調べてみた。ちなみに根は小学校3年生で習う漢字であり、皆さんも相当昔から親しんできた文字であるが、その意味は深かった。

国語辞書の「大辞泉」によると、「根」は①維管束植物の基本器官の一、とあり、植物の根が一番目に来る。そこには植物を支えること、水と養分を吸収することという機能が続く。次に②立ったり生えたりしている下の部分、③物事の基礎・土台。根本、④物事の起こるもと、と続く。7番目の意味として「釣り」の用語が出てくる。海底にある岩礁帯のことを「根」というらしい。そこに棲息する魚を「根魚」というようだ。日本語は奥が深い。肥料用語では、硫酸イオンのことを、硫酸根というが、相対的に吸収量が少なく「残留するイオン」だからだろうか？

根の漢字の成り立ちにまで遡ってみる。根は、「木」(きへん)と「艮」(こんづくり)からなる。きへんは木(植物)を表す。これは良いとして、「艮」はどうだろうか。「ねづくり」ともいうこの部分も独立して音読みは「コン」や「ゴン」で訓読みでは「うしとら」という。「艮」の意味は①さからう、②とどまる、③易の

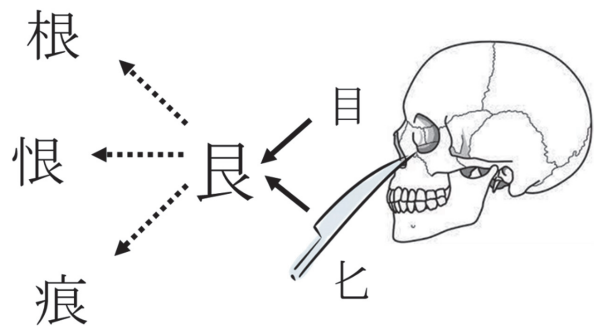
八卦(ハッケ)の一つ、山・止まるなどの意、④うしとら、北東の方角である。

「艮」の成り立ちはさらに面白い。「目」とナイフを示す「匕」が合わさってできている。頭蓋骨の目の穴をナイフでえぐったことを表しており、「目の穴のように一定のところにとどまってとれない」という意味を含んでいる(高橋, 1994)。植物の「地中にとどまるもの」として「根」という漢字になったということだ。

心にとどまって離れなければ「恨」となり、病気の傷が残れば「痕」になる。また、根に関する慣用句やことわざも多い。今の時代「根も葉もないこと」に惑わされず、「根を深くし蒂(ほぞ)を固く」(根本を堅固にすることのたとえ:老子)したい。足元を固め次の飛躍に備えたいものだ。

参考文献

高橋英一 1994.「根」物語, のぎへのほん, 研成社.



第54回根研究集会のお知らせ 54th Biannual Meeting of JSRR

第54回根研究集会をオンラインで開催いたします。

本集会では、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研究者2名に「根を測る」と題して講演して頂きます。また一般講演では、通常の研究発表と合わせて、根を測るための技法紹介に特化した発表を募ります（一般講演「根を測る」）。新たに開発した技法にとどまらず、これまでの技法を少しでも前進させたような技法について、その工夫の詳細を会員の皆様と共有して頂けると有り難く存じます。

根研究学会の英文誌 *Plant Root* は、「Technical Report」あるいは「Root Method」等（後日、詳細について発表）のカテゴリーを新設します。一般講演「根を測る」の講演内容は、査読過程を経るものの、新設カテゴリーでの論文掲載へ道が開けています。大学院生や若手研究者の積極的な発表をお待ちしております。もちろん、会員以外の方も発表・聴講可能です。

皆様お誘い合わせのうえ、奮ってご参加ください。

<日時> 2021年11月27日（土）9:00～11月28日（日）12:40
November 27th, 2021 (Sat.) 09:00～November 28th, 2021 (Sun.) 12:40

<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。個人年会費は3000円（電子版会誌）ですので、この機会にぜひ会員登録をお願いします。

<プログラム概要（予定）> Program (tentative)

11月27日（土）

- 09:00-10:00 受付 Registration
- 10:00-10:10 開会の挨拶 Opening remarks
- 10:10-11:40 「根を測る」招待講演1 “Root Method” Special Lecture 1
- 11:40-13:00 お昼休憩 Lunch break
- 13:00-14:30 「根を測る」招待講演2 “Root Method” Special Lecture 2
- 14:30-15:00 休憩 Break
- 15:00-15:15 受賞式 Awards Ceremony
- 15:15-16:45 受賞講演 Awards Lecture
- 16:45-18:15 ImageJ 根長測定ワークショップ ImageJ Root Length Measurement Workshop
- 18:15-19:00 懇親会 Banquet

11月28日(日)

- 09:00-10:30 ポスターセッション (根を測る) Poster Session (Root Method)
10:30-10:45 休憩 Break
10:45-12:15 ポスターセッション (通常) Poster Session (Standard)
12:15-12:25 休憩 Break
12:25-12:30 優秀発表賞表彰式 Best Poster Awards Ceremony
12:30-12:40 閉会の挨拶 Closing

※30題程度を上限にポスター発表を募集いたします。本大会では口頭発表を募集しませんので、予めご了承ください。Zoom オンライン会議システムを使用します。1ブレイクアウトルームに1課題を割り当て、1課題30分で質疑応答して頂きます。10分おきに1人(1課題)ずつセッションを開始するスタイルを採用します。

【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・研究発表の申し込み＞ Registration

*** 各種締め切り日**

- 参加・発表申込：2021年10月29日(金) Registration for presentation: by October 29th (Fri.), 2021.
- 講演要旨提出：2021年11月12日(金) Abstract by November 12th (Fri.), 2021

参加申し込み Registration method

参加・研究発表のお申し込みは **Google フォーム** より必要事項を入力して送信ください。参加申し込みをする方は、下記リンク先ならびに QR コードからアクセスください。

Please write in the registration form by **Google Form**. Access the below URL or QR-code.

<https://forms.gle/VH8XrrmsMBoTyDPdA>



発表形式 Type of presentation

ポスターセッション (30分)。本集会には、口頭発表がありません。

Poster session (30min). No oral presentation.

講演要旨の提出 Abstract submission

*** 講演要旨提出の締め切り：2021年11月12日(金) Submit by November 12 (Fri.), 2021**

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：sekiya@bio.mie-u.ac.jp

Send the abstract as MS-Word file to sekiya@bio.mie-u.ac.jp

<講演要旨の書き方> (A4 半ページ) Style of abstract

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

1. A4 版 1 ページに, 上 3.5 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, 問い合わせ先> Contact

関谷信人 (三重大) 〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577 E-mail sekiya@bio.mie-u.ac.jp

Nobuhito Sekiya (Mie University) 1577 Kurima Machiya, Tsu, Mie, 514-8507, JAPAN

第 53 回根研究集会に参加して

江尻真斗¹⁾・河合翼²⁾・土居龍成³⁾

1) 福井県立大学大学院生物資源学研究所

2) 名古屋大学大学院生命農学研究科

3) 名古屋大学大学院環境学研究科 (現 兵庫県淡路県民局)

次の根研は対面で開催されると良いな。昨年のその願いはむなしく、新型コロナウイルス感染拡大の対策として、第 53 回根研究集会も信州大学牧田直樹先生の主催の元 Web オンラインで 6 月 5 日と 6 日に開催されました。本集会では口頭発表 18 題と私たち若手会員が企画した交流会が行われました。以下、私たち若手会員の感想を記します。また、本掲載の最後には交流会企画のために皆様からいただいたアンケート結果の一部を掲載させていただきます。

本集会は、作物から樹木と取り扱われている材料は様々なものとなっていました。私はイネの野生種の根に関する研究成果を発表させていただきました。発表後の質疑応答の時間だけでなく、総合討論や夜の交流会でも私の研究について沢山の質問や意見をいただき、活発な議論をさせていただくことができました。また、作物の発表だけでなく、優秀発表賞を受賞された伊藤拓生氏の発表をはじめとする樹木の研究発表はとて新鮮で勉強になることばかりでした。本集会は運営委員の皆様のお取り計らいや参加者の皆様の積極的なご発言のおかげで、オンラインであるにも関わらず議論の活発な温かみのある根研究集会になったと思います(江尻真斗)。

私たち若手会員が中心となり、「根研交流会 研究者キャリアパスの現状・未来について考える」と題した交流イベントを開催いたしました。主に学生の博士課程進学に関して、本集会の参加者向けに事前アンケートを実施し、学部生からベテラン教員まで幅広い年代の方々から博士課程進学に関する様々なご意見を伺いました。本集会内でアンケート結果発表のお時間をいただき、博士課程進学の現状について共有いたしました。全体の共通認識として根研究業界においても博士課程進学者数は近年減少しており、博士課程学生が稀な存在となっていることが更なる進学者の減少を

招いているという現状が見えました。また、1 日目の本集会後に開催した交流会では、福井県立大学助教・角田智詞先生、森林総研 北海道支所・菅井徹人研究員から若手キャリアパスに関するお話を伺いました。角田先生からは国内・海外での幅広いフィールドでのポストドク経験に関して興味深いお話をいただきました。また、菅井研究員は研究者キャリアパスの支援情報ソースやご自身が代表を務める生態学若手の集いでキャリアパスに関する取り組み等に関して貴重な情報をいただきました。博士課程進学前の学生のみならず自身を含む博士課程学生やポストドクにとっても大いに参考になる交流会であったと思います(河合翼)。

根研究集会は、私が人生で初めて参加した学会であり、学部 4 年から博士 3 年までの 6 年間の研究生活で何度も発表する機会をいただきました。そして、卒業し研究から離れた今年も参加し、交流会の企画に携わることができて非常に嬉しく思います。今回実施させていただいたアンケートは博士を卒業し公務員になった私にとっても興味深い内容でした。二次会では講演をしてくださった角田先生、菅井先生を中心に、研究内容だけでなく根の研究業界を盛り上げるために必要なことなどを議論しました。また、学生同士で集まり、研究の楽しさや日々の悩みなどを共有できる貴重な時間となりました。博士進学者を増やすためにも今回のように直接先生や先輩方の話を聞く機会の場を提供し続けることが重要だと感じました。これからの根の研究を担う若手が増え、もっと盛り上げてほしいと思います。(土居龍成)

最後に、本会を運営してくださった牧田先生をはじめとする信州大学の皆様、本会や交流会に参加してより一層盛り上げてくださった皆様、ならびに事前に企画アンケートにご協力していただいた皆様にはこの場を借りて心より御礼申し上げます。

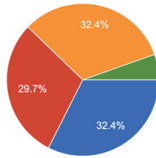


Zoom での全体写真

第53回根研究集会 交流会アンケート結果

本アンケートは計37名もの方々からご回答いただきました。ご協力いただきありがとうございました。

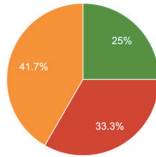
2. 当てはまるご自身をお答えください。
37件の回答



- 学部生、修士課程学生
- 博士課程学生、博士号取得後10年以上の方
- 企業、研究機関の研究者 (学部卒または修士課程修了)

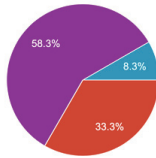
学部生、修士課程学生のアンケート

1. 現在の学年をお答えください。
12件の回答



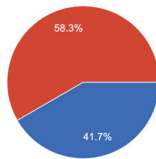
- 学部3年生
- 学部4年生
- 修士1年生
- 修士2年生

2. 現時点での卒業・修了後の進路予定をお答えください。
12件の回答



- (学部生の方) 修士課程進学後、博士課程進学
- (学部生の方) 修士課程進学後、就職
- (学部生の方) 就職
- (修士課程学生の方) 博士課程進学
- (修士課程学生の方) 就職
- 検討中

3. 博士課程への進学を(も)考えたことがありますか？
12件の回答

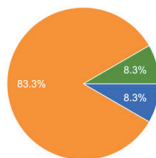


- ある
- ない

4. 「ある」と回答した方のそう考えたきっかけや理由を教えてください

- ・根に魅せられた
- ・何人かの博士課程の方とお会いして、カッコいいと感じたから
- ・研究を仕事にしたいと思ったから
- ・自分の好奇心を満たしつつ社会貢献するには研究職が良いと思ったから

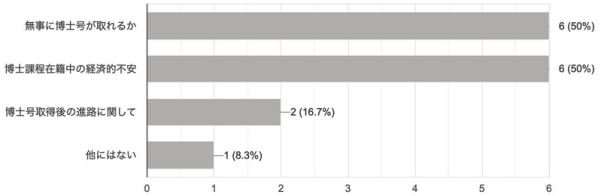
5. 博士課程進学を考えた時、何が一番の障壁になっていると感じますか？
12件の回答



- 無事に博士号が取れるか
- 博士課程在籍中の経済的不安
- 博士号取得後の進路に関して
- 結婚の時期

6. (5)のご回答以外で、博士課程進学に障壁になっていると感じる要因をお答えください。
(複数回答可)
12件の回答

12件の回答



7. その他に博士過程進学の障壁となっていると感じる要因を教えてください

- ・進路などの精神的な不安
- ・親からの理解
- ・博士課程に進学してまで自分が研究をしたいかわからない

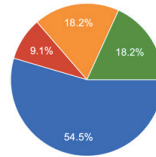
8. (5)-(7)でご回答頂いた障壁を取り除く上で、どのようなサポートが必要ですか？

- ・博士号所持者に優遇な措置がとられるよう国の制度を改正すべき
- ・博士修了後の進路や奨学金返済に関する情報の共有

博士課程学生、博士取得後10年以内の方のアンケート

1. 現在のご自身をお答えください。
11件の回答

11件の回答



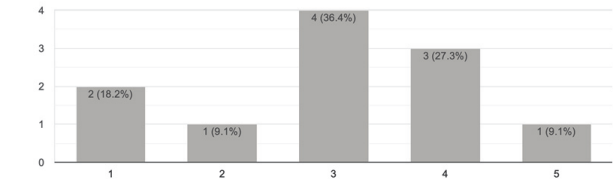
- 博士課程学生
- 企業・研究機関研究者
- ポスドク
- 大学教員

2. 博士課程に進学して良かったと思うことを教えてください

- ・アウトプット(学会発表や論文)のスキルが身につくこと
- ・自分が興味があってやりがいを感じることを続けられること
- ・多くの共同研究に参画することができたこと
- ・専門分野だけでなく、コミュニケーション能力、英語力、課題遂行能力など修士まででは獲得できない能力が身についたこと
- ・自分と同じような分野に興味がある人たちと出会って話げできたこと
- ・研究のおかげで毎日が楽しい

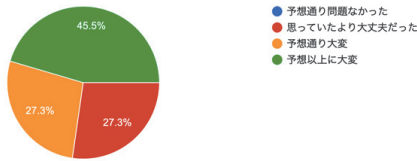
3-1. 博士課程進学前の時点で、「無事に博士号が取れるか」はどのくらい不安でしたか？
11件の回答

11件の回答



本アンケートはGoogle フォーム (https://www.google.com/intl/ja_jp/forms/about/) を用いて作成されました

3-2. 博士課程進学後、「無事に博士号が取れるか」という懸念は実際どうでしたか？
11件の回答



3-3. (3-2)のご回答に関して、そう感じた理由を教えてください

(問題なかった派の意見)

- ・指導教員とコミュニケーションをしっかりと適切にステップを踏んでいけば、想像以上の壁ではなかった

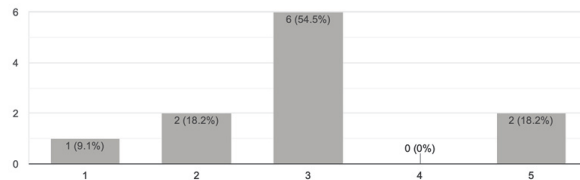
(大変だった派の意見)

- ・大学の修了要件が厳しい
- ・博士論文の執筆、審査会の大変さは体験するまでわからなかった
- ・投稿論文を書くことが思ったより大変だった
- ・新型コロナウイルスの影響でサンプリングに行けない期間が続き、研究計画が大幅に遅れてしまった
- ・研究が想定・計画通りに行かないことが多かったから

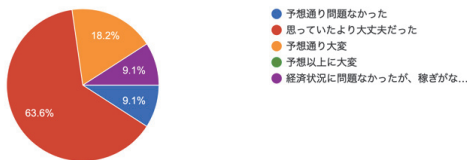
3-4. 「無事に博士号が取れるか」という懸念を払拭するために博士課程進学前後に何を実践しましたか？後輩へアドバイスがあればご回答ください。

- ・周りの研究者と相談する
- ・指導教員とまめに打ち合わせをして、研究の進め方を調整するのが大事
- ・英語論文を書くスキルを身につける
- ・論文を書くことを前提として念密な研究計画を定める
- ・自分のやりたいことに対して素直に賢く向き合った方が後悔は少ないかも
- ・研究のまとめ方について周りの人に相談した

4-1. 博士課程進学前の時点で、「博士課程在籍中の経済状況」はどのくらい不安でしたか？
11件の回答



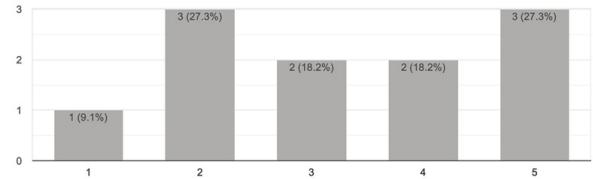
4-2. 博士課程進学後、「博士課程在籍中の経済状況」は実際どうでしたか？
11件の回答



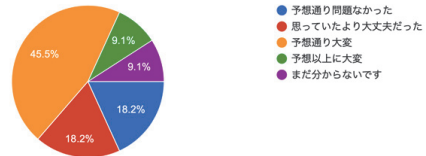
4-3. 「博士課程在学中の経済状況」の懸念を払拭するために博士課程進学前後に何を実践しましたか？後輩へアドバイスがあればご回答ください。

- ・日本学術振興会特別研究員DCの採択
- ・学振DCの申請書をイメージして、早めに学会発表や論文投稿を行う
- ・卓越プログラムなどの大学の支援制度

5-1. 博士課程進学前の時点で、「博士号取得後の進路」はどのくらい不安でしたか？
11件の回答



5-2. 博士課程進学後、「博士号取得後の進路」の懸念は実際どうでしたか？
11件の回答



5-3. 「博士号取得後の進路」の懸念を払拭するために博士課程進学前後に何を実践しましたか？後輩へアドバイスがあればご回答ください。

- ・学会等で、学生、先生の知り合いを増やす
- ・研究室以外の方とのネットワークをつくり、情報共有を密に行う
- ・民間企業のインターンシップに参加したり、いろいろな研究室を訪問し、受け入れてもらえる可能性のあるポスト先を探したりした

6. その他、博士課程進学前に感じていた懸念や進学後それがどうであったか、また進学後に遭遇した予期せぬ困難があればお答えください。

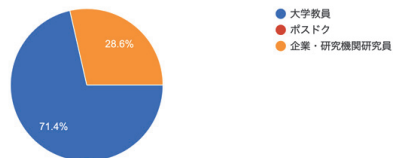
- ・懸念は、就職難だった。しかし、団塊の世代が退職され、就職状況は徐々に改善してきたように感じる
- ・博士進学前は民間企業の博士採用はかなり厳しいと予想していたが、実際には博士人材を求めている企業が多く驚いた

7. 学部生や修士課程学生が博士課程進学をする上での障壁を取り除くために、どのようなサポートが必要だと感じますか？ご自由にお答えください。

- ・「博士課程に進む＝研究者の道＝なかなかパーマメントのポストにつけない、賭けみたいな人生」みたいな印象があるのは、大きな障壁の一つだと思う。博士取得者がもっと自由に生きていけるような社会の枠組み構築が必要なのではないかと思う
- ・進路の多様性を知れること(研究者以外にも一般企業への就職などの可能性も広くあることを知れるといいと思う)
- ・博士課程取得後の進路に関するより具体的なビジョンを示す
- ・経済的支援に加えて、精神的なサポートがあると良いと感じた。博士の学生は研究を進めていく上で何らかの壁にぶつかることがあると思うが、それを相談できるコミュニティが少ないので、博士同士で気軽に交流できる場があると良いと思う

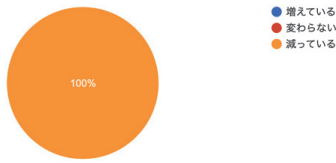
博士取得後10年以上の方のアンケート

1. 現在のご自分をお答えください。
14件の回答



全員共通のアンケート

2. ご自身の研究分野で日本人博士課程学生数はどのように変化していると感じますか？
14件の回答



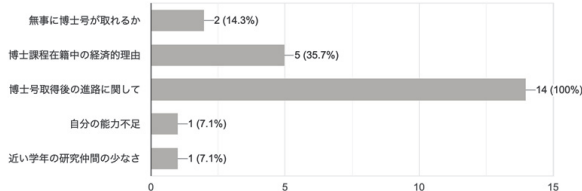
3. 日本人博士課程学生数が変化している場合、どのような要因が影響していると考えられますか？

- ・就職難、いわゆる新卒採用の増加
- ・博士課程に進むと就職できる職種が狭くなること、数十年前よりも修士課程での就職がしやすくなったことが考えられる
- ・博士取得後のアカデミックポジションへの就職が難しいこと
- ・博士取得者のキャリアパスの不透明性

4. 現在の日本人博士課程学生数に関して、根の研究業界の活性化を考えた時に、どのような印象をお持ちですか？(現状で十分、増えた方がよいなど、またその理由)

- ・不十分。単純に研究人口が減れば、研究分野のアクティビティは低下する
- ・増えた方がよい。単純に数は業界の力になるので
- ・増えた方がよい、互いに刺激できるため
- ・増えた方がよいが、博士課程修了後の就職先をある程度確保する必要がある
- ・現状で十分
- ・根の研究分野については、ほどよい規模かと感じている
- ・学生数が減ってきている、研究環境が悪くなっている、成果主義といった現在の日本の研究事情、研究環境を考えると、博士課程に進学して根の研究をやろう！という人はたまたま現れるかもしれないが、今後、今以上に増えることは期待出来そうにないように思われる(残念であるが)

5. 学生が博士課程に進学する上で障壁になっていると考えられる要因をお答えください。
(複数回答可)
14件の回答



6. 学部生や修士課程学生が博士課程進学をする上での障壁を取り除くために、どのようなサポートが必要だと感じますか？ご自由にお答えください。

- ・経済的サポート
- ・経済的支援がいろいろ存在するので、その情報の公開
- ・学位取得のキャリアパスについてどんなロールモデルがあるかちゃんと示してあげること
- ・博士号取得後に、民間企業などに就職した方々からの情報提供の場を設けること
- ・博士号を活かせる職場の増加
- ・博士課程の学生が楽しく面白そうに研究できる状況を作ること

7. 様々な不安要素がある中で、研究者になって良かったと思うことを教えてください。

- ・自分の好きなことができること
- ・自身の裁量で如何なる活動も可能であること
- ・教育、あるいは研究成果で何かしら社会に貢献できること
- ・いいデータが出た時(仮説通りだったり、新規の発見だったり)は嬉しいし、一番の醍醐味だと思う。論文が通ったり、研究費が当たったりした時もテンションあがる。
- ・国際的に共通のペースを持った知人ができる
- ・若い人と交流し刺激を得ることができる

1. 根の研究ならではの苦勞があれば教えてください。

- ・重労働
- ・土でドロドロになる
- ・均等に生えてこない、表現型が不安定
- ・サンプルの採集、処理が大変
- ・作業が細かいので気が滅入る
- ・データが出るまでに時間がかかる
- ・土壌中にあるため、掘って見ないと結果が分からない
- ・研究ごとに使用している根系サイズが異なるため、現象が理解しにくい
- ・圃場での調査には時間がかかるので、海外で大々的に圃場展開することが難しい
- ・日本語の論文や教科書がほとんどないため、学習に苦勞する
- ・初学者がとつきにくい
- ・相談できる相手が少ない
- ・根の研究の中でも新しい分野の実験では、方法が確立しておらず評価方法の検討から行う必要があった。逆にその評価方法さえもしっかりと確立する事が出来れば、論文としての質の向上につながる大切なポイントにもなるとも感じたが、試行錯誤の多い点である
- ・根の研究は楽しいので特に苦勞はない

2. (他の分野と比較して) 根の研究をしていて良かったと思うことがあれば教えてください。

- ・根研を通して、普段交流できない方と交流することができる点
- ・知見が少ない分、研究テーマになりうる範囲が広い
- ・未解明のことが多いため、比較的自由に実験計画や考察ができる
- ・多くの未知が残っているため、得られた結果から多くの面白いことが見つかる
- ・苦勞が絶えないが、そのため競争相手が少なく、未知の研究が多いため論文は受理されやすいと思う
- ・普段土の中で見えないからこそ、いろんな発見があるし、苦勞がある分喜びも大きいのではないと思う
- ・手先の器用さと集中力に絶対的な自信を持つようになった
- ・植物の生態生理を俯瞰して眺めることができるようになった
- ・根研学会に参加したことで異分野融合的な発想を持ちやすくなった
- ・根の研究を始めたことで、根研学会に入れたことも良かった
- ・コミュニティのサイズがちょうどよいと思う
- ・根っこの研究者はみな建設的なコメントをくれる
- ・根の研究者に優しい人が多いと感じる
- ・根の研究者同士で大変さが共有されやすく、共感が得やすい
- ・根の研究に携わる人が増えていくのを体感するのもまた楽しい

第 53 回根研究集会プログラム

<日 時> 2021 年 6 月 5 日 (土) 9:50 ~ 6 月 6 日 (日) 12:10

<方 法> Zoom オンライン会議システム

※使用するミーティング ID およびパスワードは、6 月 2 日 (水) にお知らせいたします。

<プログラム概要>

6 月 5 日 (土)

09:30-09:50 開場

09:50-10:00 開会の挨拶・諸注意

10:00-11:30 口頭発表・総合議論

11:30-13:00 お昼休憩

13:00-13:30 若手研究者企画

13:30-14:40 口頭発表・総合議論

14:40-15:00 休憩

15:00-16:40 口頭発表・総合議論

16:45-16:50 交流会の案内, 閉会

...

18:00-19:20 【交流会】根研交流会 ~研究者キャリアパスの現状・未来について考える~

19:30-21:00 【2 次会】懇親会

6 月 6 日 (日)

08:40-09:00 開場

09:00-10:40 口頭発表・総合議論

10:40-10:50 休憩

10:50-11:50 総会

11:50-12:10 表彰式・閉会の挨拶

※若手研究者の口頭発表 1 題 20 分 (発表 12 分+質疑・準備 8 分)

※一般発表者の口頭発表 1 題 15 分 (発表 12 分+質疑・準備 3 分)

<口頭発表者へのお願い> ♪切り: 2021年6月4日 (金) 18時

・発表ファイルの事前提出送り先: macky@shinshu-u.ac.jp

画面共有ができないなどのトラブル発生に備え、発表ファイルの事前提出をお願いいたします。メールでの添付ファイルあるいはファイル転送サービス (例 データ便) などをご提出ください。発表ファイルは、大会運営委員の方で管理し、学会の終了と同時に適切に削除いたします。

<交流会について> 企画者: 江尻真斗 (福井県大), 河合翼 (名古屋大), 土居龍成 (兵庫県)

6月5日 (土) 18時より開催予定の交流会は、学生の悩む「研究者への道」を主題に、若手研究者2名をゲストに迎えて研究者キャリアパスについて熱く議論していきたいと考えています。学生や若手研究者だけでなく、ベテランの研究者の方々にもご参加いただき、大いに議論できたらと思います。飲み物食べ物片手にぜひふるってご参加ください! Zoom ブレイクアウトルーム機能を用いた二次会も予定しています。

<アンケートのお願い> ♪切り: 2021年5月28日 (金)

本交流会の企画の一環で、事前に研究者キャリアパスに関するアンケートを実施させていただきたく存じます。質問集は、プログラムのP7-8に掲載しておりますのでご確認ください。回答は下記URL又はQRコードからアンケートフォームにアクセスし、ご協力のほどよろしくお願い致します。

URL: <https://forms.gle/tfCXa664pNh9QAqCA>

QRコード



<大会主催>

根研究学会, 信州大学理学部

<問い合わせ先>

牧田直樹 (信州大学理学部) 〒390-8621 長野県松本市旭 3-1-1 E-mail macky@shinshu-u.ac.jp

<プログラム詳細> ★優秀発表賞エントリー

6月5日 (土)

09:30-09:50 開場

09:50-10:00 開会の挨拶・諸注意

【10:00-11:20 口頭発表 座長：間野吉郎】

10:00-10:20 口頭_01

イネ根系における主軸根の根端切除処理に対する補償生長作用の解析

河合翼^{1,2*}, 高橋宏和¹, Yinglong Chen², Kadambot Siddique², 犬飼義明³

¹名大・院生命農学, ²西オーストラリア大, ³名大・農国センター

10:20-10:40 口頭_02★

AA ゲノムを持つ野生イネ *Oryza glumaepatula* の種子根における形態と解剖学的特徴

江尻真斗*・塩野克宏

福井県立大学大学院生物資源学研究科

10:40-11:00 口頭_03★

根箱・ピンボード法を用いた野生イネ *Oryza glumaepatula* の根系評価

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

11:00-11:20 口頭_04★

異なるアーバスキュラー菌根菌接種がミナトカモジグサの成長と根系形質へ及ぼす影響

菅井徹人^{1*}・丸山隼人²・佐藤匠³・神山拓也⁴・市橋泰範³

¹森林総研北海道支所・²北大院農・³理研 BRC・⁴宇都宮大学

11:20-11:30 総合議論

12:00-13:00 お昼休憩

13:00-13:30 若手研究者企画 「研究者キャリアパスに関するアンケート結果 (交流会 0 次会)」

回答 URL: <https://forms.gle/tfCXa664pNh9QAqCA> (アンケート〆切 5/28)

【13:30-14:30 口頭発表 座長：平野恭弘】

13:30-13:50 口頭_05★

Equal reliance on rhizosphere effects among 55 woody species across three contrasting biomes

Lijuan Sun¹, Yuki Tsujii^{2,3}, Tianle Xu^{1,4}, Mengguang Han¹, Rui Li¹, Yunfeng Han¹, Dayong Gan¹, Biao Zhu¹

¹ Peking University, ² Macquarie University, ³ Kyushu University, ⁴ Chinese Academy of Sciences

13:50-14:10 口頭_06★

針葉樹の細根によるアンモニア態および硝酸態窒素吸収速度は根特性により規定されるのか?

伊藤拓生^{1*}・小田あゆみ²・暁麻衣子¹・増本泰河¹・牧田直樹¹

¹信州大学理学部・²信州大学農学部

14:10-14:30 口頭_07★

クロマツ苗の滞水解除後における回復応答

藤田早紀^{1*}・野口享太郎²・丹下健³

¹兵庫県立大学, ²森林総合研究所東北支所, ³東京大学

14:30-14:40 総合議論

14:40-15:00 休憩

【15:00-16:00 口頭発表 座長：野口享太郎】

15:00-15:20 口頭_08★

系統学種および菌根タイプの異なる樹種間における縮合型タンニンの集積特性比較

遠藤いず貴^{1,2*}, 小島実和³, 谷川夏子³, 中路達郎⁴, 大橋瑞江¹, 牧田直樹³

¹兵庫県立大学, ²公立千歳科学技術大学, ³信州大学, ⁴北海道大学

15:20-15:40 口頭_09★

針葉樹4種において細根系の根特性は根水透過性を規定する要因となるのか？

増本泰河*・暁麻衣子・伊藤拓生・牧田直樹

信州大学理学部

15:40-16:00 口頭_10★

あいち海上の森の異なる表層地質の土壌で生育するヒノキ細根特性

杵山哲矢^{1*}・谷川東子²・土居龍成¹・西村滯¹・吉江凜平³・林亮太²・千葉尚哉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, ³名古屋大学理学部

【16:00-16:35 口頭発表 座長：中路達郎】

16:00-16:20 口頭_11★

SfMを使用した樹木根の直径区分による形態解析

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^{3,5}・檀浦正子⁶・

大橋瑞江¹

¹兵庫県立大学, ²福知山公立大学, ³名古屋大学・環境研究科, ⁴名古屋大学・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・農学研究科

16:20-16:35 口頭_12

海岸クロマツ林の根系が硬い土壌層を突き抜けるためにかかる時間の推定

谷川東子^{1*}・安江恒²・池野英利³・藤堂千景⁴・山瀬敬太郎⁴・大橋瑞江⁵・檀浦正子⁶・

松田陽介⁷・平野恭弘⁸

¹名古屋大学・生命農学研究科, ²信州大学, ³福知山大学, ⁴兵庫県農水総合技術センター,

⁵兵庫県立大環境人間学部, ⁶京都大学・農学研究科, ⁷三重大学, ⁸名古屋大学・環境学研究科

16:35-16:45 総合議論

16:45-16:50 交流会の案内, 閉会

...

【18:00-19:20 根研交流会】

~学生の悩み「研究者への道」: 研究者キャリアパスの現状・未来について考える~

○企画・運営

江尻真斗 (福井県立大学大学院生物資源学研究科 博士後期課程)

河合翼 (名古屋大学大学院生命農学研究科 博士後期課程)

土居龍成 (名古屋大学大学院環境学研究科 博士後期課程修了 (現 兵庫淡路県民局))

18:00-18:05 【根研交流会】 企画者ご挨拶

18:05-18:25 角田智詞 様 (福井県立大学 助教) ご講演 (講演 15 分 + 質疑・準備 5 分)

18:25-18:45 菅井徹人 様 (森林総研 北海道支所 研究員) ご講演 (講演 15 分 + 質疑・準備 5 分)

18:45-19:15 研究者キャリアパスに関する質問コーナー

19:15-19:20 交流会閉会

...

19:30-21:00 【2 次会】 Zoom ブレイクアウトルーム機能を用いた少人数制の懇親会

6月6日 (日)

【09:00-09:45 口頭発表 座長：牧田直樹】

09:00-09:15 口頭_13

樹木細根の枯死判定のばらつき

大橋瑞江^{1*}・中路達郎²・牧田直樹³・野口享太郎⁴・檀浦正子⁵・福澤加里部²・平野恭弘⁶

¹兵庫県立大学環境人間学部・²北海道大学北方生物圏フィールド科学センター・³信州大学理学部・
⁴国立研究開発法人森林研究整備機構・⁵京都大学農学研究科・⁶名古屋大学環境学研究科

09:15-09:30 口頭_14

積雪減少が細根生産タイミングを早める：林床植生と上層木の競争関係の変化への示唆

福澤加里部^{1*}・館野隆之輔²・鶴川信³・渡辺恒大¹・細川奈々枝⁴・今田省吾⁵・柴田英昭¹

¹北大・北方生物圏セ, ²京大・フィールド研, ³鹿児島大・農, ⁴農環研, ⁵環境科学技術研

09:30-09:45 口頭_15

正月飾り用クロマツの細根長密度と土壤物理性の関係性

渡辺賢太*・村崎聡・石川友子

茨城県農業総合センター鹿島地帯特産指導所

【09:45-10:30 口頭発表 座長：塩野克宏】

09:45-10:00 口頭_16

根系形態と根呼吸に着目したイネの乾燥ストレス適応反応

仲田 (狩野) 麻奈^{1*}・三屋史朗²・江原宏¹・山内章²

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

10:00-10:15 口頭_17

イネのオーキシン関連変異体を用いた根系形成機構の解析

長谷川友美¹・河合翼¹・赤星良輔¹・Lucob-Agustin, N^{1,2}・安福航希¹・兒島孝明¹・西内俊策¹・

小川敦史³・仲田 (狩野) 麻奈⁴・佐藤萌子⁵・辻寛之⁵・山内章¹・犬飼義明^{4*}

¹名大院生命農学, ²PhilRice, ³秋田県立大生物資源科学, ⁴名大農学国際セ
⁵横浜市立大木原生物学研

10:15-10:30 口頭_18

ミニトマト養液栽培における生産量、品質、出液速度の品種間差

中野明正^{1*}・趙鉄軍²・菅野圭一³

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,
³農研機構 野菜花き研究部門

10:30-10:40 総合討論

10:40-10:50 休憩

10:50-11:50 総会

11:50-12:10 表彰式・閉会の挨拶

第 53 回根研究集会 交流会企画 -研究者キャリアパスに関するアンケート- 質問集

回答は、下記URLのアンケートフォームよりご協力のほどよろしくお願い致します。

回答 URL: <https://forms.gle/tfCXa664pNh9QAqCA> (アンケートページ 5/28)

【全員共通】

1. 6月5日の当日、交流会へはご参加されますか？
A. する・しない・検討中
2. 当てはまるご身分をお答えください。
A. 「学部生、修士課程学生」・「博士課程学生、博士号取得後10年以内の方」・
「博士号取得後10年以上の方」・「企業、研究機関の研究者 (学部または修士卒)」

【学部生、修士課程学生の方向け】

1. 現在の学年をお答えください
A. 学部3年生・学部4年生・修士1年生・修士2年生・その他
2. 現時点での卒業・終了後の進路予定をお答えください。
(学部生) A. 「修士課程進学後、博士課程進学」・「修士課程進学後、就職」・「就職」・その他
(修士課程学生) A. 「博士課程進学」・「就職」・その他
3. 博士課程への進学を(も)考えたことがありますか？
A. ある・ない
4. (3)で「ある」と回答された方 博士課程進学を考えたきっかけや理由を教えてください。(任意回答)
5. 博士課程進学を考えた時、何が一番の障壁になっていると感じますか？
A. 無事に博士号が取れるか・博士課程在籍中の経済的不安・博士号取得後の進路に関して・その他
6. (5)のご回答以外で、博士課程進学に障壁になっていると感じる要因をお答えください。(複数回答可)
A. 無事に博士号が取れるか・博士課程在籍中の経済的不安・博士号取得後の進路に関して・他にはない
7. その他に博士課程進学の障壁となっていると感じる要因がありましたらお答えください。(任意回答)
8. (5)-(7)でご回答頂いた障壁を取り除く上で、どのようなサポートが必要だと感じますか？ご自由にお答えください。(任意回答)

【博士課程学生、博士号取得後10年以内の方向け】

1. 現在のご身分をお答えください。
A. 博士課程学生・企業・研究機関研究者・ポスドク・大学教員・その他
2. 博士課程に進学して良かったと思うことを教えてください。(任意回答)
- 3-1. 博士課程進学前の時点で、「無事に博士号が取れるか」はどのくらい不安でしたか？
A. 懸念 小 (不安ではなかった) - 懸念 大 (かなり不安だった)
*5段階のうちあてはまる度合いを回答
- 3-2. 博士課程進学後、「無事に博士号が取れるか」という懸念は実際どうでしたか？
A. 予想通り問題なかった・思っていたより大丈夫だった・予想通り大変・予想以上に大変・その他
- 3-3. (3-2)のご回答に関して、そう感じた理由を教えてください。(任意回答)
- 3-4. 「無事に博士号が取れるか」という懸念を払拭するために博士課程進学前後に何を実践しましたか？
後輩へアドバイスがあればご回答ください。(任意回答)
- 4-1. 博士課程進学前の時点で、「博士課程在籍中の経済状況」はどのくらい不安でしたか？
A. 懸念 小 (不安ではなかった) - 懸念 大 (かなり不安だった)

*5段階のうちあてはまる度合いを回答

4-2. 博士課程進学後、「博士課程在籍中の経済状況」は実際どうでしたか？

A. 予想通り問題なかった・思っていたより大丈夫だった・予想通り大変・予想以上に大変・その他

4-3. 「博士課程在籍中の経済状況」の懸念を払拭するために博士課程進学前後に何を実践しましたか？後輩へアドバイスがあればご回答ください。(任意回答)

5-1. 博士課程進学前の時点で、「博士号取得後の進路」はどのくらい不安でしたか？

A. 懸念 小 (不安ではなかった)ー 懸念 大 (かなり不安だった)

*5段階のうちあてはまる度合いを回答

5-2. 博士課程進学後、「博士号取得後の進路」の懸念は実際どうでしたか？

A. 予想通り問題なかった・思っていたより大丈夫だった・予想通り大変・予想以上に大変・その他

5-3. 「博士号取得後の進路」の懸念を払拭するために博士課程進学前後に何を実践しましたか？後輩へアドバイスがあればご回答ください。(任意回答)

6. その他、博士課程進学前に感じていた懸念や進学後それがどうであったか、また進学後に遭遇した予期せぬ困難があればお答えください。(任意回答)

7. 学部生や修士課程学生が博士課程進学をする上での障壁を取り除くために、どのようなサポートが必要だと感じますか？ご自由にお答えください。(任意回答)

【博士課程学生、博士号取得後10年以内の方/企業・研究機関研究員(学部卒または修士修了)の方向け】

1. 現在のご身分をお答えください。

A. 大学教員・ポスドク・企業・研究機関研究員・その他

2. ご自身の研究分野で日本人博士課程学生数はどのように変化していると感じますか？

A. 増えている・変わらない・減っている・その他

3. 日本人博士課程学生数が変化している場合、どのような要因が影響していると考えられますか？(任意回答)

4. 現在の日本人博士課程学生数に関して、根の研究業界の活性化を考えた時に、どのような印象をお持ちですか？(現状で十分、増えた方がよいなど、またその理由)(任意回答)

5. 学生が博士課程に進学する上で障壁になっていると考えられる要因をお答えください。(複数回答可)

A. 無事に博士号が取れるか・博士課程在籍中の経済的不安・博士号取得後の進路に関して

6. 学部生や修士課程学生が博士課程進学をする上での障壁を取り除くために、どのようなサポートが必要だと感じますか？ご自由にお答えください。(任意回答)

7. 様々な不安要素がある中で、研究者になって良かったと思うことを教えてください。(任意回答)

【全員共通】

1. 根の研究ならではの苦勞があれば教えてください。(任意回答)

2. (他の分野と比較して) 根の研究をしていて良かったと思うことがあれば教えてください。(任意回答)

3. 本交流会では2名の若手根研究者(角田先生(福井県大), 菅井先生(森林総研))による講演を企画しています。博士課程進学や研究者のキャリアパスに関して、講演者や他の参加者とともに議論したい内容がありましたらご回答ください。(任意回答)

口頭_01

イネ根系における主軸根の根端切除処理に対する補償生長作用の解析

河合翼^{1,2}, 高橋宏和¹, Yinglong Chen², Kadambot Siddique², 犬飼義明³

1. 名大・院生命農学, 2. 西オーストラリア大, 3. 名大・農国センター

(kawai.tsubasa@j.mbox.nagoya-u.ac.jp)

土壌の圧縮等により主軸根の根端が傷害を受けると、補償的に側根の生育が旺盛になることが様々な植物種で知られている。この補償生長作用が強いほど土壌圧縮等へのストレス耐性を強化することができると考えられるが、どのような根系形態が補償生長作用の発揮に優れるのかは未だ明らかでない。そこで本研究では、大型作物根の形態解析が可能な Semi-hydroponic phenotyping system を用いて、イネにおいて主軸根の根端切除処理を連続的にを行い、根系の補償生長作用を解析した。はじめにイネ根系変異体を含む日豪イネ 20 系統を用いてコントロール条件下でのフェノタイプングを行い、対照的な根系形態を示した 6 品種に対して根端切除処理を行った。その結果、いずれの品種においてもコントロール区、根端切除区の間で総根長並びに地上部生育には差が見られなかった。一方、根端切除区では浅い層での根長分布が高くなり、また通常よりも直径の大きな L 型側根の割合が増加することが分かった。また、根全体の平均直径が大きいオーストラリアのイネ系統 YRL38 では、新たに生じた冠根の 50% を除去する冠根数低減処理によって、根端切除区での比根長および総根長が増加したことから、冠根数の低下によって補償生長作用を強化できる可能性が示唆された。

口頭_02

AA ゲノムを持つ野生イネ *Oryza glumaepatula* の種子根における形態と解剖学的特徴江尻真斗^{*}・塩野克宏

福井県立大学大学院生物資源学研究科 (*s2093001@g.fpu.ac.jp)

近年、地上部だけでなく地下部(根)に着目した育種の重要性が見出されている。作物の根は生育する環境や適応するストレスの種類によって最適とされる形態学的、解剖学的特徴が異なる(Uga Breed. Sci., 2021; Yamauchi et al., Breed. Sci., 2021)。そのため、根の育種には柔軟性が求められ、多様な遺伝資源の提案が必要とされる。これまでに我々は、南米を中心に分布する AA ゲノムを持つイネの野生種 *Oryza glumaepatula* から栽培イネ (*O. sativa*) にはみられない耐湿性に関わるユニークな形質を見出してきた(Ejiri et al., Plants, 2020)。 *O. glumaepatula* の 1 系統である IRGC105668 には栽培イネに染色体の一部を導入した染色体部分置換系統群が作出されており、この系統群を用いていくつかの遺伝子が同定されている(Yoshimura et al., Breed. Sci., 2012)。しかし、IRGC105668 系統の根の形質に関してはまだ知見がない。そこで本研究では根の形質に関わる多様な遺伝資源の提案に向け、 *O. glumaepatula* IRGC105668 系統の根がもつユニークな形態学的、解剖学的特徴の探索を試みた。実験ではイネの初期生育を支える種子根に着目し、染色体部分置換系統群の親系統である栽培イネ台中 65 号品種 (*O. sativa*) と野生イネ IRGC105668 系統 (*O. glumaepatula*) 間で、形態学的形質(側根および根毛の形成)と解剖学的形質(皮層と中心柱のサイズ比と通気組織、導管、スベリン層、リグニン層およびカスバリ線)について定量的に評価し比較した。詳細は発表にて報告する。

口頭_03

根箱・ピンボード法を用いた野生イネ *Oryza glumaepatula* の根系評価

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)

地球温暖化等に起因する食糧問題が深刻化している。食料問題の解決には劣悪な環境でも栽培できる、環境ストレス耐性作物の開発が必要である。野生イネは遺伝的多様性を持つことから育種素材として注目されている。これまでに、野生イネから病害虫抵抗性(Jena and Kush, Breed. Sci., 1990; Hirabayashi et al., Breed. Sci., 2010)などについてイネには無い新たな遺伝子が報告されている。野生イネの中でも、AA ゲノムを持つ *Oryza glumaepatula* はアマゾン川流域の洪水頻発地域に自生することから、高い耐湿性(過湿ストレス耐性)を持つと考えられている。本研究は *O. glumaepatula* の根系の形質評価を目的に実施した。我々は前回の根研究会で湛水条件での *O. glumaepatula* の地表根(地表面付近に伸長する不定根)形成能力について報告した。前回発表後、*O. glumaepatula* (IRGC105668)の地表根の発達が根箱を遮光するかどうかで異なるという結果が得られたので、根系の詳細な形質評価とともに報告する。実験には *O. glumaepatula*(IRGC105668)、比較対照としてイネ(T65)を用いた。植物体は透明な根箱と遮光した根箱で約30日間湛水(湛水深度5cm)または排水条件で生育させたものを用いた。育てた植物体を根箱・ピンボード法(神山ら、根の研究, 2017)により根系構成要素を壊さずに根系を採取し、WinRHIZOにより解析した。実験した結果、IRGC105668とT65ともに透明な根箱を用いた時と比べて地表根が増える傾向にあった。このことから、光の有無が地表根形成量に影響を与えていたことが示唆された。

口頭_04

異なるアーバスキュラー菌根菌接種がミナトカモジグサの成長と根系形質へ及ぼす影響

菅井徹人^{1*}・丸山隼人²・佐藤匠³・神山拓也⁴・市橋泰範⁵¹森林総研北海道支所²北大院農³理研BRC⁴宇都宮大学

(sugai922@affrc.go.jp)

アーバスキュラー菌根(AM)共生を活用した低投入型農業の生産性改善に期待が高まる中、AM菌と宿主植物が形成する菌根の機能解明が重要となる。先行研究は、AM菌のリン酸獲得機構や、菌根共生による根系形態への影響評価を通じてAM菌の接種効果を評価してきた。しかし、接種菌の種の違いが、菌根共生と根の形態発生の関係性に及ぼす影響や、その分子機構は不明である。本研究は、モデル植物のミナトカモジグサを、ガンマ線で滅菌した宇都宮大学実験圃場由来の黒ボク土を用いてポット栽培した。発芽処理後にポットへ移植する際、AM菌非接種区、また *Rhizophagus irregularis* (RI)接種区、*R. clarus* (RC)接種区を用意した。移植後26日及び40日の地上部及び地下部の新鮮重量、根の遺伝子発現、菌根形成率、根体積を測定した。接種効果は移植後40日の地上部新鮮重で認められ、また接種によって新鮮重あたりの根体積が低下したが、いずれも菌種間差は認められなかった。一方、菌根形成率は、RC接種区よりRI接種区で高かった。以上の結果は、地上部生育や根の形態に対するRC接種の潜在的な影響程度が、RI接種よりも比較的高い可能性を示唆している。発表では、元素分析や遺伝子の発現解析の結果も交えつつ、AM菌による菌根形成が宿主植物の生育や根の形態に対する影響の種間差について議論したい。

口頭_05

Equal reliance on rhizosphere effects among 55 woody species across three contrasting biomes

Lijuan Sun¹, Yuki Tsujii^{2,3}, Tianle Xu^{1,4}, Mengguang Han¹, Rui Li¹, Yunfeng Han¹, Dayong Gan¹, Biao Zhu¹
(biaozhu@pku.edu.cn)

Peking University, Beijing, China, Macquarie University, Sydney, Australia, Kyushu University, Japan
Institute of Genetic and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang, China

Rhizosphere effect (RE) is an interaction between plant and soil which not only affects soil carbon (C) and nutrient cycling but also plant performance and community structure. Yet, whether plants share a common reliance on RE as an essential nutrient-acquisition strategy is less known. We targeted 55 woody species from a temperate forest, a subtropical forest and a tropical common garden to testify the scaling exponent for correlations of microbial decomposition activities between the corresponding rhizosphere and bulk soils. Here we show the microbial decomposition activities had isometric correlations between bulk and corresponding rhizosphere soils, indicating an equal reliance of woody plants on REs. We also found negative correlations between microbial decomposition in bulk soils with the corresponding REs. We proposed a new *push and pull* model based on the trade-offs among RE and other nutrient-acquisition strategies which can bring nutrient-acquisition cost and plant carbon economics spectrum together in the future.

口頭_06

針葉樹の細根によるアンモニア態および硝酸態窒素吸収速度は根特性により規定されるのか？

伊藤拓生¹・小田あゆみ²・暁麻衣子¹・増本泰河¹・牧田直樹¹

1信州大学理学部・2信州大学農学部

(takumi.ito04@gmail.com)

本研究では樹木細根による無機態窒素(アンモニア態および硝酸態窒素)の獲得戦略を明らかにするために、吸収速度の直接的な評価を試みた。調査は8月に冷温帯の針葉樹林(長野県信州大学手良沢山演習林)で行い、対象樹種は外生菌根種のカラマツとアカマツ、内生菌根種のヒノキとスギの4樹種とした。細根を樹体につながつまま掘り出し、NH₄ClとKNO₃を含む窒素溶液に浸して90分間静置後、細根は形態特性の測定、窒素溶液は比色分析による濃度変化の測定を行った。樹木細根によるアンモニア態窒素吸収速度と硝酸態窒素吸収速度は、全樹種で硝酸態窒素よりもアンモニア態窒素の方が高くなった。アンモニア態窒素はカラマツが他の樹種よりも高くなった一方で、硝酸態窒素はカラマツ、アカマツよりもヒノキ、スギの方が高くなった。各窒素形態における吸収速度と細根特性の関係では、アンモニア態窒素で細根の比根長と正の相関関係が見られた一方で、硝酸態窒素は関係が見られなかった。このような窒素形態による違いが生じた理由として、アンモニア態と硝酸態の土壤中の利用性の違いが考えられる。今回の研究から対象とした樹木は土壤中での利用性が高いアンモニア態窒素を多く吸収し、より獲得するために根の形態特性を変化させていた。以上より、今回対象とした樹種はそれぞれの窒素形態に応じて吸収と根の形態特性を適応させるという獲得戦略を持つことが分かった。

口頭_07

クロマツ苗の滞水解除後における回復応答

藤田早紀¹, 野口享太郎², 丹下健³(¹兵庫県立大学, ²森林総合研究所東北支所, ³東京大学)
(sakif@shse.u-hyogo.ac.jp)

2011年の東日本大震災の津波により、東北地方沿岸部の海岸林は甚大な被害を受けた。被災した海岸林の再生作業は現在進行中であり、盛土を植栽基盤としてクロマツを中心として植栽が行われている。しかし、一部の造林地では、排水不良によって、降雨後の滞水発生が課題となっている。そこで、本実験では、異なる滞水期間を設定し、滞水期間が滞水解除後の回復に与える影響を明らかにすることを目的とした。2年生クロマツ苗を用い、(1)短期区(滞水7日間)、(2)中期区(18日間)、(3)長期区(32日間)の3つの滞水区と対照区(滞水無し)を設けた。長期区は7月末に滞水処理を開始し、その後順次中期区、短期区で処理を開始した(滞水処理=水位を地表面で維持)。8月末に全ての処理区で滞水処理を解除し、約4週間通常状態で生育させ、回復過程を調査した。本実験では、回復応答を細根の成長量、形態、吸水機能(蒸散速度で推定)と呼吸速度に着目して測定を行った。その結果、滞水処理開始後に中期区と長期区で蒸散速度が対照区に比べ低下した。滞水解除後には、短期区と中期区で1週間以内に対照区の蒸散速度と差異ない値を示した。対して、長期区では、蒸散速度が回復した個体と回復しなかった個体があり、回復個体では、回復まで約3週間要した。本発表では、中期区と長期区、また長期区の回復個体と回復できなかった個体の違いをそれぞれ細根の形態、吸水機能と呼吸速度に着目して考察する。

口頭_08

系統学種および菌根タイプの異なる樹種間における縮合型タンニンの集積特性比較

遠藤いず貴^{1,2}, 小島実和³, 谷川夏子³, 中路達郎⁴, 大橋瑞江¹, 牧田直樹³

1 兵庫県立大学, 2 公立千歳科学技術大学, 3 信州大学, 4 北海道大学

(* izok@shse.u-hyogo.ac.jp)

縮合型タンニン(CT)は、植物の構造的な防御において、また草食動物や環境ストレスに対する耐性において重要な化合物である。しかしながら、木本植物の細根内におけるCTの役割と分布についての詳細は不明である。木本植物の多様な種の細根におけるCTの役割を理解するために、異なる共生グループ(外生菌根および内生菌根)の20樹種の根組織に集積したCTの局在を調べ、中心柱および皮層との関係性を評価した。20種の成木の根系を北海道大学苫小牧研究林で採取した。根系を1次、2-3次、4次、4次より大きい次数根に分け、凍結横断切片を作成し、CTをパラジメチルアミノ桂皮酸アルデヒド溶液で染色した。顕微鏡画像から、皮層と中心柱の幅、CTの集積面積を測定した。CTの集積面積には、種全体の2次から4次根の中心柱の割合と有意な正の相関があり、皮層の割合と負の相関があった。また、内生菌根種と比べ、外生菌根種の次数の変化に応じたCT集積面積率の変動は大きかった。これらのことから、根端から二次成長へ移行する過程において、中心柱、皮層、CT集積の異なる発達パターンを、異なる共生グループで区別することができた。異なる共生グループにおいて、CTはコルク層形成前および中心柱および皮層の発達過程における特定の次数で、根の保護に役立つ可能性がある。

口頭_09

針葉樹4種において細根系の根特性は根水透過性を規定する要因となるのか？

増本泰河¹・暁麻衣子¹・伊藤拓生¹・牧田直樹

信州大学理学部

(t.masumoto21@gmail.com)

森林生態系における樹木細根(直径2 mm以下の根)の水吸収機能を評価し、根特性との関係性を明らかにすることは樹木の成長や生存を理解する上で重要である。本研究ではどのような根特性が樹木細根の水吸収機能の規定要因となるのか明らかにするために、針葉樹4種の細根系(10×10 cm程度の末端根)の根水透過性を直接的に評価し、その形態特性、化学特性、解剖特性との関係を調べた。根水透過性は組織内の水の通りやすさを示し、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いる。調査は冷温帯林に属する信州大学農学部付属手良沢山演習林で行った。対象樹種は落葉針葉樹、外生菌根種であるカラマツ、常緑針葉樹、外生菌根種であるアカマツ、常緑針葉樹、内生菌根種であるヒノキとスギの4樹種である。結果、4樹種の細根系の根水透過性には樹種間差があることが明らかとなった。種を超えて、細根系の根水透過性は根組織密度や根端の中心柱比と正の相関、平均根直径や窒素含有量、根端の皮層比と負の相関があった。特にこれらの特性の中で根水透過性は根組織密度との関係が強かった。樹木細根において根組織密度は組織の二次成長の程度を示すことから、輸送能力が高い細根系ほど水を通しやすと考えられる。本研究の結果は森林生態系において樹木細根系の根特性には樹木の水獲得戦略が反映されている可能性を示している。

口頭_10

あいち海上の森の異なる表層地質の土壌で生育するヒノキ細根特性

杵山哲矢¹・谷川東子¹・土居龍成¹・西村滯¹・吉江凜平¹・林亮太²・千葉尚哉³・平野恭弘¹¹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 ³名古屋大学理学部

(iriyama.tetsuya@d.mbox.nagoya-u.ac.jp)

愛知県瀬戸市あいち海上の森では、花崗岩類と砂礫層の表層地質間でヒノキの成長量に違いがみられる。しかし、その成長量を支配する要因については十分に解明されているとは言い難い。さらにヒノキ成長に影響を与える可能性のある根系評価は定量的になされていない。本研究は表層地質により成長差の見られる海上の森のヒノキ林において、その根系が表層地質の違いによりどのような影響を受けているかを明らかにすることを目的とし、ヒノキの樹高と幹成長、土壌物理特性、表層土壌化学特性および根量の比較などを行った。海上の森の花崗岩地域・砂礫層地域のヒノキ各4林分において、ヒノキの樹高と胸高幹直径を測定した。また、各林分4つの土壌断面を作成し、土壌断面と根系の様子をプラスチックシートにスケッチした。また各土壌層における硬度測定と試料採取を行った。土壌断面スケッチをもとに土壌断面の面積当たりの根数を算出した。また採取した土壌試料を用いて表層の交換性塩基濃度を測定した。

その結果、いくつかの土壌断面には明瞭な厚さを持つヒノキのルートマットが認められた。ヒノキ樹高や幹直径は花崗岩地域で砂礫層地域に比べ有意に大きかったものの、表層土壌の交換性塩基濃度に差は認められなかった。本発表では、表層地質間における根数やルートマットの厚さなどと、表層の交換性塩基濃度との関係性について議論する予定である。

口頭 11

SfMを使用した樹木根の直径区分による形態解析

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^{3,5}・檀浦正子⁶・大橋瑞江¹¹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、その構造はこれらの機能と密接に関係する。ただし、根系の構造計測は多大な人的・時間的労力を要し、計測後は解体されることが多く再利用が難しい。このことから、根系構造の効率的な計測と再利用可能な状態での保存方法が求められている。一方、近年 Structure-from-Motion (SfM) など、画像データから物体の三次元形態を再構成する技術が開発・利用されつつある。樹木根の形態計測にも SfM が用いられているが、その計測結果の検証は体積に限定され、他の形態情報に対しどの程度 SfM が適用可能かは評価されていない。本研究は、樹木根の基本的な形態情報の一つである根の直径が、SfM によりどの程度正確に計測できるか評価することを目的に実施した。まず、クロマツ根を対象に、SfM で得られた三次元データから各部の根の直径を計測した。次に、計測結果を直径に基づく階級 (<10mm, 10mm~20mm, ≥20mm) に分け、階級ごとに実測値と比較した。その結果、全階級において実測データと相関があったが、階級が小さいほど実測値との相対誤差は大きくなる傾向が見られた。このことは、SfM による計測精度が根の太さに依存する可能性があることを示唆している。

口頭 12

海岸クロマツ林の根系が硬い土壌層を突き抜けるためにかかる時間の推定

谷川東子¹・安江恒²・池野英利³・藤堂千景⁴・山瀬敬太郎⁵・大橋瑞江⁶・檀浦正子⁷・松田陽介⁸・平野恭弘⁹¹名古屋大学大学院生命農学研究科 ²信州大学農学部 ³福知山大学情報学部⁴兵庫県農水総合技術センター ⁵兵庫県立大環境人間学部 ⁶京都大学大学院農学研究科⁷三重大学大学院生物資源学研究科 ⁸名古屋大学大学院環境学研究科 (*, toko105@agr.nagoya-u.ac.jp)

東日本大震災において巨大津波が海岸クロマツ林を破壊した。地下水を嫌うクロマツは、地下水位が高い海岸では主根を深くまで伸ばせず、東北地方では垂直根の貧弱な個体の多くが流木化した。このため、海岸林の復興として「クロマツ根系の生育基盤」を厚めに確保するための盛土造成が広大な面積で行われている。しかし客土を締め固めた盛土では現在、クロマツ幼樹の成長が遅い現象が見られ、盛土内部が硬すぎることがその原因の 1つと推察されている。

樹木には、硬い土壌層にあたることで根の伸長速度をいったんゆるめたとしても、その後、長期にわたり有機酸などを供給し続け、土壌層に裂け目を生じさせ、あるいは既存の狭い裂け目を拡大し、そこから根を伸ばし生育を続けるというバイタリティがあると考えられる。我々はこれまでに、硬い土壌層を突破し、その下の石礫層まで、根を文字通り「ねじり込ませている」クロマツ 3 本の根系標本を得ている。そこで「硬い土壌層の上と下では、根の年齢にギャップがある」という仮説を導き、これを検証するために垂直根の年輪解析を行った結果を報告する。もしこの仮説が正しければ、現在、盛土で成長が著しく遅いクロマツ幼樹も、根が硬い層を突破した後は、盛土でも大きく育つ可能性があることが示される。

口頭 13

樹木細根の枯死判定のばらつき

大橋瑞江¹・中路達郎²・牧田直樹³・野口享太郎⁴・檀浦正子⁵・福澤加里部⁶・平野恭弘⁶
¹兵庫県立大学環境人間学部²・北海道大学北方生物圏フィールド科学センター³・信州大学理学部⁴
⁵国立研究開発法人森林研究整備機構⁶・京都大学農学研究科⁶・名古屋大学環境学研究科
 (Mail: ohashi@shse.u-hyogo.ac.jp)

樹木の細根は葉のように発生と枯死を頻りに繰り返すことで量や分布を調節し、必要な養水分を獲得している。細根の枯死で生じる根リターは、葉リターの供給量に匹敵するとされ、土壌の肥沃化をもたらす、腐植の一部となって地中に炭素を長期間固定するほか、土壌生物の食物連鎖網の形成にも寄与している。よって森林生態系の物質循環を表すモデルに、葉とは別個に細根の挙動を記述することが求められるが、細根の枯死プロセスを正確に評価した試みはほとんどない。その理由の一つに、土壌中に存在する根は、葉のような落下の有無やそのタイミングが分かりにくいこと、枯死に至る細根の形態学的、生理的特徴の変化が十分に理解されていないことなどが挙げられる。そのため、従来の根リター量の計測において、根の枯死の判定は計測者の目視による判断ことどまっていた。そこで本研究では、フィールドで採取した様々な状態のヒノキとカラマツの細根に対し、目視による枯死判定のばらつきと、形態、構造、成分的特徴との関係性を明らかにすることを試みた。その結果、細根の枯死判定には大きな個人差が認められ、原因として、根端数の低下による長さや表面積の低下、色味の変化などに対する実験者の評価のばらつきや目視による評価の困難さが関与していることが示唆された。

口頭 14

積雪減少が細根生産タイミングを早める：林床植生と上層木の競争関係の変化への示唆

福澤加里部¹・(北大・北方生物圏セ)・舘野隆之輔²・(京大・フィールド研)・鶴川信³・(鹿児島大・農)・渡辺恒大⁴・(北大・北方生物圏セ)・細川奈々枝⁵・(農環研)・今田省吾⁶・(環境科学技術研)・柴田英昭⁷・(北大・北方生物圏セ)
 連絡先(caribu@fsc.hokudai.ac.jp)

地球温暖化に伴う高緯度域での積雪減少が森林の細根動態に及ぼす影響を明らかにするため、北海道東部の冷温帯林において積雪除去操作を行い、その前後でスキャナを用いた土壌断面観測により細根根長、生産、枯死を測定した。対象森林を構成するミズナラとミヤコザサ(以下ではササと呼ぶ)の細根動態を調べた。除雪処理は全細根およびササ細根の生産ピークのタイミングを約1か月早めた。また、細根生産において除雪処理と植物種の交互作用は有意であったことから、除雪後のササ細根生産の促進によりミズナラとの競争におけるササの優位性が高まることが示唆された。一方、除雪処理により細根枯死は増加せず、両種とも土壌凍結に対する耐性を有することが示された。除雪処理による融雪時期の早まりがササにとっての生育期間を延長した。この林床環境の変化が春先のササの光合成期間を延長し、細根生産のタイミングを早めたと考えられた。積雪減少に対する2種の応答の違いにより上層木と林床植生の競争関係が変化し、それが森林生態系の純一次生産や炭素・窒素循環など生物地球化学プロセスに影響を及ぼす可能性がある。

口頭_15

正月飾り用クロマツの細根長密度と土壌物理性の関係性

渡辺賢太・村崎聡・石川友子

茨城県農業総合センター鹿島地帯特産指導所

(watanabe.ke@pref.ibaraki.lg.jp)

茨城県東南部では、太平洋沿岸の砂質土壌を利用した切り枝用クロマツの生産が盛んであるが、露地での密植栽培であるため生育のばらつきが大きく、収穫作業時の課題となっている。そこで、本研究では、クロマツの生育のばらつきが発生する原因として土壌物理性の影響を検証するため、土壌物理性と、養水分吸収に重要な役割を担う直径 2mm 以下の細根の根長密度との関係を明らかにした。調査は、現地ほ場において生育良好地点と不良地点を達観で選定し、土壌貫入抵抗値、飽和透水係数を測定するとともに、深さ 15cm 単位で格子法による根長密度を調査し、その関係性を検証した。その結果、良好地点は不良地点と比較して、深さ 15cm 以下で土壌貫入抵抗値が低く、飽和透水係数が高かった。根長密度は深さ 15cm 以下で良好地点の方が顕著に高かった。以上のことから、クロマツの生育には細根の根長密度が影響していること、少なくとも深さ 15cm 以下の土壌硬度や透水性といった物理性が影響していることが示唆された。今後は、土壌物理性を変えた実験系で因果関係を明確にするとともに、クロマツの根系分布に影響している可能性が考えられる地下水位についても、土壌水分の推移も含めた調査を実施していく予定である。

口頭_16

根系形態と根呼吸に着目したイネの乾燥ストレス適応反応

仲田(狩野)麻奈^{1,2}・三屋史朗³・江原宏¹・山内章³

名古屋大学農学国際教育研究センター、名古屋大学大学院生命農学研究科

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

畑作物において、養水分ストレス条件下で形成される根の通気組織は、根の呼吸による代謝コストを抑え、収量増加に貢献することが報告されている。水稻の土壌乾燥ストレス適応性においても、同様の現象がおきているのかどうか、土壌乾燥ストレスに対するイネ根系の応答として、根の外部形態と内部組織形態と呼吸速度との関係性について定量的に評価した。これまでの研究で、軽度な乾燥ストレス条件下で、イネ品種日本晴と比較して生育が有意に優れるイネ系統を用いた。処理区に湛水区(対照区)と乾燥ストレス区を設け、ポットと塩ビチューブを用いて土耕条件で栽培した。根の呼吸速度を測定には、赤外線 CO₂アナライザー(GMP314, ヴァイセラ社製)を用いて計測した。根の呼吸速度は、種子根(古い根)より上位節根(新しい根)で高く、根齢に関わらず乾燥ストレスによって増加した。乾燥ストレス条件下で、地上部、根系発育ともに抑制程度の小さいイネ系統では、根の呼吸速度が小さい、根軸の中央部から先端部にかけて通気組織形成量が高い、側根の分枝指数が高いといった特徴があった。以上の結果より、乾燥ストレスに対する適応性の高いイネは、同条件下において、積極的な通気組織形成によって根の呼吸量を減らし、側根発育を促進することで、水吸収能さらには乾物生産能の維持につながっていることが示唆された。

口頭_17

イネのオーキシン関連変異体を用いた根系形成機構の解析

長谷川友美¹・河合翼¹・赤星良輔¹・Lucob-Agustin, N.^{1,2}・安福航希¹・兒島孝明¹・西内俊策¹・小川敦史³
・仲田(狩野)麻奈⁴・佐藤萌子⁵・辻寛之⁵・山内章¹・犬飼義明^{4*}

1) 名大院生命農学, 2) PhilRice, 3) 秋田県立大生物資源科学, 4) 名大農学国際セ, 5) 横浜市立大木原生物学研
(連絡先 inukaiy@agr.nagoya-u.ac.jp)

これまでに我々は、根系の発育が優れるイネ *outstanding rooting1 (our1)* 変異体を作成・選抜し、*our1* 遺伝子は主軸根の伸長や側根発育を促すことで節水栽培下にて水吸収能力を高く維持し、地上部生育および収量の維持に貢献することを見出した。そこで本研究では、*our1* 変異体における優れた根系発育機構の解明を試みた。本変異体では、野生型に比べ重力応答能が低下する傾向が見られた。また、オーキシン誘導性遺伝子の発現量が *our1* 変異体で低下し、逆にオーキシンにより発現が抑制される遺伝子の発現量が増加していた。一方、根系全体におけるオーキシン含量には本変異体と野生型間に有意な差は見られなかった。本変異体の原因遺伝子の単離を試みた結果、*OURI* 遺伝子は *bZIP* 遺伝子ファミリーに属する転写因子をコードしていた。以上のことから、本変異体では *bZIP* 型転写因子の変異によるオーキシン信号伝達の抑制を通して、根系発育が促されると考えられる。本発表では、これまでに用いてきた他のイネ変異体の解析結果も含め、オーキシンによる根系形成機構の到達点について紹介したい。

口頭_18

ミニトマト養液栽培における生産量、品質、出液速度の品種間差

中野明正^{1,2}・趙鉄軍²・菅野圭一³, 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, 3: 農研機構 野菜花き研究部門
(anakano@chiba-u.jp)

日本のミニトマトの出荷量は 2019 年には約 14 万トンになり、70 万トンあまりある日本のトマト生産の重要な一角を占める。本研究ではさらに需要の伸びが予想されるミニトマトについてより高い生産性を達成するための基礎的知見を得るため、養液栽培における根系の寄与について品種間差を評価した。供試品種は CF ブチぶよ(渡辺採種場)、千果(タキイ種苗)、サンチェリーピュア(トキタ種苗)、キャロル 10(サカタのタネ)、小鈴 SP(みかど協和)、アイコ(サカタのタネ)、トレモロ(ENZA)、純あま(サントリーフラワーズ)の 8 品種とした。播種日は 2015 年 7 月 13 日、苗テラス(三菱ケミカルアグリドリーム)で 20 日間育苗し、ロックウールキューブで 10 日間二次育苗し、8 月 12 日に農研機構内太陽光型植物工場内に定植した。培地はロックウールスラブを使用し大塚 SA 処方定植時の EC を 1.0 dS・m⁻¹ とし徐々に上昇させ最終的に 2.8 dS・m⁻¹ とした。収穫は同年 9 月 18 日から 2016 年 4 月 21 日まで継続し、果実重量、糖度等を測定した。栽培終了時に出液速度を測定した。大玉トマトで報告されているように、収量と糖度には負の相関、収量と出液速度には正の相関が認められた。これら結果は根からの水供給がミニトマトでも収量と品質に影響することを示した。特にミニトマトではフードロスを引き起こす裂果も根圧との関係の存在が予想されており、今後詳細に評価し生産性を最大化する根圏環境制御法を確立する。

2022—2023 年度 根研究学会会長選挙の結果について

選挙管理委員長（事務局長） 島村聡

根研究学会会則の第 8 条，第 10 条および第 11 条に基づき，前号において来期（2022 年 1 月 1 日—2023 年 12 月 31 日）の根研究学会会長選挙の告示を行ない 2021 年 7 月 1 日—7 月 30 日に立候補を受け付けました。立候補届けは，中野明正会員（千葉大学・特任教授）からの 1 件のみでした。これにより，来期の会長は，中野明正会員に決定しました。

会長選挙 立候補届

氏名：中野 明正（ナカノ アキマサ） 生年：1968 年

連絡先（電子メール）：anakano@chiba-u.jp

（住所）：〒277-0882 千葉県柏市柏の葉 6 丁目 2-1

（所属）：千葉大学 学術研究・イノベーション推進機構



【取り組み内容】

モットーは「園芸イノベーションで世界を豊かに」。技術士（農業），土壤医の資格を持つ他，野菜ソムリエ上級プロとして，野菜・果物，とくに「根」の不思議や楽しみ方を，老若男女にわかりやすく伝えることをめざしています。

研究の方向性としては，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实践，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』を創成，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。

【根研究学会の運営に対する抱負】

根研究学会においては，今まで評議委員や会誌「根の研究」の編集委員長を務めさせていただきました。今回初めての会長立候補となります。

運営に関しては，まず①「根」にご関心のある多様な方々が，気軽に集える風通しの良い「場」の形成に努めていきます。特に「根研究集会」は参加しやすく質問や議論がしやすい場という発足以来の伝統ある風土を大切にしつつ，さらに分野や世代に広がりのある取り組みを促していきたいと考えています。

また，会員数の減少は，多くの学会で共通の悩みだと思いますが，②特に若い研究者や学生に関心を持っていただける学会づくり，③社会に対して，根の役割や重要性をアピールする，新たな連携の取り組みなどを進めていきたいと考えています。

「根研究学会，ユニークだね」と言ってもらえる運営をめざします。

Root Research 根の研究

編集委員長	小川 敦史	秋田県立大学生物資源科学部
副編集委員長	中野 明正	千葉大学
	福澤加里部	北海道大学北方生物圏フィールド科学センター
編集委員	岩崎 光徳	農研機構・果樹茶業研究部門
	宇賀 優作	農研機構・次世代作物開発研究センター
	亀岡 笑	酪農学園大学循環農学類
	唐澤 敏彦	農研機構・中央農業研究センター
	神山 拓也	宇都宮大学農学部
	辻 博之	農研機構・北海道農業研究センター
	仲田(狩野)麻奈	名古屋大学大学院生命農学研究科
	松波 麻耶	岩手大学農学部
	松村 篤	大阪府立大学大学院生命環境科学研究科
	南 基泰	中部大学応用生物学部
	森 茂太	山形大学農学部
	山崎 篤	農研機構・九州沖縄農業研究センター

事務局 〒104-0033 東京都中央区新川 2-22-4 新共立ビル 2F
株式会社共立内 根研究学会事務局
Tel : 03-3551-9891
Fax : 03-3553-2047
e-mail : neken2021@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 30 巻 第 3 号 2021 年 9 月 15 日印刷 2021 年 9 月 20 日発行
発行人: 平野恭弘 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町
名古屋大学大学院環境学研究科
印刷所: 株式会社共立 〒104-0033 東京都中央区新川 2-22-4 新共立ビル 2F

Root Research

Japanese Society for Root Research

Original Paper

Increase of root dry weight of strawberry by simultaneous application of cool air and CO₂ and evaluation using carbon stable isotope ratio

Akimasa NAKANO, Chizuru OHKAWA, Shie KURODA and Teppei KAWAGUCHI 53

Relationship between root activity and carbohydrate distribution between scion and rootstock in grafted mango trees under flooding

Akira SAEKI and Naoto IWASAKI 58

Root system of the giant *Cryptomeria japonica* tree collapsed at Shinmei shrine in Okute town, Gifu, in July 2020.

Yasuhiro HIRANO, Kazuki NANKO, Ryuusei DOI, Rei NISHIMURA, Tetsuya IRIYAMA and Toko TANIKAWA · 65

Education

Measurement of plant tissue porosity: III. Cross-section method

Yasuyuki NOMURA, Katsuhiko SHIONO, Satoshi SHIMAMURA and Takaki YAMAUCHI 76