

Root Research

ISSN 0919-2182
Vol.27, No.4
December 2018

Japanese Society for Root Research

目 次

【巻 頭 言】

会員の皆様へ 93

【原著論文】

ドライフォグ噴霧耕装置で栽培した多収性イチゴ‘紅ほっぺ’における根の発育特性

望月佑哉・村上望・田淵なな・荻原勲 95

【情 報】

菜根譚 野菜の根の話 2. 土・牛・微生物

中野明正 101

【報 告】

第 49 回根研究集会に参加して

黒澤陽子 102

第 49 回根研究集会プログラム 103

第 49 回根研究集会発表要旨 108

チガヤの 2 生態型とその F1 雑種における根の通気組織の発達程度の評価

野村康之 128

【会 告】

根研究学会「苺住」国内研修支援の募集 129

「根の研究」第 27 巻 総目次 131

根の研究
根研究学会(JSRR)

会員の皆様へ



事務局からのお知らせ

1. 第49回根研究集会の開催と2018年度根研究学会賞の授賞報告

10月27日～10月28日に森林総合研究所東北支所で第49回根研究集会が開催されました。野口享太郎実行委員長，ならびに山本岳彦・馬場隆士・松波麻耶実行委員の皆様のおかげをもちまして開催することができました。ありがとうございました。また「津波を受けた海岸防災林の再生にむけた取り組みとその現状」をテーマとして，森林総合研究所の小野賢二氏による「盛土工により造成された海岸防災林生育基盤の特徴」および野口宏典氏による「人工造成土壌の硬さとクロマツの根系成長」の特別講演も開催されました。詳しくは本号に掲載の報告をご覧ください。また，学術功労賞（間野吉郎氏）と学術特別賞（小池孝良氏）の授賞式と受賞記念講演を執り行いました。今号に受賞講演の講演要旨を掲載しております。優秀発表賞については，和田竜征氏，桑辺七穂氏，黒澤陽子氏の3名が受賞しました。

2. 2019年の根研究集会

・第50回根研究集会

愛知県名古屋市の名古屋大学で2019年11月23日（土）～24日（日）に開催する予定で，山内章会員に企画をお願いしています。2019年度の集会は1回の開催ですので，ご注意ください。

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. 名簿データ更新のお願い（異動のないかたもご協力下さい）

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

5. 電子版会誌のダウンロードについて

2018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>

6. 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

7. 根研ロゴの使用について

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

8. 会費納入のお願い

2018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（2018年）： 電子版個人 3,000円、冊子版（+電子版）個人 4,000円、冊子版団体 9,000円
（年度は1月-12月です）

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

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

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

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

- メールアドレス 事務局：neken2018@jsrr.jp 『根の研究』編集委員長：editor2018@jsrr.jp
Plant Root 編集委員長：editor2018@plantroot.org
- Web サイト 根研究学会：<http://www.jsrr.jp/>
Plant Root：<http://www.plantroot.org/>

ドライフォグ噴霧耕装置で栽培した多収性イチゴ‘紅ほっぺ’における根の発育特性

望月佑哉^{* * 1)}・村上望²⁾・田淵なな²⁾・荻原勲^{* 1,2)}

1) 東京農工大学大学院連合農学研究科

2) 東京農工大学農学部

要 旨 : ドライフォグ噴霧耕装置で‘紅ほっぺ’および‘さちのか’を栽培し, 多収性イチゴである‘紅ほっぺ’の根の発育特性を一次根から発生する細根の本数, 細根の伸長速度, 呼吸速度および細根の内部形態から調査した. 一次根1本あたりの細根の本数は, ‘紅ほっぺ’が‘さちのか’に比べて多く, ‘紅ほっぺ’は一次根の先端部だけでなく, 中間および基部からも細根が多く発生する特性を示した. 細根の直径や伸長速度は両品種間で有意な差はみられなかったが, 発生10日目の細根において‘紅ほっぺ’の細根の呼吸速度が‘さちのか’のそれよりも早かった. さらに, ‘紅ほっぺ’は根毛の発生数が‘さちのか’に比べて多い傾向を示した. 以上の結果から, ‘紅ほっぺ’は一次根1本あたりの細根数, 特に基部から多く根が発生するため, 株あたりの根系の表面積が大きくなり, 出液速度が速くなると考えられた.

キーワード : 根毛, 細根活性, 細根本数, 直径, 養液栽培.

Morphological characteristics of root development in a high-yielding strawberry cultivar (*Fragaria × ananassa* Duch.) ‘Benihoppe’ grown under dry fog cultivation system : Yuya MOCHIZUKI^{**1)}, Nozomi MURAKAMI²⁾, Nana TABUCHI²⁾ and Isao OGIWARA^{*1,2)} (¹⁾United Graduate School of Agricultural Science, Tokyo University of Agriculture and Technology, Saiwaicho, Fuchu, Tokyo 183-8509, ²⁾Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Saiwaicho, Fuchu, Tokyo 183-8509)

Abstract : To clarify the characteristics of root development in high-yielding strawberry ‘Benihoppe’, we investigated the number, elongation rate, respiration rate and the internal morphology of the fine root in ‘Benihoppe’ and ‘Sachinoka’ grown under dry fog cultivation system. Fine root volume per primary root of ‘Benihoppe’ is larger than that of ‘Sachinoka’. ‘Benihoppe’ seemed to possess character of root foramation; many roots generated not only from the tip of the primary root but also from the middle and the base. There was no significant difference in thickness and elongation rate of the fine root between the two cultivars, but the fine root respiration rate of ‘Benihoppe’ was higher than that of ‘Sachinoka’ at 10 days after rooting. In addition, from the observation of the internal morphology, ‘Benihoppe’ showed a tendency to be greater in the number of occurrences of root hair comparing to ‘Sachinoka’. The results indicate that ‘Benihoppe’ possesses a large number of fine roots per primary root. Therefore, we concluded that ‘Benihoppe’ is a high-yielding because of large surface area of the root system which enhances to absorb nutrient solution.

Keywords : Fine root activity, Hydroponics, Number of fine root, Root hair, Thickness.

緒言

近年, イチゴの作付面積および収穫量は減少傾向にあり, 単位面積あたりの収量増加が望まれている(森下, 2011). イチゴ品種‘紅ほっぺ’は2002年に静岡県で育成され, 親品種である‘章姫’および‘さちのか’よりも, 収量がそれぞれ15%および59%高いことが報告されている(伏原, 2005). Mochizuki et al. (2013, 2014)は, ‘紅ほっぺ’の多収性の要因を地上部および地下部の特性に着目して解析してきた. その結果, ‘紅ほっぺ’

は細根本数が多く, 出液速度が速い特性を示した.

森田・阿部(1999)は, 根系の形態が根量と分布の様相の組み合わせによって把握できること, さらに, それらは根の本数, 根長, 根の伸長方向の組み合わせによってそれぞれ規定されていることを述べている. キャベツでは品種によって根の形態が異なること(田中・嶋田, 1996), トマト, トウモロコシ, インゲン, キュウリはアンモニア態窒素が多いと, 根が太く短くなる(森次・河崎, 1981), イチゴでは根温を高くすると根が細根化する(山下・荒木, 2003)といった報告があるよう

2018年10月18日受付 2018年11月30日受理

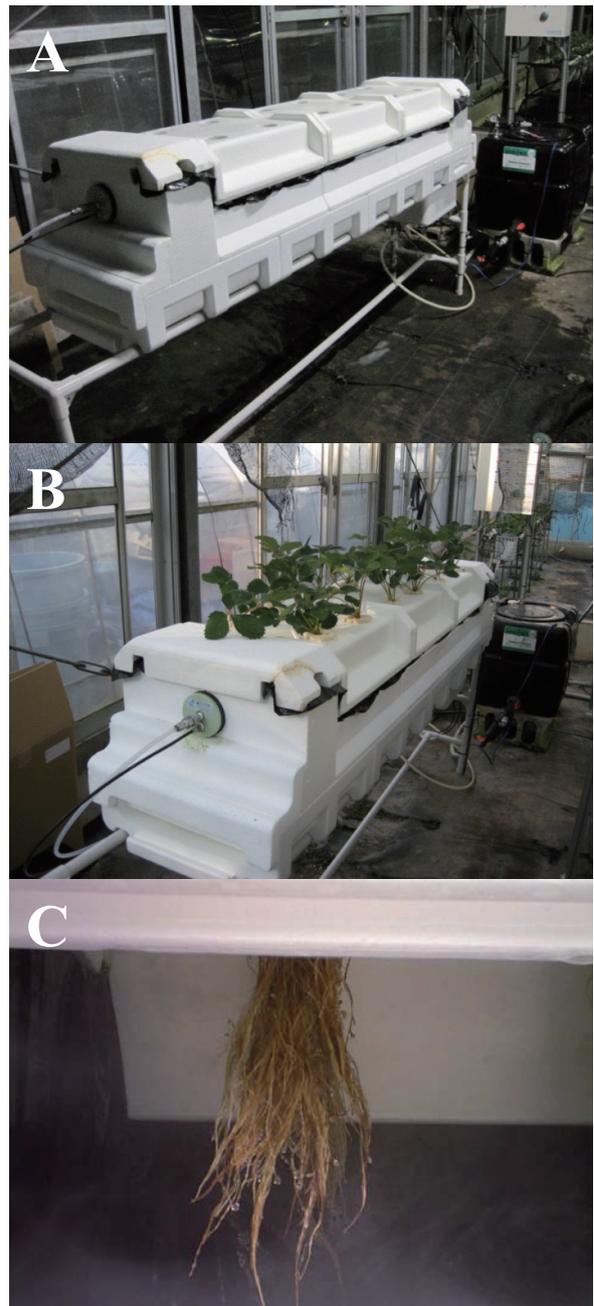
* 連絡先 〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8 Tel: 042-367-5673 E-mail: ogiwar@cc.tuat.ac.jp

** 現在: 茨城大学農学部 本稿は, 東京農工大学大学院連合農学研究科提出の博士論文の一部に, 加筆修正を行った.

に、イチゴでも品種および環境要因によって根の形態が異なることが予想される。従って、‘紅ほっぺ’において細根本数が多い要因を明らかにするためには、まず細根の発生数と形態に着目した調査が必要である。従来から、根系の機能と根量の間には密接な関係があると考えられてきたが、根系を形成する個々の根にはそれぞれライフサイクルがある(森田, 2003)。また、根系全体の機能は個々の根の老化とともに変化していくため、一概に根系の機能と根量を結びつけるのが難しい場合もある(森田, 2003)。イチゴの根系分布は収穫開始期に最大となり、収穫最盛期を迎えるころには衰退し、その後、気温の上昇とともに再び増加する(峰岸ら, 1982)といったように、根系全体の推移は知られている。しかし、個々の根のライフサイクルに着目して、根の老化について観察した報告はなく、細根の多かった‘紅ほっぺ’の根の動態は不明である。

しかしながら、植物の根は通常土中に存在するため、同一個体の根系を非破壊かつ経時的に観察、調査することは困難である。これまでは、モノリス法などを利用し(Abe and Morita, 1994)根系の推定が行われてきた。根の乾物量の測定や形態を調査するためには洗浄して根と土を分ける解剖学的方法がとられてきたが、これらの方法は多大な労力を要する。また、この方法では同一個体について継続的に根量を正確に測定できない。近年では中性子ラジオグラフィ(Nakanishi and Matsubayashi, 1997)およびアコースティック・エミッション法(Shimotashiro et al., 1998a,b)などが挙げられるが、原子炉などの施設のみで実験可能である(中西, 1997)ことから、より簡便かつ迅速に測定できる手法が求められる。また、非破壊的に根量を測定する方法として、静電容量を用いる方法が提案されており(Dalton, 1995)、根量と静電容量との相関関係から、根量の非破壊的測定が可能であることが報告され、トウモロコシ、ナタネ、エンバク(Chloupek, 1972)、ハナモモ(Tsukahara et al., 2009)、イチゴ(望月ら, 2011)といった様々な作物で調査されているが、植物体に電極を挿入する必要があるため、完全な非破壊とは言えない。

根の発育や発生メカニズムを調査する方法として水耕栽培も考えられるが、イチゴは他の作物に比べて根の酸素要求量が高いため(位田, 1953)、根が傷みや早く栽培が不安定であると言われている(山元ら, 1991)。しかし、福田ら(2012)は、噴霧耕栽培装置を用いて四季成り性イチゴの栽培試験を行い、慣行栽培と同程度の収量が得られることを報告している。この噴霧耕装置(AgroAKI®)は平均粒子径が約 $10\ \mu\text{m}$ と、通常の霧の $40\ \mu\text{m}$ と比較して細かい霧、ドライフォグと呼ばれており、培地を用いず、かつ酸素を十分に供給できる。この噴霧耕栽培装置でイチゴを栽培することに



第1図 ドライフォグ噴霧耕装置(AgroAKI®)。
A: 定植前, B: 定植後, C: 噴霧耕装置内の根。

より、イチゴの根系の発達をリアルタイムで観察できることが期待でき、‘紅ほっぺ’の細根本数が多い要因を解析することができると考えられる。そこで本研究では、ドライフォグ噴霧耕装置を用いて‘紅ほっぺ’および‘さちのか’を栽培し、根の発育を個々の根に着目して比較し、‘紅ほっぺ’の細根本数が多い要因を解析した。

材料および方法

供試品種には、‘紅ほっぺ’および‘さちのか’を用いた。試験は2013年および2014年の2回(2作)行った。

2013年10月27日および2014年9月18日に東京農工大学農学部(東京都府中市)のガラス温室に設置したドライフォグ栽培装置(AgroAKI®, 株式会社いけうち)(第1図)に定植した。ドライフォグ栽培装置は、栽培ベッドが2mであり、コンプレッサーの圧力は0.3MPaに調整した。液肥は大塚ハウス1号および2号(OATアグリオ株式会社)をEC 0.5 dS/m, pH 5.5に調整して噴霧した。噴霧時間は、晴天日は昼間(7時~19時)7分噴霧・5分休止、夜間(19時~7時)10分噴霧・2分休止のサイクルに、曇天日および雨天日は昼間5分噴霧・7分休止、夜間10分噴霧・2分休止のサイクルに設定した。また、根圏温度の比較のために同温室において、鹿沼土、パーミキュライトおよびピートモスを1:1:1の比率で混合した培地を充填したプランター(縦29cm×横75cm×深さ23.5cm, 体積28L, アップルウェア株式会社)に2条植えで8株を定植した高設土耕栽培のイチゴを用いた。肥料は元肥として石灰を培地10Lあたり2g施用した。ガラス室内での灌水は、大塚ハウス1号および大塚ハウス2号を用い、大塚1/2A処方でEC 0.6(開花前)から1.2(収穫期), pH 6.0から6.5に調整した養液を排液率がほぼ30%になるようにドリップチューブで与えた。

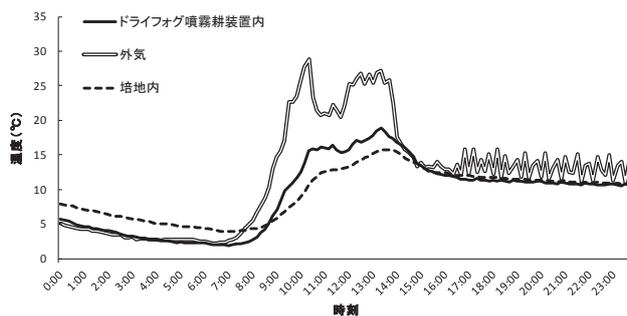
栽培管理は、10月中旬にガラス室の側窓を閉鎖し保温を開始するとともに、蛍光灯による電照(17時から21時まで, 1時から2時まで)を行った。11月上旬から夜温が5℃以下にならないようにカーテンを天張り、また、暖房機を用いて加温した。

1. ドライフォグ噴霧耕装置内とプランター培地内の温度の比較

ドライフォグ噴霧耕装置内の温度と培地内の温度を確認するために、2013年11月29日に熱電対温度センサー(TCTU2, 株式会社フィールドプロ)を用いてドライフォグ噴霧耕装置内の温度とプランター培地内の温度の日変化を測定した。

2. 細根の発生部位、本数および直径の比較

細根の発生部位および本数の比較は、2014年11月24日に両品種3株ずつを用いて行った。各株あたり約20cmの一次根を3本無作為に選び、そこから発生する細根の本数を一次根の部位別に数えた。この際、一次根の全長を100とし、クラウン側から30%を基部、次の40%を中間部、先端30%を先端部とした。なお、本試験に供試した細根は、一次側根および二次側根の内、直径が概ね1mm以下のものを用いた。細根の直径は、2013年12月1日に両品種3株ずつについて、長さが10cm以上ある細根を25本無作為に選び測定した。



第2図 ドライフォグ噴霧耕装置内、培地内および外気温度の日変化。

3. 細根の伸長速度および呼吸速度の比較

細根の伸長速度および呼吸速度の比較は、2014年12月から2015年1月に発生した細根を用いた。目視で細根の発生が確認できた日を0日とし、細根発生3, 6, 9および12日目の細根を試料として用いた。伸長速度は各調査日ごとに印をつけた細根の写真をデジタルカメラ(WG-3, リコーイメージング株式会社)で撮影し、画像解析ソフト(Image J)を用いて計測した。細根の呼吸速度の測定は発生10日, 20日および30日後の細根を使用した。測定方法はMochizuki et al. (2014)と同様の方法で行った。

4. 細根の内部形態の比較

細根の内部形態は、2015年1月19日に調査した。発根から20日目の細根を採取し、サフラニンおよびファストグリーンで二重染色した切片を作成した。細根をカミソリで切断し、スライドガラス上でサフラニンにより1分間染色した後、シャーレ内で蒸留水により30秒水洗した。水洗した根断面を再びスライドガラス上でファストグリーンにより1分間染色し、シャーレ内で蒸留水により30秒水洗した後、光学顕微鏡を用いて観察した。

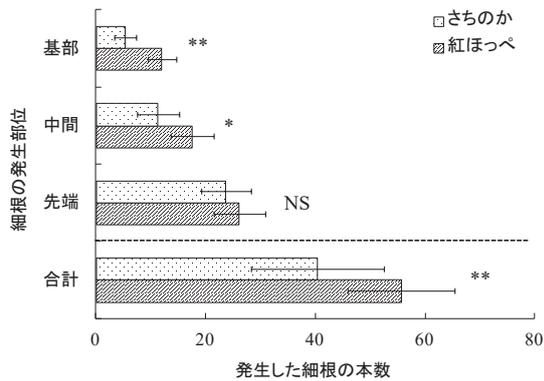
結果

1. ドライフォグ噴霧耕装置内とプランター培地内の温度の比較

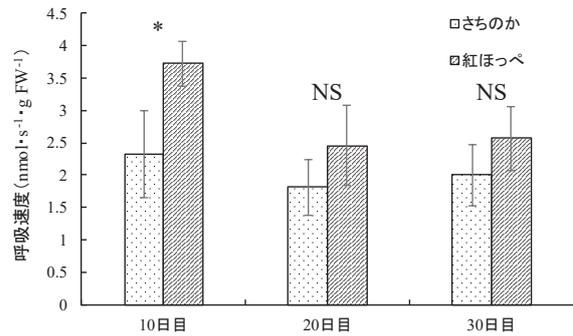
ドライフォグ噴霧耕装置内の温度は、培地内の温度に比べて日中は2~3℃高く、夜間は2~4℃低かった。しかし、暖房機が運転している状況では夜間の温度に相違はなかった(第2図)。

2. 細根の発生部位、本数および直径の比較

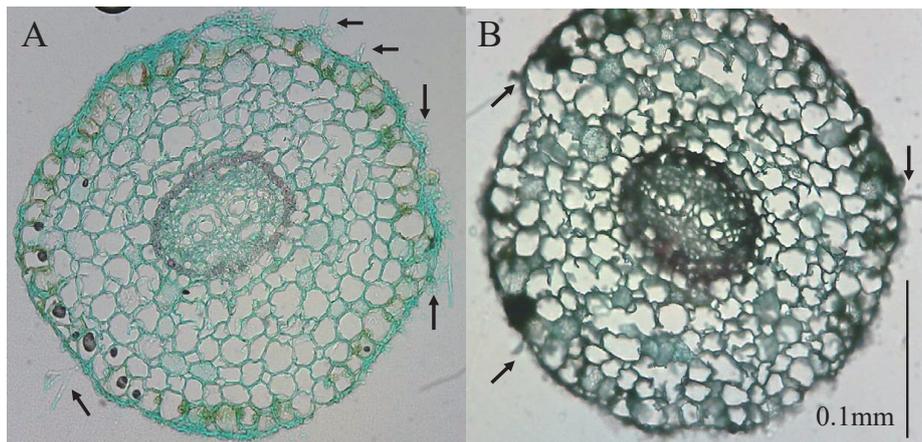
一次根1本当たりの細根の合計発生数をみると、'紅ほっぺ'の細根発生数は'さちのか'のそれよりも有



第3図 ‘紅ほっぺ’ と ‘さちのか’ における一次根から発生する細根の発生部位および一次根1本あたりの細根発生数。図中のバーは標準偏差を示す。NS, * および ** は t-検定によりそれぞれ品種間に有意差なし、5% および 1% 水準で有意差があることを示す (n=9)。



第4図 ‘紅ほっぺ’ と ‘さちのか’ における細根の呼吸速度の比較。図中のバーは標準偏差を示す。NS および * は t-検定によりそれぞれ品種間に有意差なしおよび 5% 水準で有意差があることを示す (n=9)。



第5図 ‘紅ほっぺ’ (A) と ‘さちのか’ (B) の細根の内部形態の比較。図中の矢印は根毛を示す。

意に多かった (第3図)。また、部位別に比較すると、‘さちのか’ では一次根先端部からの細根発生が多かったのに対して、‘紅ほっぺ’ では先端部および中間部からの発生が多かった。一方、品種間で比較すると、‘紅ほっぺ’ で基部および中間部からの細根の発生数が‘さちのか’ よりも有意に多かった。細根の直径をみると、両品種間で有意な差は認められなかった (データ略)。

3. 細根の伸長速度および呼吸速度の比較

細根の伸長速度をみると、両品種間で有意な差は認められなかった (データ略)。細根の呼吸速度をみると (第4図)、発生10日目において、‘紅ほっぺ’ の細根の呼吸速度が‘さちのか’ のそれよりも有意に速かった。

4. 細根の内部形態の比較

細根の内部形態を観察し、品種間で比較した結果 (第

5図)、‘紅ほっぺ’ では、根毛の発生が‘さちのか’ に比べて多くみられる傾向にあった。

考察

Mochizuki et al. (2013, 2014) は、‘紅ほっぺ’ の多収性の要因を地上部および地下部の特性から解析し、細根本数が多く、出液速度が速いことから根の形態や機能も影響していることを示唆した。そこで、まず根の形態から観察した結果、一次根1本あたりの細根の本数は、‘紅ほっぺ’ が‘さちのか’ に比べて多く、‘紅ほっぺ’ は一次根の先端部だけでなく、中間および基部からも細根が多く発生する特性を示した (第3図)。しかし、細根の直径および伸長速度には相違がみられなかった (データ略)。これらの結果から、‘紅ほっぺ’ の細根

が多い要因は、一次根の先端のみならず、基部および中間部からも多くの細根が発生していたため、細根が多くなると考えられた。さらに、‘紅ほっぺ’は発生10日目の細根の呼吸速度が速く、根毛の発生数が‘さちのか’に比べて多い傾向を示した(第4,5図)。福岡ら(1996)はキャベツおよびブロッコリーのセル成型苗の根の呼吸活性と発根力には密接な関係があり、根の呼吸活性が高い苗では定植後の根重の増加量が大きく、根群の発達状況が良かったと報告している。イチゴにおいても育苗期間の根の呼吸活性が定植後の発根力と密接に関係していることが報告されている(吉岡ら, 1994)。従って、‘紅ほっぺ’は細根の呼吸活性が‘さちのか’に比べて高いことから、細根の発生数が多かったと考えられる。また、発生日別にみると、発生10日目のみで有意差がみられた。細根の伸長速度および直径に有意差がみられなかったことから、発生初期の細根の活性は、根の発根力に影響を及ぼしていると推察される。これまでに根の呼吸速度の変化を短期的に調査した報告(吉田, 2000)はあるものの、本試験のような調査を行った例は見当たらない。従って、今後は発生初期の細根の呼吸速度と根の発根力に関して、より詳細な調査が必要である。

根の発生に関しては、組織培養の研究から一般的に発根にオーキシンが使われ(大澤・久保田, 2003)、挿し木においても、IAA処理によって発根が促進される(弦間ら, 1983)。一方、モデル植物であるシロイヌナズナでは側根の分岐に関する研究が進んでおり、*alf4*のように細胞周期に異常があるため側根が全く分岐しない突然変異体や、オーキシン輸送に異常があり通常より側根の発生数が少ない*aux1*といった突然変異体が発見されている(Péret et al., 2009)。また、シロイヌナズナの突然変異体において細胞周期やオーキシン合成および伝達に関与していると思われる*ALF4*, *AUX1*, *DFL1* や *SLR/IAA14* などの遺伝子(Casimiro et al., 2003)が確認されている。従って、今後は植物ホルモンの生産量および上述した細胞周期、オーキシン合成や伝達に関する遺伝子に着目して、遺伝子の発現解析を行うことにより、‘紅ほっぺ’の根の細根本数が多い要因を解析する必要がある。

一方、細根本数の多少を決定する要因として、発生数の他に根の寿命の長短も考えられる。根の老化や機能を測定する方法としては、形態学的な解析の他に生理学的解析を行った例、例えばイネにおいて根のエイジングに伴うコハク酸脱水素酵素およびパーオキシダーゼ活性の変化を指標とした例(Kwak et al., 1996)などがあげられる。また、花卉などの老化のメカニズムは、主に細胞死から解明されている(Xiong et al., 2006; Yamada et al., 2006)。これは老化に伴う核の断片化、イ

オンの漏えいなどが指標とされ、花の老化の原因が解明されつつある。チューリップ(*Tulipa gesneriana* L.)では細胞内のエネルギー不足により花卉のプログラム細胞死が進行するが、スクロースを添加することによりその進行が抑制されることが報告されている(Azad et al., 2008)。これらの研究報告を基に、根の老化を評価できることが考えられるため、今後は、プログラム細胞死などの指標から根の老化に着目して研究を行う必要もある。

以上の結果から、‘紅ほっぺ’の細根数が多い要因は、一次根1本あたりの細根数が多くなることと考えられた。また、‘紅ほっぺ’は根系の表面積が大きく、根の機能も高いため出液速度が速くなると考えられた。

引用文献

- Abe, J., Morita, S. 1994. Growth direction of nodal roots in rice: its variation and contribution to root system formation. *Plant Soil* 165: 333-337.
- Azad, A.K., Ishikawa, T., Ishikawa, T., Sawa, Y., Shibata, H. 2008. Intracellular energy depletion triggers programmed cell death during petal senescence in tulip. *J. Exp. Bot.* 59: 2085-2095.
- Casimiro, I., Beeckman, T., Graham, N., Bhalerao, R., Zhang, H., Casero, P., Sandberg, G., Bennett, M. 2003. Dissecting *Arabidopsis* lateral root development. *Trends Plant Sci.* 8: 165-171.
- Chloupek, O. 1972. The relationship between electric capacitance and some other parameters of plant roots. *Biol. Plant.* 14: 227-230.
- Dalton, F.N. 1995. In-situ root extent measurements by electrical capacitance methods. *Plant Soil* 173: 157-165.
- 福田知世, 彦坂陽介, 金地通生, 宇野雄一. 2012. 四季成り性イチゴのドライフォグ(超微霧)養液噴霧耕による夏季栽培. *園学研* 12 (別1): 527.
- 福岡信之, 吉岡宏, 清水恵美子, 藤原隆広. 1996. キャベツ・ブロッコリーセル成型苗の根の呼吸活性と定植後の発根力との関係. *園学雑* 65: 95-103.
- 伏原肇. 2005. 9章 主な新品種の特徴と栽培のポイント. 増補改訂イチゴの作業便利帳. 農文協, 東京. p. 148.
- 弦間洋, 藤巻和司, 石田雅士, 傍島善次. 1983. モモのさし木繁殖における根原体発達の解剖学的観察. *園学雑* 52: 256-265.
- 位田藤久太郎. 1953. 蔬菜の根の生理に関する研究(第一報). *園学雑* 21: 202-207.
- Kwak, K.S., Iijima, M., Yamauchi, A., Kono, Y. 1996. Changes with aging in the activities of succinic dehydrogenase and peroxidase in rice seminal root system. *Jpn. J. Crop Sci.* 65: 309-314.
- 峰岸正好, 秦松垣男, 木村雅行. 1982. イチゴ宝交早生の促成栽培における根の生育と果実生産について. *奈良農試研報* 13: 21-30.
- 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 production and activity. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 83: 142-148.
- Mochizuki, Y., Iwasaki, Y., Funayama, M., Ninomiya, S., Fuke, M., New, Y.Y., Yamada, M., Ogiwara, I. 2013. Analysis of a high-

- yielding strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) cultivar 'Benihoppe' with focus on dry matter production and leaf photosynthesis rate. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 82: 22-29.
- 望月佑哉, 鈴木栄, 本條均, 荻原勲. 2011. イチゴ5品種における総乾物重と根量との関係および静電容量を利用した根量の推定. 園学研 10(別1): 138.
- 森次益三, 河崎利夫. 1981. 作物根の生育, 形状ならびに無機成分組成に及ぼす培養液の低pHの影響. 土肥誌 52: 125-131.
- 森下昌三. 2011. 日本におけるイチゴ品種変遷と今後の育種. 農耕と園芸. 66: 22-29.
- 森田茂紀. 2003. 第1部 根のデザインと理想型根系. 第1章 根のデザインとは. 森田茂紀編. 根のデザイン—根が作る食料と環境—. 養賢堂, 東京. pp. 1-9.
- 森田茂紀, 阿部淳. 1999. 植物の根に関する研究の課題. 日作紀 68: 453-462.
- 中西友子. 1997. 植物研究への応用. Radioisotopes 46: 579-585.
- Nakanishi, T., Matsubayashi, M. 1997. Nondestructive water imaging by neutron beam analysis in living plants. J. Plant Physiol. 151: 442-445.
- 大澤勝次, 久保田旺. 2003. 第2章 植物バイオテクノロジーの原理. 大澤勝次, 久保田旺編. 農学基礎セミナー 植物バイオテクの実際. 農山漁村文化協会, 東京. pp. 17-48.
- Péret, B., Rybel, B., Casimiro, I., Benkoya, E., Swarup, R., Laplaze, L., Beeckman, T., Bennett, M. 2009. Arabidopsis lateral root development: an emerging story. Trends Plant Sci. 14: 399-408.
- Shimotashiro, T., Inanaga S., Sugimoto Y., Matsuura A., Ashimori M. 1998a. Non-destructive method for root elongation measurement in soil using acoustic emission sensor : I. Vertical measurement of single root elongation. Plant Prod. Sci. 1: 25-29.
- Shimotashiro, T., Inagawa, S., Sugimoto, Y., Matsuura, A., Ashimori, M. 1998b. Non-destructive method for root elongation measurement in soil using acoustic emission sensor : II. Spatial measurement of single root elongation. Plant Prod. Sci. 1: 248-253.
- 田中達也, 嶋田永生. 1996. キャベツ3品種の肥料濃度反応特性と根系の発達. 土肥誌 67: 619-625.
- Tsukahara, K., Yamane, K., Yamaki, Y., Honjo, H. 2009. A nondestructive method for estimating the root mass of young peach trees after root pruning using electrical capacitance measurements. J. Agric. Meteorol. 65: 209-213.
- Xiong, H., Li, Y., Li, L. 2006. A unique form of cell death occurring in meristematic root tips of completely submerged maize seedlings. Plant Sci. 171: 624-631.
- Yamada, T., Takatsu, Y., Kasumi, M., Ichimura K., Doorn, W.G.V. 2006. Nuclear fragmentation and DNA degradation during programmed cell death in petals of morning glory (*Ipomoea nil*). Planta 224: 1279-1290.
- 山元義久, 小林保, 桐村義孝. 1991. イチゴのNFT促成栽培における適品種の選定と栽培条件. 兵庫中農技研報(農業) 39: 33-36.
- 山下正隆, 荒木陽一. 2003. 促成栽培イチゴの根系形成に及ぼす高地温の影響. 日作紀 72: 56-57.
- 吉田敏. 2000. 水耕における根系の酸素吸収速度の計測. 根の研究 9: 17-20.
- 吉岡宏, 中川泉, 西村仁一. 1994. 花芽分化促進のための低温・短日処理がイチゴ苗の生育と根の呼吸活性に及ぼす影響. 近畿中国農研 88: 39-43.

菜根譚 野菜の根の話 (連載)

中野明正

農林水産省 農林水産技術会議事務局

2. 土・牛・微生物

『土・牛・微生物』は、デイビッド・モンゴメリー教授 (ワシントン大学) の著書「Growing a Revolution」の邦訳本のタイトルである。根に関する情報も盛り込まれている。今回はこの本の内容も含めたお話を・・・

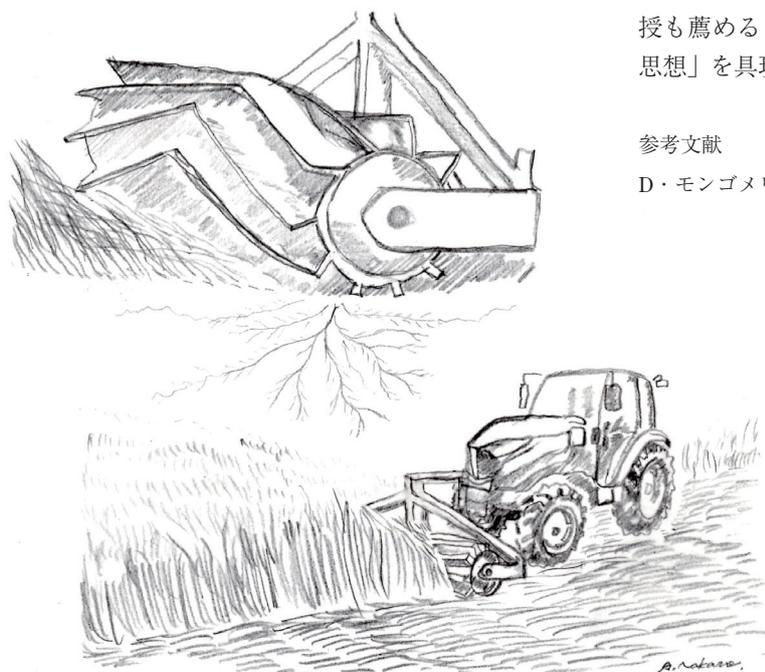
この本で私が気になったのは、有機農業のくだりである。近代になり、有機農業が体系的に論じられるようになったのはアルバートハワードの功績が大きい。氏の「農業聖典」は、まさに有機農業のバイブルで読まれた方も多いだろう。このような考えをアメリカで普及したのはロデルであり、現在もロデル研究所で有機農業の技術と普及が行われていて本書でもその内容が紹介されている。私も有機農業の研究を継続的にしているが、有機農業を難しくしている原因のひとつに雑草管理がある。本書では雑草を管理して、不耕起で有機農業を行う機械として「ローラクリンパー」(挿絵)が紹介されている。被覆作物を簡単にマルチに変えら

れる優れものである。「トラクターの前部に取りつけて被覆作物を倒し、踏み潰して殺し、麦わらの茎を突起と地面のあいだで押さえつけてから折り曲げ、雑草を押さえ込むマルチに変える。」

有機農業というと「有機質肥料」が想起され、肥料成分(窒素、リン酸、カリウム)へと連想が進む。しかし、私は有機農業において重要なのは、総合的に考えると①雑草・病害虫抑制であり、②土壌の物理性だと思っている。根圏に注目すると粗大有機物は土壌の物理構造、特に通気性を改善する。付随して③微生物が有機物分解という重要な役割を担うのであるが、④輪作等により病害菌の集積も回避する。個別の技術の適用に際しては、気候や作物、また圃場の前歴により異なるが、述べてきた点に配慮すれば持続的な生産が可能となる。露地栽培の場合は、施設栽培のように根圏環境を刻々と制御するのは難しい。つまり露地ではいかに良好な根域を維持するかが肝要である。科学的であることは有機と背反するものではない。トラクターも文明の利器であるが、ICTも同様であり、有機農業に使えるだろう。道具は使い方次第。モンゴメリー教授も薦める「有機っぽい」農業は、日本型の「中庸の思想」を具現化する方向ではないかと思う。

参考文献

D・モンゴメリー, 2018. 土・牛・微生物. 築地書館.



第49回根研究集会に参加して

黒澤陽子

山形大学大学院農学研究科

第49回根研究集会は2018年10月27～28日、盛岡の森林総合研究所東北支所にて開催された。今回は特別講演2題、受賞講演2題、ポスター発表17題、口頭発表16題の計37題の発表が行われた。

受賞記念講演では、学術功労賞受賞の間野吉郎氏は「イネ科作物のストレス耐性の遺伝解析と耐湿性に関わる根系形質の改良」と題して、オオムギの耐塩性とトウモロコシ耐湿性に関連する根系形質の遺伝様式解明、そしてトウモロコシの耐湿性品種作出への実用化への導入に関する研究成果について概説された。学術特別賞受賞の小池孝良氏は「変動環境下での樹木根系の生理生態学的研究」と題して、ご自身の研究の経緯や経験談を交えつつ、カラマツ属に共生する外生菌根菌が樹木の環境ストレス耐性に与える影響等に関する研究成果について概説された。

森林総合研究所東北支所の小野賢二氏と野口宏典氏による特別講演「津波を受けた海岸防災林の再生にむけた取り組みとその現状」では、盛土が根の成長に与える影響が取り上げられた。盛土は東日本大震災で根返り被害を受けた海岸林再生に向けて深い根の発達を目的として行われてきたが、硬くなりやすいために根の発達不良が懸念されていた。震災後の海岸林復興現場で土壌調査に取り組みされてきた小野氏と野口氏は、根系到達深度調査等の結果や現在行われている人工造成土の生育基盤としての問題点について概説された。

口頭発表、ポスター発表では根系形態形成、森林の細根動態、作物の苗質と根系の関係、あるいは土壤環

境が根系の形態・機能に与える影響など、樹木・作物様々な系統の植物の根に関する研究成果の発表が行われた。いずれの発表でも聴講後には活発な議論が交わされた。

私は「ブナ個体成長を牽引する芽生えから稚樹期の根系低コスト急速成長」と題したポスター発表を行った。この研究は、ブナの芽生え～稚樹期は根系の重量・表面積の増加が地上部に比べて急速な割に、呼吸の増加は少ないことを芽生えから成木まで計325個体の地上部・根系の個体レベルでの呼吸実測によって示したものである。発表会場では多くの貴重なご意見・ご批評を頂くことができた。一方で、今回の発表に際して自分の研究の位置付けに対する意識が薄かったことは、恐らく聞き手の方々にわかりづらさを感じさせてしまった原因であり、反省点である。個体レベルでの呼吸実測研究では「異なる地域の個体呼吸に差は生じない」という結果は珍しくない。しかし、これは多くの研究が器官レベルでの系統間差や環境間差に着目しているということを考えれば、個体レベル生理学的実測研究の特異性なのかもしれない。今後は様々なレベルの研究に目を向け、自分の研究が根の研究、ひいては植物学研究の中で果たす役割について、認識を改める必要があると感じた。

今回の集会では口頭発表を行われたお二方に加え、光栄なことに私の発表が優秀発表賞を頂いた。この受賞を励みとして今後も研究に精進していきたい。最後に、集会運営者の皆様、参加者の皆様はこの場をお借りして心より御礼申し上げる。



第49回根研究集会 全体記念写真

第 49 回根研究集会プログラム

<日時> 2018 年 10 月 27 日 (土)・28 日 (日)

<場所> 森林総合研究所東北支所, 大会議室および展示室
〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷 92-25

<10 月 27 日 (土) >

11:30~12:45 受付, ポスター掲示

12:45~12:55 開会挨拶

12:55~13:40 口頭発表 1 座長: 亀岡笑 (講演 12 分, 質疑 3 分)

12:55~13:10 O-1 根系形成モデルを利用した根系の評価

田島亮介* (東北大フィールドセンター)

13:10~13:25 O-2 3-ピリジンカルボン酸と脂肪酸ナトリウムの相乗効果を利用した根系形成促進

佐藤茂*・大久保平・野村佳宏 (龍谷大学農学部)

13:25~13:40 O-3 根横断面像から根縦断面像構築の試み

仁木輝緒*・斉藤進・幹康 (ミキ音響イメージプロセッシング部門)

13:40~14:40 ポスター発表 (コアタイム奇数番号 13:40~14:10, 偶数番号 14:10~14:40)

☆優秀発表賞エントリー

P-1 ストロンチウムによるトマトの根に及ぼす影響

長田武*・松田昌也・丹敦志 (摂南大学理工学部)

☆P-2 異なる低リン耐性を持つダイズ品種の根系分布の比較

古谷舞^{1*}・高田志帆²・増本寛之¹・松村篤^{1,2} (¹大阪府立大学大学院生命環境科学研究科・²大阪府立大学生命環境科学域)

☆P-3 世界のダイズミニコアコレクションにみられた菌根依存性の品種間差

高田志帆^{1*}・古谷舞²・増本寛之²・松村篤^{1,2} (¹大阪府立大学生命環境科学域・²大阪府立大学大学院生命環境科学研究科)

P-4 水分供給方法の違いが根系発育反応に及ぼす影響

仲田(狩野)麻奈^{1,2*}・中村倫理¹・三屋史朗¹・山内章¹ (¹名古屋大学大学院生命農学研究科・²名古屋大学高等研究院)

☆P-5 浸透ポテンシャル勾配が駆動力となるときの水移動における根齢と異形根の機能の関係

渡邊友実加^{1*}・三屋史朗¹・仲田(狩野)麻奈^{1,2}・山内章¹ (¹名古屋大学大学院生命農学研究科・²名古屋大学高等研究院)

- ☆P-6 異なる水条件下における *our1* 変異体の根の成長特性
 長谷川友美^{1*}・柴田晃秀¹・高橋（野坂）美鈴¹・西内俊策¹・鮫島啓彰²・菊田真由美²・榎原大悟²・山内章¹・犬飼義明²（¹名古屋大学大学院生命農学研究科・²名古屋大学農学国際教育研究センター）
- ☆P-7 **Starch biosynthesis and sugar transport are involved in lateral root development of rice**
 N Lucob-Agustin^{1*}, M Nakata-Kano¹, D Sugiura¹, M Takahashi-Nosaka³, A Yamauchi^{1,2} and Y Inukai²（¹Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University, ²International Center for Research and Education in Agriculture, Nagoya University, ³National Institute of Genetics, Japan）
- P-8 熱帯多雨林における根現存量と根呼吸量の変動特性
 大橋瑞江（兵庫県立大学）
- P-9 異なる周波数を用いた地中レーダによる海岸カシワ根系の検出
 平野恭弘^{1*}・谷川東子²・新田響平³・太田敬之⁴・小野賢二⁴・野口宏典⁴（¹名古屋大環境・²森林総研関西・³秋田県林セ・⁴森林総研東北）
- P-10 地中レーダを用いた海岸カシワの水平根系構造の推定
 谷川東子^{1*}・平野恭弘²・新田響平³・太田敬之⁴・小野賢二⁴・大谷達也⁵・萩野裕章⁴・野口宏典⁴（¹森林総合研究所関西支所・²名古屋大学大学院環境学研究科・³秋田県林業研究研修センター・⁴森林総合研究所東北支所・⁵森林総合研究所四国支所）
- P-11 芽ばえ～大木への成長を牽引する個体呼吸の根系/地上配分シフト
 森茂太*・黒澤陽子（山形大学農学部）
- ☆P-12 プナ個体成長を牽引する芽ばえから稚樹期の根系低コスト急速成長
 黒澤陽子*・森茂太（山形大学農学部）
- ☆P-13 **Source of oxygen fed to adventitious roots of *Syzygium kunstleri*, a flood-tolerant tree**
 SOU, Hong-Duck*・益守 眞也・丹下 健（東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻）
- ☆P-14 （予報）土壌踏圧と窒素付加がグイマツ雑種 F₁ 苗木の成長に与える影響
 —地上・地下部の応答から—
 菅井徹人^{1*}・横山聡子²・小池孝良³・佐藤冬樹⁴・渡部敏裕³（¹北海道大学農学院・²北海道大学農学部・³北海道大学農学研究院・⁴北海道大学北方生物圏フィールド科学センター）
- ☆P-15 酸緩衝能の異なる土壌に生育するヒノキ細根系の次数形態特性
 土居龍成^{1*}・谷川東子²・和田竜征¹・平野恭弘¹（¹名古屋大学大学院環境学研究科・²森林総合研究所関西支所）
- ☆P-16 乗鞍岳の森林限界における 4 樹種の細根水分生理および形態特性
 矢原ひかり^{1*}・東若菜²・鎌倉真依²・牧田直樹¹（¹信州大学大学院総合理工学研究科・²京都大学大学院農学研究科）

☆P-17 冷温帯林18樹種における樹木細根の可視-近赤外反射特性

谷川夏子^{1*}・中路達郎²・小島実和¹・牧田直樹¹ (¹信州大学理学部・²北方生物圏フィールド科学センター)

14:40～14:50 休憩

14:50～15:30 特別講演 津波を受けた海岸防災林の再生にむけた取り組みとその現状

14:50～15:05 1) 盛土工により造成された海岸防災林生育基盤の特徴

小野賢二 (森林総合研究所東北支所)

15:05～15:20 2) 人工造成土壌の硬さとクロマツの根系成長

野口宏典 (森林総合研究所東北支所)

15:20～15:30 ディスカッション

15:30～15:40 休憩

15:40～15:50 2018年度根研究学会賞 授賞式

15:50～16:50 受賞講演

15:50～16:20 イネ科作物のストレス耐性の遺伝解析と耐湿性に関わる根系形質の改良

間野吉郎 (農研機構 畜産研究部門 飼料作物研究領域)

16:20～16:50 変動環境下での樹木根系の生理生態学的研究

小池孝良 (北海道大学 大学院農学研究院)

16:50～17:00 写真撮影

19:00～ 懇親会 「ももどり駅前食堂」

岩手県盛岡市盛岡駅前通 10-4 Tel: 019-654-6622

(JR 盛岡駅から 225m、徒歩 5 分、ホテルルイズ向かい)

<10月28日(日)>

9:00~10:15 口頭発表2 座長：中路達郎(☆優秀発表賞エントリー)

9:00~9:15 ☆O-4 滞水処理がクロマツと広葉樹3種の苗木の細根成長と形態に与える影響

藤田早紀^{1*}、野口享太郎²、丹下健¹ (¹東京大学農学生命科学研究科、²森林総合研究所東北支所)

9:15~9:30 ☆O-5 樹木1次根の直径変動とその要因—スギを含むヒノキ科に着目して

和田竜征^{1*}・谷川東子²・土居龍成¹・平野恭弘¹ (¹名古屋大学大学院環境学研究科・²森林総合研究所関西支所)

9:30~9:45 ☆O-6 スキャナ法を用いた温帯混合二次林における樹木根動態の空間的ばらつき

桑辺七穂*・大橋瑞江(兵庫県立大学環境人間学部)

9:45~10:00 ☆O-7 攪乱土壌に誘引されるパイオニアルートの伸長動態

仲畑了* (京都大学農学研究科)

10:00~10:15 O-8 冷温帯林におけるクマイザサ除去後の土壌中の窒素量と細根動態

福澤加里部^{1*}・谷口武士² (¹北大・北方生物圏セ・²鳥大・乾地研)

10:15~10:25 休憩

10:25~11:25 口頭発表3 座長：仲田(狩野)麻奈(☆優秀発表賞エントリー)

10:25~10:40 ☆O-9 水田転換畑における耕起法と施肥の違いがトウモロコシの根系に及ぼす影響

篠遠善哉^{1,2*}・松波寿典¹・大谷隆二¹・丸山幸夫² (¹農研機構東北農業研究センター・²筑波大学)

10:40~10:55 ☆O-10 水稻有機栽培育苗における苗質と根系の関係—根系形成モデルを用いた解析—

陶木里咲^{1*}・宇野亨¹・伊藤豊彰²・齋藤雅典^{1,3}・田島亮介¹ (¹東北大学大学院農学研究科・²新潟食料農業大学・³JST)

10:55~11:10 ☆O-11 水稻根系の新鮮重測定法の提案

亀岡笑*・鈴木弘隆(酪農学園大学農食環境学群)

11:10~11:25 ☆O-12 酸性土壌におけるコムギ5系統の根系分布と窒素吸収

渡部智寛^{1*}・宇野亨¹・久保堅司²・大西一光³・厩田淳史⁴・伊藤豊彰⁵・齋藤雅典^{1,6}・田島亮介¹ (¹東北大院・農・²農研機構東北農研センター・³帯広畜産大学・⁴ホクレン農業総合研究所・⁵新潟食農大・⁶JST)

11:25~11:35 休憩

11:35~12:35 口頭発表4 座長：松村篤

- 11:35~11:50 O-13 **Na⁺/K⁺透過性をもつアクアポリン:イネ OsPIP2;4 およびオオムギ HvPIP2;8 の解析**
且原真木^{1*}・堀江智明² (¹岡山大学資源植物科学研究所・²信州大学繊維学部)
- 11:50~12:05 O-14 **オオムギの根水透過性制御にかかわる遺伝因子の探求**
大西 亜耶*・且原 真木 (岡山大学資源植物科学研究所)
- 12:05~12:20 O-15 **Lateral root development is regulated by actin isovariant ACT8 in *Arabidopsis thaliana***
Marika Yamauchi*, Takahiro Numata, and Abidur Rahman (Department of Plant Bio Sciences, Faculty of Agriculture, Iwate University)
- 12:20~12:35 O-16 **遺伝子発現解析に用いるイネ根サンプルの水田での採取法と内部標準遺伝子の探索**
松波麻耶^{1*}・羽田野麻理²・富永陽子³・林秀洋²・長村吉晃⁴・檜館茉奈¹・及川聡子¹・舩谷悠祐¹ (¹岩手大学農学部・²農研機構東北農業研究センター・³岩手大学教育推進機構・⁴農研機構作物開発センター)

12:35~12:45 優秀発表賞表彰式

12:45~12:50 閉会挨拶

【学術功労賞】

イネ科作物のストレス耐性の遺伝解析と耐湿性に関わる根系形質の改良

間野 吉郎

農研機構 畜産研究部門 飼料作物研究領域 (mano@affrc.go.jp)

【はじめに】DNA マーカーを利用した環境ストレス耐性育種を行うために、オオムギの耐塩性とトウモロコシの耐湿性について遺伝資源の評価と遺伝解析を行った。トウモロコシ耐湿性では、関連する根系形質の遺伝様式の解明に取り組みとともに実用的な耐湿性品種作出に利用できる育種素材を作成した。研究成果は Plant Root (3報) を含む 20 編の研究論文で発表した。

【オオムギの耐塩性】岡山大学資源植物科学研究所が保有する野生種を含むオオムギ約 7,000 品種・系統を材料に、発芽時と幼植物について耐塩性遺伝資源を検索した。極強 (発芽時: OUI364, 幼植物: OUK616 など) と極弱品種 (発芽時: OUI167, 幼植物: OUI477 など) を選抜するとともに、量的形質遺伝子座 (QTL) 解析によって耐塩性を支配する遺伝子に連鎖する DNA マーカーを見出した。

【トウモロコシの耐湿性】画期的な耐湿性トウモロコシを作出するためには栽培種の遺伝変異を超えた遺伝資源の活用が不可欠である。そこでトウモロコシの近縁種である耐湿性が非常に強いテオシントを利用した研究を行った。耐湿性のメカニズムは複雑なことが予想されたため、テオシントが持つ以下の 4 つの根系形質について遺伝解析を行い、耐湿性向上に重要であると考えられる遺伝子をマッピングした。

1) 根の通気組織形成能: 湛水条件下では、茎葉部から取り入れた酸素を効率よく根端まで供給することが必要となる。これに重要な役割を担うのが根の皮層に形成される通気組織であり、テオシントはイネのように恒常的に通気組織を形成することを明らかにした。そこで、トウモロコシとテオシントの交雑後代について通気組織形成能に関する QTL 解析を行った結果、関与する遺伝子を第 1, 5, 8 染色体に見出した。特に、第 1 染色体の遺伝子 *Qaer 1.05-6* の効果が大きかった。

2) 酸素漏出 (ROL) バリア形成能: 低酸素条件下では、茎葉部から植物体内に取り入れられた酸素は通気組織を通じて根端まで運ばれるが、耐湿性が弱い畑作物では途中で酸素が根から外部に漏出して根端に十分に供給されない。このため、植物体内で酸素を根端に効率的に運搬するためには ROL バリアの形成が重要となる。トウモロコシの染色体の一部をテオシントの染色体に置き換えた染色体断片置換系統のシリーズ (IL) を用いて ROL バリアの形成のマッピングを行ったところ、テオシントの第 3 染色体短腕に主働遺伝子を見出した。

3) 湛水・還元耐性: 湿害が起こる土壌条件では、低酸素だけでなく還元条件による生育阻害が問題になる。そこで、IL を用いて湛水・還元条件における耐湿性を評価して関与する遺伝子のマッピングを行った。その結果、テオシントの第 4 染色体長腕に効果が大きい耐湿性遺伝子 *Qft-rd 4.07-4.11* が座乗していることを明らかにした。さらに、*Qft-rd 4.07-4.11* を連続戻し交雑によって複数の優良自殖系統に導入したところ、いずれも耐湿性の向上がみられた。

4) 地表根形成能: 土壌が湛水条件となっても、地表に近い場所では酸素が比較的豊富であるため、植物は地表に根を形成させることで低酸素状態から回避していると考えられる。そこで、トウモロコシとテオシントを交配して得た F₂ 集団と BC₃F₁ 集団を用いて QTL 解析を行った結果、第 3 染色体に地表根形成に関する QTL が座乗していることを見出した。

以上の研究で得られたテオシントが持つ根系形質を支配する QTL を、DNA マーカーを利用した連続戻し交雑によってトウモロコシに導入した。現在それらの効果の検証と耐湿性育種への利用が進行中である。

【謝辞】本賞に推薦して下さった農研機構九州沖縄農業研究センター小柳敦史博士、遺伝資源と形質評価の重要性をご指導いただいた岡山大学資源植物科学研究所武田和義名誉教授、ROL バリア形成能をはじめとする根系形質の共同研究を行っている名古屋大学中園幹生教授、さらには根研究学会、そして農研機構の皆さまの日頃のご指導に感謝申し上げます。

【学術特別賞】

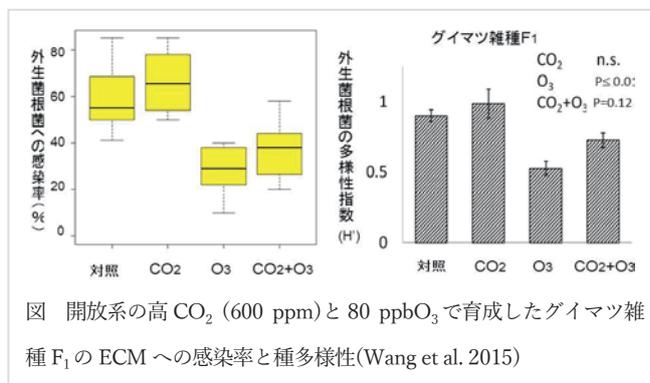
変動環境下での樹木根系の生理生態学的研究

小池 孝良

北海道大学 大学院農学研究院 (tkoike@for.agr.hokudai.ac.jp)

Plant Root : The Hidden Half は第4版を重ねた。このタイトルも示すように、根は植物の成長を司る極めて重要な器官である。国際生物学事業 (IBP) が収束する時期に進学した私には、Karizumi, N. (1978~1979)の樹木根の一連の研究があって、今更何をすれば良いのか、と感じた。一方、美唄の道林試では緑化樹センターの活動によって巨大な根箱を用いた40種を超える主要樹種稚樹の根の情報が公開された(佐藤 1995)。これらを受け私共は特殊土壌での緑化に注目し、変動環境として高CO₂などに関連した一連の研究を行ってきた(小池ら 2004)。その時期に、リン鉱石の枯渇問題を緩和できる菌根菌はじめ共生菌類の働きが提示され(俵屋・和崎 2012)、各種ストレスであっても宿主を支える外生菌根菌 (ECM) の重要性を再認識した。そこで、野外では摩周湖外輪山の衰退現象、操作実験では再植林樹種として注目されるカラマツ類に再度注目して、大学院に進学された院生の皆様の支援を行った(Agathokleous ら 2015; Wang ら 2015~2018、Fujita ら 2018)。そして根圏の概念を (McNear 2013) 学ぶことが大切であることを伝える事に努めた。

要点は北海道の郷土種ではないカラマツとその改良種グイマツ雑種 F₁ の稚樹に無機環境ストレス (CO₂, O₃, 窒素) を与え、スペシャリスト ECM の存在を確認し緑化資材としての期待が高まった点である。私の経験では、期待通りの実験と成果はなかなか出ないモノであるが、DNA 解析の技術を持った学生さんの参加によって、カラマツ属に共生する



ECM の種レベルでの解析が進んだ。当初は単離・培養した ECM 類の接種によって、その機能に迫った (Qu et al. 2004, Qu 2016)。環境ストレスによって、種レベルの多様性に変化がもたらされた点は、とても興味深い(小池 2018)。一例を挙げると(図)、近年、北海道でも増加傾向にある対流圏 (=地表付近) オゾン (O₃) と CO₂ 濃度がグイマツ雑種 F₁ の成長と ECM の間接と種組成に与える影響を調べた (Wang et al. 2015)。高 CO₂ では ECM がシンク

クとして働き、負の制御が緩和され、光合成産物が十分供給されるため感染率、種数とも増加した。一方、O₃ 富化では光合成が抑制されるため、ECM の感染率、種数ともに抑制された。高 CO₂ では気孔が閉鎖気味になるので、O₃ の取り込みが抑制され、高 CO₂ と O₃ 処理の中庸の傾向を示した。この場合、感染率・種数とも増減が小さく“安定した共生関係”が見られるのはイグチ属であった。根元、根幹など根の重要性を示す言葉の重さを理解し、研究を進めたい。

謝辞：研究の推進には、科学研究費 (基盤 B、挑戦的萌芽) を一部利用した。記して感謝する。

文献：

Agathokleous E. et al. (2016) *Trees* 30 : 353-362; ditto (2016) *Water, Air, & Soil Pollut.* 227:33- DOI: 10.1007/s11270-015-2715-9; Eshel, A and Beeckman T (2013), *The Root.*, CRC Press; Fujita S. et al. (2018) *iForest*, 11:32-40; Karizimi N (1979) 259:1-99; 小池孝良ら(2002) 根の研究, 11 : 161-169; 小池孝良(2018) 北方林業 69: 42-45; McNear DH (2013) *Nature Education knowledge* 4(3),1; Qu LY et al. (2004) *Tree Physiol.* 24: 1369-1376; Qu LY (2016) *Eurasian Jour. For. Res.* 19:1-51; 佐藤孝夫(1995) 道林試報 31:1-51; 俵屋圭太郎・和崎淳 (2012) 日土肥誌 83: 173-176; Wang XN et al. (2015) *Environ. Pollut.* ; ditto (2016) *Trees* 30 : 363-374; ditto (2016) *J. Agr. Met.* 72: 95-105; ditto (2018) *STOTEN* doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.283.

【特別講演】津波を受けた海岸防災林の再生にむけた取り組みとその現状

—盛土工により造成された海岸防災林生育基盤の特徴—

小野賢二

森林総合研究所東北支所

(don@ffpri.affrc.go.jp)

東日本大震災大津波による海岸防災林の被害は北～東日本の太平洋沿岸で3,600余haにも及んだ。この震災では多くの樹々が津波で根返りして流されたことから、その後の復興では盛土して生育基盤を造り、十分に厚い有効土層を確保した防災林の再生が進められている。生育基盤の整備には必然的に重機が用いられるが、こうした重機で整備された生育基盤では、総じて土が締め固まって排水不良となり、それが植栽木の活着・生育や根系発達へ及ぼす影響が懸念されている。このことは、人工生育基盤、すなわち造成土の特性や特徴に関する理解が浅く、今般の災害復興にかかる生育基盤整備に対する管理基準や技術が十分に醸成されていないことに起因している。なぜなら、これまでの我が国における林地を対象とした造林事業では、自然土壌を対象とした土壌分類体系、すなわち、林野土壌の分類(土じょう部 1976)を中心に築かれた植栽木の適地判定、いわゆる「適地適木」が原則とされてきたためである。本発表では、発表者らがこれまで取り組んできた海岸防災林復興現場の土壌調査を通じて得た、樹木の生育基盤として用意された造成土の特徴を紹介しながら、現在顕在化してきたそれらの生育基盤としての問題を概説する予定である。

—人工造成土壌の硬さとクロマツの根系成長—

野口宏典

森林総合研究所東北支所

(noguh@ffpri.affrc.go.jp)

東日本大震災で多くの海岸林で根返り等の被害が発生したことを受け、根を深く発達させることを目的として海岸林造成の際に盛土により嵩上げが図られる事例が多くなった。しかし、盛土は硬くなりやすく、そのことが根の成長を妨げることが懸念されている。本研究では、盛土に植栽されたクロマツ根系の伸長状況と土壌硬度の鉛直分布の関係を検討した。

震災後に仙台平野に造成された盛土を生育基盤とする海岸林再生事業地において、クロマツ 73 本を対象として根系到達深度と土壌硬度鉛直分布の調査を行った。根系到達深度の調査は、実際に根を掘り出し、根系が到達した最大深度を測定した。土壌硬度の鉛直分布の調査は、SH 型貫入試験機を用いて対象木の直近で行った。土壌硬度の指標値には、SH 型貫入試験機の 3 kg 重錘 1 打撃あたりの貫入量として表される S 値 (cm/drop) を用いた。ケヤキを対象とした調査から作成された従来の基準で「固結、多くの根が侵入困難」とされている S 値 0.7 以下となる層を固結層とし、その上面を固結層出現深度と定義し、この値と根系到達深度の関係を検討した。根系到達深度を目的変数、固結層出現深度を説明変数とすると、正の相関が認められ(相関係数 0.706)、回帰係数は 0.8 程度であった。固結層の定義を S 値 1.0 とした場合には、より浅い箇所でも固結層が出現することになり、回帰係数は 1.2 程度となった。

O-1

根系形成モデルを利用した根系の評価

田島亮介

東北大フィールドセンター

(tazy@tohoku.ac.jp)

養水分の投入を低減しつつ持続的な作物生産をおこなうためには、土壌中に存在する養水分を効率的に利用できるような作物根の分布が重要であり、それを把握する必要がある。しかしながら、作物の発育に伴って根系は変化し、それに応じて根系の分布も変化するため作物根の分布を経時的にフィールド条件で把握することは難しい。そこで、本研究では室内実験で取得した作物根系のデータを、根系形成モデルに適用することで、作物根の分布を予測することを試みた。材料としてイネのササニシキ/ハバタキの染色体断片置換系統群 39 系統とその親であるササニシキとハバタキの合計 41 系統を用いた。アクリル板と紙の間に催芽した種子を播き、根をアクリル板に這わせて栽培し、2-3 日置きにドキュメントスキャナを用いて根系の画像を系統・反復(n=3)ごとに 7 回、合計 861 枚取得した。これらの画像から画像解析用アプリケーション ImageJ を用いて、節根数、節根長、側根数、側根長などの根系形質のデータを取得した。次にこれらのデータを根系形成モデルに適用して、コンピュータ上で仮想的に根系形成をおこなわせた。これにより、異なる系統の異なる生育段階における根系の分布を予測することができた。この結果から、生育初期の根系形質が異なる系統は、フィールド条件において根系の分布が大きく異なる可能性が示唆された。今後は実際にフィールド条件で栽培して取得した根系分布のデータと比較・検討することで、根系の諸形質が根系分布にどのように影響するかを予測することができると考えられる。

O-2

3-ピリジンカルボン酸と脂肪酸ナトリウムの相乗効果を利用した根系形成促進

佐藤 茂^{*}, 大久保 平, 野村佳宏

龍谷大学農学部

(*ssatoh@agr.ryukoku.ac.jp)

先に、2, 3-ピリジンカルボン酸(2, 3-PDCA)が、レタス、ニンジン、イネの幼苗の根の伸長を促進することを報告した(Satoh & Nomura, 2017)。2, 3-PDCA の作用発現には、ピリジン環の 3 位に置換した-COOH が必須で、3-ピリジンカルボン酸(3-PCA)が最も効果が大きかった(特願 2016-299009)。3-PCA はビタミン B3 として知られるが、根伸長促進作用はビタミン類似の作用とは考えられなかった。今回、演者らは、ウィット(株)製のナノソイコロイド® (Nano Soy Colloid-Base) がヤエナリ、キュウリ、ナス、トウガラシ、キャベツの根を切除した緑色幼苗で、不定根の発生(発根)を促進することを見出した。NSC-B はダイズ中性脂肪のアルカリ加水分解物で、天然物由来の界面活性剤(洗剤)として使用されている。発根作用は、洗剤として使用される 200 倍希釈液よりも低濃度の 10, 000 倍希釈液でも見られた。ダイズ中性脂肪の脂肪酸組成は、リノール酸(50%)、オレイン酸(20%)、パルミチン酸(10%)、リノレン酸(10%)、その他である。単一標品の脂肪酸ナトリウムを用いた実験では、C16~C18 の脂肪酸ナトリウムにおいて発根促進作用が認められた。根を切除した幼苗を、脂肪酸ナトリウム処理して発根を促し、発根した根を 3-PCA により伸長させて根系の形成を促進する表題の「根系形成促進剤」の開発が可能であると考えられた(特許出願中)。

O-3

根横断面像から根縦断面像構築の試み

仁木輝緒*・斉藤 進・幹 康

ミキ音響イメージプロセッシング部門

(*teruo-niki@hb.tp1.jp)

根の形態観察において供される試料に横断切片と縦断切片があり、それぞれ横断面と縦断面の観察が出来る。この場合、それぞれは、異なるサンプルを用いて作成した切片であり、厳密な意味で同一標本での横断面・縦断面とはならない。したがって、それぞれの切片での事象が同一に観察できるとは限らず、必ずしも対応するものとはならない。また、横断面・縦断面の示す情報は異なるものであり、事象の解明・理解には標本の多角的な観察が必要である。

演者らは、上記の点を補うべく、横断面像からその縦断面像を構築することにより、切片からより多くの情報の読み取りを試みた。

テオシント (*Zea mays* ssp. *Mexicana*) 発芽種子根を用い、前報と同じように標本を作り、厚さ 1 μm の連続横断切片を得、写真画像を作成し、画像の位置合わせ、トリミング、色付けなどを行い、100枚の画像を積み合わせた。任意方向における縦断面像の作成、要素抽出による3D作成を行った。

横断面像からその縦断面像の構築が出来た。また、要素に色付けすることにより、部位を明らかにし、線情報を面情報に変えることが出来た。色付け抽出3D構造像は細胞列の繋がり・関わりを示した。

O-4

滞水処理がクロマツと広葉樹3種の苗木の細根成長と形態に与える影響

藤田早紀^{1*}，野口享太郎²，丹下健¹¹ 東京大学農学生命科学研究科，² 森林総合研究所東北支所

(*sakifujita@fr.a.u-tokyo.ac.jp)

東北地方太平洋沖地震によって発生した津波により、東北太平洋側の海岸林は壊滅的な被害に遭った。その後、主にクロマツの新規植栽事業が進められているが、造成された盛土の排水不良によると思われる苗木の生育不良が一部の地域で問題となっている。また、今後の海岸林造成では、マツ材線虫病害対策として広葉樹の導入を検討する必要があるが、これらの樹種の過湿ストレスに関する知見は少ない。そこで本研究では、滞水環境が細根の成長と形態に与える影響を明らかにするために、クロマツ、イタヤカエデ、ヤマハンノキ、ヤチダモを用いて滞水処理試験を行った。滞水区では7月中旬から9月末にかけて水位を地表面付近に維持し、ミニライゾトロン法により細根成長を計測した。その結果、クロマツでは、滞水処理開始後の新たな細根の出現は対照区でのみ見られ、逆にヤマハンノキとヤチダモでは、滞水区でのみ、特にポットの上で細根出現数が増加した。イタヤカエデの細根は主に滞水処理開始前に成長し、処理開始後の細根成長は、滞水処理の有無に関わらずほとんど観察されなかった。また、クロマツ、ヤマハンノキでは、滞水処理による細根の黒褐色化が見られ、これらの細根は滞水処理により枯死したと考えられた。以上の結果から、滞水環境における細根の成長と形態の変化は樹種により異なり、樹種による過湿ストレス耐性の差異を反映していると考えられた。

O-5

樹木 1 次根の直径変動とその要因—スギを含むヒノキ科に着目して

和田竜征^{1*}・谷川東子²・土居龍成¹・平野恭弘¹¹名古屋大学大学院環境学研究科 ²森林総合研究所関西支所

(*wada.ryusei@h.mbox.nagoya-u.ac.jp)

根系の機能特性を表すため分岐位置の「次数」に基づいた細根系の分類が近年推奨されている。しかし、日本を代表する造林樹種であるスギは欧米では生育環境に限られるアーバスキュラー菌根性針葉樹であり、未だ次数根に関する研究例が限られている。本研究ではスギ細根の次数形態特性を明らかにすることを目的とし、スギ4林分にて調査及び解析を行い、他樹種との次数形態特性の比較を試みた。

4次根を含む無傷なスギの細根系を採取し、各分岐位置で切断した後、次数別に根直径、根長、乾燥重量、個根数を測定した。また他樹種の形態特性に関しては、画像解析ソフトを用いて9本の論文から52樹種の次数別直径データを読み取った。本研究では特に環境変動に敏感であるとされる1次根の直径に着目し、スギと他樹種との比較を行った。

その結果、スギの1次根直径は他樹種と比較すると大きい傾向にあり、ともにヒノキ科であるヒノキと似た根直径の特徴を示した。また、ヒノキ科内ではより原始的な種ほど直径が大きくなっていることが明らかになった。これは進化の過程において効率的に土壤資源を獲得するため、直径の小さな根を形成するようになったという先行研究の考えを支持している。一方で、スギとヒノキの次数根直径の土壤養分に対する応答は対照的で、土壤NH₄と次数根の直径の間にスギでは有意な正の相関、ヒノキでは負の相関がみられた。これらをスギとヒノキの窒素要求度の違いに着目しながら考察する。

O-6

スキャナ法を用いた温帯混合二次林における樹木根動態の空間的ばらつき

桑辺七穂*・大橋瑞江

兵庫県立大学環境人間学部

(*na.mulberry@gmail.com)

気候変動などの環境変化は、植物の季節性に大きな影響を与えていると言われている。しかし、植物地下部フェノロジーについては理解されていない部分が多い。そこで本研究では、スキャナ法を用いて、日本で一般的な温帯混合林での樹木根動態の空間的ばらつきを調べることを目的とした。調査は兵庫県姫路市に位置する落葉樹と常緑樹が混在する混合林で行った。スキャナ画像の取得は、月一回の頻度で約一年間行い、同じ林分に設置した二つのスキャナボックスを中心に解析した。結果、年間を通した成長枯死パターンには、二つのボックス間で似た傾向を示した。成長については、二つのボックス共に春から初秋にかけて二回のピークをとり、秋以降は成長量が減少した。枯死についても共に、成長のピークを追う形で冬までに二回のピークをとった。一方で、画像内の根量、直径分布、さらに根の分布位置は二つのボックス間で異なった。それぞれのボックスの周辺植生については、共にヒサカキが優占していたが、一方は、落葉広葉樹であるアベマキの大木が一本存在した。落葉樹と常緑樹が混在する林分で、二つのボックス間で周辺植生に微細な違いがあるにも関わらず、年間を通した動態については共通の傾向が見られた。これは、樹種間差よりも環境の影響をより受ける事を示唆している。一方、ボックス間で差が出た項目については、同じ林分内でも空間的なばらつきがあることを示している。

O-7

攪乱土壌に誘引されるパイオニアルートの伸長動態

仲畑了

京都大学農学研究科

(nakahata@kais.kyoto-u.ac.jp)

森林の地下部に存在する細根の動態観測は難しい。イングロスコアによる採取手法やミニライゾトロンによる観察手法があるが、どちらも器材を設置する際に土壌攪乱をとまなう。観察手法では設置初期のデータを除外するなどしてこの影響を考慮しているが、イングロスコアでは無視されていることが多い。しかし近年、土壌攪乱が細根生産量に有意に影響する可能性が示唆されている。また、パイオニアルート（土壌空間へ先駆的に侵入する太い細根）が攪乱土壌に優先的に侵入し、細根直径などの形態特性が変化する可能性も無視できない。本研究では、攪乱土壌にどのような根が侵入するのか観察手法により調査し、土壌攪乱後の細根形態変化を明らかにし、土壌空間への細根の伸長戦略を考察する。

滋賀県大津市のヒノキ人工林とコナラ二次林においてフラットベッドスキャナーを埋設して土壌を攪乱したのち、1-2週間おきの土壌断面の撮影を4年間以上行った。画像解析によって、細根の生産長や生産根直径の時間変化を記述した。両林分において、攪乱後数週間の生産根直径は高い傾向にあり、攪乱によって普段とは異なる太い根の生産が増加することがわかった。これは攪乱土壌に対してパイオニアルートが先立って伸長することを示唆している。また、樹木は土壌空間を占有する過程で、パイオニアルートを伸ばした後に細い根を徐々に張っていき、段階的に細根系を発達させていることがわかった。

O-8

冷温帯林におけるクマイザサ除去後の土壌中の窒素量と細根動態

福澤加里部^{1*}・谷口武士²¹北大・北方生物圏セ・²鳥大・乾地研 (*caribu@fsc.hokudai.ac.jp)

冷温帯林において地表を被覆する林床植生であるクマイザサ（以下ササとよぶ）の消失が、森林の水や物質の循環へ及ぼす影響を明らかにするために、ササ地上部を実験的に除去し、その前後での細根量の変化や土壌水分、土壌中の窒素量の変化を調べた。ササが消失すればササによる窒素吸収が停止するために、土壌中の無機態窒素量は増加すると予想した。北海道北部の北大中川研究林の天然性冷温帯林内に生育するミズナラ個体の周囲にプロットを設定し、ササ除去区では2017年6月にササ地上部を刈り取り、プロット外へ搬出した。各プロット内において処理前後（2017年5月と9月）に土壌水分および無機態窒素量（ NH_4^+ , NO_3^- ）を測定した。ササ除去前の細根量および除去後の細根生産量（いずれも根長ベース）をそれぞれ土壌コア法、イングロスコア法を用いて測定した。ササ除去前、ササの細根根長は樹木を上回り、ササの存在は土壌中での水や養分循環に深く関与していた。ササ除去後に土壌水分は上昇し、土壌中の NH_4^+ , NO_3^- 量に処理区間で有意な差はなかった。ササ除去区での細根生産根長は対照区に比べてササで約50%減少したが、樹木では増加したために全体では対照区と同程度を維持した。地下茎で栄養繁殖を行うササにおいて地上部ダメージの地下部への短期的影響は限定的であることや、植物間の競争関係の変化により、生態系内で窒素が保持されたと考えられた。

O-9

水田転換畑における耕起法と施肥の違いがトウモロコシの根系に及ぼす影響

篠遠善哉^{1,2*}・松波寿典¹・大谷隆二¹・丸山幸夫²¹農研機構東北農業研究センター・²筑波大学

(*shinoto@affrc.go.jp)

本研究では、水田転換畑での耕起法と施肥の違いがトウモロコシの根系に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。試験は、2016、2017年に水田転換畑(黒ボク土)で、施肥の有無と耕起法(ロータリ区、プラウ区)を要因とした3ブロック制の細分区法で実施した。6月上旬にトウモロコシを栽植密度6.3本/m²(条間75cm)で播種した。根系は直径10cmの塩ビ管を用いて深さ10cm(分枝根調査)、モノリス採取器を用いて長さ40cm、幅5cm、深さ20cmから採取した(深さ別の根長調査)。地上部乾物重はロータリ区とプラウ区で同程度であった。ロータリ区と比べてプラウ区では、種子根の生育が停滞した一方、節根の分枝根は増加傾向となり、とくに第6葉期以降表層0-5cmの節根長が増加した。施肥は第3、6葉期の分枝根を増加させた。以上のことから、土壌硬度の違いによりプラウ区では表層0-5cmの分枝根が増加したことで、節根長が増加して、浅根化したと推察され、施肥の違いより耕起法の違いの方がトウモロコシの根系に及ぼす影響が大きいことが明らかとなった。

O-10

水稲有機栽培育苗における苗質と根系の関係ー根系形成モデルを用いた解析ー

陶木里咲^{1*}、宇野亨¹、伊藤豊彰²、齋藤雅典^{1,3}、田島亮介¹¹東北大学大学院農学研究科、²新潟食料農業大学、³JST

(*r.sueki-14@g-mail.tohoku-university.jp)

環境と調和した水稲生産が求められる現在、有機栽培はそのひとつの方途といえる。水稲有機栽培において育苗はその後の生育や収量に影響を与える重要な過程であるが、育苗段階における研究例は少ない。そこで、本研究では、苗の生育に深く関係していると考えられる根系に注目しながら、根系と苗の関係について根系形成モデルを用いて解析した。有機栽培と比較として慣行栽培の実栽培で用いた移植直前の苗および模擬的にノウバウエルポットを用いて異なる播種密度で育苗した苗の調査をおこない、それらのデータを用いて根系形成モデルによる解析をおこなった。その結果、個体あたりの根長や根重は有機栽培で有意に大きな値を示し、慣行栽培と比較して苗質は有機栽培で良好であった。有機栽培では慣行栽培に比べ播種密度が小さいため、個体あたりの生育スペースが広く、生育に有利な条件だったと考えられる。しかしながら、模擬育苗試験では、異なる密度間で調査項目のほとんどにおいて有意な差はみられなかった。今回の試験結果を根系形成モデルに適用することで、育苗期間中の根長密度および窒素吸収量を予測できた。これらは播種密度や肥料等の条件によって変化すると推測され、このような予測を基に、より精密な有機栽培育苗に関する提案ができると考えられた。

O-11

水稻根系の新鮮重測定法の提案

亀岡 笑*・鈴木 弘隆

酪農学園大学 農食環境学群

(*kameoka@rakuno.ac.jp)

茎葉部と同様、根系の新鮮重は植物体の成長評価において重要な測定項目である。茎葉部の新鮮重は地際で刈り取り容易に測定評価できるが、一方で根系、特に生育が進み複雑化した根系の新鮮重はその測定法が確立されていない。水稻根系の新鮮重測定は、1) 根を土から洗い出す 2) 節根・側根の表面の水を取り去る といった手順が考えられる。1) は根の研究において一定の共通した方法が確立されるが、2) に関しては、特に生育が進み節根数が 100 をとうに超えたような複雑化した大きな根系では、根系内部の節根表面の水分を十分に取り去ることが大変難しく、共通したやり方が確立されていない。複雑化した根系の水分除去は、ウェス等用いて丁寧に吸水する時間がかかりすぎるし、一定の力をかけて水分を搾り取る方法（以下、「搾り取り法」と称す：第 47 回根研究集会で報告）では根系の組織を破壊しかねない。また、これらの方法では実験者の個人差に起因する誤差が大きくなることが懸念される。本研究では、搾り取り法ならびにストックングを用いた水稻根系の新鮮重測定法（以下、「ストックング法」と称す：第 47 回根研究集会の質疑応答時に紹介）を参考にして、測定にかかる時間・労力負担が少なく、身近な機器を利用して実践できる水稻根系の新鮮重測定法を提案する。さらに、提案法における誤差の検証や、搾り取り法、ストックング法との比較結果についても報告する。

O-12

酸性土壌におけるコムギ 5 系統の根系分布と窒素吸収

渡部智寛^{1*}、宇野亨¹、久保堅司²、大西一光³、帛田淳史⁴、伊藤豊彰⁵、齋藤雅典^{1,6}、田島亮介¹

¹東北大院・農、²農研機構 東北農研センター、農業放射線研究センター、³帯広畜産大学、⁴ホクレン農業総合研究所、⁵新潟食農大、⁶JST

(*t.watanabe@g-mail.tohoku-university.jp)

畑土壌での硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) の溶脱を防ぐためには、作物の根系を作土のみならず下層土まで深く伸長させて窒素を吸収させることが有効と考えられる。酸性土壌では、作土を石灰中和しても下層土までは酸性が矯正されず、下層土への根の伸長が抑制されることが多い。そこで本研究では、酸性下層土におけるコムギの根系分布と、その窒素吸収やコムギの生育・収量への影響を調査した。試験は、コムギ 4 系統(AU49, シロガネコムギ, 春よ恋, はるきらり)とスペルトコムギ 1 系統を、それぞれ作土部分と下層土部分を連結したポットで栽培した。作土はすべて石灰中和を施し、下層土は石灰中和区と酸性区を設けた。収穫後に各層の根系の調査と土壌の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の測定を行った。その結果、下層土酸性の条件下で、いずれの品種も下層土への根の伸長は抑制された。地上部の生育も抑制されたが、他の系統と比較してスペルトコムギは良好であった。スペルトコムギでは作土における細根の量が多かった。また、細根の量は、土壌中に残存した $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度と負の相関、植物体の窒素吸収量と正の相関があった。以上のことから、酸性土壌では窒素吸収において作土における根量、特に細根の量が重要であると考えられる。

O-13

Na⁺/K⁺透過性をもつアクアポリン：イネ OsPIP2;4 およびオオムギ HvPIP2;8 の解析且原真木^{1*}、堀江智明²¹岡山大学資源植物科学研究所、²信州大学繊維学部

(*kmaki@okayama-u.ac.jp)

塩ストレスの一つの側面である浸透圧ストレスに対する根の応答については、根の水透過性制御や浸透圧調節についてのさまざまな先行研究がある。塩ストレスのもう一つの側面、イオンストレスに関しては、根細胞に侵入した Na⁺を細胞外に排出する機能や液胞に隔離する機能、地上部への Na⁺移行の制御についての研究は進んでいるが、細胞へ Na⁺が流入する経路の実体は未だ不明である。本研究では、根で発現している原形質膜型 (PIP) アクアポリンのうち、イネ OsPIP2;4 とオオムギ HvPIP2;8 が Na⁺を透過させることを見出した。アフリカツメガエル卵母細胞をつかった異種機能発現解析系に電気生理測定を組み合わせた実験系において、OsPIP2;4 とオオムギ HvPIP2;8 が Na⁺と同程度に K⁺も輸送すること、Ca²⁺や Cl⁻は透過しないが、Ca²⁺は Na⁺や K⁺の透過性を部分的に抑制することが示された。このような Na⁺輸送性アクアポリンが塩ストレスにおける Na⁺の細胞への流入経路となっている可能性がある。またアクアポリンは水輸送活性をもつ分子でもあることから、塩ストレス環境における根の水輸送とイオン輸送の相互制御の交点としてのアクアポリンの役割と機能について議論したい。

O-14

オオムギの根水透過性制御にかかわる遺伝因子の探求

大西 亜耶^{*}、且原 真木

岡山大学資源植物科学研究所

(*p6va53y9@s.okayama-u.ac.jp)

土壌の塩類集積は農業に大きな影響を与えていて、で、全世界の灌漑地の20%がその被害を受けているとされる。人口が爆発的に増加し、食糧の増産が求められている今日において、塩害の解決は急務である。

これまでの私たちのグループでは、塩ストレスに対して耐性をもつ植物の根では、ストレスがかかってから1時間以内に根水透過性 (Lpr) を下方制御させることで塩による浸透圧ストレスに適応していることを明らかにしている。しかし、Lpr を制御する遺伝因子は明らかになっていない。本研究では中程度の塩耐性をもつオオムギはるな二条と、はるな二条よりも強い塩耐性があると考えられている早木曾2号を交雑したF1世代の個体をはるな二条を反復親に6世代バッククロスしたB6F1のNear Isogenic Line (NIL) 36系統をスクリーニングして、塩ストレス最初期反応であるLprの下方制御をする因子の同定を目指している。今回はNILの親であるはるな二条と早木曾2号のLprに有意な差が見られるのかどうかプレッシャーチャンバーを用いて検証した。また、とNaClを加えた水耕栽培用培養液での両系統生育実験を行った。Lprについては、はるな二条と早木曾2号の間で塩ストレスをかけた時のLprの変化に有意な差が見られなかったが、生育実験でははるな二条と早木曾2号の塩ストレスをかけた時の生育の仕方に違いが見られた。

今回の発表でははるな二条と早木曾2号のNILでLprを制御する遺伝因子が探索可能か議論していきたい。

O-15

Lateral root development is regulated by actin isovariant ACT8 in *Arabidopsis thaliana*Marika Yamauchi^{*}, Takahiro Numata, and Abidur Rahman

Department of Plant Bio Sciences, Faculty of Agriculture, Iwate University, Morioka, Japan

(* a8114059@iwate-u.ac.jp)

Actin is a cell cytoskeletal component preserved in both plants and animals. The plant actins are divided in 2 classes, vegetative actin and reproductive actin. *Arabidopsis* has three vegetative actin isovariants, ACT2, ACT7, and ACT8. They play important roles for the plant development. For instance, primary root and root hair development have been shown to be regulated by different class of vegetative actin (Rahman et al., 2007; Muthugapatti et al., 2009). However, the role of actin isovariant in regulating lateral root development, which is an important structure of root, yet to be elucidated. In the present work, we tried to reveal the role of vegetative actin isovariants in regulating the developmental process of lateral root. Comparative root physiological analyses in actin isovariant mutants, *act7-4*, *act8-2* and *act2-1* showed that loss of ACT8 induced more lateral root. Consistently, analysis of auxin gradient using *DR5-GUS* revealed more auxin response in the pericycle cells of *act8-2* mutant, suggesting that ACT8 modulates the lateral development through regulating intracellular auxin gradient. Furthermore, a differential IAA and IBA response and higher AUX1 expression were observed in absence of ACT8. Collectively, these results suggest that ACT8 works as a negative regulator for lateral root development and cellular auxin homeostasis.

O-16

遺伝子発現解析に用いるイネ根サンプルの水田での採取法と内部標準遺伝子の探索松波麻耶^{1*}・羽田野麻理²・富永陽子³・林秀洋²・長村吉晃⁴・檜館茉奈¹・及川聡子¹・舛谷悠祐¹¹岩手大学農学部, ²農研機構東北農業研究センター, ³岩手大学教育推進機構,⁴農研機構作物開発センター

(* mayanami@iwate-u.ac.jp)

これまで我々は、作物が実際生育する環境であるフィールドでの根の遺伝子発現動態を明らかにするために、水稻根サンプルの水田からの採取方法から RNA 抽出、リアルタイム PCR 法による遺伝子発現解析までの手法について検討を重ねた。サンプリングに要する時間は、遺伝子発現解析の結果に影響することから、可能な限り迅速に完了することが求められる。我々は根系をスコップでブロック状に掘り出したのち、水田内でブロックを振動させることで、土壌除去をより迅速に行うなど工夫した。その結果、出穂期のように根系が発達した生育ステージでも黒ボク土の水田では4分以内にサンプリングを完了することができた。また、第45回根研究集会(2016年倉敷)では、市販キットの組み合わせにより、フィールドでサンプリングしたイネ根サンプルからでも効果的に RNA を抽出する方法について紹介した。今回は新たに、根の遺伝子発現レベルを幅広い生育ステージ間で比較する場合に、安定的な発現レベルを示す内部標準遺伝子についての検討も行ったので報告したい。

P-1

ストロンチウムによるトマトの根に及ぼす影響

長田武^{*}、松田昌也、丹敦志

摂南大学理工学部

(*t-nagata@lif.setsunan.ac.jp)

ストロンチウム (Sr) は地殻中に 370ppm 程度含まれると推測されている。植物にとって Sr は非必須元素であり、その吸収は土壌 pH と植物種によって著しく変化する。ダイズやアマランサスなど一部の種は高い Sr 吸収能を有し、Sr 存在下で生育させることにより他のミネラルの含有量が変動することが明らかにされている。しかし、トマトなどの野菜ではその影響は不明である。そこで、Sr のトマト若苗の根に及ぼす影響について解明を試みた。

本研究ではトマト Micro-Tom を用いた。種々の Sr 濃度を含む寒天培地上に播種し、2 週間後、地上部と根に切り分けその影響を解析した。地上部及び根の新鮮重量は Sr 濃度依存的に減少し、Sr の蓄積は Sr 濃度依存的に増加することがわかった。また、根の形態への影響について顕微鏡下で観察したところ、明らかな組織障害は見られなかった。次に、いくつかのミネラル濃度を測定したところ、鉄およびマグネシウムは顕著な影響は見られなかったが、カルシウムが増加することがわかった。さらに、根におけるスベリンの蛍光染色を行った。その結果、10mM Sr 処理によりスベリンの誘導が観察された。これらの結果から、スベリン誘導による拡散障害がカルシウムの蓄積の一因と考えられる。今後、Sr によるカルシウム吸収機構への影響についても検討したいと考えている。

P-2

異なる低リン耐性を持つダイズ品種の根系分布の比較

古谷舞^{1*}・高田志帆²・増本寛之¹・松村篤^{1,2}¹大阪府立大学大学院生命環境科学研究科・²大阪府立大学生命環境科学域

(*swc02085@edu.osakafu-u.ac.jp)

リンの有効利用のために低リン耐性の高い品種育成が重要である。本研究では世界のダイズミニコアコレクションから選抜された、低リン耐性の異なる 2 品種を用いて根系の形態的特徴を調査した。黒土を充填したワグネルポットに各品種 1 個体ずつ栽培し、V3 期および開花期にサンプリングを行った。リンの施肥条件の異なる +P 区と -P 区の 2 処理区を設定した。V3 期における地上部の乾物重は低リン耐性の低い品種では -P 区/+P 区の相対値が低く、耐性の高い品種と比べて生育が抑えられた。開花期では +P 区と比較して -P 区の地上部乾物重が低リン耐性の高い品種で 61%、耐性の低い品種では 45% に減少した。さらに根系の分布を調べるために株元の周囲 5 cm にコアサンプラーを打ち込んだ。コアサンプラーから取り出した土は上部と下部の半分に分けて回収し、土に含まれる根の太さ別根長を測定した。開花期での総根長は低リン耐性の高い品種のほうが短い傾向にあった。太さ別根長の構成比を比較すると、リン施肥量に関わらず、低リン耐性の低い品種では上部での直径 0.2 mm 以下の細い根の割合が多く、低リン耐性の高い品種では部位に関わらず直径 0.8 mm 以上の太い根の割合が多かった。また、低リン耐性の高い品種では -P 区の上部のコアで細い根の割合がやや増加する傾向が見られた。

P-3

世界のダイズミニコアコレクションにみられた菌根依存性の品種間差

高田志帆^{1*}・古谷舞²・増本寛之²・松村篤^{1,2}¹大阪府立大学生命環境科学域, ²大阪府立大学大学院生命環境科学研究科

(*szc02038@edu.osakafu-u.ac.jp)

アーバスキュラー菌根(AM)菌は土壌中に菌糸を伸長して獲得したリンを宿主植物へと輸送し、植物の生育を促進する。本研究では、AM菌共生を利用した低リン耐性ダイズの育種へ向け、遺伝的変異を幅広くカバーした世界のダイズミニコアコレクションを用いて菌根依存性の品種間差を調査し、その要因を考察した。処理区はリン酸二水素カルシウムを500mg/kg soil 施肥する+P区と50mg/kg soil 施肥する-P区を設け、それぞれにAM菌を接種するAMF区とAM菌を接種しないNAMF区を設けた計4処理区とした。供試土壌は黒ボク土とし、開花期にサンプリングを行った。菌根依存性はAM菌感染による乾物重の変動を表し、(AMF区における乾物重/NAMF区における乾物重)×100-100で算出した。-P区、+P区共に菌根依存性は品種間で異なり、AM菌接種により乾物重が2倍以上となった品種もあれば、生育が抑制された品種もあった。-P区と+P区の間には菌根依存性の相関がなかったことから菌根依存性はリン施肥量によって変動する可能性がある。また、NAMF区における-P区での生育抑制が大きかった品種はAM菌接種効果が高くなる傾向がみられた。この結果から、低リン条件下で生育が大幅に抑制される品種はAM菌の共生によって損失分を補おうとしたと考えられる。今後は根におけるAM菌の感染率の調査を行い、菌根依存性の品種間差に関わる形質の解明を試みる予定である。

P-4

水分供給方法の違いが根系発育反応に及ぼす影響

仲田(狩野)麻奈^{1,2*}・中村倫理¹・三屋史朗¹・山内章¹¹名古屋大学大学院生命農学研究科・²名古屋大学高等研究院

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

作物の栽培圃場においては、降雨や灌漑によって時間的にも空間的にも水分勾配が形成される。このような水分勾配に対するイネ根系の反応を評価するため、根系構造において異なる特徴を持つイネ品種を対象にして、根系の構成根別に定量的に解析した。材料に、IR64(水稲・浅根性)、Kinandang Patong(陸稲・深根性)とYTH183(IR64染色体断片挿入系統・土壤水分変動条件で根系が可塑的に反応)を供試し、改良根箱・ピンボード法を用いた。処理区に、湛水区(対照)と土壤水分変動区(SMF)を設け、SMFは、上部湛水区(TI-SMF)および下部湛水区(BI-SMF)を設けて34日間生育させた。SMFの根箱全体の土壤含水率は約23%であったが、BI-SMFはTI-SMFとくらべて、より明瞭な土壤水分勾配が形成された。3品種・系統ともに、根系構造はSMFに対して大きく変化し、とくにSMFで地上部生育・根系発育が優れていたYTH183は、根伸長角度を変化させ、それによって土壤深層への根系分布が有意に増加した。また、YTH183は、SMFによってL型側根が有意に促進されており、これらの根系形質の反応が不均一な水分分布条件に対する適応性に大きく貢献することが示唆された。

P-5

浸透ポテンシャル勾配が駆動力となるときの水移動における根齢と異形根の機能の関係

渡邊友実加^{1*}・三屋史朗¹・仲田(狩野)麻奈^{1,2}・山内章¹¹名古屋大学大学院生命農学研究科・²名古屋大学高等研究院 (*watanabe.yumika@a.mbox.nagoya-u.ac.jp)

イネ根系を構成する、内部組織構造や外部形態が異なる複数の種類の個根(異形根)は、水吸収・輸送における役割を分担している可能性がある。そこで本研究では、種子根系を対象とし、それを構成する異形根の中で、細く、短く、分枝能を持たないS型側根は、太く、長く、分枝能を有するL型側根や種子根軸と異なり、通気組織を形成せず、また相対的に放射方向の細胞層数が少ないことから、放射方向の cell-to-cell 経路の水通導性($L_p(\text{osmotic})$)が、他の異形根より高いとする仮説を立て、 $L_p(\text{osmotic})$ と、全種子根系表面積に対するS型側根の表面積の割合との関係を調べた。さらに、加齢に伴って側根表面積が拡大していくことから、これらの関係を数段階の齢の根を用いて検証した。材料にはイネ品種日本晴を供試し、播種後5日と25日に $L_p(\text{osmotic})$ を測定した。 $L_p(\text{osmotic})$ は、ガラスキャピラリーを用いて出液速度を測定したのち、導管液の浸透ポテンシャルおよび根の表面積を測定し、算出した。その結果、5日齢の種子根においては、出液速度および $L_p(\text{osmotic})$ と全種子根系表面積との間に有意な相関関係は認められなかったが、全種子根系表面積に対するS型側根の表面積割合をかけた出液速度および $L_p(\text{osmotic})$ と、S型側根表面積との間には有意な正の相関関係が認められた。この結果は、浸透ポテンシャル勾配が駆動力となるときの水移動においては、根の表面積ではなく、異形根の種類が $L_p(\text{osmotic})$ を規定することを示している。また、25日齢の節根系においても同様の結果が得られたことから、加齢によって異形根間の水輸送能における役割分担が変化するのではなく、播種後5日目という早い生育段階でS型側根はすでに高い $L_p(\text{osmotic})$ を有していると考えられた。今後は、プレッシャープローブを用いてこれらの異形根の水通導性を直接測定し、異形根間の役割分担を明らかにする。

P-6

異なる水条件下における *our1* 変異体の根の成長特性長谷川友美^{1*}・柴田晃秀¹・高橋(野坂)美鈴¹・西内俊策¹・鮫島啓彰²・菊田真由美²・榎原大悟²・山内章¹・犬飼義明²¹名古屋大学大学院生命農学研究科、²名古屋大学農学国際教育研究センター

(*hasegawa.tomomi@i.mbox.nagoya-u.ac.jp)

土壌中の乾燥や水分変動はストレスとなるため、イネの乾物生産や収量の維持にはストレスへの適応性を高めることが重要である。これまで、非ストレス環境下において優れた根系発育を示すイネ *our1* (*outstanding rooting 1*) 変異体の形態学的特徴を生育段階別に調査した結果、弱いストレス下において生育後期に細い側根を増加させ、水吸収を活発に行うことが明らかとなった。一方で、生育前期には野生型に比べ優れた形質が示されなかったため、本研究では、生育前期のストレスを変化させることで、*our1* 変異体が優れた根系発育を発揮し、地上部生育に貢献する環境を探索した。本変異体の分けつ数増加には播種後40日頃までのストレスが必要であり、変異体はその後の湛水に反応して野生型と比べて多く吸水し、地上部生育・総根長を増加させたことから、水管理によって生育前期の *our1* 変異体の形態的な改善が可能となった。

さらに、野生型に比べ長い種子根を持つ *our1* 変異体の分裂活性および細胞伸長領域を調べたところ、*our1* 変異体は野生型に比べ分裂活性を持つ細胞領域、細胞伸長領域ともに広がった。このことから、*our1* 変異体を持つ長い種子根は高い分裂活性および細胞伸長能により生じると考えられた。

P-7

Starch biosynthesis and sugar transport are involved in lateral root development of riceN Lucob-Agustin^{1*}, M Nakata-Kano¹, D Sugiura¹, M Takahashi-Nosaka³, A Yamauchi^{1,2} and Y Inukai²Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University¹International Center for Research and Education in Agriculture, Nagoya University²National Institute of Genetics, Japan³

(*nonawin_lucob@yahoo.com)

We previously identified a rice recessive mutant, *11NB10*, which showed enhanced lateral root (LR) development under non-stress condition although such root phenotype is observed under stress condition. This mutant had also lesser starch stain in its stem than wild-type (Nipponbare), which points us to the possible transport of sugars for LR development. Our result showed that sucrose and glucose levels of *11NB10* mutant were higher specifically in the zone of early LR formation and near root tip concomitantly with lower stem starch level than Nipponbare, which may suggest participation of the starch biosynthesis and sugar transport for LR development. In here, we present regulation of the causative gene in LR development through the involvement of the starch biosynthesis and sugar transport. Currently, we identified a candidate starch biosynthesis gene explaining lower stem starch level in the mutant simultaneous with survey of several sugar transporter genes (*SUTs* and *SWEETs*) as possible target of the causative gene under non-stress and stress conditions.

P-8

熱帯多雨林における根現存量と根呼吸量の変動特性

大橋瑞江

兵庫県立大学

(ohashi@shse.u-hyogo.ac.jp)

樹木根は森林土壌圏の炭素動態と深い関りを持っている。直径 2 mm 程度の細根はターンオーバーが早く、土壌に大量の有機物を供給する一方で、直径 2 mm 以上の粗根は、寿命が長いことから炭素の貯留源として機能している。また根の呼吸は、地面から放出する CO₂、すなわち土壌呼吸の約半分を占めることから、根の呼吸の変動は、土壌呼吸の時空間変動の大きな要因となりうる。しかしながら、アクセスが困難であり、空間不均一性の高い熱帯多雨林において、樹木根の現存量や根呼吸のばらつきは、十分に理解されておらず、熱帯土壌の炭素動態の解明は送れている。そこで本研究では、マレーシア、サラワク州の熱帯多雨林で、根のバイオマスと根呼吸の空間分布を、細根と粗根のそれぞれで明らかにすることを目的とした。2010 年から 2012 年にかけて、試験地内 160 カ所で根系採取を行った。根系の採取は深さ 0–10 cm と 10–30 cm の 2 深度に分けて行い、採取した根系はすぐに実験室に持ち帰って細根と粗根に選り分け、それぞれを室温約 25°C の実験室で赤外線ガス分析計によって根呼吸を測定した。その後、60°C のドライオーブンで根系を乾燥させ、乾重を求めた。本試験地では、細根と粗根のバイオマスにはいずれも高い空間的ばらつきがみられ、その平均値は粗根の方が細根よりも 30~10 倍高かった。また細根の呼吸活性は粗根の 2 倍程度高く、粗根の呼吸は表層部の方が深層部よりも高くなった。これらの結果から、土壌表層部では細根の高いバイオマスと呼吸活性によって炭素が活発に循環していると考えられた。

P-9

異なる周波数を用いた地中レーダによる海岸カシワ根系の検出

平野恭弘^{1*} 谷川東子² 新田響平³ 太田敬之⁴ 小野賢二⁴ 野口宏典⁴¹名古屋大環境 ²森林総研関西 ³秋田県林セ ⁴森林総研東北

(* yhirano@nagoya-u.jp)

土を掘らずに樹木根の位置を推定する方法として地中レーダ法が提案されている。これまで地中レーダ法では、根の集中する表層 50 cm 程度の深さまでを対象に、900MHz や 1500MHz のレーダ周波数を用いて行われてきた。レーダ周波数が低くなると表層の根の検出精度は低下するものの、より深い層に生育する根を検出できる可能性がある。しかし森林において同じ場所で異なるレーダ周波数を用いて根の検出を試みた知見は国際的にも非常に限られている。そこで本研究はレーダ周波数の違いが樹木根の深さや本数の検出に、どの程度影響するかを明らかにすることを目的とした。

秋田県潟上市の海岸林に植栽された 40 年生のカシワ (胸高幹直径 16cm 樹高 8m) 根系を対象とし、周波数 400, 900, 1500MHz の地中レーダを用いて幹を中心に 1.5m の同心円状に設置された測線を探査した。

根の深さについて、根のレーダ反射波形は 1500MHz では 30 cm 程度まで、400MHz では 1.5m 程度まで認められ、低い周波数のレーダでより深くまで根の検出が可能であった。一方で同じ深さにおける根の検出本数は、表層 30 cm 程度までは 1500MHz でより小さな半円弧状反射波形が他の周波数よりも多く観察された。本結果から、土壌深くまで成長する主要な太い根系の検出には 400MHz が適当であることが示唆された。

P-10

地中レーダを用いた海岸カシワの水平根系構造の推定

谷川東子^{1*}・平野恭弘²・新田響平³・太田敬之⁴・小野賢二⁴・大谷達也⁵・萩野裕章⁴・野口宏典⁴¹森林総合研究所関西支所 ²名古屋大学大学院環境学研究科 ³秋田県林業研究研修センター⁴森林総合研究所東北支所 ⁵森林総合研究所四国支所

(* tanikawa@affrc.go.jp)

地中レーダは非破壊で地中の埋設物を見つけ出す技術であり、我々はこの技術を樹木根の探査に適用することを目指している。現在まで、この技術により根系の調査対象となった樹種は、国内ではクロマツやスギなど、海外ではテダマツなど、針葉樹が多い。一方で、津波で破壊された海岸林の再造成地では、多様な広葉樹を活用する動きがみられる。広葉樹の多くは細根・粗根の混み具合や伸長の方向性などがスギなどとは異なるので、地中レーダによる広葉樹根系の探査可能性を検討する必要がある。そこで浜山試験地 (秋田県潟上市) において約 40 年生のカシワ 3 本の地中レーダ探査を行った。幹を中心に半径 0.5, 1.0, および 1.5m の同心円測線を設置し、400MHz のアンテナを用いて探査した。またレーダ探査後にはエアスコップと重機、細部は人力により、根系の掘り取り調査を行った。その結果、主要な根系構造を構成する太い根、とくに鳥瞰写真上の多くの水平根について、レーダ画像上で反射波形が認められた。またレーダで推定された主要な水平根系と掘り取り根系は類似していた。以上から地中レーダはカシワの探査に適していることが示唆された。

P-11

芽ばえ～大木への成長を牽引する個体呼吸の根系/地上配分シフト

森茂太*・黒澤陽子

山形大学農学部

(*morishigeta@tds1.tr.yamagata-u.ac.jp)

どんな樹木でも、芽生～大木で個体呼吸は大きく変動する(スケールリング)。このスケールリングを根系を含む個体レベルで捉えることは、樹木が大型化した適応的意義やメカニズムを解明することになる。

そこで、シベリア～熱帯、芽ばえ～樹高 34m の大木まで 100 種以上、約 1000 個体の根を含む樹木個体呼吸を器官別に測定した。その結果、驚いたことに当初予想した系統や環境間の個体呼吸の差は殆どなかった。しかし、根系と地上部呼吸は明確に異なる傾向を示し、サイズに応じて個体呼吸の根系/地上配分は右図のようにシフトした。

さらに、芽ばえ～大木の様々なスケールリングを詳細に検証したところ、多くの樹種に共通した「芽生え～稚樹期」の「根系の低コスト急速成長」を発見した。これが、効率よく地上部機能を牽引して、個体全体の成長を加速すると考えた。この結果は、従来の葉だけに着目した成長モデルとは異なる「根の機能と構造を起点」とした「植物個体の革新的成長モデル」や、「根を育てて地上部を育成する技術」の基盤となるだろう。

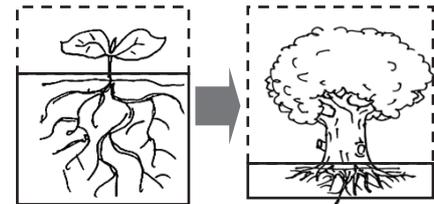


図. 個体呼吸の根系/地上配分のイメージ: 芽生え⇒大木(樹高 34m)で個体呼吸の根系への配分は 66⇒16%にシフトし、水獲得型⇒炭素獲得型に樹木個体の機能と構造がシフトする。

P-12

ブナ個体成長を牽引する芽ばえから稚樹期の根系低コスト急速成長

黒澤陽子*・森茂太

山形大学農学部

(*a170033m@st.yamagata-u.ac.jp)

樹木の成長は根系と地上部の呼吸(エネルギー代謝)を通した相互作用によって維持される。一方で、根系/地上部の重量比の変化は環境変動に応じた適応現象として考えられている(Bloom et al. 1985)が、個体が環境から受ける影響やその程度は個体サイズとともに変化すると予想される。従って、樹種特性を広い視点で理解するためには、呼吸を個体レベルで個体サイズと関係づけて実生～成木まで評価することが重要である。

本研究は実生期から成木までのブナの成長の種特性を個体生理学的な視点から理解することを目的として、ブナ実生から成木まで 325 個体の地上部と根系の重量と呼吸を実測した。この結果、実生～稚樹期には地上部よりも根系の重量が大きく増加したが、重量に対する呼吸の増加(コスト)は地上部よりも根系の方が小さかった。この低コストでの根の急速成長は根表面積の急速拡大を伴っており、1年生実生の個体表面積の約 82%は根が占めていた。さらに、この低コストで急速な根系成長は発芽～成木の成長において実生期だけの現象であった。この現象は、実生が低コストで効率的に乾燥枯死を防ぐ適応現象であると同時に、光合成獲得に必要な栄養塩類の蓄積を促進して成木までの成長を牽引するプロセスであると考えられる。

P-13

Source of oxygen fed to adventitious roots of *Syzygium kunstleri*, a flood-tolerant tree(湿地生樹木 *Syzygium kunstleri* の不定根への酸素供給源)

ソ ホンドク*・益守 眞也・丹下 健

東京大学 大学院農学生命科学研究科 森林科学専攻

(*hongducksou@fr.a.u-tokyo.ac.jp)

Syzygium kunstleri は熱帯アジアの湿地周辺に分布する高木種で、根圏の低酸素条件に対して通気組織や不定根の形成といった形態的適応を示す。根内に酸素電極を挿入して酸素濃度を実測することで通気組織内の酸素動態を明らかにする実験をおこなってきた。

苗を水耕すると茎(幹)の樹皮に二次通気組織が発達し、水面近くに不定根が伸長する。この不定根内の酸素濃度は脱酸素した寒天内に固定しても高い値を維持し、暗くしても低下しないことから酸素供給源が光合成でないことがわかる。茎の一部を囲ったキュベット内を窒素あるいは空気で満たして部分的に酸素濃度を変える実験をおこなったところ、水面より上0~3 cmの茎の周囲の酸素を除いたときだけ根内酸素濃度が低下した。水位を上げると新たな不定根が水面近くに伸長してくるが、この不定根内の酸素濃度は、新たな水面から上0~3 cmの酸素条件に応じて変化した。水位上昇前からあった不定根内の酸素濃度は、新たな不定根よりも低い値であったが、元の水面上0~3 cmの酸素濃度を戻すと上昇した。

根圏の低酸素条件下において不定根に供給される酸素は水面に近い樹皮から取り込まれるが、水位が変化しても取込み部位と根との位置関係はあまり変化しないことがわかった。

P-14

(予報) 土壌踏圧と窒素付加がグイマツ雑種 F₁ 苗木の成長に与える影響

—地上・地下部の応答から—

菅井徹人^{1*}、横山聡子²、小池孝良³、佐藤冬樹⁴、渡部敏裕³¹北海道大学農学院・²北海道大学農学部・³北海道大学農学研究院・⁴北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

(*tsugai@for.agr.hokudai.ac.jp)

林業の低コスト化を背景に重量機械の作業頻度が増加することで、林地内の土壌環境の踏圧を招くことが懸念されている。一方、大陸における著しい産業発達により窒素沈着が、森林生態系に与える影響が懸念されて久しい。本研究では、このような土壌踏圧や窒素沈着が、グイマツ雑種 F₁ の植栽苗木に与える影響を評価した。北海道大学札幌研究林において、試験区画全体を耕耘機で耕した後、土壌踏圧を3段階、窒素付加処理を2段階、合計6処理区を設けた。踏圧強度は、2種類の重機により往復回数を変化させ、山中式硬度計の硬度指数として約0, 18, 25 mmに設定した。窒素付加処理には、硫酸アンモニウムを用いて、将来想定される窒素付加量として年間ヘクタール当たり50 kg窒素相当量を、5回に分けて与えた。4反復の処理プロットを設けた後、各プロットに2年生のグイマツ雑種 F₁ 苗木を植え付け、さらに苗木から15 cm離れた位置にスキャナボックスを設置した。本発表では、土壌踏圧と窒素付加に対するグイマツ雑種 F₁ 苗木の応答として、地上部では成長量や光合成速度、地下部ではスキャナ法により得た根画像の解析結果について紹介したい。

P-15

酸緩衝能の異なる土壤に生育するヒノキ細根系の次数形態特性

土居龍成^{1*}・谷川東子²・和田竜征¹・平野恭弘¹¹名古屋大学大学院環境学研究科・²森林総合研究所関西支所

(*doi.ryuusei@c.mbox.nagoya-u.ac.jp)

土壤中の養分を吸収する役割を担う樹木細根は土壤環境の変動に敏感な器官であり、形態を変動することで環境に適応している。日本の主要な人工林樹種であるヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) において土壤酸緩衝能の違いによる細根量の変動が報告されており、土壤酸緩衝能の低い林分のほうが高い林分に比べて有意差はないものの増加する傾向にあった。量と質はトレードオフの関係にあるため、細根量と形態の間にも何らかの関係がみられると思われる。そこで本研究では、対照的な酸緩衝能の土壤に生育するヒノキ細根系の次数別形態特性を明らかにすることを目的とした。

東海地方(愛知・岐阜・三重・静岡)のヒノキ7林分を対象とし、樹幹から1 m離れた地点で根端(1次根)から4次根に至るまでの完全な無傷の細根系を各林分において30根系(5個体×6根系)採取した。細根系は各次数に分けた後、形態特性(根直径・根長・乾重・個根数)を測定した。その結果、各次数根の形態特性を林分間で比較すると、1~3次根の平均直径や根長は約1.4倍変動することが明らかとなった。また、3,4次根の直径と細根量の間には負の相関がみられ、土壤酸緩衝能の低い林分で高い林分に比べ根直径が細くなる傾向にあった。土壤養分の少ない林分では養分を効率よく吸収するために細い根を多く産出したと考えられる。このように酸緩衝能の違いによるヒノキ細根系形態の成長戦略や環境への適応の違いを考察していく。

P-16

乗鞍岳の森林限界における4樹種の細根水分生理および形態特性

矢原ひかり^{1*}・東若菜²・鎌倉真依²・牧田直樹¹¹信州大学大学院総合理工学研究科・²京都大学大学院農学研究科

(*hikari.yahara@gmail.com)

樹木の生存に水は欠かせないものであり、地下部の水の吸収・輸送を担うのは根である。高木種の生存の境界である森林限界は、低温や乾燥、冬季の土壤凍結など樹木にとって水利用が厳しい環境である。根は樹種の系統や共生菌の違いによって生存戦略が異なることが示唆されていることから、森林限界に生育する種間で水利用における戦略の違いがあると考えた。特にハイマツは、森林限界以上の標高でも生育できる矮性低木種であり、特異的な特性が期待される。このような森林限界に生育する樹木の根系を介した水の吸収・輸送を解明するため、長野県の北アルプスに位置する乗鞍岳の森林限界である標高2,500m付近で優占する樹木4種の細根系の形態および水分生理特性を評価した。対象樹種は被子植物-外生菌根であるダケカンバ (*Betula ermanii*)、被子植物-内生菌根であるナナカマド (*Sorbus commixta*)、裸子植物-外生菌根であるハイマツ (*Pinus pumila*) およびオオシラビソ (*Abies mariesii*) とした。形態特性として資源獲得能力の高さを示す比根長(m g^{-1})および根の物理的強度や成長に関わる根組織密度(g cm^{-3})、水分生理特性として根の水分状態を示す水ポテンシャル(MPa)および水の流れやすさを表す通水コンダクタンス($\text{m sec}^{-1} \text{MPa}^{-1}$)を測定した。本発表では4樹種の根特性を比較し、樹木細根の水吸収・輸送について議論する。

P-17

冷温帯林 18 樹種における樹木細根の可視-近赤外反射特性

谷川夏子^{1*}・中路達郎²・小島実和¹・牧田直樹¹¹信州大学理学部・²北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

(*tanikawa.nat@gmail.com)

多くの植物図鑑では、植物の種ごとに葉や樹皮の色や形態の特徴が整理され、種の識別法も確立されている。一方、植物根に関してこれらの情報の整理はほとんど行われておらず、種識別法の確立にも至っていない。本研究では、一般に色素や有機物などの化学組成や細胞の発達段階を反映する可視-近赤外波長の連続分光反射率が、細根の樹種間差と形態的な特性においてどのような関係をもつのか調査した。北海道大学苫小牧研究林において針葉樹 6 種と広葉樹 12 種の計 18 種の細根系を対象とした。異なる成長段階を把握するため、直径 0-0.5mm、0.5-1.0mm、1.0-2.0mm、2.0-4.0mm の 4 階級に分け、それぞれ 458-2391nm (可視: 400-750nm、近赤外: >750nm) の連続分光反射率画像を撮影した。撮影した根系は、各直径階級で形態特性の比根長、根組織密度を測定し、反射率との関係を解析した。結果、18 樹種の根系の連続分光反射率は、各直径階級ともに大きく 4 つの山型のピークを持つ曲線を示した。458-1400nm の波長帯では、直径が大きいほど反射率が高い傾向がみられた。反射率は樹種間でばらつきがみられ、そのばらつきの大きさは波長帯によって異なった。458-960nm では直径が大きいほど樹種間のばらつきも大きくなった。本発表では形態特性を加味して反射率と種の関係の考察を深める予定である。

チガヤの 2 生態型とその F1 雑種における根の通気組織の発達程度の評価

野村康之

京都大学大学院農学研究科

根研究学会「苜住」国内研修支援の一環として 8 月 2～3 日の 2 日間、東京大学大学院農学生命科学研究科の根研究学会会員である山内卓樹博士のもとで「根の切片作製法」の習得を目的とした研修を行った。

これまでに筆者は、チガヤの根茎（地下茎）の切片を作成し、根茎内にできる通気組織の観察を行ってきた。根茎は太く、頑丈であるため、切片作製と観察に高い技術は要求されない。それに対して、土耕で栽培した植物体の根は細く、もろいため、根の通気組織の観察のためには緻密な切片の作製技術を習得することが必要不可欠な状況であった。

山内博士にご教示いただいた根の切片作製法は、生の根をカミソリで切るというシンプルな手法である。しかし、根の各組織の観察を目的とした切片の作製には習熟が必要であったため、指導を受けながら練習を繰り返し、最終的には光学顕微鏡下での観察に耐えうる切片を作製することができた。切片の作製法の他にも、根のリグニン染色法や山内博士の所属する植物分子遺伝学研究室の設備を用いた根の切片の写真撮影の手法

もご教示いただいた。リグニン染色用の試薬や紫外線照射下での撮影設備は、筆者の所属する研究室には備わっていないため、普段では撮影できない根の染色写真や紫外線照射下の写真を得られて有意義であった。本研修を通して、チガヤの根の通気組織の形成される様子やリグニンの蓄積の程度について、いくつかの示唆が得られたため、今後の研究に活かしていきたい。

本研修は、チガヤの湛水ストレスへの応答機構の一端を調査するために遂行されたものである。筆者の所属する研究室では、湛水ストレス応答に関する研究を展開しているものはおらず、十分な議論の機会がもてなかった。本研修期間中に、山内博士と湛水ストレス応答に関する議論を深め、今後の研究の方向性を明確にできた点でも有意義な機会であった。

本研修を遂行するにあたりお世話になった東京大学の山内卓樹博士、筆者の受け入れを快諾してくださった植物分子遺伝学研究室の堤伸浩教授はじめ同研究室の皆様、この機会を後押ししてくださった根研究学会の「苜住」国内研修支援に心より御礼を申し上げます。

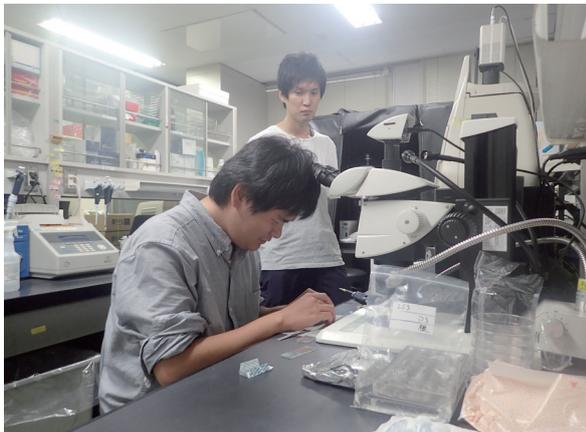


図1 根の切片作成の指導の様子（手前：筆者，奥：山内卓樹博士）。



図2 作成したチガヤの根の切片。

【根研究学会「苜住」国内研修支援の募集】

・根研究学会「苜住」国内研修支援では、会員間の横のつながりを強めることを目的に、ポスドク・学生会員向けに根に関する研究方法習得のためなどの国内研修の旅費支援として、年間2件（前期後期各1件、1件あたり3万円）を助成します。

・今回募集の支援は、前期を2019年1月から6月、後期を7月から12月の期間に訪問する研修を対象とします。申込期限は、前期分2019年1月31日、後期分2019年6月1日とします。

・審査方法は正副会長と正副事務局長で合議し、評議員にメーリングリストで報告後、決定します。

・採択された場合には「根研究学会「苜住」国内研修支援採択」の証明書を授与します。また訪問終了後、会誌「根の研究」に研修報告を投稿して頂きます（写真2枚程度を含む原稿量1ページ、原稿提出締切は研修終了後概ね1か月以内）。

・申請書（以下の書式、A4で1枚にまとめること、根研HPの添付ファイルを参照）に従い、研修題目、1）申請者情報、指導教員または受入研究者の押印、2）訪問先、3）現在行っている主な研究の概要と研修により期待される研究進展効果（400字程度）を記載し、指導教員または受入研究者経由で以下の根研究学会事務局までE-mailの添付ファイルとして申請して頂くと共に、申請書原本を郵送でもお送り下さい。

根研究学会「苜住」国内研修支援申請書

研修題目：

1) 申請者情報

申請者氏名：

申請者所属：

連絡先（住所 メールアドレス 電話番号）：

生年月日：

会員種別： 正 / 学生

指導教官または受入研究者氏名：

印

所属・職：

2) 訪問先

訪問場所（連絡先 受入研究者名）：

訪問期間：

3) 現在行っている主な研究の概要と研修により期待される研究進展効果（400字程度）：

送付先：

〒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

E-mail : neken2018@jsrr.jp

根の研究 第27巻 (2018年) 総目次

【巻頭言】

会員の皆様へ	1(1)
会長挨拶・新役員一覧	3(1)
会員の皆様へ	33(2)
会員の皆様へ	65(2)
会員の皆様へ	93(4)

【原著論文】

トマトプラグ苗の側面接触定植は保水シート耕における活着を改善し二段栽培の生産性を向上させる 中野明正・江口陽子・酒井浩伸・趙鉄軍・並崎宏美	5(1)
黒ボク土の水田転換畑におけるプラウ耕がトウモロコシの根の出液速度および根系分布に及ぼす影響 篠遠善哉・丸山幸夫・松波寿典・大谷隆二	10(1)
有機質肥料施用による土壌中のアミノ酸濃度および組成の変化響 横山咲・由利かほる・森田祥司・上野真菜・河端美玖・雨宮あや乃・中村進一・服部浩之・頼泰樹	35(2)
ドライフォグ噴霧耕装置で栽培した多収性イチゴ‘紅ほっぺ’における根の発育特性 望月佑哉・村上望・田淵なな・荻原勲	95(4)

【教 育】

「異なる施肥条件下で栽培したトウモロコシの生長測定と成分分析」をテーマとした学生実験の進め方 小川敦史	67(3)
--	-------

【論文紹介】

OsPIN2 遺伝子は根端でのオーキシン分布の制御を通して、根の伸長成長や側根形成パターンの決定に関与する 犬飼義明	78(3)
---	-------

【書籍紹介】

稲の生長を支える根—地上部の生長の良否は根のそれによって規定される— 川島長治	80(3)
「サツマイモ事典」「焼きいも事典」「干しいも事典」 藏之内利和	81(3)

【報 告】

樹木の次数細根における短時間連続成長過程を評価するためのスキャナ法の習得 土居龍成	17(1)
第48回根研究集会に参加して 安藤希珠名	44(2)

第 48 回根研究集会発表プログラム	44(2)
第 48 回根研究集会発表要旨	47(2)
International Society of Root Research Conference ISRR 2018 に参加して	
渡邊友実加	82(3)
第 49 回根研究集会に参加して	
黒澤陽子	102(4)
第 49 回根研究集会プログラム	103(4)
第 49 回根研究集会発表要旨	108(4)
チガヤの 2 生態型とその F1 雑種における根の通気組織の発達程度の評価	
野村康之	128(4)
【情 報】	
新刊紹介	18(1)
第 48 回根研究集会のお知らせ	19(1)
カレンダー	23(1)
カレンダー	63(2)
菜根譚 野菜の根の話 1. 「菜根譚」から学ぶ	77(3)
菜根譚 野菜の根の話 2. 土・牛・微生物	101(4)
【公 示】	
名簿データ登録（更新）のお願い	24(1)
根研究学会会則	26(1)
根研究学会学術賞規定	27(1)
『根の研究』投稿規定	28(1)
『根の研究』原稿作成要領	28(1)
『根の研究』論文審査要領	29(1)
国際誌 Plant Root に掲載の 2017 年の論文	30(1)
【会 告】	
2018 年度 根研究学会総会報告	59(2)
2018 年度 根研究学会賞の決定について	85(3)
第 49 回根研究集会のお知らせ	87(3)
根研究学会「苜蓿」国内研修支援の募集	129(4)
「根の研究」第 27 巻 総目次	131(4)

Root Research 根の研究

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

事務局 〒104-0033 東京都中央区新川 2-22-4 新共立ビル 2F
株式会社共立内 根研究学会事務局
Tel : 03-3551-9891
Fax : 03-3553-2047
e-mail : neken2018@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27巻 第4号 2018年12月15日印刷 2018年12月20日発行
発行人：犬飼義明 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町
名古屋大学農学国際教育協力研究センター
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

Morphological characteristics of root development in a high-yielding strawberry cultivar (*Fragaria*
× *ananassa* Duch.) 'Benihoppe' grown under dry fog cultivation system

Yuya MOCHIZUKI, Nozomi MURAKAMI, Nana TABUCHI and Isao OGIWARA 95