

# Root Research

Japanese Society for Root Research

ISSN 0919-2182  
Vol.26, No.3  
September 2017

## 目 次

### 【巻 頭 言】

会員の皆様へ ..... 37

### 【総 説】

イネにおけるアクアポリンの機能と環境応答

石川(櫻井)淳子・羽田野麻理・林秀洋・松波麻耶・桑形恒男 ..... 39

### 【報 告】

第 46 回根研究集会に参加して ..... 56

第 46 回根研究集会発表プログラム ..... 58

第 46 回根研究集会発表要旨 ..... 61

### 【会 告】

2017 年度根研究学会総会報告 ..... 73

2018－2019 年度 根研究学会会長選挙の結果について ..... 77

第 47 回根研究集会のお知らせ ..... 78

根の研究  
根研究学会(JSRR)



## 会員の皆様へ



### 告 示

#### ○2018－2019 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、2018－2019 年度(2018 年 1 月 1 日－2019 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、無投票で犬飼義明現会長が再選しました。詳細と犬飼現会長の立候補届を今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. 2017 年の根研究集会

- ・第47回根研究集会 [本号に開催案内を掲載・詳細はホームページにて]

発表申込は10月4日(水)、参加申込は10月18日(水)が締切です。宿泊は、各自、早めに予約の手配をお願いします。また、講演要旨の作成方法が第38回根研究集会から変更されておりますのでご確認ください。要旨提出は10月13日(金)が締切です。

開催場所 大阪府立大学なかもずキャンパス B11棟大会議室

開催日時 2017年10月28日(土)10:30～17:45

- ・特別講演

第47回根研究集会では大阪府立大学の高野順平教授による特別講演が開催されます。演題は「植物におけるハウ素の獲得と移行- ハウ酸トランスポーターの局在と制御を中心に -」です。

- ・2018年度の集会

春の第48回は前橋工科大学(群馬県前橋市)、秋の第49回は森林総合研究所東北支所(岩手県盛岡市)が開催地で開催に向けて準備中です。

#### 2. 2017 年の根研究集会から学生会員の参加費は無料になります

2017年から学生会員の参加費は無料になります。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。

#### 3. 第46回根研究集会の開催と優秀発表賞授賞報告

6月17日に富山大学五福キャンパスで第46回根研究集会が開催されました。唐原実行委員長、ならびに学生を含む富山大学の皆様のおかげをもちまして活発に開催することができました。ありがとうございました。また今回から優秀発表賞が導入され、木富悠花氏、神山拓也氏、渡邊友実加氏の3名が受賞し、開催当日に授賞式が執り行われました。

#### 4. 総会において予算・事業計画が承認されました

6月17日に第46回根研究集会内で総会を行い、本年度の予算、事業計画が承認されました。詳しくは今号に掲載の報告をご覧ください。また、特別会計の予算状況が改善したことから、特別会計から20万円を荏住基金に積み立て、今年度後期(2017年10月－2017年12月)から根に関する研究方法習得のためなどの国内旅費支援として再開しました。年4件、1件1.5万円の支援を行います。

#### 5. 根研究学会会員名簿への掲載について

2年毎に会員名簿を6月に発行し、皆様のお手元に届けています。しかし、個人情報の管理が厳しく、各会員の承諾なしでは掲載することができなくなり、今年予定していた6月に発行することができなくなりました。根研究学会の会員名簿は会員間の情報交換を目的として研究テーマなど多くの情報を掲載しています。これからも会員名簿の発行を続けていきたいと思っておりますので、お手数をおかけしますが掲載の承諾・拒否のご連絡をお願いいたします。9月20日(水)までにneken2017@jsrr.jpに「会員名簿」という題名のメールで連絡を下さい。事務局まで電話もしくはFAXでご連絡いただいても構いません。ご連絡が無い場合は承諾として扱い、これまで通り名簿に情報を掲載します。なお、

会員名簿は10月に発行する予定です。

#### 6. 名簿データ更新のお願い（異動のないかたもご協力下さい）

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

#### 7. 電子版会誌のダウンロードについて

2017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>

#### 8. 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。

#### 9. 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う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なりました。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。

#### 10. 会費納入のお願い

2017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（2017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（ゼロイチキョウテン） 「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：[neken2017@jsrr.jp](mailto:neken2017@jsrr.jp) 『根の研究』編集委員長：[editor2017@jsrr.jp](mailto:editor2017@jsrr.jp)  
Plant Root 編集委員長：[editor2017@plantroot.org](mailto:editor2017@plantroot.org)
- ・Web サイト 根研究学会：<http://www.jsrr.jp/>  
Plant Root：<http://www.plantroot.org/>



## イネにおけるアクアポリンの機能と環境応答

石川(櫻井)淳子<sup>1,2,3)</sup>・羽田野麻理<sup>1)</sup>・林秀洋<sup>1,3)</sup>・松波麻耶<sup>1,4)</sup>・桑形恒男<sup>5)</sup>

1) 農研機構東北農業研究センター

2) 農研機構次世代作物開発研究センター

3) 岩手大学大学院連合農学研究科

4) (独)日本学術振興会特別研究員 RPD

5) 農研機構農業環境変動研究センター

**要 旨：**イネ (*Oryza sativa*) は幅広い土壌水分環境への適応性が高い植物であり、変動する環境条件に対して吸水や蒸散のバランスを調節する機構を備えていると考えられるが、その具体的機構には不明な点が多い。アクアポリン (水チャンネル) は主として水分子を受動的に輸送する機能を持つ膜タンパク質であり、イネには 33 種類の分子種が存在する。植物体全体の水透過性に大きく関わる根では多くのアクアポリン分子種が発現し、根の表皮から中心柱に至る水透過の律速部位である内皮等の組織に多く局在する。これらの分子種の中でも、根特異的に発現する *OsPIP2;5* 等のアクアポリンは明暗日周、温度、湿度、土壌の乾燥、根域の窒素濃度等の変化に対して発現量が鋭敏に応答する。上記は主に環境制御された人工気象室内での実験結果であるが、屋外では、天気によって日々大きく変動するポテンシャル蒸発量と高い相関を示す。複数の環境変化に対する応答の共通性から、地上部の蒸散要求が何らかのしくみで根に伝わりアクアポリン発現を制御することが示唆される。これにより、根全体の水透過性が変化し、植物体全体の水透過性の適応に貢献すると考えられる。一方、種子では、根と異なり特定の分子種が多く発現し、それらが組織特異的に局在する。  
**キーワード：**アクアポリン、イネ、環境応答、蒸散要求、水透過性。

**Rice aquaporins and their responses to environmental stress :** Junko ISHIKAWA-SAKURAI<sup>1, 2, 3)</sup>, Mari MURAI-HATANO<sup>1)</sup>, Hidehiro HAYASHI<sup>1, 3)</sup>, Maya MATSUNAMI<sup>1, 4)</sup> and Tsuneo KUWAGATA<sup>5)</sup> (<sup>1)</sup>Tohoku Agricultural Research Center, NARO, <sup>2)</sup>Institute of Crop Science, NARO, <sup>3)</sup>United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University, <sup>4)</sup>JSPS Research Fellow, <sup>5)</sup>Institute for Agro-Environmental Sciences, NARO)

**Abstract :** Rice (*Oryza sativa*) can adapt to a wide range of hydrological conditions, and control the balance of water uptake and transpiration under fluctuating environmental conditions. However, the mechanism underlain remains obscure. Aquaporins (water channels) are membrane proteins which usually transport water. Rice has 33 aquaporin isoforms. Genes of many rice aquaporins were expressed in the roots where hydraulic conductance of the whole plants is regulated. Aquaporins were localized mainly in endodermis which controls water flow from root surface to the cylinder. Among these genes, the expression levels of genes for root-specific aquaporins such as *OsPIP2;5* responded sensitively to the changes in light-dark cycle, temperature, humidity, drought, nitrogen availability around roots. In addition to these observations obtained from controlled environmental condition such as chambers, close correlation of the aquaporins to a meteorological factor (potential evaporation) was observed under field weather condition. The common response to several different environmental changes suggests that the transpirational demand is delivered from shoots to the roots and triggers root aquaporin gene expression through unknown mechanism. Thus, aquaporins may contribute to adaptation of the hydraulic conductance of whole plants through changes in the hydraulic conductance of the roots. On the contrary of roots, two aquaporin isoforms were abundantly expressed in rice grains and they were localized in tissue specific manner.

**Keywords :** Aquaporin, Environmental response, Hydraulic conductivity, Rice, Transpirational demand.

### 1. はじめに

植物は自ら移動することができないため、気象条件等の環境変動に迅速かつ柔軟に対応しながら成長し、子孫を残さなければならない。特に、光合成をはじめ

として体内でのあらゆる代謝活動や細胞成長に利用される水の確保は優先して行われる必要がある。イネ (*Oryza sativa*) は畑地から水田まで幅広い土壌水分環境への適応性が高い植物であり、明暗日周、温度、湿度、土壌の乾燥等によって生じる水ストレスにうまく適応

していると考えられるが、その具体的な調節機構には不明な点が多い。植物体の水の通導抵抗 (hydraulic resistance) は根における通導抵抗が大きな割合を占めていることから (Hirasawa and Ishihara, 1991), 根の水透過性 (hydraulic conductance: 通導抵抗の逆数) の制御は環境ストレスに対する調節機構を解明する鍵である。根の水透過性は根量の変化など根系形態に大きく依存するが、根の生理的形質、特に根量 (長) 当たりの根の水透過性 (hydraulic conductivity) も重要なファクターである。水チャネルであるアクアポリンは、この根量 (長) 当たりの根の水透過性に最も影響を与える分子であり、日々めまぐるしく変動する環境に対する植物の適応性とも深く関わっているものと考えられる。これまで、様々な植物を対象として環境変動とアクアポリンの関係について報告がなされている (Maurel et al., 2015)。一方で、植物は多数のアクアポリン分子種を持っており、どの分子種が、どの環境変動に対して、どの部位 (器官・組織) で、どのように変化し、体内の水透過性の制御を介して環境ストレス適応に結びついているのか、について体系的に明らかにされている事例は少ない。著者らはこれまで、モデル植物でありアジアの主食作物であるイネを研究材料とし、環境応答と密接に関わる根を対象部位に、全アクアポリン分子種の環境変動に対する応答性を詳細に解析してきた。様々な環境変動に対する応答の共通性から、アクアポリンが植物の環境変動適応に果たす役割の一端が見えてきたので本解説にて紹介したい。また、報告が少ない種子におけるアクアポリンの発現や局在についても紹介する。

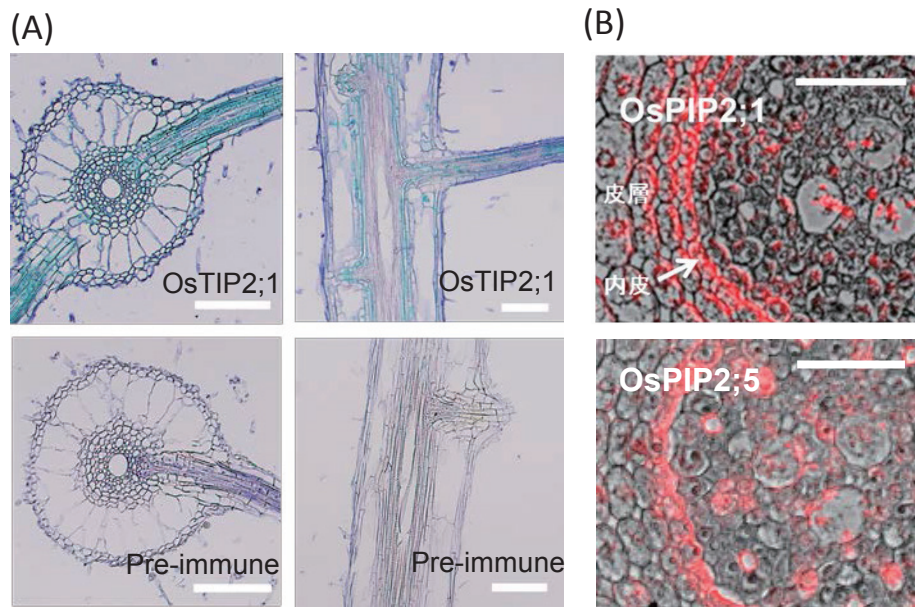
## 2. イネのアクアポリン

アクアポリンは細菌から動植物まで生物界に広く存在する膜タンパク質であり、主として水分子を受動的に輸送するチャネルである (Maurel et al., 2015)。高等植物には 30 種類を超えるアクアポリン遺伝子が存在し、アミノ酸配列の類似性から 5 つのサブファミリーに分類される (Maurel et al., 2015)。細胞膜型アクアポリン (PIP; plasma-membrane intrinsic protein) は細胞膜に、液胞膜型アクアポリン (TIP; tonoplast intrinsic protein) は液胞膜に局在するアクアポリンであり、主として水分子を透過するが二酸化炭素を透過する PIP も報告されている (Uehlein et al., 2003; Hanba et al., 2004)。その他、NIP (nodulin26-like intrinsic protein), SIP (small and basic intrinsic protein), XIP (uncategorized (X) intrinsic protein) と 3 つのサブファミリーが存在する。これら 3 つのサブファミリーに属するアクアポリンの水透過性は概して低く、NIP のいくつかはケイ酸、ホウ酸等の輸送を担うことが報告されている (Ma et

al., 2006; Takano et al., 2006)。著者らはイネ (日本晴) のゲノム情報から 33 種類のアクアポリン遺伝子を探索し、配列の類似性により分類を行った。日本晴には PIP 11 種類、TIP10 種類、NIP10 種類、SIP 2 種類が存在し (Sakurai et al., 2005)、XIP は存在しなかった。

これら 33 種類のイネアクアポリンについて根や地上部の各部位での遺伝子発現量について検討したところ、調査した多くの器官で発現量の低い 6 種類を除いた 27 種類について、分子種ごとに生育時期や部位に応じた発現パターンが見られた (Sakurai et al., 2005, 2008; Hayashi et al., 2015; 林 2015)。多くの器官で発現量が多く恒常的に発現している *OsPIP2;1* 等の分子種がある一方で、根特異的に発現する *OsPIP2;5* 等のように器官特異的に発現する分子種が存在した (Sakurai et al., 2005, 2008)。品種日本晴においては網羅的発現データベース「RiceXPro」 (URL: <http://ricexpro.dna.affrc.go.jp>) が公開されており (Sato et al., 2011, 2013)、生育期間を通じた各アクアポリン遺伝子の発現量の時系列変化、器官・組織局在性、植物ホルモンや養分欠乏に対する発現応答等を確認することができる。RiceXPro におけるイネアクアポリン遺伝子の発現について確認したところ、著者らが定量あるいは半定量 PCR においてアクアポリンの遺伝子発現解析を行った結果とよく一致した。また、Nguyen ら (Nguyen et al., 2013) は網羅的発現情報を利用し、各アクアポリン遺伝子の器官特異的な発現部位やストレス応答の相同性に着目したアクアポリンの機能分類やそれに基づく機能多重性の推定などを試みている。Nguyen ら (Nguyen et al., 2013) は著者らの同定した 33 種類のアクアポリン遺伝子に加えてもう 1 つの新規 *PIP2* 型アクアポリン遺伝子を報告している。この新規アクアポリンは *OsPIP2;4* と配列の相同性が高く、根特異的な発現や各種ストレスへの発現応答のパターンが似ている (Nguyen et al., 2013) が、著者らは最近この遺伝子について興味深い知見を得た。この新規アクアポリンは、インド型品種においては約 290 アミノ酸からなるタンパク質をコードするが、日本型品種においては一部塩基配列欠失のため推定アミノ酸配列途中でストップコドンが入り機能性のアクアポリンをコードしていないものと考えられた。この配列上の差異が関係しているかどうかは不明であるが、インド型品種において新規 *PIP2* 型遺伝子は根で多く発現していたが、コシヒカリ等の日本型品種ではほとんど発現していなかった。一方でインド型品種は日本型品種と比較して根での *OsPIP2;4* 発現量が低かった。これらの結果は、栽培イネ品種の中でも機能性アクアポリン分子種の数や発現パターンに多様性があることを示す興味深い結果である。





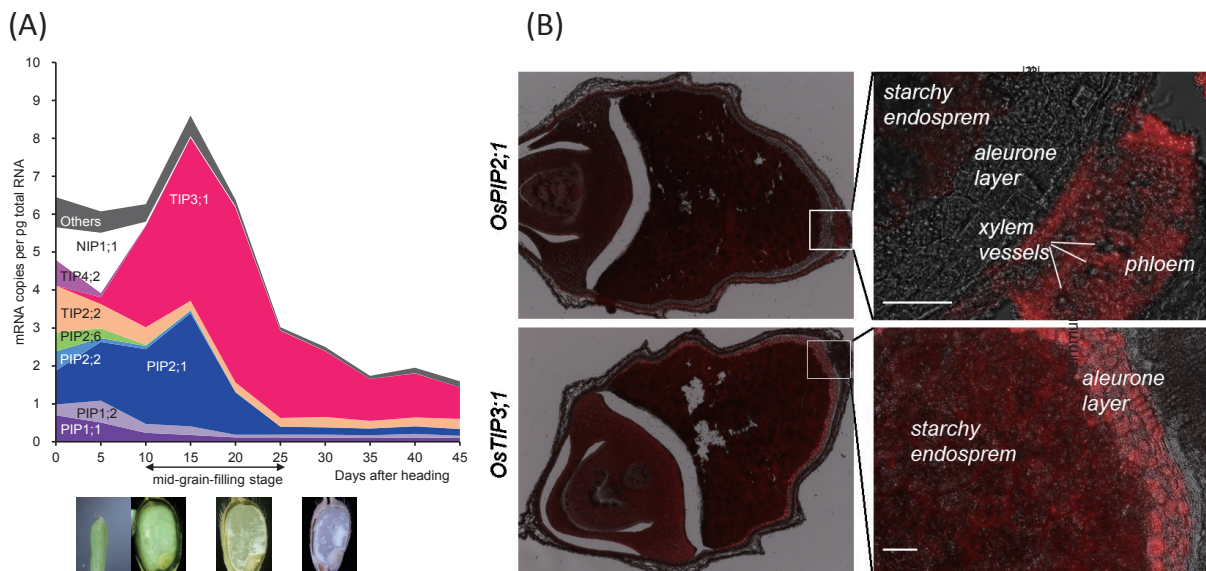
第 1 図 根における OsTIP2;1, OsPIP2;1 および OsPIP2;5 の局在性.

(A) 水耕栽培した 13 日齢のイネ品種 “Puluik Arang” の種子根 (成熟部位) における OsTIP2;1 の局在性. 2 次抗体に AP 標識抗体を用い, Western Blue (Promega) により発色させた. バーは 100  $\mu$ m を示す.

(Matsunami et al., 2016b. <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1343943X.2015.1128109> から改編引用)

(B) 水耕栽培したイネ品種 “あきたこまち” 幼苗の母根の根端から 4 mm の位置で切片を作成し, OsPIP2;1 と OsPIP2;5 それぞれに特異的なペプチド抗体を用いて染色した. バーは 50  $\mu$ m を示す.

(Sakurai-Ishikawa et al., 2011 より改編引用)



第 2 図 登熟期の種子におけるアクアポリン遺伝子発現量と OsPIP2;1 及び OsTIP3;1 の局在.

(A) 種子は, 出穂後 5 日ごとに発育ステージが比較的揃っている上位の一次枝梗の上から 3~5 番目より採取した (少なくとも 3 個体から採取). 図下の写真は横軸に対応した登熟期の種子の形態変化を示す. アクアポリン発現量は 18S rRNA を内部標準とし正規化した. 総 RNA 1pg あたりのアクアポリン発現量が 0.25 に満たないものは Others に含まれる. 遺伝子発現量は 3 回の独立した試験の平均値を示す.

(B) 土耕栽培した出穂後 12 日目の種子横断切片を OsPIP2;1 と OsTIP3;1 それぞれに特異的なペプチド抗体を用いて染色した. バーは 100  $\mu$ m を示す.

(Hayashi et al., 2015 より改編引用)

著者らは、各アクアポリンの推定アミノ酸配列に特異的なペプチド抗体を用いて根における局在性を調査した。根の表皮から中心柱に至る水の移動経路のうち抵抗の高い部位と考えられる内皮 (Miyamoto et al., 2001; Ranathunge et al., 2003) は、多くの抗アクアポリンペプチド抗体で強く染色された (Sakurai et al., 2008)。内皮ではアポプラスト経由の水輸送が疎水性の沈着物 (カスパリー帯) によって阻害されるため、水はいったん細胞膜を通して細胞を横断する必要がある、アクアポリンはこの経路での水輸送に貢献するものと考えられた。根の外皮付近も多くの抗アクアポリンペプチド抗体での染色が観察されている (Sakurai et al., 2008)。イネでは内皮だけでなく外皮にもカスパリー帯が形成される (Miyamoto et al., 2001; Ranathunge et al., 2003) が、外皮付近 (outer part of root) の水移動抵抗は根全体の抵抗に比べて著しく小さいという測定結果が示されている (Ranathunge et al., 2003) ため、外皮付近に局在するアクアポリンの役割については現時点では明確でない。また分子種によっては皮層や中心柱における局在も観察されたことから、これらの組織での水輸送においてもアクアポリンの寄与は大きいと推察された。母根と側根 (分枝根) で比較した場合、例えば根特異的に発現する OsTIP2;1 は母根及び側根の内皮に局在していたこと (第1図A, Matsunami et al., 2016b) から、OsTIP2;1 は母根・側根の両方において同様の役割を果たしている可能性が示唆された。植物の液胞体積は大きいと、液胞膜の水透過性は細胞全体の水透過性に大きく影響する (Ku wagata and Murai-Hatano, 2007; Murai-Hatano and Ku wagata, 2007; 村井 (羽田野) ら, 2009)。このため、細胞膜型アクアポリン PIP のみならず、OsTIP2;1 のような液胞膜型アクアポリンも細胞全体の水透過性、ひいては根全体の水透過性に寄与するものと考えられる。

根で最も多く発現する OsPIP2;1 及び根特異的に発現する OsPIP2;5 の内皮における詳細な局在について調査したところ、内皮の中心柱に近い側 (向軸側) の細胞膜での強い染色が観察された (第1図B, Sakurai-Ishikawa et al., 2011)。内皮における輸送体の偏在はケイ酸輸送体等で報告されている (Ma et al., 2006, 2007; Takano et al., 2006)。イネのケイ酸輸送体 Lsi1 と Lsi2 は内皮の細胞壁に形成されるカスパリー線を中心として、それぞれ背軸側と向軸側に局在し、皮層から内皮へのケイ素の取り込みと中心柱への排出を分担していることが報告されている (Ma et al., 2006, 2007)。またシロイヌナズナのホウ酸輸送体である NIP5;1 と BOR1 も同様に、それぞれ背軸側と向軸側に局在する (Takano et al., 2010)。水分子の輸送においても、内皮の両側の細胞膜で輸送の方向性が存在するかどうか興味を持た

れる。また OsPIP2;5 は導管周辺にも局在し (第1図B)、この部位での水輸送に貢献する可能性が示唆された。地上部に関しては、著者らは登熟中の種子に着目し研究を進めたが、発現する分子種とその局在等の詳細は「4. 登熟時の種子におけるアクアポリン」にて記述する。

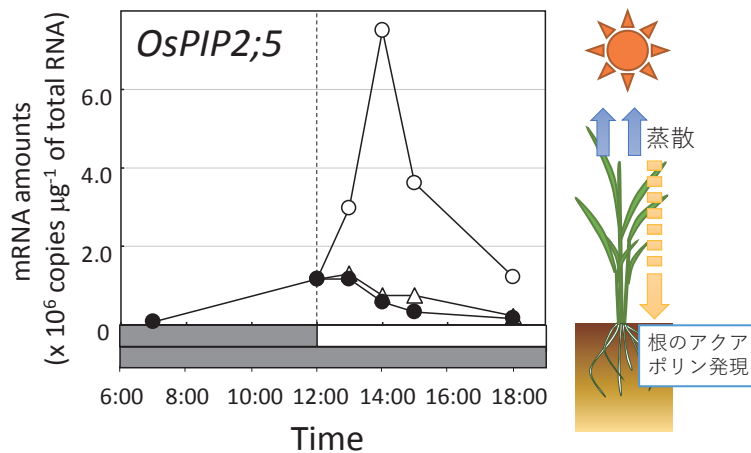
イネの PIP 及び TIP の主要な分子種について、酵母発現系を用いて個別に水輸送活性を評価した結果、OsPIP2;5 等の PIP2 型アクアポリンや OsTIP2;2 は高い水透過活性を持つが、PIP1;1 等の PIP1 型と OsTIP3;1 は水透過活性が低かった (Sakurai et al., 2005, 2008; Hayashi et al., 2015)。アクアポリンは4量体で機能する (Maurel et al., 2015)。アフリカツメガエル卵母細胞を用いた発現系において、水透過性の低い OsPIP1 型をホモ4量体で発現させた場合には水透過活性を示さなかったが、水透過性の高い PIP2 型とヘテロ4量体を形成させるよう共発現させた場合には、PIP2 型をホモ4量体で発現させた場合よりも高い水透過活性を示した (Matsumoto et al., 2009)。トウモロコシのアクアポリンでは、PIP1 型のホモ4量体は細胞膜へ移動せず小胞体膜にとどまるが、PIP2 型とヘテロ4量体を形成すると細胞膜へ移動した (Fetter et al., 2004; Zelazny et al., 2007)。PIP1 型と PIP2 型のヘテロ4量体の形成による水透過活性の増加には、①小胞体から細胞膜への移行の促進と②立体構造の変化に伴う活性調節の双方が関わっているものと考えられる (Maurel et al., 2015)。PIP1 型はイネ体内の様々な器官で発現量の多いアクアポリンであり (Sakurai et al., 2005; Sakurai-Ishikawa et al., 2011)、実際に各器官で PIP2 型と協調して水透過性の制御に関わっているのか今後の検討課題である。

以上の発現・局在・輸送活性の解析から、生育時期や部位に応じて33 (あるいは34) 種類のアクアポリン分子種がそれぞれに役割を果たし、生育期間を通じたイネ全体の水分生理機能の調節あるいは低分子輸送を支えている可能性が示唆された。

### 3. 外部環境と根のアクアポリンの関係

植物は日々めまぐるしく変動する日射や温度・湿度、また土壌の過湿・乾燥に対して、鋭敏に応答して生き抜くことを備えているものと考えられる。例えば、極度の土壌乾燥下では気孔を閉じ、また積極的に根の水透過性を低下させ、根から土壌への水の逆流による損失を防ぐ。一方で、日々の日射量や温度・湿度の変化、またマイルドな土壌の乾燥ストレス条件下では、植物はどのように応答して環境に適応しているのだろうか？外部環境は急激に変化するため、例えば葉面積や通導組織・根系構造の変化など比較的長期間を要する





第3図 地上部の加湿処理が根のアクアポリン発現の日周変動に及ぼす影響。

12時間明期/12時間暗期の人工気象室で栽培したイネ幼苗の明期開始時から加湿処理を行い根特異的のアクアポリン *OsPIP2;5* の発現量を比較した。○, 通常の明暗日周 (相対湿度 60%) ; △, 明期開始時から加湿 (相対湿度 100%) ; ●, 明期開始時に暗期を追加。

(Sakurai-Ishikawa et al., 2011 より改編引用)

形態的な適応では日々の環境条件の変化には対応できない可能性がある。一方で、アクアポリンはすみやかな発現誘導・抑制、ゲートの開閉調節、細胞内での局在性の変化 (subcellular trafficking) 等 (Maurel et al., 2015) により比較的短時間で体内の水透過性を変化させ、日々の環境変動下での吸水・蒸散の維持に貢献する可能性が考えられる。著者らは、植物が受ける様々な外部環境の変動に対してアクアポリンがどのように貢献するのか、特にアクアポリンの量的変動を介して体内の水透過性を変化させる仕組みについて検討を行った。

### 3-1. 明暗日周による影響

植物が日々受ける最も基本的かつ規則的な環境変動は明暗日周であり、様々な代謝活動がその影響を受ける。吸水や蒸散も明暗日周の影響を受け、日射量の多い日中は1日の中で最も多量の水が体内を通過する (Kramer and Boyer, 1995)。そのため根の水透過性は日中に高く夜間に低い日周変動を示す (Parsons and Kramer, 1974)。これはアクアポリン発現量の日周変動と密接に関わっている (Henzler et al., 1999; Lopez et al., 2003)。イネの根では、多くのアクアポリン分子種が明期開始数時間後に遺伝子発現量がピークを迎える日周変動を示し、タンパク量ではさらに2~3時間後にピークを迎える (Sakurai-Ishikawa et al., 2011)。アクアポリン発現量の日周変動は、イネが日々環境に応じてアクアポリンを合成し分解するという過程を繰り返していることを意味している。明暗日周に応じて素早く根の水透過性を制御するためには、他の環境ストレス

応答として報告されているアクアポリンゲートの開閉制御 (Maurel et al., 2015)、あるいは細胞内での局在性の変化による細胞全体の水透過性の制御 (Maurel et al., 2015) という方法も考えられるが、アクアポリンをタンパクレベルで日々作り替えるという、よりエネルギーを必要とする戦略を取っていることによりどのような生理的意義があるのか興味深い。また実際には、明暗日周に対する応答として、発現量の調節だけでなくゲート開閉制御・局在性の変化等も同時に行われている可能性も十分に考えられる。

アクアポリン発現量は暗期開始数時間後に最低となり、その後、明期開始に向けて徐々に増加することから、発現量の日周変動はサーカディアンリズムに支配されると考えられてきた (Lopez et al., 2003)。イネにおいてもサーカディアンリズムの影響は見られるが、根特異的に発現する *OsPIP2;5* 等のアクアポリン遺伝子では明期開始後に急激な発現誘導が見られ、*OsPIP2;5* の場合、ピーク時の遺伝子発現量は最低値の145倍となった (Sakurai-Ishikawa et al., 2011)。この急激な発現誘導は、地上部の湿度を100%近くに保った場合には見られなかったこと (第3図) から、地上部からの蒸散要求が根のアクアポリン遺伝子発現の急激な発現誘導の主要因であることが明らかとなった。したがって、明暗日周に伴うアクアポリン発現量の日周変動は、サーカディアンリズムに加えて日中の蒸散要求が大きく関わっているものと考えられた。地上部からの蒸散要求が根のアクアポリン発現量を増加させるメカニズムについては次節「3-2. 湿度の影響」で詳しく述べる。

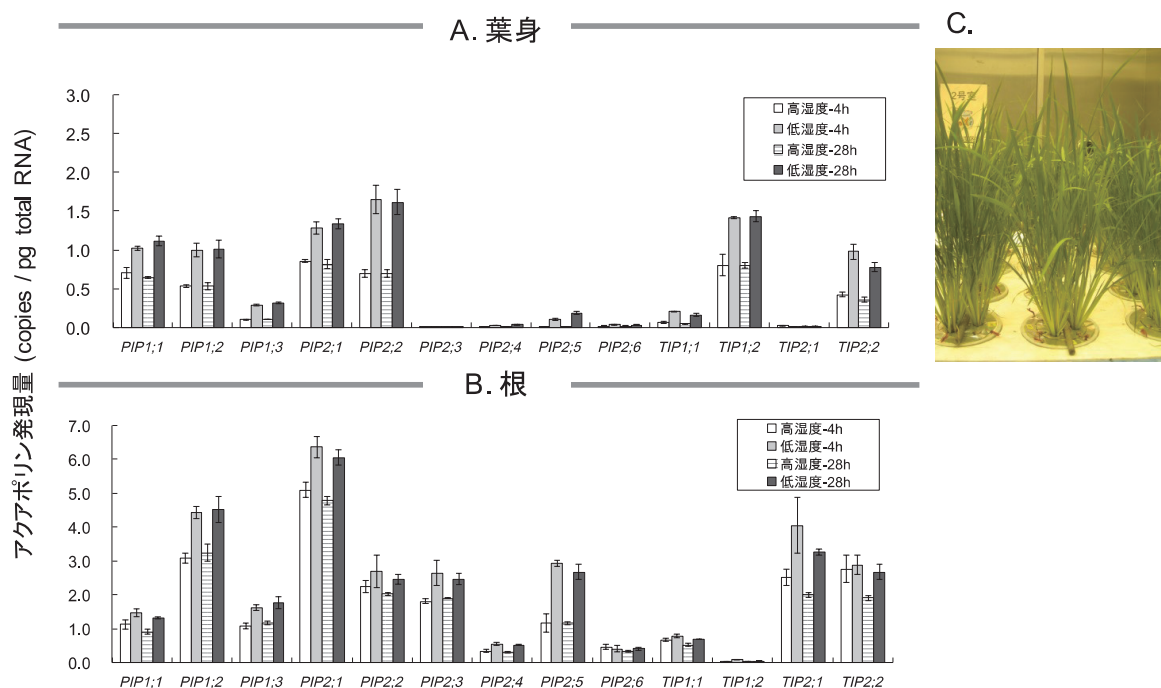


### 3-2. 湿度の影響

空気の乾燥した暖かい晴天日、すなわち大気からの「蒸散要求量」の大きな日には植物の葉面から多量の水が蒸散している。蒸散要求量を表す気象学的な指標として「ポテンシャル蒸発量 ( $E_p$ )」が考案されており (近藤・徐, 1997), 日射, 気温, 相対湿度, 風速, 下向き長波放射量などの気象観測値から算出が可能である。日本国内では晴天日のポテンシャル蒸発量は多い日には  $5\sim 8\text{ mm d}^{-1}$  に達する。蒸散要求量の大きい気象条件でも高い気孔開度と光合成速度を維持することができるかどうかは、蒸散によって失われる水分を根から地上部に補給する機能にかかっている (Hirasawa et al., 1992; 村井 (羽田野) ら, 2009)。この機能は、畑作物だけでなく土壌水分が十分にある水田で育つイネでも重要である。蒸散要求量の大きい晴天日の午後に観察される気孔コンダクタンスの低下 (昼寝現象) とそれに伴う光合成速度の減少を引き起こす主な原因のひとつは、葉からの蒸散速度が根からの吸水速度を上回ることにより葉の水ポテンシャルが低下するためと考えられている (Jiang et al., 1988; Hirasawa et al., 1992)。このことは植物体内の水の通導抵抗が光合成を制限する要因になり得ることを示している。例え

ば強光条件でも比較的高い気孔コンダクタンスと光合成速度を維持する特性を持つ多収性インド型品種「タカナリ」は、他の品種に比べ根量が多く地上部に水分を供給する能力が高い (水の通導抵抗が小さい) (Taylaran et al., 2011)。そのため強光条件でも葉の水ポテンシャルを高く保てることで多収性を支える主要因のひとつであると分析されている (Taylaran et al., 2011)。

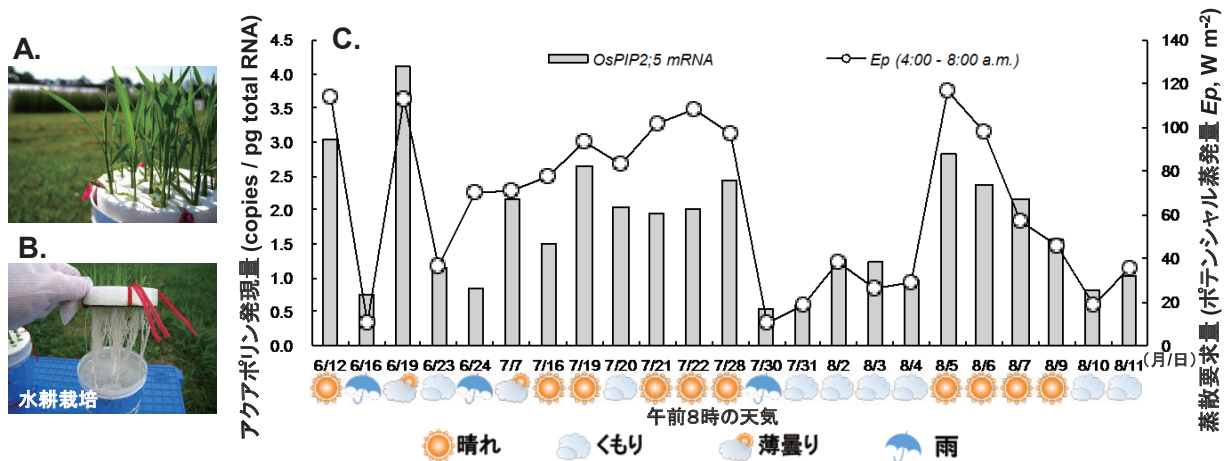
地上部の蒸散要求量の違いがイネの根や葉身のアクアポリン発現量に及ぼす影響を調査した結果、蒸散要求量の高い低湿度条件下では、高湿度条件下と比較して多くのアクアポリン分子種の遺伝子発現量が増加すること、また低湿度条件にさらしたイネでは根の水透過性が上昇することが明らかになった (Sakurai-Ishikawa et al., 2011; Kuwagata et al., 2012; Murai-Hatano et al., 2015) (第4図)。蒸散要求量の増加による根の水透過性 (単位根量当たり) の上昇に関しては、コムギ (Kudoyarova et al., 2011), *Quercus fusiformis* (コナラ属の樹木) (McElrone et al., 2007), ポプラ (hybrid aspen) (Almeida-Rodriguez et al., 2011) など他の植物種でも報告されている。また、根のアクアポリン発現量が蒸散量 (または気孔コンダクタンス) と密接に関係する



第4図 低湿度がイネの葉身と根のアクアポリン発現量に及ぼす影響。

出芽後から43日間高湿度 (相対湿度90%) の人工気象室内で水耕栽培したイネ (あきたこまち) (写真C参照) のポットの半数を明期開始と同時に低湿度 (明期湿度45% / 暗期湿度70%に設定) の人工気象室に移動し、4時間後と28時間後に葉身と根をサンプリングし、細胞膜型 (PIP) 及び液胞膜型 (TIP) アクアポリンの発現量 (mRNA量) を定量した。エラーバーは標準誤差 ( $n=4$ )。

(Kuwagata et al. 2012. Plant Cell Physiol. 53 (8) : 1418-1431. DOI: <https://doi.org/10.1093/pcp/pcs087>; Oxford University Press より許可を得て転載)



第5図 野外気象とアクアポリンの関係。

生育履歴を揃えるため人工気象室内で水耕栽培したイネ（あきたこまち）幼苗（A, B）を、サンプリング前日の夕方5時に野外に移動し、翌朝8時に根を採取した。C. 午前8時のイネ根のアクアポリン *OsPIP2;5* の発現量を棒グラフ、直前の蒸散要求量（午前4:00～8:00のポテンシャル蒸発量  $E_p$  の平均値）を折れ線グラフで示した。

（Murai-Hatano et al., 2015 より改編引用）

ことについてはイネの他にシロイヌナズナ（Levin et al., 2009）、ポプラ（Almedia-Rodriguez et al., 2011; Laur and Hacke, 2013）、ブドウ（Gambetta et al., 2012; Perrone et al., 2012）などで報告されている。これらの結果は、根の水透過性がアクアポリンの発現量を介して蒸散量の増減によって制御されるしくみが存在することを示唆している（Maurel et al., 2016）。このような調節機構が植物種間でどの程度普遍的に保存されているのか今後の研究の進展が期待される。

大気とは直接接触していない植物体地下部（根）の遺伝子の発現が気象条件に対して直接的な影響を受けることは、地上部から地下部への長距離シグナル伝達（shoot-to-root signaling）の機構が存在することを示唆する（Ahamed et al., 2012; Vandeleur et al., 2014; Chaumont and Tyerman, 2014）。その全体像はまだ解明されていないが、蒸散要求を根に伝えるシグナルの有力な候補として、興味深い研究結果が報告された。Vandeleurら（Vandeleur et al., 2014）とMengら（Meng et al., 2016）は、蒸散によって発生する木部張力の増大、あるいはそれに伴う細胞膨圧の変化が根のアクアポリン発現を誘導するシグナルとして作用する可能性を指摘している。Mengら（Meng et al., 2016）は、イネの地上部を切除すると、根の主要な細胞膜型アクアポリンの発現量が急速に減少するが、地上部を切除した直後に根の基部を吸引ポンプに接続し80kPa程度で吸引すると、アクアポリン発現量は減少しないことを発見した。このことから、①吸引によって生じる木部の張力、または②アクアポリンを通過する水の流れのどちらか（あるいは両方）が、地上部切除による根のアクアポリン発

現量の減少を回避した可能性があると考えた。蒸散要求量に対する応答性の高いアクアポリン（*OsPIP2;5*, *OsTIP2;1* など）は根の内皮に強く局在している（Sakurai et al., 2008; Sakurai-Ishikawa et al., 2011）。内皮は根の放射方向の水移動の律速部位である（Ranathunge et al., 2003）とともに、中心柱の外側を取り巻く細胞1層からなる組織であり蒸散量に連動した木部張力の変動を感知しやすい位置と考えられるので、①の仮説を支持している（Meng et al., 2016）。蒸散に伴う木部張力の変化または根の細胞膨圧の変化がアクアポリン発現を誘導するという仮説が正しいとすると、これらの圧力信号そのものが直接遺伝子発現を制御しているとは考え難い。おそらく圧力変化は何らかの化学信号に変換されてアクアポリン遺伝子の転写を誘導するのではないだろうか。可能性のひとつとして、膜に存在する機械刺激受容イオンチャネルが、圧力シグナルをイオン濃度（セカンドメッセンジャー）の信号に変換する可能性が指摘されている（Chaumont and Tyerman, 2014）。

一方、蒸散要求が根に伝わる長距離シグナルは上記のような圧力ではなく化学物質が担っている可能性もあり、師管のアブシジン酸がその候補の一つである（Chaumont and Tyerman, 2014）。コムギでは、蒸散要求量の増加によって地上部から師管を経由してアブシジン酸が根に輸送され、これがシグナルとなって根のアクアポリン活性を高める可能性が提案されている（Kudoyarova et al., 2011）。一方、ダイズでは、師管を通るシグナルは蒸散に依存した根の水透過性変化には影響しないことを示唆する実験結果が報告されている（Vandeleur et al., 2014）。イネの場合、種子に特異的な

アクアポリン *OsTIP3;1* には転写開始 200 bp までのプロモータ部位にアブシジン酸応答性のシス配列 (ABRE-like 配列: Busk and Pagès, 1998) が 2 箇所あることが確認されている (Hayashi et al., 2015) が、他のイネアクアポリンにおける直近のプロモータ部位にはこのような特徴がみられない (林, 2015)。このため、蒸散要求に依存したイネ根のアクアポリン発現量の上昇にアブシジン酸が関与する可能性は低いと考えられるが、この点についてはさらなる検証が必要である。

### 3-3. 野外気象の影響

自然環境において大気からの蒸散要求量 (ポテンシャル蒸発量) は日周的に変動する。夜間はゼロ付近で推移するが、昼間の蒸散要求量は天気によって大きく変動する。前述「3-1. 明暗日周による影響」のように、人工気象室で栽培したイネの根では *OsPIP2;5* などの吸水機能に重要と考えられるアクアポリンの発現量が明瞭な日周変動を示し、それにはサーカディアンリズムに加えて日中の蒸散要求が大きく関わっていることが明らかになった (Sakurai-Ishikawa et al., 2011)。イネが日々環境に応じてアクアポリンを合成し分解するという過程を繰り返しているとすれば (「3-1. 明暗日周による影響」参照)、自然条件でイネは当日の天気 (蒸散要求量) に応じてその日必要なアクアポリンの合成量を調節しているのではないだろうか? そこでこのような仮説を念頭において、水耕栽培したイネ幼苗を用いて日々の気象条件とアクアポリンの発現量の関係を調べることにした。その結果、予想通り *OsPIP2;5* の午前 8 時の発現量は、晴天日に多く雨天日に少ない傾向を示し、直前のポテンシャル蒸発量 (午前 4~8 時

の平均値) と高い相関を示すことが分かった (第 5 図, Murai-Hatano et al., 2015)。根で発現している主要な *PIP* と *TIP* の分子種の中で、根局在型のアクアポリン (*OsPIP2;4*, *OsPIP2;5*, *OsTIP2;1* など) はポテンシャル蒸発量との相関が高い傾向があり (第 1 表)、人工気象室での実験結果 (Sakurai-Ishikawa et al., 2011) とよく一致した。興味深いことに *OsPIP2;6* と *OsTIP2;2* は蒸散要求量と負の相関を示した。これらのアクアポリンが根でどのような役割を担っているのかまだ分かっていないが、著者らは地上部では節間の伸長部位で発現量が著しく高いことを観察しており、細胞分裂または細胞伸長に関連する役割を担っている可能性が考えられる。

地球上の生命の歴史の中で、水中から陸上に進出した緑色植物は、体表面をクチクラで覆うことによって蒸発 (蒸散) による体内水分の損失を軽減し、さらに開閉調節ができる気孔をもつことで水利用効率を飛躍的に向上させた (寺島ら, 2004)。さらに維管束系においては、仮導管と導管の構造的な発達とその内部で発生するキャビテーションの抑制機構、葉脈密度の増加など、高蒸散時の通水性の改善に寄与する様々なくみがあることが知られている。しかし、根の水移動を律速する細胞間の水輸送系では蒸散要求の変動に対してどのようなしくみを持つのか、これまであまり知られていなかった。上述の一連の研究結果は、植物が日々の天気を感じしアクアポリン量を介して体内の水透過性を調節し、水ストレスを回避するしくみを持っている可能性を示唆しており、今後は、根だけでなく茎葉での調節機構や、蒸散要求に応答したアクアポリンの活性レベルでの調節機構 (Maurel et al., 2016) についても解明が進むものと期待される。

第 1 表 イネ根における主要な細胞膜型 (*PIP*)・液胞膜型 (*TIP*) アクアポリン遺伝子の気象応答。  
(Murai-Hatano et al., 2015 より改編引用)

|      | アクアポリンの名称       | Locus ID     | アクアポリン発現量と $E_p$ の相関係数 <sup>1)</sup> | 特徴             |
|------|-----------------|--------------|--------------------------------------|----------------|
| 細胞膜型 | <i>OsPIP1;1</i> | Os02g0666200 | 0.12 ns                              |                |
|      | <i>OsPIP1;2</i> | Os04g0559700 | 0.59 **                              |                |
|      | <i>OsPIP1;3</i> | Os02g0823100 | 0.75 **                              |                |
|      | <i>OsPIP2;1</i> | Os07g0448800 | 0.46 *                               |                |
|      | <i>OsPIP2;2</i> | Os02g0629200 | 0.17 ns                              |                |
|      | <i>OsPIP2;3</i> | Os04g0521100 | 0.39 +                               | 根に多く局在。        |
|      | <i>OsPIP2;4</i> | Os07g0448100 | 0.65 **                              | 根に多く局在。        |
|      | <i>OsPIP2;5</i> | Os07g0448400 | 0.86 **                              | 根に多く局在 (特に内皮)。 |
|      | <i>OsPIP2;6</i> | Os04g0233400 | -0.53**                              |                |
| 液胞膜型 | <i>OsTIP1;1</i> | Os03g0146100 | -0.07 ns                             |                |
|      | <i>OsTIP1;2</i> | Os01g0975900 | 0.28 ns                              |                |
|      | <i>OsTIP2;1</i> | Os02g0658100 | 0.66 **                              | 根に多く局在。        |
|      | <i>OsTIP2;2</i> | Os06g0336200 | -0.55 **                             |                |

1) 午前 8 時の各アクアポリン遺伝子の発現量と直前 4 時間のポテンシャル蒸発量 (4:00-8:00 の平均値) との間の相関係数を示す。また、+, \*, \*\* はそれぞれ 10%, 5%, 1% 水準で相関係数に有意性があることを示す。



### 3-4. 土壤乾燥の影響

現在、世界の稲作面積のうちおよそ 40% は天水（天水田・畑）に依存した栽培を行っている（Maclean et al., 2013）。天水栽培でのイネの平均単収は 1~2.3 t/ha と、灌漑水田（5 t/ha 程度）に比べ顕著に少ない。その主要因の一つが、土壤水分の欠乏による水ストレスである。このことから耐乾性の向上は、世界規模でのコメの増収において最も重要な課題の一つと位置付けられる。作物の生育や収量は吸水量と密接な関係があることから（Kramer and Boyer, 1995; Kobata et al., 1996）、吸水に関わる形質の改良は水ストレス下での生産性向上の有効なアプローチである。例えば、深根性はイネの耐乾性を高める上で重要な形質であり、近年、深根性遺伝子の発見により、品種育成への実用化に向けた取り組みが始まっている（Uga et al., 2013）。また、環境に応答して根系構造が変化する特性（可塑性）も、ストレス耐性に関わる重要な特性であることから、そのメカニズムや遺伝情報の解明が進められている（Suralta et al., 2008; Kano et al., 2011; Niones et al., 2015）。その一方で、根の生理的形質、例えば水透過性や浸透調節などは耐乾性に関与する重要形質であるが、育種への応用のためには課題が多く残されている。

イネの耐乾性とアクアポリンの関係については、土壤水分ストレスや各種試薬処理による浸透圧ストレスに対する分子種の応答性とその品種間差異についていくつか報告がある。短期的なストレスに対する根のアクアポリン遺伝子発現の応答を調査した研究では、10% ポリエチレングリコール（PEG）処理に対して根の PIP をコードする遺伝子の発現量が非ストレス区に比べ高まり、このうち多くの分子種は 24 時間以内に非ストレス区と同程度の発現レベルに戻ったのに対し、一部の遺伝子（*OsPIP1;1*, *OsPIP2;5*, *OsPIP2;7*）については、高い発現量が維持されたことが示された（Guo et al., 2006）。別の報告では、20% PEG 処理に対する根の PIP 遺伝子発現応答を陸稲品種と水稻品種間で比較した場合、多くの分子種において陸稲品種の方がストレスに対する発現量の増加程度が大きいことが示された（Lian et al., 2006）。これらの結果から、イネはストレスへの初動反応として速やかにアクアポリン遺伝子の発現調節を行うことで植物体内の水の流れを制御していること、またその応答には品種間差異があり、好気的な土壤環境に適応した品種で反応性が高いことが示唆される。

「3-2. 湿度の影響」でも一部紹介した著者らの研究（Ku wagata et al., 2012）では、短期処理（処理後 4 時間と 28 時間）では多くのアクアポリン分子種の発現量が増加したが、長期間（処理後 24, 45, 52 日）低湿度におかれるとアクアポリン発現量の処理間差は次第に小

さくなった。これは長期間の処理に対する植物体の生理形態的諸形質の変化に伴うものであることが示唆された。このように、より長期的（数日~数週間）な水ストレスに対しては、根や地上部の生理・形態な変化やそれに伴う吸水量・蒸散量の変化が起こるため、アクアポリンの応答は短期的な反応とは異なってくる。著者らの研究では、水耕栽培により 10% または 20% の PEG 処理を 10 日間施した場合、根特異的なアクアポリン分子種の多くは、対照区と比較し 20% PEG 処理区で発現量が減少したが、10% PEG 処理区では対照区と同程度か、一部分子種では増加傾向が認められた（Matsunami et al., 2016b）。また、幅広いイネ品種を対象に湛水、湿潤畑、乾燥畑の異なる土壤水分に対する生育反応を調査した結果、畑条件に適応的であったインディカ品種 ‘Puluik Arang’（Matsunami et al., 2012, 2016a）は、*OsTIP2;1* の遺伝子発現量が両 PEG ストレス区で対照品種（あきたこまち）よりも有意に多かった。さらに、*OsTIP2;1* は、種子根の母根及び側根（分枝根）の内皮に局在することが明らかとなった（第 1 図 A）。このことから、*OsTIP2;1* はアポプラスト經由の水輸送が阻害される部位での円滑な水輸送に対する機能的な役割を持つことが示唆された。土耕栽培条件では、Henry ら（Henry et al., 2012）が耐乾性の異なるイネ品種を比較し、乾燥ストレス処理（21 日間）に対するアクアポリン遺伝子発現の応答を調査した結果、いずれの品種も日中の発現量はストレス区で大きく減少したことを示した。品種間差異に着目すると、耐乾性品種（Dular）は対照品種（IR64）に比べて *OsPIP2;1* や *OsTIP2;1* などの発現量が高いことや、土壤水分の変動に対して根の水透過性がより安定であることなどを明らかにした。土壤乾燥ストレス下でのアクアポリンと水透過性に関する知見も集まりつつあり（Grondin et al., 2016）、耐乾性の向上にアクアポリンが直接的あるいは間接的にどのように貢献するのか今後の研究の進展が期待される。

以上のように、水ストレス下でのアクアポリン遺伝子の挙動について研究の蓄積が進む一方で、ストレスの質や強度の違いにより結果が様々であり、統一的な見解が得られていないという課題がある（Gambetta et al., 2017）。遺伝子発現量が増減する現象の生理的意義は、土壤と植物体内の水ポテンシャルの大小関係や水透過性の概念を考慮すると理解しやすくなる（且原, 2003）。また、フィールドで起こる土壤水分ストレスは、その強度や期間、タイミングが実に多様である。従って、耐乾性におけるアクアポリンの役割を理解するためには、ストレスに対するアクアポリンの応答性の違い（短期・長期応答、ストレス強度、生育ステージなど）を整理し、さらにその違いが吸水・水輸送に及ぼす影

響や他の生理・形態的特性との相互作用を統合的に明らかにしていく必要がある。

### 3-5. 低温の影響

低温が根の吸水を抑制する現象は古くから知られており、温度と根の水透過性の定量的な関係がイネ科、マメ科、ナス科、ウリ科、アブラナ科の様々な作物の他、ポプラなどの樹種でも調べられている (Clarkson, 1976; Markhart et al., 1979; Bloom et al., 2004; Lee et al., 2005a, 2005b; Wan and Zwiazkev, 1999)。植物の種類や生育条件によって程度の違いがあるが、温度の低下につれて根の吸水速度が低下する点は共通している。そのメカニズムの一部は水の粘性が低温で増大するという物理的な効果で説明されるが、温度低下に伴う根の急激な吸水量（水透過性）の減少はその効果だけで説明できない場合も多い (Bloom et al., 2004; Lee et al., 2005a; Murai-Hatano et al., 2008; Aroca et al., 2012)。例えば冷温感受性の比較的高い植物であるキュウリの場合、根の皮層細胞の水透過性は温度低下につれて単調に減少し、その温度係数 ( $Q_{10}$  値) は 4.8 と報告されている (Lee et al., 2005a)。この値は水の粘性流体としての特性から推定される  $Q_{10}$  (1.25) よりも明らかに大きい (Lee et al., 2005a)。

イネはキュウリと同様に冷温感受性が比較的高い植物であるが、根の水透過性に関してはキュウリとは異なる特徴がみられる (Murai-Hatano et al., 2008; 村井(羽田野)ら, 2011)。筆者らは水耕栽培したイネ (あきたこまち) 幼苗の根を温度調節のできるプレッシャーチャンバーにセットして 10–35℃ の範囲で根の水透過性を測定したところ、温度低下にともなう根の水透過性の変化はキュウリの根の皮層細胞のように単調ではなく、約 15℃ を境にそれ以下の温度域で著しく低下した。15℃ 以上の温度域では  $Q_{10}$  は 1.4–1.5 (活性化エネルギー  $E_a$  は 28 kJ mol<sup>-1</sup>) であるのに対し、15℃ 以下の温度域では 21 ( $E_a$  = 204 kJ mol<sup>-1</sup>) と、これまでに他の植物で調べられた値の中でも最も高いレベルにランクされた (Murai-Hatano et al., 2008)。根を 25℃ より 15℃、35℃ に変化させた場合には水透過性の変化は短時間 (約 10 分以内) に完了するのに対して、15℃ よりも低い温度域まで冷やした場合には水透過性の低下はゆっくりと進み定常に達するのに 2–3 時間を要した (Murai-Hatano et al., 2008; 村井(羽田野)ら, 2011)。根を 10℃ に冷やした場合の出液速度は、25℃ でアクアポリンの阻害剤である塩化水銀処理を行った場合と同程度 (無処理の 5% 以下) であったことから、低温による根の水透過性の低下のほとんどはアクアポリン機能の阻害によるものである可能性が示唆された。一方、イネの根を 25℃ から 10℃ に冷やした場合、最初

の 5 時間以内にはアクアポリンのタンパク質量に変化は認められなかった。したがって 15℃ 以下の低温域で数時間以内にみられるイネ根の水透過性の急激な低下は、アクアポリン量の減少ではなくアクアポリンの水透過活性の低下に起因している可能性が高いと考えられた (Murai-Hatano et al., 2008)。同様の結果はポプラ (hybrid aspen) でも報告されている (Ranganathan et al., 2016)。

前述のように、アクアポリンを介した水透過はアクアポリンの量的な増減だけでなく、ゲートの開閉や細胞内での局在性の変化など、活性レベルでも調節されている (Maurel et al., 2015)。これらの活性調節にはアクアポリンのリン酸化/脱リン酸化が中心的な役割を担い、細胞内の pH, Ca<sup>2+</sup>, 活性酸素種 (ROS) 等も関与している (Maurel et al., 2015)。キュウリとトウモロコシでは、低温によって根に蓄積する過酸化水素 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) が吸水抑制の要因と考えられている (Lee et al., 2004; Aroca et al. 2005; Katsuhara et al., 2007)。シロイヌナズナでは、根をプロテインホスファターゼの阻害剤で前処理することにより 10℃ の低温による根の皮層細胞の水透過性の低下が軽減されることから、アクアポリンのリン酸化/脱リン酸化がこのプロセスに関与する可能性が指摘されている (Lee et al., 2012)。その他の要因として、低温による細胞質の酸性化 (Yoshida, 1994; Yoshida et al., 1999) や、温度に依存した生体膜の相変化 (Nishida and Murata, 1996) がアクアポリンのゲーティングまたは細胞内局在性に影響している可能性も考えられる (Aroca et al., 2012)。低温による根の吸水抑制のメカニズムの全体像の解明に向けて今後の研究の進展が期待される。

アクアポリンを人為的に過剰発現することによって、低温による水透過性の低下やそれに起因する葉のしおれ、生長の抑制などが軽減されることが報告されている (Matsumoto et al., 2009; Lee et al., 2012; Ranganathan et al., 2016)。イネ幼苗 (品種 Zhonghua 11) では、4℃ の低温に 24 時間遭遇させると葉がしおれて巻き、その後 25℃ に戻しても回復しないが、*OsPIP1;3* を構成的に過剰発現させたイネでは低温下での葉の巻きは軽微でその後 25℃ に戻すと回復がみられた (Matsumoto et al., 2009)。シロイヌナズナでは 10℃ の低地温によって根の皮層細胞の水透過性が急速に低下し、地上部と地下部の生長も抑制されるが、細胞膜型アクアポリン *PIP2;5* を過剰発現した植物ではこれらの影響が緩和された (Lee et al., 2012)。同様に、*PIP2;5* (*PtdPIP2;5*) を過剰発現したポプラでは低地温による根の水透過性とガス交換速度の低下が緩和された (Ranganathan et al., 2016)。これらの結果は、低温による根の水透過性の低下にアクアポリンが関わっていることを直接的に示

すとともに、それが光合成や生長にもインパクトを与える現象であることを示唆している (Ranganathan et al., 2016)。

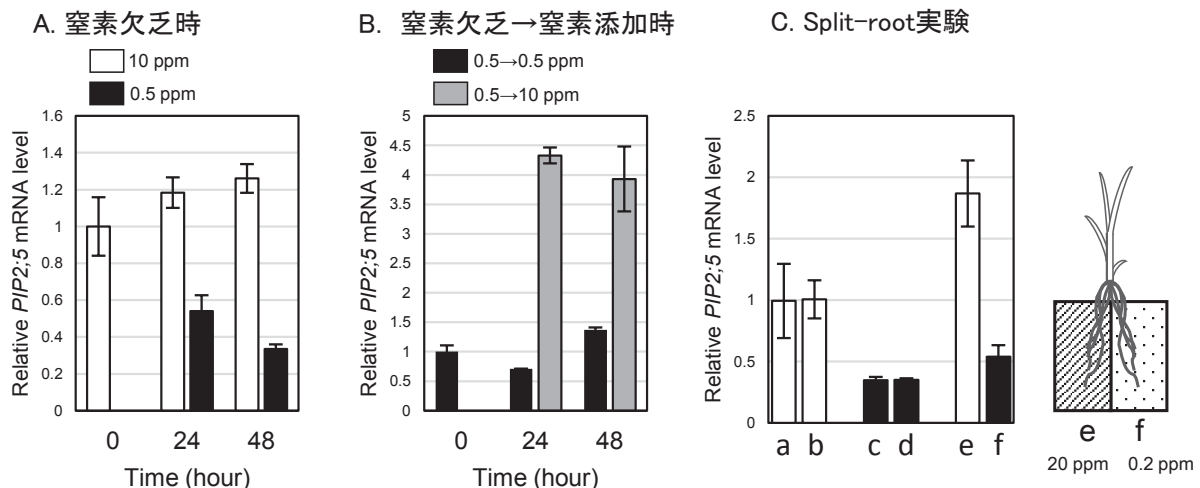
水田の水・地温は気温以上に水稻の生育に大きく影響する (Shimono et al., 2002, 2007a, 2007b)。生長点は水・地温の影響を受け地上部の生長を制御するが、上記のように根の吸水に及ぼす温度の影響も大きい。筆者らは、人工気象室で水耕栽培した水稻 (あきたこまち) を材料に用い、生長点は気温 (明期 25℃ 暗期 20℃) にさらした状態で根域のみを 13~14℃ に冷やし、蒸散 (吸水) 量、乾物生産、葉面積、形態の変化を追跡した (Nagasuga et al., 2011; Kuwagata et al., 2012)。その結果、2 週間の根域低温処理は気孔コンダクタンスと蒸散を持続的に抑制するとともに、葉面積拡大及び乾物生産を有意に減少させた (Nagasuga et al., 2011; Kuwagata et al., 2012)。またその抑制程度は高湿度よりも低湿度条件で大きかった (Kuwagata et al., 2012)。これらの結果は、低地温が持続すると吸水抑制に伴う地上部の水ストレスによって各器官の生長も影響を受けることを示唆している (Nagasuga et al., 2011; Kuwagata et al., 2012)。

イネ (あきたこまち) の地上部を 20~25℃ に保ったまま地下部のみを 10℃ の低温に 2 日~5 日間さらすと、根の水透過性は部分的ながら着実に回復し、これと並

行して細胞膜アクアポリン *OsPIP2;5* の発現量が根で顕著に増加する (Ahamed et al., 2012)。興味深いことに、植物体全体を低温にさらした場合や地上部を切除した場合には *OsPIP2;5* の発現量は逆に著しく減少することから、植物体地上部から地下部へのシグナル伝達機構が存在することを示唆している (Ahamed et al., 2012: 「3-2. 湿度の影響」を参照)。また上記の結果は、低温に比較的弱いイネであっても低温に順化して耐性を高める機能を備えていることを示している。その能力が品種間でどの程度の多様性をもつかについては今後の課題であり、その成果は低温耐性の高い作物の育成に貢献するものと期待される。

### 3-6. 根域の窒素濃度の影響

窒素は植物の多量必須元素である。根域の窒素レベルは、植物自身が窒素を吸収することにより、また施肥や土壌からの有機物の無機化により変動するため、植物は効率的に窒素を取り込むシステムを備えている。例えば窒素欠乏時には根量を増加させたり (Chapin et al., 1988; Miller and Cramer, 2004)、根域の窒素濃度に応じて窒素輸送体や窒素代謝関連酵素の発現を調節することにより根の窒素吸収速度を制御する (Miller and Cramer, 2004)。根域の窒素濃度は根からの吸水にも影響を及ぼす。水耕液を用いて窒素濃度を人為的に



第 6 図 根域の窒素濃度の変化がアクアポリン遺伝子発現に及ぼす影響。

水耕栽培したイネ幼苗に対し根域の窒素濃度を変え、根特異的アクアポリン *OsPIP2;5* の発現量を比較した。横軸は処理を開始してから時間を示す。エラーバーは標準誤差 ( $n = 3$ )。

A. 窒素欠乏時の変化。■, 根域窒素濃度 10ppm から 0.5ppm に変化; □, 10ppm のままで栽培。縦軸は処理開始前の発現量を 1 とした相対値。

B. 窒素欠乏 (根域窒素濃度を 10ppm から 0.5ppm に低下させ 72 時間栽培) 後に窒素添加した場合の変化。■, さらに 0.5ppm で栽培し続けた場合; ■, 根域窒素濃度を 10ppm に戻した場合。縦軸は処理開始前の発現量を 1 とした相対値。

C. Split-root 実験。根を半分に分け、それぞれ窒素濃度 20ppm (e) と 0.2ppm (f) で 72 時間処理した場合。a, b は両側とも 20ppm で処理した場合。c, d は両側とも 0.2ppm で処理した場合。縦軸は a, b での発現量の平均値を 1 とした相対値。

(Ishikawa-Sakurai et al. 2014. Plant Soil 379: 289-300. Springer より許可を得て転載)



制御した実験系を用いて、その影響が定量的に解析されている。窒素欠乏時には吸水が抑制されるが、窒素濃度が再び増加すると吸水も回復する (Carvajal et al., 1996; Clarkson et al., 2000)。この窒素添加による根の水透過性の回復はアクアポリンの阻害剤である  $\text{HgCl}_2$  により抑制されたことから、アクアポリンが根域の窒素濃度に応じた水透過性の変化に関わっていると考えられた (Carvajal et al., 1996)。トウモロコシでは、窒素欠乏後の窒素添加により数時間で根の水透過性が増加したが、数時間以内にはアクアポリン遺伝子発現量の増加は見られなかったことから、アクアポリンの量的変動 (発現レベルでの調節) ではなくゲートの開閉調節や細胞内局在性の変化 (活性レベルでの調節) が関与している可能性が示唆された (Gorska et al., 2008b)。

一方、著者らはイネ幼苗を材料にして 72 時間程度までの継続した根域の窒素濃度の変化が根の水透過性やアクアポリン遺伝子発現量に及ぼす影響を調査した。なお、この実験で用いた水耕液の窒素成分は硝酸アンモニウム (硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ ) とアンモニウムイオン ( $\text{NH}_4^+$ ) の濃度比 1 : 1) である。窒素欠乏により根の水透過性は 24 時間後以降に低下し始め、根特異的に発現する *OsPIP2;5* 等のアクアポリン遺伝子発現量も同様に低下した (第 6 図 A, Ishikawa-Sakurai et al., 2014)。また窒素欠乏後の窒素添加処理により根の水透過性は増加し、*OsPIP2;5* 等のアクアポリン遺伝子発現量も同様に増加した (第 6 図 B)。したがって、24 から 72 時間程度までの継続した根域の窒素濃度環境下における根の水透過性の変動には、アクアポリンの発現レベルでの調節が関わっている可能性が示唆された。また、イネ幼苗個体の根を半分に分け (Split-root 法)、それぞれ異なる窒素濃度で 72 時間処理した場合、窒素濃度の高い側で *OsPIP2;5* の遺伝子発現量が増加し、窒素濃度が低い側で発現量が低下した (第 6 図 C)。キュウリを用いた同様の Split-root 実験では、窒素濃度が高い側の吸水量が増加し、低い側の吸水量が低下することが報告されている (Gorska et al., 2008a)。キュウリではこの反応はわずか数分で起こることから、発現レベルでの調節は関与せずアクアポリンの活性レベルでの調節が関与している可能性が考えられた (Gorska et al., 2008a)。これらの結果から、植物は根域の窒素濃度に応じて根のアクアポリンを発現レベルあるいは活性レベルで調節し、根全体の水透過性を制御するシステムを備えている可能性が示唆された。発現レベルあるいは活性レベルのどちらのメカニズムがはたらくかは、植物種や根域の窒素濃度の変化の持続性により異なる可能性がある。植物は、窒素濃度の高い根域側の吸水性を増加させ、窒素濃度の低い根域側の吸水性を低下させることにより、窒素濃度が不均一な

土壌から効率的に窒素を体内に取り込むことが可能になると考えられる。

根域の窒素濃度が根のアクアポリンの発現や活性を制御する仕組みについては十分に分かっていない。根域の  $\text{NO}_3^-$  濃度は  $\text{Ca}^{2+}$  や ABA 等を介して様々な遺伝子の発現を制御するため、このような機構が直接的に根のアクアポリンの発現や活性を制御する (①) 可能性が考えられる (Tyerman et al., 2017)。一方、①の仕組みではなく、shoot (地上部) の  $\text{NO}_3^-$  の多寡が shoot-to-root signaling (具体的なシグナル物質は不明) を介して根のアクアポリンの発現や活性を調節する仕組み (②) も報告されており、シロイヌナズナでは①と②の 2 つの仕組みが同時にはたっているものと考えられた (Li et al., 2016)。植物によって窒素に対する根の水透過性の応答の素早さや変化の度合いは異なり、また  $\text{NO}_3^-$  と  $\text{NH}_4^+$  では反応性が異なることが報告されている (Tyerman et al., 2017)。植物による  $\text{NO}_3^-$  と  $\text{NH}_4^+$  の嗜好性の違いや生育環境 (例えば、還元状態の水田で生育するイネと比較的好気的な環境で生育する畑作物) の違いが窒素による根の水透過性の制御の差異とどう関わっているのか、関与する具体的なメカニズムも含め今後の研究により明らかになるものと期待される。

#### 4. 登熟時の種子におけるアクアポリン

根におけるアクアポリンの役割は主として水透過性の制御であると考えられるが、種子におけるアクアポリンは、種子特異的に発現する TIP3 型アクアポリンを中心に発現や局在等について複数の報告があるものの、その具体的役割については十分に分かっていない。TIP3 型のアクアポリンは  $\alpha$ -TIP として植物アクアポリンの中では初期に発見された分子種であるが、種子の Protein storage vacuole (PSV) (貯蔵タンパク質であるグルテリンを蓄積する Protein body type II へ分化) の膜上で存在が確認されている (Johnson et al., 1989; Melroy and Herman, 1991)。Lee ら (Lee et al., 2015) はオオムギのアリユーロン細胞プロトプラストを用いて、*HvTIP1;2* と *HvTIP3;1* 発現量がジベレリンにより抑制され、*HvTIP3;1* 発現量がアブシジン酸 (ABA) により促進されることを示した。彼らはさらに、*HvTIP3;1* と GFP を融合させた形質転換体を用いた実験により、ABA を介したプロモータ調節により誘導される *HvTIP3;1* が PSV を維持し中央液胞の形成を防ぐ役割を果たしている可能性があることを報告している。イネにおいて、TIP3 型アクアポリンは *OsTIP3;1* と *OsTIP3;2* の 2 種類が存在する (Sakurai et al., 2005)。Takahashi ら (Takahashi et al., 2004) は開花 10 日後の未熟種子において *OsTIP1;1* が PSV 膜上のみに存在するのに対し、

OsTIP3;1 は PSV と糊粉粒の膜上に存在することを金コロイドを用いた免疫電顕法により明らかにしている。筆者らはイネの全アクアポリン遺伝子を対象として、登熟中の種子における発現パターンを解析した。登熟中期のイネ種子においては *OsPIP2;1* と *OsTIP3;1* が非常に多く発現していた (第 2 図 A, Hayashi et al., 2015)。免疫組織染色法により、出穂後 12 日目の種子切片における *OsPIP2;1* の局在性を調査したところ、胚乳、珠心突起、珠心表皮および背部維管束に局在が確認されたが、糊粉層には局在していなかった。一方、*OsTIP3;1* は胚乳および糊粉層に局在していた (第 2 図 B, Hayashi et al., 2015)。これらの結果から、*OsPIP2;1* と *OsTIP3;1* は発現時期が似ているものの、種子内で異なる局在を示し、登熟期の種子において異なる役割を担う可能性が示唆された。

種子で発現する TIP3 型アクアポリンは、植物によって水透過性を持つ場合と持たない場合が報告されている。インゲンマメの TIP3 では、アフリカツメガエルの卵母細胞を用いた発現系において水透過活性を示すが、リン酸化サイトであると考えられる Ser を Ala に置換し、リン酸化が起こらない状態にすると水透過活性が低下した (Maurel et al., 1995)。一方、同じアフリカツメガエルの実験系において、イネの *OsTIP3;2* は水透過活性を示さずグリセロールの透過活性を示した (Li et al., 2008)。オオムギの *HvTIP3;1* はアフリカツメガエルの実験系においてホモ 4 量体で発現させた場合は水透過性を示さないが、*HvTIP1;2* との共発現によりヘテロ 4 量体で発現させた場合には水透過性を示した (Utsugi et al., 2015)。著者らは、酵母の発現系を利用して *OsTIP3;1* の水透過活性を測定した。*OsTIP3;1* の水透過活性は活性の高い *OsPIP2;5* (Sakurai et al., 2008) の 3 分の 1 程度で、アクアポリンを発現させていないネガティブコントロールの酵母とほぼ同等であった (Hayashi et al., 2015)。前述のように、*OsTIP3;1* は胚乳及び糊粉層に局在するが、これらの部位での水透過には関与しない可能性が考えられた。しかし、著者らが実験した酵母発現系で *TIP3;1* の膜への局在や活性調節がうまく行われていない可能性、また前述のオオムギでの事例のように他のアクアポリンとのヘテロ 4 量体形成により水透過性を示す可能性も考えられるため、*TIP3;1* の種子内での生理的役割については今後さらなる検討が必要である。一方、背部維管束等の組織に局在する *OsPIP2;1* は水透過活性を持つアクアポリンであり (Sakurai et al., 2008)、これらの組織における細胞間の水の拡散に関与することが示唆された。種子への効率的な同化産物の輸送には、背部維管束において篩管流の流れを滞らせることなく水が導管へ吸収され、篩管の膨圧を低く保つことが必要である (川

原ら, 1977)。このことから、出穂後 12 日目頃の種子では背部維管束周辺に *OsPIP2;1* を局在させ水透過性を上昇させることにより、篩管から導管への水の流れを促進している可能性が考えられる。また上述のように糊粉層では *OsTIP3;1* が局在しているのに対して *OsPIP2;1* の局在は観察されないが (第 2 図)、その生理的意義についても興味を持たれる。登熟中の種子内部における水分生理と密接な関係があることが予想され、今後の研究の進展が期待される。

## 5. おわりに

イネは日々の気象条件や根圏環境の変化などに敏感に応答し根全体の水透過性を制御するが、その過程では、33 種類のアクアポリン分子種の中でも根特異的に発現するアクアポリン分子種の発現量の変動が密接に関わっているものと考えられた。これは、明暗日周、蒸散要求、低温、土壌乾燥、根圏の窒素濃度などの環境変動の種類によらず共通してみられる現象であることが興味深い。著者らの研究を含めこれまで行われてきた研究の多くは、比較的環境が制御された単一の環境変動に対するものである。実際にイネが遭遇する環境はより複雑かつ複合的であり、今後はフィールドで起こる複雑な環境要因に対する応答を統合的に検証することにより、アクアポリンが根の水透過性の制御を介して植物体全体の環境変動適応にどのように貢献するのか明らかになるものと考えられる。著者らの研究においても「3-3. 野外気象の影響」で紹介したように、複合的な気象条件とアクアポリンの関係について興味深い結果が得られている。近年、フィールド環境下でのトランスクリプトームの重要性が認識され、圃場で栽培した品種日本晴の網羅的発現データベース「RiceXPro」(Sato et al., 2011, 2013) 等も公開されている。フィールドトランスクリプトームのためのツールの整備も急速に進んでいることから、今後、様々な遺伝子の野外環境応答の実態が明らかになるであろう (永野・工藤, 2014)。フィールド環境下において、アクアポリン遺伝子と共発現性の高い遺伝子群の情報等も明らかになるものと期待される。さらに、根の形態発達に関与する遺伝子群や、栄養素の輸送に関わる遺伝子群との関係も同時に追究することで、複雑に変動する環境下において根系形態・機能がどのように環境変動に適応するのか、その全貌が解明されることを期待したい。

## 引用文献

- Ahamed, A., Murai-Hatano, M., Ishikawa-Sakurai, J., Hayashi, H., Kawamura, Y., Uemura, M. 2012. Cold stress-induced acclimation in rice is mediated by root-specific aquaporins. *Plant*

- Cell Physiol. 53: 1445-1456.
- Almeida-Rodriguez, A.M., Hacke, U.G., Laur, J. 2011. Influence of evaporative demand on aquaporin expression and root hydraulics of hybrid poplar. *Plant Cell and Environ.* 34: 1318-1331.
- Aroca, R., Amodeo, G., Fernández-Illescas, S., Herman, E.M., Chaumont, F., Chrispeels, M.J. 2005. The role of aquaporins and membrane damage in chilling and hydrogen peroxide induced changes in the hydraulic conductivity of maize roots. *Plant Physiol.* 137: 341-353.
- Aroca, R., Porcel, R., Ruiz-Lozano, J.M. 2012. Regulation of root water uptake under abiotic stress conditions. *J. Exp. Bot.* 63: 43-57.
- Bloom, A.J., Zwieniecki, M.A., Passioura J.B., Randall, L.B., Holbrook, N.M., ST. Clair, D.A. 2004. Water relations under root chilling in a sensitive and tolerant tomato species. *Plant Cell Environ.* 27: 971-979.
- Busk P.K., Pagès, M. 1998. Regulation of abscisic acid-induced transcription. *Plant Mol. Biol.* 37: 425-435.
- Carvajal, M., Cooke, D.T., Clarkson, D.T. 1996. Responses of wheat plants to nutrient deprivation may involve the regulation of water-channel function. *Planta* 199: 372-381.
- Chapin, F.S., Walter, C.H.S., Clarkson, D.T. 1988. Growth response of barley and tomato to nitrogen stress and its control by abscisic acid, water relations and photosynthesis. *Planta* 173: 352-366.
- Chaumont, F., Tyerman, S.D. 2014. Aquaporins: highly regulated channels controlling plant water relations. *Plant Physiol.* 164: 1600-1618.
- Clarkson, D.T. 1976. The influence of temperature on the exudation of xylem sap from detached root systems of rye (*Secale cereale*) and Barley (*Hordeum vulgare*). *Planta* 132: 297-304.
- Clarkson D.T., Carvajal, M., Henzler, T., Waterhouse, R.N., Smyth, A.J., Cooke, D.T., Stuedle, E. 2000. Root hydraulic conductance: diurnal aquaporin expression and the effects of nutrient stress. *J. Exp. Bot.* 51: 61-70.
- Fetter, K., Van Wilder, V., Moshelion, M., Chaumont, F. 2004. Interactions between plasma membrane aquaporins modulate their water channel activity. *Plant Cell* 16: 215-228.
- Gambetta, G.A., Manuck, C.M., Drucker, S.T., Shaghassi, T., Fort, K., Matthews, M.A., Walker, M.A., McElrone, A.J. 2012. The relationship between root hydraulics and scion vigour across *Vitis* rootstocks, what role do root aquaporins play? *J. Exp. Bot.* 63: 6445-6455.
- Gambetta, G. A., Knipfer, T., Fricke, W., McElrone, A. J. 2017. Aquaporins and root water uptake. In Chaumont, F., Tyerman, S.D. eds., *Plant Aquaporins*. pp. 133-153.
- Gorska, A., Ye, Q., Holbrook, N.M., Zwieniecki, M.A. 2008a. Nitrate control of root hydraulic properties in plants: translating local information to whole plant response. *Plant Physiol.* 148: 1159-1167.
- Gorska, A., Zwieniecka, A., Holbrook, N.M., Zwieniecki, M.A. 2008b. Nitrate induction of root hydraulic conductivity in maize is not correlated with aquaporin expression. *Planta* 228: 989-998.
- Grondin A., Mauleon, R., Vadaz, V., Henry, A. 2016. Root aquaporins contribute to whole plant water fluxes under drought stress in rice (*Oryza sativa* L.) *Plant Cell Environ.* 39: 347-365.
- Guo, L., Wang, Z.Y., Lin, H., Cui, W.E., Chen, J., Liu, M., Chen, Z.L., Qu, L.J., Gu, H. 2006. Expression and functional analysis of the rice plasma-membrane intrinsic protein gene family. *Cell Res.* 16: 277-286.
- Hanba, Y.T., Shibasaki, M., Hayashi, Y., Hayakawa, T., Kasamo, K., Terashima, I., Katsuhara, M. 2004. Overexpression of the barley aquaporin HvPIP2; 1 increases internal CO<sub>2</sub> conductance and CO<sub>2</sub> assimilation in the leaves of transgenic rice plants. *Plant Cell Physiol.* 45: 521-529.
- 林秀洋 2015. 高温下におけるイネ種子アクアポリンの動態. 岩手大学大学院学位論文. pp. 107.
- Hayashi, H., Ishikawa-Sakurai, J., Murai-Hatano, M., Ahamed, A., Uemura, M. 2015. Aquaporins in developing grains. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 79: 1422-1429.
- Henry, A., Cal, A.J., Batoto, T.C., Torres, R.O., Serraj, R. 2012. Root attributes affecting water uptake of rice (*Oryza sativa*) under drought. *J. Exp. Bot.* 63: 4751-4763.
- Henzler, T., Waterhouse, R.N., Smyth, A.J., Carvajal, M., Cooke, D.T., Schäffner, A.R., Steudle, E., Clarkson, D.T. 1999. Diurnal variations in hydraulic conductivity and root pressure can be correlated with the expression of putative aquaporins in the roots of *Lotus japonicus*. *Planta* 210: 50-60.
- Hirasawa, H. Ishihara, K. 1991. On resistance to water transport in crop plants for estimating water uptake ability under intense transpiration. *Jpn. J. Crop Sci.* 60: 174-183.
- Hirasawa, T., Tsuchida, M., Ishihara, K. 1992. Relationship between resistance to water transport and exudation rate and the effect of the resistance on the midday depression of stomatal aperture in rice plants. *Jpn. J. Crop Sci.* 61: 143-152.
- Ishikawa-Sakurai, J., Hayashi, H., Murai-Hatano, M. 2014. Nitrogen availability affects hydraulic conductivity of rice roots, possibly through changes in aquaporin gene expression. *Plant Soil* 379: 289-300.
- Jiang, C-Z., Hirasawa, T., Ishihara, K. 1988. Physiological and ecological characteristics of high yielding varieties in rice plants. II. Leaf photosynthetic rates. *Jpn. J. Crop Sci.* 57: 139-145.
- Johnson, K.D., Herman, E.M., Chrispeels, M.J. 1989. An abundant, highly conserved tonoplast protein in seeds. *Plant Physiol.* 91: 1006-1013.
- Kano, M., Inukai, Y., Kitano, H., Yamauchi, A. 2011. Root plasticity as the key root trait for adaptation to various intensities of drought stress in rice. *Plant Soil* 342: 117-128.
- 且原真木 2003. 水の吸収と輸送. 加藤潔, 島崎研一郎, 前島正義, 三村徹朗 監修. 細胞工学別冊植物細胞工学シリーズ18 植物の膜輸送システムーポンプ・トランスポーター・チャネル研究の新展開ー. 秀潤社, 東京. pp. 159-166.
- Katsuhara, M., Chung, G.C., Sakurai, J., Murai, M., Izumi, Y., Tsumuki, H. 2007. Low temperature and aquaporins, a molecular mechanism of water transport. *Cryobiol. Cryotechnol.* 53: 21-32.



- 川原治之助, 松田智明, 長南信雄 1977. 稲の形態形成に関する研究 第9報 小穂における維管束の構造と転流機構について. 日作紀 46: 82-90.
- Kobata, T., Okuno, T., Yamamoto, T. 1996. Contributions of capacity for soil water extraction and water use efficiency to maintenance of dry matter production in rice subjected to drought. Jpn. J. Crop Sci. 65: 652-662.
- 近藤純正, 徐健青 1997. ポテンシャル蒸発量の定義と気候湿潤度. 天気 44: 875-883.
- Kramer, P.J., Boyer, J.S. 1995. Water Relations of Plant and Soils. Academic Press, San Diego, CA, USA.
- Kudoyarova, G., Veselova, S., Hartung, W., Farhutdinov, R., Veselov, D., Sharipova, G. 2011. Involvement of root ABA and hydraulic conductivity in the control of water relations in wheat plants exposed to increased evaporative demand. Planta 233: 87-94.
- Kuwagata, T., Murai-Hatano, M. 2007. Osmotic water permeability of plasma and vacuolar membranes in protoplasts II: theoretical basis. J. Plant Res. 120: 193-208.
- Kuwagata, T., Ishikawa-Sakurai, J., Hayashi, H., Nagasuga, K., Fukushi, K., Ahamed, A., Takasugi, K., Katsuhara, M., Murai-Hatano, M. 2012. Influence of low air humidity and low root temperature on water uptake, growth and aquaporin expression in rice plants. Plant Cell Physiol. 53: 1418-1431.
- Laur, J., Hacke, U.G. 2013. Transpirational demand affects aquaporin expression in poplar roots. J. Exp. Bot. 64: 2283-2293.
- Lee, S.E., Yim, H.K., Lim, M.N., Yoon, I.S., Kim, J.H., Hwang, Y.S. 2015. Absciscic acid prevents the coalescence of protein storage vacuoles by upregulating expression of a tonoplast intrinsic protein gene in barley aleurone. J. Exp. Bot. 66: 1191-1203.
- Lee, S.H., Singh, A.P., Chung, G.C. 2004. Rapid accumulation of hydrogen peroxide in cucumber roots due to exposure to low temperature appears to mediate decreases in water transport. J. Exp. Bot. 55: 1733-1741.
- Lee, S.H., Chung, G.C., Steudle, E. 2005a. Gating of aquaporins by low temperature in roots of chilling-sensitive cucumber and chilling-tolerant figleaf gourd. J. Exp. Bot. 56: 985-995.
- Lee, S.H., Chung, G.C., Steudle, E. 2005b. Low temperature and mechanical stresses differently gate aquaporins of root cortical cells of chilling-sensitive cucumber and -resistant figleaf gourd. Plant Cell Environ. 28: 1191-1202.
- Lee, S.H., Chung, G.C., Jang, J.Y., Ahn, S.J., Zwiazek, J.J. 2012. Overexpression of PIP2; 5 aquaporin alleviates effects of low root temperature on cell hydraulic conductivity and growth in Arabidopsis. Plant Physiol. 159: 479-488.
- Levin, M., Resnick, N., Rosiansky, Y., Kolotilin, I., Wininger, S., Lemcoff, J.H., Cohen, S., Galili, G., Koltai, H., Kapulnik, Y. 2009. Transcriptional profiling of *Arabidopsis thaliana* plants' response to low relative humidity suggests a shoot-root communication. Plant Sci. 177: 450-459.
- Li, G., Tillard, P., Gojon, A., Maurel, C. 2016. Dual regulation of root hydraulic conductivity and plasma membrane aquaporins by plant nitrate accumulation and high-affinity nitrate transporter NRT2.1. Plant Cell Physiol. 57: 733-742.
- Li, G.W., Peng, Y.H., Yu, X., Zhang, M.H., Cai, W.M., Sun, W.N., Su, W.A. 2008. Transport functions and expression analysis of vacuolar membrane aquaporins in response to various stresses in rice. J. Plant Physiol. 165: 1879-1888.
- Lian, H.L., Yu, X., Lane, D., Sun, W.N., Tang, Z.C., Su, W.A. 2006. Upland rice and lowland rice exhibited different PIP expression under water deficit and ABA treatment. Cell Res. 16: 651-650.
- Lopez, F., Bousser, A., Sissoëff, I., Gaspar, M., Lachaise, B., Hoarau, J., Mahé, A. 2003. Diurnal regulation of water transport and aquaporin gene expression in maize roots: contribution of PIP2 proteins. Plant Cell Physiol. 44: 1384-1395.
- Ma, J.F., Tamai, K., Yamaji, N., Mitani, N., Konishi, S., Katsuhara, M., Ishiguro, M., Murata, Y., Yano, M. 2006. A silicon transporter in rice. Nature 440: 688-691.
- Ma, J. F., Yamaji, N., Tamai, K., Mitani, N. 2007. Genotypic difference in silicon uptake and expression of silicon transporter genes in rice. Plant Physiol. 145: 919-924.
- Maclean, J., Hardy, B., Hettel, G. 2013. Rice Almanac, 4th edn. IRRI, WARDA, CIAT, FAO Press.
- Markhart, A.H., Fiscus, E.L., Naylor, A.W., Kramer, P.J. 1979. Effect of temperature on water and ion transport in soybean and broccoli systems. Plant Physiol. 64: 83-87.
- Matsumoto, T., Lian, H.-L., Su, W.-A., Tanaka D., Liu, W.C., Iwasaki, I., Kitagawa, Y. 2009. Role of the aquaporin PIP1 subfamily in the chilling tolerance of rice. Plant Cell Physiol. 50: 216-229.
- Matsunami, M., Matsunami, T., Ogawa, A., Toyofuku, K., Kodama, I., Kokubun, M. 2012. Genotypic variation in biomass production at the early vegetative stage among rice cultivars subjected to deficient soil moisture regimes and its association with water uptake capacity. Plant Prod. Sci. 15: 82-91.
- Matsunami, M., Matsunami, T., Kodama, I., Ogawa, A., Toyofuku, K., Ishikawa-Sakurai, J., Kokubun, M. 2016a. Characterization of the morphological and physiological traits of rice cultivars with adaptation to unflooded condition during early vegetative growth. Plant Prod. Sci. 19: 173-180.
- Matsunami, M., Toyofuku, K., Ishikawa-Sakurai, J., Ogawa, A., Matsunami, T., Kokubun, K. 2016b. Root development and the expression of aquaporin genes in rice seedlings under osmotic stress. Plant Prod. Sci. 19: 315-322.
- Maurel, C., Kado, R.T., Guern, J., Chrispeels, M.J. 1995. Phosphorylation regulates the water channel activity of the seed-specific aquaporin  $\alpha$ -TIP. EMBO J. 14: 3028-3035.
- Maurel, C., Boursiac, Y., Luu, D.T., Santoni, V., Shahzad, Z., Verdoucq, L. 2015. Aquaporins in plants. Physiol. Rev. 95: 1321-1358.
- Maurel, C., Verdoucq, L., Rodrigues, O. 2016. Aquaporins and plant transpiration. Plant Cell Environ. 39: 2580-2587.
- McElrone, A.J., Bichler, J., Pockman, W.T., Addington, R.N., Linder, C.R., Jackson, R.B. 2007. Aquaporin-mediated changes in hydraulic conductivity of deep tree roots accessed via caves. Plant Cell Environ. 30: 1411-1421.

- Melroy, D.L., Herman, E.M. 1991. TIP, an integral membrane protein of the protein-storage vacuoles of the soybean cotyledon undergoes developmentally regulated membrane accumulation and removal. *Planta* 184: 113-122.
- Meng D., Walsh M., Fricke, W. 2016. Rapid changes in root hydraulic conductivity and aquaporin expression in rice (*Oryza sativa* L.) in response to shoot removal-xylem tension as a possible signal. *Ann. Bot.* 118: 809-819.
- Miller, A.J., Cramer, M.D. 2004. Root nitrogen acquisition and assimilation. *Plant Soil* 274: 1-36.
- Miyamoto, N., Steudle, E., Hirasawa, T., Lafitte, R. 2001. Hydraulic conductivity of rice roots. *J. Exp. Bot.* 52: 1835-1846.
- Murai-Hatano, M., Kuwagata, T. 2007 Osmotic water permeability of plasma and vacuolar membranes in protoplasts I. High osmotic water permeability in radish (*Raphanus sativus*) root cells as measured by a new method. *J. Plant Res.* 120: 175-189.
- Murai-Hatano, M., Kuwagata, T., Sakurai, J., Nonami, H., Ahemed, A., Nagasuga, K., Matsunami, T., Fukushima, K., Maeshima, M., Okada, M. 2008. Effect of low temperature on hydraulic conductivity of rice plants and the possible role of aquaporin. *Plant Cell Physiol.* 49: 1294-1305.
- Murai-Hatano, M., Kuwagata, T., Hayashi, H., Ishikawa-Sakurai, J., Moriyama, M., Okada, M. 2015. Rice plants sense daily weather and regulate aquaporin gene expressions in the roots-close correlation with potential evaporation. *J. Agr. Met.* 71: 124-135.
- 村井(羽田野)麻理, 櫻井淳子, 桑形恒男 2009. 植物の水吸収に着目して地上部と地下部の結びつきを考える. *日本生態学会誌* 59: 43-54.
- 村井(羽田野)麻理, 櫻井(石川)淳子, 桑形恒男, 林秀洋, アハメドアリファ, 長管輝義 2011. 低温下でのイネの水吸収とアクアポリン. *低温生物工学会誌* 57: 7-12.
- 永野惇, 工藤洋 2014. 野外の環境における生物の環境応答の理解にむけて: トランスクリプトームデータと気象データの統合. *領域融合レビュー* 3: e009.
- Nagasuga, K., Murai-Hatano, M., Kuwagata, T. 2011. Effects of root temperature on dry matter production and root water uptake in rice plants. *Plant Prod. Sci.* 14: 22-29.
- Nguyen, M.X., Moon, S., Jung, K.H. 2013. Genome-wide expression analysis of rice aquaporin genes and development of a functional gene network mediated by aquaporin expression in roots. *Planta*. 238: 669-681.
- Niones, J. M., Inukai, Y., Suralta, R. R., Yamauchi, A. 2015. QTL associated with lateral root plasticity in response to soil moisture fluctuation stress in rice. *Plant Soil*. 391: 63-75.
- Nishida, I., Murata, N. 1996. Chilling sensitivity in plants and cyanobacteria: The crucial contribution of membrane lipids. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 47: 541-568.
- Parsons, L.R., Kramer, P.J. 1974. Diurnal cycling in root resistance to water movement. *Physiol. Plant.* 30: 19-23.
- Perrone, I., Gambino, G., Chitarra, W., Vitali, M., Pagliarani, C., Riccomagno, N., Balestrini, R., Kaldenhoff, R., Uehlein, N., Gribaudo, I., Schubert, A., Lovisolo, C. 2012. The grapevine root-specific aquaporin *VvPIP2;4N* controls root hydraulic conductance and leaf gas exchange under well-watered conditions but not under water stress. *Plant Physiol.* 160: 965-977.
- Ranathunge, K., Steudle, E., Lafitte, R. 2003. Control of water uptake by rice (*Oryza sativa* L.) : role of the outer part of the root. *Planta* 217: 193-205.
- Ranganathan, K., El Kayal, W., Cooke, J.E., Zwiazek, J.J. 2016. Responses of hybrid aspen over-expressing a PIP2;5 aquaporin to low root temperature. *J. Plant Physiol.* 192: 98-104.
- Sakurai, J., Ishikawa, F., Yamaguchi, T., Uemura, M., Maeshima, M. 2005. Identification of 33 rice aquaporin genes and analysis of their expression and function. *Plant Cell Physiol.* 46: 1568-1577.
- Sakurai, J., Ahamed, A., Murai, M., Maeshima, M., Uemura, M. 2008. Tissue and cell-specific localization of rice aquaporins and their water transport activities. *Plant Cell Physiol.* 49: 30-39.
- Sakurai-Ishikawa, J., Murai-Hatano, M., Hayashi, H., Ahamed, A., Fukushima, K., Matsumoto, T., Kitagawa, Y. 2011. Transpiration from shoots triggers diurnal changes in root aquaporin expression. *Plant Cell Environ.* 34: 1150-1163.
- Sato, Y., Antonio B., Namiki, N., Takehisa, H., Minami, H., Kamatsuki, K., Sugimoto, K., Shimizu, Y., Hirochika, H., Nagamura, Y. 2011. RiceXPro: a platform for monitoring gene expression in japonica rice grown under natural field conditions. *Nucleic Acids Res.* 2011. 39: D1141-D1148.
- Sato, Y., Takehisa, H., Kamatsuki, K., Minami, H., Namiki, N., Ikawa, H., et al. 2013. RiceXPro version 3.0: expanding the informatics resource for rice transcriptome. *Nucleic Acids Res.* 2012: D1206-1213.
- Shimono, H., Hasegawa, T. Iwama, K. 2002. Response of growth and grain yield in paddy rice to cool water at different growth stages. *Field Crop Res.* 73: 67-79.
- Shimono, H., Hasegawa, T. Iwama, K. 2007a. Modeling the effects of water temperature on rice growth and yield under a cool climate. I. Model development. *Agron. J.* 99: 1327-1337.
- Shimono, H., Hasegawa, T., Kuwagata, T., Iwama, K. 2007b. Modeling the effects of water temperature on rice growth and yield under a cool climate. II. Model application. *Agron. J.* 99: 1338-1344.
- Suralta, R.R., Inukai, Y., Yamauchi, A. 2008. Genotypic variations in responses of lateral root development to transient moisture stress in rice cultivars. *Plant Prod. Sci.* 11: 324-335.
- Takahashi, H., Rai, M., Kitagawa, T., Morita, S., Masumura, T., Tanaka, K. 2004. Differential localization of tonoplast intrinsic proteins on the membrane of protein body type II and aleurone grain in rice seeds. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 68: 1728-1736.
- Takano, J., Wada, M., Ludewig, U., Schaaf, G., von Wirén, N., Fujiwara, T. 2006. The *Arabidopsis* major intrinsic protein NIP5;1 is essential for efficient boron uptake and plant development under boron limitation. *Plant Cell* 18: 1498-1509.
- Takano, J., Tanaka, M., Toyoda, A., Miwa, K., Kasai, K., Fuji, K., Onouchi, H., Naito, S., Fujiwara, T. 2010. Polar localization and degradation of *Arabidopsis* boron transporters through distinct trafficking pathways. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 107: 5220-5225.

- Taylaran, R.D., Adachi, S., Ookawa, T., Usuda, H., Hirasawa, T. 2011. Hydraulic conductance as well as nitrogen accumulation plays a role in the higher rate of leaf photosynthesis of the most productive variety of rice in Japan. *J. Exp. Bot.* 62: 4067-4077.
- 寺島一郎, 彦坂幸毅, 竹中明夫, 大崎満, 大原雅, 可知直毅, 甲山隆司ほか3名著 2004. 植物生態学-Plant Ecology- 朝倉書店, pp. 431.
- Tyerman, S.D., Wignes, J.A., Kaiser, B.N. 2017. Root hydraulic and aquaporin responses to N availability. In Chaumont, F., Tyerman, S.D. eds., *Plant Aquaporins*. pp. 207-236.
- Uehlein, N., Lovisolo, G., Siefritz, F., Kaldenhoff, R. 2003. The tobacco aquaporin NtAQP1 is a membrane CO<sub>2</sub> pore with physiological functions. *Nature* 425: 734-737.
- Uga, Y., Sugimoto, K., Ogawa, S., Rane, J., Ishitani, M., Hara, N., Kitomi, Y., Inukai, Y., Ono, K., Kanno, N., Inoue, H., Takehisa, H., Motoyama, R., Nagamura, Y., Wu, J., Matsumoto, T., Takai, T., Okuno, K., Yano, M. 2013. Control of root system architecture by *DEEPER ROOTING 1* increases rice yield under drought conditions. *Nature Genetics* 45: 1097-1102.
- Utsugi, S., Shibasaki, M., Maekawa, M., Katsuhara, M. 2015. Control of the water transport activity of barley HvTIP3;1 specifically expressed in seeds. *Plant Cell Physiol.* 56: 1831-1840.
- Vandeleur, R.K., Sullivan, W., Athman, A., Jordans, C., Gilliam, M., Kaiser, B.N., Tyerman, S.D. 2014. Rapid shoot-to-root signalling regulates root hydraulic conductance via aquaporins. *Plant Cell Environ.* 37: 520-538.
- Wan, X., Zwiazkev, J.J. 1999. Mercuric chloride effects on root water transport in aspen seedlings. *Plant Physiol.* 121 : 939-946
- Yoshida, S. 1994 Low temperature-induced cytoplasmic acidosis in cultured mung bean (*Vigna radiata* [L.] Wilczek) cells. *Plant Physiol.* 104: 1131-1138.
- Yoshida, S., Hotsubo, K., Kawamura, Y., Murai, M., Arakawa, K., Takezawa, D. 1999 Alterations of intracellular pH in response to low temperature stresses. *J. Plant Res.* 112: 225-236.
- Zelazny, E., Borst, J.W., Muylaert, M., Batoko, H., Hemminga, M.A., Chaumont, F. 2007. FRET imaging in living maize cells reveals that plasma membrane aquaporins interact to regulate their subcellular localization. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 104: 12359-12364.



## 第 46 回根研究集会に参加して

谷川夏子・矢原ひかり・岡本瑞輝

信州大学理学部物質循環学科

残雪の青と白のコントラストが美しい立山連峰と深い紺色の日本海に囲まれた富山市に、日本中から根の研究者が集まりました。第 46 回根研究集会は、2017 年 6 月 17 日に富山大学で行われました。本集会では 7 題の口頭発表と 17 題のポスター発表が行われました。研究対象はイネ、トマトなどの農作物の根から、ヒノキ、スギなどの樹木の根まで様々でした。作物の成長に対する根の応答に関する研究や、水耕栽培など栽培方法の検討が行われていました。樹木根の研究は地下部と地上部の関係、細根の形態特性と生理特性の関係などがありました。以下に、谷川、矢原、岡本の感想を記します。

私は、「温帯林 12 樹種における細根の可視 - 近赤外反射率 ~ 樹種間差はみられるのか? ~」という表題でポスター発表をしました。近年、分光技術の発展により、近赤外波長の連続分光反射を解析することで迅速かつ客観的に有機物の組成を識別することが可能になってきました。私はこの分光技術が、樹木細根の樹種判別に適用できるのかを調査しました。初めての学会発表でとても緊張しましたが、根研究集会の穏やかな空気により、緊張が発表するにつれてほどけていきました。多くの方が熱心に発表を聞き入っているのが印象的で、積極的に議論が交わされていました。自分の研究成果を自分の言葉で表現する難しさ、そして伝える楽しさ

を感じることができました。私の発表内容は本集会の中でも技術色が強いものでしたが、根のスペシャリストの方々からコメントやアドバイス、これからの可能性について話を頂くことができ、自分自身の研究の課題が明確になり、とても勉強になりました。(谷川夏子)

私は樹木根を研究対象としており、作物や果樹の根についての研究を聞くのはほとんど初めてでした。樹木根が細根と粗根に大きく分類されるように、作物根も種子根と節根を含む主軸根と、S 型と L 型側根を含む異形側根に分類されます。樹木でも作物でも根の特徴ごとに分類され、形態や生理、解剖特性などが異なると言われています。このような両者に共通する特徴があることを知り、作物根に比べ未知数が多い樹木根研究が、作物・果樹根研究から学べることも多くあると感じました。同時に、作物根は皮層が喪失せず通気組織となるのに対し、樹木根は皮層が喪失し木化します。このような樹木根と作物根で異なる特徴も、両方を知ることで自身の研究の深い理解につながるのではないかと思います。私は、樹木細根の解剖特性や通水特性に興味をもっており、作物根での通水性や解剖学的な研究は大変勉強になりました。今後、作物・果樹根における方法を応用し、樹木根の水分特性の理解を深化させていきたいです。(矢原ひかり)



本研究集会での集合写真

私は現在、樹木細根の形態に興味があり、樹木細根の形態特性と土壌の関係性についての研究を聞き感激しました。樹木根だけでなく様々な植物の根について、根の生理機能、形態、生育環境などの多様な研究分野に触れることができ、大変刺激的な集会でした。懇親会では、富山の山と海が育んだ美味しい海産物やお酒を囲みながら、参加者の皆様と楽しくお話をしました。発表時間内では話足りず、参加者が自身の研究分野の話で盛り上がり、私達も先生方に研究の助言を頂き知見を深めることができました。また学生同士でも互いの研究や進路などを話し、繋がりを作ることができました。二次会・三次会でも今後の研究や私の知らない植物の根について伺うことができ、話が尽きることはありませんでした。（岡本瑞輝）

今回の根研究集会の参加及び、懇親会、研究者同士の交流を通じて、根研究の多様な見方や研究分野について知ることができました。根研究の世界に足を踏み入れたことを実感し、自分の研究の立ち位置を確認で

きるとても良い機会になりました。最後になりましたが、根研究集会を企画して下さった富山大学の皆様、参加された研究者皆様に御礼申し上げます。ありがとうございました。



口頭発表の様子

報 告

<日時> 2017年6月17日(土) 11:25~

<場所> 富山大学理学部(五福キャンパス), 学生会館ホール

10:50~11:25 受付(試写)

11:25~11:30 開会の挨拶

11:30~12:15 口頭発表(午前の部) ※☆は優秀発表賞にエントリーしている発表

11:30~11:45 ☆O1 東アジアに分布するヒエ属(2種3変種)における耐湿性の比較

江尻真斗<sup>1</sup>・塩野克宏<sup>1</sup>(<sup>1</sup>福井県立大学生物資源学部)

11:45~12:00 O2 外生ABAがオオムギの下皮に機能的なアポプラストバリアを形成させる

塩野克宏<sup>1</sup>, 松浦晴香<sup>1</sup>, 山田淑葉<sup>1</sup>, Timothy D. Colmer<sup>2</sup>(<sup>1</sup>福井県立大学生物資源学部, <sup>2</sup>School of Plant Biology, The Univ. of Western Australia, Australia)

12:00~12:15 ☆O3 桑の根を利用するための苗の水耕栽培条件の検討

関慎太郎<sup>1</sup>・神戸隆介<sup>2</sup>・木下明<sup>3</sup>・本間知夫<sup>1</sup>(<sup>1</sup>前橋工科大院・<sup>2</sup>(株)神戸万吉商店・<sup>3</sup>ハイトカルチャ(株))

12:15~13:30 昼休み(試写)

13:30~14:30 口頭発表(午後の部)

13:30~13:45 ☆O4 イネ第2および第6染色体上に同定した根長QTL, *QUICK ROOTING 1&2*

木富悠花<sup>1</sup>, 中尾絵真理<sup>2</sup>, 河合佐和子<sup>1</sup>, 菅野徳子<sup>1</sup>, 安藤露<sup>1</sup>, 福岡修一<sup>1</sup>, 入江憲治<sup>2</sup>, 宇賀優作<sup>1</sup>(<sup>1</sup>農研機構・次世代作物開発研究センター, <sup>2</sup>東京農業大・国際農業開発学)

13:45~14:00 O5 テオシント根始原域における木部細胞の形成

斉藤進<sup>1</sup>, 高橋三男<sup>2</sup>, 仁木輝緒<sup>1</sup>(<sup>1</sup>拓殖大・工, <sup>2</sup>東京高専・物質工)

14:00~14:15 ☆O6 タイ熱帯季節林帯における荒廃草地造林地の細根特性

酒井正治<sup>1</sup>・Thiti Vasaratana<sup>2</sup>・Ratana Thaigam<sup>2</sup>(<sup>1</sup>森林総合研究所, <sup>2</sup>タイ王室森林局)

14:15~14:30 ☆O7 多収良食味トマト新品種‘鈴玉’の出液速度および果実Ca濃度の特徴



中野明正<sup>1</sup>・趙鉄軍<sup>1</sup>・鈴木克己<sup>2</sup>・岩崎泰永<sup>1</sup> (<sup>1</sup>国立研究開発法人 農研機構 野菜花き研究部門, <sup>2</sup>静岡大学 農学部)

14 : 30～14 : 40 写真撮影

14 : 40～15 : 40 ポスター発表

☆ P1 次数別比根長 SRL と土壌特性から見るヒノキ細根機能の分類点の検討  
土居龍成<sup>1</sup>・谷川東子<sup>2</sup>・和田竜征<sup>1</sup>・平野恭弘<sup>1</sup> (<sup>1</sup>名古屋大学大学院環境学研究科 <sup>2</sup>森林総合研究所関西支所)

☆ P2 土壌炭素・窒素濃度と細根次数形態との関連性 -関西中部地方におけるスギ林の事例-

和田竜征<sup>1</sup>・谷川東子<sup>2</sup>・土居龍成<sup>1</sup>・平野恭弘<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>名古屋大学大学院環境学研究科 <sup>2</sup>森林総合研究所関西支所)

P3 スギ林における地中レーダ探査画像の再現性についての検討

平野恭弘<sup>1</sup> 山瀬敬太郎<sup>2</sup> 谷川東子<sup>3</sup> 藤堂千景<sup>2</sup> 檀浦正子<sup>4</sup> 大橋瑞江<sup>5</sup> 池野英利<sup>5</sup> (<sup>1</sup>名古屋大環境 <sup>2</sup>兵庫県農林技セ <sup>3</sup>森林総研関西 <sup>4</sup>京大地球環境学堂 <sup>5</sup>兵庫県立大環境人間)

P4 フィンランド亜寒帯林における細根特性の樹種特異性

牧田 直樹<sup>1</sup>・Heljä-Sisko Helmisaari<sup>2</sup> (<sup>1</sup>信州大学理学部 物質循環学科・<sup>2</sup>University of Helsinki Dept. of Forest Sciences)

☆ P5 温帯林 1 2 樹種における細根の可視-近赤外反射率 ～樹種間差はみられるのか?～

谷川夏子<sup>1</sup>・中路達郎<sup>2</sup>・牧田直樹<sup>1</sup> (<sup>1</sup>信州大学理学部・<sup>2</sup>北海道大学北方生物圏フィールド科学センター)

☆ P6 根の呼吸を抑えた急速な表面積拡大 ―ブナ実生個体の葉と根の呼吸比較―

黒澤陽子・王莫非・吉村謙一・森茂太 (山形大学)

P7 草本、木本に共通した個体根と地上部呼吸の傾向

森茂太・黒澤陽子・王莫非・吉村謙一 (山形大学)

P8 西表島・マングローブ植物の生体電位の長期連続計測について

本間知夫<sup>1</sup>・井村信弥<sup>2</sup>・石垣圭一<sup>2</sup>・馬場繁幸<sup>2</sup>・渡辺 信<sup>2</sup> (<sup>1</sup>前橋工科大学・<sup>2</sup>琉球大学熱帯生物圏研究センター)

☆ P9 ブルーベリー挿し木苗の異形根性―骨格細根の発達が根系拡大に関与する

馬場隆士<sup>1</sup>・半智史<sup>1</sup>・伴琢也<sup>2</sup> (<sup>1</sup>東京農工大学大学院連合農学研究科, <sup>2</sup>東京農工大学農学部)

P10 無マルチ早植え栽培サツマイモの生育前半期における根重と塊根収量

藏之内利和<sup>1</sup>・西中未央<sup>2</sup>・高田明子<sup>1</sup>・片山健二<sup>2</sup> (1 農研機構本部 ・  
2 農研機構次世代作物開発研究センター)

- ☆ P11 水田転換畑での耕起法による土壌物理性および土壌化学性の違いがト  
ウモロコシの根系に及ぼす影響  
篠遠善哉<sup>1,2</sup>・松波寿典<sup>1</sup>・大谷隆二<sup>1</sup>・丸山幸夫<sup>2</sup> (<sup>1</sup> 農研機構東北農業研  
究センター・<sup>2</sup> 筑波大学)

- ☆ P12 根箱・ピンボード法に用いる根系採取装置の開発と利用法  
神山拓也<sup>1,2</sup>・吉留克彦<sup>1</sup>・荒川祐介<sup>1</sup> (<sup>1</sup> 農研機構九州沖縄農業研究セン  
ター,<sup>2</sup> 農研機構中央農業研究センター)

- ☆ P13 イネ根系 Hydraulic conductivity における解剖学的諸形質間の相対的貢献  
度の定量化の試み  
株木拓也・渡邊友実加・仲田(狩野) 麻奈・三屋史朗・山内章 (名古屋  
大学大学院生命農学研究科)

- ☆ P14 浸透圧ストレスがイネの根の通気組織形成, 根系発育, 水通導性および  
水ポテンシャル勾配に及ぼす影響  
渡邊友実加<sup>1</sup>・株木拓也<sup>1</sup>・仲田(狩野) 麻奈<sup>1,2</sup>・三屋史朗<sup>1</sup>・山内章<sup>1</sup> (<sup>1</sup>  
名古屋大学生命農学研究科, <sup>2</sup> 名古屋大学高等研究院 )

- ☆ P15 根系発育を促すイネ *our1* 遺伝子の根における発現解析と有用性評価  
長谷川友美<sup>1</sup>・柴田晃秀<sup>1</sup>・高橋(野坂) 美鈴<sup>1</sup>・西内俊策<sup>1</sup>・鮫島啓彰<sup>2</sup>・  
菊田真由美<sup>2</sup>・榎原大悟<sup>2</sup>・山内章<sup>1</sup>・犬飼義明<sup>2</sup> (<sup>1</sup> 名古屋大学大学院生  
命農学研究科, <sup>2</sup> 名古屋大学農学国際教育協力研究センター)

- ☆ P16 シンクロトン放射光を用いた X 線マイクロ CT によるシロイヌナズナ  
根系の可視化の試み  
黒金智文<sup>1</sup>, 唐原一郎<sup>1\*</sup>, 松井 亮<sup>2</sup>, 玉置大介<sup>1</sup>, 矢野幸子<sup>3</sup>, 谷垣文章<sup>3</sup>,  
嶋津 徹<sup>3,4</sup>, 笠原春夫<sup>5</sup>, 山内大輔<sup>6</sup>, 上杉健太郎<sup>7</sup>, 星野真人<sup>7</sup>, 峰  
雪芳宣<sup>6</sup>, 神阪盛一郎<sup>1</sup> (<sup>1</sup> 富山大・院・理工, <sup>2</sup> 富山大・理, <sup>3</sup> 宇宙航空研  
究開発機構, <sup>4</sup> 日本宇宙フォーラム, <sup>5</sup> 有人宇宙システム, <sup>6</sup> 兵庫県大・  
院・生命理学, <sup>7</sup> 高輝度光科学研究センター)

- P17 シロイヌナズナ芽生えの側根形成と生長に対するコハク酸処理の効果  
玉置大介<sup>1\*</sup>・加藤智朗<sup>2</sup>・西内巧<sup>1</sup> (<sup>1</sup> 金沢大・遺伝子, <sup>2</sup> (株) フローラ, \*  
(現所属) 富山大・院・理工)

16 : 00～17 : 15 総会・授賞式

17 : 30～19 : 30 懇親会 (Open Cafe AZAMI)

<座長>

O1～2, 木富悠花 ; O3, 塩野克宏 ; O4～5, 間野吉郎 ; O6～7, 牧田直  
樹 (敬称略)

O1

## 東アジアに分布するヒエ属 (2 種 3 変種) における耐湿性の比較

江尻真斗<sup>1,\*</sup>・塩野克宏<sup>1</sup><sup>1</sup> 福井県立大学生物資源学部

(\*s1421008@g.fpu.ac.jp)

水田のような過湿環境で多くの植物は生育阻害を受ける。それに対して、湿生植物は代表的な 3 つの適応応答によって耐湿性を獲得している: (i) 地表面付近での不定根の形成, (ii) 通気組織の形成, (iii) 根の基部での放射状酸素放出 (Radial Oxygen Loss) を抑制する ROL バリアの形成。中でも ROL バリアは耐湿性の高い湿生植物だけが持つ重要な形質である。イネを含む湿生植物の多くは過湿ストレス下で誘導的に ROL バリアを形成する。それに対してヒエ属の 1 種であるイヌビエは過湿ストレスを受けなくても恒常的に ROL バリアを形成することができる (McDonald *et al.*, Plant Cell Environ., 2001)。ヒエ属はイネの随伴雑草として名高いが、その中には水田だけでなく畑地にも分布するエコタイプが知られている。では広くエコタイプをもつヒエ属は属間に過湿ストレス応答が異なるものが存在するのではないかと本研究は、前述の 3 つの過湿ストレスへの適応応答についてヒエ属間で差異があるかどうかを確かめることを目的に実施した。使用したのは、日本を含む東アジアに分布するヒエ属 (2 種 3 変種)、すなわちタイヌビエと *Echinochloa crus-galli* 3 変種 (イヌビエ、ヒメタイヌビエ、ヒメイヌビエ) である。そのうちイヌビエ 1 変種とヒメイヌビエは畑地に分布するエコタイプである。種子を吸水させてから 10 日間好気的な水耕栽培をした後、7~14 日間好気的または嫌気的な水耕栽培をした。結果、ROL バリアの誘導性に種間差がみられ、恒常的なバリアを形成する *E. crus-galli* の草丈の成長は誘導的なバリアを形成するタイヌビエよりも優れていた。

O2

## 外生 ABA がオオムギの下皮に機能的なアポプラストバリアを形成させる

塩野克宏<sup>1,\*</sup>、松浦晴香<sup>1</sup>、山田淑葉<sup>1</sup>、Timothy D. Colmer<sup>2</sup><sup>1</sup> 福井県立大学生物資源学部, <sup>2</sup> School of Plant Biology, The Univ. of Western Australia, Australia

\*連絡先 (shionok@fpu.ac.jp)

植物がつくる疎水性ポリマーであるスベリンは、根において病原体の侵入、有毒ガスの流入を防ぐだけでなく水やイオンの流出を抑制する障壁として機能する (Enstone *et al.*, J Plant Growth Regul, 2003)。湿生植物はスベリン化した下皮により、根からの放射状酸素放出 (Radial Oxygen Loss) を調整することで、嫌気状態となった過湿土壌での生育を可能にしている。この放射状酸素放出の障壁は、ROL バリアと呼ばれる耐湿性の重要形質である。これまで、ROL バリアを制御する植物ホルモンは未同定であったが、最近、我々はイネの ROL バリアを ABA が正に制御することを明らかにした (塩野・吉川ら、未発表)。また、シロイヌナズナの外皮においても外生 ABA がスベリン化を促進することが報告された (Barberon *et al.*, Cell, 2016)。根と土壌の境界に位置する下皮のスベリン化は環境適応と関係が深いため、外生 ABA が下皮のスベリン化を促進させるのか? に興味を持たれる。そこで、自然状態でスベリンが蓄積しない下皮を形成するオオムギ (Perumalla *et al.*, Bot J Linn Soc, 1990) を用いて、外生 ABA が下皮のアポプラストバリア形成に与える影響を調べた。その結果、外生 ABA がオオムギの下皮に水、イオン、酸素の移動の障壁となる機能的なアポプラストバリアを誘導することが分かった。



O3

### 桑の根を利用するための苗の水耕栽培条件の検討

 関慎太郎<sup>1</sup>・神戸隆介<sup>2</sup>・木下明<sup>3</sup>・本間知夫<sup>1</sup>
<sup>1</sup>前橋工科大院・<sup>2</sup>(株)神戸万吉商店・<sup>3</sup>ハイトカルチャ(株)

(連絡先:本間知夫 thomma@maebashi-it.ac.jp)

【目的】群馬県には放棄桑園が多く存在するが、その有効利用法として桑葉を加工した桑茶や桑葉粉末などがある。一方、桑の葉や根は古くから漢方・生薬としても利用されており、桑の根の需要はあるものの、掘り上げれば再び植え直さなければならない。そこで、桑の根を取ることを目的とした苗の水耕栽培を行うこととし、そのための栽培条件の検討を行った。【方法・結果】枝の挿し木から得られた苗を掘り上げ、循環式の水耕栽培セット（日本医科器械 WCU-1）に移植（水道水あるいは水耕液）したところ、約1ヶ月後には白色根が旺盛に伸長していた。その後根を全てあるいは一部を残して回収した後の発根状況を観察したところ、再び発根が確認された。しかし季節（夏、冬）により苗の成長は異なり、気温に大きく影響を受けているようであった。次に桑種子を発芽発根させたが、その大きさは極めて小さかったため、セラミック管（ハイトカルチャ製）に移植（スポンジで固定）し、その後の生育を観察、さらに水耕栽培セットに移植した。また、種子をウレタンシートに蒔き、発芽発根した苗をウレタンシートごと水耕液（元々決めていた濃度の半分）に浮かべ、その後の生育を観察しているところである。引き続き栽培条件を検討すると共に、回収した水耕根中の機能性成分の分析なども試みる予定である。

O4

### イネ第2および第6染色体上に同定した根長 QTL、*QUICK ROOTING 1&2*

 木富悠花<sup>1</sup>、中尾絵真理<sup>2</sup>、河合佐和子<sup>1</sup>、菅野徳子<sup>1</sup>、安藤露<sup>1</sup>、福岡修一<sup>1</sup>、入江憲治<sup>2</sup>、宇賀優作<sup>\*1</sup>
<sup>1</sup>農研機構・次世代作物開発研究センター、<sup>2</sup>東京農業大・国際農業開発学

(連絡先: yuga@affrc.go.jp)

これまでに当研究グループでは深根性遺伝子を導入したイネ系統を用い、根の伸長角度を大きくすること（深根化）が土壌中の養水分獲得に有利に働くことを示してきた。しかし、土壌中のより下層に分布する養水分を獲得するためには根伸長角度の改変だけではなく、根を長くすることも必要であると推測される。そこで、*indica* 水稻品種 IR64 と熱帯 *japonica* 陸稲品種 Kinandang Patong (KP) の交配により作製した染色体断片置換系統群 (IK-CSSL) 26 系統を用いて根の伸長を促進する QTL 領域を同定し、さらに関連する QTL のファインマッピングを試みた。

2回の反復試験で IR64 と比較して有意に根長が長かったのは、第2, 5, 6, 7, 8 染色体の一部が KP に置換された SL1006, 1011, 1015, 1016, 1019 の5系統であった。これら5系統に関して BC<sub>4</sub>F<sub>2</sub>集団を用いたラフマッピングを行なったところ、第2, 6, 8 染色体上に統計的に有意な QTL が検出された。これら3つの QTL 領域に関して BC<sub>4</sub>F<sub>4</sub>集団を用いたファインマッピングを行なった。その結果、根長 QTL は第2および第6染色体上に単一遺伝子座としてマッピングすることができた。そこで、これら2つの QTL をそれぞれ *QRO1* (*QUICK ROOTING 1*) および *QRO2* と名づけた。現在、*QRO1* は第2染色体長腕部 1.7 Mbp、*QRO2* は第6染色体長腕部 880 kbp の範囲までに候補領域が絞り込まれている。

O5

## テオシント根始原域における木部細胞の形成

斉藤進<sup>1</sup>、高橋三男<sup>2</sup>、仁木輝緒<sup>1\*</sup><sup>1</sup> 拓殖大・工、<sup>2</sup> 東京高専・物質工

(tniki@la.takushoku-u.ac.jp)

形態的に始原細胞から木部細胞への分化の過程は、未解明なところである。我々は根始原域部位の薄片および切片の酵素処理、等の工夫によって、始原域での木部細胞へ分化の過程を調べたので報告する。

テオシント (*Zea mays ssp. mexicana*) 発芽種子根を用い、4%パラホルムアルデヒド水溶液で固定し、テクノビット 7100 樹脂に包埋した。1.5 $\mu$ m 厚の連続切片作成し、切片を RNase 処理し 0.1% トルイジンブルー水溶液で染色を行った。

横断切片像での像の解析 (垂層細胞列) は、連続切片での核の出現・消長、細胞壁表面像、隣接細胞との配置により明らかにできた。観察で、テオシント根は中心柱に通常 4 個の木部細胞を有していた。これらの木部細胞は、根の上部 (基部) から辿ることにより、始原域での起始細胞を求めることができた。観察で、木部細胞は始原域の (中心柱先端から) 約 30~40 $\mu$ m の領域で異なる位置の 4 個の細胞から産み出されていた。

以上の観察は、木部細胞を生み出す始原 (幹) 細胞であることを示唆している。これら始原細胞のさらなる解析を今後の課題としている。

O6

## タイ熱帯季節林帯における荒廃草地造林地の細根特性

酒井正治<sup>1\*</sup>・Thiti Vasaratana<sup>2</sup>・Ratana Thaigam<sup>2</sup><sup>1</sup> 森林総合研究所、<sup>2</sup> タイ王室森林局

(\*kmsakai@affrc.go.jp)

タイ国の熱帯季節林帯において、荒廃草地から人工林への土地利用変化に伴う地上部・地下部の炭素蓄積量、土壌水分、森林気象の変動をモニタリングしている。ここでは、植栽 12 年後及び 24 年後の 2 回、再造林地、天然林および草地の細根掘取り調査を行った結果を報告する。タイ国東北部ナコンラチャシマ県サケラート調査地は、年平均気温および年降水量はそれぞれ 23.9 $^{\circ}$ C、1100mm、4 月~11 月は雨季、12 月~翌年 3 月は乾季である。1986 年に荒廃草地に植栽した早生樹 3 種 (アカシア 2 種、ユーカリ 1 種)、郷土樹種 1 種 (シタン)、隣接する天然林 (乾燥常緑林) および草地を調査地とした。各林分は隣接しており土壌・地形条件が等しいと考えられる。土壌深さ 100 cm までの 12 層位 (0-5, -10, -15, -20, -30, -40, -50, -60, -70, -80, -90, -100 cm) ごとに土壌ブロックを採取し、水洗にて根を回収した。乾燥後、根の直径サイズ ( $\phi$ 2mm 以下 (細根)、2~5mm (中根)、5mm 以上 (太根)) ごとに根量をもとめた。なお、各林分で 3 土壌断面調査を行った。主な結果は以下の通りである。1. 林齢間: 1) 24 年生人工林の細根量は 12 年生に比べ多い傾向にあったが、統計的な差は認められない。2) 中根では 24 年生アカシア林で多い。3) 太根ではすべての 24 年生人工林で多い。2. 林分間: 1) 草地の細根量が多い。2) 細根量は人工林間の違いはない。3) 太根では天然林、草地で多い。3. 各層位の土壌炭素および窒素濃度は細根量と密接に関係している。また、細根の化学性についても若干報告する。

O7

## 多収良食味トマト新品種‘鈴玉’の出液速度および果実 Ca 濃度の特徴

中野明正<sup>1\*</sup>・趙鉄軍<sup>1</sup>・鈴木克己<sup>2</sup>・岩崎泰永<sup>1</sup><sup>1</sup>国立研究開発法人 農研機構 野菜花き研究部門, <sup>2</sup>静岡大学 農学部

(\*anakano@affrc.go.jp)

日本品種とオランダ品種を親とし、養液栽培において多収量・良食味を示すトマト品種‘鈴玉（りんぎょく）’が育成された。この新品種の地上部および地下部の水分に関連する特徴を標準的な品種である‘桃太郎ヨーク’と比較することにより評価した。地上部については切断葉の含水率の低下を評価した。単位葉面積当たりの蒸散速度は、‘桃太郎ヨーク’が  $3.8 \pm 0.5 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  に対して‘鈴玉’では  $2.41 \pm 0.55 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  であり、植物体の水分は‘鈴玉’では保持されやすいと考えられた。また、地下部の活性の指標としての出液速度は‘桃太郎ヨーク’では  $12.5 \pm 3.1 \text{ mL h}^{-1}$ 、‘鈴玉’では  $24.8 \pm 5.8 \text{ mL h}^{-1}$  であり‘鈴玉’で高くなった。また、果実への水分の移動速度は‘鈴玉’で速く、果実の Ca 濃度は‘鈴玉’で高くなった。以上を総合的に考えると、まず、植物体の水分状態の恒常性維持能力が‘鈴玉’で高く、このことが光合成の維持を介して安定的な生産に寄与している可能性が示唆された。そして、鈴玉において根の活性が高いこと、導管経由の物質の移動能力が高いことが、果実の Ca 濃度を高め、良好な果実肥大に寄与していると考えられた。従来の多収の管理の指標としての果実の Ca 濃度維持は、新品種‘鈴玉’についても当てはまった。

P1

## 次数別比根長 SRL と土壌特性から見るヒノキ細根機能の分類点の検討

土居龍成<sup>1\*</sup>・谷川東子<sup>2</sup>・和田竜征<sup>1</sup>・平野恭弘<sup>1</sup><sup>1</sup>名古屋大学大学院環境学研究科 <sup>2</sup>森林総合研究所関西支所 (\*doi.ryuusei@e.mbox.nagoya-u.ac.jp)

樹木の細根（直径 2 mm 以下の根）は生産枯死を 1 年程度で繰り返し、森林生態系における NPP（純一次生産量）への寄与率が約 33%と推定される主要な土壌炭素供給源である。近年、細根を吸収根と輸送根の 2 つの機能に分類する方法が提唱され、それらのターンオーバーの違いから細根の NPP 寄与率は約 22%と、これまでの寄与率が過大評価であることが示唆された。しかし吸収根と輸送根を厳密に区分するためには、細胞学的な観察が必要であり、細根量など生態的指標の測定に実用的とはいえない。そのため、樹木細根を吸収根と輸送根に分ける簡易的な手法の開発が必要である。

演者らは、ヒノキ 3 林分で採取され細根を次数分類し、形態指標である比根長 Specific Root Length (SRL, 根長(m)/乾燥重量(g)) が、根端付近である 1~3 次根では土壌アンモニア態窒素濃度と、4~6 次根では土壌全炭素濃度と有意な正の相関関係を持つことを明らかにし、ヒノキでは 3 次根と 4 次根の境が機能の分類点である可能性を示唆した。本研究では他のヒノキ林でも同様に、3 次根と 4 次根の境が機能の分類点となりうるかについて土壌炭素・窒素特性の観点から検討することを目的とした。対象としたヒノキ林で完全な 4 次根を含む細根系を採取し、次数別の比根長 SRL と土壌炭素・窒素・無機態窒素濃度との関係性を調べた。その結果、3, 4 次根間を境に SRL との有意な相関が土壌アンモニア態窒素で弱く、土壌炭素では強くなる傾向にあった。本研究結果から、3, 4 次根間の機能の違いと分類点の可能性について考察する。

P2

### 土壌炭素・窒素濃度と細根次数形態との関連性 - 関西中部地方におけるスギ林の事例 -

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

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

森林地下部生態系の炭素循環を精度高く評価するため、近年、樹木細根を吸収根と輸送根の二つの機能別に分類することが推奨されている。根端を1次根として分岐位置を考慮した次数分類も、吸収と輸送の機能をよく反映する分類方法として用いられ、例えば根端に近い1次根や2次根など低次根の形態特性は土壌窒素特性との関連性が高いことが報告されている。一方で次数分類には解析に労力がかかることから、国内主要造林樹種であるスギについても次数別形態の知見は非常に限られている。本研究ではスギ細根次数形態と土壌炭素・窒素濃度との関連性を明らかにすることを目的とした。

関西中部地方のスギ4林分で採取した細根を分岐位置で切断し、次数別に根直径や根長を測定した。また、形態指標である Specific Root Length(SRL:根長/根乾重)を算出した。表層土壌は各調査地4か所で採取し、土壌炭素、窒素濃度を測定し、SRLなどの次数根形態との相関関係を調べた。その結果、2次根と3次根のSRLには土壌炭素・窒素濃度と有意な負の相関関係が認められた。一方、1次根と4次根のSRLにそれらの相関は認められなかった。また、4次根の平均根長には土壌炭素・窒素濃度と有意な正の相関が認められたものの、1次根から3次根ではその関係性が認められなかった。本発表では、これらの結果より、土壌炭素・窒素濃度変化に伴うスギ次数根形態の種内変動の観点から考察を行う。

P3

### スギ林における地中レーダ探査画像の再現性についての検討

平野恭弘<sup>1\*</sup>・山瀬敬太郎<sup>2</sup>・谷川東子<sup>3</sup>・藤堂千景<sup>2</sup>・檀浦正子<sup>4</sup>・大橋瑞江<sup>5</sup>・池野英利<sup>5</sup><sup>1</sup>名古屋大環境 <sup>2</sup>兵庫県農林技セ <sup>3</sup>森林総研関西 <sup>4</sup>京大地球環境学堂 <sup>5</sup>兵庫県立大環境人間

(\*E-mail: yhirano@nagoya-u.jp)

樹木の根系を非破壊に検出する方法の一つとして地中レーダ法が提案されている。国内では砂質土壌に生育する海岸クロマツ林の根系検出にレーダ法が有効であることが示されてきたが、森林内への応用例は未だ少なく、根系検出の有効性の検討が必要である。また地中レーダを用いた根系検出には様々な制限要因がある。例えば土壌水分条件に根系検出の精度は強く影響されるが、このことはレーダ探査を行う時期により同じ場所でもレーダから得られる探査画像が異なる可能性を示唆するものである。すなわち、森林内の同じ場所での地中レーダ探査画像の再現性を明らかにする必要がある。

本研究では、スギ林において探査時期の違いによる地中レーダ探査画像の再現性を評価することを目的とした。調査地として神戸市再度公園のスギ林3プロットを対象とした。それぞれのプロットに、スギ2個体の幹中心を結ぶ直線と平行に3測線を設置し、対照検出物として深さ30cmに、測線と直交する向きに長さ1mの単管パイプを埋設した。2016年10月と2017年1月に周波数900MHzと1500MHzの地中レーダを用いて、単管パイプと根系の検出を目的とした探査を行った。

時期の異なる2度の探査により単管パイプや根系を検出したレーダ画像は、3プロットいずれにおいても、周波数に関わらずほぼ類似していた。今回の結果からは探査時期の違いによるレーダ画像の再現性は確保できることが示唆された。



P4

## フィンランド亜寒帯林における細根特性の樹種特異性

牧田 直樹<sup>1\*</sup>・Heljä-Sisko Helmisaari<sup>2</sup><sup>1</sup>信州大学理学部 物質循環学科・<sup>2</sup>University of Helsinki Dept. of Forest Sciences

(\*macky@shinshu-u.ac.jp)

Tree species have an impact on growth and survival of woody roots, but the effects of different tree species on specific traits of fine roots are still unclear. Here we elucidated the magnitude of root respiration, nitrogen and morphological traits of fine roots in response to different tree species and the relationships between specific respiration rates and morphological traits of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.), Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), and Silver birch (*Betula pendula* Roth.), which are dominant tree species in a boreal Finnish forest. Mass-based specific root respiration rates, the N concentration, and morphology differed among three species. In all species, the respiration rates were significantly positively correlated with root N and SRL, and negatively correlated with RTD. The regression slopes of respiration with root N and RTD were significantly higher in birch than in spruce and pine. These results suggest that a contrasting pattern in interspecific relationships of root respiration with N and RTD, and these carbon-based root traits explained species differences. Therefore, boreal tree species affected the trait-based root performance by covarying the root respiration, root N and morphology for their potential nutrient and water uptake.

P5

## 温帯林 1 2 樹種における細根の可視-近赤外反射率 ～樹種間差はみられるのか?～

谷川夏子<sup>1\*</sup>・中路達郎<sup>2</sup>・牧田直樹<sup>1</sup><sup>1</sup>信州大学理学部・<sup>2</sup>北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

(連絡先\*: 14s6015j@shinshu-u.ac.jp)

多くの研究者は、植物根系の種を識別するために、色・直径・分岐パターンなどの視覚的・経験的情報に頼っている。一方でこの方法は時間を要し、主観に強く依存するため、種を見誤る可能性を持つ。近年、分光技術の発展により、近赤外波長の連続分光反射を解析することで、迅速かつ客観的に有機物の組成を識別することが可能になってきた。我々は、有機物組成を識別する分光技術が、樹木細根の種同定に適用できるのかを調査した。本研究は、根系の連続分光反射率が、樹種間及び、種子タイプ(被子・裸子)間特有の特徴を持つのかを明らかにすることを目的とした。調査は、長野県の信州大学手良沢山演習林で行われた。針葉樹 5 種と広葉樹 7 種の計 12 樹種の 4 次根までの細根系を対象とした。約 430～980nm(可視:400-750nm、近赤外:>750nm)の波長領域に感度を持つ連続分光カメラで各種の根系を撮影し、波長帯ごとの反射率を解析した。結果、可視 3 バンド(青、緑、赤)に近赤外分光領域の 1 バンドを加えた計 4 バンド(480、550、650、886nm)における根系の分光反射率を種間で比較すると、4 バンド全てで有意な樹種間差異が認められた。全波長帯(430～980nm)で連続分光反射率を比較すると、特にホオノキは高く、クルミは低い傾向が観察された。本発表ではさらに樹種及び種子タイプ特有の反射特性を明確にするために、連続分光反射率の類似度・相似度を精査し、種識別の考察を深める予定である。

P6

## 根の呼吸を抑えた急速な表面積拡大 ―ブナ実生個体の葉と根の呼吸比較―

黒澤陽子\*・王莫非・吉村謙一・森茂太 (山形大学)

(連絡先: yoko5056@icloud.com)

陸上植物は葉・根の呼吸(エネルギー利用)を通じて炭素・水資源を獲得し、個体ごとに環境適応している。一般に、実生の定着段階は乾燥・熱が致命的なストレスとなりやすい。本研究では、ブナ当年生から1年生まで2年間にわたる実生の環境適応メカニズムを、葉・根の重量・表面積・呼吸の個体サイズに応じたスケーリングの視点から検討した。

用いた実生の個体重量 276~23500 (mg f.wt) の幅において葉面積は 22.8~185 (cm<sup>2</sup>) (約 8 倍)、根表面積は 1.03~737 (cm<sup>2</sup>) (約 715 倍) まで増加した。葉表面積当たりの呼吸は 2 年間を通じて約 0.32 (μmol sec<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>) とほぼ一定を保ったが、根表面積当たりの呼吸は 2.27 から 0.0517 (μmol sec<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>) まで約 1/44 まで一定傾向で減少した。以上のように、成長初期の 2 年間で葉の表面積は大きく増加せず、表面積当たりの呼吸を高く維持した。これとは逆に、根の表面積は急激に拡大したが、表面積当たりの呼吸は大きく抑制された。

低いエネルギー利用での急速な吸水面積の拡大は、熱容量の小さな実生が効率的に生存することで生じた現象として成長初期の陸上植物に共通する可能性がある。さらに今後、陸上植物の実生から成木までの環境適応能を、ブナを含めた多種の幅広い個体スケーリングから地上部と根系の相互作用系として検討を進めたい。

P7

## 草本、木本に共通した個体根と地上部呼吸の傾向

森茂太\*・黒澤陽子・王莫非・吉村謙一 (山形大学)

(連絡先: morishigeta@tds1.tr.yamagata-u.ac.jp)

これまで、呼吸は単なる消費とされることが多かった。しかし、呼吸は生命を支えるエネルギーの生産過程である。植物はエネルギーを地上部と根系に分配して、両者の機能を保ち高い陸上適応能を持った。さらに、陸上植物の地上は炭素を獲得して根系に供給し、根系は水を獲得して地上に供給し、両者は炭素と水の資源を巡る相互作用系である。陸上植物は、この相互作用系の上にある個体エネルギー分配システムとして陸域適応しているだろう。こうした陸上植物の創成メカニズムを検討するため、芽生え~大木の個体呼吸から生じるエネルギーフローのメカニズムをめぐる議論が続いている。

根を含む樹木個体呼吸測定は困難なため、大木の呼吸は推定しかなかった。そこで我々は、根を含む芽生え~大木の個体全体の呼吸の正確な測定法を開発した。多数測定の結果、系統や環境が個体呼吸へ及ぼす影響は予想外に小さかった。さらに、植物共通の『大個体ほど地上部/根系比が高く、小個体ほど低い』という主に個体サイズで決まる一定傾向が現われた。この傾向を、種内の小スケールで見ると環境や系統の制御で個体呼吸は『変位』する。しかし、驚いたことにワイドスケールで見た場合、全陸上植物に共通していた。これは、上記の系統や環境による『変位』がワイドスケールの傾向に吸収されたためである。すなわち、『地上部と根系呼吸のサイズによる制御』は『系統や環境による生物学的制御』とは独立に働くなんらかの未知のメカニズムの存在を示唆している。これを広い視点で理解する必要があるだろう。

P8

## 西表島・マングローブ植物の生体電位の長期連続計測について

本間知夫<sup>1</sup>・井村信弥<sup>2</sup>・石垣圭一<sup>2</sup>・馬場繁幸<sup>2</sup>・渡辺 信<sup>2</sup><sup>1</sup>前橋工科大学・<sup>2</sup>琉球大学熱帯生物圏研究センター

(連絡先:本間知夫 thomma@maebashi-it.ac.jp)

演者は、生体電位計測により樹木根系機能を非破壊的に評価し、栽培管理や個体維持等に利用することを目指し、様々な樹木を対象として実際に野外での計測を行っている。西表島・浦内川流域に生息するマングローブ植物 3 種（メヒルギ、オヒルギ、ヤエヤマヒルギ）の生体電位計測を、2012 年より琉球大学熱帯生物圏研究センター西表研究施設の協力の下に行っている。計測にあたり、土壌側の電極が潮の干満で水没することを避けるため、塩ビのチューブ内で電極が浮き沈み出来るようにしたがいざと問題も発生した。その後試行錯誤を重ね、排水ホース内に電極およびコードを入れ、防水処置を施したところ、現在ではようやく問題なく電位を安定して測定出来るようになった。アンプ駆動のための乾電池は 2 週間に 1 回交換し、4~6 ヶ月に 1 回は現地に赴いてデータ回収およびセットのチェック等を行っている。得られた生体電位については、いずれの樹種でも電位値の日周変動が見られ、さらによく見ると潮汐の影響を受けている電位値の変化も見られた。その変化が根系機能由来なのか、ノイズ的なものなのか、幼苗によるモデル実験を行う予定である。【謝辞】本研究は、琉球大学熱帯生物圏研究センター・共同利用研究の支援を受けて実施されたものである。

P9

## ブルーベリー挿し木苗の異形根性—骨格細根の発達に根系拡大に関与する

馬場隆士<sup>1\*</sup>・半智史<sup>1</sup>・伴琢也<sup>2</sup><sup>1</sup>東京農工大学大学院連合農学研究科、<sup>2</sup>東京農工大学農学部

(\*s156548z@st.go.tuat.ac.jp)

栽培学的要因や根系発達と異形根性との関係を知るために、ラビットアイブルーベリーの緑枝挿しにおいて、異なる 3 要因(品種: 'T i f b l u e' と 'W o o d a r d', 穂木採取位置: 同一枝上の先端部と基部, オーキシシン処理: I A A 処理と処理なし)からなる 8 試験区を設定し、当年生苗の細根系構造と個根性質を比較した。個根性質の指標となる原生木部数をみると 1-7 原型が確認できた。不定根から分枝が進むほど原生木部が減少するパターンは全試験区で共通していた。また、不定根以外の側根では原生木部数の出現頻度に試験区間差はなく、細根系構造は分枝によって強く規定されたと考えられた。

1-2 原型の根はサイズが非常に小さく、ほとんど二次成長しなかったため吸収細根に、3 原型以上の根は吸収細根よりもサイズが大きく、二次成長が認められることから骨格細根に分類した。骨格細根の長さや分枝数を試験区間で比較すると、'W o o d a r d' より 'T i f b l u e' で、かつ基部よりも先端の穂木で大きかった。一方吸収細根の長さや分枝数には、同様の品種間差はあるものの、穂木採取位置の影響が認められなかった。苗の総根長をみると、品種や穂木採取位置が影響し、他の試験区よりも 'T i f b l u e' の先端部の穂木で最も長かった。以上の結果は、特に 'T i f b l u e' の先端部の穂木において、骨格細根が十分に伸長、分枝した結果、吸収細根の発生場所が増え、総根長の増大を促進したことを意味する。

P10

### 無マルチ早植え栽培サツマイモの生育前半期における根重と塊根収量

藏之内利和<sup>1\*</sup>・西中未央<sup>2</sup>・高田明子<sup>1</sup>・片山健二<sup>2</sup>

1 農研機構本部 ・ 2 農研機構次世代作物開発研究センター

(連絡先: kurasan@affrc.go.jp)

サツマイモ栽培地の北進に対応し、低地温条件下での生育が早い系統を育成するため、無マルチ早植え栽培での収量性等の評価と選抜を進めている。その中で、4月下旬の植付け後、6月下旬の生育前半期における根重と、8月下旬の収穫時における塊根収量との関係を2010年から2016年の結果について解析した。また、5月中旬植え、9月下旬収穫の標準植え栽培の結果とも比較した。生育前半期における根重と収穫時の塊根収量との間には、年次や栽培時期により、有意な正の相関を示す場合が一部で見られたが、多くの場合で明らかな相関関係が見られなかった。このばらつきの原因については、さらに詳細な検討を行う予定である。一方、個々の品種・系統に着目すると、それぞれ特徴が見られた。例えば、「からゆたか」や幾つかの低温耐性選抜系統のように、無マルチ早植え栽培では生育前半期の根重は中庸～軽だが、その後の肥大が急速であり、ごく多収を示すタイプが存在した。また、「ひめあやか」のように生育前半期の根重は中庸であるが、収穫時は低収にとどまるタイプがあった。さらに、低温耐性選抜系統「12LTS-21」のように、明らかな早期肥大性と考えられるタイプも認められた。低地温となる地域でも多収を示す系統を育成するためには、早期肥大性とともに関半の収量性の伸びが重要であり、今後はその点も重視し育成する予定である。本研究の一部は農食事業(27033C)により実施された。

P11

### 水田転換畑での耕起法による土壌物理性および土壌化学性の違いがトウモロコシの根系に及ぼす影響

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

(連絡先: shinoto@affrc.go.jp)

水田転換畑においてプラウ耕で耕起した場合、ロータリ耕と比較して土壌環境が異なる。本研究では、水田転換畑での耕起法による土壌物理性および土壌化学性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2日にトウモロコシを栽植密度6.3本/m<sup>2</sup>(条間75cm)で播種した。施肥は、無施肥区および施肥区を設けた。根系は直径10cmの塩ビ管を用いて株を中心に深さ10cmから採取した。

地上部乾物重および根重に耕起法による差はみられなかったが、施肥区のプラウ区でやや増加する傾向が認められた。種子根長は、無施肥区のプラウ区で減少傾向を示し、節根長は施肥区のプラウ区で増加傾向を示した。分枝指数について、第2葉期の種子根では両施肥区ともにプラウ区で小さく、第3葉期～雄穂形成期の節根において無施肥区では同程度であったが、施肥区では増加傾向であった。以上のことから、土壌物理性の違いは種子根の生育に、土壌化学性の違いは節根の生育に影響を及ぼすことが明らかとなった。



P12

## 根箱・ピンボード法に用いる根系採取装置の開発と利用法

神山拓也<sup>1,2,\*</sup>・吉留克彦<sup>1</sup>・荒川祐介<sup>1</sup><sup>1</sup> 農研機構九州沖縄農業研究センター,<sup>2</sup> 農研機構中央農業研究センター

(Email: takoyama@affrc.go.jp)

根系構成要素の配置や構造を破壊せずに採取可能な根箱・ピンボード法において、誰でも容易かつ正確に再現性よく根系採取を行うための装置を開発した。根箱・ピンボード法には、側板が取り外し可能な根箱 (横 250 mm × 縦 400 mm × 幅 20 mm), 10 mm 間隔に格子状に約 1000 本の釘を刺したピンボード、これらの釘の数だけ孔を開けた二つ折りのポリエチレンシート (以下、シート) を必要とする。しかし、このシートの孔開けには、多大な労力を要する。また、根系採取の過程でピンボードを根箱へ正確かつ再現性よくセッティングするのは困難である。そこで、著者らは根箱・ピンボード法の標準化に向け、根系採取に必要な作業をガイド板を通じておこなえる作業台と、シート押し出し用メッシュ枠とメッシュ枠押し出し器具、などを作成した。作業台により、ピンボードへのシートの押し挿し、根箱へのピンボードの押し挿し、ピンボードからシートの取り外し、という一連の作業が一定の精度で迅速に行えるようになった。また、シート押し出し用メッシュ枠とメッシュ枠押し出し器具により、孔の開いていないシートでもピンボードへの押し挿しとそれからの取り外しが可能となり、孔開けが不要となった。これらの器具により、根系採取にかかる時間は削減され、正確かつ再現性よく、根箱に伸張した形のまま根系を採取することができた。

P13

## イネ根系 Hydraulic conductivity における解剖学的諸形質間の相対的貢献度の定量化の試み

株木拓也\*・渡邊友実加・仲田 (狩野) 麻奈・三屋史朗・山内章

名古屋大学大学院生命農学研究科

(\*連絡先 kabuki.takuya@e.mbox.nagoya-u.ac.jp)

イネ根系の水吸収機構を解明するための重要な視点として、根系が主軸根 (種子根、節根) と異形側根 (S 型側根、L 型側根) によって構成されること、それら個根は発生からの日数 (齢) によって異なる Hydraulic conductivity ( $L_p$ ) を示しうることがあげられる。先行研究により、S 型側根はリグニン蓄積、スベリンラメラ形成、通気組織形成、表皮から道管までの細胞層数において、主軸根よりも高い  $L_p$  を示すことが示唆されている。そこで本研究ではまず、植物体の発育に伴う主軸根系の  $L_p$  の変化に対する、S 型側根発育の貢献を調べることを試みた。さらに、主軸根系の  $L_p$  に対する解剖学的諸形質の相対的貢献度を定量的に評価しようとした。

人工気象器内でイネ品種日本晴を水耕栽培し、播種後 5, 7, 10, 15 および 20 日目の個体の主軸根系を用いた。水吸収の駆動力が主に静水圧差のときの  $L_p$  (Hydrostatic  $L_p$ ) と駆動力が浸透ポテンシャル差であるときの  $L_p$  (Osmotic  $L_p$ ) をそれぞれ調べた。Hydrostatic  $L_p$  をルートプレッシャーチャンバーによって測定した出液速度、根系表面積および使用した静水圧から算出した。Osmotic  $L_p$  は、出液速度、根系表面積および道管液と水耕液との間の浸透ポテンシャル差から算出した。その結果、Hydrostatic  $L_p$  は播種後 15 日目から 20 日目にかけて低下し、Osmotic  $L_p$  は播種後 5 日目から 10 日目にかけて増加し、15 日目から 20 日目にかけて低下する傾向を示した。これらの  $L_p$  に対し、根系表面積に占める S 型側根表面積の割合が正の相関を、主軸根表面積の割合が負の相関を示した。さらに、リグニン蓄積、スベリンラメラ形成および通気組織形成が根の種類と齢に対して特異的に決まると仮定し、根系表面積に占める各形質を有する根の表面積の割合を算出した。現在、各形質の相対的貢献度を定量化するために、主軸根系の各  $L_p$  を被説明変数に、各形質を有する根の表面積の割合を説明変数にし、重回帰分析を行っている。

P14

### 浸透圧ストレスがイネの根の通気組織形成、根系発育、水通導性および水ポテンシャル勾配に及ぼす影響

渡邊友実加<sup>1\*</sup>・株木拓也<sup>1</sup>・仲田(狩野)麻奈<sup>1,2</sup>・三屋史朗<sup>1</sup>・山内章<sup>1</sup><sup>1</sup>名古屋大学生命農学研究科、<sup>2</sup>名古屋大学高等研究院

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

根の皮層崩壊によって形成される通気組織は、浸透圧ストレス下においてイネでは、根系発育を促進させる一方で、イネの単位根表面積あたりの水通導性を低下させる(Yang ら 2012)と報告されていることから、通気組織は水吸収機構を理解する上で重要な形質である。そこで本研究では、根の通気組織が乾燥条件下での水吸収に影響を及ぼす機構を理解するために、水耕法により栽培したイネ品種「Kinandang Patong」の種子根系を用いて、浸透圧ストレス（擬似的な乾燥ストレス）に対する通気組織形成、根系発育、水通導性に関わる根系反応を評価した。対照区と浸透圧ストレス区を設け、サンプリング時に浸透圧差による水通導性(Lp)を測定し、通気組織率を面積法で計測した。種子根軸に沿った通気組織率は、種子根の基部から 6 cm～20 cm の中央部(全長約 26 cm～28 cm)において他の部位よりも高い値を示し、同部位の側根長および体積との間に有意な正の相関があった。また、対照区と比較して浸透圧ストレス区では通気組織率および Lp は有意ではなかったが、どちらも低下した。一方で、種子根系の表面積は浸透圧ストレス処理による影響を受けなかった。以上の結果より、浸透圧ストレス条件下で、イネでは、根表面積は影響を受けなかったが、通気組織形成が抑制され、それに伴って Lp も低下したので、吸水速度が減少したと考えられる。その時、種子根軸全体で見ると、通気組織の体積は側根体積の約 10 分の 1 でしかなかったもので、側根形成に要する材料を直接皮層崩壊によって供給しているというような両者間の定量的な関係は認められない一方、種子根軸中央部以外では、正の有意な相関関係があり、通気組織形成が側根発育を促進すると考えられる。

P15

### 根系発育を促すイネ *our1* 遺伝子の根における発現解析と有用性評価

長谷川友美<sup>1\*</sup>・柴田晃秀<sup>1</sup>・高橋(野坂)美鈴<sup>1</sup>・西内俊策<sup>1</sup>・鮫島啓彰<sup>2</sup>・菊田真由美<sup>2</sup>・横原大悟<sup>2</sup>・山内章<sup>1</sup>・犬飼義明<sup>2</sup><sup>1</sup>名古屋大学大学院生命農学研究科、<sup>2</sup>名古屋大学農学国際教育協力研究センター

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

根は耐旱性獲得に重要な形質であり、乾燥ストレス下での優れた根系発育は乾物生産に貢献する。本研究では、非ストレス環境において優れた根系発育を示すイネ *our1* (*outstanding rooting 1*) 変異体を用い、その原因遺伝子の実体を捉えるとともに、アフリカの乾燥ストレス下における本変異遺伝子の有用性を検証した。本変異体は野生型に比べ、分枝を伴った太く長い側根(L型側根)を著しく増加させる。そこで、本形質を制御する原因遺伝子を単離し、発現パターンを解析したところ、主根の先端部とL型側根の先端部で強く発現していることが明らかとなった。また、本変異遺伝子をアフリカでの有望品種 WAB56-104 に導入し、ケニアの節水栽培圃場にて栽培し、本変異遺伝子が地上部形質に与える影響を評価した。その結果、本変異遺伝子を持つ系統は持たない系統に比べ、草丈や分けつ数、穂数、SPAD 値に関して優れた形質を示し、乾物生産や子実容量の向上につながった。一方で、本変異遺伝子を持つ系統では登熟歩合の相対的な低下が見られ、収量増加には貢献しなかった。本結果から、本変異遺伝子を耐旱性育種に利用するには登熟歩合の向上が課題であり、そのためには本変異遺伝子により増加した子実容量を有効化できるさらなる要素の検討が必要だと考えられた。

P16

## シンクロトロン放射光を用いた X 線マイクロ CT によるシロイヌナズナ根系の可視化の試み

黒金智文<sup>1</sup>, 唐原一郎<sup>1\*</sup>, 松井 亮<sup>2</sup>, 玉置大介<sup>1</sup>, 矢野幸子<sup>3</sup>, 谷垣文章<sup>3</sup>, 嶋津 徹<sup>3,4</sup>,笠原春夫<sup>5</sup>, 山内大輔<sup>6</sup>, 上杉健太郎<sup>7</sup>, 星野真人<sup>7</sup>, 峰雪芳宣<sup>6</sup>, 神阪盛一郎<sup>1</sup><sup>1</sup>富山大・院・理工, <sup>2</sup>富山大・理, <sup>3</sup>宇宙航空研究開発機構, <sup>4</sup>日本宇宙フォーラム,<sup>5</sup>有人宇宙システム, <sup>6</sup>兵庫県大・院・生命理学, <sup>7</sup>高輝度光科学研究センター

(karahara@sci.u-toyama.ac.jp)

根の可塑性と呼ばれる、植物を取り囲む環境の変化に対して根系の形態が大きく変化する仕組みを明らかにするためには、根系全体の形態を可視化することが必要である。リゾトロン等を用いた二次元的な根系の解析が広く行われてきた一方で、まだ方法論確立の域を出ないものの X 線コンピュータトモグラフィ (CT) 等による三次元的な可視化も試みられている。筆者らは微小重力環境が根系形成に与える影響を明らかにするため、国際宇宙ステーションにおいて生活環を全うしたシロイヌナズナ植物体の、ロックウール中で発達した根系の可視化を目指している。シロイヌナズナの根は一般的な作物と比べて極めて細く、同じく繊維構造をとるロックウールと識別するためには、従来法よりも高い解像度での可視化が必要と推測された。そこで、本研究では、シンクロトロン放射光を用いた屈折コントラスト法での X 線マイクロ CT により、ロックウール中で生長させたシロイヌナズナの根系全体の可視化を試みた。

シロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., Ler 株) の種子をロックウール培地の表面に播種し、46 日間栽培した後、地上部とともに根系をロックウール培地ごと乾燥させた。大型放射光施設 SPring-8 の BL20B2 ビームラインにおいて、25 keV の X 線を用いて実効ピクセルサイズ 25.5  $\mu\text{m}$  の投影像を取得し、convolution back projection アルゴリズムによりトモグラムを再構成した。ソフトウェアパッケージ IMOD を使用し、トモグラムと、それをもとに isosurface コマンドを用いて様々な閾値で描いた等値面のサーフェイスモデルを併用しながら、根系をトレースした。その結果、ある程度根系の像が確認され、主根の基部側から根系をトレースできることがわかってきた。現在、根系の 3D モデル作成を進めており、その経過を報告する。

本研究は JASRI 利用課題 2014A1265, 2014B1225, 2015B1556, 2016A1390 で行った。

P17

## シロイヌナズナ芽生えの側根形成と生長に対するコハク酸処理の効果

玉置大介<sup>1\*</sup>・加藤智朗<sup>2</sup>・西内巧<sup>1</sup><sup>1</sup>金沢大・遺伝子, <sup>2</sup>(株) フローラ, \* (現所属) 富山大・院・理工

(連絡先 : tamaoki@sci.u-toyama.ac.jp)

コハク酸はクエン酸回路を構成する有機酸のひとつで、貝類の旨味成分としても知られている。コハク酸による植物の生長の促進効果については、以前にイネとコムギにおいて報告されているが、その作用の詳細なメカニズムについては知られていない。本研究では、シロイヌナズナ芽生えを用いて、コハク酸がどのように植物の生長を促進させるかを明らかにすることを目的に実験を行った。シロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. ecotype Col-0) の種子を滅菌後、コハク酸 (0, 0.1, 1, 10  $\mu\text{M}$ ) を含む MS 寒天培地に播種し、低温処理後 22°C 長日条件下において生育させた。その結果、1  $\mu\text{M}$  コハク酸処理により 7 日目間生育させた芽生えにおいて有意に側根数が増加した。また 1  $\mu\text{M}$  コハク酸処理により、側根の形成日数が早まることが明らかとなった。次に 1  $\mu\text{M}$  コハク酸処理が側根形成関連遺伝子及びオーキシン応答遺伝子の発現に与える影響について調べた。その結果、10 日目間生育させた芽生えにおいて、*LATERAL ORGAN BOUNDARIES-DOMAIN 16 (LBD16)*, *INDOLE-3-ACETIC ACID INDUCIBLE 1 (IAA1)* と *AUXIN-REGULATED GENE INVOLVED IN ORGAN SIZE (ARGOS)* の発現がコハク酸処理により有意に増加した。以上のことから、1  $\mu\text{M}$  コハク酸処理が根におけるオーキシン動態に影響を与え、それにより側根形成が促進されたことが示唆された。

## 2017 年度 根研究学会総会報告

富山大学五福キャンパスで開催された第 46 回根研究集会の一部として、6 月 17 日に定期総会を開催しました。藏之内利和会員に議長を務めて頂き、下記の通り、2016 年度の会務報告・決算報告・会計監査報告、2017 年度の事業計画・予算が承認されました。

### 1. 2016 年度 会務報告

#### 1) 会誌『根の研究』第 25 巻を発行した。

(松村 篤 編集委員長)

- 第 1 号 (2016 年 3 月発行) pp. 1 - 26 (26 頁)  
 第 2 号 (2016 年 6 月発行) pp. 27 - 44 (18 頁)  
 第 3 号 (2016 年 9 月発行) pp. 45 - 76 (32 頁)  
 第 4 号 (2016 年 12 月発行) pp. 77 - 112 (36 頁)

#### 2) 研究集会

以下 1 回の研究集会を開催した。なお、2016 年 5 月 28 日・29 日に予定していた第 44 回根研究集会は、東海大農学部 (阿蘇校舎) が熊本地震で被災したため中止とした。第 45 回根研究集会内では岡山大学資源植物科学研究所との共催で特別シンポジウム「根の構造と機能研究の最前線」を開催した。

・第 45 回根研究集会

9 月 30 日 (水) - 10 月 1 日 (木)

於：倉敷市芸文館、岡山大学資源植物科学研究所 (岡山県倉敷市)

実行委員長 且原真木会員

#### 3) 2016 年度根研究学会賞

選考の結果、以下の業績を表彰した。

【学術奨励賞】 1 件

受賞者：石川 (櫻井) 淳子、羽田野 麻理、林 秀洋

(農研機構東北農業研究センター)

業績：イネにおけるアクアポリンの機能と環境応答に関する研究

#### 4) 国際誌 *Plant Root* の刊行

(阿部淳 編集委員長)

<http://www.plantroot.org/>

第 10 巻として、4 編の論文 (全 30 頁) を掲載した。受理後早期の掲載、並びに編集委員の負担を軽減する目的で BIB 作成費を計上した。

#### 5) 会誌以外の出版物・根研グッズ

「根の研究の最前線 7」および同シリーズのう

ち、在庫があるバックナンバーについては、引き続き販売した。

#### 6) 会員勧誘と費用節減対策

電子版会誌導入および会費値上げを機に、個人会員約 50 名が退会し、会費収入は減少傾向にある。財政状況改善を目的として、印刷費・発送費削減を努力するとともに、根研究学会優秀発表賞の設立、若手会員海外渡航補助金の再開、根研ロゴ使用料の導入を検討した。

### 2. 2016 年度 決算報告

期間： 2016 年 1 月 1 日 - 12 月 31 日

#### 1) 2016 年度 一般会計

| 1. 収入                             |           |           |          | 単位 円 |
|-----------------------------------|-----------|-----------|----------|------|
| 事項                                | 予算        | 決算        | 予算との差額   |      |
| 前年度繰越金                            | 609,946   | 609,946   | 0        |      |
| 会費未納分 <sup>※1</sup>               | 103,000   | 93,000    | -10,000  |      |
| 2016 年会費 <sup>※1</sup>            | 505,000   | 428,000   | -77,000  |      |
| 2017 年以降の会費前納分 <sup>※1</sup>      | 630,000   | 579,000   | -51,000  |      |
| 寄付・雑収入 (広告料、許諾料、利子) <sup>※2</sup> | 50,000    | 17,772    | -32,228  |      |
| 会誌改善費 (特別会計から)                    | 0         | 0         | 0        |      |
| 合計                                | 1,897,946 | 1,727,718 | -170,228 |      |
| 1. 支出                             |           |           |          |      |
| 事項                                | 予算        | 決算        | 予算との差額   |      |
| 会誌・名簿の製版・印刷費 <sup>※3</sup>        | 530,000   | 501,120   | -28,880  |      |
| 会誌・名簿の送付費 <sup>※3</sup>           | 90,000    | 55,647    | -34,353  |      |
| Plant Root BIB 作成費                | 70,000    | 30,240    | -39,760  |      |
| 事務局委託費・謝金 <sup>※4</sup>           | 404,000   | 403,920   | -80      |      |
| 事務通信費                             | 15,000    | 13,910    | -1,090   |      |
| 事務用品費                             | 2,000     | 108       | -1,892   |      |
| 研究集会経費                            | 40,000    | 20,000    | -20,000  |      |
| 学会賞経費 <sup>※5</sup>               | 25,000    | 11,145    | -13,855  |      |
| サーバー使用料                           | 27,000    | 27,120    | 120      |      |
| 予備費 <sup>※6</sup>                 | 50,000    | 30,429    | -19,571  |      |
| 次年度への繰越金                          | 644,946   | 634,079   | -10,867  |      |
| 合計                                | 1,897,946 | 1,727,718 | -170,228 |      |

繰越金を除く 2016 年の実収入 1,117,772 円

繰越金を除く 2016 年の実支出 1,093,639 円

繰越金を除く 2016 年の実質収支 24,133 円

※ 1 2015 年度以前の年会費は個人会員 3,000 円、団体会員 8,000 円、2016 年度以降は電子版個人会員 3,000 円、冊子版 (+ 電子版) 個人会員 4,000 円、冊子版団体会員 9,000 円。前納は、12 月までに 2017 年度を納入した分など。



|                     |                                                       |
|---------------------|-------------------------------------------------------|
| ※1 2016年に納入された会費の内訳 | 合計 1,100,000                                          |
| 1) 未納分合計            | 93,000                                                |
| 2014年分              | 3,000 (3,000 × 1)                                     |
| 2015年分              | 90,000 (3,000 × 24) (8,000 × 2) (一部入金)                |
| 2) 当年度分 2016年       | 428,000 (3,000 × 81) (4,000 × 43) (9,000 × 1) (一部入金)  |
| 3) 前納分              | 579,000                                               |
| 2017年分              | 560,000 (3,000 × 117) (4,000 × 45) (9,000 × 2) (一部入金) |
| 2018年分              | 19,000 (3,000 × 3) (4,000 × 2) (一部入金)                 |

※2 雑収入の内訳は、著作権料 2,754 円、銀行利息 18 円、広告収入 15,000 円。

※3 印刷費の内訳は、1 号 124,200 円、2 号 115,128 円、3 号 133,056 円、4 号 128,736 円

発送費は、4 号 (353+外国 3) 26,611 円、1 号 (92+外国 1) 7,650 円、2 号 (102+外国 1) 9,386 円、3 号 (105+外国 1) 12,000 円 (送料は 2016 年度。ただし 4 号は次年度で支払い) で、封入代・ビニール封筒代などを含む。

※4 事務局業務委託費 ((株) 共立) 324,000 円 + ホームページリニューアル・管理費 79,920 円。

※5 学会賞経費は、賞状の作成費と根研究集会での懇親会 (祝賀会) 参加費分。

※6 予備費内訳は、会計監査の交通費 1,000 円、会費請求関連 (切手・添状印刷・ラベル等) 代 29,429 円。

## 2) 2016 年度 特別会計

| 1.収入            |         |         | 単位:円    |
|-----------------|---------|---------|---------|
| 事項              | 予算      | 決算      | 予算との差額  |
| 前年度繰越金          | 204,540 | 204,540 |         |
| 出版物販売※1         | 10,000  | 15,800  | 5,800   |
| グッズ販売           | 5,000   | 0       | -5,000  |
| 寄付・雑収入(銀行利息等)※2 | 20      | 200,013 | 199,993 |
|                 | 219,560 | 420,353 | 200,793 |

| 2.支出               |         |         |         |
|--------------------|---------|---------|---------|
| 事項                 | 予算      | 決算      | 予算との差額  |
| 出版物(印刷費・製作費)       | 0       | 0       | 0       |
| 「根の研究」デジタル化        | 0       | 0       | 0       |
| 送料・手数料など           | 10,000  | 1,835   | -8,165  |
| 国際誌刊行経費(サーバーレンタル料) | 25,000  | 22,032  | -2,968  |
| 研究会グッズ作製費          | 0       | 0       | 0       |
| 会長裁量経費※3           | 100,000 | 8,860   | -91,140 |
| 会誌改善費(一般会計への補助)    | 0       | 0       | 0       |
| 苅住基金運営維持費          | 0       | 0       | 0       |
| 次年度への繰越金           | 84,560  | 387,626 | 303,066 |
|                    | 219,560 | 420,353 | 200,793 |

|                  |           |
|------------------|-----------|
| 繰越金を除く2016年の実収入  | 215,813 円 |
| 繰越金を除く2016年の実支出  | 32,727 円  |
| 繰越金を除く2016年の実質収支 | 183,086 円 |

※1 最前線売上 15,800 円。

※2 預金利息 13 円、寄付 200,000 円。

※3 Plant Root 編集 (試作 1 編)・J-STAGE 登載料、7,560 円、研究集会中止用ハガキ代、1,300 円。

## 3) 2016 年度 苅住基金

| 1.収入    |       | 単位:円  |        |
|---------|-------|-------|--------|
| 事項      | 予算    | 決算    | 予算との差額 |
| 前年度繰越金  | 1,628 | 1,628 |        |
| 特別会計繰入金 | 0     | 0     | 0      |
| 雑収入     | 0     | 0     |        |
|         | 1,628 | 1,628 | 0      |

| 2.支出       |       |       |        |
|------------|-------|-------|--------|
| 事項         | 予算    | 決算    | 予算との差額 |
| 若手会員海外渡航支援 | 0     | 0     | 0      |
| 次年度への繰越金   | 1,628 | 1,628 | 0      |
|            | 1,628 | 1,628 | 0      |

## 3. 2016 年度会計の監査報告

2017 年 2 月 21 日に、事務業務委託先の共立において、根研究学会監査の二瓶直登会員に事務局業務担当者 (共立の塚田さん) が説明を行い、会計監査をして頂いた。以下がその監査報告の写しである。

### 会計監査報告書

根研究学会会則第 9 条に基づき、本日、根研究学会事務局 (株式会社共立内・東京

都中央区) において平成 28 年度 (2016 年 1 月 1 日～12 月 31 日) の会計監査を行っ

た結果、適正に執行されていることを確認しました。

2017 年 2 月 21 日

監査 氏名 二瓶直登 印

## 4. 2017 年度事業計画

### 1) 会誌『根の研究』第 26 巻発行

(編集委員長：松村 篤)

第 1 号 (2017 年 3 月発行) pp. 1-21 (21 頁)

第 2 号 (2017 年 6 月発行予定)

第 3 号 (2017 年 9 月発行予定)

第 4 号 (2017 年 12 月発行予定)

### 2) 研究集会等の開催

#### ・第 46 回根研究集会

6 月 17 日 (土)

於：富山大学 五福キャンパス

(富山県富山市)

実行委員長 唐原一郎会員

#### ・第 47 回根研究集会

10 月 28 日 (土)

於：大阪府立大学

(大阪府堺市)

実行委員長 松村篤会員

### 3) 2017 年度根研究学会賞の公募・選考・授与

6 月発行の会誌で告示し、7 月に公募。第 47 回根研究集会において授賞。

これまでの受賞者について、他団体の賞への推薦も検討する。

### 4) 一般会計・特別会計による学会活動と会員の研究活動の支援 (予算を参照)

・国際誌 *Plant Root* 第 11 巻発行 (編集委員長：阿部 淳)。投稿数・掲載数の増加に努める。

・会員によるグッズ作製を促進するため、根研ロゴ使用料を導入する。

・第 46 回根研究集会から根研究学会優秀発表賞を設立する。

### 5) 根研究学会「苺住」海外渡航支援

根研究学会所属の若手会員 (申請時の年齢が 40 歳以下) の国際的な活躍を支援するため、海外の学会等に参加して根に関する研究成果を公表したり調査に出向いたりするための渡航経費の一部を補助してきた。特別会計の予算状況が改善したが予算が少額のため、根に関する研究方法習得のためなどの国内旅費支援として今年度後期から再開する。

### 6) 会運営に関する問題

単年度収入の減少に対しては一層の節約に努めるとともに、運営の基盤となる会費を増やすため、根研究学会のチラシを用意し会員の増加をはかる (関連分野の学会・シンポジウム等で配布してもらう)。あわせて、助成金や広告料の取得に努める。印刷費に関しては、冊子版会員数に合わせて 120 部程度に削減する。

### 7) 出版

「根の研究の最前線 7」およびバックナンバーの販売促進に努める。

根の研究方法をまとめた「根ハンドブック」改訂版発行に向けて、調査法を中心としたワークショップを開催し、その要旨を中心にハンドブックを作成する。

その他、出版社等から、根の研究の発展や社会へのアピールに役立ちそうな出版の企画提案があれば協力する。

### 8) 他の学術関連団体などとの協力

#### ・日本学術会議等

協力学術研究団体として、委員候補の推薦やアンケートなどの依頼があれば協力する。

#### ・国際研究集会等

会誌への開催情報の掲載など、情報の伝達に協力する。

#### ・その他

学術活動に関するアンケートなど、根の研究や日本の学術発展に有意義と思われる要請については、大きな負担のない範囲で協力する。

他の学術団体からの共催、講師推薦等の要請に対しては、執行部・評議員で検討する。

### 9) その他

#### ・男女共同参画の推進

#### ・招聘支援制度の検討

#### ・将来のシンポジウムの企画

#### ・2018-2019 年度 根研究学会会長の選挙

会則第 8 条・10 条・11 条に基づき、来期の会長選挙を行う。立候補受付は 7 月 31 日までとし、10 月に投票を行う。

## 5. 2017 年度予算

期間： 1 月 1 日－12 月 31 日

### 1) 2017 年度 一般会計

2017 年 1 月現在の会員数は、304 名（海外 3 名含む）、団体 8 件。年会費は、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 円とする。

| 単位 円             |           |           |         |
|------------------|-----------|-----------|---------|
| 収入               | 予算        | 前年実績      | 前年との差額  |
| 前年度繰越金           | 634,079   | 609,946   | 24,133  |
| 会費未納分※1          | 78,000    | 93,000    | -15,000 |
| 2017 年会費※1       | 505,000   | 428,000   | 77,000  |
| 2018 年以降の会費前納分※1 | 579,000   | 579,000   | 0       |
| 寄付・雑収入※2         | 17,000    | 17,772    | -772    |
| 会誌改善費(特別会計から)    | 0         | 0         | 0       |
| 合計               | 1,813,079 | 1,727,718 | 85,361  |

| 単位 円                 |           |           |         |
|----------------------|-----------|-----------|---------|
| 支出                   | 予算        | 前年実績      | 前年との差額  |
| 会誌・名簿の製版・印刷費※3       | 560,000   | 501,120   | 58,880  |
| 会誌・名簿の送付費※3          | 60,000    | 55,647    | 4,353   |
| Plant Root BIB 作成費※4 | 70,000    | 30,240    | 39,760  |
| 事務局委託費・謝金※5          | 356,400   | 403,920   | -47,520 |
| 事務通信費                | 15,000    | 13,910    | 1,090   |
| 事務用品費                | 2,000     | 108       | 1,892   |
| 研究集会経費               | 40,000    | 20,000    | 20,000  |
| 学会賞経費※6              | 25,000    | 11,145    | 13,855  |
| サーバー使用料              | 27,000    | 27,120    | -120    |
| 予備費                  | 50,000    | 30,429    | 19,571  |
| 次年度への繰越金             | 607,679   | 634,079   | -26,400 |
| 合計                   | 1,813,079 | 1,727,718 | 85,361  |

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| 繰越金を除いた2017年の実収入  | 1,179,000 円 |
| 繰越金を除いた2017年の実支出  | 1,205,400 円 |
| 繰越金を除いた2017年の実質収支 | -26,400 円   |

- ※1 10 月に次年度分の会費納入のお願いをするので、多額の前納分が発生し、当該年になってからのその年分の会費納入額は会員数×年会費より少ない。前年までの未納会費の回収見込みは、未納者が例年より少ないため前年実績より減額してある。
- 財源の安定化のためには、30 名程度会員が増えることが望ましい。
- ※2 会誌広告・ホームページのバナー広告で収入を上げることが望ましい。
- ※3 会誌(全4号)の発行。名簿は本年度に発行。
- 会誌の印刷費も、研究集会要旨を半頁にする、会告の類を二段組みにするなどで頁数を削減している。
- ※4 7,000 円/編、10 編を予定している。
- ※5 事務局委託経費(年30 万円＋消費税8%)。
- ホームページ管理委託費は3 万円。
- ※6 3 名程度の授賞を想定。受賞者が増えた場合は予備費等で対応する。

## 2) 2017 年度 特別会計

| 単位:円          |         |         |          |
|---------------|---------|---------|----------|
| 収入            | 予算      | 前年実績    | 前年との差額   |
| 前年度繰越金        | 387,626 | 204,540 | 183,086  |
| 出版物販売※1       | 15,000  | 15,800  | -800     |
| 根研ロゴ使用料※2     | 6,000   | 0       | 6,000    |
| 寄付・雑収入(利息等)※3 | 20      | 200,013 | -199,993 |
| 合計            | 408,646 | 420,353 | -11,707  |

| 単位:円          |         |         |          |
|---------------|---------|---------|----------|
| 支出            | 予算      | 前年実績    | 前年との差額   |
| 出版物(印刷・製作費)   | 0       | 0       | 0        |
| 「根の研究」デジタル化※4 | 0       | 0       | 0        |
| 送料・手数料など      | 10,000  | 1,835   | 8,165    |
| 国際誌刊行経費       | 25,000  | 22,032  | 2,968    |
| 学会グッズ製作費      | 0       | 0       | 0        |
| 会長裁量経費        | 100,000 | 8,860   | 91,140   |
| 会誌改善費(一般会計へ)  | 0       | 0       | 0        |
| 苅住基金運営維持費     | 200,000 | 0       | 200,000  |
| 次年度への繰越金      | 73,646  | 387,626 | -313,980 |
| 合計            | 408,646 | 420,353 | -11,707  |

繰越金を除く2017年の実収入 21,020 円

繰越金を除く2017年の実支出 335,000 円

繰越金を除く2017年度の実質収支 -313,980 円

(会長裁量経費100,000円を使わずにすれば、赤字は縮小)

※1 「根の研究の最前線7」を中心に販売予定。

※2 根研ロゴ使用料(1製品につき300円)。

※3 銀行口座利息。

※4 論文以外のコンテンツも含めた画像PDF化委託費。

## 3) 2017 年度 苅住基金

特別会計の予算状況が改善したことから、特別会計から 20 万円を苅住基金に積み立て、今年度後期(2017 年 10 月－2017 年 12 月)から根に関する研究方法習得のためなどの国内旅費支援として再開する。

| 単位:円    |         |       |         |
|---------|---------|-------|---------|
| 収入      | 予算      | 前年実績  | 前年との差額  |
| 前年度繰越金  | 1,628   | 1,628 | 0       |
| 特別会計繰入金 | 200,000 | 0     | 200,000 |
| 雑収入     | 0       | 0     | 0       |
| 合計      | 201,628 | 1,628 | 200,000 |

| 単位:円     |         |       |         |
|----------|---------|-------|---------|
| 支出       | 予算      | 前年実績  | 前年との差額  |
| 若手会員旅費支援 | 30,000  | 0     | 30,000  |
| 次年度への繰越金 | 171,628 | 1,628 | 170,000 |
| 合計       | 201,628 | 1,628 | 200,000 |

半期ごとに 2 名(1.5 万円)を予定。

以上の 3 会計は、2018 年 2 月頃に会計監査を実施予定。

## 6. その他

・「今後に希望する共同研究」アンケートの結果について

・総会場で討議したい事項。

会場からのご提案はありませんでした。

以上

## 2018—2019 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（2018 年 1 月 1 日－2019 年 12 月 31 日）の根研究学会会長選挙の告示を行ない 2017 年 7 月 1 日－7 月 31 日に立候補を受け付けました．立候補が 1 名であったため，無投票で犬飼義明現会長の再選が決定しました．

### 会長選挙 立候補届

氏名：犬飼 義明（イヌカイ ヨシアキ） 生年：1971 年

連絡先（電子メール）：inukaiky@agr.nagoya-u.ac.jp

（住所）：〒464-8601 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

### <研究内容>

これまで，どのような遺伝子が働いてイネの根系が形成されるのかについて研究してきました．はじめた当初は全く分かっていなかったことが，少しずつ明らかになっていくことに喜びを感じています．今後はこの理解をより深いものにしつつ，得られた知見を生かし，根系形態の改良を通した新品種育成を目指して奮闘していく所存です．



2015年に開催された国際シンポジウムISRR9 “Roots Down Under”@オーストラリアにて

### <根研究学会の運営に対する抱負>

現在，私は会長を務めさせて頂いており，立候補は今回で二回目となります．今期は，これまでに役員の方々とは相談しつつ，特に横の繋がりを意識して会を運営するとともに，将来の根研究学会を牽引する新たな原動力となる若い方々の支援を目指し，「根研究学会優秀発表賞」の設立や「苅住・国内旅費支援」の再開，および「学生会員の研究集会参加費の無料化」を進めて来ました．会員数の漸減傾向や財政面での難しさなど，まだまだ幾つかの問題を抱えているのは確かですが，引き続き皆様とともに知恵を出しあいながら，“根の研究の面白さを実感できる学会”を目指したいと思います．また，再来年には根研究集会が 50 回目の節目を迎えます．これに関しましても，これまでの歴史と現状をふまえつつ，更なる発展を遂げられるよう第 50 回記念大会の企画・運営を進めていきたいと考えています．どうぞよろしくお願いいたします．



**第 47 回根研究集会のお知らせ**  
**47th Biannual Meeting of JSRR**

第 47 回根研究集会を 2017 年 10 月 28 日 (土) に大阪府立大学なかもずキャンパスを会場にして開催します。「根研究学会」の会員以外の方も発表・聴講可能です。今回は一般発表に加えて学会賞受賞講演と特別講演「植物におけるホウ素の獲得と移行－ホウ酸トランスポーターの局在と制御を中心に－(大阪府立大学の高野順平教授)」を予定しています。大阪での開催は 20 年ぶりとなるようです。皆さまお誘い合わせの上、ふるってご参加ください。

<日 時> 2017 年 10 月 28 日 (土) October 28th, 2017 (Sat)

<会 場> 大阪府立大学なかもずキャンパス, B11 棟大会議室 (1 階)  
〒599-8531, 堺市中区学園町 1 番 1 号  
交通アクセスと案内図 <http://www.osakafu-u.ac.jp/info/campus/access/>  
Osaka Prefecture University 1-1 Gakuen-cho, Nakaku, Sakai, Osaka 599-8531, Japan  
Access: <http://www.osakafu-u.ac.jp/info/campus/access/>

<プログラム概要 (予定) > Program (tentative)

10:00-10:30 受付 Registration, ポスター掲示  
10:30-10:35 開会の挨拶 Opening remarks  
10:35-12:00 口頭発表 Oral session  
12:00-13:00 昼休み Lunch break  
13:00-14:00 ポスター発表 Poster session  
14:10-14:50 特別講演 Special lecture  
15:00-15:30 学会賞授賞式 Award ceremony  
15:30-16:30 受賞講演 Award lecture  
16:30-17:45 口頭発表 Oral session  
18:00-20:00 懇親会 (JR 三国ヶ丘駅周辺 予定) Banquet

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

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

<参加費> Registration fee (Tentative, to be paid on site)  
会員 (Members) ¥2,000 非会員 (Non-members) ¥3,000 (予定・当日お支払い下さい)  
学生の会員は参加費無料ですが、集会受付で学生証の提示をお願いいたします。

<懇親会費> Banquet fee  
¥4,000 (予定 tentative), ¥2,000 (学生 Students, 予定 tentative) (当日は¥500 増)

<参加・研究発表の申し込み> Registration

参加・研究発表のお申し込みは下記の「第 47 回根研究集会 参加申込書」に必要事項を記入し、電子メール ([matsu@plant.osakafu-u.ac.jp](mailto:matsu@plant.osakafu-u.ac.jp)) または Fax (072-254-9521) にてお送り下さい。  
お申し込み後、3 日以内に確認の返信が届かない場合はお問い合わせください。

Please write in the registration form and send it to either [matsu@plant.osakafu-u.ac.jp](mailto:matsu@plant.osakafu-u.ac.jp) or Fax 072-254-9521.

**\* 発表申込の締め切り（仮タイトルの申請）：2017年10月4日（水）**

**Pre-registration for presentation: by October 4th (Wed), 2017.**

研究発表は口頭発表およびポスター発表形式です。いずれかをお選びください。

プログラム編成の都合により発表形式がご希望にそえない場合もあることをご了承ください。

本タイトルは講演要旨に書かれたものとします（10月13日（金）要旨提出締め切り）。

Choose oral or poster presentation. Local organizing committee may request the presenter for changing the type of presentation.

**\* 参加申込の締め切り（発表なしの人） Registration (without presentation)**

飛び入り参加も可能ですが、懇親会手配の都合があるので、できれば、10月18日（水）までに、上述の「参加申込書」をお送り下さい。

It is recommended to submit the registration form by October 18th (Wed), 2017.

**<発表形式> Type of presentation**

口頭発表（発表12分＋質疑3分、予定）またはポスター発表から選択

発表形式がご希望にそえない場合があることをご了承ください。

発表申込みの数によっては、口頭発表の質疑時間を調整します。

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

Time for discussion may be changed according to the presentation numbers.

**<講演要旨の提出> Abstract submission**

**\* 講演要旨提出の締め切り：2017年10月13日（金） Submit by October 13th (Fri), 2017**

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：[matsu@plant.osakafu-u.ac.jp](mailto:matsu@plant.osakafu-u.ac.jp)

Send the abstract as MS-Word file to [matsu@plant.osakafu-u.ac.jp](mailto:matsu@plant.osakafu-u.ac.jp).

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

学会誌 根の研究（Root Research）24巻4号（2015 December）を参照してください。根研究学会ホームページからも要旨様式をダウンロードできます（[http://www.jsrr.jp/abstract\\_form.doc](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). The printing area is around half of A4 size paper.

2. 冒頭に表題・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。講演番号（A1 など）は実行委員会の方で挿入するので原稿には不要。

Type the title, author(s), affiliation, email address and then abstract sentences.

3. 表題：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（電子メールアドレス）は括弧に入れる。

Use 10-point Times font (e.g., MS Times New Roman) 10point, 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.

### <交通> Transportation

JR；新幹線新大阪駅または大阪（梅田）駅より地下鉄御堂筋線中百舌鳥行きに乗車，終点中百舌鳥駅下車（所要時間新大阪より約40分，大阪（梅田）駅より35分）．

関西空港；関西空港駅から南海高野線「中百舌鳥駅」まで約1時間

大阪（伊丹）空港；大阪空港（大阪モノレール）から地下鉄御堂筋線「なかもず駅」まで約1時間半

南海高野線「白鷺駅」下車，南西へ約500m，徒歩約7分．

南海高野線「中百舌鳥駅」下車，南東へ約1,000m，徒歩約13分．

地下鉄御堂筋線「なかもず駅（5号出口）」から南東へ約1,000m，徒歩約13分．

南海高野線「中百舌鳥駅」・地下鉄御堂筋線「なかもず駅」から南海バス（北野田駅前行31，32，32-1系統）で約5分，「府立大学前」下車．

南海本線「堺駅」から南海バス（北野田駅前行31，32，32-1系統）で約24分「府立大学前」下車．

JR 阪和線・南海高野線「三国ヶ丘駅」から南海バス（北野田駅前行31，32，32-1系統）で約14分，「府立大学前」下車．

詳細はウェブサイトを参照下さい．

<http://www.osakafu-u.ac.jp/info/campus/access/>

Information is available in English at the webpage as follows.

<http://www.osakafu-u.ac.jp/english/info/campusguide/access/>

### <昼食> Lunch

学生会館食堂（生協のレストラン），コンビニがあります．

A restaurant and a convenience store are available nearby on campus.

### <宿泊> Accommodation

幹旋はしませんが南海高野線「堺東駅」周辺のホテルが便利かと思います．

各自でお申し込み下さい．

Please reserve hotel rooms by yourself.

### <参加・発表申込，講演要旨提出，問い合わせ先> Contact

第47回根研究集会実行委員会 Local organizing committee

松村篤・築瀬雅則（大阪府立大学生命環境科学研究科）

Atsushi MATSUMURA, Masanori YANASE (Graduate School of Life and Environmental Sciences, Osaka Prefecture University)

E-mail : [matsu@plant.osakafu-u.ac.jp](mailto:matsu@plant.osakafu-u.ac.jp) TEL : 072-254-9521（松村） Fax : 072-254-9521

---

## 第 47 回根研究集会 参加申込書

Registration form for 47th JSRR Bi-annual Meeting

締切 発表者：10 月 4 日，参加のみ：10 月 18 日

(発表の要旨は別途 10 月 13 日まで)

1. 氏名 Name

2. 連絡先 Address

住所・機関名：Affiliation

Tel：

Fax：

E-mail：

(E-mail アドレスは正確かつ読みやすくご記入下さい)

3. 発表の有無：

Presentation Yes or No：

4. 発表「有」の場合 in the case you will have presentation

表 題 title：

著者名 name(s)：

発表形式 style：口頭発表・ポスター発表（いずれかを選んで下さい）

Oral / Poster (select one)

根研究学会優秀発表賞へのエントリー

Entry for The JSRR Excellent Presentation Award： Yes or No

口頭発表を希望される場合

口頭発表の講演数には制限があるため，申込多数の場合はポスター発表への変更をお願いすることがありますが，変更は可能でしょうか： 可・不可（いずれかを選んで下さい）

5. 懇親会参加の有無：

Banquet Yes or No：

6. 会員の確認 (Membership)：

一般会員 (General members)，学生会員 (Student members)，非会員 (Non-members)

【申し込み先】 Send to

第 47 回根研究集会実行委員 松村篤（大阪府立大学生命環境科学研究科）

Atsushi MATSUMURA,

Graduate School of Life and Environmental Sciences, Osaka Prefecture University

e-mail: matsu@plant.osakafu-u.ac.jp

---

申し込み後，3 日以内に確認の連絡が届かない場合は，実行委員（松村）までお問い合わせ下さい。

If you have no response from the organizing committee in three days after your registration, please contact to matsu@plant.osakafu-u.ac.jp





# Root Research 根の研究

|        |          |                       |
|--------|----------|-----------------------|
| 編集委員長  | 松村 篤     | 大阪府立大学大学院生命環境科学研究科    |
| 副編集委員長 | 小川 敦史    | 秋田県立大学生物資源科学部         |
|        | 中野 明正    | 農研機構・野菜花き研究部門         |
| 編集委員   | 宇賀 優作    | 農研機構・次世代作物開発研究センター    |
|        | 大段 秀記    | 農研機構・九州沖縄農業研究センター     |
|        | 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       |
|        | 草場新之助    | 農研機構・果樹茶業研究部門         |
|        | 久保 堅司    | 農研機構・東北農業研究センター       |
|        | 塩野 克宏    | 福井県立大学生物資源学部          |
|        | 田島 亮介    | 東北大学大学院農学研究科          |
|        | 辻 博之     | 農研機構・北海道農業研究センター      |
|        | 仲田(狩野)麻奈 | 名古屋大学大学院生命農学研究科       |
|        | 福澤加里部    | 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター |
|        | 松波 麻耶    | 農研機構・東北農業研究センター       |
|        | 南 基泰     | 中部大学応用生物学部            |
|        | 山崎 篤     | 農研機構・東北農業研究センター       |
|        | 森 茂太     | 山形大学農学部               |

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 : neken2017@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26巻 第3号                                  | 2017年9月1日印刷 2017年9月8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**

## **Review**

Rice aquaporins and their responses to environmental stress

Junko ISHIKAWA-SAKURAI, Mari MURAI-HATANO, Hidehiro HAYASHI, Maya MATSUNAMI and

Tsuneo KUWAGATA ..... 39