

## ヨシはなぜ塩水でも育つのか

— 根の中でナトリウムを送り返す動きをポジトロンイメージングで観ることに世界初成功 —

### 【発表のポイント】

- イネ科のヨシが高い塩分濃度に耐えられる仕組みを探究
- 放射線を利用した画像化技術により、ヨシの根にナトリウムを排除する動きが常にあることを初めて発見
- 将来、塩分の高い条件でも栽培可能なイネの作出につながることを期待

ヨシは河口付近の淡水と海水が混じる場所(汽水域)でよく見かける植物です。同じイネ科でありながら、塩分に弱いイネとは対照的に、高い塩分濃度に耐えられるのはなぜなのか——その仕組みを明らかにする研究を、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(理事長 児玉敏雄、以下「原子力機構」)と東京農業大学(学長 高野克己)は共同で進めてきました。このたび、放射線を利用した画像化技術(植物ポジトロンイメージング技術<sup>(1)</sup>)を使い、塩分による害を引き起こすナトリウムがイネとヨシの内部を動く様子を画像化し、それぞれ複数個の画像データを統計的に解析した結果、ヨシは一旦根の中に吸収したナトリウムを、根の先端に向かって常に送り返して排除していることを世界で初めて明らかにしました。これは原子力機構 原子力科学研究部門 量子ビーム応用研究センター 植物 RI イメージング研究グループの藤巻秀リーダー、鈴木伸郎研究副主幹、ならびに東京農業大学 応用生物科学部 生物応用化学科の樋口恭子教授、丸山哲平氏(当時同大大学院生)らによる研究成果です。

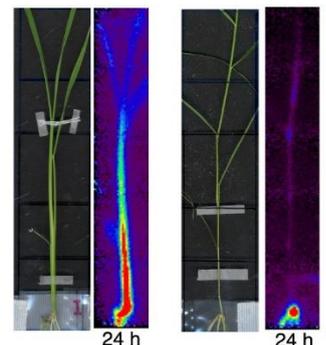
東京農業大学では、塩分濃度の高い土地や水でも農業を可能にするため、ヨシの生理機構の研究を進めてきました。一方、原子力機構は、放射性同位体<sup>(2)</sup>を利用して、生きた植物体が様々な元素を吸収したり蓄積したりする生理機能を画像により解析する「植物ポジトロンイメージング技術」の開発を行っています。今回、両者は共同で、塩分濃度を高めた水耕栽培液で生育させたイネとヨシの根や茎におけるナトリウムの動きを追跡しました。得られた画像を解析したところ、イネでは根から吸収したナトリウムが茎を通り葉まで送り続けられるのに対し、ヨシでは茎のつけねで留まり、そこから徐々に根の先端方向に向かって送り返されていることがわかりました。

本研究により、ヨシ特有のナトリウム排除機構の一端が明らかになりました。今後、これに関与する遺伝子を明らかにすることで、高い塩分濃度に耐えられるイネ品種を得る道が拓けます。将来的には、無尽蔵の海水でイネを育て食料を安定供給する夢にも繋がります。

本研究成果は、植物科学分野のトップジャーナルの一つである Plant and Cell Physiology 誌 (<http://pcp.oxfordjournals.org/>) 5月号の電子版に5月11日に掲載される予定です。

### ●この件に関するお問い合わせ●

学校法人東京農業大学戦略室 上田 園部  
〒156-8502 世田谷区桜丘 1-1-1  
Tel03-5477-2300 / Fax03-5477-2707  
[www.nodai.ac.jp](http://www.nodai.ac.jp)



イネ(左)とヨシ(右)のナトリウムの挙動。ヨシはナトリウムが茎や葉まで送られていない

## 補足説明資料

### 【研究の背景】

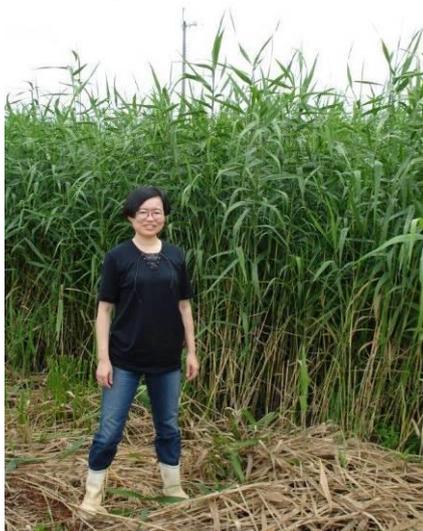


図1 野生のヨシ

多くの植物種にとって、ナトリウムは生存に必須な元素ではなく、むしろ有害な元素です。そのため、津波や台風によって海水を被った水田ではイネの生育が悪くなったり、乾燥地域によく見られる塩分濃度の高い土地では作物が育たなくなったりします。しかしナトリウムは環境中に豊富にあるために、植物は進化の過程でこれに対抗する様々な仕組みを発達させてきたと考えられます。例えば、イネを代表とするイネ科植物では、根の表面でナトリウムの侵入を阻止する、根の中心の導管<sup>(3)</sup>まで入ったナトリウムを根の外へ排出する、茎や葉にまで到達したナトリウムを根に送り返し根の外へ排出する、などの仕組みがあると推定されてきました。しかし、植物の体内を根から葉に向かう導管や、逆に葉から根

に向かう篩管<sup>(4)</sup>は非常に微細なため、その中を流れる液体を採取、分析することが困難であり、実際の植物体の内部でのナトリウムの動きばかりでなく、その動きが植物の塩分への耐性の高低と本当に関連しているのかなどは、これまで確かめられていませんでした。ヨシ(図1)はイネ科の野生植物で、乾燥地から汽水域の湿地まで世界中に広く自生し、非常に塩分濃度の高い土壌でも生育できることが知られています。これまでに東京農業大学の樋口教授らは、ヨシの根から採取した導管液に比べ、地上部から採取した導管液に含まれるナトリウム濃度が極めて低いことを見出していました。しかし、根の導管と地上部の導管は繋がっており、根から地上部に向かっていく途中にナトリウムの動きを堰き止めることのできる構造的な「バリアー」がないことはよく知られておりました。したがってこの現象は、根の中心を通る導管に入ったナトリウムが地上部に届くより前に、再び導管の外側へと積極的に運び出されてしまうことにより生じるのではないかと考えられましたが、それを証明する方法がありませんでした。

### 【研究に用いた技術】

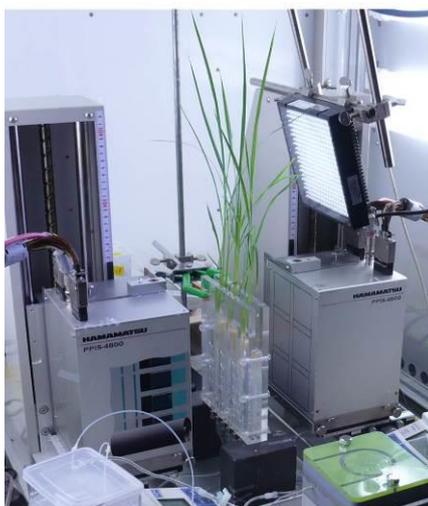


図2 植物ポジトロンイメージング計測装置(PETIS)の外観

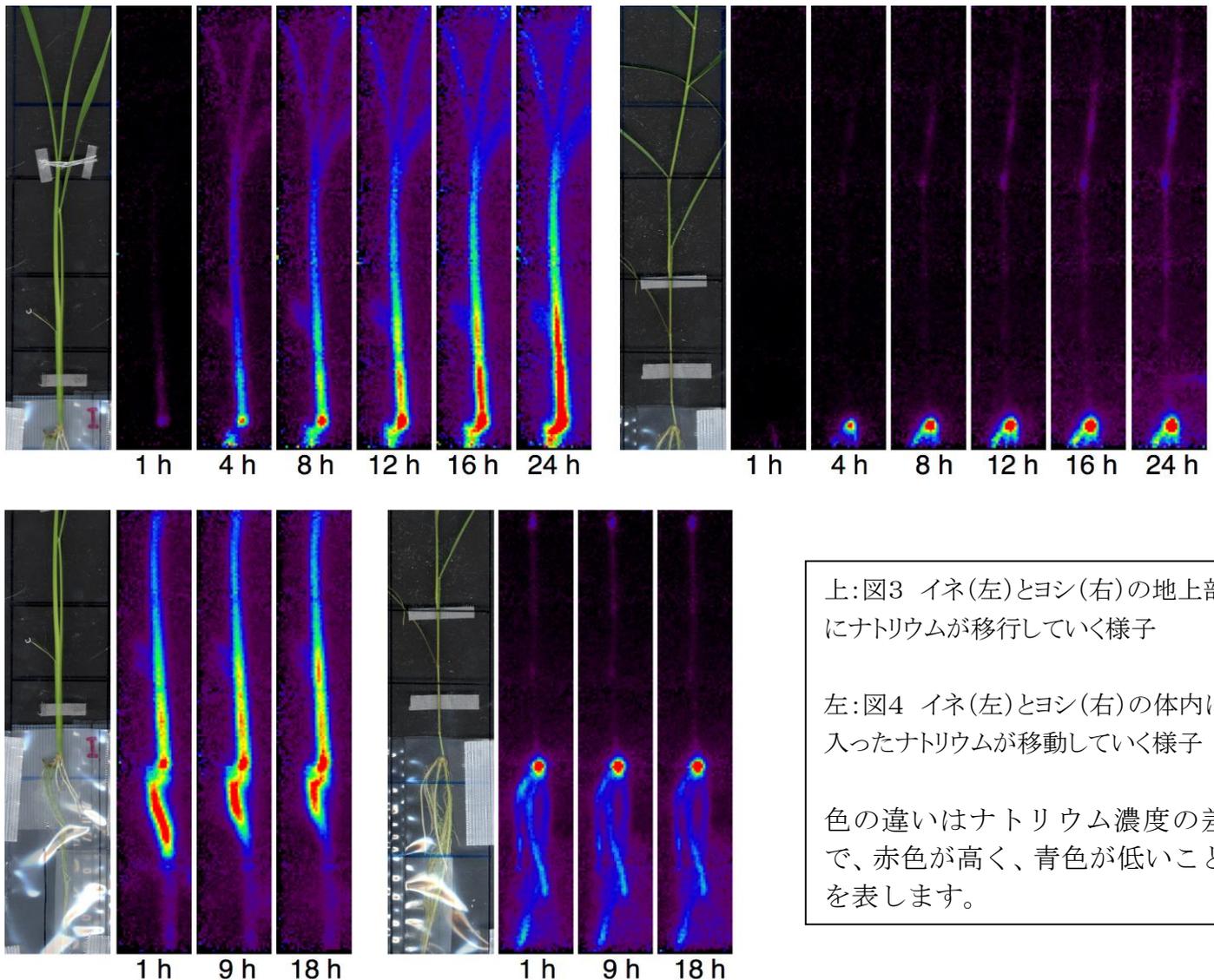
原子力機構では、生きた植物体の中の元素の動きを、植物体を分解することなく高感度かつリアルタイムに観測し、これにより植物の生理機能を解析する「植物ポジトロンイメージング技術」(図2)の研究開発を進めてきました。これまでに、作物中の糖の動きや、環境汚染物質であるカドミウムの動きなどを、植物が生きた状態のまま観測し、品種による違いや栽培条件に応じた変化を解析することに成功しています。

原子力機構と東京農業大学では、この技術を利用して、イネとヨシの体内のナトリウムの動きを解析する共同研究を開始しました。

## 【研究の内容と結果】

本研究では、イネの生育に大きな障害が現れない程度の、海水の約十分の一の濃度のナトリウムを(1リットルあたり約3グラムの食塩に相当)含む水耕液でイネとヨシを6個体ずつ生育し、さらに、ナトリウムの動きを追跡するための「目印」として極微量の放射性ナトリウム<sup>(6)</sup>をこの水耕液に添加した後、植物ポジロンイメージング技術により、水耕液中の放射性ナトリウムが植物の地上部に移行していく様子を24時間にわたり撮影しました。続いて、水耕液中から「目印」の放射性ナトリウムだけを抜き、植物体内の放射性ナトリウムがどこか別の部位へと移動していく様子を追跡しました。

その結果、最初の24時間では、イネではナトリウムが留まることなく上方の葉に移行していくのに対し、ヨシではナトリウムが茎のつけねに集まり、それより上の茎や葉にはほとんど移行しない、という対照的な画像が得られました(図3)。次の18時間では、得られた画像データ(図4)上の詳細な部位ごとに放射性ナトリウム濃度の増減を解析した結果、イネでは根の中のナトリウムが上方の葉に移行し続けているのに対し、ヨシでは逆に根の中を下方(根の先端方向)に向かってナトリウムが排出されていることがわかりました。この実験の間、植物の根が常に一定濃度のナトリウムにさらされていたことを考えあわせると、以上の結果は、ヨシの根の中では吸収したナトリウムを下方に送り返す仕組みが恒常的に働いていることを示しています。



上:図3 イネ(左)とヨシ(右)の地上部にナトリウムが移行していく様子

左:図4 イネ(左)とヨシ(右)の体内に入ったナトリウムが移動していく様子

色の違いはナトリウム濃度の差で、赤色が高く、青色が低いことを表します。

## 【今後の期待】

本研究で解明されたヨシの根に特有のナトリウム排出機構に関して、現在、東京農業大学では、そのナトリウムの排出を担う遺伝子の探索を進めています。今後、それらの遺伝子が明らかになれば、それをイネに導入することにより、ナトリウムを地上部に移行させない、高い塩分濃度に耐えられるイネの品種を作出することが可能になると期待されます。また近年、作物の栽培に適さない塩分濃度の高い土地の面積は世界的に拡大を続けており、また、淡水資源、とくに農業用水の不足が叫ばれていますが、将来的には、海岸など塩類にさらされる条件の土地でもイネの栽培を可能にして、食料の安定供給に資することも期待されます。

なお、この研究の一部は、東京農業大学先端研究タイプA、および科学研究費補助金(21380049)の助成により行いました。

## 用語説明

### (1) 植物ポジトロンイメージング技術

positron-emitting tracer imaging system (PETIS)という計測装置等を利用して、植物の根や葉に投与した放射性同位体(次項で説明)の動きを、植物体を傷つけることなく、ビデオカメラのように画像化することにより、植物の生理機能を解析する技術です。PETISは1990年代に日本原子力研究所(現・日本原子力研究開発機構)と浜松ホトニクス株式会社が共同開発したものが原型となっており、がん検診に広く用いられるポジトロン断層撮影法(positron emission tomography: PET)と計測原理は同じですが、植物研究用に特化したデザインになっています。これまでに、この技術を用いて、作物の体内での養分や環境汚染物質の動きを解明する多くの研究がなされてきました。

### (2) 放射性同位体

同じ元素ではあるが、放射線を出す性質を持つものを言います。たとえば、ナトリウムのうち、通常身の周りにあるナトリウム 23 は放射線を出しませんが、放射性同位体であるナトリウム 22 は放射線を出します。放射性同位体は、放射線を出すこと以外は同じ性質を持っているので、たとえば通常のコナールの中に極微量のナトリウム 22 を混ぜることにより、ナトリウムに「目印」をつけることができます。この放射線を計測すれば、植物体に取り込まれた後もナトリウムの動きを体外から追跡することができます。

### (3) 導管

植物が根から吸収した水と養分を地上部に送るための管で、葉で水分が蒸発すること(蒸散)によって、内部の液体(導管液)が上方に引っ張り上げられていきます。

### (4) 篩管<sup>しかん</sup>

植物が葉での光合成により生産した糖などの栄養を、根や芽、子実などに送るための管です。

### (5) 放射性ナトリウム

放射性ナトリウムにはいくつかの種類がありますが、本研究で利用したものはナトリウム 22 です。ナトリウム 22 は陽電子(ポジトロンとも言う)を放射線として放出します。その放射能が半分減衰する期間(半減期)は2.6年です。