

作物の生産性・安全性の向上へ

栄養素の輸送体が植物細胞内で偏る仕組みの解明と応用

大阪府立大学（学長：辻 洋）大学院 生命環境科学研究科の高野 順平教授と汪 社亮研究員、北海道大学（総長：山口 佳三）大学院 農学研究院の内藤 哲教授らは、植物のホウ酸輸送体の一つが、土壌側の細胞膜に偏って局在する仕組みの一端を解明し、偏った局在が植物体としての栄養獲得に有利であることを実証しました。また、ホウ酸輸送体と近縁の輸送体を改変して局在を人為的に土壌側に強く偏らせることに世界で初めて成功しました。本研究を応用することで、作物の成長や栄養価を高めたり毒素の蓄積を低減させることが可能になると期待できます。

なお、本研究は大阪府立大学、北海道大学、岡山大学、京都大学の共同研究であり、日本学術振興会による最先端・次世代研究開発支援プログラムと科学研究費補助金の支援を受けて実施されたもので、2017年3月24日に、国際誌「The Plant Cell」のオンラインで公開されます。

■研究成果のポイント■

- ・ 植物の必須栄養素の一つであるホウ酸の輸送体が、根の細胞の土壌に面した側にだけ分布する仕組みを解明
- ・ 輸送体の偏った局在が栄養素の輸送に重要であることを証明
- ・ 人為的に輸送体を偏って局在させ、作物の生産性や安全性を改善する可能性を提示



ホウ酸輸送体 NIP5;1 の局在

<発表論文>

論文名：“Polar Localization of the NIP5;1 Boric Acid Channel is Maintained by Endocytosis and Facilitates Boron Transport in Arabidopsis Roots”

著者：汪 社亮（大阪府立大学）、吉成 晃（大阪府立大学）、嶋田知生（京都大学）、西村いくこ（甲南大学）、三谷（上野）奈見季（岡山大学）、馬 建鋒（岡山大学）、内藤 哲（北海道大学）、高野順平（大阪府立大学） ※氏名（現所属）

掲載誌：The Plant Cell URL：http://www.plantcell.org/content/early/2017/03/24/tpc.16.00825.abstract

web 速報版公表日時：2017 年 3 月 24 日

1. 研究概要

植物は細胞を包む細胞膜に埋め込まれた輸送体を利用し、土壌から栄養素を吸収します。栄養素の輸

【研究に関するお問い合わせ】

大阪府立大学大学院 生命環境科学研究科 高野順平 TEL:072-254-9406 Email:jtakano[at]plant.osakafu-u.ac.jp

北海道大学大学院 農学研究院 内藤 哲 TEL:011-706-2800 Email:naito[at]abs.agr.hokudai.ac.jp

送体には、根の表面に位置する細胞の中でも土壌に面した側に偏って分布するものが知られています。今回私たちは、植物のホウ酸輸送体の一つが、土壌側の細胞膜に偏って局在する仕組みの一端を解明しました。そして、偏った局在が植物体としての栄養獲得に有利であることを初めて実証しました。さらに、ホウ酸輸送体と近縁の輸送体を改変して人為的に局在をより強く偏らせることにも成功しました。これを応用して、作物の成長や栄養価を高めたり、毒素の蓄積を低減させたりすることが可能になると期待されます。

2. 背景

植物は土壌から無機栄養素を吸収して成長に利用します。植物の根は多くの細胞からなりますが、それぞれの細胞は細胞を包む細胞膜に埋め込まれた輸送体（用語 1）によって物質を取り込んだり排出したりします。植物には 1,000 種類以上の輸送体があり、それぞれの栄養素は特定の輸送体によって輸送されます。植物が栄養素を土壌から獲得して茎や葉へ運ぶためには、根の表面の細胞で栄養素を取り込み、根の中心部に位置する導管（用語 2）まで届ける必要があります。以前の私たちの研究に端を発して、根の細胞内で土壌に面した側、もしくは導管側（根の内側）に偏って分布する輸送体が次々と見つかっています。植物の必須栄養素の一つであるホウ酸の場合は、ホウ酸チャネル NIP5;1（用語 3）が土壌に面する側に、排出型のホウ酸トランスポーター BOR1 が導管に面する側に局在します（解説図 1）。このように、栄養素の輸送体が偏って局在することは土壌からの栄養素獲得、そして導管への輸送に重要であると考えられてきましたが、これまでその証明はなされていませんでした。

3. 研究成果

私たちは、シロイヌナズナ（用語 4）のホウ酸輸送体（チャネル）である NIP5;1 が、根の細胞において土壌側の細胞膜に偏って局在する仕組みの一端を解明しました。NIP5;1 は特徴的な繰返しアミノ酸配列をもっており、ここがリン酸化（用語 5）されると、エンドサイトーシス（用語 6）という機能により、細胞内に積極的に取り込まれ、土壌側の細胞膜に再配置（リサイクリング）されます（解説図 2）。

続いて、繰返しアミノ酸配列を改変して NIP5;1 の分布の偏りを弱めると、ホウ酸の土壌から茎葉への輸送効率が悪くなることを示しました。これは植物の栄養素の輸送体が偏って局在することの重要性を世界で初めて証明したものです。

さらに、NIP5;1 のアミノ酸配列を利用して、NIP5;1 に全体の構造が似ている輸送体を、より偏って局在させることに成功しました（解説図 3）。これを応用して、様々な輸送体を効率的に利用することができるかもしれません。

4. 今後の展開

今回の成果は、輸送体の細胞膜内での局在を人為的に制御する道を拓きました。これを様々な輸送体に応用できれば、栄養素の根での吸収や可食部への蓄積を高めたり、重金属などの毒素の吸収や蓄積を制限したりすることができるようになりますと期待されます。世界の耕作地において、土壌の栄養欠乏や毒素蓄積が重大な問題になっています。本研究を発展させ、作物の生産性や安全性の向上に貢献したいと考えています。

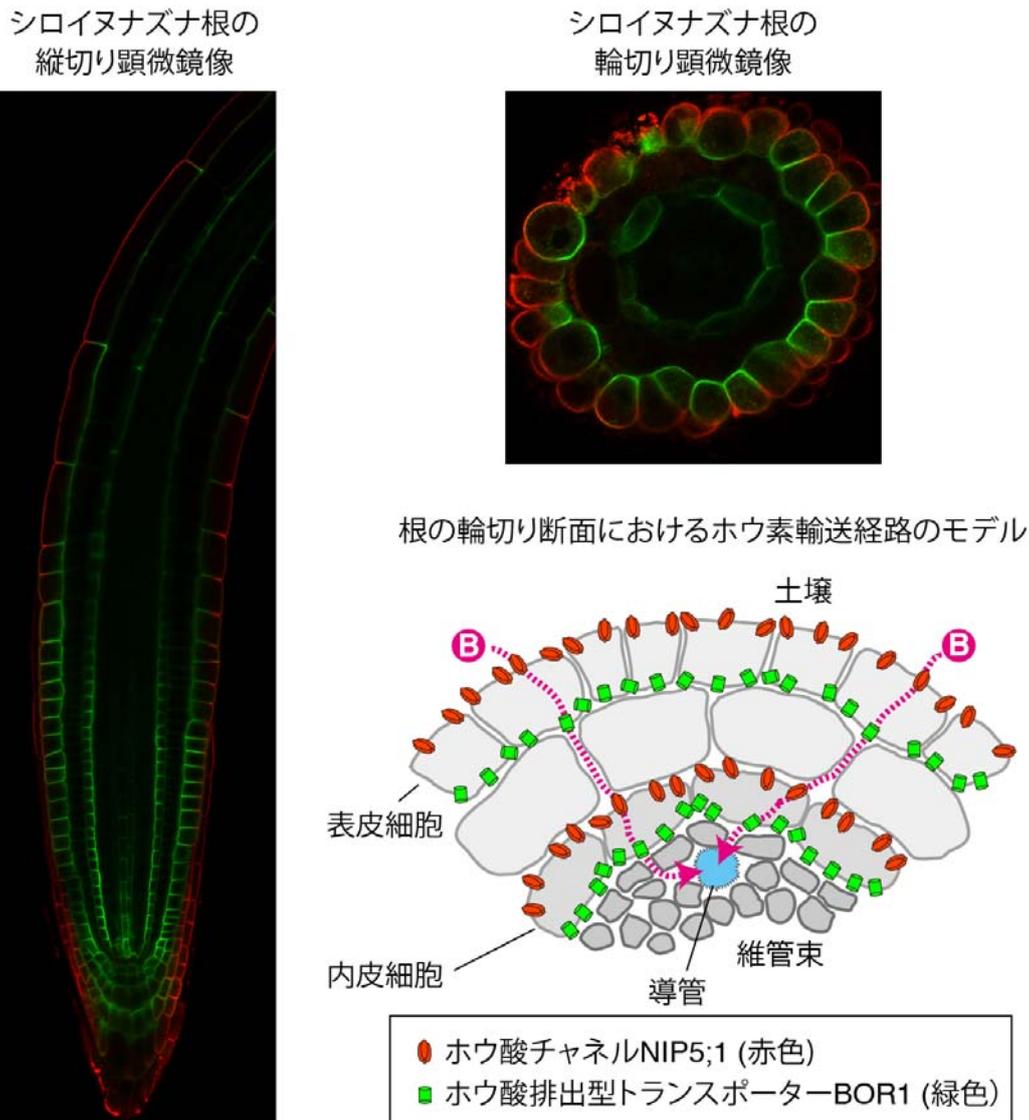
【研究に関するお問い合わせ】

大阪府立大学大学院 生命環境科学研究科 高野順平 TEL:072-254-9406 Email:jtakano[at]plant.osakafu-u.ac.jp
北海道大学大学院 農学研究院 内藤 哲 TEL:011-706-2800 Email:naito[at]abs.agr.hokudai.ac.jp

5. 研究助成資金など

本研究は、日本学術振興会による最先端・次世代研究開発支援プログラムと科学研究費補助金の支援を受けて実施されました。

6. 解説図

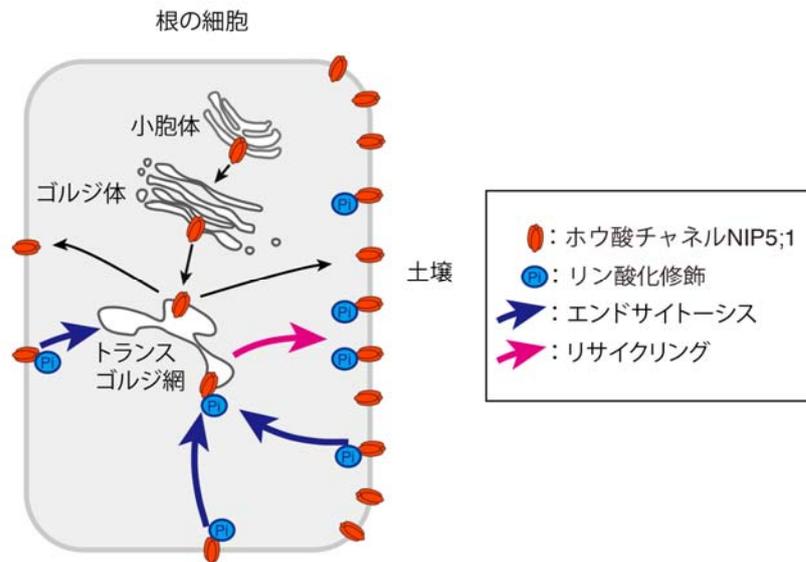


解説図 1 シロイヌナズナの根におけるホウ酸輸送経路のモデル

ホウ酸チャネル NIP5;1 (赤色で示す) は表皮細胞や内皮細胞において土壌に面した細胞膜に局在し、土壌中のホウ酸の細胞内への吸収を促進する。一方、排出型ホウ酸トランスポーターBOR1 (緑色で示す) は、導管に面する側の細胞膜に局在し、ホウ酸を細胞外へ積極的に排出する。これら輸送体の働きによりホウ酸は導管に積み込まれ、茎や葉へ運ばれる。顕微鏡画像は蛍光タンパク質でラベルした NIP5;1 と BOR1 の局在を共焦点蛍光顕微鏡により撮影したもの。モデル (右下) はホウ酸輸送経路を示したもの。今回の研究では、NIP5;1 の偏った局在がホウ酸の輸送に重要であることを実証した。

【研究に関するお問い合わせ】

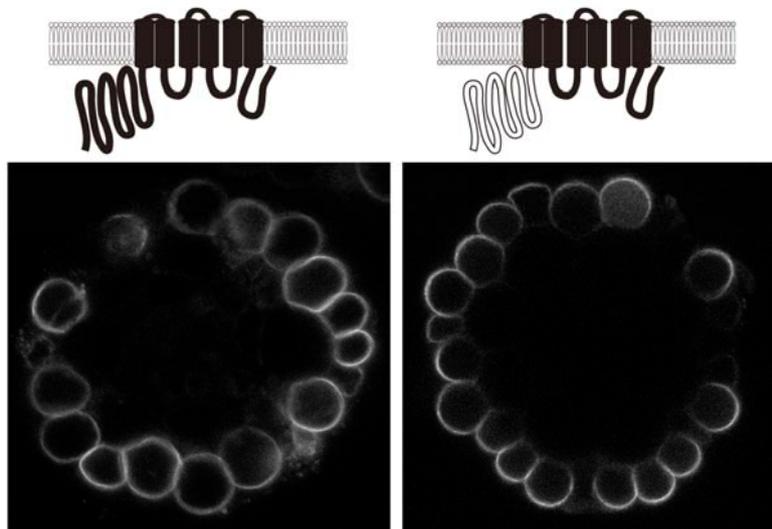
大阪府立大学大学院 生命環境科学研究科 高野順平 TEL:072-254-9406 Email:jtakano[at]plant.osakafu-u.ac.jp
北海道大学大学院 農学研究院 内藤 哲 TEL:011-706-2800 Email:naito[at]abs.agr.hokudai.ac.jp



解説図 2 NIP5;1 が細胞膜上で偏って局在するメカニズムのモデル

ホウ酸チャネル NIP5;1 はリン酸化されることで、エンドサイトーシスにより細胞内へ積極的に取り込まれる。取り込まれた NIP5;1 はトランスゴルジ網にて選別され、土壌側の細胞膜に再配置（リサイクリング）される。

水チャネルPIP2;1タンパク質 NIP5;1-PIP2;1キメラタンパク質



解説図 3 NIP5;1 のアミノ酸配列を利用した輸送体の局在の操作

水チャネル PIP2;1 は植物の根における水輸送に重要な輸送体である。PIP2;1（左図；偏在は観察されない）を構成するアミノ酸配列の一部をホウ酸チャネル NIP5;1 のものと取り替えたキメラタンパク質は、表皮細胞の細胞膜において土壌側（外側）に、より偏って局在した（右図）。根の輪切り切片において、蛍光タンパク質でラベルした各輸送体の局在（白色）を共焦点蛍光顕微鏡によって撮影した。

【研究に関するお問い合わせ】

大阪府立大学大学院 生命環境科学研究科 高野順平 TEL:072-254-9406 Email:jtakano[at]plant.osakafu-u.ac.jp
北海道大学大学院 農学研究院 内藤 哲 TEL:011-706-2800 Email:naito[at]abs.agr.hokudai.ac.jp

7. 用語の解説

用語 1：輸送体

生体膜に埋め込まれる一群のタンパク質で、物質の生体膜透過を促進する働きを持つ。タンパク質の構造からチャネルやトランスポーターなどに分類される。

用語 2：導管

根で吸収した水分や無機栄養素を地上部へ送るための管のこと。維管束には、導管と篩管がある。

用語 3：NIP5;1

細胞膜に埋め込まれ、細胞内へのホウ酸の取り込みに働くチャネル。アクアポリン（水分子のチャネル；2003 年ノーベル化学賞）に似ている。

用語 4：シロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana*)

アブラナ科の植物でゲノムサイズが小さく、遺伝子組み換えが容易である等の性質を持つことから、研究によく使われる。植物で最初に全ゲノムが解読された植物である。

用語 5：リン酸化

タンパク質の化学修飾の一種であり、タンパク質を構成するアミノ酸であるセリン、スレオニン、チロシンにリン酸基が付加される。様々なタンパク質の機能や細胞内の局在性が調節される。

用語 6：エンドサイトーシス

細胞が細胞膜成分や細胞外の物質を取り込むため、細胞膜の一部を陥入させて小胞を作り、細胞内へ送る過程のこと。輸送体などの膜タンパク質もエンドサイトーシスにより細胞内に取り込まれ、細胞膜に再配置（リサイクリング）されたり、分解されたりする。

【研究に関するお問い合わせ】

大阪府立大学大学院 生命環境科学研究科 高野順平 TEL:072-254-9406 Email:jtakano[at]plant.osakafu-u.ac.jp
北海道大学大学院 農学研究院 内藤 哲 TEL:011-706-2800 Email:naito[at]abs.agr.hokudai.ac.jp