

## 植物が過剰な栄養の取り込みを防ぐ仕組みを解明

～環境に応答して栄養輸送体の量を多段階で微調節～

### ポイント

- ・植物が栄養環境に応じて栄養輸送体タンパク質の量を合成と分解の双方で微調節していることを解明。
- ・輸送体タンパク質の量の調節は栄養の過剰摂取を防ぎ、幅広い環境への適応に必要であることを実証。
- ・栄養が欠乏または過剰に存在する不良な土壌環境に耐える作物品種の開発に期待。

### 概要

北海道大学大学院地球環境科学研究院の三輪京子准教授と同大学院環境科学院博士後期課程の相原いづみ氏らの研究グループは、シロイヌナズナのホウ素輸送体タンパク質である BOR1 の発現が、今までに見つかったタンパク質「分解」による制御に加えて、タンパク質を「合成」する翻訳の段階でも環境に応じて制御されることを明らかにしました。

植物は必須栄養素であるホウ素を土壌から吸収しますが、ホウ素は多すぎると害になるため、ホウ素を取り込む量を厳密に制御する必要があります。BOR1 はホウ素が少ない環境で積極的にホウ素を体内に取り込むための輸送体タンパク質です。ホウ素が十分存在する環境では BOR1 はタンパク質分解を受けて量が減少することがわかっていました。本研究ではこのタンパク質分解制御に加えて、タンパク質を合成するステップである翻訳の段階においても BOR1 が制御されることを示し、その機構を解明しました。輸送体の発現量の調節機構において、翻訳における制御の例は今までほとんど示されていませんでした。

また、BOR1 の翻訳の制御は、分解による制御よりもホウ素濃度が高い環境で引き起こされることが明らかになりました。これは、BOR1 が明らかに必要でない環境で、BOR1 タンパク質を作っては壊すという制御よりも、そもそもの合成を抑制しようとする働きであると考えられます。さらに、翻訳と分解の二つの制御を失った植物体を利用して、これら二つの制御が過剰なホウ素の取り込みを防ぎ、植物の高濃度ホウ素環境への適応に貢献することを実証しました。

本研究は、植物が幅広い無機栄養環境に適応するために緻密な応答機構を獲得してきたことを示す一例となります。また今回の知見は、無機栄養の輸送の調整を通じた、栄養が少ないやせた土地や栄養が過剰に存在する不良な土壌環境にも耐える作物品種の開発への貢献が期待されます。なお、本研究成果は、米国東部時間 2018 年 5 月 4 日（金）に Plant Physiology 誌にオンライン掲載されました。

## 【背景】

ホウ素は植物の生育にとって必須な無機栄養素であり、土壌から吸収されます。しかし一方で、ホウ素は体内に過剰に存在すると毒性を示すため、植物はホウ素を取り込む量を厳密に調節する必要があります。

シロイヌナズナにおいて、ホウ素輸送体 BOR1 は、ホウ素が欠乏している環境でホウ素を根の内側に向けて輸送することでホウ素の取り込みを上昇させます。生物では「遺伝子 (DNA) → mRNA<sup>\*1</sup> → タンパク質」と遺伝情報が発現して、タンパク質がつくられます。BOR1 の遺伝子 (DNA) からタンパク質をつくるための中間産物である mRNA 蓄積量は環境中のホウ素濃度によって変化しません。しかし、ホウ素が十分存在する環境では、mRNA からつくられた BOR1 タンパク質は、タンパク質分解を受けて蓄積量が減少することが報告されていました。また、このような「分解」段階での制御だけでなく、「発現」を制御する機構が存在する可能性が示唆されていました。

本研究では BOR1 の発現が翻訳の段階においても制御されることを示し、その機構を明らかにしました。また、BOR1 のタンパク質分解と翻訳による発現制御が、植物がホウ素濃度の高い環境に適応する上で重要であることを実証しました。

## 【研究手法】

環境中のホウ素濃度に応じた発現制御機構を明らかにするため、BOR1 遺伝子の配列を様々に変化させ、シロイヌナズナ培養細胞または植物体内での発現を異なるホウ素濃度で調べました。また、翻訳制御の詳細な機構を調べるために試験管内翻訳系を利用しました。

さらに、分解制御と翻訳制御を区別するため、どちらか片方の制御、または両方の制御を失った形質転換シロイヌナズナを作製し、環境中のホウ素濃度に対する応答を調べ、生育試験を行いました。

## 【研究成果】

タンパク分解とは異なる発現制御機構を明らかにするため、翻訳に注目しました。mRNA の上流部分である 5′ 非翻訳領域<sup>\*2</sup>は、しばしば遺伝子の翻訳に影響を与えます。BOR1 由来の 5′ 非翻訳領域は、ホウ素濃度が高い環境で下流の遺伝子の翻訳を抑制することを明らかにしました。BOR1 の 5′ 非翻訳領域内には 4 つの上流 open reading frame<sup>\*3</sup>と呼ばれる構造が含まれています。5′ 非翻訳領域の部分欠損または点変異の導入により上流 open reading frame を失った場合、ホウ素濃度に対する応答が起らなかったことから、上流 open reading frame が翻訳制御に必要であることを示しました。また、その分子機構について三つの仮説を検証し、翻訳装置であるリボソームが上流 open reading frame を翻訳した後に下流で再翻訳を起こすことが BOR1 の翻訳に重要であり、ホウ素濃度が変わることでこの再翻訳の効率が変わる可能性があることを示しました。

続いて、分解制御と翻訳制御の二つの発現制御機構の生理的な意義を調べました。両方の制御を失った植物体では環境中のホウ素濃度に関わらず常に BOR1 タンパク質が高蓄積したことから、ホウ素濃度が高い環境で BOR1 の蓄積量を減少させるためにこの二つの制御が必要であることが示されました。また、どちらか片方の制御を失った植物体を利用した実験から、翻訳の抑制はタンパク質分解制御よりもホウ素濃度が高いときに引き起こされることがわかりました。これは、再びホウ素欠乏が起こるかもしれない濃度範囲ではタンパク質分解によって素早い制御を行うが、明らかに BOR1 が必要ない環境では、BOR1 タンパク質を作っては壊すという応答をするよりも、そもそもの合成を抑制しようとする働きであると考えられます。

また、分解制御を失った植物体はホウ素濃度の高い環境で高濃度のホウ素を体内に蓄積し生育抑制

を受けましたが、分解制御と翻訳制御の両方を失った植物体ではより著しい生育阻害が観察されました。このことは分解と翻訳の両方の制御が、高濃度のホウ素環境で BOR1 の蓄積量を減少させることで過剰なホウ素の取り込みを防ぎ、植物の高濃度ホウ素環境への適応に貢献することを実験的に示しました。

### 【今後への期待】

無機栄養環境に応じた輸送体の発現量の調節機構には多数の報告がありますが、翻訳による制御はほとんど例がありませんでした。また、無機栄養の輸送体の多段階における発現制御機構が、それぞれ異なる濃度範囲で引き起こされることを示した例は今までにありません。本研究はこれらの点において無機栄養の輸送の研究に新たな知見を与えました。

また、翻訳制御のさらに詳細な機構を調べることで、植物がどうやって無機栄養環境を感知しているかを明らかにする可能性が期待されます。加えて、植物が外部の栄養環境に適応するしくみを理解することで、栄養が枯渇した環境や過剰に存在する劣悪な土壌環境にも耐える作物品種の選抜や開発につながることを期待されます。

### 論文情報

論文名	Boron-dependent translational suppression of the borate exporter BOR1 contributes to the avoidance of boron toxicity (ホウ酸排出型輸送体 BOR1 のホウ素依存的な翻訳抑制はホウ素過剰症発生の回避に貢献する)
著者名	相原いづみ <sup>1</sup> , 平井達也 <sup>1</sup> , 笠井光治 <sup>2</sup> , 高野順平 <sup>3,4</sup> , 尾之内均 <sup>3</sup> , 内藤 哲 <sup>3,5</sup> , 藤原 徹 <sup>2</sup> , 三輪京子 <sup>1</sup> (1 北海道大学大学院環境科学院, 2 東京大学大学院農学生命科学研究科, 3 北海道大学大学院農学研究院, 4 大阪府立大学大学院生命環境科学研究科, 5 北海道大学大学院生命科学院)
雑誌名	Plant Physiology (植物生理学の専門誌)
DOI	10.1104/pp.18.00119
公表日	米国東部時間 2018 年 5 月 4 日 (金) (オンライン公開)

### お問い合わせ先

北海道大学大学院地球環境科学研究院 准教授 三輪京子 (みわきょうこ)

T E L 011-706-4523 メール miwakyoko@ees.hokudai.ac.jp

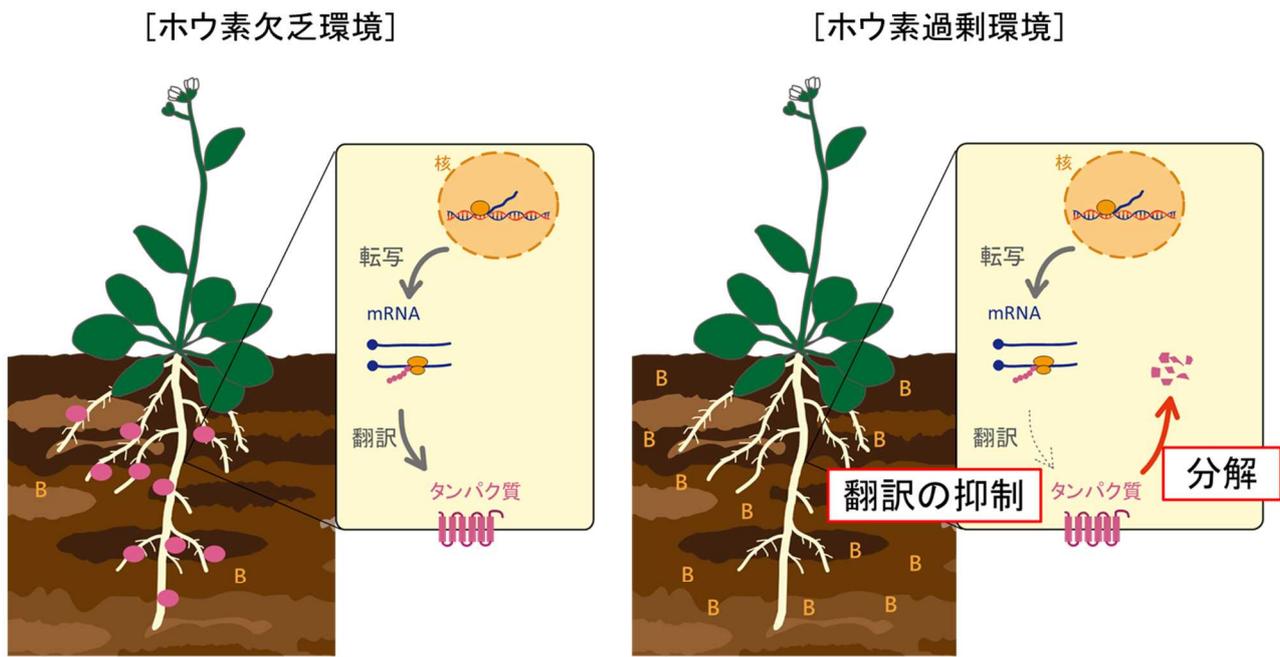
U R L <http://noah.ees.hokudai.ac.jp/emb/miwalab/>

### 配信元

北海道大学総務企画部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール kouhou@jimu.hokudai.ac.jp

【参考図】



● BOR1タンパク質  
B ホウ素

BOR1タンパク質が根に蓄積して積極的にホウ素を取り込む

翻訳の抑制とタンパク分解によりBOR1タンパク質の蓄積が減少し、取り込みが抑制される

【用語解説】

- \*1 mRNA … メッセンジャーRNA（伝令RNA）の略。DNAからコピーした遺伝情報を持つ。真核生物では、通常一つのmRNAが一つの遺伝子の情報を担っている。
- \*2 5′非翻訳領域 … 真核生物のmRNAにおいて、遺伝子の情報をコードする領域の上流にある配列。
- \*3 上流open reading frame … open reading frame（オープンリーディングフレーム）とは読み取り枠とも言い、開始コドンから始まって終止コドンまでアミノ酸のコドンが続く読み枠。このうち5′非翻訳領域に存在するものを、コードする遺伝子の読み枠よりも上流に存在するという意味から、上流open reading frameと呼ぶ。