

植物の無機栄養ホメオスタシスと成長の統合的理解と 仮説検証

Homeostasis of Plant Mineral Nutrients and Growth-
Modeling of Overall Regulation

藤原 徹 (FUJIWARA TORU)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授



研究の概要

植物は土壌の無機栄養だけで生育できる独立栄養生物ですが、土壌の養分は大抵十分にはありません。植物は栄養条件に応じて輸送や代謝、生育を制御して、恒常性（ホメオスタシス）を保っています。本研究はこのような植物のホメオスタシス機構を統合的に理解し、植物の栄養吸収と適応の姿を明らかにします。このような知見は農業生産や環境保全に役立ちます。

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農芸化学 植物栄養学・土壌学

キーワード：無機栄養、輸送体、制御、定量的モデル

1. 研究開始当初の背景

植物は土壌から吸収する無機元素に依存して生育し、私たちの生活に不可欠な様々なものを提供しています。植物は土壌から必須無機元素を吸収していますが、土壌には、植物の必要とする元素が少なすぎたりします。植物はどの元素が足りない（あるいは多すぎる）かを感知し、吸収や排出の速度を変化させたりするべく細胞内の濃度を一定にしようとします。これが無機栄養ホメオスタシスです。この能力があるために様々な土地に植物は生育できます。

植物がどのように無機栄養環境を感知し、その吸収や輸送を制御しているのかについて、植物個体全体としての理解を深めることは基礎科学としての重要性に留まらず、農業生産や環境保全にも重要です。

2. 研究の目的

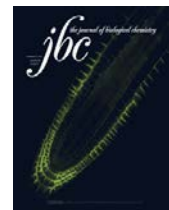
本研究では、無機栄養のホメオスタシスに関与する重要な遺伝子を見つけ、その役割を明らかにすることを通じて、これまでに知られていない元素のホメオスタシス機構を明らかにします。また、ホウ素についてはこれまでのトランスポーター研究を基礎として、トランスポーターのホウ素栄養に応じた発現や局在の制御機構を明らかにするとともに、根全体でのホウ素輸送がどのように制御されているのかを、数理的なモデルを構築して調べることを目的としています。

3. 研究の方法

本研究では主にシロイヌナズナの変異株を用いて、植物の無機栄養ホメオスタシス機構に重要な遺伝子を見つけます。また、遺伝子の配列を改変してその効果を見る等することによって、栄養に応じたトランスポーターの発現制御機構を明らかにします。さらには、根の細胞の配列やトランスポーターの局在を考慮した数理モデルを構築します。

4. これまでの成果

BOR1 の分解に重要な役割を果たすアミノ酸残基をあきらかにした。一つはチロシンモチーフと言われる配列であり、この配列を欠損させると蓄積制御が起こりにくくなる (Takano et al 2010)。また、BOR1 とホウ素吸収に重要な輸送体 NIP5;1 は極性をもった局在を示すことが明らかになった。BOR1 は根の細胞の中心柱よりの細胞膜に、NIP5;1 は根の表皮の土壌に面した側の細胞膜に局在していた。さらに、BOR1 の 590 番目のリシン残基が BOR1 のユビキチン化および分解に重要である一方、中心柱側の細胞膜への局在に関しては関与していない可能性が示された (Kasai et al., JBC 2011)。この成果は Journal of Biological Chemistry の表紙に取り上げられた (右図)。



NIP5;1 の発現制御機構については、ホウ

素欠乏に応じた発現制御は転写によって制御されているのではなく、mRNAの分解速度の制御によって起こっていることを明らかにした

(右図、培地のホウ素濃度に応じた分解速度の測定)。

ホウ素と成長の関係に関してはホウ素過剰における生育に重要な遺伝子を単離し、その成長における役割を明らかにした。シロイヌナズナの野生型植物の根の伸長が半分程度になるホウ素過剰条件 3mM で、極端に根の伸長が阻害される変異株

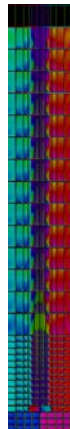
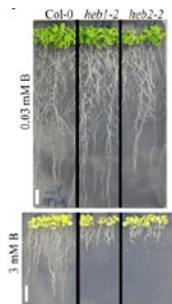
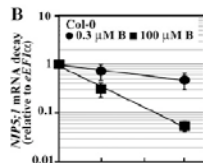
(*heb1-2*, *heb2-1*; 右図) から原因遺伝子を4種同定したところ、そのうち2つはコンデンシン II と呼ばれる染色体の凝集に重要であると考えられているタンパク質複合体のサブユニットをコードする遺伝子であった。さらに細胞生物学的な解析

によって、ホウ素過剰はDNAの切断を引き起こすこと、DNAの切断の程度と生育阻害の程度に相関があること、コンデンシンの発現がホウ素過剰で誘導されることを明らかにした (Sakamoto et al., *Plant Cell* 2011)。

モデル構築については、これまでに、根の細胞列を反映した土壌から根へのホウ素輸送の2次元モデルを構築した (右図: 根のそれぞれの場所におけるホウ素フラックスの方向を色で表したもの。土壌から中心柱へ、また上方への輸送を示している。また、根の先端の静止中心に相当する細胞が周辺細胞とは異なるフラックスを示していることがわかる)。

この解析からホウ素が根の先端部分に蓄積する可能性が示唆されている。

シロイヌナズナのカルシウムやマグネシウムに対する応答に異常を示す変異株マッピングを進め、次世代 sequencer による配列解析等を行った結果、この変異株では細胞壁合成への関与が示唆される遺伝子が原因であることがわかった。また、マグネシウムの変異株については、変異がアミノ酸のトランスポーターと思われる遺伝子にあることが明らかになった。さらに、マンガンやホウ素等の元素についても新たな変異株を得ている。



5. 今後の計画

今後も植物の無機栄養のホメオスタシスに重要な役割を担う遺伝子を同定解析するとともに、制御機構についての更なる解析を進めて行く。また、構築した数理モデルに改良を加え、実験による検証を進めて行く予定である。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)
2010年 平成22年度 科学研究費補助金審査委員の表彰

2009年 日本土壌肥料学会賞

「植物の必須微量元素輸送体の同定と機能解析」

Kamiya, T et al Establishment of an in planta magnesium monitoring system using CAX3 promoter-luciferase in *Arabidopsis*. *J Exp. Bot.* 63(1):355-63 (2012)

Sakamoto, T et al Condensin II alleviates DNA damage and is essential for tolerance of B overload stress in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell* 23(9):3533-46 (2011)

Miwa, K. and Fujiwara, T. Role of overexpressed BOR4, a boron exporter, in tolerance to high level of boron in shoots. *Soil Sci. Plant Nutr.* 57(4): 558-565 (2011)

Tanaka, M et al Boron-Dependent Degradation of NIP5;1 mRNA for Acclimation to Excess Boron Conditions in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 23(9):3547-59 (2011)

Kasai K et al High boron-induced ubiquitination regulates vacuolar sorting of the BOR1 borate transporter in *Arabidopsis thaliana*. *J Biol. Chem.* 286(8): 6175-6183 (2011)

Sakamoto T et al *Arabidopsis thaliana* 26S Proteasome Subunits RPT2a and RPT5a Are Crucial for Zinc Deficiency-Tolerance. *Biosci. Biotech. Biochem.* 75(3) : 561-567 (2011)

Miwa K and Fujiwara T Boron transport in plants: co-ordinated regulation of transporters. *Ann. Bot.* 105(7): 1103-1108 (2010)

Takano J et al Polar localization and degradation of *Arabidopsis* boron transporters through distinct trafficking pathways. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 107(11):5220-5225 (2010)

(他 13 編)

ホームページ等

<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/syokuei/>