

令和7年6月10日

石川県公立大学法人 石川県立大学

## 植物の鉄センサー分子が鉄を感じ取るしくみを解明

本学の小林高範教授の研究グループは、イネの鉄センサータンパク質 HRZ が細胞内の鉄および亜鉛と結合することにより、鉄が足りているかどうかを鉄と亜鉛のバランスによって感じ取っていることを明らかにしました。鉄不足でも良く育ち、コメに鉄を貯めるイネの創製にも成功しました。

### 概要

鉄は全ての生物にとって、生きていくために必要な栄養素（必須元素）の一つです。植物は土壌中から鉄を吸収して利用しますが、世界の耕地土壌の3割を占める石灰質アルカリ土壌では、鉄がほとんど溶けていないため、多くの植物は鉄を十分に吸収できず、葉の黄化や生育不良などの鉄欠乏症状を起こします。これは農業生産と環境保全の深刻な問題となっています。また、ヒトの鉄欠乏は鉄欠乏性貧血だけでなく免疫力の低下、意欲低減など深刻な症状を引き起こします。WHOによると世界全体で20億人以上が鉄欠乏で、種々の社会問題の原因となっています。イネは世界の主要穀物ですが、鉄欠乏にきわめて弱いだけでなく、白米中には鉄はわずかしか蓄えられません。そのため、イネを主食とするアジア諸国では、わが国を含み鉄欠乏の人々の割合が非常に高い傾向にあります。

このように鉄は必須元素である一方、過剰の鉄は毒性をもたらします。植物は、土壌中の鉄を吸収して利用するために、体内の鉄の過不足を感じ取り、鉄が足りない時に**遺伝子の発現**（用語解説1）を促す鉄欠乏応答メカニズムを持っています。本学の小林高範教授の研究グループは、植物、特にイネにおいて鉄欠乏応答に関わる遺伝子やタンパク質を明らかにしてきました。とりわけ、本グループが2013年に発表したタンパク質 HRZ は、鉄および亜鉛と結合する5種類の**ドメイン**（用語解説2）を持ち（図1）、植物体内の鉄を感じ取る鉄センサー分子と考えられました。HRZ は鉄の吸収と体内輸送を担う遺伝子の発現を抑制することで、過剰な鉄の吸収を防ぐブレーキ役を果たしています。しかし、HRZ による鉄の感知メカニズムは未解明のままでした。

このたび、本研究グループは、タンパク質とイネを用いた実験により、HRZ によるイネの鉄の感知メカニズムを明らかにしました。HRZ タンパク質はイネ体内で非常に不安定で分解されやすいことが分かりました。特に、4つのドメインを持つ後半部が分解されやすく、ヘムエリスリンドメインを含む前半部は比較的安定でしたが、ヘムエリスリンドメインに金属が結合できないと不安定になり分解されやすいことが分かり

ました。また、4つのドメインを持つ後半部に亜鉛が多く結合した状態や、鉄欠乏になったイネの根では、HRZは自分自身をユビキチン化<sup>(用語解説3)</sup>し、分解に導く力が強くなることを明らかにしました。

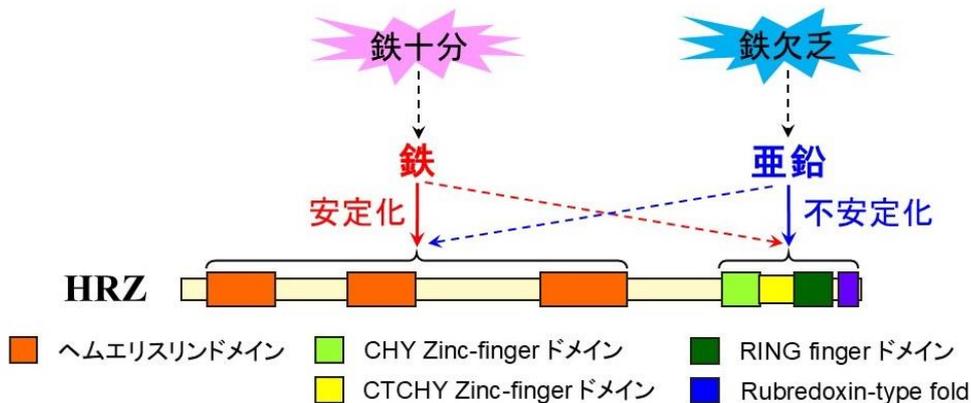


図1. HRZの金属結合ドメインと鉄感知メカニズム

以上の結果から、HRZは複数の金属結合ドメインに結合する鉄と亜鉛のバランスによって鉄の栄養状態を感じ取っていると考えられました。つまり、鉄が多い条件ではHRZは鉄と多く結合することによって自身を安定化させ、鉄の吸収と体内輸送を担う遺伝子の発現を抑制することで、過剰な鉄の吸収を防ぐブレーキ役として働いている一方、鉄が少ない条件ではHRZは鉄よりも亜鉛と多く結合することによって自身を不安定化し、分解に導くことによって鉄の吸収・体内輸送のブレーキを解除していると考えられました(図2)。

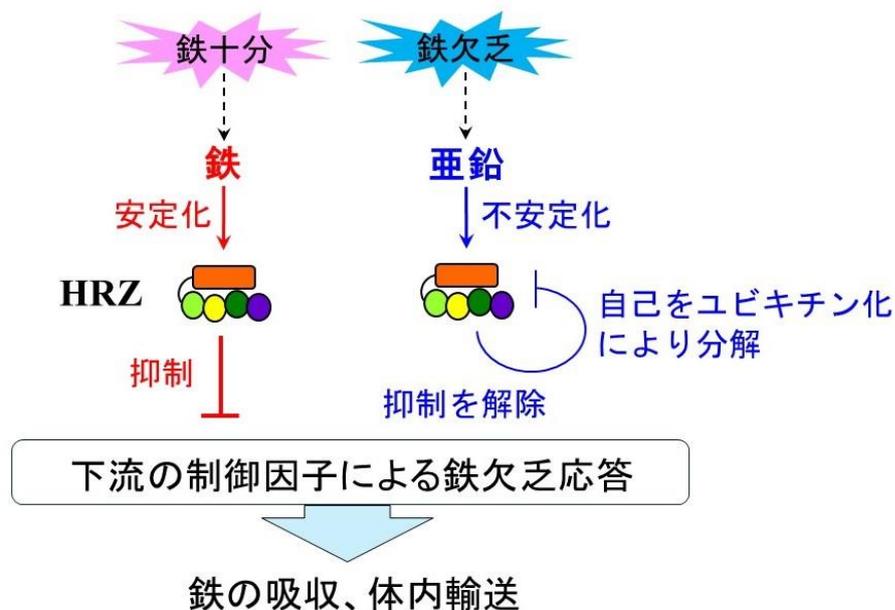


図2. HRZの金属結合による鉄栄養状態の感知と伝達

この成果は、植物細胞が鉄を感じ取るメカニズムを分子レベルで明らかにした点で画期的です。また、本研究では、*HRZ* 遺伝子の後半側のドメインにゲノム編集<sup>(用語解説4)</sup>により変異<sup>(用語解説5)</sup>を導入したイネを作出しました。これらのイネは玄米に鉄を多く蓄積し、鉄不足の環境でも緑色を保って良く育つ特性を示しました。これらの知見は、アルカリ性の不良土壌における植物の生産性向上や、鉄などのミネラル栄養を多く含む穀物を創製することに貢献すると期待されます。

本研究は石川県立大学 生物資源工学研究所 植物細胞工学研究室の小林高範教授、新川はるか特別研究員、生産科学科（卒業生）の室田明星さん、同・上嶋彩音さん、西澤直子前石川県立大学長（現・石川県立大学参与）により行われ、著名な国際学術誌である *The Plant Journal* にオンライン出版されました。

#### <用語解説>

- (1) **遺伝子の発現**：遺伝子が働く時の過程のこと。通常、DNA 上の遺伝子の情報（塩基配列）が「転写」とよばれる反応によって mRNA の塩基配列に写し取られ、さらにその情報が「翻訳」とよばれる反応によってタンパク質のアミノ酸配列に変換される過程を指します。
- (2) **ドメイン**：タンパク質の一部で、特定の働きや形を持つ部品のようなもの。ドメインの組み合わせによって、タンパク質の性質や働きが決まります。つまり、ドメインはタンパク質の機能を理解する手がかりになります。
- (3) **ユビキチン化**：特定のタンパク質に「ユビキチン」という目印を付ける反応。ユビキチンが付けられたタンパク質は多くの場合、分解されます。つまり、ユビキチン化は不要になったタンパク質を壊して働かなくする役割を持ちます。
- (4) **ゲノム編集**：生物がもつ DNA 上の遺伝情報のうち、狙った場所のみを正確に書き替える技術。近年、「CRISPR（クリスパー）」などの技術が急速に広まり、医療や農業など幅広い分野で注目されています。
- (5) **変異**：DNA 上の遺伝情報の変化のこと。本研究の場合、ゲノム編集で変異を導入して、特定のドメインの働きを無くしました。

<論文情報>

出版誌 : *The Plant Journal*

DOI: 10.1111/tpj.70258

原題: Stability and function of rice OsHRZ ubiquitin ligases are regulated at multiple sites by the iron-zinc balance.

著者: Haruka Shinkawa\*, Takanori Kobayashi\*\*, Akari Murota, Ayane Kamijima, Naoko K. Nishizawa

\*: 共筆頭著者 \*\*: 責任著者

所属: Research Institute for Bioresources and Biotechnology, Ishikawa Prefectural University, 1-308 Suematsu, Nonoichi, Ishikawa 921-8836, Japan.

<問い合わせ先>

小林 高範 (コバヤシ タカノリ)

石川県立大学 生物資源工学研究所・教授/所長

〒921-8836 石川県野々市市末松1-308

Tel : 076-227-7505

E-mail : [abkoba@ishikawa-pu.ac.jp](mailto:abkoba@ishikawa-pu.ac.jp)