



令和 6 年 7 月 30 日

植物の病原菌を感知するセンサーの進化の歴史を解明 ～世界の二大穀物のいもち病菌に対する抵抗力向上に期待～

◆発表のポイント

- ・ イネの病害虫に対する免疫受容体（センサー）遺伝子の進化の歴史を調べました。
- ・ 進化の過程で遺伝子重複¹⁾により二つに増加した免疫誘導型免疫受容体のうちの一つがセンサー型へと分化し、新たにいもち病菌を認識したことを発見しました。
- ・ 免疫誘導型受容体とセンサー型受容体は、協調してペア NLR タンパク質として一つの免疫受容体として働くことを見出しました。

植物は、病害虫から身を守るために病害虫を見つけるセンサーの役割を担う NLR 型免疫受容体を持っています。植物は、この NLR 型免疫受容体の遺伝子を数多く持っており、これが植物の強力な防御システムの秘密だと考えられています。岡山大学資源植物科学研究所の河野洋治教授は、中国科学院 CAS Center for Excellence in Molecular Plant Science などの研究機関と協力して、NLR 型免疫受容体遺伝子の進化の歴史を解析しました。その結果、イネの重大な病気であるいもち病に対して抵抗力を高める仕組みを明らかにしました。河野教授らは、進化の過程で一つの NLR 型免疫受容体遺伝子が遺伝子重複により二つに増え、それぞれが異なる役割を担うようになったことを発見しました。一つは病原体を見つける「センサー」の役割、もう一つは実際に免疫反応を引き起こす「免疫誘導」の役割です。これら二つの遺伝子が協力して働くことで、より効果的に病気から植物を守っていることがわかりました。この研究成果は、2024 年 5 月 30 日に科学雑誌「*Nature Communications*」に掲載されました。

今後、この研究をさらに進めることで、一つの免疫受容体で多くの種類のいもち病菌を認識できる「人工免疫受容体」を作り出せる可能性があります。これは、イネだけでなく、最近いもち病が広がりつつあるコムギにも応用できると期待されています。つまり、世界の主要な穀物であるイネとコムギの両方で、いもち病への抵抗力を高められる可能性があるのです。この研究は、私たちの食糧生産を脅かす病気から作物を守る新しい方法の開発につながる重要な一歩といえるでしょう。



PRESS RELEASE

■発表内容

<現状>

植物は動物とは異なる方法で免疫を発達させてきました。その特徴の一つは、非常に多くの免疫受容体（センサー）を持っていることです。例えば、ヒトには細胞内免疫受容体である NLR が 22 種類しかありませんが、イネには約 450 種類もあります。この遺伝子数の多さが植物の強い免疫に貢献していると考えられていますが、これらの受容体がどのようにその数を増やし、新しい機能を獲得しながら免疫に役立ってきたかはまだよく理解されていません。河野教授らを含む幾つかのグループの先行研究により、世界に先駆けて植物の免疫受容体数が多い理由を説明する機構として「ペア NLR タンパク質」が発見されました。ペア NLR タンパク質は、二つの異なる NLR 受容体がそれぞれ「病原菌認識（センサー）」と「免疫誘導」の役割を担い、協調して一つの受容体複合体として機能する機構です。しかし、このペア NLR タンパク質がどのような進化の過程を経て機能するようになったのかは、まだ明らかにされていません。これを理解することは植物免疫学において重要な課題です。

<研究成果の内容>

本研究で河野教授らは、重要な作物であるイネがいもち病菌に対抗するための *Pit1* 遺伝子の隣に、遺伝子重複で生まれ進化の過程で機能が変化したパラログ²⁾である *Pit2* 遺伝子が存在することを発見しました。*Pit1* と *Pit2* タンパク質は直接結合し、ペア NLR タンパク質として機能していることが分かりました。解析の結果、*Pit1* タンパク質が免疫を誘導し（免疫誘導型）、*Pit2* タンパク質がいもち病菌を認識するセンサー（センサー型）として働いていることが明らかになりました（図 1）。

また、*Pit1* と *Pit2* タンパク質の機能を決定する重要なアミノ酸の部位を特定し、この変異により *Pit1* と *Pit2* タンパク質が「パラログ抑制³⁾」の関係だと推測されました。さらに、*Pit1* と *Pit2* タンパク質の進化を解析した結果、*Pit2* タンパク質の病原体を認識する部分である LRR ドメインに多くの変異が蓄積していることが分かりました。この変異によって、*Pit2* タンパク質は新たにいもち病菌を認識できるようになったと考えられました。このようにして、遺伝子が新しい機能を持つことを「新機能獲得」と呼びます。

今回の研究から、進化の過程でイネは、*Pit1* 遺伝子が遺伝子重複によって二つになり、二つのうちの一つの *Pit1* 遺伝子が免疫誘導型からセンサー型に分化してパラログである *Pit2* 遺伝子になったと推測されました（図 2）。*Pit2* タンパク質は、LRR ドメインに蓄積した変異により新たにいもち病菌を認識できるようになり、*Pit1* と *Pit2* タンパク質はペア NLR タンパク質として協調して働くと考えられました。

<社会的な意義>

この研究は、将来の食糧問題の解決に役立つ可能性があります。単一の免疫受容体で多くのイネいもち病菌を認識できる人工免疫受容体の設計を試みています。また、いもち病菌は最近、主要な穀物であるコムギでも広がっています。イネで開発した人工免疫受容体をコムギに導入することも



PRESS RELEASE

計画しており、この研究成果は、世界の二大穀物のいもち病菌に対する抵抗力を向上させることが期待されます。

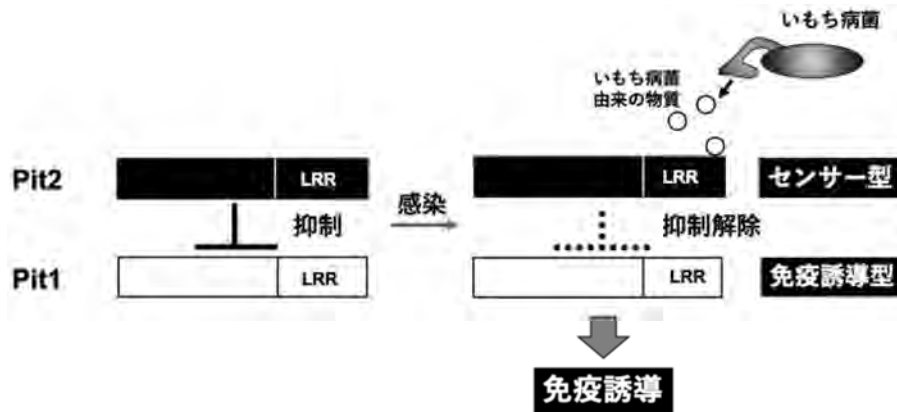


図1: Pit1とPit2による免疫誘導モデル

免疫誘導を行うPit1は、普段はセンサー型であるPit2により発現を抑えられています。Pit2のいもち病認識部位（LRRドメイン）がいもち病菌から放出された物質を感知すると、Pit1の抑制が解除され免疫が誘導されます。

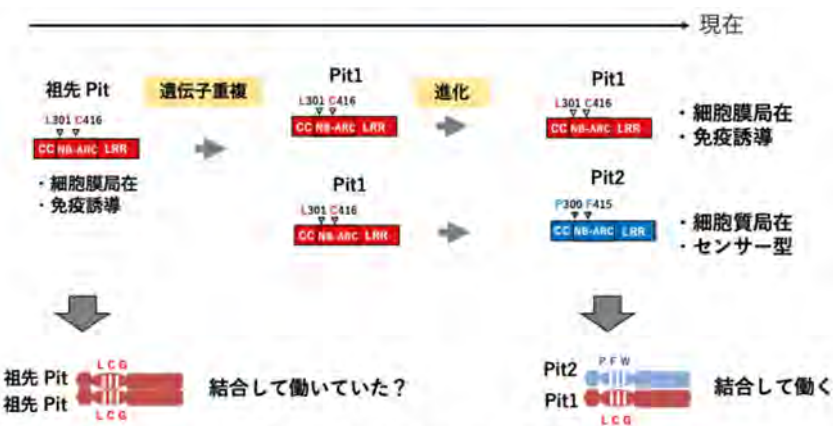


図2: Pit1とPit2の進化過程

Pit1の祖先型から遺伝子重複によって2個のPit1が生まれ、Pit1の機能にとって重要な領域（NB-ARCドメイン）に変異が起こることで、そのうちの1つがPit2に派生しました。頻繁に変異が起こる病原菌に対抗するため、免疫誘導の機能を司るPit1と、病原菌の変異に応じて自身の認識部位も変異させるセンサー型のPit2に機能を分けることで、病原菌に対抗する戦術だと考えられています。

■論文情報

論文名 : An NLR paralog Pit2 generated from tandem duplication of *Pit1* fine-tunes Pit1 localization and function

掲載紙 : *Nature Communications*

著者 : Yuying Li, Qiong Wang, Huimin Jia, Kazuya Ishikawa, Ken-Ichi Kosami, Takahiro Ueba, Atsumi Tsujimoto, Miki Yamanaka, Yasuyuki Yabumoto, Daisuke Miki, Eriko Sasaki, Yoichiro Fukao,



PRESS RELEASE

Masayuki Fujiwara, Takako Kaneko-Kawano, Li Tan, Chojiro Kojima, Rod A Wing, Alfino Sebastian, Hideki Nishimura, Fumi Fukada, Qingfeng Niu, Motoki Shimizu, Kentaro Yoshida, Ryohei Terauchi, Ko Shimamoto, Yoji Kawano

D O I : 10.1038/s41467-024-48943-5

U R L : <https://www.nature.com/articles/s41467-024-48943-5>

■研究資金

本研究は、科学研究費助成事業(23H02213; 20H02988; 17K07668; 26113712; 24113515)、日本学術振興会 二国間交流事業 (JPJSBP20237408)の助成を受け実施しました。

■補足・用語説明

1) 遺伝子重複: 遺伝子を含む DNA 領域が複製される現象です。この過程で、元の遺伝子のコピーが作られ、ゲノム内に新たな遺伝子が追加されます。

2) バラログ: 元々一つだった遺伝子が遺伝子重複によって二つ以上になったものです。パラログ遺伝子は、時間の経過とともに異なる機能を獲得する。

3) バラログ抑制: 遺伝子重複によって生じた類似した構造や機能を持つタンパク質 (パラログ) の機能や活性を抑制すること。

4) 参考文献

掲載紙: *EMBO Journal*

著者: Stella Césari, Hiroyuki Kanzaki, Tadashi Fujiwara, Maud Bernoux, Véronique Chalvon, Yoji Kawano, Ko Shimamoto, Peter Dodds, Ryohei Terauchi, Thomas Kroj

D O I : 10.15252/embj.201487923

U R L : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25024433/>

<お問い合わせ>

岡山大学 資源植物科学研究所

教授 河野 洋治 (かわの ようじ)

(電話番号) 086-434-1242

