

セシウムの吸収を大幅に低減できるイネの開発に成功

秋田県立大学
筑波大学
農業・食品産業技術総合研究機構

研究成果のポイント

- ・セシウムの吸収を大幅に低減できるイネの開発に成功しました。
- ・イネがセシウムを吸収する最も重要な輸送体を突き止めました。
- ・遺伝子組換えによらない方法で作出したイネであり、現地への普及も可能です。

研究の背景と経緯

2011年3月の東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故により、放射性セシウム (^{137}Cs 、 ^{134}Cs) による農地土壌の汚染が発生しました。放射性セシウムは半減期が長く、また土壌に吸着されやすいことから長期間にわたる農耕地の土壌汚染が問題となります。セシウムとカリウムは物理・化学的性質がよく似ているため、生物はセシウムを体内に取り込みやすく、イネをはじめとする植物は根のカリウムの輸送経路を通してセシウムを吸収していると考えられてきました。しかしながら、カリウムは窒素、リン、カリといわれるように植物の生育にとって重要な栄養成分であり、植物のカリウム吸収経路は数多く存在しています。

高等植物におけるセシウムの吸収経路は、大気圏内核実験やチェルノブイリ原発事故などを契機に70年以上も研究されてきましたが、どの経路によってセシウムが取り込まれているのかは今までわかっていませんでした。

この研究を始めた当初は、必須成分であるカリウムの輸送体を破壊すると植物が枯れてしまう可能性や、複数の輸送経路を持つため、たとえ一つの経路が壊れたとしても他の経路がバイパスとなり、セシウム吸収量が大きく減らない可能性も他の植物（シロイヌナズナ）の知見から示されていました。カリウムを特に多量に必要とするイネではカリウム輸送体遺伝子がゲノム上に50種類も見ついていることもあり、セシウムを吸わないイネは作れないのではないかと考えられていました。

研究の内容と意義

研究グループは突然変異集団からのスクリーニングという順遺伝学的なアプローチでセシウムを吸わないイネを探索しました。その結果、極端にセシウムを吸わないイネが確かに存在することを発見し、セシウムの吸収が低下している系統の原因遺伝子の特定とセシウムやカリウムなどの吸収特性の生理学的な解析を3研究機関が共同で進めました(図1)。

突然変異を誘発させた11000系統のあきたこまちの突然変異系統(遺伝子組換えでない)を圃場で栽培し、玄米を元素分析した結果、極端にセシウムを吸わない個体が3系統あることを発見しました(図2, 3)。この3系統は栽培試験の結果、外観はあきたこまちと大きく変わりませんが(図4)、稲わら

と玄米に含まれるセシウムが親系統に対して極端に低いものの、収量には大きな悪影響がみられないことが示されました(図 5)。

この系統を放射性セシウム濃度が高いカリウム欠乏圃場(作物がセシウムをもっとも吸収しやすい条件)で栽培した試験では、親品種(あきたこまち)の玄米の放射性セシウム濃度が 44 Bq/kgであったのに対し、検出限界の約 5 Bq/kg 以下となり、親品種の 10%以下と玄米の放射性セシウムを大幅に低減できることが証明できました。カリウムがかなり欠乏しているこの圃場では、開花期の遅れや収穫期に稲わらが若干もろくなるなどの影響も見られましたが、収量は親品種とほぼ同等に維持されていました(図 6)。

水耕栽培などで生理学的に解析した結果、得られたセシウム低吸収系統は根へのセシウムの取り込みが低く抑えられていることが明らかになりました(図 7)。

3 つのセシウム低吸収系統の遺伝子解析の結果、いずれの系統もカリウム輸送体遺伝子の一つ(OsHAK1)に変異があり、機能を失っていることが示されました。生理学的な解析結果と合わせ、OsHAK1 はイネの根が土壌からセシウムを吸収するときの最も重要な(ほぼ唯一の)輸送経路であり、その他の輸送体を経由した吸収は極わずかであることが明らかになりました(図 8)。

今後の展開

今回発表したセシウム低吸収系統は、イネが放射性セシウムを吸収しやすくなる低カリ条件の水田で玄米の放射性セシウムの大幅な低減効果が期待できます。セシウム低吸収系統はカリウム濃度によらずほぼセシウムを吸収しないため、従来実施されているカリウムの増肥に代わる新たな低減技術として利用できます(ただしカリ欠土壌では生育に必要なカリ分は施肥する必要があります)。

また、カリウムが比較的多い土壌条件下でも玄米のセシウム濃度は低下していることから、従来のカリ増肥などと組み合わせてこれまで以上に安全なお米の生産に貢献できると考えています。

参考図

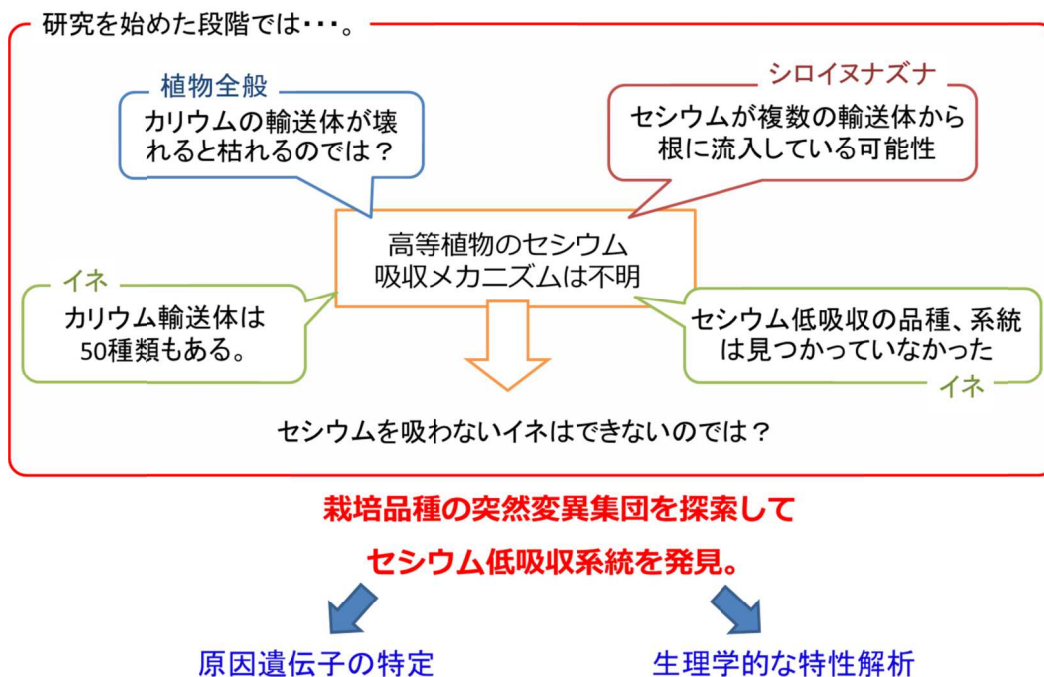


図1 イネのセシウム吸収に関する研究の背景と研究の流れ

試料

- 化学変異剤(MNU,アジ化ナトリウム)で突然変異を誘発したあきたこまちのM₃世代
注) 玄米のセシウム吸収において、あきたこまちは日本の栽培品種の中でコシヒカリなど玄米のセシウム量が低いグループに属しています。

方法

- 秋田県内の水田圃場で変異体イネ11000系統を栽培
- 収穫できた8027系統の玄米 → 自然条件下で微量に存在する¹³³Csを定量

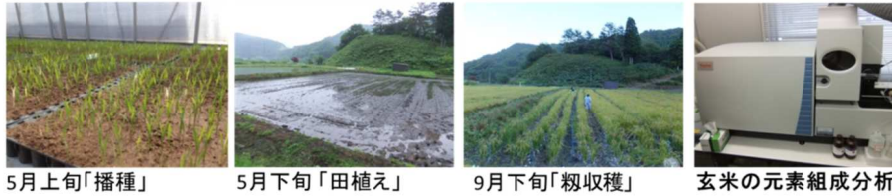


図2 本研究における突然変異水稻の作出手法

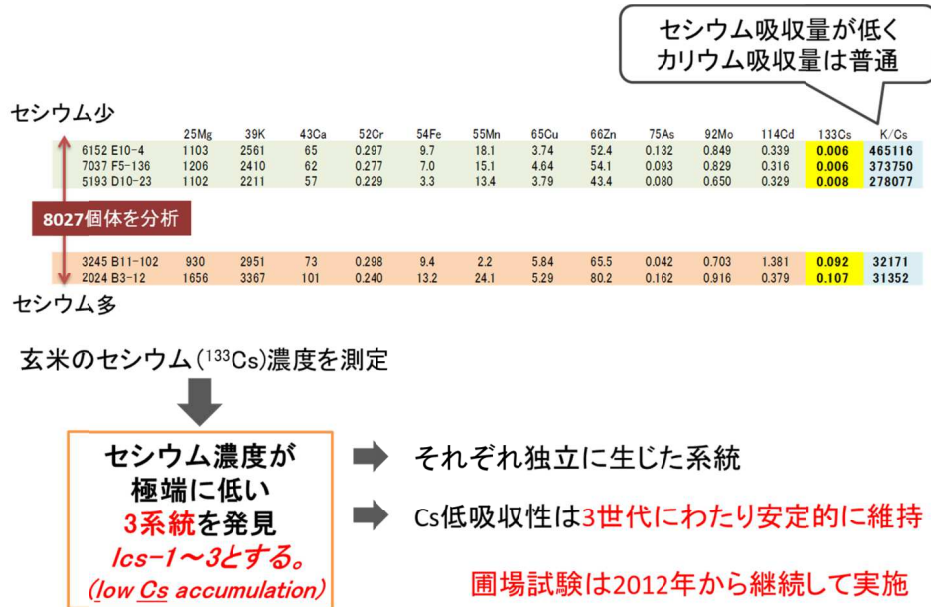
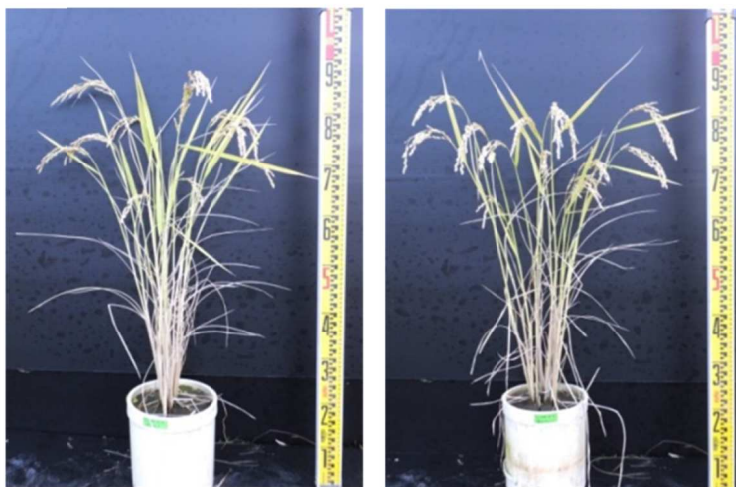


図3 セシウム低吸収変異体の探索



セシウム低吸収系統
lcs-3

対照

図4 セシウム低吸収系統の外観

秋田県大潟村の土壌を用いて試験用ポットで栽培しました。
 収穫期の外観では親品種のあきたこまちと大きな差は見られませんでした。

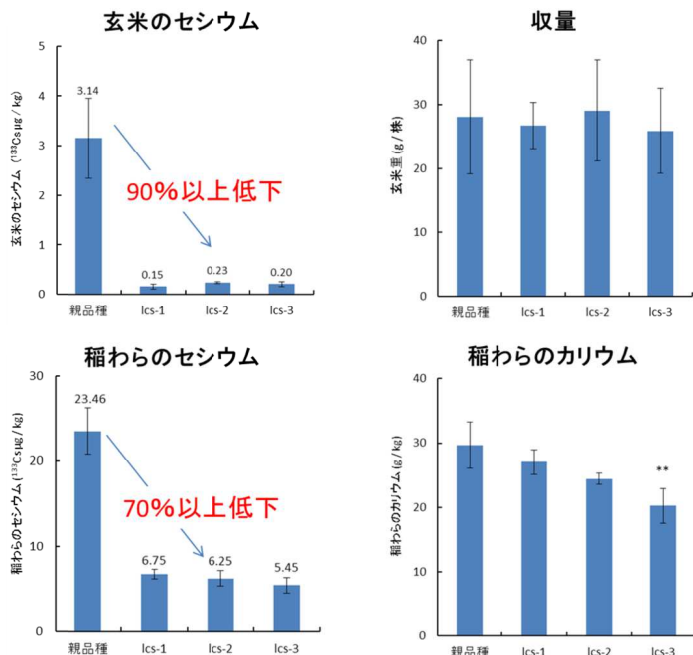


図5 セシウム低吸収系統の特性【2015年度 秋田県大潟村】

放射性セシウムで汚染されていない圃場で栽培し、安定同位体の ^{133}Cs を測定しました。稲わら、玄米のセシウム濃度は大きく低下するものの、稲わらに含まれるカリウムや玄米の収量に対する影響はみられませんでした。

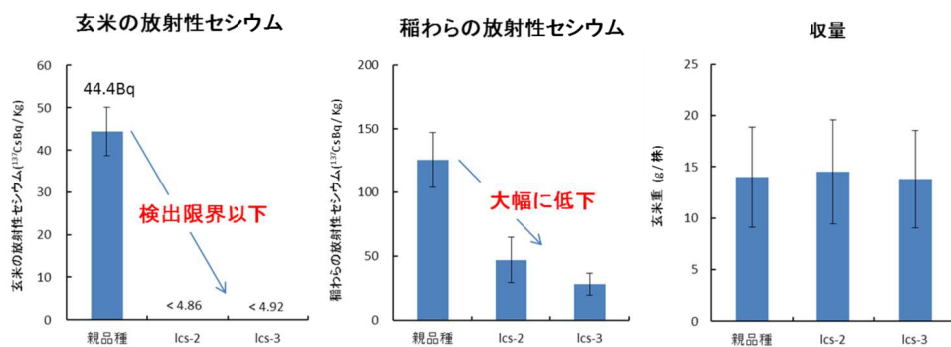


図6 放射性セシウム汚染圃場での栽培結果【2016年度 福島県】

セシウム低吸収系統 (lcs-2と3) および親品種のあきたこまちを約3,500 Bq/kgの ^{137}Cs を含み、交換性カリウム濃度は79 mg/kg (交換性カリウム濃度換算で95 mg/kg)という(セシウムを吸収しやすい)カリウム欠乏圃場で栽培しました。玄米のセシウム濃度は対照の10%近くに抑えられていました。

開花期の遅れや生育後半に稲わらが若干もろくなるなどの影響も見られましたが、その収量はほぼ同等でした。

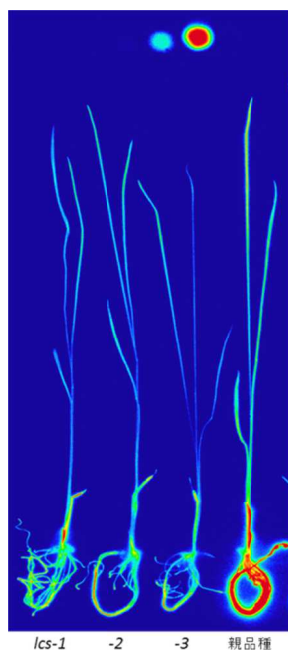


図7 根への ^{137}Cs の吸収解析

青⇒緑⇒黄⇒赤と ^{137}Cs の存在量が多くなることを示しています。親品種に対し、セシウム低吸収系統では根への ^{137}Cs の吸収が少ないことがわかります。

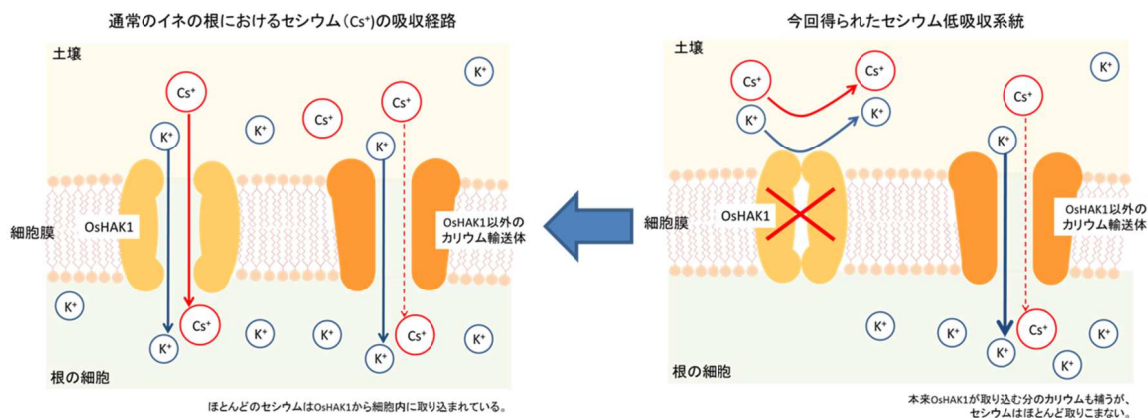


図8 推定されるイネの根におけるセシウムの吸収経路

低吸収系統が得られたことで、遺伝子の働きと生理学的な特性の比較が可能になり、イネがどのようにセシウムを吸収しているかが推定できました。

用語解説

注1) 輸送体

生体膜を貫通し、膜を通して細胞の外から内へもしくは中から外へ物質の輸送をするタンパク質のこと。トランスポーターとも呼ばれる。

注2) OsHAK1

イネに27種類あるカリウムの高親和性輸送体 (High-Affinity K⁺ transporter) の一つ。

注3) セシウム

ナトリウムやカリウムと同じアルカリ金属に属する原子番号55の元素。自然界には安定同位体の¹³³Csが環境中にごくわずかに存在している。ウランの核分裂によって生成される¹³⁷Csと¹³⁴Csは放射性同位体であり、半減期が各々30.2年と2.06年。自然崩壊に伴い放射線(β線、γ線)を放出する。

注4) 突然変異

化学変異剤や放射線照射などにより人為的に遺伝子に変異を与える方法。この手法によりイネではミルキーQueenなどが開発されています。なお、本技術により得られる突然変異体は遺伝子組換えではありません。

注5) カリ増肥

玄米の放射性セシウム濃度を基準値以下(100Bq/kg)にするために、土壌の交換性カリ濃度が25mg K₂O/100g 乾土以上になるよう通常施肥に上乗せしたカリ施用対策。セシウムはカリウムと植物への吸収において競合関係にあるため、カリ施用によって根からのセシウム吸収が抑制されます。

参考文献

1. 開発したセシウム低吸収システムのイネについては日本土壌肥料学会年次大会、ICOBTE でも報告しております。
 - ・ セシウム低吸収の水稻突然変異体の吸収制御遺伝子解析 日本土壌肥料学会 2016 年佐賀大会
 - ・ セシウムを吸わない突然変異水稻の開発とその解析 日本土壌肥料学会 2015 年京都大会
 - ・ Development of low caesium uptake *oryza sativa* by the chemical mutagen.
13th International Conference on the biogeochemistry of trace elements (ICOBTE2015) 2015 年

他の研究機関による発表

2. セシウム吸収を抑えた稲については農研機構から
コメの放射性セシウム低減対策の新戦力 2017 年 5 月 31 日
http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/niaes/075645.html
Ishikawa et al (2017) Low-caesium rice: mutation in *OsSOS2* reduces radiocesium in rice grains.
Scientific Reports, 7, 2432.
3. イネの *OsHAK1* のセシウム吸収への関与については本件論文発表と同時期に Plant Journal においても論文が公表されています。
Nieves-Cordones et al, (2017) Production of low-Cs⁺ rice plants by inactivation of the K⁺ transporter *OsHAK1* with CRISPR-Cas system. *in press*

掲載論文

【題 名】 Caesium uptake by rice roots largely depends upon a single gene, *HAK1*, which encodes a potassium transporter
(イネの根におけるセシウム吸収はほぼカリウム輸送体の *OsHAK1* によるものである。)

【著者名】 Hiroki Rai¹, Saki Yokoyama¹, Namiko Satoh-Nagasawa¹, Jun Furukawa², Takiko Nomi¹, Yasuka Ito¹, Shigeto Fujimura³, Hidekazu Takahashi¹, Ryuichiro Suzuki¹, ELMannai Yousra¹, Akitoshi Goto³, Shinichi Fuji¹, Shin-ichi Nakamura¹, Takuro Shinano³, Nobuhiro Nagasawa¹, Hiroetsu Wabiko¹, Hiroyuki Hattori¹

(頼 泰樹、横山 咲、佐藤(永澤) 奈美子、古川 純、能美 多希子、伊藤 那香、藤村 恵人、高橋 秀和、鈴木 龍一郎、エルマナイ ユスラ、後藤 昭俊、藤 晋一、中村 進一、信濃 卓郎、永澤 信洋、我彦 廣悦、服部 浩之)

1 : 秋田県立大学, 2 : 筑波大学, 3 : 農業・食品産業技術総合研究機構

※ 中村 進一は 4 月から東京農大に移籍しましたが、研究実施時は秋田県立大学に所属していました。

【掲載誌】 Plant and Cell Physiology

問合わせ先

頼 泰樹（らい ひろき）

秋田県立大学 生物資源科学部 生物生産科学科 （助教）

〒010-0195 秋田市下新城野字街道端西 241-438

Tel: 018-872-1655

E-mail: raihiro@akita-pu.ac.jp