

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：21401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H04272

研究課題名(和文) イネのセシウム吸収経路の全容解明(高等植物のセシウム吸収・輸送モデルの構築)

研究課題名(英文) Elucidation of the whole cesium uptake pathway in rice plant (Construction of the model of cesium absorption and transport in higher plants)

研究代表者

頼 泰樹 (Rai, Hiroki)

秋田県立大学・生物資源科学部・准教授

研究者番号：30503099

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：我々は玄米のCs濃度が1/10以下となるCs低吸収変異体を発見し、その原因遺伝子がOsHAK1であることを特定した。本研究では根から吸収したCsの体内輸送経路の特定を目指したが、明確な体内輸送経路は見出せなかった。Csは体内のK輸送経路のほとんどを通過できず、少量のCsが根から消極的に地上部に移行していることが明らかになった。チェルノブイリ以降の植物のCs研究ではHAKよりも電位非依存性(VIC channel)関与が考えられている。K輸送体以外にもVICも対象に加え、現在、OsHAK1との二重変異体の作成を進めている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々はOsHAK1を原因遺伝子とするCs低吸収変異体を発見し、この変異体を基軸として、本研究では主要なK輸送体のCs+輸送への関わりを調べたが、明確な体内輸送経路は見出せなかった。Csの体内輸送経路がKのそれとはまったく異なることが明らかになった。これは根への吸収を主に研究対象としていた植物のCs研究において新規の知見といえる。今後Cs輸送をK輸送体以外でも調べ、最終的にはCsを全く吸収しない植物の作出を目指す。この植物は万が一の際のCs対応策としてもその有用性は高いと考えられる。

研究成果の概要(英文)：We found a low Cs uptake mutant. The Cs concentration in brown rice of the mutant was less than 1/10 compared with wild type, and OsHAK1 was identified as the causative gene. In this study, we tried to identify the internal transport pathway of Cs absorbed from the roots, but we could not find a clear internal Cs transport pathway. It was suggested that Cs could not pass through most of the K transport system in the plant, and a small amount of Cs passively moved from the roots to the shoots. Cs studies in plants since Chernobyl have been considered to involve voltage-independent (VIC channel). We are currently creating a double mutant with OsHAK1 and the other mutant containing VIC.

研究分野：植物栄養学

キーワード：セシウム イネ カリウム 輸送体 放射性セシウム OsHAK1 輸送経路 原発事故

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災に起因した原発事故による放射性セシウム (Cs) の環境汚染は深刻な影響を被災地に与えている。チェルノブイリの知見から、農産物の汚染阻止のため、莫大なコストをかけて汚染土壌の剥ぎ取りやカリウム (K) 肥料の増肥が実施されている。しかしながら、環境に放出された放射性Csの動態については知見がない部分が多く、植物についてもCsをKの吸収経路から取り込むであろうこと以外、その詳細は明らかにできていなかった。

我々はこれまでの研究でイネの化学変異処理による突然変異によりCs低吸収変異体を作成し、K輸送体の1つであるOsHAK1がほとんどのCs⁺を根に取り込んでいることを突き止めた。しかし、OsHAK1をノックアウトしてもその変異体のCsの吸収量はゼロにはならず、イネはOsHAK1以外の経路からも少量のCs⁺を取り込んでいることが示唆された。また、OsHAK1変異体のCs動態解析で、Cs⁺は根に取り込まれた後にK⁺と異なる挙動を示し、Kの主要経路とは異なるCs輸送経路が予測された。そこでOsHAK1変異体を基軸にOsHAK5やOsAKT1など主要なK輸送体の変異体を用い、Cs⁺の体内輸送系の解析を試みた。

2. 研究の目的

本研究は、根の導管や葉鞘基部など分岐点で働くK輸送体の解析と変異体のトレーサー実験により、イネの主要なCs輸送経路を特定し、高等植物のCs吸収・輸送モデルの構築、そしてCsを完全に吸収しないイネの開発を目的とした。

3. 研究の方法

1) *OsHAK1* 欠失変異体は根へのCs吸収量は激減する。しかし、地上部のK⁺が不足する条件下では必要なK⁺を確保するため、導管へのK⁺の送り込みを担う*OsHAK5*などの発現量があがることがわかっている。多くのK輸送体の中で*OsHAK5*は*OsHAK1*と同じクラスターBのカテゴリに属し、両者の相同性は極めて高く、Cs⁺の導管への送り込みには*OsHAK5*の関与が強く示唆される。そこで*OsHAK5*をはじめとするK輸送体の導管周辺組織での発現解析およびK輸送体欠失Tosラインについて¹³⁷CsをトレーサーとしてCs動態解析を行った。

また、根における主要なK輸送体はチャンネルタイプの*OsAKT1*が考えられる。このKチャンネルについてもTosラインが入手可能であり、*oshak1*, *oshak5*, *osakt1*の3つの変異体についてトレーサーを用いたCs⁺とK⁺の動態解析を行った。ラジオアイソトープ (^{42,43}K, ¹³⁷Cs) をトレーサーとして与え、一定時間経過後にイネ体内の各トレーサーの濃度分布の違いを調べ、動態の違いを解析した。また、生きた植物中での物質動態を追跡できる植物用ポジトロンイメージングシステム (PETIS) でイネに吸収させたポジトロン核種 ¹²⁷Cs の移行を連続的に撮像し、植物体内でのCs動態の動画解析を行った。

2) Cs⁺を輸送するK輸送体の候補としてHAKが想定される。根で発現する欠失変異体の候補として*OsHAK5*のTos変異体および主要なKチャンネルの欠失変異体である*OsAKT1*のTos変異体と*OsHAK1*変異体を交配させて2重変異体を作成した。これらについても同様に水耕栽培による生理学的解析とトレーサー実験を実施した。

4 . 研究成果

我々は平成 27～29 年度の基盤研究 C で実施した研究で、玄米の Cs 濃度が 1/10 以下となる Cs 低吸収変異体を発見し、ゲノム解析と遺伝子マッピング、変異体に *OsHAK1* 遺伝子を再度導入するコンプリメンテーション実験を行い、その原因遺伝子が *OsHAK1* であることを特定した。本研究においては吸収された Cs の体内輸送の解析を行ってきた。しかし、Cs については明確な体内輸送経路が見出せなかった。イネでは根から吸収された Cs は体内の K 輸送経路をほとんど通過できず、ごく少量の Cs が根から消極的に地上部に移行している状態であることが示唆された。K の体内輸送系が Cs の通過できない K チャネル系で構築されているためと考えられた。

このように本研究で得られた実験結果はいずれもネガティブな結果であったが、植物体内の K 輸送経路と Cs 輸送経路は全く異なるということは間違いない。チェルノブイリ以降の植物の Cs 研究では HAK よりも電位非依存性 (VIC; Voltage-Insensitive Cation channel) が Cs 吸収に大きく関与していると考えられてきた。イネの場合 HAK の寄与度が高いが、K が多い土壌では VIC チャネルの寄与度が高いことが予想される。そこで K 輸送体の変異体ではなく VIC 変異体と *OsHAK1* との二重変異体を作り、イネの根への Cs 吸収経路の解明を進めたほうがよいと考えられた。現在 VIC チャネル遺伝子を欠失した複数の変異体入手し K 輸送体以外にも選択肢を広げて 2 重変異体の作成を進めている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Jun-Song Li, N. Suzui, Y. Nakai, Yon-Gen Yin, S. Ishii, S. Fujimaki, N. Kawachi, H. Rai, T. Matsumoto, K. Sato-Izawa, N. Ohkama-Ohtsu, S. Nakamura	4. 巻 305
2. 論文標題 Shoot base responds to root-applied glutathione and functions as a critical region to inhibit cadmium translocation from the roots to shoots in oilseed rape (<i>Brassica napus</i>).	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant Science	6. 最初と最後の頁 110822
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.plantsci.2021.110822	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 頼 泰樹、河端 美玖	4. 巻 6
2. 論文標題 土壌、そして植物への放射性セシウムの動態	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 化学と生物	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Hiroki Rai, Miku Kawabata	4. 巻 -
2. 論文標題 The dynamics of radio-caesium in soils and mechanism of caesium uptake into higher plants: Newly elucidated mechanism of caesium uptake into rice plants.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontier in Plant science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Nakamura S, Suzui N, Yin YG, Ishii S, Fujimaki S, Kawachi N, Rai H, Matsumoto T, Sato-Izawa K, Ohkama-Ohtsu N	4. 巻 290
2. 論文標題 Effects of enhancing endogenous and exogenous glutathione in roots on cadmium movement in <i>Arabidopsis thaliana</i> .	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakamura S, Wongkaew A, Nakai Y, Rai H, Ohkama-Ohtsu N.	4. 巻 283
2. 論文標題 Foliar-applied glutathione activates zinc transport from roots to shoots in oilseed rape.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant Science	6. 最初と最後の頁 424-434
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 鈴木伸郎, 河地有木, 古川 純, 田野井慶太郎	4. 巻 68(9)
2. 論文標題 植物科学における放射線イメージング	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RADIOISOTOPES	6. 最初と最後の頁 643-657
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Noda Yusaku, Yoshihara Toshihiro, Suzui Nobuo, Yin Yong-Gen, Miyoshi Yuta, Enomoto Kazuyuki, Kawachi Naoki	4. 巻 198
2. 論文標題 Visualization of the initial radiocesium dynamics after penetration in living apple trees with bark removal using a positron-emitting 127Cs tracer	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Radiation and Isotopes	6. 最初と最後の頁 110859 ~ 110859
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apradiso.2023.110859	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Suzui Nobuo, Shibata Takuya, Yin Yong-Gen, Funaki Yoshihito, Kurita Keisuke, Hoshina Hiroyuki, Yamaguchi Mitsutaka, Fujimaki Shu, Seko Noriaki, Watabe Hiroshi, Kawachi Naoki	4. 巻 10
2. 論文標題 Non-invasive imaging of radiocesium dynamics in a living animal using a positron-emitting 127Cs tracer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 16155-16155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-73351-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計19件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 頼泰樹, 古川純, 佐々木翔渚, 高橋真央, 河端美玖, 増田寛志, 松本武彦
2. 発表標題 水稻のOsHAK1変異体のカリウムイオン吸収能について
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々木翔渚, 雨宮あや乃, 河端美玖, 金井みなみ, 高橋真央, 増田寛志, 松本武彦, 頼泰樹
2. 発表標題 水稻の玄米Ni低濃度変異体(Ini)の輸送解析
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 頼泰樹, 河端美玖, 雨宮あや乃, 横山咲, 佐藤奈美子, 永澤信洋, 我彦廣悦, 服部浩之, 古川純, 藤村恵人, 後藤明俊
2. 発表標題 水稻のセシウムの吸収メカニズムの解明
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 雨宮あや乃, 佐々木翔渚, 河端美玖, 増田寛志, 服部浩之, 頼泰樹
2. 発表標題 カドミウム低吸収変異あきたこまちの原因遺伝子解析
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木翔渚, 雨宮あや乃, 河端美玖, 増田寛志, 服部浩之, 頼泰樹
2. 発表標題 水稻のニッケル(Ni)低吸収変異体のNiの吸収・輸送解析
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河端美玖, 佐々木翔渚, 雨宮あや乃, 増田寛志, 服部浩之, 頼泰樹
2. 発表標題 イオンビーム照射によるダイズのCs低吸収突然変異体の作出
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 頼 泰樹
2. 発表標題 水稻のセシウム吸収メカニズムの解明
3. 学会等名 東北植物学会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 頼 泰樹、河端 美玖、雨宮 あや乃、横山 咲、佐藤 奈美子、永澤 信洋、我彦 廣悦、服部 浩之、古川 純、藤村 恵人、後藤 明俊
2. 発表標題 水稻のセシウムの吸収メカニズムの解明
3. 学会等名 日本土壌肥料学会 2019年度東北支部会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 頼 泰樹、古川 純、河端 美玖、雨宮 あや乃、上野 真菜、藤村 恵人、佐藤 奈美子、服部 浩之
2. 発表標題 水稻におけるセシウムの体内輸送への ⁰ sHAK5の関与の可能性
3. 学会等名 日本土壌肥料学会 2019年度東北大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Suzui Nobuo, Shibata Takuya, Yin Yong-Gen, Funaki Yoshihito, Kurita Keisuke, Hoshina Hiroyuki, Yamaguchi Mitsutaka, Fujimaki Shu, Seko Noriaki, Watabe Hiroshi, Kawachi Naoki
2. 発表標題 Development of the positron-emitting ¹²⁷ Cs tracer for non-invasive imaging of radiocesium dynamics in living animals and plants
3. 学会等名 2021 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴井伸郎
2. 発表標題 植物体内のセシウム動態を可視化するポジトロン放出核種 ¹²⁷ Csトレーサの開発
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会(招待講演) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田野井慶太郎、古川 純、河地有木、鈴井伸郎、渡部浩司、堀江智明、日高功太、丸山隼人
2. 発表標題 初心者のための植物(だけじゃない)RIイメージング実験のはじめ方
3. 学会等名 第59回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菅野里美、藤村恵人、古川 純、高橋純子、李晨煜、信濃卓郎、Leonhardt Nathalie
2. 発表標題 イネのカリウム・ナトリウム輸送体HKT2;1の欠損がセシウム吸収・輸送へ与える影響 2
3. 学会等名 第59回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kinoshita Natsuko, Irving Louis, Lustig Barry, Furukawa Jun
2. 発表標題 Effects of nitrogen on cesium allocation in rice plants (<i>Oryza sativa</i>)
3. 学会等名 第64回日本植物生理学会年会 / Singapore-Japan Bilateral Symposium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 菅野 里美、藤村 恵人、古川 純、高橋 純子、李 晨煜、信濃 卓郎、Leonhardt Nathalie
2. 発表標題 イネのカリウム・ナトリウム輸送体HKT2;1の欠損がセシウム吸収・輸送へ与える影響
3. 学会等名 第63回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野田 祐作、佐藤 忍、古川 純、河地 有木
2. 発表標題 夏および秋の樹木内セシウム動態とセシウム輸送体PttSKOR-like2との相関解析
3. 学会等名 QST高崎サイエンスフェスタ (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野田 祐作、佐藤 忍、古川 純
2. 発表標題 樹木内セシウム輸送の日長による制御とセシウム輸送体PttSKOR-Like2との相関解析
3. 学会等名 第18回放射線プロセスシンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古川 純
2. 発表標題 水稻におけるセシウムの吸収と体内での動き
3. 学会等名 日本土壤肥料学会主催シンポジウム「原発事故から10年-これまで・今・これからの農業現場を考える」（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Furukawa Jun
2. 発表標題 Analysis of radioactive cesium behavior in land plants
3. 学会等名 原発事故から10年後の福島の”森・川・海”と”食”～復興に向けて残された課題～（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 米山 忠克、長谷川 功、関本 均	4. 発行年 2023年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 232
3. 書名 新植物栄養・肥料学 改訂版	

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 セシウム吸収を制御する遺伝子およびセシウム低吸収性植物	発明者 頼 泰樹 佐藤奈美子 その他	権利者 公立大学法人 秋田県立大学
産業財産権の種類、番号 特許、6874956号	取得年 2021年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	古川 純 (Furukawa Jun) (40451687)	筑波大学・生命環境系・准教授 (12102)	
研究分担者	鈴木 伸郎 (Suzui Nobuo) (20391287)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 放射線生物応用研究部・主幹研究員 (82502)	
研究分担者	永澤 奈美子(佐藤奈美子) (Nagasawa Namiko) (00535289)	秋田県立大学・生物資源科学部・准教授 (21401)	
研究分担者	永澤 信洋 (Nobuhiro Nagasawa) (90599268)	秋田県立大学・生物資源科学部・准教授 (21401)	
研究分担者	鈴木 龍一郎 (Suzuki Ryuichiro) (70632397)	秋田県立大学・生物資源科学部・助教 (21401)	
研究分担者	増田 寛志 (Masuda Hiroshi) (40605268)	秋田県立大学・生物資源科学部・助教 (21401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------