

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 23 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23380189

研究課題名(和文) 石油希少時代のイネ栽培における地表根形成の有用性に関する研究

研究課題名(英文) Study pertaining to the availability of soil-surface rooting for rice cultivation in the Era of Petroleum Scarcity

研究代表者

佐藤 雅志 (SATO, Tadashi)

東北大学・生命科学研究科・産学官連携研究員

研究者番号：40134043

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,100,000円、(間接経費) 3,030,000円

研究成果の概要(和文)：インドネシアの水稲品種の水田土壌表面への太い1次根伸張(地表根)は、量的遺伝子座の解析の結果、第7染色体長腕に座位する主要遺伝子に支配されていることを見出した(Uga et al. 2011)。さらに、日本水稲品種日本晴の種子カルス由来の突然変異系統が示す地表根は、第4染色体短腕末端に座位する遺伝子の33個の塩基対の欠損によることを明らかにした(Hanzawa et al. 2013)。この突然変異体の1次根の地表根形成は、重力感受性の欠損によることを明らかにした。この突然変異体を用いた栽培試験の結果、塩害などの問題土壌水田における耐性強化に寄与することが示唆された。

研究成果の概要(英文)：We clarified the genetic factors controlling soil-surface rooting by using recombinant inbred lines derived from a cross between Gemdjah Beton, an Indonesian lowland rice cultivar with soil-surface roots, and Sasanishiki, a Japanese lowland rice cultivar without soil-surface roots. We identified a major genetic factor on long arm of chromosome 7, and then designated this QTL qSOR1 (Uga et al. 2011).

We found a soil-surface rooting mutant from an M2 population that was regenerated from seed calli of a japonica rice cultivar, Nipponbare. The sor1, a rice mutant causing soil-surface rooting and altered root gravitropic response, is allelic to Os04g0101800 on the terminal region of the short arm of chromosome 4. The 33-bp deletion is responsible for the mutant phenotypes (Hanzawa et al. 2013). The result of cultivation trial by using this mutant suggest that the soil-surface rooting may be useful for increasing tolerance to some of the problematic soil types such as saline paddy field.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：境界農学・環境農学

キーワード：イネ遺伝資源 突然変異系統 地表根形成 問題水田 遺伝子単離 準同質遺伝系統 収量 熱帯アジア地域

1. 研究開始当初の背景

(1) イネの根系形態の多様性に関しては、穂数型品種は、冠根が多く、浅く張り、卵を横にした形に分布し、穂重型品種は、冠根が少なく、太く、深く張ると認識されてきた。しかし、世界で栽培されているイネのコアコレクションを用いた研究から、根系の分布形態はさらに多様であることが指摘されている (Price et al. 2002, Uga et al. 2009)。焼畑などで栽培されてきた熱帯日本型に分類されるイネ品種には、穂重型にもかかわらず地表面上および地表面近くに冠根を伸長する (佐藤ら 2008)。

(2) イネ冠根が水田の地表面上または近くに分布することが、施肥効率の向上、環境微生物の共生、アレロパシー効果に寄与することが示唆されているものの、根が地表面近くに分布する形質を支配する遺伝子を見出した研究は報告されていない。

(3) 植物の根は、水分獲得、養分吸収および形態維持だけでなく、難溶性リン酸の吸収を促進する微生物の繁殖に有効な有機酸、雑草の生育を抑制するアレロパシー物質などを分泌していることが明らかにされている。河川や湖沼の富栄養化の要因である湛水中に溶出した肥料成分を、効率よく吸収するためにも地表面近くに冠根を分布するイネを育種することが有効であると考えた。根から分泌されるアレロパシー物質は、環境汚染源である除草剤などの薬剤を用いずに雑草を防除できる手段として注目されている。アレロパシー活性はイネにおいても報告されているが、圃場において有効性が確認された品種は、赤米系統など陸稲由来の一部の品種に留まっているのが現状である。申請者は、この効果を高めるためにも、雑草が芽生える地表面近くに冠根を分布するイネを育種することが有効であると考えた。

(4) 日本の水稲品種では、成育後期に「うわ根」と呼ばれる細い根がマット状に地表面近くに発達することは知られているが、成育初期から太い冠根が地表面近くに伸長してくる形質はみられない。日本水稲品種において、湛水中の溶出した肥料成分を効率よく吸収し、アレロパシーによる雑草防除を有効にするためには、焼畑で栽培されてきた熱帯日本型に属する陸稲にみられる地表近くに伸長してくる (地表近く又は地表面上に伸長してくる冠根を「地表根」と呼ぶ) 形質に関わる遺伝子を導入することが有効であると考えた。

2. 研究の目的

この研究の目的は、(1) QTL 解析により検出された地表根形成に関わる第7染色体上の領域に座乗する原因遺伝子の単離に向けた絞り込みおよび原因遺伝子の生理機能の解明、(2) 地表根を形成する突然変異系統の原因遺伝子の単離および生理機能の解明、(3) 地表根形成に関わる遺伝子が座

乗している染色体領域が組み替えられた準同質遺伝系統 (Near Isogenic Line; NIL) および地表根を形成する突然変異系統を用いた養分不足および問題圃場における生育および収量への地表根の有効性の解明、(4) 熱帯アジアの国々で広く栽培されているインド型イネ品種「IR64」への地表根遺伝子の導入である。

3. 研究の方法

地表根を形成する NIL は、インドネシアの高地で栽培されてきた熱帯日本型に分類される在来イネ品種“Gemulah Beton”と日本水稲品種“ササニシキ”とを交配した交雑第1世代に由来する自殖系統集団を用いた、地表根形成に関わる量的遺伝子 (Quantitative Trait Loci; QTLs) 解析の結果に基づき、第7染色体上の QTL 領域が Gemulah Beton 由来の染色体に組み替えられている系統である。この結果に基づいて、戻し交雑によりササニシキの染色体に Gemulah Beton 由来の地表根形成に関わる遺伝子領域が導入された準同質遺伝系統を作出する。

日本水稲品種日本晴由来の地表根突然変異系統とインド型イネ品種との交配後代集団を用いて、原因遺伝子のマップベースクローニングを行う。

作出された地表根を形成する NIL および突然変異系統を用いて施肥が制限された水田および塩害水田において、生育および収量を調査する。

地表根を形成する Gemulah Beton および突然変異系統と熱帯アジアの国々で広く栽培されているインド型イネ品種との交配および選抜により、地表根遺伝子の導入をはかる。

4. 研究成果

インドネシアの高地で栽培されてきた熱帯日本型に分類される在来イネ品種“Gemulah Beton”と日本水稲品種“ササニシキ”とを交配した交雑第1世代に由来する自殖系統集団を用いて、水田において地表根形成に関わる4量的遺伝子 (Quantitative Trait Loci; QTLs) を第3、第4、第6および第7染色体上に検出した。それらのなかで第7染色体上に検出された QTL は寄与率が高かった。温室でのキャップ法による戻し交雑後代 (BC₂F₃) 7個体の冠根の伸長角度を精査した結果から、第7染色体上に検出された QTL は DNA マーカー RM21941 から RM21976 までの 812-kb の領域に座位していることが示唆された。これらの結果から、その QTL を *qSOR1* (*quantitative trait locus for SOIL SURFACE*

ROOTING 1) とした (Uga et al. 2011)。さらに、地表根形成に関わる生理要因の解明および問題圃場における耐性試験で用いるために、地表根形成に関わる遺伝子が座乗している染色体領域が組み替えられた準同質系

統を作出した。

日本水稻品種“日本晴”の種子カルスに由来する M₂ 集団から地表根を形成する突然変異体を選抜した。その突然変異体は、1 次根の伸長時に、重力感受性を欠損していることを見出した。その地表根形成に関わる遺伝子を、突然変異体と地表根を形成しないインド型イネ品種“カサラス”との交配後代(F₂) 集団を用いて遺伝要因を解析し、地表根形成に関わる遺伝子が第 4 染色体短腕末端の RM16254 から 2935-6 までの 136-kb に座乗していることを検出した。その領域に座乗している 13 個の ORF から、唯一欠損が認められた *Os04g01011800* を候補遺伝子として見出した。ワイルドタイプである“日本晴”由来の遺伝子 *Os04g01011800* を導入された突然変異個体が正常な重力感受性を示したことから、地表根形成に関わる原因遺伝子は 33 塩基対の欠損のある *Os04g01011800* であると結論した。その突然変異遺伝子を *sor1* (*soil-surface rooting 1*) とした (Hanzawa et al. 2013)。

作出した地表根形成の準同質系統および地表根突然変異系統を、塩水を付加した、養分を制限した問題水田において栽培し、突然変異系統では対照系統に比較して収量低下の軽減が認められた。

熱帯アジアの国々で広く栽培されているインド型イネ品種“IR64”に交配により地表根遺伝子 *qSOR1* の導入をすすめ、戻し交雑により BC₁F₁ 世代を得るまでに至った。さらに、リン酸欠乏耐性などの不良土壌環境耐性に関わる QTL の集積を後輩にすすめた。さらに、地表根突然変異系統の有している遺伝子の導入もすすめ、今度の栽培試験に用いる系統候補を得ることが出来た。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)

Hanzawa E. Sasaki K. Nagai S. Obara M. Fukuta Y. Uga Y. Miyao A. Hirochika H. Higashitani A. Maekawa M. Sato T.、Isolation of a novel mutant gene for soil-surface rooting in rice (*Oryza sativa* L.)、2013 年、Rice 6:30、<http://www.thericejournal.com/content/6/1/30>、査読有り

Uga Y.、E. Hanzawa, S. Nagai, K. Sasaki, M. Yano, T. Sato、Identification of qSOR1, a major rice QTL involved in soil-surface rooting in paddy fields. 2012 年、Theoretical and Applied Genetics 124:75-86、DOI 10.1007/s00122-011-1688-3、査読有り

[学会発表](計 6 件)

Hanzawa E., K. Sasaki, M. Obara, Y.

Fukuta, Y. Uga, A. Higashitani, M. Maekawa, T. Sato、Fine mapping for a novel gene for soil-surface rooting in rice (*Oryza sativa* L.)、7th International Rice Genetics Symposium、2013 年 11 月 5-8 日、マニラ、フィリピン

Tomita A., J. Pariasca Tanaka, W. Matthias, Y. Fukuta、Genetic variation of tolerance for iron toxicity using agar nutrient solution in rice、7th International Rice Genetic Symposium、2013 年 11 月 5-8 日、マニラ、フィリピン

富田朝美、福田善通、Wissuwa Matthias、寒天添加水耕培地を用いた鉄毒耐性に関するイネ遺伝的変異の解明、日本育種学会講演会、2013 年 3 月 27-28 日、東京農業大学

Hanzawa E., K. Sasaki, A. Miyao, H. Hirochika, A Higashitani, M. Maekawa, T. Sato、A recessive rice mutant that grows soil-surface roots in paddy field shows the deficiency in gravitational response of primary roots、International Symposium on root systems biology、2012 年 9 月 19-21 日、Academia Sinica, Taiwan

Uga Y.、E. Hanzawa, S. Nagai, K. Sasaki, K. Ebana, M. Yano, T. Sato、qSOR1, a major rice QTL involved in soil-surface rooting in paddy fields、JSRR Synposium、2011 年 11 月 5-6 日、東京大学

半澤栄子、佐々木和浩、宇賀優作、佐藤雅志、イネの根の伸長方向に関わる形態評価と多様性、日本育種学会講演会、2011 年 9 月 24 日、福井大学

Sato T.、E. Hanzawa, Y. Uga、Identification of genetic factors for soil-surface rooting in rice、The 7th Asian Crop Science Association Conference、2011 年 9 月 27-30 日、ボゴール、インドネシア

[図書](計 2 件)

佐藤雅志、玉川大学出版部、「栽培イネと稲作文化」佐藤洋一郎・赤坂憲雄編『フィールド科学の入口イネの歴史を探る』、2013、121-162

武藤千秋、佐藤雅志、思文閣出版、「北部ラオス地域にみる焼畑の終焉とイネ遺伝資源の消失」鞍田崇・原田信男編『焼畑の環境学 いま焼畑とは』、2011、404-426

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 雅志 (SATO TADASHI)

東北大学・大学院生命科学研究所・産学官連携研究員

研究者番号：40134043

(2) 研究分担者

宇賀 優作 (UGA YUSAKU)

独立行政法人農業生物資源研究所・農業生物先端ゲノム研究センター・主任研究員

研究者番号：00391566

福田 善通 (FUKUTA YOSHIMICHI)
独立行政法人国際農林水産業研究センター・生物資源・利用領域・プロジェクトリーダー
研究者番号：40399374