

古代人の“緑の革命”

～イネにおける“緑の革命” 遺伝子の人類への貢献：近代育種と栽培化～

平成23年6月20日

<概要>

1940～1960年代にイネやコムギで“緑の革命”が起こり、収量が飛躍的に増加しました。イネで大きく貢献した遺伝子はSD1(*Semi-dwarf1*、半矮性遺伝子、この変異体の草丈は低くなる)であり、現在でも世界中の多くの品種でこの遺伝子が活用されています。

名古屋大学、神戸大学、総合研究大学院大学、農業生物資源研究所、農林水産先端技術研究所がこの遺伝子について詳細に調べてみると、“緑の革命”が起こった近代育種よりはるか数千年前の古代の人々が、野生イネから栽培イネが成立する際このSD1遺伝子の変異した個体、つまり草丈が低くなるイネを選抜し、積極的に栽培していた可能性が高いことを今回明らかにしました。古代の人々はイネの草丈に当時から興味をもっており、倒れにくいイネを選んできたと考えられました。以上のことから、古代人はSD1遺伝子を既に利用していたことがわかり、「“緑の革命”は古代にも起こっていたかもしれない」と思い描くことができ、野生イネから栽培イネへの進化を考える上で非常に興味深い結果が明らかになりました。この研究成果は6月6日(米国時間)に米国科学アカデミー紀要のオンライン版に掲載されました。

<研究の背景>

栽培化とは野生植物から栽培植物になる過程をいい、遺伝的な改良によって野生種から人間が都合の良い植物(栽培種)を作り出したことをいいます。その結果、種子が大きくなる、種子数が増加する、収穫時に種子が落ちなくなる、植物の生長や開花が揃う、植物体の形が変わる、などの改良が行われてきたと考えられます。次に、20世紀に入って栽培植物の生殖様式がわかると人工交配等を利用した近代育種が進み、現在の「コシヒカリ」などの近代品種が生み出されてきました。

アジア栽培イネ(*Oryza sativa*)は、その祖先となる野生種オリザ・ルフィポゴン(*Oryza rufipogon*)から約1万年前に古代の人々によって栽培化されたと考えられています(図1)。その後1960年代にイネで“緑の革命(Green Revolution)”が起こり、収量が2倍以上増加しました。イネで大きく貢献した遺伝子はSD1(*Semi-dwarf1*、半矮性遺伝子)です。この劣勢遺伝子sd1のお陰で草丈は低くなって倒れにくく、穂は小さくなりません。化学肥料を利用すると、施量に応じコメの収量が上がりました。その成果として、国際イネ研究所は「IR8」(図1)などの優良品種を多数育成し、現在sd1が導入された品種が世界中で栽培されています。

この“緑の革命”とsd1はイネの近代育種の中でも最も重要な成果として知られています。しかし、このSD1遺伝子群の貢献は近代育種だけではないことが今回わかりました。

<研究内容>

アジア栽培イネは、一般に日本型イネ品種群(*japonica*)とインド型イネ品種群(*indica*)の2つに大別されています。それぞれの群は祖先種オリザ・ルフィポゴンから異なった栽培化の過程を経てきたと考えられています。今回はイネの形、中でも草丈(論文では稈長)に注目し、イネが栽培化される過程で草丈がどのように変化したのかを調べました。図1に示されている「日本晴」(*japonica*、日本原産、草丈は低い)と「Kasalath」(*indica*、インド原産、草丈は高い)との交雑集団を使った遺伝解析の結果、「日本晴」と「Kasalath」の草丈の違いが主にSD1の機能の差のためであることを明らかにしました。「日本晴」と「Kasalath」との間にはSD1の機能を変化させる2箇所のDNA変異がありました(図2)。SD1は植物ホルモンであるジベレリンの生合成を制御しており、酵素活性を測定すると「日本晴型SD1」の活性が「Kasalath型SD1」より小さいことがわかりました。この酵素活性の差が「Kasalath」に比べると「日本晴」の草丈が低い原因の一つでした。このように同じ遺伝子でもDNAの配列が少しずつ異なるものを対立遺伝子と呼んでおり、「日本晴型SD1」対立遺伝子は“緑の革命”に貢献した*sd1*とは異なるものでした(図2)。

世界から収集したアジア栽培イネ72在来品種と祖先種ルフィポゴン42系統を調べると日本型イネ品種群は全て「日本晴型SD1」を持っていたのに対して、ルフィポゴンの全系統とインド型イネ品種群のほとんどは「Kasalath型SD1」であり、明確な違いが発見されました。さらにSD1の塩基配列とその多様性を詳細に調べると、ルフィポゴンの多様性に対して、日本型イネ品種群はたった2%の多様性しか残っておらず、インド型イネ品種群は75%の多様性を維持していました。さらにSD1の周辺領域でも、日本型イネ品種群の多様性は非常に低いことも確認できました。この日本型イネ品種群の多様性の激減(もしくは一様であること)は「日本晴型SD1」が積極的に選ばれたことが原因と考えられ(図3)、統計解析の結果この考えが支持されました。以上のことから、日本型イネ品種の成立の過程で古代の人が「日本晴型SD1」をもつ草丈の低い個体を選抜し、栽培していったと考えられました。

SD1遺伝子は“緑の革命”を含む近代育種だけでなく、栽培イネの成立にも重要な貢献していることが今回明らかになりました。このように栽培化(及び家畜化)にも近代育種にも貢献した動植物遺伝子はこれまで報告がなく、SD1遺伝子が初めての例となります。草丈を含む栽培植物の草型の改良は現代の重要な育種目標の一つですが、古代人は既に草丈に興味があり、倒伏しにくい背の低いイネを当時から好んでいたと考えられました。以上のことから、古代人はSD1遺伝子を既に利用していたことがわかり、「“緑の革命”は古代にも起こっていたかもしれない」と思い描くことができ、野生イネから栽培イネへの進化を考える上で非常に興味深い結果を明らかにできました。

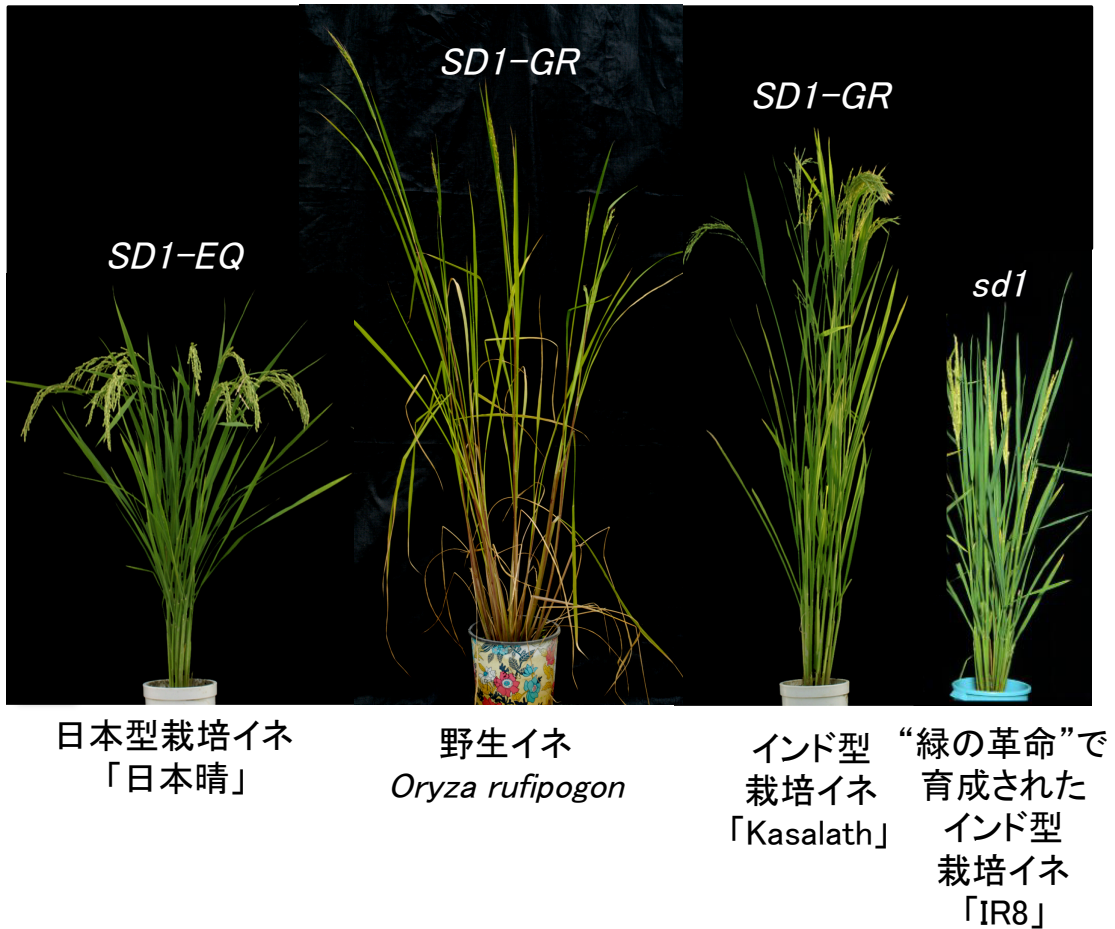


図1 今回実験で使用したイネの写真と *SD1* 遺伝子のタイプ。

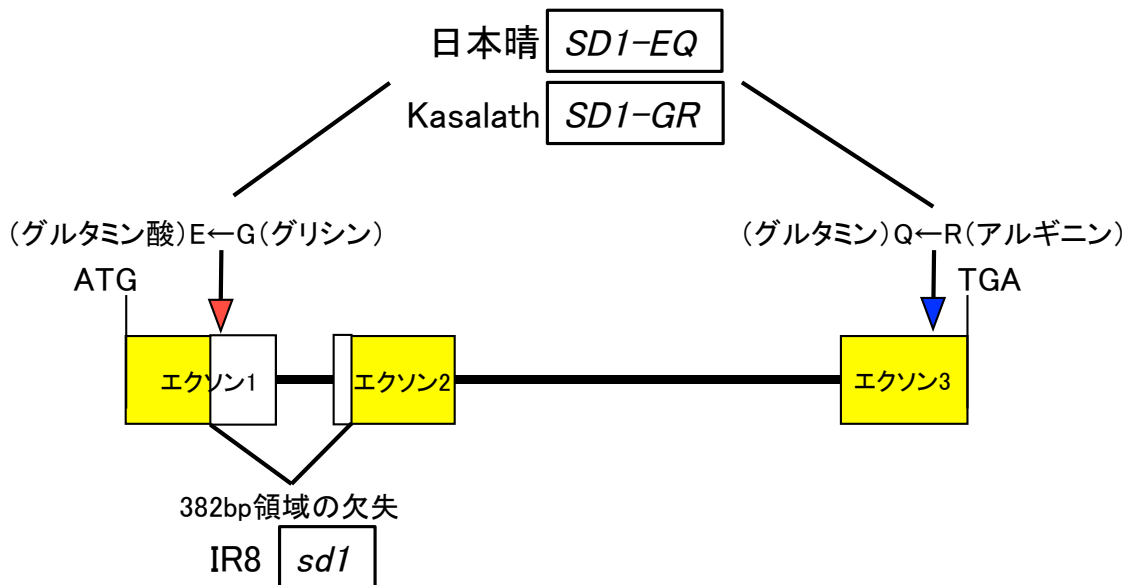


図2 “緑の革命”に貢献したタイプ(*sd1*)と「日本晴型 *SD1*」タイプ(*SD1-EQ*)は変異した場所が異なる。古代人は、「日本晴型 *SD1*」をもつ草丈の低い個体を選抜し、日本型栽培イネの成立に貢献した。

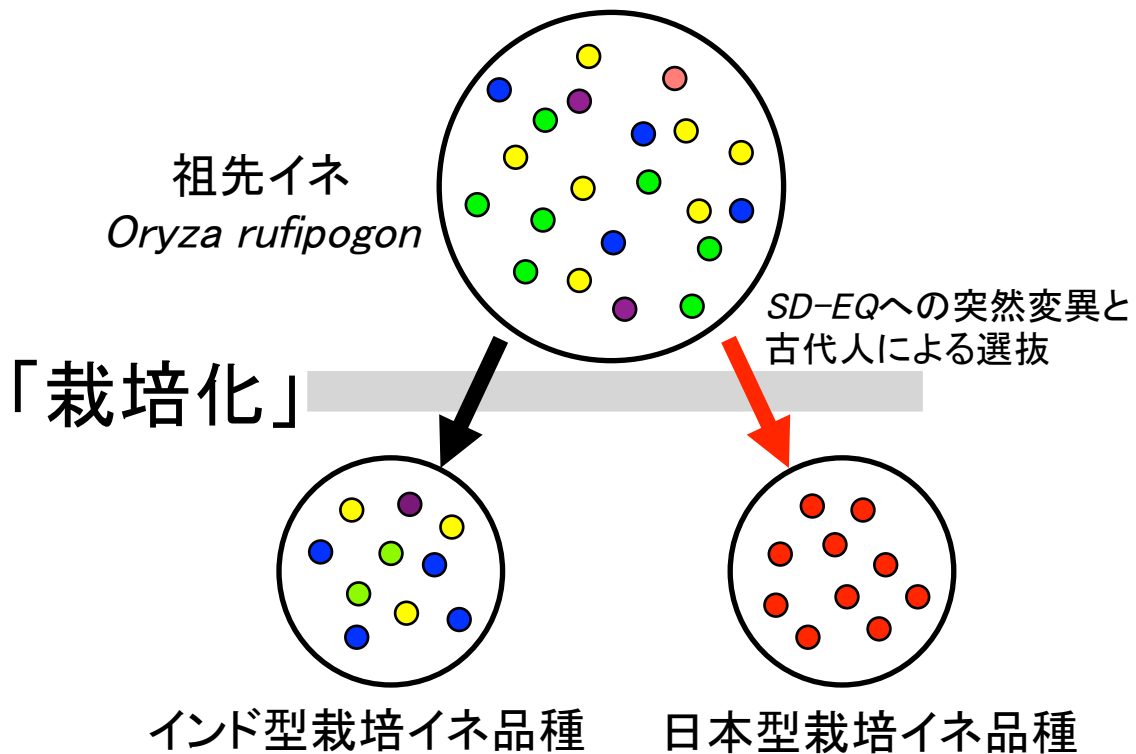


図3 「日本晴型 SD1」(*SD1-EQ*)と日本型栽培イネの成立の模式図

色のついた丸は *SD1* の様々なタイプを示している。祖先イネとインド型イネにおける *SD1* タイプは多様だった。一方、赤丸で示した「日本晴型 *SD1*」タイプは祖先イネには無かった。祖先イネの中から「日本晴型 *SD1*」タイプが生まれ、古代人がこの草丈の低いイネを選抜し、栽培していき、日本型イネ品種群を成立させていった。ある形質(もしくは遺伝子)を積極的に選ぶと、その形質や遺伝子の多様性が大きく減少する(一様になる)。

<発表雑誌> Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS、米国科学アカデミー紀要) doi:10.1073/pnas.1019490108

Title: Artificial selection for a green revolution gene during *japonica* rice domestication.

Kenji Asano* Masanori Yamasaki*, Shohei Takuno, Kotaro. Miura, Satoshi Katagiri, Tomoko Ito, Kazuyuki Doi, Jianzhong Wu, Kaworu Ebana, Takashi Matsumoto, Hideki Innan, Hidemi Kitano, Motoyuki Ashikari and Makoto Matsuoka (*: Kenji Asano and Masanori Yamasaki contributed equally to this work.)

<共同研究者>

浅野 賢治・名古屋大学生物機能開発利用研究センター、現在北海道農業研究センター・任期付研究員

山崎 将紀・神戸大学大学院農学研究科附属食資源教育研究センター・助教

宅野 将平・総合研究大学院大学、現在カリフォルニア大学アーバイン校・研究員

三浦 孝太郎・名古屋大学生物機能開発利用研究センター、現在福井県立大学・講師

片桐 敏・農林水産先端技術研究所研究第1部・研究員

伊藤 友子・農林水産先端技術研究所研究第1部・研究員

土井 一行・名古屋大学大学院生命農学研究科・准教授

呉 健忠・農業生物資源研究所植物ゲノム研究ユニット・上級研究員

江花 薫子・農業生物資源研究所・研究員

松本 隆・農業生物資源研究所植物ゲノム研究ユニット・ユニット長

印南 秀樹・総合研究大学院大学・准教授

北野 英己・名古屋大学生物機能開発利用研究センター・教授

芦苺 基行・名古屋大学生物機能開発利用研究センター・教授

松岡 信・名古屋大学生物機能開発利用研究センター・教授

<研究助成>

農林水産省「新農業展開ゲノムプロジェクト」(IPG0003, NVR0002, QTL4002, QTL5003)

農林水産省「グリーンテックプロジェクト」(GD2007)

文部科学省科学研究費

独立行政法人科学技術振興機構／独立行政法人国際協力機構 地球規模課題対応国際科学技術協力

本資料中の図は Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 誌提供のものを一部改変しています。

<お問い合わせ>

神戸大学大学院農学研究科附属食資源教育研究センター

山崎 将紀(やまさき まさのり) Email: yamasakim@tiger.kobe-u.ac.jp

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構

北海道農業研究センター 畑作研究領域(バレイショ・テンサイグループ)

浅野 賢治(あさの けんじ) Email: asanok@affrc.go.jp