

平成 22 年 12 月 1 日

国立大学法人 東京農工大学
国立大学法人 名古屋大学
独立行政法人 農業生物資源研究所
富山県 農林水産総合技術センター

21 世紀の食料増産のための新しいイネ品種改良に道 一つで収量が多く倒れにくくするイネの遺伝子を発見 染色体上の強稈関連量的形質遺伝子座とその多面発現性原因遺伝子を解明

<研究概要>

農林水産省 新農業展開ゲノムプロジェクト 重要形質領域「イネの質的形質遺伝子の単離と機能解明」(研究リーダー 名古屋大学大学院・松岡信教授)の一環として、東京農工大学大学院大川泰一郎准教授らの研究グループは、名古屋大学生物機能開発利用研究センター(松岡信教授)、農業生物資源研究所 QTL ゲノム育種研究センター(矢野昌裕センター長)、富山県農林水産総合技術センター(蛭谷武志主任研究員)との共同研究で、イネの茎を強くし倒れにくくすると同時に収量も増加させる遺伝子を発見し、その遺伝子の利用により、収量が多くて倒れにくいコシヒカリを作ることになりました。研究成果は 11 月 30 日(英国時間)に英国科学雑誌「Nature Communications」に掲載されました。

20 世紀後半、穀物生産量の飛躍的な増加が成し遂げられました。この最大の要因は、化学肥料の使用増加です。一方、肥料の増加は作物の茎を伸ばし、倒しやすくするために倒れにくい品種の開発が不可欠でした。この問題を解決するため、イネやコムギの育種家は、穂は小さくならず茎だけを短くする遺伝子(半矮性遺伝子)を利用して、新しい品種を開発しました。いわゆる、「緑の革命」です。

現在の世界は、再び急激な人口増加により食料不足が深刻になることが懸念されています。一方、イネやコムギなどの穀物の面積当り収量は頭打ちの状況にあります。私たちは「緑の革命」で用いられた半矮性遺伝子ではない新しい遺伝子を使って、倒れにくい多収イネを開発するため研究を進めてきました。インド型品種ハバタキは茎が太く、収量も多いという特徴を持っています。私たちはこのハバタキが持つ茎を太くする遺伝子(*strong culm2*, *SCM2*と名付けました)に着目して、この遺伝子を特定することに成功しました。またこの遺伝子の働きを調べることで、この遺伝子は茎の細胞分裂を活性化して茎を太くすることが分かりました。さらに、この遺伝子は茎だけでなく穂の細胞分裂も盛んにする結果、タネの数も増やす効果も持つことが分かりました。実際、交配によりこのハバタキの遺伝子をコシヒカリに導入してやると、コシヒカリの収量は 10% 増加し、かつ倒れ難くなることが実験圃場で確認されました。このハバタキの遺伝子はコムギなど他のイネ科の主要作物も持っているため、この結果はイネだけではなく他のイネ科の主要作物にも応用が可能であり、倒れにくい多収品種の開発を通じて、世界の食料増産、食料問題の解決に貢献することが期待されます。

<研究の背景>

世界人口は、現在の 68 億人から 40 年後の 2050 年には 90 億人を超えると予測されています (FAO 2009)。今現在でも全世界で 10 億人以上が栄養不足の状態にあります (Nature 2010)。世界のイネ、コムギなどの主要な穀物生産量の増加は 21 世紀に入り鈍化する傾向があり、人口増加の速度を下回る状況となっています。実際に 2008 年には、世界の穀物需給はひっ迫し穀物価格は高騰し、とくに人口増加が著しく、コメを主食とする東南アジアをはじめ、近年コメの輸入量が急増しているアフリカではコメが不足する事態となりました。人類は 21 世紀に入りはじめての食料危機を経験しましたが、このような状況は、今後さらに深刻になることが予測されています。我が国は食料自給率が 40% と低く、大量の食料を海外から輸入していますが、将来にわたり安定して海外から食料を輸入することは困難となる可能性が指摘されています。我が国においても 40 年後の世界の状況の変化を予測して、食料生産量の増大に貢献していく必要があります。

20 世紀半ば、世界は食料不足の状況にありましたが、農業技術の発展により食料生産量を増加させてきました。イネやコムギでは、「緑の革命 Green revolution」と呼ばれる画期的な技術革新が行われました。緑の革命が成功した主な要因として、化学肥料を多く与えても茎が伸びず、倒伏(作物が倒れること)しにくいイネやコムギの品種を開発したことにあります。イネでは *semi-dwarf 1 (sd1)*、コムギでは *Rht1*, *Rht2* と呼ばれる半矮性遺伝子(茎のみ短くし、穂は小さくならない)を利用し、茎が短いほとんどのイネ、コムギの品種がこの遺伝子を利用しています。

これまでのイネ、コムギの品種改良では、この遺伝子を利用して倒れにくく、収穫指数、すなわち植物体全体のバイオマス生産量に占める穂の部分の割合を半分程度にまで高めることにより、単位土地面積当たり収量を高めてきました。しかしながら、21世紀に入りイネ、コムギの収量の増加は頭打ちの状況にあります（FAO 2009）。半矮性遺伝子は成長を抑制するため、バイオマス生産能力は小さく、多収品種の改良には限界があると考えられます。今後は、もう一つの新しい品種改良、すなわち植物のもつバイオマス生産能力を高めることにより収量を増加させることが課題となります。

この品種改良で問題になるのは植物体が重くなり倒伏しやすくなることであり、植物体を支える強い茎に改良することが高いバイオマス生産と収量を得るための必要不可欠な条件となります。しかし、イネではこれまで茎の太さに関わる遺伝子は単離されていませんでした。その要因として、茎の太さなどに関わる形質は複数の遺伝子の制御を受ける形質（量的形質）であることから、研究が困難であったことが考えられます。我々は、解読されたイネゲノム情報を活用し、太い茎をもつ品種を用いて染色体上にある太い茎の遺伝子を含んだ量的形質遺伝子座（QTL）の存在する領域を探り、原因となる遺伝子の単離を行い、新しい多収品種の改良に役立てるために研究を行っています。

<研究内容>

日本の代表的なイネの日本型品種「コシヒカリ」、「ササニシキ」は茎が細いため、茎が曲がったり基部で折れることにより、登熟期の台風による風雨などで著しく倒伏し、収量低下や品質低下をもたらします。一方、印度型品種「ハバタキ」は茎が太く強い茎をもっています。そこで、ハバタキのもつ茎の外径と内壁の厚さなど太さに関わる遺伝子の単離を試みました。DNA マーカー選抜（MAS）によって作出された日本型品種とハバタキとの染色体断片置換系統群（CSSLs）を用いて、ハバタキのもつ茎を太くする染色体領域は、第1染色体と第6染色体の2か所にあることがわかりました。第1染色体のQTLはとくに茎の内壁を厚くする効果が高く、*STRONG CULM1 (SCM1)*、第6染色体のQTLは茎の外径を大きくする効果が高く、このQTLを *STRONG CULM2 (SCM2)* と名付けました。

茎の強度を高める効果は、茎の内壁の厚さを増すよりも茎の外径を増す方が大きいので、さらに第6染色体のQTLの存在する領域を狭めた結果、*SCM2* 遺伝子は、成長点で発現し穂の分化に関与することが知られている *APO1* という遺伝子であることを見出しました。この遺伝子は成長点で穂につく枝や花、茎の細胞分裂を制御し、ハバタキはこの遺伝子が茎を太くしたり、花の数を増やす時期に、日本型品種より多く、多面的に発現する結果、茎が太くタネの数が多くなることが明らかになりました。

茎が細く倒れやすいコシヒカリに、DNA マーカー選抜によってハバタキの *SCM2* を含む染色体断片に置換した準同質遺伝子系統（NIL-*SCM2*）を育成し、ハバタキのもつ *SCM2* の効果をコシヒカリと比較しました。その結果、コシヒカリに比べて茎の外径は大きくなり、茎の強度が大きくなったことを確認しました。実際に、2009年の登熟期の台風の影響を受けた直後には、コシヒカリは倒伏が観察されたのに対して、NIL-*SCM2* では倒伏はみられず、倒れにくい性質をもっていました。同時に、タネの数の増加により、収量はコシヒカリに比べて10%高くなり、倒れにくく収量の多い品種の改良に重要な遺伝子であることが明らかになりました。

これまで *APO1* は突然変異体を材料として遺伝子が同定され、その機能が明らかにされてきましたが、突然変異体では過剰に発現する結果、茎の数が少なくなるなど形態異常をもたらし、多収品種の改良には利用できませんでした。ハバタキがもっている自然変異の遺伝子は、発現が適切な量であるため、タネの数や茎の太さ以外の形態にはほとんど影響がなく、品種改良に利用することが可能であることもわかりました。これまで主に分子遺伝学や分子生理学分野で行われ多数の遺伝子を同定している突然変異の研究と、フィールドを中心に作物生理学、育種学などの農学分野を中心に行われている自然変異を用いた量的形質遺伝子座（QTL）に関する研究を結びつけることにより、作物生産量をさらに増加させる重要な遺伝子を見出すことができることが、本研究の結果から確かめられました。

<今後の展開>

我が国のほとんどの日本型品種は、茎が細く倒伏しやすく、本研究で解明された印度型品種ハバタキのもつ第6染色体の茎を太くするQTLの遺伝子 *SCM2* を我が国の品種にDNA マーカー選抜によって導入することにより、茎を強くし倒れにくくすることが可能となります。*SCM2* 以外にも第1染色体の *SCM1* などハバタキのもつ他の茎を太くするQTLと集積したり、他の茎の太い品種のもつQTL遺伝子を同定し、複数の品種由来のQTLを一つの品種に集積することによって、親品種を超える茎の強い品種を効率的に育成できる可能性があります。また、QTLを集積することによって茎を太くするとともに、*SCM2* のように穂につくタネの数を増加させるような多面発現性の遺伝子を集積することによって、収量のさらなる増加が期待できます。倒伏抵抗性、収量ポテンシャルを高め、バイオマス生産に関わる個体群の光合成速度の向上に関わる形質についてQTL解析を行い、原因遺伝子を同定することによって、さらに高いバイオ

マス生産量を持ち、収量の高いイネ品種が開発されることが期待されます。イネで得られた研究成果は、同じく半矮性遺伝子を用いて品種改良が行われてきたコムギ、オオムギなど同じイネ科作物に適用することができ、世界の主要作物の倒伏抵抗性の向上、収量増加に貢献することが期待できます。

<発表雑誌>

Nature Communications (<http://www.nature.com/ncomms/index.html>)

Title: New approach for rice improvement using a pleiotropic QTL gene for lodging resistance and yield

Taiichiro Ookawa, Tokunori Hobo, Masahiro Yano, Kazumasa Murata, Tsuyu Ando, Hiroko Miura, Kenji Asano, Yusuke Ochiai, Mayuko Ikeda, Ryoichi Nishitani, Takeshi Ebitani, Hidenobu Ozaki, Enrique R. Angeles, Tadashi Hirasawa and Makoto Matsuoka

DOI: 10.1038/ncomms1132 (URL: <http://dx.doi.org/>)

<主な共同研究者>

大川泰一郎・東京農工大学大学院農学研究院・准教授

松岡 信・名古屋大学生物機能開発利用研究センター・教授

矢野昌裕・農業生物資源研究所 QTL ゲノム育種研究センター・センター長

蛭谷武志・富山県農林水産総合技術センター・主任研究員

<研究助成>

農林水産省 「グリーンテクノプロジェクト」 QT-2009 (大川泰一郎)

農林水産省 「新農業展開ゲノムプロジェクト」 IPG-0003 (松岡 信、大川泰一郎)

<問い合わせ先>

東京農工大学大学院農学研究院生物生産科学部門・大川泰一郎

TEL: 042-367-5672, FAX: 042-367-5671, E-mail: ookawa@cc.tuat.ac.jp

名古屋大学生物機能開発利用研究センター・松岡 信

TEL: 052-789-5218, FAX: 052-789-5226, E-mail: makoto@agr.nagoya-u.ac.jp