

1 つで収量を増やし、倒れにくくするイネの遺伝子を発見

21 世紀の食料増産のための新しいイネ品種改良に道

<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・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と名古屋大学生物機能開発利用研究センター松岡信教授らのグループは、イネの収量を増やして、茎を太くする遺伝子を発見しました。この遺伝子を利用して、収量が多くて倒れにくいコシヒカリを開発しました。これらの結果は英国科学雑誌「*Nature Communications*」に発表されます。

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。いわゆる「緑の革命」です。

「緑の革命」の成功の鍵は化学肥料の大量使用でした。一方、肥料の使用は作物の茎を伸ばし倒しやすくします。そこで、イネやコムギの育種家は、茎を短くする突然変異を利用して、新しい品種を開発しました。このため、「緑の革命」の成功は、背を低くした新しい品種開発も「成功の鍵」でした。

現在、再び食料不足が懸念されています。この打開には、以前成功した背を低くする遺伝子はまだ利用できません。なぜなら、これ以上背を低くすると穂も小さくなって収量が減ってしまうからです。そこで、私たちは、背を低くするのではなく、茎を強くする遺伝子を見つけ、倒れにくくする戦略を採用することにしました。その結果、超多収インド稲品種のハバタキから茎を太くする遺伝子、*SCM2*、を見つけることに成功しました。この遺伝子は都合の良いことに茎を太くするだけでなく、収量（タネの数）も増加させる効果を持つことが分かりました。またこの遺伝子を使って、収量が増加して倒れにくくなったコシヒカリを作ることにも成功しました。この遺伝子は、イネだけではなく、コムギなど他のイネ科の主要作物に存在しこれらの作物にも応用が可能と考えられ、他の作物への展開も可能です。このように本研究成果は、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>

現在、全世界で 10 億人以上が栄養不足の状態にあり、さらに世界人口は 2050 年には 90 億人を超えると予測されています。その一方、世界のイネ、コムギなどの主要な穀物生産量の増加は 21 世紀に入り鈍化しており、人口増加の速度を下回る状況となっています。また、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、上のような世界状況を考えると、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予想されます。

20 世紀半ばにも、食料危機が懸念されましたが、人類は農業技術の発展により食料生産量を飛躍的に増加させそれを回避しました。いわゆる「緑の革命」です。「緑の革命」の成功の鍵は、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した。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、茎が短く倒れにくい品種を開発しました。しかし、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。

「緑の革命」に使った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なり、これ以上の多収にはつながらないと考えられています。従ってこれからは、別の方法で作物を倒れにくくし収量を増加させる必要があります。作物を倒れにくくさせるには、作物の茎を強くさせれば良いのですが、イネを始めとしてほとんどの作物から茎の強さに関わる遺伝子は単離されていませんでした。その理由は、茎の強さは複数の遺伝子が関係する複雑な形質（量的形質）だからです。我々は、日本が中心となって解読したイネゲノム情報を活用し、インド稲が持つ茎を太くする遺伝子を見つけて、それを茎が細い日本の稲に導入することで、収量を増やしても倒れにくい稲の開発を行っています。

<研究内容>

日本の代表的な品種「コシヒカリ」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、タネが実る時期に風雨などによりすぐに倒れて収量低下や品質低下をもたらします。一方、インド型品種「ハバタキ」は茎が太く強い茎をもっています（図1）。そこで、ハバタキのもつ茎の太さや厚さなどに関わる遺伝子を調べて見ました。イネのゲノムは既に全部解読されているので、コシヒカリとハバタキのゲノムを細かく比較することが可能です。その結果、ハバタキの茎を太くする遺伝子は、少なくとも第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。また、第1染色体の遺伝子は茎の内壁を厚くし、第6染色体は茎の太さを太くすることがわかりました。私たちはこの2つの遺伝子のうち茎の太さを太くする遺伝子（*STRONG CULM2*（*SCM2*）と名付けました）にターゲットを絞り研究を進めました。というのは、茎の強度を強くさせるには、茎を厚くするより、茎を太くするほうが効果が大きいからです。そこで、*SCM2*遺伝子が存在するゲノム領域を詳しく調べた結果、*SCM2*は茎の成長点（葉や花を作る場所）で働き穂の



茎の最下部 ～ 最上部

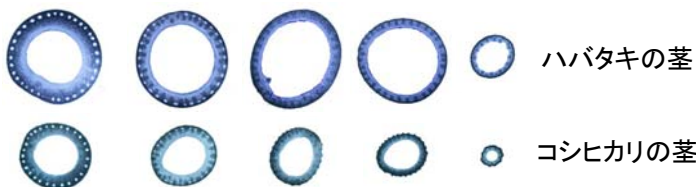


図1、コシヒカリとハバタキの比較：ハバタキはコシヒカリよりも背が低く太い茎を持っているために、穂に2倍近いタネを付けても倒れない



茎の最下部 ～ 最上部

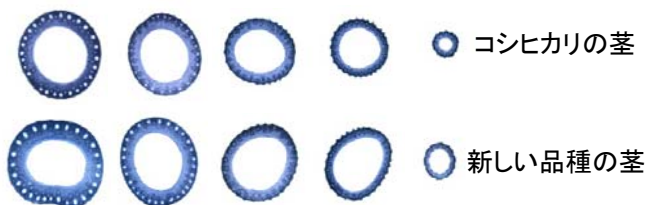


図2、コシヒカリと新しく作った品種の比較：新しく作った品種はコシヒカリよりも太い茎を持っているため倒れにくい。

加したことにより、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。

くする遺伝子は、少なくとも第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。また、第1染色体の遺伝子は茎の内壁を厚くし、第6染色体は茎の太さを太くすることがわかりました。私たちはこの2つの遺伝子のうち茎の太さを太くする遺伝子（*STRONG CULM2*（*SCM2*）と名付けました）にターゲットを絞り研究を進めました。というのは、茎の強度を強くさせるには、茎を厚くするより、茎を太くするほうが効果が大きいからです。そこで、*SCM2*遺伝子が存在するゲノム領域を詳しく調べた結果、*SCM2*は茎の成長点（葉や花を作る場所）で働き穂の形成にも関わる *AP01* という遺伝子であることを見つけました。この遺伝子は茎の成長点を大きくし、穂や茎の細胞分裂を活性化する働きを持ちます。ハバタキはこの遺伝子の働きがコシヒカリよりも強いために、茎が太くてタネの数が増えることがわかりました。

そこで、茎が弱く倒れやすいコシヒカリに、ハバタキの *SCM2* を含むゲノム部分を昔ながらの交配により導入した系統（99.9%程度コシヒカリで *SCM2* 付近0.1%だけをハバタキにした系統）を作り、茎の太さとタネの数についてコシヒカリと比較しました（図2）。その結果、新しく作った品種はコシヒカリに比べて茎の太さは大きく（外径で16%、断面積で35%増加）、タネの数（20%増加）が増加することが確認されました。実際2009年の登熟期（タネが実る時期）に台風が来て、コシヒカリはほとんど倒れたのに対して、新しい品種は全く倒伏は見られませんでした（図3）。またタネ数が増

<今後の展開>

現在日本で使われているほとんどのイネ品種は、茎が細く倒れやすい性質を持っています。従って、今回取られたハバタキの茎を太くする遺伝子 *SCM2* を日本の品種に交配によって導入すれば、茎を強くし倒れにくくすることが可能となります。また、同時に収量も 10%程度増加させることも可能です。今回は *SCM2* を使いましたが、これ以外にも茎を強くする遺伝子が見つかった

新しい品

コシヒカリ



ているので、それらの茎を強くする遺伝子をさらに付け足すことにより、コシヒカリを遙かに超える茎の強い品種を効率的に育成する道が開けました。将来はこのような茎を強化した品種に、タネをたくさん付ける遺伝子を導入することにより、超多収のイネの開発が可能です。

図3、台風によりコシヒカリは倒れたが新しく作った品種倒れなかった

<発表雑誌>

Nature Communications

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

<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)