

イネ収量増加遺伝子の発見 ～穀物増産を通じた食糧危機回避へチャレンジ～

名古屋大学生物機能開発利用研究センター芦荻基行教授らの研究グループが、このたびイネの収量を劇的に上昇させる遺伝子の同定と機能解析に成功しました。

人類の活動エネルギーの50%は3つの穀物から得ています（イネ（23%）、コムギ（17%）、トウモロコシ（10%））。なかでもイネは最も供給カロリーの高い重要な穀物であり、アジアの人々にとっては欠くことのできない主食であります。

現在、世界では10億人が栄養失調であるとされ、今後ますます食糧危機の深刻化が懸念されております。今回の発見によってイネの収量が劇的に上昇するため、これから起こりうる食糧危機に対して大いに貢献できるとともに、同じイネ科の主要穀類であるコムギ、トウモロコシの収量増加にも寄与できると期待されています。

1. 研究の背景

2009年、国際連合食糧農業機関（FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations）は世界の飢餓人口が10億人を突破したと発表しました。世界では、飢餓やそれに関連する病気のため、毎日2万5千人が命を落としており、そのうち、5歳以下の子どもは1万4千人を占め、6秒に1人、子どもが飢えを原因として命を落としています。先進国では医療技術が発達し平均寿命が劇的に上昇したこの現在にも関わらず、世界に目を向けると、飢餓による死が未だ主要要因です。現在、68億人の世界人口も、増加の一途をたどっており、2050年には90億を超えると予想され、また、世界の人口増加率（年1.4%）は食糧増加率（年1%）を超過しているため、今後、食糧問題はますます深刻化すると予想されています。食糧の需要を満たす為には、2025年までにさらに50%の穀物増産が必要とされています。食糧問題は人類の存続がかかった、人類が人類自身で解決しなければならない最もプライオリティーの高い世界共通の問題の1つです。

地球上には約20～30万の植物種があると考えられていますが、エネルギーベースで見たときに、農業生産の99%をわずか24種類の栽培植物が占めています。その中でも、イネ、コムギ、トウモロコシの3穀類は人間の摂取カロリーの50%を供給しています。これには人間の食糧という直接的なエネルギー摂取だけでなく、家畜飼料としての間接的なエネルギー摂取も含まれ、牛肉、豚肉、鶏肉

1kgを生産するには、穀類がそれぞれ11kg、7kg、4kg 必用とされており、肉食中心へと変化した食文化の変化も穀物需要を上昇させていると言えます。

現在、食糧不足に対応するために、主要穀類の収量（生産力）増加につながる研究成果が求められています。その中でもイネは23%のエネルギーを人類に供給しており（コムギ17%、トウモロコシ10%）、イネの人類へのエネルギー供給源としての価値は計りきれないものです。特にイネはアジアの人々の主食であり我々アジア人の分化にも深く根付いた生活の一部となっています。我々はイネの収量を増加させる遺伝子の同定を試みると共に、収量増加遺伝子を利用した育種を通して食糧危機回避へのチャレンジを行っています。

2. 研究の概要

日本の一般的なイネ品種「日本晴」は穂の1次枝梗数は約10本で、1つの穂に約150粒程度着粒します。一方、名古屋大学・生物機能開発利用研究センターで保存しているイネ多枝梗の系統ST-12は約30本の1次枝梗を持ち、1つの穂に約475粒程度着粒します。両者の収量の差は1次枝梗数に大きく依存しています（図.1）。そこで、この1次枝梗数を制御する遺伝子の同定を試みました。日本晴とST-12を交配して得られる雑種集団を用いてQTL解析と呼ばれる遺伝学的な解析を行った結果、12本あるイネの染色体の内、第8染色体にこの1次枝梗数の違いを導く遺伝子の存在が明らかとなりました。我々はこの1次枝梗数を制御する遺伝子を、世界の農家の人々が幸せになりますようにという願いを込め*WFP* (*WEALTHY FARMER'S PANICLE*) と名づけました。さらに、研究を進めた結果、*WFP* 遺伝子が転写因子をコードしていることを見いだしました。この遺伝子は一般的ななどのイネ品種も保持していますが、ST-12では幼穂を形成する段階で、この*WFP* 遺伝子の発現量が日本晴に比べ10倍近く上昇し、穂における1次枝梗の形成を促進していることが明らかになりました（図.2）。

また、我々の研究グループは2005年に*Gn1*と呼ばれる着粒数を増加させる遺伝子（サイトカイニンオキシダーゼ:CKX）を同定していました（2005年Science誌に発表）。そこで、*Gn1* 遺伝子と今回見いだした*WFP* 遺伝子を用いて、イネの収量をどれくらい増加できるか調査いたしました。

日本晴の1次枝梗数が約11.6本に対し、日本晴に*WFP*を導入した系統は21.4本まで増加しました。また、1株辺りの着粒数は日本晴が約2232粒に対し、3142粒へと約41%増加しました。また、日本晴に*WFP* 遺伝子と*Gn1* 遺伝子を同時に導入した場合、1穂辺りの1次枝梗数は23.8本、1株辺りの着粒数は3396粒と約51%増加しました（図.3）。

人類のエネルギー摂取に重要な穀類の収量増加を目指した取り組みは、世界

中でいろいろな手法で多岐にわたりますが、数%を上昇させるのは大変なことです。このように、前回我々が見いだした *Gn1* 遺伝子、そして今回見いだした *WFP* 遺伝子を利用することで、イネの収量を劇的に増加させることが明らかになりました。イネで見いだされた収量増加遺伝子など重要農業形質を支配する遺伝子は、遺伝子組み換えすることなく、交配と分子マーカーによって効率的にイネ品種に取り込むことができます。現在、活性や発現量の高い *Gn1* や *WFP* 遺伝子を交配によって導入した有用品種の育成に取り組んでいます。また、病害虫に強い遺伝子も同時に導入中であり、近い将来、これらの遺伝子を活用した新品種を世界に分譲し、食糧危機の回避の一躍を担うことを期待しています。

3. 今後の研究成果の展開

イネはこれら穀類中でゲノムサイズ（染色体の大きさ）が最も小さく（イネのゲノムサイズは 400Mb {約 4 億塩基対} ですが、トウモロコシはイネの 8 倍、オオムギはイネの 12 倍、コムギは 40 倍のゲノムを有しています）、形質転換技術が確立されているとともに、全ゲノム配列が解読されていることなどから、主要穀類であると同時に単子葉のモデル植物として位置づけられています。さらに、イネは他の重要穀類である、トウモロコシ、コムギ、オオムギなどの主要穀類と同じ祖先のイネ科に属し、ゲノム構造上の類似性があります。つまり、同じ祖先から由来するこれらの穀類は、同じ遺伝子セットを保持しているわけです。このことにより、イネの研究成果はイネのみならず、他の穀類の育種にも応用することが可能です。これらの理由により、イネの生産性に関連した重要遺伝子を同定することは、人類の食糧安定供給への突破口になるものと期待されています。

また、イネは長年の人類の手による育種過程の中で、耐病性や環境耐性などに関わる遺伝子を失ってしまっている可能性が指摘されています。その一方、イネ属の中には野生種を含め世界中に特徴のある様々な品種が存在しており、これらは現在大切にコレクションされています。これらの中から生産性向上に関わる遺伝子の探索、病害虫抵抗性遺伝子、乾燥地や塩害地など不良環境地適応性遺伝子などを同定し、従来品種に導入すればさらなる増収が望めます。また、実際の栽培現場の環境に合致した、遺伝子の組み合わせによる「テーラーメイド分子育種」が可能と成りつつあります。今回の我々の発見が来るべき食糧危機を回避するべく「第2の緑の革命」を起こすための一歩となることを望んでいます。

補足説明

注1 QTL (Quantitative Trait Locus)解析

人間は長年にわたる育種の過程で、自然に起こる突然変異による植物の様々な形質変化の中から有用なものを選択・蓄積してきた。イネなどの作物において、個々の品種（個体）が持つ遺伝的特性は、このような変異遺伝子座1つ1つが数多く重なり合った効果の総和によって決まっている。このようにある形質に加算的な影響を及ぼす遺伝子座を量的形質遺伝子座(QTL)と呼び、遺伝学的手法を用いてQTLを検出する方法をQTL解析という。

注2 サイトカイニンオキシダーゼ/デヒドロゲナーゼ (CKX)

サイトカイニンの分解反応を触媒する酵素。側鎖を切断し、アデニンと側鎖由来プテナール化合物を生ずる。シロイヌナズナやイネ、トウモロコシなどでの研究から、CKXは多重遺伝子族を構成しており、各遺伝子で発現場所や発現制御様式が異なることが明らかにされている。イネゲノム上には11種類のCKX遺伝子が見いだされている。サイトカイニンの細胞内のサイトカイニンレベルのフィードバック調節機構の本体になっている。

注3 分子マーカー

染色体の位置情報を示すタグ。分子マーカーを用いることで、育種過程でどの遺伝子が保持され、どの遺伝子が置換しているかモニタリングすることが可能となり、効率的な育種が可能となる。

注4 テーラーメイド分子育種

それぞれの要求に応じた有用遺伝子のみを分子マーカーで導入した育種法。例えば、有る地域には、耐塩性と収量増加遺伝子のみを導入した品種を、ある別の地域用に、病虫害抵抗性遺伝子と収量増加遺伝子のみを導入した品種など、地域や使用者のニーズにあった遺伝子を効率的に導入した育種法。