

佐塚 隆志 Sazuka Takashi

名古屋大学 生物機能開発利用研究センター 教授
2017年より未来社会創造事業 研究開発代表者

イネ科の高バイオマス作物「ソルガム」は、食料と競合しないバイオマス資源として脚光を浴びている。名古屋大学生物機能開発利用研究センターの佐塚隆志教授は、ソルガムにおける雑種強勢について遺伝子レベルの原理を解明し、長らく困難とされていたゲノムデザインによる新品種創出を可能にした。この新しいアプローチにより開発した高バイオマス・高糖性の新品種は低炭素社会の実現への貢献が期待されており、また、それを目指した地域連携による新産業創出の取り組みにおける主力品種になりつつある。

特集

OVERVIEW

イネ科作物ソルガムの新品種開発 高バイオマス・高糖性化で低炭素社会へ

経験と勘頼りだった育種プロセス ゲノム情報で論理的デザインに

植物は、光合成という優れた機能を有し、大気中の二酸化炭素(CO₂)を取り入れ、効率よく糖へ変換する。こうした植物の能力を最大限に生かし、バイオマス資源として産業利用できれば、低炭素社会の実現に大きく貢献できるはずである。その実現に向けてさまざまな研究開発が進む中、そのカギとなる技術開発の1つが、その原料に最適化した新品種の創出だ。近年、DNAシーケンス技術が急速に進歩し、これまで経験と勘に頼っていた育種プロセスは、「ゲノム情報による論理的なゲノムデザイン」が可能になると言われるように

なった(図1)。

エネルギー作物と呼ばれる植物において、この新しい育種手法を世界で最初に実施することで新品種を創出したのが、名古屋大学生物機能開発利用研究センターの佐塚隆志教授だ。2017年から未来社会創造事業本格研究「雑種強勢の原理解明によるバイオマス技術革新」で、高バイオマス・高糖性のソルガム新品種の育種デザイン・創出、さらに生み出されたバイオマスや糖からバイオ燃料やバイオ製品を作るバイオリファインリーの実現を目指している。

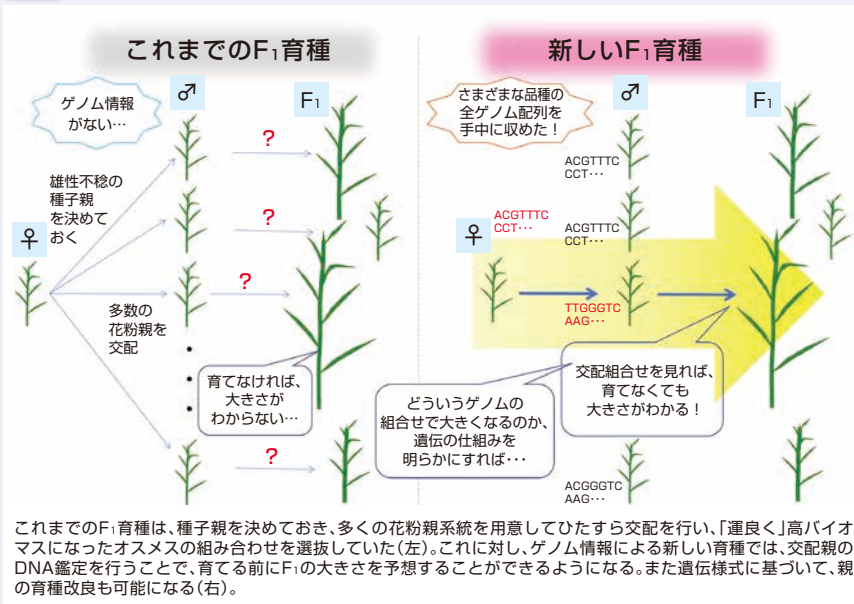
ソルガムは、アフリカ原産のイネ科の作物で、高バイオマス型、スイート型、子実型などの品種群が育成されてきた。高バイオマス型品種は数

カ月で草丈4メートル以上にもなり、日本では主に家畜飼料として全国で栽培が行われてきた。また、スイートソルガムは、日本ではアマキビと呼ばれ、サトウキビのように茎に糖液を蓄積する性質がある。ここで重要なポイントとなるのは、スイート型ソルガムはサトウキビと異なり、現在では食用としての利用が極めて少なく、産業利用にした場合でも食料との競合がないことである。

化石燃料に替わるエタノール 低コスト・高効率で発酵可能

佐塚さんが分子生物学の成果であるゲノム情報を社会や地球環境へ役立てたいと思ったのは、1993年

図1 ゲノム情報による育種プロセスと従来法の比較



に遡る。博士号を取得した佐塚さんは、創設されたばかりのかずさDNA研究所の研究員となった。この時代は、高速DNAシーケンサーの開発が加速化し、有用生物の全ゲノム配列をはじめ、ヒトの全ゲノム配列解読の競争が世界的に激化していった時期と重なる。初めはゲノム解読に携わっていた佐塚さんだったが、故・高浪満所長の勧めでポストゲノム研究に取り組むことになった。

「先生は卓越した先見の明がある方で、90年前半には現代のゲノムビックデータ時代の到来を予見していました。さらにその後には、この増大するゲノム情報をどのように活用するかを考える時代がやって来る、とおっしゃっていました」と佐塚さんは振り返る。1つの遺伝子の機能解析で満足していたという若

き佐塚さんにとって、この教えは目の覚めるようなものだった。

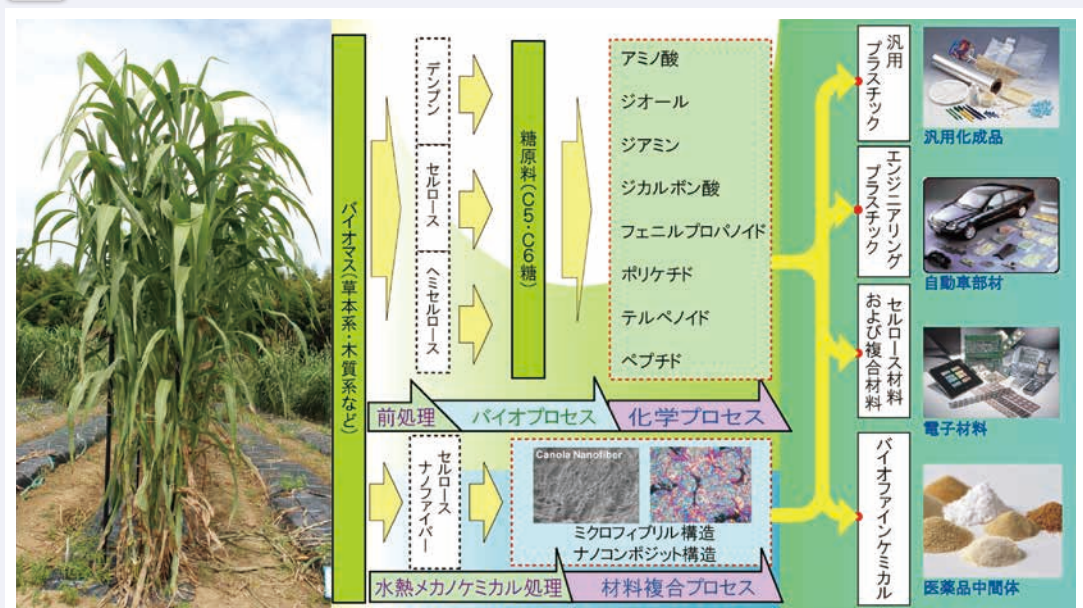
それ以来、単にゲノム情報を蓄積するだけでなく、膨大なゲノム情報をどのようにサイエンスへ役立てるか、その先にあるもっと大事なこと、すなわち人間社会や地球環境へ役立てる研究について、佐塚さんは考えを深めていった。そして03年頃、名古屋大学の松岡信教授(当時)からイ

ネ科作物の研究をやってみないか、と声がかかったことが大きな転機となり、現在の研究に至っている。

名古屋大学へ移籍した頃は、地球温暖化問題に関心が高まる中、化石燃料に替わる資源として、サトウキビやトウモロコシを原料とするバイオエタノール生産がブラジルや米国などで盛んになってきた時期と重なる。「さまざまな地球規模課題を解決するためには、これまでの多くの研究者が携わってきた食の課題だけでなく、ゲノム情報を利活用した新エネルギー産業の創出という課題も重要だと感じていました」と佐塚さんは語る。具体的には、バイオエタノールなどバイオ製品を効率よく生産できる非食用の高バイオマス品種の育種創出がカギとなる。

そこで、佐塚さんが目を付けたのは、バイオマス収量がイネの5倍以上にもなる高バイオマス型ソルガムだった。熱帯地域でしか栽培できないサトウキビに対して、ソルガムは熱帯から温帯地域まで栽培可能という利点がある。生育速度も速く、播種から3カ月ほどで収穫できるため、地域によっては2回刈体系も可能だ。

図2 ソルガムのバイオリファイナリー利用



出典: 文部科学省植物CO2資源化研究拠点ネットワーク(NC-CARP)プロジェクト資料より改変

一方、ソルガムには糖度がサトウキビと同等またはそれ以上のスイートソルガム品種群もあり、セルロースだけでなく、糖も原料として効率的な発酵を行うことができる。もしゲノム情報を駆使して、高バイオマスと高糖性を併せ持つ品種を創出できたら、この社会には変革が起き、地球規模課題の解決にも貢献できるかもしれない。

「このように、ソルガムは優れた形質を有することに加え、ゲノムデザインによる新しい育種にも有利な作物です」と佐塚さんは説明する。ソルガムゲノムは染色体20本から成る2倍体なのに対し、同じキビ亜科に属し糖料作物であるサトウキビは高次倍数体で、染色体数が100本から130本と言われ、染色体の区別が難しく、ゲノムサイズも大きい上に、メンデル遺伝に基づいた遺伝学も困難である。つまり、ソルガムは、サトウキビのモデル作物としても重要であり、またゲノム情報を利活用したバイオマスデザインが有利な作物になるだろうと、佐塚さんは見込んだ(図2)。

雑種強勢の仕組みを解明 新品種「炎龍」が誕生

佐塚さんは、08年頃から農林水産省のプロジェクトなどで、本格的にソルガム研究へ乗り出した。その後の文部科学省の植物CO₂資源化研究拠点ネットワーク(NC-CARP)プロジェクトでは、最終目標を高バイオマス、高糖性を兼ね備えた新品種を創出することを目標に研究を開始した。従来の品種開発では、花粉親と種子親とをランダムに組み合わせ、両親より優れた形質を生み出す雑種第一代(F₁)を探し出す、選抜育種が行われていた。その結果、草丈約1メートルの両親の交配組み合わせから、草丈4メートルを超えるF₁品種「天高」が見つかった(図3)。このような現象を雑種強勢と呼び、天高はその典型的な実例だったが、その遺伝学的メカニズムは

解明されていなかった。

そこで佐塚さんの研究グループは、天高を遺伝学モデル品種として位置付け、その後代(F₂)集団を供試した遺伝解析を行い、草丈を制御する遺伝子座および遺伝子を精査していった。この解析は10年たった現在でも研究が続けられているが、F₁が長大バイオマスの重要な要素となる長稈となるためには、6つの遺伝子の組み合わせが重要であることを最新モデルで明らかにしている。

天高の親品種は、もともと子実型であったため、倒れにくく種子を収穫しやすい短稈かつ早生に育種改良されており、劣性の6つの遺伝子の変異が利用されたと考えられる。「これに対し、F₁品種創出における組み合わせ選抜の過程では、高バイオマスを得るため、逆にその劣性の短稈性が現れないよう、6つの遺伝子座が全てヘテロとなる両親の組み合わせが選抜されたと考えられます」と佐塚さんは説明する。

続いて、佐塚さんらはバイオリファイナリーに重要な搾汁液高糖性の遺伝子座も同定した。これらの遺伝子のゲノム情報を活用し、天高花粉親の高糖性改良育種を進め、ついに糖度の高い

新花粉親品種「74LH改0号」の創出につなげた。さらに、この花粉親と天高の種子親「MS79」と交配させることで、バイオリファイナリーに最適な高バイオマス・高糖性を併せ持つ新F₁品種「炎龍」が誕生したのである(図4)。

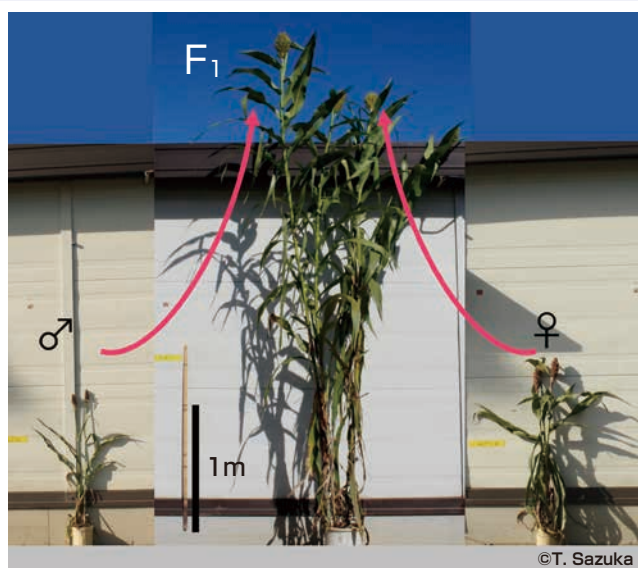
炎龍は温帯でサトウキビ並みの糖収量が見込めることから、サトウキビに匹敵する糖料作物、すなわち温帯のサトウキビとも言える作物となることが期待されており、エネルギー生産の地産地消に大きく貢献する。さらに、搾汁残渣は家畜飼料としての利用も期待されており、家畜を経由して堆肥を畑に戻すことができる。

この農畜連携により、大気中のCO₂の炭素を糖やセルロースとして産業利用し、窒素、リン、カリウムの元素を土壌に戻すという、理想的な資源循環サイクルを形成することができる。また炎龍は、国内の休耕地、耕作放棄地などの未利用地でも作付け可能であることも、リアルな社会実装が期待されている要素である。「一連の研究では、ソルガム育種学の第一人者である信州大学の春日重光教授、イネ育種学の第一人者である名古屋大学の北野英己教授(当時)にご指導頂けたことが幸せでした」と佐塚さんは語った。

愛知県などでも実証試験開始 次世代育成も重要な課題

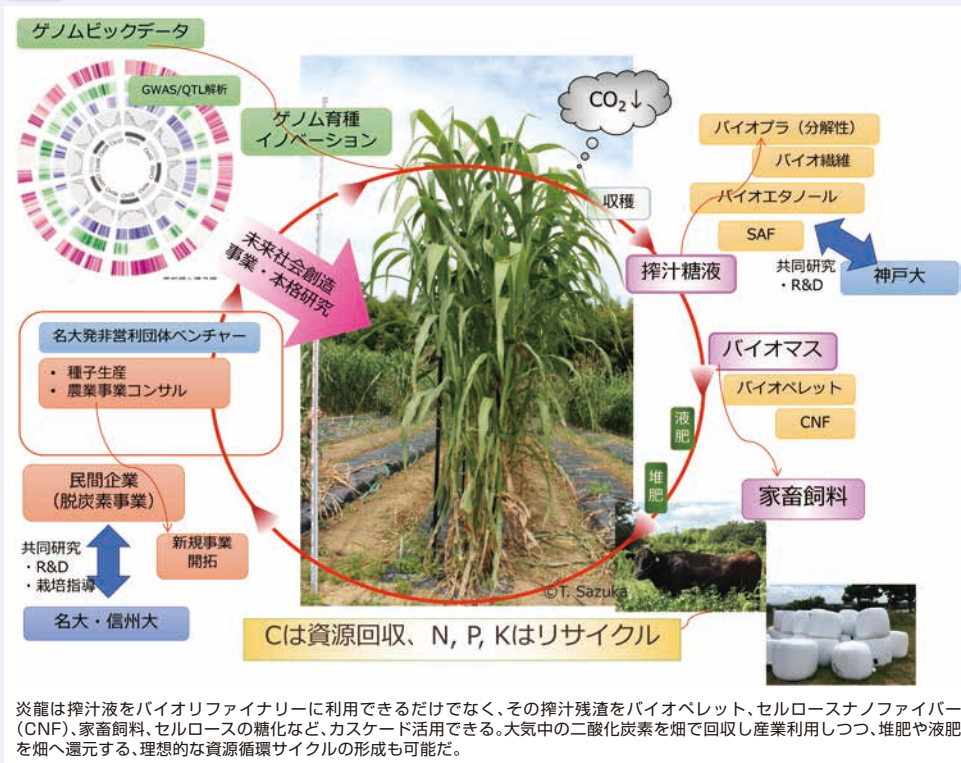
NC-CARPプロジェクトを引き継

図3 ソルガムの高バイオマス品種「天高」とその両親の草姿



天高の親(左右)は草丈が小さいが、雑種第一代(中央、F₁)は極めて大きい。これは雑種強勢の典型である一方、その遺伝学的仕組みは不明だったため、高バイオマスF₁品種の育種創出では、これまでは偶然的組み合わせを探索する方法に頼らざるを得なかった。

図4 「炎龍」の草姿と活用図



の価値を理解する次世代の若手研究者の育成も重要な課題だ。研究圃場では、1万以上の植物体が個別に識別管理され、その多くの個体はゲノムDNAの採取、解析が行われている。また開花期、稈長、搾汁液サンプリングなどの調査、大量サンプルの高速液体クロマトグラフィーによる糖分析、コンピューターを駆使したゲノム解析、遺伝解析など、この手の研究は知力、体力、突破力の総合力が勝負となる。

楽な研究はないが、楽しい研究はある。低炭素社会実現に技術革新を起こすといった明確な目標も、研究者のモチベーションを高める重要な要素の1つに違いない。

「研究室には志を共有する若手研究者、大学院生が全国から集まってきます。私も社会の期待に応えられる研究プロジェクトを推進していかなければいけません」と決意を口にする。佐塚さんの研究室では、研究成果を基に新品種が生み出される基礎から応用への一気通貫型研究が特徴で、その新品種が脱炭素社会構築の主役になる日を目指して、高い志を持つメンバーが歩み続けている。

（TEXT：森部信次、PHOTO：石原秀樹）

ぐ形で17年から未来社会創造事業が始まっている。現在の本格研究では、佐塚さんの名古屋大学を筆頭に、神戸大学、信州大学がワンチームを組み、高バイオマス・高糖性ソルガムのさらなる新品種の育種開発と共に、バイオリファインリーにおける発酵生産技術の開発などを推進している。また、これまでは雑種第1代でしか実現できない高バイオマス性であったが、6遺伝子に基づく画期的な育種理論を活用すれば、6遺伝子を集積した純系でも高バイオマス性を実現できることが、理論上推定されている。「現在はその実証研究にも取り組んでいます」と笑顔を見せる。

このプロジェクトでは、育種開発されたソルガム品種について、神戸大学の研究グループによるバイオマスの特性評価や、さまざまな微生物を用いた発酵への影響評価の研究が行われている。「ゲノム情報、含有成分、発酵評価などの社会実装に関連性の高い基礎的データをカタログ化することで、脱炭素産業を目指す企業の新規参入を促したいですね」と

佐塚さんは構想を語る。

社会実装に向けては、農業の現場における実証試験も欠かせない。プロジェクトから創出された品種を扱う名古屋大学発、非営利一般社団法人も創立され、種子の生産販売も始まっている。また「愛知県豊田市の農業委員会や地元企業などが協力して、新しい脱炭素農業としてのソルガム栽培が開始されています」と語る。今後、産業創生や社会実装を進めるには、種子生産者、栽培農家、流通事業者、化学企業などを結ぶ新規バリューチェーンの構築も必要となるだろう。

圃場での研究は、年に一度しか結果が出ないテーマも多く、スピードや効率のみが要求される現代の研究社会では取り残されがちであるが、こ



エネルギー作物の育種開発は、低炭素化社会実現など、地球環境改善につながる重要テーマです。ぜひ、若い世代に参画してもらえたらと願っています。