

新時代に向けたサトウキビの品種開発の方向 ーサトウキビの特徴を最大限に活用した未来指向型の利用展開に向けてー

(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター 作物開発・利用研究領域

上席研究員 寺内 方克

1. サトウキビの不良環境への適応

サトウキビはニューギニア島付近を起源とするイネ科の作物で、直径3センチ程度、長さ数メートルに達する茎を利用する作物である。元来は茎皮内側の柔組織を口の中に含み、甘味を得た後にはき出す形で砂糖を摂取するフルーツ的な利用がなされてきたものであるが、搾汁液を煮詰めた砂糖(含蜜糖)への利用を経て現在は白糖(分蜜糖)生産を目的に栽培されている。

その元々のサトウキビ *Saccharum officinarum* (高貴種という)は気候温暖なパプアニューギニアやインドネシアに適しており、台風や干ばつ、寒さなどの厳しい地域での栽培には向かない。しかし、高貴種はインドネシアやインドなどに自生する野生種 *S. spontaneum* との自然交配を通じて低温や干ばつといった不良環境への適応性を獲得し、急速に栽培地域を拡大し、インド系在来種 *S. barberi* や中国系在来種 *S. sinense* が成立したと考えられている。この際、在来種は糖分が低く繊維分が多いといった不良な特性をも合わせ持つこ

ととなった。

在来種はアレクサンダー大王の東征によってヨーロッパにも知られるようになり、大航海時代以降にニューギニア由来の高貴種が再発見されるまで広く栽培された。マレー半島やジャワ島に進出したヨーロッパ人が高貴種に出会うと、その糖分が多く製糖しやすい特性から、高貴種の栽培が比較的環境条件の良い熱帯地域に拡大した。しかし、高貴種は低温、干ばつや強風などの不良環境に弱いばかりでなく、病気などにも弱いことから、抜本的に解決する方法が模索された。その解決方策として野生種との人為的な種間雑種が1800年代の後半から試みられるようになった。

種間雑種は糖分が低く繊維分が多いという特徴が現れることから、繰り返し高貴種との交配(戻し交雑)を行うことによって、1900年代初めには、野生種の良い点を残し、悪い点を排除して糖分の多い高貴種に近づけることに成功した。こうして干ばつや低温、強風などに耐え、病気や害虫に強くなるよう改良されたものが現在のサトウキビ品種へとつながっている。サトウキビの歴史は不良環境への適応行程といえる。

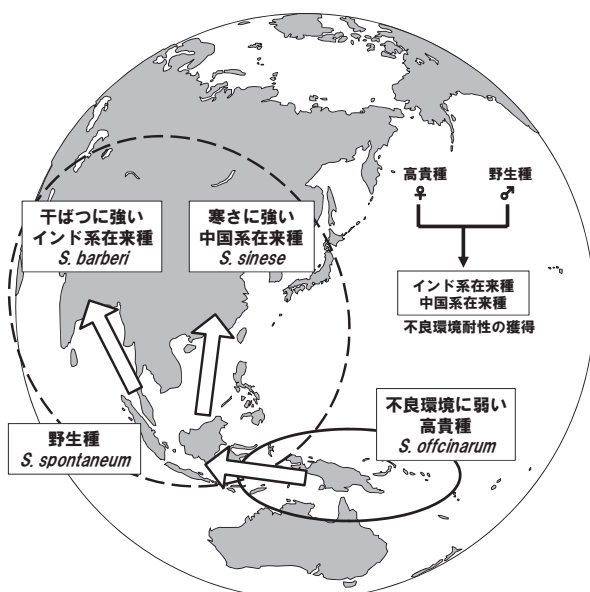


図1. 有史以前のサトウキビ世界の拡大

2. 新時代におけるサトウキビの役割

21世紀を迎え、世界は新たな局面を迎えることとなった。人口爆発に対応した食料の確保、化石燃料の大量使用による地球温暖化、利用し易い石油資源の枯渇といった問題の顕在化である。新たに開拓できる農地の余地は小さくなり、食料増産には単位収量の向上が求められている。また、一方で良質水資源の確保等が困難になる中、不良環境での作物栽培が想定されるようになり、より不良環境に強い作物品種が必要とされている。さらには、再生可能エネルギーあるいはカーボンニュートラルなエネルギーとしてバイオマスが注

目されるようになり、ブラジルのバイオエタノール生産にみられるように、サトウキビにはエネルギー生産を担うことも求められている。

食料のみならずエネルギーを含めてサトウキビへの期待は大きい。サトウキビは、①他の作物に比べて生産力が高い、②他の作物の生育しにくい瘠せた土壌でも生育する、③他の作物が枯死する干ばつに耐える、④他の作物が消滅するような強風に耐える、⑤潮風に耐える、⑤深刻な病気が少ない、⑥深刻な害虫被害が少ない、といったことに加え、⑦種間雑種や属間雑種の作出が可能で、育種による変異の作出が容易であること、⑧作出された雑種を栄養繁殖によって直接に栽培利用できること、といった利点を有している。ただし、どのような土壌でも育つとか、害する病害虫がないといったことではなく、他の作物と比較した度合いでみた場合である。

こうしたサトウキビの利点を最大限に利用することを想定し、国内のサトウキビ研究者で提唱しているのがサトウキビの多用途利用であり、実際に製糖用品種開発と並行して実施しているのが多用途向けの品種開発である。多用途利用とは、サトウキビから砂糖だけを生産するのではなく、副産物を含めて様々な利用法とそれに適した品種を提供しようとするもので、その用途には家畜飼料のほか、各種発酵原料や、エネルギー源としての燃料、高次生成物の材料等、様々な用途が想定される。その際の最も重要なポイントは、品種改良を核とする生産力と不良環境への適応性の強化である。既存農地での反収増加と、不良環境に拡大する農地での収量の安定的確保が課題であり、不良環境に比較的強いサトウキビは、場合によっては不良環境に弱い作物に圃場を譲り、より条件の厳しい地域での栽培が求められるようになることも想定される。

21世紀には、サトウキビの栽培地域はより乾いた地域へ、そして既存栽培地域では単なる反収の増大だけでなく、副産物利用も含めた食料・エネルギー利用がなされるようになる想定している。折しも、再生可能エネルギーの利用を促進することが議論されているところであり、これまでにない新たな視点で作る新しいタイプのサトウキ

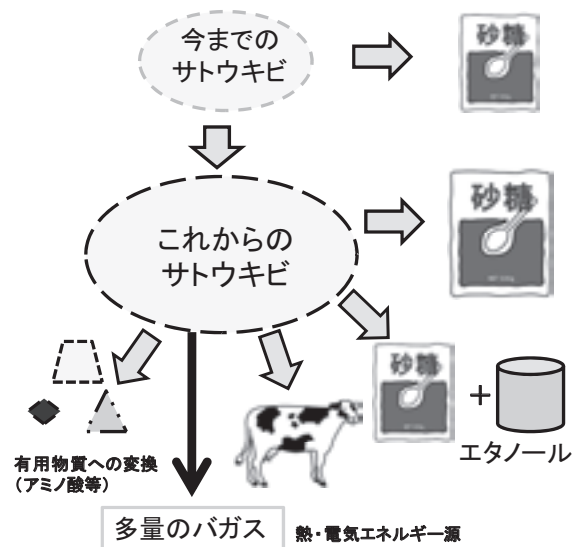


図2. 新しいサトウキビ展開のイメージ

ビ品種が求められている。

3. 国内での多用途利用の方向

(1) サトウキビ多用途利用の方向

国内の主要なサトウキビ産地は種子島以南の南西諸島である。この南西諸島には大小様々な島々が、東北-南西方向1000kmに点在している。そこには、火山灰や珊瑚由来の土壌など違った土壌が分布し、また、温度や降雨時期に違いがあり、水へのアクセスのしやすさの違い、あるいは、これら風土によって、そこで暮らす人々の生活習慣も異なっている。これらの島々では、今後ともサトウキビを基幹産業とみなす島、サトウキビと園芸との共存・共栄を図る島、サトウキビと畜産との連携強化を目指す島など、地域の実情に応じた地域振興の方向が模索されている。サトウキビの多用途利用は、こうした多様な島々に多様な選択肢を提供するねらいがある。以下の紹介はその一部である。

(2) バガスの増産・利用の可能性

サトウキビ栽培の目的はこれまでも、そして、これからも砂糖の生産であることは変わらない。しかし、今後の21世紀には、砂糖のみならず、様々な副産物を利用することで、農地からの生産物を最大限に有効活用することが求められる。

サトウキビの主要副産物の一つは搾りかすであるバガスである。現在、バガスの概ね9割は製糖行程で必要となる燃料として利用されており、圧

搾時のローラを回すエネルギー源や、濃縮の際の熱源、さらには各種機器を動かす電力源となっている。残るバガスは全体の約1割であるが、これは主として堆肥や家畜の敷料などに利用されており、最終的にサトウキビなどの栽培圃場に還元されている。

このバガスを高度に利用することで、環境やエネルギー問題に貢献しようという幾多の提案が寄せられることがある。バガスから液体燃料やプラスチック原料が生産されることは良いことであるが、一方では、生産力を維持するための堆肥の確保や家畜の敷料には代替措置が必要となる。すでにバガスに依存した生産システムが構築されている地域では、既存ユーザーに配慮しないバガス利用構想は地域に混乱をもたらすことになる。

このため、バガスの有効利用の促進には、①工場での燃焼量を減らす、②発生するバガスを増やす、の少なくともいずれかが不可欠となる。このうち②は品種改良によって対応できる。

サトウキビには12%程度の繊維分が含まれており、これがバガスとなる。バガスを増やすには、この繊維分の含有率を高めれば良いことになる。例えば、繊維分を15%まで高めた場合、12%時のバガス生成量の1.25倍のバガスが発生する。燃焼に利用するバガス量に変化しないならば、バガスの残量は従来の0.1から0.35へと3.5倍に増えることになる。このようにして残量を増やすことができれば、従来からのユーザーも利用しつつ新たなバガス利用を想定できる。

繊維分の増大には原料生産面での副次的な効果も期待できる。一般論であるが、繊維分の増大は折れや割れ、害虫による食害等への抵抗性の強化につながる。折れに対する抵抗性の強化は、台風常襲地帯の南西諸島のサトウキビ品種開発には不可欠な要素となっている。台風による風折の低減、ケーンハーベスタ収穫時の梢頭部の折れによるロスおよび地際の割れによるロスの低減、さらには、割れによる不萌芽の低減に役立つ可能性がある。特に、ケーンハーベスタ収穫を前提とする今後のサトウキビ栽培では、耐倒伏性の強化が課題であるが、単なる耐倒伏性の強化は台風時の折損被害を助長することから、耐倒伏性の強化と

風に、風折抵抗性の強化が必要とされている。風折抵抗性の強化には、ある程度の繊維分の増大は不可避と考えているところであり、いずれにしても、今後の品種開発では、少なからず繊維分が増大する方向とならざるを得ないと考えられる。

しかしながら、バガスを増やすことには極めて深刻な副作用が伴う。バガスには糖分が残留し、国内の製糖工場では原料中に含まれるショ糖分の4~5%を回収できずにバガスの中に失っている。仮に12%の繊維分を15%と1.25倍にすると、バガスに奪われる砂糖も1.25倍となり、製糖時の砂糖回収率はその分だけ低下することになる。安価なエネルギー源としてのバガスは大量に生成されてくる一方で、主産物で取引価格の高い砂糖がわずかではあるが減産となることは、製糖産業にとって大きな問題となることが必定である。このため、こうした形でのバガス利用の促進には、行政からの何らかの支援策が欠かせないと考えられる。

(3) 高バイオマス量サトウキビ

高バイオマス量サトウキビとは、株出し能力を強化しつつ単位収量を大幅に増やし、低コストでの増産を可能とする品種系統群のことで、雑種強勢によって生育や株出し能力が高まることを応用している。種間雑種では、通常、低糖度で高繊維分の系統しか得られないため、従来、これらの系統には育種材料としての価値のみが認められてきた。多用途利用では、こうした系統群に適切な用途を与えることで、品種としての利用価値を見出すことを目論んでいる。飼料用サトウキビは、特にバイオマス生産力が高く家畜飼料の適性を有す



写真1. 高バイオマス量サトウキビ
種子島での春植え

るものに飼料としての用途を与えたもので、高バイオマス量サトウキビの一つの利用形態となっている。

(4) 食料生産と競合しないエネルギー供給

農研機構九州沖縄農業研究センターとアサヒビール（現・アサヒグループホールディングス）豊かさ創造研究所では、従来と同等の砂糖生産を維持しつつバイオエタノールを増産できる「砂糖・エタノール複合生産プロセス（伊江島方式）」の開発に取り組んでいる。伊江島方式は、生産性を飛躍的に高めた高バイオマス量サトウキビ品種とそれを有効に活用する製糖・エタノール生産プロセスが一体となったビジネスモデルで、食料である砂糖の生産とエネルギー生産を両立させることを可能とする。伊江島に設置した研究プラントにおいて実証研究を行ったことから、伊江島方式と呼んでいる。

伊江島方式には、砂糖の含有率は劣るものの糖分の生産量を1.5倍程度に増やし、また、繊維分を強化した品種が必要となる。この条件を満たす高バイオマス量サトウキビ品種「KY01-2044」は、伊江島の様な環境条件において、既存品種の1.5倍以上の収量と1.5倍程度の糖質収量、約15%の繊維分、そして持続的な株出し栽培を実現できると想定されている。

伊江島方式の生産プロセスの特徴は、①原料品質は低いが生産量の多い高バイオマス量サトウキビ品種を用いること、②製糖の際の砂糖の結晶化行程を従来の3回から1回に減らすこと、③副産物である糖蜜が大量に得られること、④その糖蜜は3回結晶化後のものに比して発酵適性が高く、高効率でエタノール発酵を行えること、⑤大量の糖蜜からは低コストでエタノールを製造できること、⑥これらのすべての行程を高バイオマス量サトウキビのバガスから得られるエネルギーで自給できること、そして、⑦砂糖の回収率は低下するものの生産される原料が増えることによって砂糖の生産量を維持できること、を特徴とする。これによって、食料と競合しないエネルギー生産を可能とする製造プロセスである。詳しくは別稿の砂糖・エタノール複合生産プロセスに関する記事をご覧ください。

(4) 家畜飼料としてのサトウキビ

梢頭部利用：サトウキビの収穫時に不要となる茎上部の緑葉と葉鞘、若い茎で構成される部分は梢頭部、あるいはキビトップと呼ばれている。この梢頭部は、牛などの反芻家畜の嗜好性が良く、南西諸島のほとんどの島では、牧草の生育が停滞する冬季の家畜飼料として利用されてきた。

しかし、近年は、梢頭部の飼料として利用されないケースが増えて来ている。従来は、手刈りによって梢頭部が選別され、容易に入手することが可能であったが、近年のケンハーベスタの普及によって、梢頭部が回収されずに収穫残さとして圃場に残されるケースが増えている。工場へ搬入される製糖原料への梢頭部混入を防ぐため、種子島では、現在もハーベスタ収穫前に人力による梢頭部回収が行われている。しかし、過酷な労働となる梢頭部回収作業は敬遠され、最近では、梢頭部を回収せずにハーベスタ収穫を行い、その後に混入物を除く精製脱葉施設を導入する方向が主流となっている。この方式では、梢頭部のうち青葉部分は収穫時に圃場に残され、茎との機械的仕分けが困難な葉鞘部と未熟な茎が精製脱葉施設で選別される。選別された葉鞘部と未熟な茎は家畜飼料として利用されているが、その回収量は、利用可能な梢頭部に比して大きく低下している。

梢頭部回収機：こうした梢頭部利用の促進を図ることができる機械として南大東島で開発され、その後改良が重ねられている梢頭部回収機がある。この機械はサトウキビ圃場から梢頭部だけをカットして回収する機械で、家畜飼料を確保しつつ、製糖原料への梢頭部等のゴミ（トラッシュ）混入を減らし、製糖の効率を高める機械である。畜産・製糖の両面で効果のある機械であるが、梢頭部の回収に要するコストと、サトウキビの生育状況が作業性に大きく影響するため、普及が進んでいないのが現状である。今後、さらなる改良が進み、広く普及することを期待している。

飼料用サトウキビ：飼料用サトウキビは、家畜飼料に特化したサトウキビ品種で、サトウキビ梢頭部の嗜好性がよいことにヒントを得て、高バイオマス量サトウキビ開発の中から育成されたものである。その特徴として、①台風に強い、②干ば

つに強い、③痩せ地でも生産できる、③永年性で数年にわたり収穫できる、④硝酸態窒素の心配が少ない、⑤嗜好性が良い、⑥収穫適期が長く刈り遅れがない、そして、⑦収量が高い、といった利点を備えている。耕地面積の限られた島で、安定的に飼料増産を可能とする飼料作物としての期待を受けている。詳しくは別稿で紹介されているので参照頂きたい。

4. 多用途利用を目指した品種改良

(1) 種間雑種のカスケード利用

種間雑種の利用は1800年代に実施されており、必ずしも新しい手法ではない。しかし、砂糖の生産のみを前提として品種改良ではない点で当時とは決定的に異なっている。最終的に製糖用品種の改良を目指すことは同じであるが、製糖品種に至る過程で得られる中間系統を用途に応じて使い分ける点が新たなポイントである。

製糖用サトウキビとサトウキビの野生種を交配すると、通常、極めて生育旺盛な雑種系統が得られるが、高繊維分で低糖度となる。これを再度製糖用品種と交配すると、糖度は高くなり、繊維分は低くなるが、バイオマス生産力も劣る傾向にある。これを繰り返し、最終的にはより多収で糖度が高く低繊維分の製糖用品種開発を目指すことになる。この工程で得られる各種系統を多用途に利用するのがサトウキビ育種におけるカスケード利用である(図3)。雑種初期のF1世代(雑種第一代)やBC1世代(戻し交雑第一代)からは旺盛な

生育と株の再生力を活かして家畜飼料を生産する飼料用サトウキビを得ることができる。また、BC1、BC2(戻し交雑第二代)からは、比較的旺盛な生育をしつつも糖質の生産力が改善されている点を活用し、糖質系のバイオマスを活用する伊江島方式などの新たな生産体系に向けた高バイオマス量サトウキビを得ることができる。そして、BC2以降の世代では、現在の製糖産業に貢献できる品種を開発することができる。

こうした新たな品種群を育成するには、新たな育種目標が必要とされている。飼料用サトウキビには高い収量性だけでなく、株の再生、持続力が必要なほか、家畜飼料としての栄養と安全性の面からの品質確保が重要であり、高い乾物率やより高いタンパク含量などが求められる。伊江島方式には、一定程度のショ糖の含有率が必要であり、さらには、エタノール製造のエネルギーを賄うためのバガス燃料確保のために適度に高い繊維分が求められる。製糖品種にはより高い収量その他、耐病性や、乾燥や低温、不良土壌などの不良環境への適応性の向上が期待されており、こうしたねらいに沿った品種開発を実施する必要がある。

(2) 品種改良の新たな試み

サトウキビは高次倍数性作物で、一つの細胞に100本以上の染色体があり、極めて複雑な遺伝様式をとる。このため、サトウキビの品種改良に利用されている遺伝学的な知見は少ないのが現状となっている。この問題を解決するために、新時代に見合った新技術の利用を見込んでいる。農研機構との共同研究の中でトヨタ自動車FP部が開発した効率の良いサトウキビ遺伝子解析技術は、将来的に遺伝子の構成によって育成途上のサトウキビ系統能力(生産力や耐病性など)を知ることが可能となると考えられている。これは、交配を含めて10年以上必要とするサトウキビの品種開発期間を大幅に短縮できる可能性を秘めており、また、良い系統を選び、不良な系統を淘汰する品種開発の効率を大幅に改善できる可能性もある。より良い品種をより早く育成できる、そうした新たな品種開発技術が完成できることを期待している。

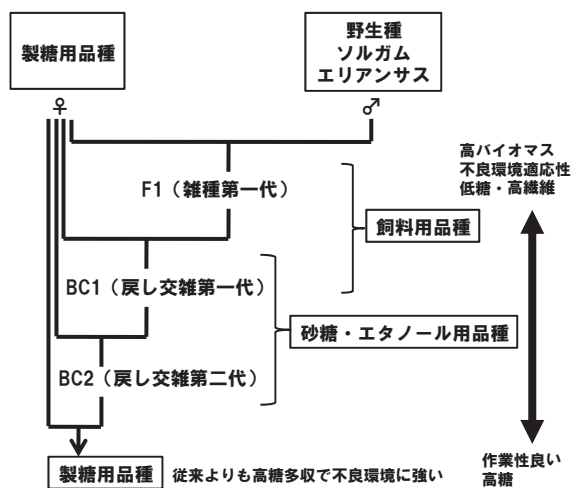


図3. 種間雑種のカスケード利用のイメージ