

温帯におけるエネルギー作物としてイネ科 多年生草本エリアンサスは卓越している

Gramineae perennial herbaceous plant *Erianthus* excels as an energy crop in temperate zones

安藤象太郎*

1. はじめに

作物を栽培する目的は主に、食用、飼料用、緑肥用、工芸用（加工の工程を経て製品になるもの）であり、バイオマスのエネルギー利用は、もっぱら木質バイオマスである薪や炭の利用であった。地球温暖化対策としてCO₂排出量を削減するため、ブラジルのサトウキビからのエタノール生産が始まり、続いてアメリカのトウモロコシもエタノール生産に使われるようになった。草本でもバイオマス利用が可能な植物種の探索が1980年代から始まり、アメリカではスイッチグラス、ヨーロッパではジャイアントミスカンサスが、候補作物として選ばれた。草本系作物をエネルギー利用する方法は、ペレット燃焼、ガス化、セルロースからのエタノール生産、メタン発酵等があるが、いずれにしてもエネルギー利用を目的とした草本系バイオマス作物は、低コストで持続的に多くのバイオマスを生産する必要がある。国際農林水産業研究センター（国際農研）は農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）等と共同し、エリアンサスのバイオエネルギー利用を目的とした研究開発を進めてきた。

エリアンサス (*Erianthus*) 属は、多くの種を有するが、本稿でエリアンサスと呼んでいるものは、アジア原産の *E. arundinaceus* 種である。*E. arundinaceus* の内、特に6倍体の染色体を持つ系統が、東アジアと東南アジアに広く分布している。日本では、南西諸島から九州、本州等で収集され保存されている。C4型光合成を行うイネ科多年生草本であり、高バイオマス生産能、高い再生能力、環境ストレスに対する耐性を持つ。

エリアンサスはバイオマス生産量が多いことから、飼料作物としての利用がまず検討されたが、粗タンパク質含量が低い等、飼料価値は低かった。エ

リアンサスはまた、サッカラムコンプレックス (*Saccharum* complex) と呼ばれるサトウキビに近縁なイネ科植物のメンバーであり、サトウキビのバイオマス生産性や不良環境耐性を改良するための育種素材として利用が期待されている。サトウキビとエリアンサスの属間雑種は、オーストラリア、中国、インド等で作出されている。国際農研も日本とタイで属間雑種の作出に成功しており、高バイオマス生産能、不良環境耐性、深く大きな根の形質等のエリアンサスが持つ優良形質をサトウキビに導入することを目的とした研究を進めている。なお本稿の内容の多くは、英文の総説⁽¹⁾を基にしているもので、こちらも参照されたい。

2. エリアンサスにおける高バイオマス収量のメカニズム

スイッチグラス、ジャイアントミスカンサス、エリアンサスに共通する特徴は、いずれも多年生の草本なことである。温帯で高バイオマス収量を得ようとすると、種からのスタートは不利である。光合成産物が根の伸長にも使われるため、どうしても初期生育が遅く、水と強い太陽光を得られる夏の前に準備を整えて、夏の期間の光合成量を最大化することができない。一方、多年生であれば、前年に形成された根が、次のシーズンを前にして全て死ぬわけではないので、生き残った根を使って生育を開始することができる。特にエリアンサスではこの傾向が顕著である。那須塩原市の圃場試験でエリアンサス系統JW630を3月に収穫した時、1年目の株あたりの乾物重は、地際から30 cm以上の地上部、地際から30 cm以下の地上部、地下部でそれぞれ、0.82 kg, 0.89 kg, 0.62 kgであった。2年目ではそれぞれ、

* 国立研究開発法人国際農林水産業研究センター プロジェクトリーダー

7.73 kg, 3.08 kg, 1.73 kg に増加した⁽²⁾。1年目のエリアンサスの収量は必ずしも大きくなく2 t/ha程度であり、1年目は比較的多くの光合成産物が根の形成に振り分けられていることが分かる。2年目からは急激に地上部が大きくなり、根もさらに大きくなる。2年目の地際から30 cmより上の地上部乾物重は約20 t/haに相当する。2年目の収穫調査では、油圧シャベルを使って根を掘り出す必要があるほど、根は大きくなっていった(図1)。大きく成長するためには、基礎を充実させることが重要であり、多くの地上部乾物重を得るためには、まず地下部が大きくならなければならない。エリアンサスを実現させている、多年生であることは種子植物と比べて、コスト面でも優位である。毎年の種子代と圃場の耕起、播種、除草等の作業代を削減することができる。那須塩原市の農研機構畜産研究部門の試験圃場には、15年以上栽培を続けているエリアンサスがある。

ソルガム、ネピアグラス、サトウキビは熱帯や亜熱帯では高いバイオマス収量を得ることができる。しかしながらソルガムは種子植物であり、ネピアグラスやサトウキビは例えば温帯の関東地方では越冬



図1 エリアンサス系統 JW630 一個体の地下部

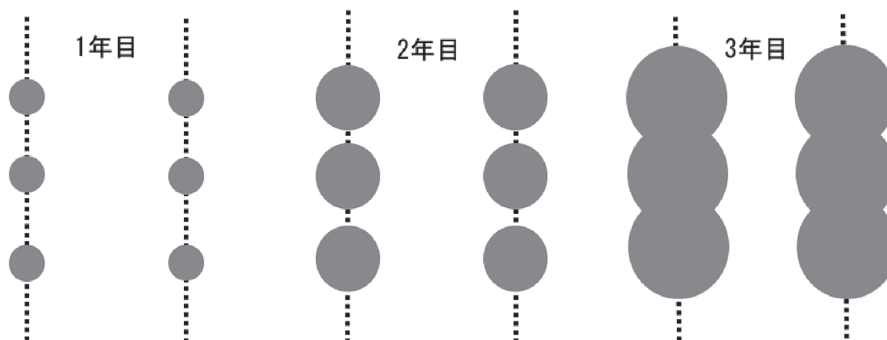


図2 エリアンサスの畝上(点線)での株の広がり方の模式図

できない。北海道になるとススキやジャイアントミスカンサスが越冬できるのに対して、エリアンサスは越冬できないが、関東地方でのバイオマス生産量はエリアンサスの方が多い。こうしたことから関東地方のような温帯地域でのバイオマス作物としては、収量とコストの面からエリアンサスが最適と考えられる。

地上部におけるエリアンサスの特徴は、茎数がきわめて多く、茎が密集して生えていることである。1年目、2年目、3年目と栽培を続けていくと、同心円状に茎が広がっていく(図2)。茎数が多いことは、連作しても多くの茎が再生して高い収量が得られることを担保している。多くの茎が密集しているので、収穫後の株は木の切り株の様にも見える。エリアンサスの苗を準備するのは、比較的手間がかかるので、定植時の栽培密度は低く抑えて、畝間2 mと株間1 mを推奨している。畝間2 mは収穫機が圃場に入るために必要な畝間である。株間の1 mは、広い株間であるが、栽培を続けていくことによって、同心円状に広がるエリアンサスの茎は、やがて隣の株の茎とくっつき、ベルト状になって、最大の収量を得られるようになる(図2)。このような状態になると、畝間は早い時期にエリアンサスの陰になるので、雑草の防除も必要でなくなる。一方、このようなベルト状のバイオマスの塊は、高性能の収穫機でないと歯が立たないという問題がある。また、エリアンサスの茎の内部はスポンジ状になっており、水分含量が少ない。生長点に水分を集中させ、効率よく水を利用するための機構を備えていると考えられる。

ススキにおいて、晩秋から冬にかけて茎葉部が枯死し、そこに含有されていた無機養分および炭水化物が地下茎へ転流され、翌春の再生に地下茎に貯蔵されていた養分が利用されることが知られている。このようなメカニズムがエリアンサスにあるかどうか

かを、那須塩原市の圃場試験で検討した²⁾。10月と3月のエリアンサスを比べると、10月では茎葉が青々としているのに対し、3月では低温のため茎葉は枯れ上がっている。3月では、地際から30 cm以上の地上部の無機養分濃度と養分蓄積量は転流によって著しく減少した。窒素に関してはさらに、地際から30 cm以下の地上部と地下部で濃度と含有量の増加が見られた。また、デンプンは地下部で濃度と含有量の増加が認められた。こうしたことから、冬季の枯れ上がった時に収穫することによって、圃場からの無機養分の収奪量を、窒素とカリウムでは約30%、リンでは約40%減らせることが分かった。バイオマス作物は収量が多いため、土壌からの養分吸収量も多くなる。低コストで持続的にバイオマス作物を栽培するためには、施肥量を増やす代わりに、枯れた後に収穫することによって養分収奪量を減らしたり、ボイラー灰を圃場に戻して養分を循環させたりすることが必要だと考える。また、刈り株や地下部に蓄積された養分が、次のシーズンの生育を促進することが、エリアンサスの高バイオマス収量のメカニズムの一つとなっている。

3. 実用化に向けたエリアンサス新品種登録

エリアンサスは新規作物であり、これまで農業研究の対象になっていなかった。そのため、農研機構と国際農研の研究者が中心となり、エリアンサス研究連絡会(エリアンサス研連)と言う組織をつくり、年に1回会議を開いている。通常のプロジェクトの検討会では、プロジェクトの成果と次の計画が検討されるが、エリアンサス研連はメタプロジェクトの

会議であり、新規作物であるエリアンサスにおいて、何を研究すべきか、そのためにどういったプロジェクト予算を獲得すべきかという、エリアンサス研究の方向性を緩やかに決める場として機能させた。そして、エリアンサスのエネルギー利用を実用化するためには、まずは使える品種を用意するという合意のもとで、品種化の研究を進めた。

バイオエネルギー生産の原料作物としてエリアンサス自体を利用することを目的として、世界初のエリアンサス品種「JES1」を、2013年6月に品種登録申請した(図3)。農研機構の九州沖縄農業研究センターおよび畜産研究部門と国際農研が共同で育成した品種であり、北関東までは越冬栽培が可能で、収穫2年目からは熊本では30 t/ha程度、北関東では15 t/ha程度の乾物収量が得られる。エリアンサスは環境省の「我が国の生態系等に被害を及ぼすおそれのある外来種リスト」(2015年3月)の重点対策外来種に該当するため、雑草化の危険性がある小笠原・南西諸島では栽培できない。九州から北関東にかけては、「JES1」は種子ができないか、できても発芽しないため雑草化の懸念はない。エリアンサスの種子は国際農研の熱帯・島嶼研究拠点(石垣市)の試験圃場採取し、育成権者の利用許諾契約および原種苗提供契約を締結した事業者に対して供給している。続いて2015年10月に「JEC1」の品種登録申請を行った(図4)。「JES1」は種子で増殖する品種であるのに対し、「JEC1」は茎や株分けで増殖する品種である。「JEC1」は「JES1」と同等の収量性を示し、「JES1」より均一性が高いので、機械収穫効率が優れる。両品種は2020年8月に品種登録さ



図3 エリアンサス品種「JES1」の草姿



図4 エリアンサス品種「JEC1」の草姿

れた⁽³⁾⁽⁴⁾。

4. 栃木県さくら市におけるエリアンサスの事業化

栃木県さくら市の(株)タカノがエリアンサス品種「JES1」を耕作放棄地で栽培し、ペレット燃料に加工し、それをさくら市が市営の温泉施設で利用する仕組みを実現した(図5)。これは、エリアンサスを地域自給燃料として実業化した世界初の事例となり、この件に関して2017年9月にプレスリリースを行った。

エリアンサス品種「JES1」の種子は、国際農研の熱帯・島嶼研究拠点(石垣市)で採取し、(株)タカノに提供した。(株)タカノがポットを用いて育苗したが、低温を回避するため冬季は温室内での育苗が必要である。耕作放棄地で栽培する場合は、耕作放棄地の雑草を除草剤で十分に防除しておく必要がある。栽植密度は、畝間2m、株間1mで定植した。現在、農研機構が、エリアンサス栽培の手順書を作成中である。

飼料用の収穫機を用いて、エリアンサスを収穫した。冬季に収穫すると低温による茎葉の枯れ上がり(立毛乾燥)が進行しており、これに伴い収穫物中の水分が減少する(図6)。3月には含水率は30%にまで低下しており、ペレットへの加工特性が優れる。エリアンサス100%でペレットを作成した場合、かさ密度670kg/m³、含水率8.1%、高位発熱量17.5MJ/kg、低位発熱量16.0MJ/kg、灰分2.9%であった。灰分含量が木質ペレット品質基準を超えているので、現在は木質を50%混合したペレットを使用している(図7)。

ペレット燃料は、さくら市の市営温泉にバイオマスペレットボイラーを配備し、シャワー用熱源として使用した。ボイラー導入前は年間10万リットルの灯油を使用していたので、これを代替することができた。さくら市は燃焼カロリーベースで灯油と同等の値段でペレット燃料を買い取っている。さくら市にとっては、耕作放棄地の解消になり、地域自給燃料を利用した地球温暖化対策となる。令和元年には、農林水産省のバイオマス産業都市構想にさくら

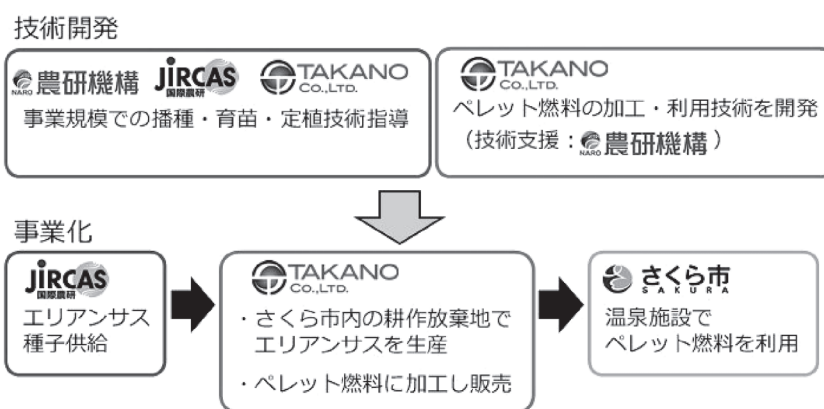


図5 事業化の内容と役割分担



図6 立毛乾燥後に機械収穫されるエリアンサス「JES1」



図7 エリアンサス「JES1」を原料とするペレット燃料

市が選ばれた。さくら市の構想は「農業生物資源エリアンサスを活用した地域循環型社会の構築」となっており、耕作放棄地における栽培を拡大し、他の施設でもペレット燃料の利用を目指す計画になっている。さらに、いくつかの自治体で、エリアンサスの導入計画が進んでいる。

5. バイオマス作物の持続性

バイオマス作物の生産は常に食料生産との競合が問題になる。筆者もバイオマス作物の導入にはゾーニングの概念が必要と考えている。例えば、水が獲得しやすく土壌肥沃度の高い場所では、食料生産を優先すべきであり、次に優良な土地では飼料を生産すべきであり、バイオマス作物は、水が得にくく低肥沃で食料生産に向かない不良環境地で生産されるべきであるとする。日本においては食料や飼料生産が行われていない耕作放棄地でバイオマス作物を生産すれば、この問題を回避することができる。農林水産省の統計によれば、令和元年の荒廃農地（現に耕作に供されておらず、耕作の放棄により荒廃し、通常の農作業では作物の栽培が客観的に不可能となっている農地）の面積は、284万ヘクタールで、その内再生利用可能な面積（抜根、整地、区画整理、客土等により再生することにより、通常の農作業による耕作が可能となると見込まれる荒廃農地）は、9.1万ヘクタールと見積もられている。エリアンサスだけではなく、間伐材等と組み合わせることによって、バイオマスの周年供給に近づけた利用計画を策定できるのではないかと考える。

パリ協定における、世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃未満に保つ目標を達成するためには、エネルギー供給源として、バイオマスを含む再生可能エネルギーを増やしていく必要がある。火

力発電所における石炭の代替として木質バイオマスの利用が国内外で増加しているが、熱源供給システムにおける地産地消が可能な原料として、エリアンサスが使われるようになる日は遠くないのではないかと考えている。

参考文献

- 1) H. Mattsunami *et al.* Overwintering ability and high-yield biomass production of *Eriarthus arundinaceus* in a temperate zone in Japan, *BioEnergy Reserch* **11**, 467-479 (2018)
- 2) 松波寿弥, 小林真, 安藤象太郎, 寺島義文, 温帯の冬季におけるエリアンサス (*Eriarthus arundinaceus* (L.) Beauv.) 体内の無機養分および非構造性炭水化物の動態, *日草誌*, **59** (4), 246-252 (2014)
- 3) エリアンサス品種「JES1」登録番号第 27533 号 (2019年8月16日)
- 4) エリアンサス品種「JEC1」登録番号第 27534 号 (2019年8月16日)

略歴



安藤象太郎(あんどう しょうたろう)
1990年3月東京大学農学系研究科修士課程修了, 同4月熱帯農業研究センター研究員, 2001年4月国際農林水産業研究センター主任研究員, 2002年10月畜産草地研究所土壌生態研究室長, 2011年9月国際農林水産業研究センタープロジェクトリーダー, 2018年12月同地域コーディネーター併任