モロコシ，Sorghum: 燃料と実用タイプ

瀬口　正晴（*SEGUCHI Masaharu*）[1,2]，楠瀬　千春（*KUSUNOSE Chiharu*）[3]

Key Words: モロコシ，燃料，実用タイプ

本論文「モロコシ，Sorghum: 燃料と実用タイプ」は “Lost Crop of Africa”volume I Grains NATIONAL ACADEMY PRESS 1996 の第 11 章 Sorghum: Fuel and Utility Types を翻訳紹介するものである。

これまで，モロコシを食べるためではなく燃やすために育てるという発想に注目する人はほとんどいなかった。穀物学者たちは, 当然のことながら, この植物を専ら食料とみなしてきたのである。しかし，最近では，火を養うことは人を養うのと同じくらい難しいことである。ある種のモロコシは, その助けになる可能性があり，研究が必要である。

図 1

また，燃料は現代生活のさまざまな場面で重要な役割を担っている。人類の大半は，工場の操業や電車，トラック，自動車，バスの動力源として可燃性液体に依存しており，電気はもちろん，可燃性液体なしでは生活が成り立たない，あるいは少なくとも耐えられない。しかし，その液体燃料の代表格である石油の危機が迫っている。

これからの世紀の最大の課題は，持続可能な代替燃料の開発であろう。意外なことに，モロコシはその一つかもしれない。実際, モロコシは, 多くの国々に，ポスト石油時代の生活を維持するために誰もが期待している再生可能エネルギーの未来に向けた大きな一歩をもたらす可能性があるのである。

本章では，固体燃料と液体燃料の両方を生産し，工業製品を生産し，農業生産全体の持続可能性を維持するのに役立つモロコシの可能性を紹介する。

ファイヤーウッド（焚き木）

現代の食生活において，食は基本であるが，燃料も同様に基本である。穀物，豆類，根菜類，そして多くの野菜は，火を通さなければ食べることができない。

現在，多くの人が直火で調理している。実際，世界の 3 分の 1 以上の人々にとって，本当のエネルギー危機は薪の奪い合いである。最貧国では，人口の 90% が調理を薪に頼っている。アフリカや東南

[1] 神戸女子大学，[2] 日本穀物科学研究会前会長，[3] 九州栄養福 祉大学

アジアの一部では，平均的な利用者が 1 年に 1 トン以上燃やしていることもあるのである。

食料の確保は何十億もの人々の日常生活の大きな部分を占めているが，それを調理するための燃料の確保も同様に手間がかかるようになってきている。薪はますます手に入りにくくなっている。薪の調達はますます難しくなり，今では食料の栽培よりも燃料の調達に時間がかかるところも増えている。アフリカでは，「鍋に水を入れるより，鍋を温める方がコストがかかる」という言い伝えがある。

近年，薪作物の開発には力が注がれているが，焚き火用のモロコシの開発を考えるアドバイザーや行政官はほとんどいない。しかし，ある種は木質化した茎を持ち，驚くほどの熱を発することも事実である。将来の薪作物の一つになる可能性は十分にある。

この茎のしっかりしたモロコシは，これまで燃料資源としてほとんど研究されてこなかったが，ある種類については予備的な実験が行われている。エジプト産のモロコシは，穀物よりも茎の方が高く評価されている。エジプトでは燃料として利用されている。ギザ 114 と呼ばれるこの植物は，木質化した固い茎を持ち，草の茎としては特に高温で燃焼する。

ギザモロコシについてはほとんど知られていないが，予備試験の結果によれば，輝かしい未来が待っているかもしれない。例えばペルーでは，調理用ストーブやレンガ窯の燃料として生産され，有望視されている。現在，ハイチでもテストが行われており，燃料としての可能性は十分にあるようだ。

燃料不足の国では，このようなモロコシが農業の標準となる可能性は否定できない。モロコシの年間バイオマス収量は，樹木と同等かそれ以上になる可能性がある。モロコシの茎の収量は，中国では 1 ヘクタール当たり 75 トンと測定されており，おそらく 1 ヘクタール当たり 10 トン以上の乾燥バイオマスがある。これは，最も成長の早い樹木の年間生産量に匹敵するものである。1 ヘクタール当たりの燃料カロリーの全体的な生産量も同程度と思われるが，最も密度の高いモロコシ茎でも，同量の木材サンプルのカロリー生産量には及ばないだろう。おそらく，適度な穀物の収穫も可能であろう。

樹木と比較すると，モロコシは数ヶ月から数週間で燃料を生産することができるという利点がある。このことは，今日のような熾烈な薪探しだけでなく，砂漠や劣化した土壌が残ることで初めて終わるように思える森林や林の破壊を緩和することにもつながるだろう。身近な野原で燃料を調達できる人は，遠くの森まで歩いて行って，かさばる薪を持ち帰るようなことはしない。必要なのは太い幹ではなく，切りやすく，運びやすく，岩の上に置いた鍋の下の空間に入れやすい小さな茎なのだ。そのためには，茎のしっかりしたモロコシが，これからの重要な資源になるかもしれない。

図 2　モロコシの茎は燃料にはならないが，何百万人もの人々にとって，それが唯一の食料である。デンプン質の主食はすべて調理しなければ食べられないので，モロコシは飢餓の解消に大きく貢献する。(ネイサン・ベン)

液体燃料

国家経済の安定と発展のために，灯油，ガソリン，軽油などの石油系液体燃料は欠かせないものとなっている。工場や電車，トラック，バスなどの動力源となるだけでなく，発電や機械，医薬品などの生産にも利用されている。警察，消防，救急車，公共交通機関，建設機械などはすべて，内燃エンジンのシリンダー内で爆発する液体に依存しているのである。

このような理由から，将来の石油供給に対するジレンマが高まっており，再生可能燃料，特に既存のエンジンタイプに適した燃料を調査することが不可

欠となっている。非石油系燃料の中で，エタノールは現在，自動車輸送に広く利用されている唯一の燃料である。

現在，エタノールはサトウキビかトウモロコシから作られているが，将来はモロコシも主要な供給源になると思われる。モロコシの茎には，サトウキビと同じように糖分が多く含まれている。果汁には13 ～ 20 パーセントの発酵性糖分が含まれている。アルコール度数も 6% 程度になる。

アフリカやインドのモロコシの産地では，緑色の柔らかい茎をサトウキビのように噛んで食べたり，シロップや糖蜜，砂糖，菓子などを作って食べるため，甘い茎の種類がまばらに分布している。アメリカ南部では，かつて甘味料の主な原料として使われていた。かつてはアメリカ南部の主要な甘味料だったが, 現在では燃料としての可能性も高まっている。

スイートモロコシには以下のような特徴があり，将来のエタノール生産に重要である。

・バイオマス収量が高い。
・発酵可能な糖の割合が高い。
・可燃性物質の割合が高い（処理用燃料として）。
・比較的短い成長期間。
・干ばつストレスに強い。
・肥料を比較的必要としない。

さらに，スイートモロコシからは食用や飼料用の穀物も生産される可能性がある。モロコシは最も効率的な植物の一つであり，穀物だけでなく発酵可能な糖類も生産するため，エネルギーと食糧の両方を生産する。ほぼ理想的な植物であると考えられる。サトウキビ産業で使われている技術は，ほぼそのまま適用できる。

スイートモロコシには，サトウキビと比較して多くの潜在的な利点がある。例えば，熱帯気候に限定されるサトウキビとは異なり，様々な生育条件に適応する。水や肥料をあまり必要としない。また，より簡単に植えることができる（茎ではなく種から）。また，完全な機械化が可能で，サトウキビ畑のように畑を焼く必要がないため，単価を低く抑えられる可能性もある。

モロコシは，トウモロコシ（穀物をアルコールに変換する）と比べて，デンプンではなく糖分を生産することができるのが利点である。その結果，モロコシのジュースは，最初の加水分解の費用や遅延なしに，直接発酵させることができる。

最近，少なくとも 3 カ国の研究者がモロコシの燃料としての可能性を評価し始めた。以下の例が示すとおりである。

インド

インド南部では，穀物と糖分を含んだ茎の両方を収穫できるモロコシの品種の可能性が模索されている。Nimbkar 農業研究所（NARI）の技術者たちは，この両用品種が，食料，それを調理する燃料，その生産を助ける家畜に与える飼料の 3 つの問題を解決することを発見している。植物の上部からは食用となる穀物が, 茎からは燃料となる糖（アルコール）が, そして糖を抽出した後に残る果肉からは家畜の飼料が得られる。

これまで多目的モロコシは，個々の生産物の収量が少ないという理由で敬遠され, 見過ごされてきた。しかし，NARI の研究者たちは，そうではないことを示そうとしている。1 ヘクタールのモロコシから，年間 2 ～ 4 トンの穀物, 2000 ～ 4000L のアルコール，3 ～ 5 頭の牛の飼料となる砕いた茎が得られるというのだ。発酵には，NARI はサッカロミセス・セレビシエの菌株を使用している。平均的な発酵効率は 90% で，発酵プロセスは 48 ～ 72 時間で完了する。

もちろん，燃料用アルコールの「栽培」という発想は，決して新しいものではない。しかし，他のほとんどのプログラムは，アルコールを蒸留するのに必要な燃料費が経済的に見合わず，失敗に終わっている。そこで NARI は，太陽熱を利用した蒸留器を開発し，太陽熱集熱器により高温で蒸留できるようにした。パイロットモデルは，平板太陽集熱器（面積 38 m^2）と温水貯蔵タンク（容量 2,150L）を組み合わせたものである。また，加圧ランタンと無加圧ランタン，そして蒸留器から直接取り出した水性アルコールで作動する芯のないコンロも開発した。

NARI は，この多目的モロコシと適切な技術の組み合わせにより，理論的には 2000 年までにインドで必要なすべての自動車燃料をまかない，マハラシュトラ州で現在使われている灯油を完全に代替し，マハラシュトラ州のすべての牛の飼料の 80% を供給することができると提案してる。実際には，このようなレベルに達することはないだろうし，砂糖も生産すると穀物の収量が落ちるのは自明の理で

あるが，NARI のコンセプトは，モロコシを世界のエネルギー資源として押し上げる大きなブレークスルーとなり得る強力なものである。そして，モロコシが茎に糖分を多く含み，穀物収量が高いというのも，あながち夢物語ではないのかもしれない。テキサス州の研究者は，砂糖の高収量は穀物の高収量と相容れないものではないことも発見している。

米国

米国では，1978 年から 1984 年にかけて，アルコール用モロコシの大規模なプロジェクトが実施された。このプロジェクトの一環として，ネブラスカ大学が，再生可能燃料のみを使用した実証農場を開発した。アルコール生産の主要作物はスイートモロコシであった。急速に成長し，大量の砂糖を生産する交配種が作られた。

温帯地域におけるスイートモロコシの主な制約は，収穫時期である。凍結の可能性がある場所では，凍結前に作物を集めなければならないため，収穫期間が大幅に短縮される。傷んだ茎の糖分は発酵し始める。

ブラジル

エタノール燃料のパイオニアといえばブラジルである。すでに燃料用アルコールは全国で大規模に使用されている。しかし，その原料はほとんどサトウキビである。そのブラジルで，スイートモロコシという作物の利用が検討されている。モロコシは，サトウキビが手に入らない季節にアルコールを供給することができるのだ。ブラジルのサトウキビは通常 6 月から 11 月の間に収穫できる。スイートモロコシの収穫期は 2 月から 5 月である。

モロコシは毎年生産されている。サトウキビの茎もモロコシの茎も，同じ装置で処理される。

ブラジルの研究者たちは，副産物を食品，飼料，肥料，繊維として利用する統合システムにモロコシを組み込むための研究も進めている。さらに，この技術をマイクロスケールで応用し，分散型産業で燃料を経済的に生産できるようにしようとしている。これにより，輸送コストを削減し，農家が自分たちでエネルギーを生み出すことができるようになるかもしれない。

モロコシの脇役たち

世界中でモロコシはほとんどが食用か飼料用に栽培されており，（先ほど述べたように）燃料用も少し栽培されている。しかし，モロコシはそれ自身のためではなく，他の作物のために栽培されているという，興味深い使い方もいくつかある。以下はその 3 例である。

土壌の再生

塩類土壌

最近，モロコシとスダジイ（モロコシの特殊品種）の交配種が，ナトリウム化合物で痂皮（かさぶた）状になった塩性土壌を修復する能力があることが判明した。米国農務省アイダホ州キンバリーの農業局土壌・水管理研究部長デービッド . L. カーター氏は次のように述べている。「これらの限界集落の土地に良い飼料を生産すると同時に，これらの土壌の一部を人間が食べるための作物に再生するだろう」と予測している。

ソルダンの根が放出する酸は，炭酸カルシウムや石灰を溶かし，その際にカルシウムを放出する。そして，カルシウムは土壌中のナトリウムを置換する。ナトリウムは二酸化炭素と反応して炭酸水素ナトリ

ブラジルのクルマはモロコシで走るか？

ブラジルは，燃料用アルコールの普及で世界をリードしている。1993 年には約 430 万台，自動車保有台数の約 40%がエタノールを燃料としている。このエタノールの原料のほとんどがサトウキビだが，将来はモロコシも原料になるかもしれない。

ブラジルの研究者は，スイートモロコシが 110 日間で 1 ヘクタールあたり 22 ～ 45 トンの原料バイオマスを生産できることを明らかにした。茎に含まれる発酵性固形物（80%の糖分と 20%のデンプン）は，1 ヘクタールあたり 2.5 ～ 5 トンになる。生産量を最適化するため，酵素を加えて茎に含まれるデンプンもアルコールに変換させる。このようにして，1 トンのスイートモロコシの茎から 74 リットルの 200 度アルコールが得られる可能性があることが，研究により明らかになった。

このような発見は，世界中の国々にとって重要な意味を持つ。遠い将来，石油が枯渇したとき，モロコシで文明を維持することができるかもしれないのだ。ブラジルは，この驚くべき植物が私たちの未来に重要な役割を果たすことを，またひとつ教えてくれた。

ウムになり，植物への害が少なく，雨でほとんど洗い流される可溶性の塩となる。ソルダンを約 2 年間栽培した後，農家はその土壌を通常の作物に再利用できることが多い。

有毒土壌の再生

ネブラスカ州リンカーンの米国農務省科学者は，モロコシが土壌から汚染物質を吸収する優れた能力を持っていることを発見した。その研究によると，モロコシは土壌から過剰な窒素を効率的に除去するため，窒素を含む廃棄物を発生させる都市や畜産業（フィードロットなど）の廃棄物処理問題を解決できる可能性があるという。「私たちはモロコシが本来持っているスカベンジャーとしての能力を利用することができました」とケネス .J. モアは言う。「モロコシは，回復力の弱い植物を枯らすような有毒な土壌で繁茂し，その浸透性の高い根は，膨大な量の土壌中の窒素を捕捉することができる。

農学者のムーアと同僚の植物遺伝学者のジェフリー・F・ペダーセンは，現在，窒素を除去するだけでなく，安全かつ経済的に利用できるように戻すシステムを開発している。高濃度に汚染された土壌にモロコシを植え，生育期間中に数回刈り取り，その葉を家畜に食べさせるのだ。このプロセスの鍵は，モロコシの丈夫な生長と幅広い根系にある。

このような環境対策は，昨今では非常に貴重なものとなっている。例えば，ネブラスカ州では，都市ごみと家畜排泄物を休耕地に散布して処理することが一般的である。その結果，窒素が過剰に蓄積されるという問題がある。「フォレージモロコシを適切に管理された作付体系に植えることで，生産者は安全に窒素を再利用することができます」とモア氏は言う。

2 年前，モアとペダーセンは下水汚泥処理場で，穀物タイプ，飼料タイプ，熱帯タイプ，スイートモロコシ，モロコシ - スーダングラスのハイブリッドなど，数種のモロコシを植えてプロジェクトを開始した。土壌には 1 ヘクタールあたり 400kg の窒素が含まれていた。熱帯性モロコシとその交配種は土壌から最も多くの窒素を吸収し，平均 200kg を除去し，1 シーズンで 1 ヘクタールあたり 20 トン以上の乾物を収穫した。

「私たちはもっと期待したのですが，初年度の生育期間が短く，涼しいことが判明しました」とムーア氏は言う。通常の条件下では熱帯モロコシは 300kg もの窒素を吸収し，1 ヘクタールあたり 25 トンの乾物を収穫する。

モロコシは非常に効率的な捕捉剤であるため，葉の中の窒素レベルが実際に家畜に有害なレベルまで蓄積される可能性がある。この硝酸塩中毒の可能性に対処するため，研究者はモロコシの硝酸塩含有量を評価した。ほとんどのモロコシは有毒レベルかそれに近いものでしたが，サイレージ処理（乳酸発酵）により，家畜への脅威は取り除かれた。

塩分を含んだ土壌に新しい生命を

この数十年間，灌漑は世界の食糧供給を破滅から救ってきた。しかし，灌漑には根本的な欠陥がある。灌漑が最も盛んな乾燥地帯では，蒸発によってソーダと塩が余剰になるのだ。このような塩質土壌は，最悪の場合，自己密封状態になり，内部構造が崩れ，水は表面で無駄に滞留するだけとなる。しかし，モロコシはそれを解決することができる。

モロコシは，根から大量の糖分が滲み出てくる。通常は土壌微生物がこれを食べてくれるのだが，モロコシは嫌気性土壌で微生物がいないため，化学的な処理で糖分を分解する。そこで，化学的な処理で糖分を分解し，二酸化炭素を発生させる。弱い天然酸である二酸化炭素は，可溶性のアルカリ（炭酸ナトリウムと炭酸水素ナトリウム）と反応して，酢酸と少量のギ酸を生成する。これらの強い酸は，今度は炭酸カルシウムなどの不溶性アルカリと反応する。したがって，モロコシの全体的な効果は，アルカリ性を下げ，ミネラルをより可溶性の高い形に変えることである。そして，そのミネラルが流されると，土壌の空隙が再び開かれる。

このプロセスは驚くべき効率で行われる。米国農務省の研究者たちは，モロコシ（主にソルダンとスーダングラスと呼ばれる飼料用品種）を使って，ナトリウムの影響を受けた限界土壌を 1 シーズンで再生させた。作物が育たないほど有毒な土地で，モロコシを 1 シーズン植えただけで，大麦やアルファルファの立派な立ち木ができた。塩分に非常に敏感な豆類は，モロコシで 2 シーズン，3 シーズン育てられるようになった。1 シーズンのうちに，アルカリ度が pH1 単位分下がり，カルシウムの溶解度が 10 倍になることも珍しくはない。しかし，最初のうちは，植物がスカスカになり，発育不良で黄色くなる。これは，モロコシが非常に弱い鉄欠乏が原因であることが分かっている。しかし，「酸性化メカニズム」が働くと，植物中の鉄分濃度が急上昇し，緑色になり，急速に成長するのである。

このプロセスは，単に土壌を再生させるだけではない。研究者たちは，飼料用モロコシで記録された最も高い乾物生産量を，特に夏の暑い時期に得ることもできている。乾燥重量は 1 ヘクタールあたり最大 67 トン。

さらに改良を加えれば，このプロセスは，都市や産業から出る廃棄物から窒素（そしておそらく他の汚染物質も，有用なものと危険なものの両方）を継続的に除去する方法であることが証明されるかもしれない。「モロコシとスダグラスの交配種は，ネブラスカ州をはじめとする中部平原や中西部の州で今とても人気がある」とペダーソンは言う。「有機廃棄物を消費するために，すぐにでも使えるでしょう。」

風による侵食

世界中の研究者がモロコシを生かすために努力しているが，ジェームズ・D・ビルブロ Jr. はモロコシを枯らすことに関心がある。彼は，テキサス州の農地から土をまい上げ，アメリカの風景に渦巻く冬の風を阻止したいと考えている。死んだモロコシは，その答えのようだ。

テキサス州ビッグスプリングに住む米国農務省の農学者ビルブロは，作物が収穫され土地がむき出しになる長く寒い冬に，農地を保護する方法を模索している。現在，彼の地の農家では通常，特別な作物を入れて土地を覆い，土壌をピンと張った状態に保っている。この植物は雪の下でも生き残り，再び主要作物を植えるための土地を取り戻すために，農家は最終的に除草剤で植物を殺さなければならない。

ビルブロは問う。自然がやってくれることなのに，なぜ除草剤にお金をかけ，環境を危険にさらすのか。夏の終わりから秋にかけて，彼は暖地性の作物を植え，それが非常によく働くことに気づいた。12 月には枯れてしまうが，地面の 60% 以上を覆っているので，風による侵食もない。

ビルブロ氏がテストした 16 種類の作物の中で，飼料用モロコシは最も有望である。農家にとっては，経費節減になり，環境にも優しく，霜が降りるまでの期間が短いため，後続の作物のために水分を多く残すことができるため，近いうちに土壌保護に使われるようになるだろうと彼は考えている。
この技術はテキサス州のハイプレインズで開発されたものだが，寒冷地において風食が問題となる場所であれば，どこでも役に立つと思われる。

これは主要な食用作物にとっては些細なことに思えるかもしれないが，実はその可能性は非常に大きい。風による被害は 174 万ヘクタール，前回の風食シーズン（1991 年 11 月から 1992 年 5 月）に 10 州の大平原地帯の農地と放牧地そして，600 万ヘクタール以上が，風によって表土を失う危険性があると報告された。しかも，それはアメリカ国内だけの話である。

雑草対策

以前は，農家は雑草をコントロールするために多くの植物を輪作で使用していた。しかし，近代的な除草剤の登場により，この方法は廃止され，最も収益性の高い換金作物の栽培が継続されるようになった。このような農家の人々が知っていたこと，そしておそらく忘れていたことが，現在では科学的に明らかにされつつある。米国の例では，モロコシが挙げられる。

アメリカの農家は毎年 2 億キロ近い除草剤を散布しているにもかかわらず，100 億ドル相当の作物を雑草に奪われている。しかし，ネブラスカ州のある農家，ゲリー・ヤングは除草剤を一切買わずに，100 ヘクタールの作物を順調に育てている。10 年ほど前，ヤングはモロコシを栽培した翌年，畑の雑草が通常より少なくなっていることに気がついた。それ以来，彼は化学薬品ではなく，モロコシに頼るようになった。そして今，モロコシが除草剤として有効であることを証明するものが増えつつある。サウスダコタ大学の生物学者フランク・アインヘリグと，同州ヤンクトンのマウントマーティ大学の生態学者ジェームズ・ラスムッセンは，ヤングの農場で最近 3 年間のフィールドテストを完了した。6 ヘクタールの試験圃場に，モロコシ，トウモロコシ，大豆を植え，翌年の作物の雑草の数を測定した。モロコシの植えられた区画では，作物の植え付け時に雑草の苗が 3 分の 1 しか生えてこなかった。除草剤も耕作もしない真夏でも，雑草の総量は前年にトウモロコシと大豆を植えた区画より 40% 少なかった。

驚くべきは，モロコシが穀物に影響を与えることなく広葉樹の雑草を抑制したことである。モロコシは選択的な「除草剤」であるため，穀物農家にとって特別な重要性を持っている。（モロコシに続く広葉樹の作物は収量が悪くなりやすいことも知られている）。

有効成分は，モロコシの根から出るフェノール酸

モロコシは季節を救う

本書が示すように，モロコシは優れた作物であるが，最近，次のような体験をしたことに私たちも驚いている。

テキサス州ラボック周辺では，昔から綿花が王者として君臨してきた。春に雨が降り（秋も），その後の暑く乾燥した時期に綿花が繁茂するのだ。しかし，1992 年の春，作付けの時期に雨が降り，記録的な低温に見舞われた。地域全体で，80 万ヘクタール以上が異常気象のために失われた。涼しくて湿気があるため，長年にわたって蓄積された土壌の病気や害虫が放出され，綿花の苗はすぐに屈服してしまったのだ。

連邦政府は綿花の損失を宣言し，農家への災害補償金を支給することを決定した。しかし，農家は予想外の問題に直面した。土地がむき出しになり，夏の風で吹き飛ばされたり，後の雨で流されたりする恐れがあったのだ。地面を覆うものが必要なのだ。そこで絶望の中で 60 万ヘクタール近くにモロコシの種まきをすることにした。

一見，簡単そうに見えるこの作業にも，難題があった。綿花畑には，残留性が高く，草を枯らす効果のある除草剤が使用されていたのである。これではモロコシは生きていけない。そこで，「リスタープランター」という昔ながらの農機具を使えばいいのではと，誰かが言い出した。50 年前，農家はこの二枚板のプラウを使っていたが，あまりに古く，エネルギー消費も大きいのでやめてしまったのだ。

しかし，1992 年の非常時には，まだ古い耕運機が眠っているところがあるのではと，町中を探し回った。その中には，納屋の裏側でひっそりと錆びているものもあった。

そして，リスターが残した畝に通常の方法でモロコシの種を植えるのではなく，溝に植えたのである。その方が根が水分を吸収しやすいし，何より有毒な表土が削り取られている。

それ以上は何もしなかった。この砂地は綿花栽培のために窒素肥料で処理されており，雨で肥料が根の深さまで溶け出しているだろうというのが大方の見方だったが，誰もが，溝植えとモロコシの深い根が組み合わさって，少なくとも土地を覆うだけの固まりを確保できるだろうと期待していたのだ。そして，その先にあるモロコシの粒の収穫を期待する者もいた。

そして，1992 年の秋に収穫を迎えた。遅植え，最小限の準備，無投入でも，その乾燥地帯では記録的な収穫だった。1 ヘクタールあたり 4,500kg という数字は，実はモロコシの全国平均に匹敵するものだった。エレベーターが溢れるほど予想外の大豊作で，穀物は街中に大量に積まれることになった。なかには，長さ 1.5 キロメートルにも及ぶものもあった。農家は，災難に見舞われても，これ以上ないほどの大もうけである。

だから，テキサスの綿花農家がモロコシを尊敬の念を持って見ているのは不思議なことではない。以前は輪作作物として使っていたが，また使いたいと思うようになったのだ。モロコシは 4 年に 1 回植えることで，綿花の害虫や病気が土壌に蓄積されるのを防ぎ，綿花の不作を避けることができると考えている。また，土壌の傾斜を改善し，浸食を減少させ，地域の農業を多様化させることができるかもしれない。

とシアノゲニン・グリコシドであると考えられている。フェノール酸は植物細胞膜に影響を与え，植物の吸水能力を低下させる。また，細胞分裂やホルモン活性を阻害し，種子の発芽や苗の初期生育とのびを阻害するようである。

シアノ配糖体は，分解するとシアン化合物を含む二次物質になることが知られている。「シアン化合物は，あらゆる生育システムに対してかなり強力な阻害要因になる」とアインヘリグは指摘する。

図 3 1992 年，テキサス州ラボック近郊の典型的な風景。予想外の記録的な大豊作の一端。(A.B. Maunder)

ゲリー・ヤングの最新の技術では，秋にモロコシを植え，冬の間に凍らせる。枯れたモロコシは一年を通して雑草，特に広葉樹の雑草をほぼ完全に抑制した。翌シーズンに残渣に植えるスナップビーン（サヤインゲン）などの作物は，ほとんど雑草を駆除する必要がなかった。現在，ヤングの隣人の多くもモロコシを植えており，除草剤を使わずに適度な雑草抑制効果を得ている。

アフリカでは，こうした効果は特に重要かもしれない。現在，アフリカの農業で最も重労働とされているのが除草である。そのほとんどは手作業で，なかには手と膝を使って行うものもある。昔ながらのやり方に戻れば，この問題は解決するかもしれない。モロコシからトウモロコシへの転換が，アフリカの雑草問題を悪化させている可能性があるのだ。しかし，将来的にはモロコシはトウモロコシ農家の最良の友になるかもしれない。モロコシとトウモロコシの輪作は，両者に利益をもたらすかもしれない。

作物のサポート材として

西アフリカの農家では，ヤマイモの苗を支えるためにモロコシを使っている。茎が棒（槊杖（さくじょう））のようになっている特殊なものを使っている。ヤマイモの苗は非常に重いので，モロコシがそれを支えることができるのは，その強さを示す目で見れる証拠である。ヤマイモのつるは高さ 3 メートル，重さ 50 キロにもなる。ベト病の原因となる地面から離すことができれば，収量が飛躍的に増加する。

実は，これは見た目以上にすごいことなのだ。実際，モロコシは見かけよりももっとすごい。モロコシは，ヤマイモが成熟して枯れてから 8 ヶ月たっても，その押しつぶされそうな重さを支えているのだ。農家はモロコシの茎を折り曲げて，高さ 1.2m ほどの絡み合った「トレリス」（格子垣）を作る。ヤマイモは，前シーズンのモロコシの枯れ茎で編まれたこの壁の上で育つ。

このような扱いに耐えられる植物はほとんどない。テント状の天蓋に覆われたヤマイモは，熱と湿気を閉じ込め，さまざまな種類のカビやベト病，腐敗を促進する。そのため，モロコシは枯れてもカビに強い植物でなければならない。

これまで，ヤマイモを杭にしたモロコシはあまり注目されてこなかった。中南米では，トウモロコシの茎で豆を支えるという伝統的な方法が紹介されているが，アフリカでは，それ以上に素晴らしい方法があることはあまり知られていない。この強い茎を持つモロコシは，例えば，以下のような多くの一年草のつる性植物に最適であろう。

- マクロピチリウム : 非常に有望な熱帯の飼料用マメ科植物。
- ウィングドビーン : 安価な栽培方法が見つかれば，熱帯地方の主要作物になる可能性のあるつる性の豆。
- ライ豆，インゲン豆，エンドウ豆，ランナー豆のつる性タイプで，収量が最も多い品種だが，支柱を立てる費用がかかるため，あるいは支柱がないため，あまり栽培されない傾向がある。
- 豆類，カボチャ，その他トウモロコシ上で伝統的に栽培されているつる性植物。モロコシに切り替えることで，この有用な方法を，トウモロコシには乾燥しすぎている場所にも拡大できるかもしれない。

工業製品におけるモロコシ

厳密には，本書は食物を生産する植物に関するものであるが，モロコシの物語を終えるにあたり，この植物が工業用や家庭用の日用品の原料として実際に，そして潜在的に役立っていることを垣間見ないわけにはいかないだろう。

繊維資源

アフリカやアジアの農村部では，モロコシの茎を様々な用途に利用することができる。例えば

- 屋根の葺き替え
- 寝袋やバスケット（皮をむいた茎から作られる）。
- 伝統的な楽器の弦（ナイジェリアなどでは，剥いた樹皮をこのように使用する）。

中国では，茎がしなやかで密度が高く，特に強いタイプが開発された。通常，ガリアン・モロコシとして知られ，フェンスや壁，多くの家庭用品，ピックアップトラックの荷台よりも大きな穀物容器を構築するために使用されている。

ブルームコーン

ブルームコーンもこのガリアンモロコシの仲間である。食用，飼料用，燃料用としてではなく，花頭（花序）から生える剛毛のために栽培される特別なモロコシである。この硬くて非常に強い藁のような突起は，長さが 60cm にもなる。数世紀にわたり，人々はこれを箒や刷毛の材料として使ってきた。

ブルームコーンは，中世に地中海沿岸で開発されたようだ。（1596 年以前にはイタリアで栽培され，その後すぐにスペイン，フランス，オーストリア，南ドイツで栽培されるようになった。

このモロコシの伝来以前，ヨーロッパの家屋や倉庫，玄関先，道路など，ほこりや土，葉，馬糞などがたまる場所では，藁をゆるい束にして掃き掃除をしていた。しかし，藁はすぐにボロボロになるだけでなく，強度がなく，バネがないため，隙

図４　Broom corn

間からゴミをはじき出すことができなかった。したがって，ブルームコーンはヨーロッパの公衆衛生に最も有益な進歩の一つであったといえる。

アメリカでは，ブルームコーンはヨーロッパ以上に重要な役割を果たすようになった。この奇妙なモロコシを導入したのは，ベンジャミン・フランクリンとされている。彼は 1725 年（当時 19 歳）にイギリスから種を持ち込んで，北米で初めてブルームコーンを栽培したらしい。しかし，それは定着した。1781 年，トーマス・ジェファーソンは，ブルームコーンをバージニア州の重要農作物 6 種のうちの 1 つに挙げている。以来，何十億本もの長持ちするブラシや箒の基礎となったのである。

人工繊維や掃除機など，本来なら掃き捨てるほどあるはずの競合の中で，ブルームコーンは米国で健在である。現在，このモロコシから作られた製品は，アメリカの何百万という家庭，倉庫，店舗，工場，製鉄所，製錬所，綿花工場，納屋などで使われている。その用途は，泡立て箒から，大まかな掃除や特殊な用途に使われる庭箒まで，多岐にわたる。

その後，米国ではブルームコーンの開発がかなり進んだが，他の国ではほとんど注目されていないようだ。これは驚くべきことであり，調査すべきことである。ルワンダからロシアに至るまで，何十カ国もの国々が藁の束で掃き掃除をしている。ルワンダからロシアまで数十カ国で，まだ藁の束で掃き掃除をしているのだから，この花付きモロコシは彼らにとっても福音になるかもしれない。

ブルームコーンという植物は，他のモロコシとは違う。茎は乾いていて硬い。穀粒は小さく，長い楕円形の殻のようなもの（グルーム）に包まれていることが多い。箒やブラシの原料とされることが多いが，他にも重要な用途があるはずだ。例えば，フランスでは，ブルームコーンの茎は紙として使われている。高密度に植えることで，繊維の収量が非常に高くなるという。パルプは，クラフト紙，新聞紙，ファイバーボードなどの製造に使われる。

デンマークの科学者たちは，節間から出るチップを使って，良い羽目板を作った。ジンバブエでも同様の製品が研究され始めている。しかし，その可能性を知るにはまだ十分な調査が行われていない。

中国の研究者は，トールモロコシを合板の製造に利用している。このプロセスはうまくいっているようで，木材よりも強度の高い製品を得ることができる。

染料

モロッコの革の色は，特殊なモロコシから抽出した赤い染料から得られると言われている。この赤い種はサハラ砂漠以南のアフリカで育ち，昔はサハラ砂漠を越えてフェズなどにキャラバンで運ばれてい

レッドモロコシの上昇

西アフリカの一部では，食用には適さない（毒がある場合もある）モロコシが栽培されている。この植物は，小屋の周りや畑の端で防風林として役立っているが，それ以上に重要なのは，大量の葉鞘を提供してくれることである。

葉の茎を包む羊皮紙のような錆びた色のこの包みは，伝統的に革製品の色付けに使われる顔料を提供する。スーツケース，靴，帽子，バスケット，ブックカバーなど，何百万もの製品がこの方法で鮮やかな赤色を実現している。モロッコの革製品で有名なフェズの緋色の炎は，このモロコシ科の植物（race caudatum）に起源を持つ。

従来は，葉鞘の束を家内工業的な手間ひまのかかる工程で取り出していた。しかし今，この手間と不確実性の高い技術が更新されつつある。ブルキナファソでは，1989 年からワガドゥグ大学有機化学研究室のムフーシン・ナクロが，より汎用性の高い新しい方法を開発してきた。彼は，モロコシの染料を大規模に生産する可能性を切り開いているのである。

ナクロの染料抽出プロセスには，シンプルな手法と最新の材料が使われている。モロコシの鞘を砕き，溶媒を加えて乳化液を分離し，それを遠心分離機にかける。これによって，純粋な顔料がブルゴーニュ色の粉末として得られ，すぐに使用でき，安全に保管することができる。

ナクロ教授が発見した色素は，アントシアニンの混合物である。主成分のアピゲニンは，世界各地の食品産業で使われている天然着色料と同じものである。しかも，最近は合成着色料の害が疑われているため，ますます求められている。

レッドモロコシの葉鞘には 20%以上のアピゲニンが含まれており，これほど大量のアピゲニンが含まれているのは，レッドモロコシだけと言われている。現在最も一般的な供給源である赤ブドウの皮に含まれる量の 4 倍以上も含まれている。

ブルキナファソの新しいプロセスは工業規模で容易に再現でき，染料の商業生産はモロコシの新しい貴重な利用法を生み出す可能性がある。

た。最近は天然染料（特に赤）の需要が増えているので，もう一度商業生産ができるかもしれない。

樹脂

アフリカ産の黒粒モロコシ「シャウヤ」は，工業用樹脂の生産に有望である。

動物用飼料

モロコシの飼料としての開発は，おそらく米国が世界をリードしている。モロコシは現在，米国の温暖な地域全体で重要な動物飼料となっている。

米国では古くから栽培されているが，グレインモロコシが初めて米国の主要作物となったのは 1930 年代で，矮性品種が育成された時である。矮性品種は大規模経営やコンバイン収穫に適しており，作付面積は増加の一途をたどった。第二次世界大戦後まもなく，モロコシはテキサス州で最も重要な換金作物となり，他のいくつかの州でも貴重な資源となった。

そして 1950 年代後半にモロコシに雄性不稔性が発見された。これによって交配が可能になった。南アフリカ，エチオピア，スーダンを原産地とするモロコシが交配され，ハイブリッドが誕生し，収量が 40% も跳ね上がったのである。その結果，モロコシの作付面積は大幅に増え，やがてアメリカの動物たちがモロコシの穀物で生活するようになった。1957 年には，米国のモロコシの約 15 パーセントがハイブリッド型であったが，2-3 年のうちにその割合は 90 パーセントを超えた。

現在では，年間約 1900 万トンのモロコシの穀物が生産され，何百万というアメリカの牛，豚，鶏，七面鳥が，モロコシの穀物を食べて，肥育している。生産は大平原地帯を中心に，メキシコ湾からダコタにかけての広大な地域に及んでいる。

しかし，この作物はそれ以上に重要な飼料である。アメリカのモロコシは，穀物用として収穫されるのは全体の 3 分の 2 程度で，残りの大部分も飼料用として使われる。しかし，それらはフォレージやサイレージにされたり，放牧のために畑に残されたりする。このように，穀物ではなく葉を利用するようになったのは，1909 年頃に導入されたスダジイ草がきっかけである。このイネ科のモロコシは，その後グレインモロコシと交配され，「モロコシ - スーダン」交配種が誕生した。これらの交配種は現在，平原諸州の乾燥地帯や，他の飼料が真夏の干ばつや害虫の被害を受けることのある南東部で広く利用されている。

モロコシは過去 50 年間に急速に発展したが，アメリカ人が主に家畜の飼料として開発したという事実は，ある意味不幸なことである : 品種は通常，茶色または赤色の種皮を持ち，食糧生産には周辺的な関連性しかない。さらに，この作物は「動物の餌」という汚名を着せられた。今になってようやく，モロコシは人が食べられるものだという認識が全国的に広まってきた。現在，アメリカの農家は，茶色や赤の種子を捨てて，黄色や白の種子を持つ食用穀物のモロコシを増産している。この作物を扱う人々でさえ，「モロコシ」という名前はアメリカ人の心の中にあまりにも多くの悪い意味合いを持たせていると考えている。研究者のブルース　マンダーは，白，クリーム，黄色の粒が「太陽のよう」であり，受粉から収穫まで直接太陽の光にさらされることを根拠に，「sungrain」という名称を提案している。

References

Clegg, M.D., H.J, Gorz, J.W. Maranville, and F.A. Haskins. 1986.
Evaluation of agronomic and energy traits of Wray sweet sorghum and the N39x Wray hybrid. *Energy Agriculture* **6**: 49-54.

Coleman, O.H. 1970. Syrup and sugar from sweet sorghum. Page 438 in J.S. Wall and W.M. Ross, eds., Sorghum Production and Utilization. Avi Publishing Company, Westport, Connecticut.

Cundiff, J.S. and D.H. Vaughan 1986. Sweet sorghum for ethanol industry for the Piedmont. Virginia Agricultural Experiment Station Bulletin 0096-6088, 86-9. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.

Gascho, G.J., R.L. Nichols, and T.P. Gaines. 1984. Growing sweet sorghum as a source of fermentable sugars for energy. Research Bulletin 315. University of Georgia Experiment Station, Athens, Georgia.

Gas Research Institute. 1982. SNG [synthetic natural gas] from land-based biomass: 1981 program final report. Gas Research Institute, 8600 West Bryn Mawr Avenue, Chicago, IL 60631, USA. III pp.

Gibbons, W.R., C.A. Westby, and T.L. Dobbs. 1986. Intermediate-scale, semicontinuous solid-phase fermentation process for production of fuel ethanol fromsweet sorghum. *Applied Environmental Microbiology* **51**(1): 115-122.

Hills, F.J., R.T. Lewellen, and I.O. Skoyen. 1990. Sweet sorghum cultivars for alcohol production. *California Agriculture* **44**(1):14-16.

Kapocsi, I., J. Lezanyi, and B. Kevacs. 1983. Utilization of sweet sorghum for alcohol production. *Internationale Zeitschrift fuer Landwirtschaften* **5**: 441-443.

Suggested Citation:"Appendix F: References and Selected Readings." National Research Council. 1996. Lost Crops of Africa: Volume I: Grains. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/2305. ×

Kresovich, S., R.E. McGee, L. Panella, A.A. Reilley, and F.R. Miller. 1987. Application of cell and tissue culture techniques for the genetic improvement of sorghum, *Sorghum bicolor* (L.)
Moench: progress and potential. *Advances in Agronomy* **41**: 147-170.

Kresovich, S. and D.M. Broadhead. 1988. Registration of 'Smith' sweet sorghum. *Crop Science* **28**(1): 195.

Kresovich, S., F.R. Miller, R.L. Monk, R.E. Dominy, and D.M. Broadhead. 1988. Registration of 'Grassl' sweet sorghum. *Crop Science* **28**(1):194-195.

Lipinsky, E.S., D.R. Jackson, S. Kresovich, M.F. Arthur, and W.T. Lawhon. 1979. Carbohydrate Crops as a Renewable Resource for Fuels Production, Vol. 1: Agricultural research. Battelle Memorial Institute Columbus Laboratories, Columbus, Ohio 43201, USA

Lueschen, W.E., D.H. Putnam, B.K. Kanne, and T.R. Hoverstad. 1991. Agronomic practices for production of ethanol from sweet sorghum. *Journal of Production Agriculture* **4**(4): 619-625.

McClure, T.A., M.F. Arthur, S. Kresovich, and D.A. Scantland. 1980. Sorghums—viable biomass candidates for fuel alcohol production. Volume 1, pp. 123-130 in Proceedings of the IV International Symposium on Alcohol Fuels Technology, Guaruja, São Paulo, Brazil, 5-8 Oct. 1980. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo.

Miller, F.R. and G.G. McBee. 1993. Genetics and management of physiologic systems of sorghum for biomass production. Pages 41-49 in Methane from Biomass: Science and Technology. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 5, No. 1. Pergamon Press, Ltd., Oxford.

Morris, D.J. and I. Ahmed. 1992. The carbohydrate economy: making chemicals and industrial materials from plant matter. Institute for Local Self Reliance, Washington, DC.

Rajvanshi, A.K., R.M. Jorapur, and N. Nimbkar. 1989. VITA News. October. Pp. 7-8.

Ricaud, R. and A. Arceneaux. 1990. Sweet sorghum research on biomass and sugar production in 1990. Pp. 136-139 in Report of Projects. Louisiana Agricultural Experiment Station, Department of Agronomy, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana.

Schaffert, R.E. 1988. Sweet sorghum substrate for industrial alcohol. Paper presented in the International Workshop on Policy and Potential Relating to Uses of Sorghum and Millets. June 8-12, 1988. SADCC/ICRISAT. Bulawayo, Zimbabwe.

Schaffert, R.E. and L.M. Gourley. 1982. Sorghum as an energy source. Pages 605-623 in Sorghum in the Eighties: Proceeding of the International Symposium on Sorghum. November 2-7 1981. ICRISAT, Patancheru.

Smith, B.A. 1982. Sweet sorghum. Page 611 in I.A. Wolf, ed., CRC Handbook of Processing and Utilization in Agriculture. Volume 2. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Weitzel, T.T., J.S. Cundiff, and D.H. Vaughan. 1986. Improvement of juice expression after separation of sweet sorghum pith from rind leaf. American Society of Agricultural Engineers Microfiche Collection No. 86-6579. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 1996. Lost Crops of Africa: Volume I: Grains. Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/2305.