

繊維植物について：その 1

はじめに

多くの国々で生産される多種多様な天然繊維が、農民に重要な収入源を提供することにより、食糧安全保障への貢献と貧困の根絶、ひいては 2001 年から 2015 年のミレニアム開発目標 (MDGs) 達成への貢献にも重要な役割を果たし得ることについて、国際社会の認識を高めることを目的として、国連は 2009 年を「国際天然繊維年 (International Year of Natural Fibres)」とすることを決定しました。

NPO 法人非木材グリーン協会の機関紙「ジェルバ: JELBA」の表紙に、繊維として使うことが期待される非木材植物としてタケ、ケナフ、サトウキビ、アシ及びオイルパームの写真が紹介されています。また 2011 年 3・4 月号にスイッチグラスを、7・8 月号にエレファントグラス (別名: ネピアグラス) を紹介する記事が掲載されています。これらのうちサトウキビ及びオイルパームは世界的にも重要な「農作物」で、それらの生産量、生産性は国連食糧農業機構 (FAO) が掌握して FAOSTAT としてインターネット上で公開しています。しかし、近年高い光合成能を有するバイオマスとして注目されているアシ、スイッチグラス及びネピアグラスなどは、いわゆる「農産物と認定されていない」ことから、それらの生産量等については公的には掌握されていません。ケナフは一部の国で「その他の靱皮繊維」の一部として FAOSTAT に含まれていると思われませんが、「ケナフ」としての統計は見当たりません。

そのようなとき、エネルギー「作物」としてのミスキャンサスに関する「カーボンニュートラル社会」をテーマに据えた概論が Bioresources 誌に掲載されました。この概論について、別項「論文紹介」で紹介しましょう。ところで、ミスキャンサスとはどんな植物でしょうか、何のことはない「ススキ」 (*Miscanthus sinensis*) のことです。ススキの仲間 C4 植物と言われる C4 光合成経路を有していますので、現在の大气中の二酸化炭素濃度で、生合成効率が高くなっています。ススキの仲間でもトキワススキ (*Miscanthus floridulus*) のように、かなり大量のバイオマスを生産するものもあります。しかし、エネルギー作物として取り上げられているのは、「ススキ」 (*Miscanthus sinensis*) と「オギ」 (*Miscanthus sacchariflorus*) の種間交配によって生み出された「ジャイアント・ススキ」とよばれているものです。詳細は後ほど。

表 1. 植物繊維の種類

種子繊維	綿花(Seed cotton)、カポック(Kapok)、キワタ (Cotton tree)
靱皮繊維	苧麻(Ramie)、亜麻(Flax)、黄麻(Jute)、麻(Hemp)、コウゾ(Paper mulberry)、三椏(Oriental paperbush)、雁皮、ケナフ(Kenaf)、クワ(Mulberry)など
葉脈繊維 (導管繊維)	サイザル麻(Sisal)、マニラ麻(Abaca)、パイナップル(Pineapple)、ニュージーランド麻(New Zealand hemp)、サンセビリア麻(Sansevieria hemp)、バナナ(Banana)、アガベ麻(Agave fiber)など
果実繊維	ココナッツコアイア(Coconut coir)、オイルパームコアイア(Oil Palm coir)など
茎幹繊維 (リグノセルロース繊維)	サトウキビバガス(Sugarcane bagasse)、タケ(Bamboo)、イネワラ(Rice straw)、ムギワラ(Wheat straw)、アシ(Read grass)、シュロ(Chusan Palm)、ネピアグラス(Nepier grass:エレファントグラス)、スイッチグラス(Reed canary grass)、ミスキャンサス(<i>Miscanthus</i> :ススキなど)、エリアンサス(<i>Erianthus</i>)など

1. FAO の統計に表れる繊維植物

本論では、第 I 章で FAO (国連食糧農業機構) の統計に表れる繊維植物、すなわち、現在比較的大量に生産され国際的商取引が行われている繊維植物について紹介し、次いで第 II 章で FAO の統計には表れませんが、伝統的に使われている繊維植物さらに今後利用拡大が期待される植物について紹介します。第 III 章で

は、表 1 にも載っている将来に向けて利用開発を進めることが求められている穀類及びその他の農産物のワラ等廃棄物について述べることにします。

表 2. FAO の統計に表れる繊維植物の生産国上位 5 カ国と年間生産量 (2018 年)

綿実 (Cotton seeds)	生産国	世界	中国	インド	米国	ブラジル	パキスタン
	1,000 トン トン/ha	71,029 2.19	17,712 5.28	14,657 1.19	11,430 2.68	4,956 4.31	4,828 2.03
黄麻 (Jute)	生産国	世界	インド	バングラデシュ	中国	ウズベキスタン	ネパール
	1,000 トン トン/ha	3,633.6 2.35	1,951.9 2.55	1,613.8 2.13	30.5 3.69	15.9 8.76	11.2 1.47
アマ (Flax)	生産国	世界	フランス	ベルギー	ベラルーシ	ロシア	中国
	1,000 トン トン/ha	868.4 3.61	660.1 6.24	80.9 5.12	39.5 0.87	36.7 0.87	13.2 5.12
麻 (Hemp)	生産国	世界	北朝鮮	オランダ	中国	イタリア	チリ
	1,000 トン トン/ha	60.7 1.46	14.9 0.69	13.9 7.64	12.6 2.84	4.6 6.91	4.1 0.95
苧麻(カラム シ) (Ramie)	生産国	世界	中国	ラオス			
	1,000 トン トン/ha	106.8 2.02	104.1 2.00	2.6 3.93			
サイザル麻 (Sisal)	生産国	世界	ブラジル	タンザニア	ケニア	マダガスカル	中国
	1,000 トン トン/ha	391.4 0.86	280 1.02	23.8 0.44	16.5 4.85	16.2 0.44	13.1 0.92
マニラ麻 (Abaca)	生産国	世界	フィリピン	エクアドル	コスタリカ	インドネシア	赤道ギニア
	1,000 トン トン/ha	108.1 0.63	67.2 0.48	39.2 1.34	1.2 1.16	0.4 0.78	0.2 0.12
リュウゼツラン (Agave fiber)	生産国	世界	コロンビア	メキシコ	ニカラグア	エクアドル	フィリピン
	1,000 トン トン/ha	40.2 0.70	14.9 0.82	6.1 0.44	5.6 0.93	4.4 1.38	4.0 1.01
靱皮繊維 (Bast fiber)	生産国	世界	インド	ロシア	中国	キューバ	チリ
	1,000 トン トン/ha	221.3 1.54	89.9 1.22	49.9 4.34	21.5 5.93	11.9 7.05	8.8 0.82
カポック (Kapok)	生産国	世界	インドネシア	タイ			
	1,000 トン トン/ha	90.5 0.73	64.9	25.7			
その他 (Others)	生産国	世界	ブラジル	ベトナム	カナダ	エチオピア	シエラレオネ
	1,000 トン トン/ha	283.4 0.73	100.1	92.9 7.26	27.1 1.20	21.5 0.07	9.4

FAOSTAT より編集。網掛け部分はアジア諸国。

I-1. モメン (木綿、*Gossypium hirsutum* : 英名 cotton)

木綿・木棉 (もめん) は、ワタの種子から取れる繊維。ワタとはアオイ科ワタ属の双子葉植物多年草の総称で、木綿 (cotton lint) は種子の周りに付いている比較的長繊維のものを指します。現在世界で栽培されている木綿の約 90% はアメリカ栽培綿 *Gossypium hirsutum* となっています。メキシコには多様な野生の木綿の種が存在することから、原産地はメキシコと考えられています。繊維の主成分はセルロース。綿の



図 1. はじめて綿毛が現れた綿の種子

種子は成熟するにつれ、はじけて綿毛が現れます(図1)。この綿毛は外皮細胞が変形したものです。熟するにつれて内部の水分が涸れてカポック繊維(後述)と同様に中空な繊維になりますが、繰綿することによって中空の綿毛がつぶれ、水素結合が形成されてよじれて強い強度を有する繊維になります。

綿花は開花後、成熟した朔(さく)が開裂し、綿毛に覆われた種子(綿実、seed)が出てきます。綿毛には長く伸びた繊維と短い地毛(fuzz)があり、繰綿機で綿実から分離された長繊維をリント(lint)と呼び、次いでリントを分離除去した地毛主体の短繊維をリンター(linter)と呼んでいます。リントは紡績し綿糸・紐・綿織物製品、不織布さらに医療・衛生用品等として広く使用されます。リンターは繊維が短く紡績原料とはなりません、リンターパルプ、レーヨン、セルロース誘導体調製の原料として重要です。リント及びリンター共にセルロースが主成分ですが、ヘミセルロース及びリグニンも含んでおり、レーヨン及びセルロース誘導体の製造用の高い純度のセルロースを得るためには、ソーダ・アントラキノン法蒸煮及び酸素アルカリ漂白等により脱リグニン、脱ヘミセルロースを行います。

2018年現在の綿実の生産量は7,100万トンであり、リントの生産量は2,400万トンです。綿実の主な生産国は中国とインドです。FAOによれば国際的に取引されているリント及びリンターの量は、それぞれ780万ト及び15.5万トで、輸出入単価はそれぞれ1,750ドル/ト(19万円/ト)及び680ドル/ト(7.5万円/ト)となっています。FAOのデータをもとに計算しますと、2017年の棉花の貿易総額はほぼ137億ドル、すなわち1兆5,000億円になります。なお、財務省貿易統計を見ますと、2019年に日本は米国及びオーストラリアなどから5万3,000トの棉花を、輸入単価192円/kgで、ロットンリンターを主にインドから2万5,000トを単価83円/kgでそしてビスコースレイヨンやセルロース誘導体製造原料としてコットンリンターパルプを1万4,000ト、単価240円/kgで輸入しています(図2)。

I-2. コウマ(黄麻、ジュート、*Corchorus capsularis*: 英名 Jute)

コウマはシナノキ科(Tiliaceae)ツナソ属(*Corchorus*)の双子葉植物の一年生草本で、中国原産と推定されています。和名をツナソ(綱麻)、ジュート、インド麻といい、熱帯および亜熱帯で繊維

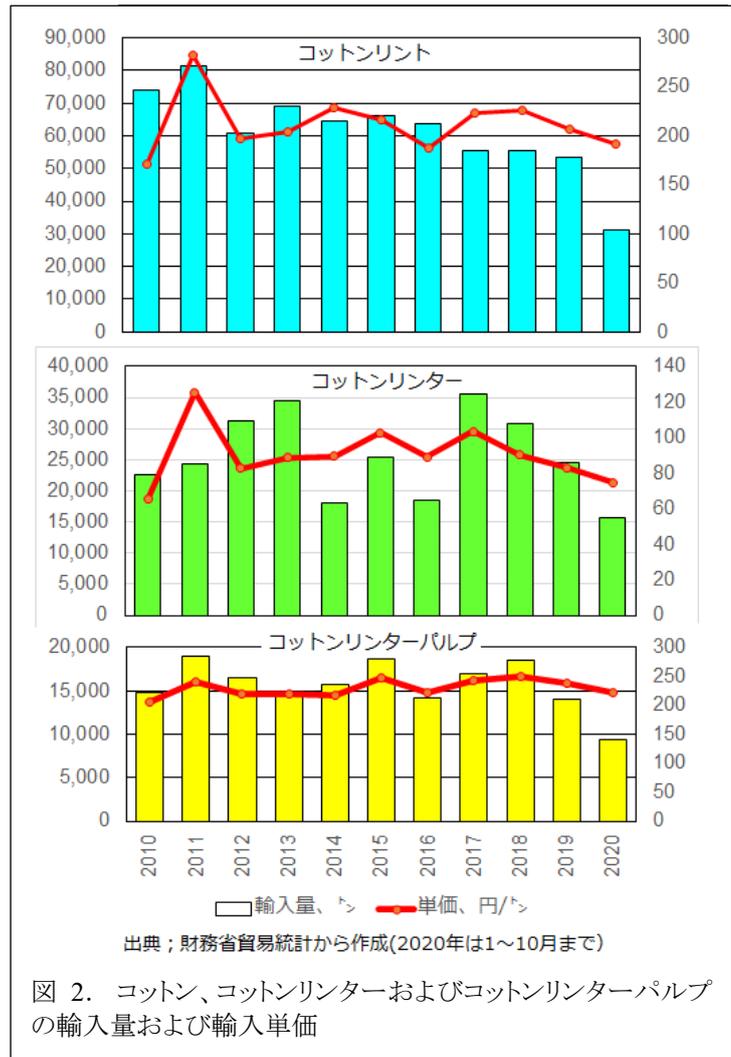


図2. コットン、コットンリンターおよびコットンリンターパルプの輸入量および輸入単価



図3. レッティグしたジュート繊維

をとる目的で栽培されています。ベンガル地方を中心とするインド、バングラデシュが主な生産地。繊維製品はしばしば英語名称のジュートと呼称されます。なおジュートと呼ばれる植物には、同じシナノキ科ツナソ属のシマツナソ (*Corchorus olitorius*) もあり、こちらも繊維原料として栽培されていますが、アラビア語名をモロヘイヤといい、野菜としても栽培されます。

高温多湿で湿潤な環境のうえに有機質に富んだ砂質土を好みます。繊維は茎から採取し、水に浸して醗酵させることで繊維間をつないでいるペクチン質を分解除去するため(レッティング retting といいます) (図 3)、ジュート繊維生産には大量の水が必要となります。栽培は、冬の終わりから春はじめにかけて播種し、100 日ほどで背丈が 2~3m に伸びます。夏のはじめから半ばにかけて収穫します。花をつけてから実がつくまでのどの時期に刈り取るかにより、生産される繊維の質が左右されます。

ジュート繊維は伸びが小さく、安定した性質から、導火線、カーペット基布や畳表、ひも、袋やバッグなどを作るのに使われています。逆に耐久性には乏しいため、ロープには適しません。ジュート製品自体の生物分解性が高いとされていることから、環境への負荷が少ない素材としても注目されています。2019 年、日本は 42 万トンのジュートをほとんど全てバングラディッシュから単価 200 円/kg で輸入しています (図 4)。

I-3. アマ (亜麻、*Linum usitatissimum* : 英名 Flax, Linseed)

アマは、アマ (Linaceae) 科アマ (*Linum*) 属の一年生双子葉植物 (図 5)。中東にかけての一带が原産地とみられています。フランス、ベルギーなど西欧とロシアなど比較的寒い地方で栽培され (表 2 参照)、茎の繊維は強く、水分の吸収発散がはやく清涼感があり、夏物衣料などに広く用いられているリンネル (リネン) 製品となっています。アマはアサよりも柔らかくかつ強靱で上等な繊維です。繊維の強靱性から、高級でない繊維はテントや帆布としてかつて広く利用され、大航海時代の船の帆布はアマの繊維でした。現在はアサがロープや麻袋などに使われるのに対して、アマは、通気性・吸湿性に優れて肌触りが良いことから織られて高級な衣類などに使われてきました。

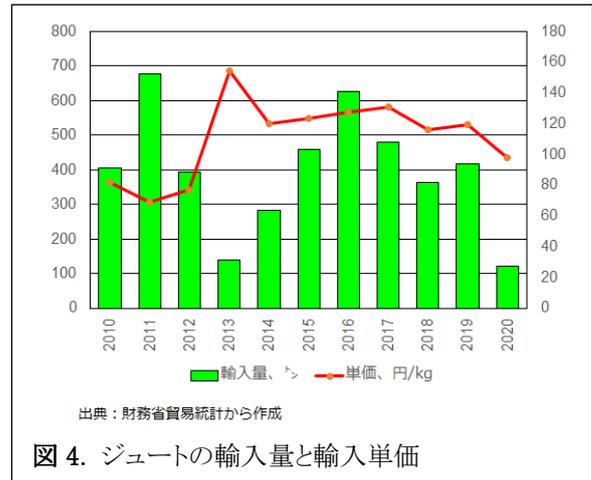


図 4. ジュートの輸入量と輸入単価



図 5. アマ (*Linum usitatissimum*)

しかし、アマは連作障害が起き易いため 6~7 年の輪作を行う必要があります。4 月頃に種子を蒔き、7~8 月に抜きとって収穫する。日本でも、第二次世界大戦中をピークに繊維用として北海道で広く栽培されましたが、化学繊維の台頭で 1960 年代半ばに栽培されなくなりました。種子からは黄色っぽい乾性油 (空気に触れると固まる油) であるアマニ油 (亜麻仁油、リンシードオイル) が採れ、これは食用や木製品の仕上げ用塗料、油絵具のバインダー油彩などに用いられています。

日本はアマニ油採取を目的として、2019 年、カナダから約 4,000 トンのアマの種子を単価 6 万円/トで輸入するとともに、アマニ油そのものをベルギー、ドイツ、米国などから 2,000 トンを輸入単価 16 万円/トで輸入しています。

I-4. ラミー (カラムシ、苧麻、*Boehmeria nivea* : 英名 Ramie)

カラムシは、イラクサ (*Urticaceae*) 科カラムシ (*Boehmeria*) 属の多年生双子葉植物。熱帯アジア原産ですが、南アジアから日本を含む東アジア地域まで広く分布し、古くから植物繊維をとるために栽培されてきました (図 6)。しかし、現在はほぼ同様に繊維をとるために *Boehmeria nivea* var. *candicans* (ラミー) も栽培されています。

この植物は、林の周辺や道端などのやや湿った地面を好み、地下茎を伸ばしながら繁茂するので、しばしば群落を形成します。刈り取りにも強く、地下茎を取り除かなければすぐに生えてきます。茎はまっすぐに立ち高さ 1~1.5m に、ときには 2m に達します。地上部は寒さに弱く、霜が降りると枯れてしましますが、地下茎は生き残って翌春には再び群落を形成します。

カラムシの茎の皮からは衣類、紙、さらには漁網にまで利用できる丈夫な靱皮繊維が取れます。主成分はもちろんセルロースで、長く (繊維長 : 70-280mm)、太い (太さ : 25-75 μ m) 繊維です。「東洋の麻」と言われる苧麻は、その繊維構造がマカロニのような中空孔構造をしており、吸湿放湿性、保水性に優れています。なお、モメン繊維も中空繊維ですが、強度を増すために撚りをいれるので、中空繊維ではなくなっています。高温多湿の日本の風土に最適な繊維素材と言えましょう。そのため、分布域では 6,000 年前から栽培されてきたといわれています。現在は中国で栽培されおり、日本では福島県会津地方でも小規模に栽培されています。

財務省貿易統計によりますと、2019 年日本は中国から 300 トンのラミーを輸入していますが、その品質からか、1kg あたり 1,000 円もの値がついているようです。

I-5. アサ (大麻、*Cannabis sativa* : 英名 hemp, cannabis)

アサは、中央アジア原産とされるアサ (*Cannabaceae*) 科アサ (*Cannabis*) 属で一年生の草本双子葉植物で数多くの変種がある大麻または大麻草です (図 7)。この植物の葉及び花冠を乾燥または樹脂化、液体化させたものを特に大麻 (マリファナ) と呼んでいます。広義にはアサは麻繊維を採る植物の総称であり、アマ科の亜麻 (*Linum usitatissimum* : Flax, Linseed) やイラクサ科の苧麻 (カラムシ : *Boehmeria nivea* : Ramie)、シナノキ科黄麻 (ジュート、*Corchorus capsularis* : Jute)、バショウ科マニラ麻 (アバカ、*Musa textilis* : Abaca)、リュウゼツラン科サイザル麻



図 6. ラミー (*Boehmeria nivea*)



図 7. アサ (中国黒竜江省) (*Cannabis sativa*)

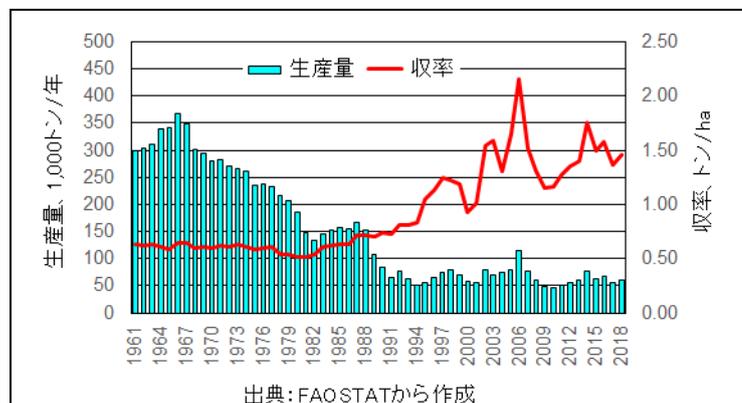


図 8. 繊維向けアサ (hemp) の生産量推移

(*Agave sisalana* : Sisal) がアサと呼ばれていますが、これらは本項目で取り上げるアサとは全く別の種類の植物です。

麻は高さ2~3mになりますが、品種や生育状況によりさらに高く成長します。生育速度と環境順応性の高さから、熱帯から寒冷地まで世界中ほとんどの地域に分布し、2018年には北朝鮮、オランダ、中国、イタリア、チリなど世界各地で繊維利用の目的で栽培、年約6万ト生産されてきました。この植物の茎から取れる丈夫な植物繊維はエコロジーの観点から再認識されつつありますが、20世紀初頭より、米国や日本を始めとしたほとんどの国で栽培、所持、利用について法律による厳しい規制を受けるようになっていきます。

産業用のアサと嗜好用のアサは品種が異なります。現在、産業用（麻布等）には陶酔成分が生成されないよう改良された品種が栽培されていますが、生産量は減少し、1990年以降は年産5~7万トとなっています（図8）。繊維利用の研究が進んだ米国、欧州では、繊維利用を目的とし品種改良したアサをヘンプ（hemp）と呼称し、規制薬物および薬事利用される事の多い品種はカナビス（cannabis）と分けて呼んでいます。

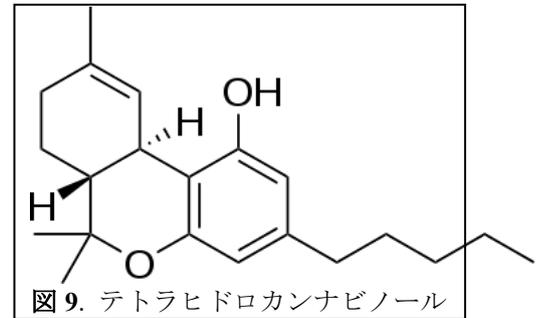


図9. テトラヒドロカンナビノール

葉や花には薬効成分テトラヒドロカンナビノール（THC：図9）を含有し、花穂や葉を乾燥した物（通称マリファナ）や、同部分から抽出した樹脂（通称ハシシ）は規制薬物の対象です。

アサの茎からの植物繊維は、繊維、製紙などの素材として用いられます。アサ織物で作られた衣類は通気性に優れています。ただし、日本国内では家庭用品品質表示法で「麻」と表示することが認められているのは、亜麻と苧麻のみであるため、「麻製品」と名乗っていたり、「麻マーク」が表示されてい



図10. 大麻の輸入量と輸入単価

ても大麻（hemp）繊維製品ではありません。大麻繊維は「指定外繊維（大麻）」や「指定外繊維（ヘンプ）」などと表記されます。繊維を取った後の余った茎（苧殻、おがら）は、かつては懐炉用の灰の原料として日本国内で広く用いられ、お盆の際に迎え火・送り火を焚くのに用いられていました。

財務省貿易統計によれば、変動が激しいですが、2019年、日本はアサ（大麻：HSコード5302）を、中国から輸入単価3,000円/kgで16ト輸入しています（図10）。

I-6. サイザルアサ（サイザル麻、*Agave sisalana* : 英名 Sisal）

サイザルアサはリュウゼツラン（*Agavaceae*）科リュウゼツラン（*Agave*）属の単子葉植物で、これから取れるロープなどに使う繊維をいいます。サイザルアサはリュウゼツラン属の実をつけない雑種で、原種はよくわかっていません。原産地はメキシコであると考えられています。サイザルアサは葉脈繊維（表1参照）でアサの仲間ではありませんが、歴史的に最も使われてきた繊維である麻にちなんでサイザ

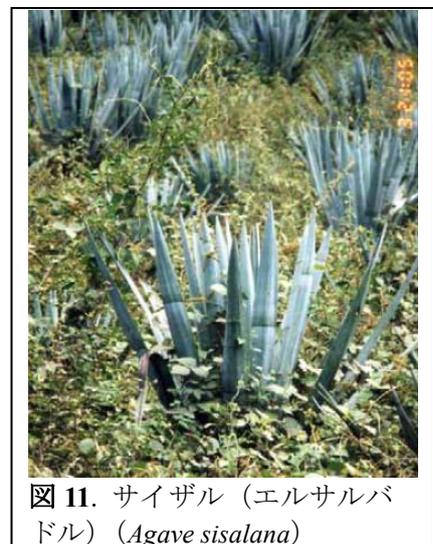


図11. サイザル（エルサルバドル）（*Agave sisalana*）

ルアサと命名されました。「サイザル」は以前よくこの繊維が船で積み出しされていたユカタン半島のサイザル港にちなむとのことです。

植物の形状は、アフリカ原産のアロエ (*Aloe arborescens*) に似ていますが、アロエはツルボラン科 (*Asphodeloideae*) の植物でリュウゼツラン科とは全く異なっています。サイザルは長さ 1.5-2.0m の先が剣のように鋭く尖り、厚い多肉質な形の葉からなる大きなロゼットを形成します (図 11)。茎は短く太いため、根から直に葉が生えているようにも見えます。若い葉の縁には細かい鋸歯がありますが、成熟するとともになくなります。

実をつけない雑種ですので、当然不稔性で、分枝によって増殖します。19 世紀にサイザルアサの栽培は世界中に広がったようですが、現在ではブラジル、タンザニアを中心とする東部アフリカ各国、カリブ諸島などで栽培されています (表 2 参照)。生産量は 1970 年代の 80 万トから 2018 年には 20 万トまで減少しています (図 12) (うち 8 万トはブラジルで生産) が、綿実、ジュート及び亜麻に次ぐ中心的な繊維作物となっています。残念ながら日本の輸入量等についての公表情報は見つけることができませんでした。ある程度輸入してバッグなどに加工するとともに、繊維が強靱であることから、カーペットや床パネルなどにも使われているようです。

I-7. マニラアサ (アバカ、*Musa textilis* : 英名 : Abacá, Manila hemp)

マニラアサは、バショウ (*Musaceae*) 科バショウ (*Musa*) 属の双子葉植物。丈夫な繊維が取れるため、繊維作物として経済的に重要です。分類上はアサの仲間ではありませんが、繊維が取れることから最も一般的な繊維作物である「アサ」の名がついています。他にアバカとも呼ばれます。フィリピン原産で、ボルネオ島やスマトラ島にも広く分布します。植物学的には多年生草本ですが、高さは平均 6m に達するため木のように見えます。フィリピン大学ロスバニョス校 (UPLB) で実際に見たものでも、巨大なバナナの「木」のようで、高さも十分 5m ありました (図 13)。幼苗から成長を初めて 8 ヶ

月ほどでこの大きさになるのだから驚きです。葉は同属のバナナと同様で楕円形で大きく、基部は鞘状で茎を包むようになっており (葉鞘)、ここから繊維が取れます。なお、フィリピンの男性の正装は「バロン・タガログ」ですが、繊細な繊維はバナナの葉脈繊維と言われています。

食用に供されるバナナは、遺伝子 3 組を持つ三倍体ですので、種はできません。バナナは実をつけると枯れてしましますが、親株の根元から伸びる「吸芽」と呼ぶ子株が出てきます。この吸芽をひとつ残すか、ま

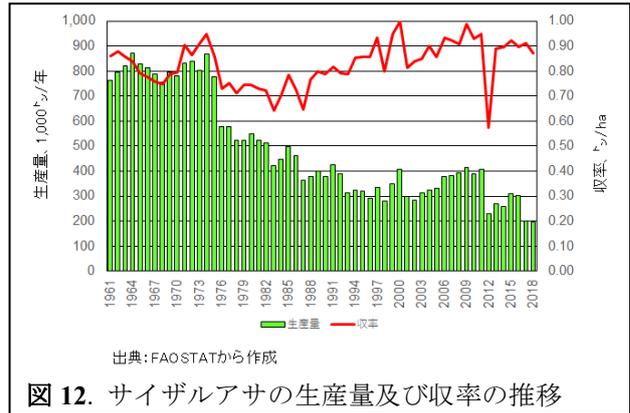


図 12. サイザルアサの生産量及び収率の推移

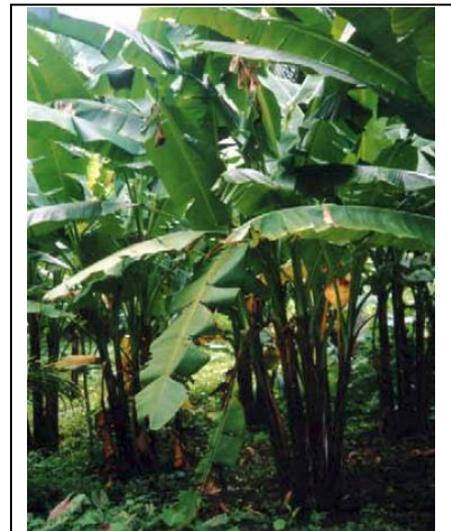


図 13. マニラアサ (アバカ) (フィリピン大学ロスバニョス大学)



図 14. 集荷された粗マニラアサ繊維 (フィリピン・カラバンにて)

たは吸芽を別の場所に植え替えて成長させます。マニラアサも同様に、5～8ヶ月後に葉鞘を収穫するために切り倒すと根元に出てきている吸芽から新しい植物を成長させるという方法で更新していきます。

マニラアサの繊維は植物繊維としては最も強靱なもののひとつです。またマニラアサは水に浮き、太陽光や風雨などに対しても非常に高い耐久性を示すことから、ロープをはじめ、高級な紙（紙幣や封筒）、織物などに用いられてい

ます。葉鞘からは肉質などを除去し、繊維だけを取り出します。繊維はセルロース、リグニン、ペクチンなどで構成されており、長さは1.5～3.5mにもなります（図14）。ロープはこれを撚り合わせてつくります。フィリピンでは1800年代からロープ用に栽培されており、1925年にはフィリピンでの栽培を見たオランダ人によってスマトラに大規模なプランテーションが作られ、続いて中央アメリカでも米国農務省の援助で栽培が始まりました。2018年の生産量は約10万トで、その2/3がフィリピンで生産されています（表2参照）。日本は粗マニラアサをフィリピンから輸入単価200円/kgで4,050トを、そしてエクアドルから主にマニラアサパルプを輸入単価320円/kgで1,750トを輸入しています（図15）。これらは、おもに紙幣用及びティーパック用などに使われていると思われます。なお日本の紙幣ではマニラアサに加えてミツマタ及び広葉樹化学パルプが使われていますが、国内でのミツマタの生産量が激減しており、ネパールから年間70トほどを輸入単価2,000円/kgとマニラアサの10倍の価格で輸入しています。

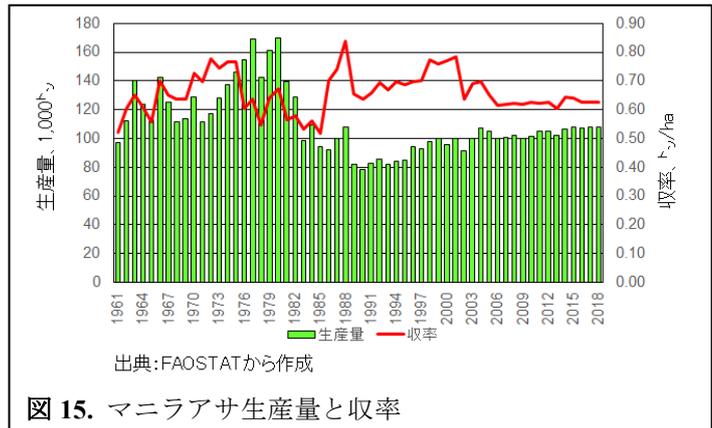


図15. マニラアサ生産量と収率