

サツマイモ技術と 21 世紀の食糧, エネルギー・資源 および環境問題

古在 豊樹・久保田智恵利・北宅 善昭*

千葉大学園芸学部・*大阪府立大学農学部

Sweetpotato Technology for Solving the Global Issues on Food, Energy,
Natural Resources and Environment in the 21st Century

Toyoki KOZAI, Chieri KUBOTA and Yoshiaki KITAYA*

Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo, Chiba 271, Japan

* College of Agriculture, University of Osaka Prefecture, Sakai, Osaka 593, Japan

1996年3月6日受付

1. はじめに

21世紀前半における人口の急増が予想されるアジア、アフリカおよび中南米地域の多くはサツマイモ(別名:カンショ, 学名: *Ipomoea batatas* (L.) Lam.) の栽培適地でもある。サツマイモは、食糧(カロリー源)、食料(野菜)、加工原料(デンプン, 糖, アルコール飲料など)、アルコール燃料用原料、環境保護(グランドカバー)植物などとして利用されている多用途植物である。本稿では、サツマイモの育苗, 栽培などに関する、新しい視点にもとづく技術開発が、21世紀前半のアジアにおける食糧, エネルギー・資源および環境の三大問題の同時並行的な解決に貢献するであろうことを、いくつかの根拠とともに述べる。さらにわが国およびアジアにおけるサツマイモの市場規模, 組織培養苗・挿し穂苗利用システムなどの現状と将来などについて述べる。最後に、サツマイモ苗生産および栽培に関する今後の重要な研究開発課題, ならびにサツマイモ苗生産技術の応用について、農業環境工学的観点から論じる。

2. 人口増加に伴う食糧, エネルギー・資源, および環境問題の深刻化

2.1 食糧問題

西暦1995年現在の約57億人の地球人口は、2000年には61億人、2015年には73億人、2025年には約81億

人に達すると予想される(赤坂, 1996)。西暦2000年から2025年までの地球人口の増加分20億人の大部分はアジアで生じ、残りの人口増加のほとんどはアフリカおよび中南米の各地域で生じると予想される(茅, 1993)。現在でも、地球上の約6億人が慢性的栄養不足の状態にある(赤坂, 1996)。人間の出生率は食生活および生活水準全般の向上にともない減少していくという一般的傾向から考えると、今後のアジアにおける人口増加問題は、アジアにおける食糧増産さらには食生活ならびに生活水準全般の向上をはかることによって解決を目指すことが妥当であろう。

2.2 エネルギー・資源問題

アジア地域における人口の急激な増加は、必然的にアジア地域における食糧, 燃料用・電力用エネルギーおよびプラスチック原料としての石油の不足を引き起こす。

アジア地域における1次エネルギー(石油, 石炭, 天然ガスなど)の使用量は、石油換算で、1980年に10億トンであったのが、1990年には18億トンに増大し、その後も増大を続けている(赤坂, 1996)。1992年現在、アジア地域の1次エネルギー使用量は北米地域のそれとほぼ同等であり、西暦2000年にはヨーロッパ地域のそれを上回ると予想されている。1992年現在、1次エネルギーの1人あたり年間使用量は、石油換算で、日本の3300kgおよび米国の7516kgに対し、中国583kg、インド245kg、ベトナム84kgである(茅, 1993)。今後の中国およびインドにおける、経済発展と生活水

準向上にともなう1次エネルギー使用量、ならびに両国の人口増加を考えれば、アジア地域におけるエネルギー・資源問題が今後深刻になると予想される。

2.3 環境問題

アジア地域における最近の環境破壊（森林破壊、砂漠化、沿岸生態系破壊、酸性雨、河川水などの汚染、大気汚染、都市のスラム化など）はよく知られている。この環境破壊は、現存する天然林や自然生態系を保全するだけでは抑制されない。都市や農村の中においても環境破壊が生じ、また都市・農村そのものが周辺の環境を破壊しているからである。

他方、環境破壊の抑制や積極的環境保全を推進しても、それ自体は、今後の食糧およびエネルギー・資源の不足の解消に貢献しない。環境破壊の抑制そのものはそれらの増産に寄与しないからである。短期的には、「環境を大事にするか、それとも食糧・エネルギー・資源の確保がより大事か」の選択を迫られる場合が多い。このことは、都市と農村との間だけでなく、農村などの内部においても起こっている。たとえば、現在、アジアの各地域で、食糧、燃料、牧草の確保のために、その地域の住民自身による周辺樹木の伐採・採取が行われ、その伐採・採取がその住民環境の悪化だけでなく、食糧、燃料、牧草などの不足をさらに増大させている。

2.4 三大問題の並行的解決の必要性

人口増加にともなう食糧、エネルギー・資源および環境の問題は互いに強く関連しているため、多大のエネルギー・資源を使用する近代産業技術の単純な応用によって、それらの問題を個別に解決していくことは困難である。

たとえば、化学肥料、農薬あるいは農業機械用燃料を多用する「緑の革命」や「奇跡の米」と呼ばれる近代農業技術で食糧の増産を行うと、エネルギー・資源（石油）不足と環境破壊（土壌劣化、水質汚染など）が加速的に拡大して、農業においてだけでなく工業および生活環境におけるエネルギー・資源不足と環境破壊が生じてしまう可能性が高い（茅，1993）。水田などへのチッソ化学肥料の多施用は、肥料生産のために石油を大量に消費するだけでなく、水田からのメタンガス発生量を増大させ、また地下水汚染の一因となってしまうのである。

他方、「環境保全型農業」、「環境保護運動」、「省エネルギー・省資源運動」などの個別的推進には21世紀の食糧不足問題を克服するための技術が内蔵されてい

るのである。

したがって、われわれは、上記の難題を同時に解決するための、従来とは異なる視点と方法さらには技術体系を構築していく必要がある（依田，1993；伊藤・坪倉，1996）。

2.5 日本の役割

アジア諸国の一員たる日本が、上記の問題解決にいかなる思想と技術で参画し、いかなる役割を演じるかは、21世紀における地球、アジア地域および日本の経済、アグリバイオ産業（agri-bioindustry）および生活・環境に相当の影響をおよぼす。ここでいうアグリバイオ産業には、農業・林業・環境保護産業をも含む植物生産・保全産業全般が含まれる。別の言い方をすれば、21世紀のアグリバイオ産業は、上述の地球規模の問題の解決に役立たなければ、発展し得ない。

3. アグリバイオ産業からみた

「サツマイモ」の特徴

「サツマイモ」には、前章で述べた食糧、エネルギー・資源、環境の問題に関連して、現在の主要食用作物であるコメ、コムギ、トウモロコシ、バレイショ（ジャガイモ）とは異なる、以下のような特徴がある。

1) 食糧（カロリー源）としてだけでなく、野菜、家畜の飼料、加工用原料（デンプン、糖、アルコール飲料、菓子など）、アルコール燃料、生分解性プラスチック資材などの原材料としての広い用途がある（香川，1991；Woolfe，1992）。その用途比率は国により、時代により変動している。アルコール飲料製造時の残さ（かす）は、そのままあるいは酵素処理などをして、家畜・養殖魚の飼料、きのこ培地などに利用可能である。すなわち、サツマイモは、従来から、食用作物であると同時に、園芸作物、飼料作物、工芸作物であり、後述のように、環境保護植物でもある。

2) イモ（塊根）のビタミンA（ β カロチン）、ビタミンCおよびE、食物繊維、タンパク質などの含有量がほかの野菜などに比較して高い品種が多く、野菜としての栄養学的機能が高い（Woolfe，1992；科学技術庁，1995；山川，1995）。また心臓病、ガン、便秘の抑制にも一定の効果がある健康食品・薬用食品としても利用されている（香川，1991）。また地下部のイモ（塊根）だけでなく、地上部の葉身・葉柄なども野菜として利用できる。実際に、地上部の茎葉を食する目的で育種された品種が存在する。

3) 単位栽培面積から収穫されるイモが含有する熱

量(カロリー)は、一般に、イネ、トウモロコシに比較して、約1.5倍、パレイショに比較して2倍以上である(武田, 1989; Hillら, 1992)。すなわち、サツマイモとキャッサバは、他の食用作物に比較して、太陽エネルギーを効率的に炭水化物に変換し、それをイモに蓄積する(小林, 1977)。

4) 元来、熱帯性植物であり、比較的高温(気温: 25~30°C, 地温: 25°C程度)下で生長が促進される。地上部の成長期に500mm程度の降雨量があれば、熱帯地域、亜熱帯地域の広い範囲で年間をとおして栽培が可能であり、また温帯地域(北緯40度から南緯32度の範囲)の最低日気温15°C程度以上の期間(北半球ではおよそ4月~10月)でも栽培できる(坂井ら, 1981; 小林, 1984; 坂本, 1987)。これらサツマイモ栽培適地の大部分は、概して、21世紀前半に人口が急増し、また食糧、エネルギー・資源が不足すると予想される地域である。今後、地球の温暖化が進むとすると、サツマイモ栽培適地はさらに拡大することになる。

5) アジアの主要食糧であるイネの栽培が不適な地域、すなわち、かんがい水が不足する、傾斜地である、砂地である、あるいは土壌のチッソ含有量が低いなどの地域での栽培が可能である(図1)。古来より、飢饉作物、救荒作物と呼ばれているように、干害、高温、強風(台風)などの気象災害、および酸性土壌(pH 4.5~6.5)に対する耐性が比較的高い(ただし、アルミニウム含有土壌には比較的弱い)(坂井ら, 1981)。

6) 栽培に特殊な技術や大きな資本投下を必要とし

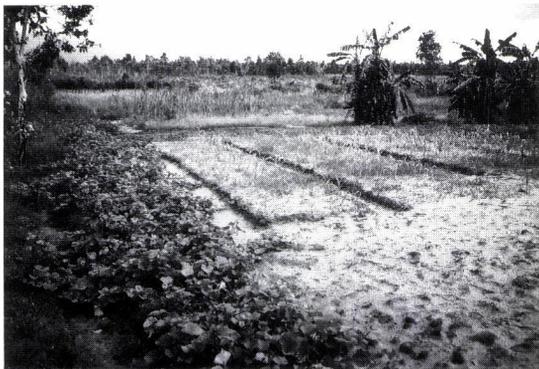


図1 タイ国南部における農家のサツマイモ畑(写真左側)。

この地方の土壌は、泥炭層の上に砂が堆積したもので、pHが低く、また溶脱により無機成分の含有量が少なく、他の作物の栽培は困難である(写真の中央は育ち具合の悪いトウモロコシの苗)。

ない(図2)。単位収穫量あたりの農薬、肥料などの施肥量が、ほかの食用作物に比較して少なくすむ。小規模経営にも大規模経営にも適し、また家庭での栽培も容易である。第二次世界大戦後、日本の多くの世帯が、家庭でのサツマイモ栽培により食糧を確保したものである。

7) イモの収量と品質は、その苗を組織培養技術を利用してウイルスフリー化(病原菌除去)することにより、通常、20~30%程度増大する(大越, 1994; 長谷川, 1995)。また、イモの形状改善、表皮色の改善、貯蔵性の向上などの効果もある(猪野, 1995)。ところが、サツマイモのウイルスフリー苗の普及率は、現在のところ、日本を除いて、世界的にきわめて低い。

8) イモの収量(kg/ha)が、国、地域、時代などによって大きく異なる。たとえば、1994年の統計(FAO, 1995)では、日本25t/ha、中国16t/ha、ベトナム6.4t/ha、フィリピン4.7t/haなどである。アフリカ地域の平均収量は5t/ha、南米地域の平均収量は10t/haであ



図2 日本(上、宮崎, 1995年4月撮影)およびインドネシア(下、ポゴール, 1995年12月撮影)におけるサツマイモの栽培風景。栽培技術の基本は世界共通である。

る。また中国のサツマイモの平均収量は、1970年代には約10t/ha、1980年代は15t/haであった。今後、東南アジア、アフリカ地域などにおけるイモ収量は、品種・系統あるいは栽培法の変更などにより、大幅に向上する可能性がある。各地域での収量・品質の短期間での向上には、優良な系統または品種の組織培養あるいはその他の栄養繁殖法による苗の供給がとくに効果的である。同じ品種であっても系統によって品質および収量が有意に異なるからである（サツマイモは種子繁殖により苗を作ることは実用的でなく、事実上、種子繁殖は育種目的以外には行われていない）。

9) 生育が旺盛なつる性のグラウンドカバー（ground-cover）植物であり、2か月程度以内に地面を広く被覆することから、降雨・強風による土壌侵食、風食、塩類集積などの防止を目的とした環境保護植物としての利用が可能である。さらには雑草防除の手間が少なくすむ。ムギ、トウモロコシなどのほかの植物との混作が可能な作物としても知られている。

10) 遺伝子の構成が他の主要作物のそれに比較して複雑なこともあり、交雑による育種は必ずしも効率的でない。遺伝子組換えを利用した育種を交雑育種と組み合わせれば、病害抵抗性付与、品質向上、収量増大などを目的とした育種を効率的に行える可能性が高い（Hillら、1992；Prakash、1994）。熱帯アジアのサツマイモの収量と品質を低下させる主たる原因は、アリモドキゾウムシによる虫害、かいよう病およびウイルス病などであるといわれる（坂本、1987）。この虫害に関する抵抗性品種を遺伝子組換え技術を利用して早期に作出することができれば、その植物の利用による熱帯



図3 インドネシアのボゴールにある作物バイオテク研究所のサツマイモの原種圃場。

ここでは、約200の品種が保存されている（1995年12月撮影）。

地域における収量・品質向上効果は大きい（図3）。しかし、現実には、イネ、コムギ、トウモロコシ、パレイショなどに比較すると、サツマイモの遺伝子組換え植物への研究開発投資はきわめて少ない。

11) サツマイモに関しては、イネ、コムギ、トウモロコシ、パレイショ（ジャガイモ）などの主食作物に比較して、研究・行政組織および産業が組織化または肥大化・硬直化していないので、革新的な技術導入や組織化がより柔軟に達成しやすい面がある。

なお、上に示した項目1～3は、アメリカ航空宇宙局（NASA）がサツマイモを21世紀における宇宙ステーションでの有力栽培作物の一つとして選定し、現在、その栽培システムの研究開発に力を注いでいる理由でもある（たとえば、武田、1989；Hillら、1992）。

もちろん、現在のサツマイモには短所もある。たとえば、1) 甘くて主食向きでない、2) 病害による収量低下が大きい、3) 流通・加工に必ずしも適さない、などである。上記の短所がサツマイモより少ない作物としてキャッサバがある。しかし、日本ではキャッサバが栽培されていないこともあって、日本におけるキャッサバの研究はほとんどないので、日本としては、キャッサバ研究よりもサツマイモ研究を通じて、21世紀の諸問題の解決に貢献するほうがより妥当であろう。

4. サツマイモ研究

サツマイモ研究の詳細については、さらに調査を重ねたうえで、別の機会に述べる予定である。以下では、概略だけを述べる。

4.1 日本

日本においては、1945年から1960年代にかけての食糧不足時代に、サツマイモの栽培学的、育種学的、生理学的研究が盛んに行われ、きわめて高い研究水準に到達した（たとえば、戸刈、1950；津野・藤間、1965）。この時期の研究成果は、現在でも国際的に高く評価されている。

その後、現在にいたるまで、鹿児島県、茨城県、千葉県などを含むサツマイモ生産主要県の農業試験場など、および農林水産省農業研究センター（たとえば、中谷、1992；山川、1994）、九州農業試験場、鹿児島大学、名古屋大学、九州東海大学などの国公立教育研究機関では貴重かつ有用な意欲的研究が、とくに育種および利用・加工などに関して、継続されている。しかし、国立研究機関および国立大学におけるサツマイモ

に関する研究者はしだいに少数になり、日本全体としては、過去の膨大な学術的成果の継承と今後の研究の大きな発展がしだいに困難になりつつある。とくに、本稿で述べているような、21世紀のアジアの食糧、エネルギー・資源および環境問題の解決を目的としたサツマイモ研究は日本には少ないといえる。他方、農林水産省九州農業試験場では、サツマイモ研究者の国際ネットワークの構築を目指した英文ニューズレターの発刊が開始された(Yamakawa, 1995)。また最近、地域村おこし運動として「サツマイモ」にかかわる活動が埼玉県、鹿児島県などで行われている(福地, 1991; ドウエル, 1990)。

日本においては、サツマイモは、食用作物として扱われていることから、従来、おもに作物学研究者によって研究され、園芸学研究者の主たる研究対象にはなりにくかった。ましてや農業環境調節工学研究者、農業エネルギー研究者、環境保護研究者などの研究対象にはほとんどならなかった。今後は、サツマイモは、広い用途と機能を備えたアグリバイオ(agri-bio)植物として、農業、工業、環境分野関係者の研究開発の対象になってくるであろう。

4.2 世界

台湾のShanhuaに位置するアジア野菜研究開発センター(Asian Vegetable Research and Development Center, 略称 AVRDC)が第1回国際サツマイモシンポジウムを1981年に開催した。1991年にその第2回が米国アラバマ州にある Tuskegee 大学で開催された。この第2回シンポジウムの研究報告集にはサツマイモに関する最新の研究と世界主要産地における栽培・利用の現状がまとめられている(Hillら, 1992)。1995年8月には、中国の北京市において第1回中国・日本甘藷・馬鈴薯シンポジウムが開催されている(小巻, 1996)。

本部がペルーのリマに位置する国際ポテトセンター(略称:CIP)は、バレイショなどに加えて、1986年以来、サツマイモの研究と遺伝資源の保存・増殖を開始した。CIP, AVRDCの他に、米国農務省農業研究サービス(略称ARS/USDA)などにおいても、サツマイモ遺伝資源の収集と保存を行っている。中国にはいくつかのサツマイモの研究機関がある(山田, 1991; 小巻, 1996)。米国航空宇宙局は宇宙ステーションにおける栽培作物として閉鎖系におけるサツマイモ栽培の研究のために米国アラバマ州 Tuskegee 大学などに多大の研究開発投資をしている。サツマイモにかかわる国際学

会としては、International Society for Tropical Root Crops (略称 ISTRC, 国際熱帯地下作物学会)などがある。

5. 市場規模と苗需要

5.1 日本

1994年現在、日本におけるサツマイモの栽培面積は5.1万ha、生産量は約120万tである。そのうち、約45%が食料用、約20%がデンプン用、約7%がアルコール用、約7%が加工食品用、約6%が飼料用、残りは農家自家消費用、たねいも(次年度の苗のもとになる萌芽を得るためのイモ)用などに使われている。市場取引されたサツマイモの総販売価額は全国で約650億円である。1992年度、食用イモの卸売り価格は222円/kg、消費者価格は866円/kgである(農林水産省, 1995)。日本では1人当たり年間1.2kgのサツマイモを購入している。

栽培主要県は、1994年現在、鹿児島(栽培面積:16000ha)、茨城(7800ha)、千葉(6900ha)、宮崎(3000ha)、静岡(1700ha)、熊本(1400ha)、徳島(1300ha)、長崎(1200ha)などである。現在の主要品種は、高系14号、ベニアズマ、コガネセンガンなどである。

畑への苗の植え付け密度は、およそ3.5万~4万本/haであるので、日本全国で、3.5万~4万本/ha×5万ha/年、すなわち、毎年約20億本の苗を必要としている。今後、栽培農家の多くが流通苗を購入するようになると、苗の市場規模は、苗単価が20円/本程度であるとしても、年間約100億円のオーダーになり得る(すべての栽培農家が流通苗を購入するようになるわけではない)。今後、苗の自動移植機の普及が進み、苗の移植作業が大幅に軽減されれば、苗の栽植密度は現在よりも少なくとも数十%は高くなると考えられる。サツマイモ苗が市場流通するようになれば、当然、その他のいも類、その他の栄養繁殖性作物類の苗も市場流通するようになるので、その波及効果は大きい。

5.2 世界

1994年現在、世界の栽培面積は約940万ha、生産量は約1億2千万tである(FAO, 1994)。栽培面積の約80%(約760万ha)はアジアにあり、そのうちの650万ha(世界の栽培面積の約70%、生産量の約80%)は中国にある。その他、ベトナム(栽培面積:39万ha)、インドネシア(20万ha)、インド(14万ha)、フィリピン(15万ha)などでの栽培が多い。アフリカ地域の栽培面積は130万haである(ウガンダ48万ha、タンザ

ニア 21 万 ha など)。FAO の統計には掲載されていないが、台湾におけるサツマイモ栽培面積は、20 万 ha 程度と推定される。ちなみに、パレイショ(ジャガイモ)は、世界の生産量の約 80% が、ヨーロッパ地域と北米地域の北部で生産されている。

苗の栽植密度がおおよそ 4 万本/ha であるとする、中国だけで、現在、年間約 2600 億本の苗を必要とし、アジア全体では、年間約 3000 億本の苗を必要とすることになる。ただし現在では、日本を除くアジア諸国において、苗のほとんど全部は栽培農家によって自家生産されている。今後、アジア諸国において苗が市場流通するようになると、苗市場は相当に大きくなる。2015 年の苗単価が 5 円/本程度(日本の現行単価の約 25%)でその時点での苗需要が倍増しているとする、アジア地域の苗の市場規模は 3 千億円となる。栽培に必要なマルチフィルム、苗移植機械、収穫機械などの関連市場規模は 1 兆円に達するとも考えられる。試みに、1994 年現在の年間イモ生産量 1 億 2 千万 t に、1995 年夏の中国・北京市におけるサツマイモ小売り価格 35 円/kg(小巻, 1996)を乗じてみると、約 4 兆円に達する。

6. 組織培養苗, 挿し穂苗および ポット苗の利用

6.1 組織培養苗の価格

日本では、サツマイモの組織培養苗の販売が、数年前より民間会社によって開始された。ここでいう「組織培養苗」は、組織培養された培養植物体を培養器から取り出した直後に小さな鉢またはセル成型苗用トレイに移植して発根させたものである。現在では、組織培養苗の販売数量の絶対値はいまだ数百万本程度であるものの、その普及率はサツマイモ主要生産地のほとんどで急速に上昇しつつある。ただし畑に組織培養苗を定植することは現在ではほとんど行われていない。きわめてわずかの例外的農家だけが、イモを早期収穫(超早どり)して高価格で販売するために、冬期、栽培用温室(プラスチックハウス)に購入した組織培養苗をそのまま定植することがあるだけである。その理由の一つは、この組織培養苗の現行価格は、200~250 円/本と高価格であるからである。将来、組織培養苗の販売価格が数十円/本に低下すれば組織培養苗をそのまま畑に定植する可能性が生じる。ただし、組織培養苗を畑に定植した場合、大きさ、形態などに関して、望ましい状態のイモを収穫するにはいくつかの栽培学的

検討課題が残されている。

6.2 挿し穂苗および発根挿し穂苗

実際には、ほとんどの場合、特定の苗生産団体(委託苗生産農家、県経済連種苗増殖センター、種苗会社苗生産部門、培養苗生産会社など)が民間培養苗生産会社、県原種農場などから組織培養苗を買い受け、その組織培養苗の地上部を温室内で(イモができないように)成長させて、挿し穂(側枝および頂芽)を採取している。挿し穂(長さ約 25 cm)の採取のためには、組織培養苗がある程度成長した段階で、頂芽を切り取る。頂芽を切り取られた植物の葉の葉柄の基部から脇芽が生じ、これが成長してシュート(側枝)となった状態のものを挿し穂として採取する。

1 本の組織培養苗から、2~3 か月の間に、おおよそ 20~50 本の挿し穂が生産される。通常、この挿し穂には数枚の展開葉(すなわち節)がついている。この挿し穂の現行価格は 20 円/本程度である。挿し穂 50 本程度をプラスチック袋に納めたものが 1000 円/袋程度で販売されている(図 4)。これらの挿し穂は「切り苗」などと称され、畑へ定植される。

最近では、この挿し穂の単節を小さなポット(直径約 4 cm)に植えて、節のわき芽からシュートを出し、かつ発根させたものがポット苗として、100~150 円/本程度で市販されている(図 4)。挿し穂をセル成型苗用トレイに挿して発根させたセル成型苗も市販されて



図 4 左:プラスチック袋に入れられたサツマイモ挿し穂苗(切り苗とも呼ばれる)。右:ポット苗(組織培養苗を温室で生育させて、その脇芽から得られたシュートをポットに植えて、発根させたもの、K社カタログから転載)。

いる。ポット苗とセル成型苗はともに、栽培農家のビニルハウス内での挿し穂の2次増殖用として用いられることが多い。筆者らの粗い推測では1996年現在の日本における挿し穂苗(切り苗)、ポット苗、セル成型苗などのサツマイモ苗の市場規模はいまだ数十億円程度である。

6.3 普及状況

前述の方法で組織培養苗由来の挿し穂苗を利用して栽培している面積は、全国平均で20~30%と推定される。ただし、この普及率は地域によって大きく異なり、たとえば、埼玉県では数%以下(筆者らの聞き取り調査による)、千葉県では数十%(猪野, 1996)などとなっている。組織培養苗由来の挿し穂苗を利用しない栽培農家の多くは、栽培農家自身が、前年収穫した種イモなどから萌芽させた芽を用いて、ビニルハウス内などで挿し穂苗を自家生産している。すなわち、わが国の今後の苗の市場規模は、栽培農家が購入苗を利用するようになれば、現在のその数倍になる。

アジア地域のサツマイモの栽培面積は、現在でも、日本の約200倍であるから、今後商業的に流通する苗の需要見込み量は大きく、将来的には、組織培養苗の植物工場の生産が可能であると考えられる。組織培養苗の植物工場の生産により、その生産コストは飛躍的に低下し得る。そうすれば、日本はアジアにおけるサツマイモ苗の生産システム技術・設備の提供基地あるいは生産基地となり得る。逆に、まだ人件費の比較的低いベトナムなどにおいて組織培養苗を大量生産して、日本を含むアジア周辺諸国に苗が輸出される可能性もある。

7. 苗生産一般に関する世界および日本における最近の技術的進展

7.1 苗生産業と植物栽培業の分離

過去十数年にわたり、欧米およびわが国の園芸業においては、苗生産を業(なりわい)とする人とその苗を購入して作物栽培に専念する栽培農家との分離が着実に進行してきた。この分離傾向は、1990年代に入ってから、工芸作物、食用作物でもしだいに明確になり、苗生産業は新たな産業分野・ビジネス分野であるとの位置付けを得るにいたっている(古在ら, 1990; Kurata and Kozai, 1992; 古在ら, 1993)。最近では、農業一般、植林業などにおいても同様の傾向が進行しつつあり、アグリバイオ産業とも呼び得る、一つの産業に成長しつつある(古在, 1994)。ここでいう「苗」には上

述の組織培養苗、挿し穂苗、ポット苗、セル成型苗さらには実生苗、接ぎ木苗などをすべて含む。

7.2 組織培養苗とセル成型苗生産システムの普及

組織培養技術を利用して苗を生産すると、ウイルス病原菌に汚染されていない苗(一般にウイルスフリー苗と呼ばれる)が比較的容易に得られる。遺伝的に優良でかつ病原菌に汚染されていない苗を用いて栽培すると、前述のように、収量や品質が向上する。

言い換えれば、挿し穂、イモ、球根などを用いて栄養繁殖性作物の苗を生産する場合、組織培養によらないと苗がウイルス病原菌に汚染されやすいことから、これらの作物では組織培養苗の利用の効果が大きい。組織培養苗の普及が実際には進んでいない場合の主たる理由は、組織培養苗を用いると苗の価格が高くなるからである。

他方、最近、世界的にはセル成型苗の普及が著しい。これは、100~200程度のセル(培地と苗が入る小さな空間)を有する、幅30cm、長さ60cm程度のトレイを用いて生産された苗(実生苗、組織培養苗、接ぎ木苗、挿し木苗などを含む)である。セル成型苗の利用により移植作業、栽培作業が省力化される(古在ら, 1990)。組織培養苗およびそのセル成型苗などの生産には専門技術や特殊設備を必要とするので、それらの苗の大半は專業化された集団により生産されている。最近では、接ぎ木苗、挿し木苗のセル成型苗化が急速に進んでいる。

7.3 食用作物の施設型苗生産の重要性

環境調節が可能で人工照明装置を備えた施設内における苗生産は、高品質苗の計画的生産に適しているだけでなく、苗生産に必要な肥料、農薬、労力、エネルギー・資源、土地面積などを大幅に節減するために今後ますます重要になってくる。これらの節減は、生産コストの低下のためだけでなく、周囲環境の汚染防止と使用石油量の節減のためにも重要である(古在, 1996a, b)。従来、温室は園芸作物を生産するための施設であったが、今後は、地球上の広大な面積を占有する、食用作物、工芸作物、薬用植物、植林用植物などの苗を生産するための施設としての重要性を増して行く。

8. サツマイモ苗生産・栽培システムに関する研究開発課題例

21世紀前半のアジアにおけるサツマイモ生産システムの変化の方向性をふまえて、今後開発すべき技術

およびシステム例の概略を、筆者らの専門とする農業環境工学分野、苗生産工学分野に限定して、以下に掲げた。

1) 無糖培養法による組織培養苗の低コスト大量増殖システム

培養植物の生長および形態は、培養期間中の物理環境に強く影響される (Kozai *et al.*, 1995)。培養器内の物理環境を培養植物の光合成を促進するように調節すれば、培地に糖を加えなくても培養植物は速やかに成長することが明らかになった (Kozai, 1988)。培地に糖を加えないで培養する方法を無糖培養法または光独立栄養培養法とよぶ (古在, 1992)。サツマイモの培養植物は光合成器官である葉の面積が比較的大きいことから無糖培養法に適している。無糖培養法を用いれば、培養器の大型化、培養植物の成長促進、作業の省力化が達成され、生産コストを大幅に節減できる (Aitken-Christie *et al.*, 1995)。

2) 組織培養苗および発根挿し穂苗のセル成型苗生産システム

苗をセル成型トレイを用いて生産するようにすれば、作業全体の標準化が容易になり、育苗、運搬、貯蔵、移植などの作業が簡素化、システム化される。セル成型苗生産システムは園芸作物の多くですでに普及しているので、そのシステムをサツマイモ苗生産に応用することに特別な困難はないであろう。

3) 自然光温室 (二酸化炭素施用, 水耕装置装備)

内システムにおける挿し穂の大量増殖システム
挿し穂の生産には、二酸化炭素施用、水耕装置利用などの施設園芸で普及している諸技術を大幅に採用する必要がある (図 5)。挿し穂生産においてはイモを形成させる必要がない (イモが形成されると挿し穂の生産量が低下する) ので水耕装置利用の利点がある (太田ら, 1995)。ところが、挿し穂生産に好適な環境制御法に関する環境工学的研究は現在にいたるまでほとんどない。

4) 人工光利用・環境精密制御下における挿し穂苗大量増殖システム

組織培養苗生産において行われているように、挿し穂苗生産も環境制御された人工光下で行われるようになれば、苗の品質向上、計画生産の面で利点大きい。現在では生産コストの面で実用化にはいたっていないが、将来の実用化に向けての研究は重要である (古在・北宅, 1995)

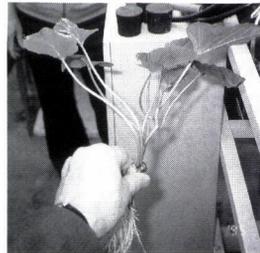


図 5 上: J社製水耕装置で生産されているサツマイモ挿し穂の採取風景。中: ガラス温室内外水耕装置の全景 (宮崎県串間市)。下左: 水耕装置で発根された挿し穂。下右: 搬送用プラスチック箱の収納された定植用挿し穂 (いずれも 1995 年 4 月撮影)。

5) 組織培養苗, 挿し穂, 発根挿し穂苗の貯蔵システム

苗の需要のピークは各産地において時期的に数週間に限定されているので、その時期にあわせて苗生産したのでは、苗生産施設の年間稼働率が低く、労働力の確保などが困難になる。組織培養苗および挿し穂の貯蔵が、それぞれ、数か月、数週間にわたり可能になれば、苗の生産と需要のマッチングがより容易になり、苗価格の低下が可能になる (Hammett, 1985; 古在・大川, 1995)。

6) セル成型苗, 挿し穂苗などの自動移植機
畑に苗を定植するための機械が利用できれば定植作



図6 上：サツマイモのマルチ栽培。下：トンネル栽培風景。

トンネル用フィルムはサツマイモの生育が進んだ段階で取り除かれて、廃棄される(下左)(宮崎県串間市, 1995年4月撮影)。

業の大幅な省力化および作業強度の軽減が達成できる(吉田ら, 1995; 吉田, 1996)。苗の自動移植機の導入にもとづく省力化と作業強度の軽減は、イネ作における田植え機の例で明らかであろう。

7) 生分解性のマルチ用フィルムおよびトンネル用フィルム

マルチングを広い面積にわたって行くと、マルチング作業および栽培後のマルチフィルムの回収と処理がたいへんになる(図6)。また温帯地域ではマルチングをすると栽培期間の後半(夏季)に地温が高くなりすぎることがある。したがって、生分解性のマルチフィルムの普及が重要になる。

8) 生体情報計測, 画像生体計測, バイオコミュニケーション

植物の葉温, 気孔開度, 呼吸速度, 純光合成速度, 蒸散速度, 色彩, クロロフィル濃度, クロロフィル蛍光反応, 葉面積, 生体重, 葉数, 草丈あるいは病斑, 害虫などを非接触, 非破壊で連続計測し, サツマイモ

成長制御のためのデータとして利用することは今後ますます重要になる。

9. おわりに —サツマイモ技術からバイオエンジニアリング技術へ—

上述の研究開発課題のほとんどは, サツマイモ技術にとって重要なだけでなく, 他の熱帯性植物であるバナナ, キャッサバ, サトウキビなどの苗生産・栽培技術にとっても重要である。さらには砂漠緑化, 森林再生用の樹木苗あるいは薬用植物苗の生産技術にとっても重要である。

本稿において述べた事項の多くは, 筆者らにとっては, サツマイモ技術の開発を通じて, 従来の施設園芸技術, 組織培養による苗生産技術, 植物環境調節工学技術などを有機的に統合させた, いわば, バイオエンジニアリング一般の構築を目指そうとする過程の一部である。旧来の園芸学, 作物学, 農業工学などの学問分野の間に存在する障壁は, 21世紀前半の地球規模的問題を解決するには, 障害になる恐れが大きい。私たちは, 21世紀の植物生産システムを, 食糧問題の解決だけでなく, エネルギー・資源問題, 環境問題の同時解決システムとして実現するためのバイオエンジニアリング技術の体系を創造していく時期にあるのではないかと考える(古在, 1994)。

なお, 筆者らは, 従来, 施設園芸および苗生産における環境調節工学的研究に従事してきた一研究者であり, サツマイモ研究に関する経験や知識はきわめて限定されている。本稿は, 筆者らのサツマイモに関する知識と経験を積み上げるための第一歩である。読者のご指導とご批判を切に願うしだいである。

本稿の執筆に当たって, 生物系特定産業振興機構の小林 仁先生, 農林水産省農林水産技術会議の中谷誠先生, 九州農業試験場の山川 理先生, 千葉県農業試験場の猪野 誠先生, 石井 勝先生には貴重な助言と示唆をいただいた。深甚なる謝意を表する。

文 献

- Aitken-Christie, J., Kozai, T., Smith, M. A. L. 1995. Automation and Environmental Control in Plant Tissue Culture. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp 574.
 赤坂 繁 1996. 「情報・知識 imidas 1996 別冊 (アジア&ワールドデータブック '96)」集英社, 東京, pp 240.
 ドウエル・ベリー 1990. 「川越いも友の会」が4つの文化賞を。

- いも類振興情報 29: 22-24.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations 1994. FAO Yearbook (Production Vol. 48), FAO Statistics Series No. 125, p 91-92.
- 福地兼男 1991. さつまいもフェスタ in Satsuma. いも類振興情報 31: 12-15.
- Hammett, L. K. 1985. Refrigerated storage influence on sweet potato transplant viability and root yield. HortScience, 20: 198-200.
- 長谷川理成 1995. サツマイモポット苗の増殖と利用. 千葉の園芸 44(12): 2.
- Hill, W. A., Bonsi, C. K., Loretan, P. A. 1992. Sweet Potato Technology for the 21st Century. Tuskegee University, Tuskegee, pp 607.
- 猪野 誠 1995. 千葉県における甘しょのウイルスフリー苗の増殖体制及び利用上の問題点. 「総合的開発研究「畑作物の高収量・安定生産のための基盤技術開発」(平成7年度現地検討会資料)」農林水産省農業研究センター・千葉県農業試験場, p 55-59.
- 猪野 誠 1996. 千葉県のサツマイモ栽培事情. いも類振興情報 46: 1-5.
- 伊藤信孝・坪倉哲也 1996. テトラレンマからの脱出と日本の国際貢献 (1). 農及園 61: 233-242.
- 科学技術庁資源調査会 1995. 「四訂日本食品標準成分表 (二版)」大蔵省印刷局, 東京, p 60.
- 香川 綾編 1991. 「いも全書」(財)いも類振興会, 東京, pp 252.
- 茅 陽一編 1993. 「地球環境工学ハンドブック」オーム社, 東京, pp 1372.
- 小林 仁 1977. 熱帯性いも類と国際シンポジウム. 農業技術 32: 213-217.
- 小林 仁 1984. 「サツマイモのきた道」古今書院, 東京, pp 216.
- 小巻克己 1996. 第一回中日甘藷・馬鈴薯シンポジウムに参加して. いも類振興情報 46: 6-15.
- Kozai, T. (ed.) 1988. Proceedings of Symposium on High Technology in Protected Cultivation. Acta Hort. 230, 1-574.
- 古在豊樹 1992. 植物の光独立栄養培養における環境調節 (学会賞受賞講演要旨). 生物環境調節 30: 193-197.
- 古在豊樹 1994. バイオテクノロジーからバイオエンジニアリングへ. 計測と制御 33: 811-816.
- 古在豊樹 1996a. 新しい植物生産システムとその研究方向・課題の展望 (1). 農及園 71: 10-14.
- 古在豊樹 1996b. 新しい植物生産システムとその研究方向・課題の展望 (2). 農及園 71: 243-248.
- 古在豊樹・北宅義昭 1995. 人工光下における植物生長制御技術の動向. 照明学会誌 79: 164-168.
- 古在豊樹・大川 清 1995. 「セル成型苗の貯蔵技術—低温弱光による品質保持—」農文協, 東京, pp 99.
- 古在豊樹・佐瀬勘紀 1990. 苗生産システムの将来. 農及園 65: 97-104.
- 古在豊樹・内宮博文・石川不二夫・駒嶺 穆 1993. 地球環境保護への農業バイオテクノロジーの役割. 農及園 68: 1049-1054.
- Kozai, T., Zimmerman, R. H., Kitaya, Y., Fujiwara, K. (eds.) 1995. Proceedings of Symposium on Environmental Effects and Their Control in Plant Tissue Culture. Acta Hort. 393, 1-230.
- Kurata, K., Kozai, T. (eds.) 1992. Transplant Production Systems. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp 334.
- 中谷 誠 1992. サツマイモ苗の発根, 活着に影響を及ぼす諸要因. 農業研究センター研究報告 21: 1-53.
- 農林水産省農蚕園芸局畑作振興課 1995. 「いも類の生産流通に関する資料—平成7年度版—」, pp 113.
- 大越一雄 1994. 千葉県における野菜のウイルスフリー化への取り組み. 農耕と園芸 5: 70-74.
- 太田浩輝・戸次一弥・清水豊文 1995. 宮崎県における養液栽培を利用したサツマイモ苗増殖. 国際植物増殖者会議日本支部第2回大会 (宮崎県宮崎市) 講演要旨集, p 51-52.
- Prakash, C. S. 1994. Sweet potato biotechnology: Progress and potential, Biotechnology and Development Monitor, No. 18, 18, 19 and 22.
- 坂井健吉ほか 1981. サツマイモ基礎編. 「畑作全書 いも類編 基礎生理と応用技術」農文協, 東京, p 391-623.
- 坂本 敏 1987. サツマイモ. 「熱帯のいも類—サツマイモ・ジャガイモ, 熱帯農業シリーズ, 熱帯作物要覧 No. 17」(社)国際農林業協力協会, 東京, p 1-53.
- 武田英之 1989. 「まるごと楽しむサツマイモ百科」農文協, 東京, pp 133.
- 戸刈義次 1950. 甘藷塊根形成に関する研究. 農事試報 68: 1-96.
- 津野幸人・藤間一馬 1965. 「農業技術研究所報告 D 第 13 号」, p 1-131.
- Woolfe, J. A. 1992. Sweet Potato—An Untapped Food Resource—. Cambridge University Press, New York, pp 641.
- 山田英次 1991. 中国サツマイモ視察記 (2). いも類振興情報 27: 18-24.
- 山川 理 1994. 甘しょの需要拡大に向けた新品種開発. 熱帯農業 38: 157-162.
- 山川 理 1995. カンショへの期待と可能性 (8) カンショにおける新利用技術の開発と品種改良. 農業技術 50: 312-316.
- Yamakawa, O. (ed.) 1995. Sweetpotato Research Front (Newsletter), No. 1. pp 6.
- 依田 直監修 1993. 「トリレンマへの挑戦—人類, いま選択のとき—」毎日新聞社, 東京, pp 270.
- 吉田 良 1995. サツマイモの機械定植に適応するセル成型育苗法. いも類振興情報 43: 18-21.
- 吉田 良・川下輝一・板東一宏 1995. セル成型育苗によるサツマイモの機械移植法の開発. 徳島農試報告 31: 7-12.