第３章

主要研究成果

第3章　主要研究成果

(1) 海外情報部

1) 国際農林水産業統計情報システム（JIRCAS-STAT）の開発

小山　修（現：連絡調整科）

世界食料需給分析などの研究や国際研究・技術協力の企画・戦略立案などに利用するため、海外の農林水産業をめぐる社会経済統計を一括して蓄積・管理し、効率的な分析を可能とするソフトウェアを設計、開発した。

背景・ねらい

平成5年10月、国際農林水産業研究センターが開設され、開発途上地域を中心とする農林水産業部門の研究が充実された。一方、国際的な農林水産業関係の情報は、従来から行政部局などでかなりの蓄積がなされてきたが、必ずしも体系的な整理や分析に適したものではなかった。このため、同センター内で農林水産業をめぐる社会経済情報、農業事情、研究事情などの情報を一括して管理、利用するための国際研究情報管理・利用システムの開発が開始された。この一部として、国際機関等が発表する農林水産業に関する社会経済統計を統一したフォーマットで蓄積利用し、さらに、時系列分析等の解析をも可能とする統計情報ステムを開発し、世界食料需給分析などの国際研究に利用するほか、国際研究・技術協力の企画・戦略立案や政策立案の支援を図る。

成果の内容・特徴

一般のリレーショナルデータベースに長期の時系列の統計データを適用すると、データの蓄積効率やデータの処理速度に問題が生じる。このため、コンピュータ言語を用いたシステムが従来一般的であったが、開発に相当の時間と経費がかかり、使い勝手のよいシステムができなかった。本研究では時系列データを分割して処理するという独自の方法を採用し、これらの問題を解決した。また、国際情報であることから生じる様々な問題（英語名や国名処理）について一定の解決策を考案した。

はじめに、FAO などの国際機関で作成された約 130 万件、データ数 4 千万の数値データベースを作成した。これにより、異なる機関で作成されたデータを一括して分析することが可能となった。また、今後独自に蓄積されるデータについても同様な処理が可能となる。本システムは、現在最も一般的なパーソナルコンピューターの Windows 上のソフトウェアであり、また、グラフ表示や数値解析の面で市販の表計算ソフトなどとの連携がとられているため、多くの利用者が期待できる。データは国別の生産、貿易、食料消費、農業保護水準、マクロ経済指標、人口などが網羅されており、これらを用いた世界の農林水産業情勢の分析が従来に比べて極めて容易に行えるようになった。

章末　カラーグラビア

図1　メニュー画面（一般利用者用）

図2　検索画面－品目グループと品目（名称は英語でも表示）

具体的データ

表1　収容情報の種類と量（開発当初）

収容情報	時系列の件数	記憶容量
FAO 人口・土地・生産	約 20 万件	50MB
FAO 貿易	約 31 万件	99MB
FAO 食料需給	約 54 万件	128MB
FAO 林業・水産	約 14 万件	36MB
USDA・OECD・WB	約 13 万件	113MB

2）ベトナムのファーミングシステムの特性と研究課題

濱村邦夫（現：鳥取大学乾燥地研究センター）

ベトナムの農林業研究機関の調査

平成2（1990）年12月9日から21日まで、熱帯農業研究センター当時の調査情報部の地域別農林業の特性解明調査の一環として、研究技術情報官であった牛腸英夫氏と私がベトナムの農業と農林業研究機関の近況を調査した。

ベトナムは1975年の戦争勝利以後15年を経過していたが、全体として復興の足取りは遅く、低迷の感があった。他方、ドイモイ（刷新）政策の採用によって経済活動に活気が戻り、1989年には140万トンの米を輸出するまでに至った。ベトナムはソ連、東欧諸国からの手厚い援助を受けていたが、ソ連、東欧は自身が困難に陥り、援助からは手を引きつつあった。

熱研センターは20周年記念の小倉武一氏の講演に見られるように、経済発展を遂げたタイ、フィリピン、インドネシア、マレーシアなどのアジア諸国から、より困難に直面している国々に目を移すべきだとの考え方から、アジアでもベトナム、ミャンマー、ラオス、バングラデシュなどに調査の目をむけたものである。

訪れた研究所、大学はいずれも由緒ある伝統を持つ機関であったが、長く続いた戦争で疲弊し、修理、改装を必要としていた。会って話を聞いた研究者達はいずれも真面目で意欲に富み、条件にさえ恵まれれば大きな力を発揮する人達であることが感じられた。

ハノイ、ホーチミン（サイゴン）、クーロンデルタを見た中から、クーロンデルタ稲研究所における農林業システム研究が共同研究のテーマとして面白いのではないかと考えた。このテーマは幸いその後プロジェクト課題として取り上げられ、実施に移された。プロジェクトの立案段階に参画した者として、その実現を喜んでいる。

既に調査時点から10年を経過しており、最近の事情をよく弁えていないが、当時を振り返って、ファーミングシステムを巡る問題、その他を述べてみたい。

農林水の複合体系「四角」

田で稲を作り、畦で野菜を作ったり、防風帯としてマングローブの一種であるメラロイカの木を植える。水路や田の中でエビや魚を飼い、あるいはアヒル、ブタなどを周辺で飼育して、その廃棄物も肥料として使う。これは農業、林業、水産業、畜産業を一体化したファーミングシステムであるが、メコンデルタでは古くからいろいろな型の複合農業が営まれてきたという。クーロンデルタ稲研究所の当時の所長であった Dr. Nguyen Van Luat からこれらの体系に関わる研究について話を聞いた。

「四角」というのは田の形から来ており、5ha（100m × 500m）の大区画で稲を直播していた。メラロイカの木は4年位で伐り、工事用の杭として売る。水路でエビを養殖するが、稚魚は近くで集めて使い、特別に買ってくるのではないと言っていた。研究所の圃場に農家が来て栽培していた。研究所としてはデータを取り、実収入も得ていた。カントー市近くは潮汐の影響で水が満ちたり引いたりしていた。Dr. Nguyen に依ると、昔に比べて淡水産の魚、エビの捕獲量は激減しているという。もちろん洪水のレベルも激減し、稲の収量も上がっている。生態系が変化し、ファーミングシステムにおける各要素の比重が変化している訳である。農家の収入を上げるためには、各部門の改良を図らなければならないし、生態系あるいは持続性を考慮に入れると、長期的な安定生産のための措置も必要になる。

個々の部門に研究すべき課題があり、且つ、持続性を考慮した全体計画上の長期的な課題もあるという点で、現代的な課題と感じた。

森林の回復

ベトナムは戦争で多くの森林を失ったが、復興にはユーカリ、メラロイカなどの比較的に少数の樹種しか用いられていないようである。少数の樹種に頼る生態系は、多数の在来樹種に支えられる本来の森林よりも生態的に見て脆弱であると危惧される。国営のゴム園があった

り、マンゴー、アボカド、ランブータンなどの果樹を試験中であったり、あるいはメラロイカの葉からカヤプテ油を取ったりしていた。アグロフォレストリーについてもホーチミン農林大学などで研究を進めていた。

森林の減少、その回復はタイなどでも大きな課題であるが、植林にはそれに見合うだけの利益、即効性、経済的動機が必要となるので、短期の早生樹種に集中するのもやむを得ないかもしれない。

水資源利用の国際協調

メコンデルタでは河口より約30kmまで海水の浸入があるという。メコン川は国際河川で、上流側のタイ、ラオス、カンボジアで多く取水すれば、塩水の浸入はもっと内陸にまで及ぶ。洪水と干ばつの年次変動は大きいから、傾向を掴むのは難しいことかもしれないが、関係国の間の協議、調整がうまく行くことを願う。

研究資源

ベトナムでは、契約研究制度なるものを採用していた。民間との研究契約によって研究費の一部を調達するのだという。結局、政府に研究費全体を負担する能力がないので、各機関が自己の責任で研究費を稼がなければならないのだという。そこで種を売ったり、ワインを作ったり、微生物肥料を作って売ったり、レンガを焼いて売ったりしていた。

日本のように親方日の丸で政府に100%近く面倒を見てもらうやり方より、現場の金儲けに直結する研究に目が向けられるという点では、現場直結型とも言えるが、ある程度は政府が安定的に研究資金を補償できなければ、研究者の能力は育っていかないであろう。世界的に見れば、研究機関が政府組織から半官半民の公社制度に移ったり、民間からの資金により多く頼るようにして、現場に直結する問題をより多く取り上げるようにする傾向は増えているが、研究が大型化し、組織化が進んでいるので、長期的視野に基づく国の支出はどうしても必要であろう。

3) 南米における大豆の不耕起栽培技術の改善方向

国分牧衛（現：東北大学農学部）

背景・ねらい

南米地域における大豆生産は過去30年間に急速に増加し、現在では世界の生産量の約1／3を占めている。大豆の栽培は従来、播種前の耕起及び生育期の中耕・除草が必須の作業であったが、近年、土壌浸食の防止を主たる目的として、これらの作業を省略した不耕起栽培が急速に普及しつつある。本研究では、現地調査を実施するとともに南米の研究者を招聘した現地セミナーを開催して、不耕起栽培の現状と問題点を解析し、今後の改善方向を提示した。

成果の内容・特徴

1) 不耕起栽培技術の普及の現状

不耕起栽培は、1960年代以降、新しい除草剤と効率的な不耕起播種機の開発を契機として、多くの地域に普及しつつある（表1）。土壌浸食の防止効果が大きいこと、トラクターの耐用年数の増加と燃費の節約が可能であること、適期播種期間が拡大することなどの利点から、南米の多くの大豆栽培地域においては主要な栽培体系になりつつある。

技術的側面からみた不耕起栽培技術の問題点と改善方向

①問題点

土壌の種類によっては下層の緊密化や透水性の低下がみられ、酸性などの不良土壌では下層の化学性改良が困難である。不耕起を長期に継続した圃場では、土壌表層への養分集積が進むために根系が浅くなり、干ばつの被害を受けやすい。前作の残さを地表に残すことから、土壌伝染性病害の発生が増加する場合がある。また、除草剤への依存度が高いこと、作付け体系が限定されることも問題である（表2）。

②改善方向

土壌下層の物理性・化学性改良技術の開発、土壌表層への養分集積の防止及び病害・雑草害

抑制のための作付体系の開発が重要である
(表2)。

具体的データ

表1　不耕起栽培の普及面積の推移（1,000ha）

国	1973/74	1983/84	1996/97
ブラジル	1	400	6,500
アルゼンチン	—	—	4,400
パラグアイ	—	—	500
ｳﾙｸﾞｱｲ･ﾁﾘ･ﾎﾞﾘﾋﾞｱ	—	—	250
アメリカ	2,200	4,800	19,400
オーストラリア	100	400	1,000
世界合計			38,700

R. Derpsch（1998）らによる推定値。

表2　各技術分野における問題点と改善方向

技術分野	問題点	改善方向
土壌の物理性	土壌下層の緊密化	下層の透水性・通気性改良技術
土壌の化学性	土壌下層の養分不足	下層への施肥技術
	土壌表層への養分集積	同上
病害	土壌伝染性病害の多発	土壌伝染性病害の防除技術
雑草	除草剤への依存度増大	耕種的防除法
作付け体系	大豆／小麦体系への偏り	作付け体系の多様化

4) インドネシアにおけるファーミング・システム研究の歴史と展望

後藤　淳子（現：農業研究センター）

背景・ねらい

ファーミング・システム研究（FSR）は、自然的および社会経済的な制約のために近代的農業技術の普及しにくい地域や農民を主な対象とし、地域の伝統的農法、社会慣行、農民の経済力や意識と近代的農業技術・研究の接点を模索する試みである。

インドネシアはかつて世界最大のコメ輸入国であったが、1984 年には自給を達成し、国の強い指導による「緑の革命」の成功例として世界の賞賛を集めた。しかし、インドネシアの国土は広く多様で、水田地域以外での農業開発・食料増産が、目立つものではないが自給達成を下支えしていた。インドネシアの FSR は、湿地、天水田地域、丘陵山岳地域など、様々な地域の農民の生産技術向上と所得確保を大きな目標に展開されてきた。歴史は長く応用の幅も広いが、その流れや意義は必ずしもインドネシアの研究者にとっても明らかとはいえない。インドネシアの農業研究開発の基盤について FSR を切り口として振り返り、特徴や問題点を考察した。

成果の内容・特徴

1) インドネシアの FSR の展開過程は、①作付体系研究の時代、③小農複合営農体系研究の時代、③各種方法論試行・国際交流時代、④地方分権をすすめる農民参加型・地域農業技術開発模索の時代、に大別できる。1980 年代は、上記②と③が同時に進行する、FSR のブーム時期と言える。

2) 英語文献に依拠すると、国外からの技術的・資金的援助が減少した 1990 年代は FSR 活動が低調な時代のように見てとれる。しかし、実際には農業省傘下研究機関の再編により農業技術評価センター（AIAT）が全国 17 ケ所に新設され、上記④の時代を確保する器ができた。

3) FSR に内在する問題点は、①定義の曖昧さ、合意・議論の不足、②研究、普及、農民の参加のバランス、③地理的および時間的スケール、④国立農業研究・普及制度の硬直性、⑤評価手法・基準、⑥マクロ・レベル、政策との接点、など、多岐にわたる。

4) この研究から得られた整理・考察は、インドネシアのみならず、タイやヴェトナムなど他の国の FSR を検討するときにも有効と思われる。

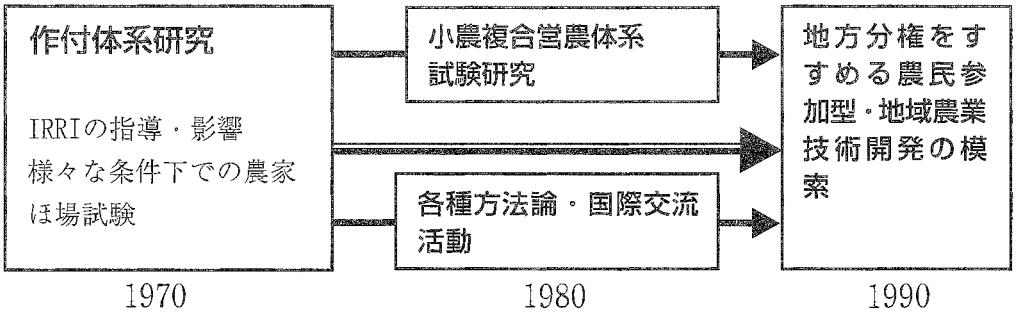


図1　インドネシアのＦＳＲの流れ

表1　ファーミング・システム研究に内在する問題点

問題	一般の場合	インドネシアの場合
定義の曖昧さ、合意・議論の不足	曖昧なまま個々のプロジェクトが動く。	同左
研究、普及、農民の参加のバランス	研究者が主導、普及は補佐。農民は調査対象ないし、ほ場作業の請負。最近、農民主導の試みが出てくる。	同左 農民は上からの指導に従う、それによって補助を受け取ることに順応。
地理的および時間的スケール	実際の活動は小地域・短期でも、他地域への汎用性・長期的視点が必要。	同左
国立農業研究・普及制度の硬直性	研究と普及がそれぞれ縦割りになっている。	同左
評価手法・基準	活動成果をはかる評価手法・基準が乏しい。	同左
マクロ・レベル、政策との接点	接点が乏しく、政策へのインパクトに欠ける。	行政・政策レベルからの研究への期待・圧力が大きい。

5）日中の農業技術普及システムの比較研究

池上彰英

背景目的

「改革・開放」後の中国の農業増産は、1980年代前半においては各戸請負制導入という制度変化によるところが大きかったが、80年代後半以降においては新技術の開発・普及と化学肥料等の経常財の投入増によるところが大部分である。その意味で、中国の農業技術普及組織が農業発展に果たすべき役割は非常に大きい。

中国の農業技術普及は主として、農業技術普及センター（県レベル）、農業技術普及ステーション（郷・鎮レベル）と呼ばれる、階層的に設けられた政府系統の普及組織によって担われている。ところが、この普及組織は資金不足等の原因により活動が不活発であるケースも少なくない。また、中国農業が伝統的な自給自足農業から、市場販売を目的とする商業的な農業に転換しつつあるなかで、技術普及組織がこれに十分に適応できていないという問題も指摘されている。

ところで、わが国の農業技術普及システムの発展の歴史を振り返ると、一面でそれは商業的な農業発展への適応の過程であり、また中国と同様に普及資金の不足という問題をかかえていたことも事実である。したがって、わが国の農業技術普及システムの発展の歴史と現状を、中国の農業技術普及システムの現状と比較検討することによって、今後の中国の農業技術普及システムの発展のための示唆を得ることが、本研究の目的である。

日本の農業技術普及システム

戦前の日本における農業技術普及を担ったのは系統農会であるが、農会の技術普及の目的は単なる増産にあったのではなく、市場で高く販売できる商品を作ることにあった。そのため、事業に熱心な農会は農産物の販売斡旋事業等の活動をも行うケースが多かった。

戦後の日本の農業技術普及事業は、アメリカの協同農業普及事業を参考にして、国と都道府県との協同事業として実施されることになった。現在、農業改良普及センターを中心に約1万人の改良普及員が働いている。99年の普及

センターの数は508カ所、1普及センター当たりの平均的な管轄範囲は市町村数6、農家戸数6,800、耕地面積8,100ヘクタールである。

他方、政府の協同農業普及事業とならんで、戦後の日本の農業技術普及に大きな役割を果たしているのは、農協の営農指導事業である。総合農協の営農指導員は1997年現在約1万7,000人おり、実際に農家に対して技術指導を行っている人数は改良普及員よりはるかに多い。一般の農家にとって、日常的に接触する機会が多く、技術指導のみならず農産物の販売や生産財の購入等、経営上の広範な必要性にもよく応えてくれるのは、農協の営農指導員である。しかし、このことは営農指導員と改良普及員との技術指導能力の差を表しているのではなく、農協が個別農家の経営を補完するうえで果たしている役割が、改良普及所のそれより大きいことを示しているのである。

日中の農業技術普及システムの比較

日本の政府系統の農業技術普及事業の性格は、中国のそれとよく似ている。すなわち、中国の農業技術普及も政府の事業として行われており、農業技術普及に関する基本方針を中央政府が立て、それに基づいて地方政府が普及事業を実施することや、農業技術普及事業と農業政策との関係が強い点もよく似ている。さらに、技術普及の手段が、主として展示圃や研修、資料の作成配布である点も全く同じである。

中国の場合、各郷鎮に1つの農業技術普及ステーションが置かれているのが一般的であり、現在の日本の農業改良普及センターが平均6市町村に1カ所しかないのに比べて、はるかに配置の密度が濃い。普及員1人当たりの農家数、耕地面積等を比較しても、日本と同じかそれ以上の密度を有していると考えられる。

ところが、財政支出面をみると、日本の中央・地方を合わせた協同農業普及事業の支出が近年農業総生産額の約0.6～0.7%に相当するのに対して、中国では1979～95年の平均で0.26%にすぎない。ただし、日本の中央政府の農業財政支出に占める農業技術普及支出の割合が91～97年の平均でわずか1.3%にすぎないのに対して、中国の国家財政農業支出に占める農業技術普及支出の割合は93～95年の平均で約8%にも達する。このことは、中国の農業財政規模から見て、農業技術普及に対する支出がきわめて大きいことを示しており、今後農業財政規模の大幅な拡大がない限り、農業技術普及への支出の増大を期待することは難しいと思われる。

中国の農業技術普及システムの発展の展望

中国において、農業技術普及組織に対するこれ以上の財政支出を期待することが難しいとすれば、農業技術普及組織は自ら収益をあげて農家に対する普及活動の経費不足を補う道を探さなければならない。中国の農業技術普及法には、農業技術普及組織は技術指導と生産財販売を結びつける等の多様な方式の経営サービスを行ってよいという規定がある。

日本の総合農協が一般に信用・共済事業であげた収益を営農事業の経費に当てているように、中国の農業技術普及組織も、農業生産財の農家への販売や農産物の販売斡旋、機械作業の請負等の農家に対する有償サービスを行うことによって、技術普及経費の不足に当てる方式をもっと積極的に展開してよいと思われる。

中国も日本も、農家の経営規模はきわめて零細である。小農は市場情報が不足しており、農産物や生産財の取引量も少ないから、個々の農家がばらばらに市場に参入することは不利である。また、個々の農家の経営規模は小さいから、すべての農家が高価な農業機械や加工・貯蔵施設等を揃えることにも困難がある。したがって、農業部門において小農が支配的な国においては、農家の生産や流通、信用等を補完する社会的なサービス組織が必ず必要である。日本では、主として農協がこの役割を果たしており、営農指導事業は農協の社会的サービスの一環として営まれている。ところが、中国においては農家の生産・利用・流通・信用等に関する総合的な社会的サービス組織は存在しない。農業技術普及ステーションが、農家のための総合的な社会的サービス組織を育成する際の中核組織の1つとなることが期待される。

(2) 生物資源部

1) 中国雲南省における稲遺伝資源と水稲育種の日中共同研究

伊勢一男

雲南省では，JIRCAS と雲南省農業科学院（YAAS）との共同研究によって育成された水稲品種が 20 万 ha 以上栽培されている。両研究所は，稲遺伝資源および水稲育種に関する共同研究を 2 回のプロジェクト研究で 15 年間実施した（前期：1982 ～ 1991，後期：1992 ～ 1996 年度）。

本共同研究には，農水省研究機関（稲育種 6 名，植物病理 2 名）および公立農業試験場の稲育種指定試験地（9 名）から，合計 17 名が長期派遣された。植物遺伝資源，作物生理，雑草および生物工学など，異なる分野から多数の短期派遣者の協力も得た。また，前期 6 名，後期以降 11 名，延べ 17 名の YAAS 研究員を日本へ招へいし共同研究を行った。

雲南省の自然環境と稲作

雲南省の総面積は，約 39 万 km^2 であり日本の総面積とほぼ等しい。主たる研究対象の中北部地域は，雲貴高原と呼ばれる亜熱帯高地である。西はミャンマー，南はラオスおよびベトナムと国境を接している。省内面積の 94％が山地や高原であり，盆地や河沿いの平地は全体の 6％にすぎない。

水田稲作は，標高 76m の低地から 2,670m の高地まで行われている。省南部では，少数民族を中心とする陸稲の焼畑栽培も行われている。標高 2,500m 以上の稲作地の夏期の気温は，日本では稲作が行われていない北海道北部に相当する冷温であり，イネの生育適温限界に近いと考えられる。低標高地帯では，インディカ品種の二期作が行われている。熱帯から温帯，寒冷地にいたる多様な稲作環境に伴う豊富な稲遺伝資源から，5,000 を越える系統が収集され YAAS に保存されている。

米は，小麦やトウモロコシとともに雲南省の主要食料である。しかし，省内における米の自給は困難である。1997 年の稲作は，作付面積 92 万 ha，籾生産量 534 万 t，平均収量 5.8（t/ha）であった。1996 年の生産量は 535 万 t に達し，1949 年建国時の 2.3 倍にあたる過去最高の収穫量を記録した。その大きな要因としては，ジャポニカ多収品種・インディカハイブリッド品種の普及と，化学肥料生産の増大や潅漑施設の整備などがあげられている。

しかし，雲南省の人口は，中国全体の平均増加率よりも高い割合で増えつづけている。省内人口は 1996 年に 4,000 万人を突破し，建国時人口の 2.5 倍を越えた。したがって，人口一人当たり米生産量は建国時より減少したことになる。稲作面積は，1984 年の 113 万 ha をピークとして 1993 年以降は 95 万 ha を下回っている。近年の急速な経済発展に伴い，農地の漸減傾向は今後も続くものと予想される。一方，人口の増加と生活水準の向上は，さらに多くの食料生産を必要とする。雲南省においては，持続的な生産と収量向上をめざした新品種開発および栽培技術の改良がさらに重要性を増している。

日中共同研究による水稲新品種の育成

1949 年の建国以後，雲南省のジャポニカ水稲育種の発展は，三段階にわけられる。1950 ～ 1960 年代初期は省内の優良在来品種の選抜と普及，1960 年代中期～ 1970 年代は台湾および日本の改良品種の導入と普及，1980 年代前半～現在は組織的な交雑育種による優良品種育成の各段階である。雲南省における日中共同研究は，近代的な稲育種研究体制が確立される前後の 1982 年に開始された。

本共同研究では，雲南省中部および中北部の標高 1,500 ～ 2,100m 地帯を主たる普及対象とした。YAAS に導入された日本品種は，新品種育成のために雲南品種と交雑された。1986 ～ 1996 年の間に，「合系 1 ～ 42 号」が育成され、その中の 15 系統が，優良品種として 1999 年までに省政府によって登録された（表 1）。9 品種については日本品種が直接の母本となり，残り 6品種についても日本品種が間接的に利用された。特に，「トドロキワセ」（北陸農業試験場，1968 年育成）が大きく貢献し，15 品種のうち

6品種の直接の母本となった。

表1　主な育成品種の栽培面積と特性（1999年）

品種名	交雑組合せ	栽培面積 (ha)	成熟期	草型	耐冷性	いもち病抵抗性
合系41号	?靖8号×合系22-2号	81,000	中晩生	偏穂数	MR	MR
合系39号	楚粳3号×雲親3号	54,000	中晩生	中　間	MS	MR
合系35号	合系15号×合系4号	26,000	中生	穂　重	R	M
合系30号	トドロキワセ×楚粳4号	10,000	中晩生	穂　数	MS	R
合系24号	トドロキワセ×楚粳4号	8,000	中晩生	偏穂重	MS	R
合系40号	合系15号×雲冷15号	6,000	早　生	偏穂数	R	R
合系42号	合系24号×合系21号	6,000	中　生	中　間	MR	MR

注　R(強), M(中), S(弱)。耐冷性MSの合系24, 30, 39号は, 省内中部の温暖地向けの品種である。

雲南品種の伝統的な草型は, 分げつ数が少なく穂が大きい, 極端な穂重型であった。穂重型品種は登熟などに問題があり, 玄米の品質や収量の安定性に劣ることが多い。本共同研究では, 穂数型の日本品種との交雑により両者の中間の草型を持つ系統が選抜され, 多収性と良質性とを兼ね備えた新品種が育成された。これらの品種は, 雲南省稲作の重要な障害である冷害やいもち病にも強く, 安定して多収であることが良質性とともに高く評価された。

本共同研究では, 組織的な特性検定試験を育種選抜に導入したことによって, 多収・耐冷・耐病性の良質品種開発に成功することができたと考えられる。全体の育種操作と多収性・品質検定を担当する「品種育成グループ」, 耐冷性検定と遺伝資源基礎研究を担当する「耐冷性グループ」, いもち病抵抗性検定と植物病理基礎研究を担当する「耐病性グループ」, これら3グループの協力によって総合的に諸特性の改良された多収品種が育成された。また, 後期には, 「生物工学グループ」による新しい手法の開発も行われた。

1999年には, 雲南省内22万ha（約24%）に共同育成品種が作付された。ジャポニカ水稲地帯に限定すると約50%の普及率である。これらの品種は, 隣接する四川省や湖南省でも普及している。また, 国外においても, アフリカ・ルワンダ農業科学研究所やフィリピン稲研究所において, 熱帯高地適応性品種育成のために利用された。なお, YAASの日中共同研究グループは, 「粳稲育種項目」の研究グループとして1996年に改組され, 省政府の食料自給政策に基づく重点的な支援のもとに, 水稲新品種育成事業を継続している。

日中共同研究による雲南省稲遺伝資源の研究

雲南省は, アイソザイムの多様性などの研究に基づいて, アジア栽培稲の遺伝変異の中心地の一つとみなされてきた。農業形質についても, 有用な遺伝変異の存在が期待されていた。

耐冷性研究では, 高地在来品種は生育全般にわたる高度の耐冷性を持つことを明らかにした。特に, 「麗江新団黒谷」や「昆明小白谷」の穂ばらみ期耐冷性は, 日本では最も強いとされる在来品種「染分」を上回っていた。在来品種の諸特性を改良した, 高度耐冷性の中間母本系統（雲冷1～28号）を育成した。

いもち病研究では, 抵抗性育種の基礎となるいもち病菌レース判別体系を確立した。インディカ品種や陸稲品種の中には、幅広い抵抗性範囲を持つ品種が存在することを明らかにした。また、陸稲栽培地帯周辺には、稲いもち病菌との交雑能力を持つ菌株が存在することを明らかにし, 自然条件下におけるいもち病菌の交雑の可能性が示唆された。

コメ品質研究では, 雲南省在来品種の種子成分（アミロース, タンパク）の遺伝変異を明らかにした。古米臭に関与するリポキシゲナーゼ－3については, 多数の欠失型品種が雲南省山岳地帯のジャポニカ陸稲品種群に偏在するこ

とを明らかにした。

本共同研究において，日中それぞれ727品種の稲遺伝資源を交換した。雲南省に導入された日本品種は，上述したように新品種育成の母本として効率的に用いられた。日本に導入された雲南稲遺伝資源は，耐冷性や低温発芽性，いもち病抵抗性，低アミロース性などの母本として利用されている。特に，高地在来品種に由来する高度耐冷性の導入が期待されている（表2）。

表2　雲南省稲遺伝資源の日本の稲育種における利用

利用段階	系統数	系統名（導入形質）
地方番号系統	1	奥羽242号（耐冷性）
中間母本（PL）系統	2	奥羽PL2；奥羽PL3（耐冷性）
育種母本系統	24	古川・中母20系統（耐冷性）；他機関4系統（耐冷性）
	1	茨城陸稲・交材19号（低タンパク含量）

注　「奥羽」：東北農業試験場，「古川」：宮城県古川農業試験場，「茨城陸稲」：茨城県生物工学研究所陸稲育種指定試験地。

主な参考文献

1)　林健一・山口武夫．1998．日本のイネがふるさとのイネ育種に貢献する．昭和農業術発達史第7巻共通基盤技術偏．農山漁村文化協会．pp.216-224.

2)　伊勢一男・孫有泉・劉吉新．1999．中国雲南省における稲遺伝資源と水稲育種の日中共同研究．育種学研究　1:9-13.

3)　蔣志農（編）．1994．雲南稲作．雲南科技出版社，昆明市．pp.267.

2）小麦品種の早期開発のための半数体育種法の確立とその育種技術の評価

稲垣正典（現：企画調整部研究企画科）

小麦は世界的に広く栽培され、稲とほぼ同じの生産高（約5億トン）を上げているが、その半分以上が開発途上地域で生産されている。これらの国、地域の小麦生産の安定のために、国際トウモロコシ・コムギ改良センター（CIMMYT、メキシコ）及び国際半乾燥地農業研究センター（ICARDA、シリア）が中心となって品種開発などが精力的に行われている。CIMMYTが開発した品種は1970年代の「緑の革命」となる大きな成果をあげた。しかし、近年では開発途上地域における急激な人口増加に対応するために、食料の安定的で持続的な生産が求められている。そこで、ICARDA（1987～1990）及びCIMMYT（1992～1997）において、諸障害抵抗性に優れた品種を早期に開発するため、異種との遠縁交雑を利用した半数体育種法を確立するとともに、効率的な育種法とするために凍結保存花粉を半数体作出効率を低下させずに利用する花粉の乾燥凍結保存法を確立し、さらに、得られた半数体系統について従来育種法で育成された系統との比較を行い、半数体育種法の評価を行った。

小麦4品種を母親とし、大麦野生種 *Hordeum bulbosum* 及びトウモロコシを花粉親として授粉し、その直後に2,4-D水溶液を処理したところ、*H.bulbosum* との交雑では2品種（農林61号、Chinese spring）で胚形成が得られたが、他の2品種（Mexipak65、Highbury）では胚形成は得られなかった。トウモロコシとの交雑では2,4-D処理した場合にのみ4品種すべてで胚形成が得られ、染色体数の調査からいずれも半数体（n=21）であることが確認できた。西アジア及び北アフリカ地域の20品種・系統についての *H.bulbosum* 及びトウモロコシとの交雑による半数体の作出効率は、それぞれ授粉小花の0.2%（1穂当たり0.1個体）及び9.5%（1

穂当たり 2.7 個体）で、明らかにトウモロコシを花粉親とする半数体育種法が *H.bulbosum* を花粉親とする場合より優れていることが明らかになった。これらの結果から、半数体作出の成否は *H.bulbosum* との交雑では小麦の交雑不和合性の有無によって決定され、トウモロコシとの交雑では受精後に2,4-Dによって胚の発育を促進することが重要であると示唆された。

異属種花粉を授粉して小麦半数体を作出する際には常に新鮮花粉の準備が必要であり実施場所および時期に大きな制約がある。この問題を解決するため花粉の長期保存の技術開発を実施した。まず花粉親としてトウモロコシ、トウジンビエおよびモロコシ各2系統を供試して小麦 3 品種との交雑親和性を調べた。トウモロコシおよびトウジンビエとの交雑では、小麦すべての品種で未熟胚が形成されたが、モロコシとの交雑では小麦の1品種で胚がまったく形成されなかった。そこで、トウモロコシおよびトウジンビエの花粉を供試して、乾燥および凍結（液体窒素）後の発芽率を調査するとともに12ヶ月間凍結保存の花粉を用いて小麦と交雑し半数体作出の頻度を比較した。その結果、乾燥および凍結の処理によってトウモロコシ花粉の発芽率は大きく減少し、小麦との交雑においても半数体作出頻度は、極めて低かった。これに対して、トウジンビエ花粉は乾燥及び凍結に耐性があり、小麦との交雑においては新鮮花粉の場合と同様な高い半数体作出頻度を示した（表 1）。したがって、トウジンビエの低温保存花粉を使用することによって場所と時期の制約を受けることなく小麦の半数体を作出することができることを明らかにした。

これらの一連の研究において、遠縁交雑を利用する小麦半数体育種技術は確立されたので、最後に半数体育種法と従来の系統育種法で選抜された系統の比較を行った。遠縁交雑を利用して小麦品種間 3 組合せ雑種 F 1 から作出して選抜した半数体系統は、同一材料から従来の系統育種法により選抜した系統に比べて（交配から 5 年）、短期間（材料養成から 2 年）で収量調査を開始することが可能であり、かつ選抜が容易であること、収量性に関しても十分に匹敵することが明らかとなった（図 1A）。しかし、系譜上遠縁な組合せ材料の場合には高収量系統の出現頻度が低い傾向にあるので（図 1B）、これを解決するために作出する半数体系統数を増すか、作出途中の半数体世代で選抜を加えて頻度を高める必要があることが明らかになった。

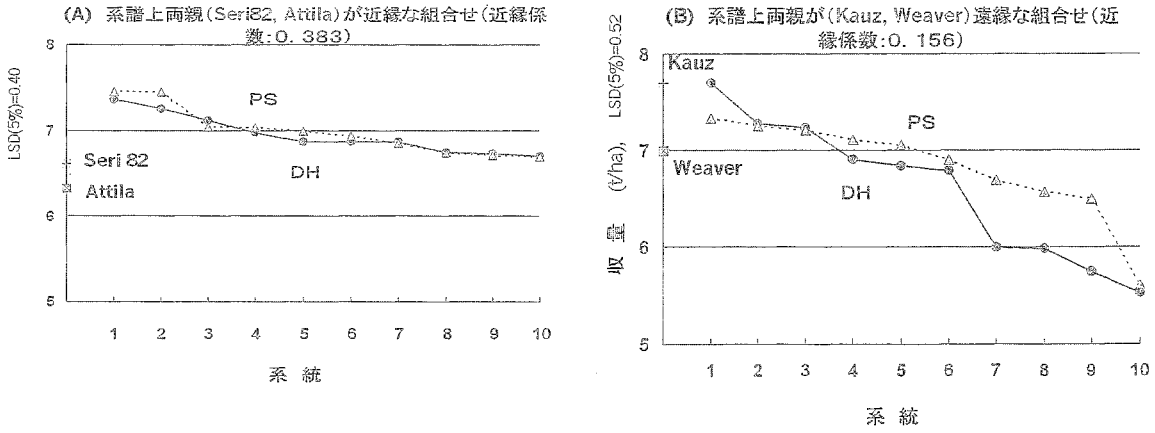


図 1　小麦の半数体育種法（DH）および系統育種法（PS）により選抜されたそれぞれ上位の 10 系統の収量

遠縁交雑を利用する小麦半数体作出の効率は、花粉親の選択、切り穂培養、凍結保存花粉等の技術開発により向上した。また、半数体育種法の利用により、従来の系統育種法によって得られる系統に匹敵する多収量系統を短期間

に作出可能であることを明らかにした。

表1　遠縁交雑利用による小麦半数体作出の効率に及ぼす切り穂培養と花粉凍結の効果

花粉親	切り穂培養	胚形成率 (%, a)	植物体再生率 (%,b)	半数体作出率 (%, a x b)
ﾄｳﾓﾛｺｼ				
新鮮	植物体上	20.4	67.0	13.7
	切り穂	19.4	42.5	8.3
凍結	植物体上	2.8	65.0	1.8
	切り穂	7.0	46.5	3.3
ﾄｳｼﾞﾝﾋﾞｴ				
新鮮	植物体上	19.7	45.8	9.0
	切り穂	21.2	56.7	12.0
凍結	植物体上	20.4	44.3	9.0
	切り穂	27.7	54.5	15.0

発表論文等

1) Inagaki, M. N. (1997) Technical advances in wheat haploid production using ultra-wide crosses. JIRCAS J. No.4: 51-62.

2) Inagaki, M. N. et al. (1998) Comparison of bread wheat lines selected by doubled haploid, single-seed descent and pedigree selection methods. Theor. Appl. Genet. 97: 550-556.

3) 乾燥にも寒さにも海水にも耐えるスーパー植物開発

篠崎和子

はじめに

熱帯雨林の破壊、温暖化などにより地球規模の環境劣化がクローズアップされおり、アフリカ等の開発途上国をはじめとする世界の多くの地域で緑地の砂漠化が問題になっている。また、世界の各地で異常気象が報告されており、旱魃や気温の異常等は農業生産に大被害を及ぼしている。さらに、開発途上国での人口増加は爆発的であり、21 世紀半ばには世界の人口は 100 億に達すると考えられている。このため、植物への環境ストレス耐性の付与は国際的に重要な課題となっている。バイオテクノロジーを用いた環境ストレス耐性植物の開発は、その耐性機構が十分解明されていなかったため、病害虫耐性作物等に比較して遅れているのが現状である。しかし最近、遺伝子レベルの研究が進むにつれて、この分野も大きな進展を遂げている。突然の異常気象や環境劣悪地に対応できる作物の分子育種を目指す当研究グループの成果を紹介する。

乾燥ストレス耐性遺伝子

私たちは植物の耐性獲得機構を分子レベルで明らかにするという基礎的研究から始めた。材料として遺伝子の研究が最も進んでいるモデル実験植物のシロイヌナズナを選び、乾燥に対する耐性機構で働いている遺伝子を研究した。その結果、植物は乾燥状態になると 40 以上もの遺伝子群を働かせることで、環境に適応できるよう自分の体を変えていることが明らかになった[1)]。

これらの遺伝子産物には水分子を輸送する水チャンネルタンパク質、ストレスで変性したタンパク質を再生、分解するシャペロン、プロテアーゼ等がある。また、解毒に関与する酵素や植物細胞中の高分子物質の保護を行うデハイドリンやストレス耐性に関与する植物ホルモンであるアブシジン酸の合成酵素もみられ

た。さらに、細胞の浸透圧調節のための適合溶質である糖やプロリンやベタインの合成酵素の遺伝子も含まれていた。これらの遺伝子産物が協調的に働き細胞を乾燥から保護していると推定される[1]。

一方、これらの遺伝子を導入して耐性植物を作出する研究も行われている。しかし、これらの遺伝子組換え植物の耐性度の向上はわずかなものであり、一つの耐性遺伝子を強制的に導入する従来の遺伝子組換え技術では、実際に劣悪環境地で栽培可能な耐性度の高い植物を開発することは難しいことが示された。

乾燥・塩・低温耐性遺伝子群の働きを制御する転写因子の遺伝子 DREB1A

私たちは、耐性を獲得するために働く複数の耐性遺伝子群の発現を同時に改変できれば、強い耐性を植物に付与することができると考えた。そのためには、複数の乾燥耐性遺伝子群の発現を制御する転写因子と呼ばれている制御因子の遺伝子を明らかにして、これを改変すれば良い（図1）。

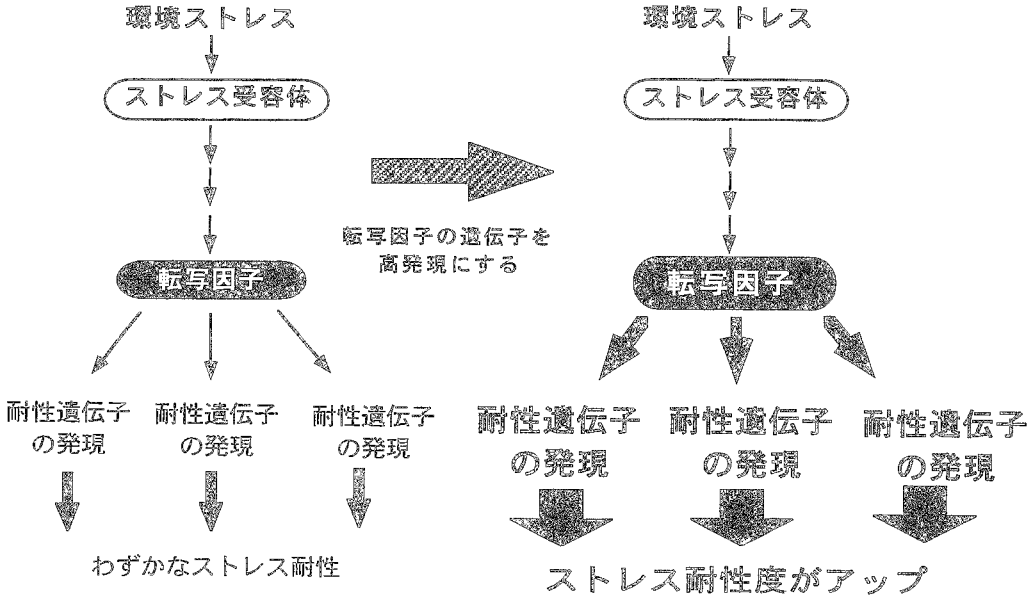


図1　植物のストレス耐性をあげるための戦略

そこで、これまでに単離した乾燥耐性遺伝子の発現制御機構を詳細に解析した。これらの遺伝子のうち、植物細胞中の高分子物質を保護するタンパク質をコードしている rd29A と名付けた遺伝子は、乾燥だけでなく塩や低温ストレスによっても誘導され、種々の環境ストレス耐性の獲得に機能する。この遺伝子がストレス時に選択的に機能するのは、この遺伝子のプロモーターと呼ばれる制御領域に9塩基からなる DNA 配列（シス因子：DRE）が存在するためであることを明らかにした[2]。さらに、酵母のワンハイブリッドスクリーニング法と呼ばれる新しい遺伝子クローニング技術を用いて、このシス因子に結合してストレスによる遺伝子の発現を制御している転写因子の遺伝子（DREB1A）をシロイヌナズナより単離することに成功した。この転写因子は少なくとも 20 種以上の乾燥・塩・低温耐性遺伝子群の発現を制御していることも明らかにした。

そこで、この転写因子の遺伝子を強く発現するように改変し植物に導入して、複数の耐性遺伝子の発現を変化させるよう試みた[3, 4]。遺伝子はその遺伝情報のコード領域だけを導入しても働きを示さない。この遺伝子の発現を制御するプロモーターを結合して植物に導入する必要がある。これまでの植物の遺伝子組換えでは、多くの場合カリフラワーモザイクウイルスの 35 S プロモーターが使われてきた。このプロモーターは導入した遺伝子を植物のどの組織でも強く発現させる性質を持っている。こ

の35Sプロモーターに単離したDREB1A遺伝子を結合して、シロイヌナズナに導入した。得られた18種類の遺伝子組換え植物を解析したところ、どの植物も乾燥や凍結耐性を示した(図2)。しかし、これらの遺伝子組換え植物には成長阻害が見られ、耐性度の高い植物ほど強い成長阻害が観察された[4)]。

環境ストレス応答性rd29Aプロモーターの活用

DREB1A遺伝子の導入は植物へ高い環境ストレス耐性を付与するが、成長阻害を引き起こすため、このままでは実用的な環境ストレス耐性植物が作出できない。そこで、私たちはストレス条件下で特異的に遺伝子の働きを調節するプロモーターに着目した。シス因子であるDRE配列を持つrd29A遺伝子のプロモーターは乾燥だけでなく、塩や低温による遺伝子発現を制御している。これらのストレス状態になると、その下流に存在する遺伝子を短時間のうちに非常に強く発現させる特徴を持っている。このrd29AプロモーターにDREB1A遺伝子を結合して植物に導入した。得られた48個体の遺伝子組換え植物を解析した結果、どの植物もこれまでにない高レベルの乾燥・塩・低温耐性を示した(図2)。さらに、ほとんど成長阻害は認められなかった[4)]。この植物のRNAを調製して耐性遺伝子の発現を調べてみると、ストレスが無く成長に適した環境では耐性遺伝子はほとんど発現していなかった。また、ストレスが与えられると強く誘導されることも明らかになった。このように、rd29AプロモーターとDREB1A遺伝子の組み合わせは、乾燥・塩・低温耐性植物の分子育種にきわめて有望であることが示された。

おわりに

植物は進化の過程で陸上化したときにこのような耐性機構を獲得したため、どの陸上植物も類似した耐性機構を持っていると考えられる。乾燥応答性のシス因子であるDREは私たちがこれまで実験に用いてきたシロイヌナズナのみでなく、タバコや小麦やトウモロコシ等の遺伝子にも存在して同様の働きをしていることが示されている。現在、私たちはrd29AプロモーターやDREB1A遺伝子をタバコに導入して耐性植物の作出に成功している。さらに、乾燥、塩、低温に強いイネやマメ等の主要作物のほか、樹木にも応用出来ると考え研究を進めている。また、私たちが用いている遺伝子は本来植物が持っている遺伝子であり、ストレス時にのみ働きを示す様に調節していることから、遺伝子組換え食物の安全性も高い。今後は種々の作物に応用され、重要な技術とし発展することが期待される。こうした研究が人類の食料問題を解決し、地球環境の修復のために役立つことを願っている。

文献

1) Shinozaki,K.,Yamaguchi-Shinozaki,K.:Plant Physiol.,115,327-334 (1997)
2) Yamaguchi-Shinozaki,K.,Shinozaki,K.:Plant Cell 6,251-264 (1994)
3) Liu,Q.,Kasuga,M.,Sakuma,Y.,Abe,H.,Miura,S.,Yamaguchi-Shinozaki,K.,Shinozaki,K.:PlantCell,10,1391-1406 (1998)
4) Kasuga,M.,Liu,Q.,Miura,S.,Yamaguchi-Shinozaki,K.,Shinozaki,K.:Nature Biotechnology,17,287-291 (1999)

章末カラーグラビア

図2　耐乾燥性、耐塩性、耐冷性をそなえた遺伝子組み替え植物

4）カンキツグリーニング病の病原体の遺伝子診断技術の開発

中島一雄

アジア、アフリカの熱帯・亜熱帯地域においては、カンキツ類にグリーニング病と呼ばれる病害が大発生しており、農業上にもカンキツ類遺伝資源保存上にも大きな問題になっている。この病気にかかった柑橘樹はわい化し、葉の黄化、枝の枯死が起こり、ついには木も枯れてしまう（図1）。

最も特徴的な症状は、亜鉛欠乏に似た葉の斑紋であるが、カンキツの種類、あるは樹木の状態によっては必ずしも明瞭ではなく、肉眼での診断は困難であることが多い。本病の病原体（Greening organism:GO;*Liberobacter* sp.）は植物の篩部に局在するバクテリアであり、アフリカではキジラミ、アジアではミカンキジラミと呼ばれる昆虫により媒介されることが明らかになっている。本微生物を人工培養することはできないため、その微生物学的あるいは遺伝学的性状はよくわかっていない。また、有効な検出法や防除法も無い状況である。

本研究ではグリーニング病の有効な防除のために、GOの簡易遺伝子診断法を開発することを目的として行われた。そして、GOのリボゾーム RNA 遺伝子（rDNA）の簡易検出技術を開発し、本法によるカンキツ葉の症状と GO DNA 量の関係を検討して、カンキツ葉から効率的に GO の DNA を検出する技術を確立することに成功した。さらに、媒介昆虫1匹からの GO 検出にも成功した。また、タイとネパールで発生している主な GO 株について 16S rDNA および 16S-23S rDNA スペーサー領域の塩基配列を解析し、GO の遺伝学的性状についても明らかにした。

まず、Jagoueix ら（Int.J.Syst.Bacteriol.44,379-386）が開発したニチニチソウからの GO 16S rDNA 検出法を改良し、カンキツの葉1枚から GO の 16S rDNA あるいは 16S-23S rDNA スペーサー領域を4.5時間以内に検出する方法を開発した（図2）。

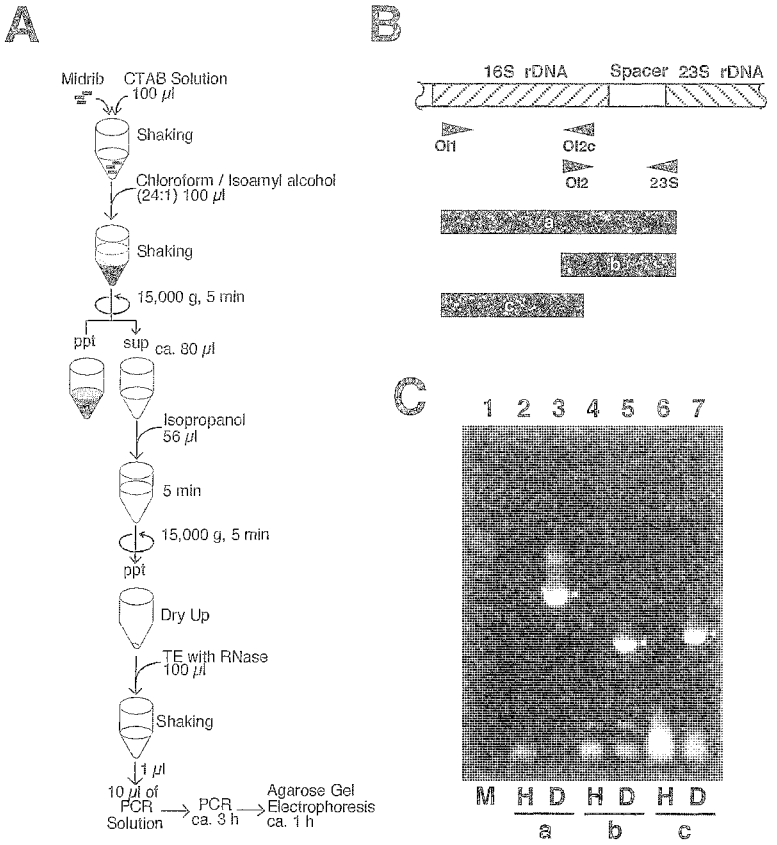


図2　グリーニング病の病原体（GO）のDNAの検出。（A）GOのDNA検出法の流れ。全行程が4時間半以内に終わる。（B）GOの16S rDNAと16S-23Sスペーサー領域（Spacer）の位置、DNA検出に用いたプライマーの位置、および増幅されたDNAの関係。プライマーOI1と23Sを用いると16S rDNAと16S-23Sスペーサー領域を含む断片（a）が増幅され、プライマーOI2と23Sを用いると16S-23Sスペーサー領域を含む断片（b）が増幅され、プライマーOI1とOI2cを用いると16S rDNA断片（c）が増幅される。（C）増幅されたGO DNAの電気泳動像。レーン1: 分子量マーカー。レーン2,3:DNA断片aの検出。レーン4,5:DNA断片bの検出。レーン6,7:DNA断片cの検出。レーン2,4,6: 健全カンキツ葉からの検出。レーン3,5,7: 健全カンキツ葉からの検出。

すなわち、カンキツの葉から主脈を切り出してCTAB溶液につけた後クロロフォルムで処理する。この溶液を遠心後、上澄みをイソプロパノールで処理して全DNAを沈殿させる。これをTE溶液に溶かす。その後、GO特異的プライマーを用いたPCR（Polymerase Chain Reaction）法によりGOのDNA断片を増幅させる。その後、電気泳動により特異的に増幅されたGOのDNA断片を分離し、UV照射によりDNAを検出するというものである。この方法を用いると、症状がクリアーでない葉からもGOのDNAを検出することが可能である。そして、健全な植物組織からはこれらのDNAは全く増幅されない。よって、この方法は、GOの簡易的かつ確実な検出のために有効な方法であると考えられた。

次に、どのような葉を検出に供試すべきか明らかにするため、症状とGO DNAの検出率との関係を調べた。すなわち、タイのナンにおいて、タイのマンダリンの主要品種であるソムケオワン20本から症状別に合計115枚の葉を採集した。ソムケオワンでは、退緑斑紋（I）、葉脈が網目状に残る退緑黄化（II）、主脈が緑色に残る退緑化（III）、若葉の軽い退緑斑紋（IV）、葉脈黄化（V）、葉脈のコルク化（VI）といった症状が確認された。そして、開発した方法で増幅されたGOの16S rDNA量をスコアー化して、各葉のGO DNA量を推定した結果、I、II、III、V、VIを呈した葉からは高率で多量のGO DNAが検出され、ソムケオワンからのGO検出には、上記のような症状を呈した葉を供試すればよいことが示唆された。また、ネパールのマンダリンの主要品種であるスンタラにおけるカンキツグリーニング病の症状には前記I～VIに加え、黄色斑紋（VII）がある。野外において採集した、I～VIIの症状を呈する葉からGOのrDNAを検出したところ、III、V、VIからの検出量が多かった。よって、これらの症状のの葉は本病のDNA診断に適していると考えられた。また、いずれの症状の葉からも病原体rDNAが検出されたことから、これら7種の病徴のうちの複数を同一樹上に観察することにより肉眼診断の正確度が高まると思われた。

さらに媒介昆虫からの検出を検討した。すなわち、GOの媒介昆虫であるミカンキジラミをGOが感染したカンキツ園付近で採集した。コントロールとして、健全ミカンキジラミはタイ農業局で維持していたものを供試した。そして、開発した方法によりGOの検出を試みたところ、GOが感染したカンキツ園で採集したミカンキジラミ1匹ずつから、GOのDNAを検出することができた。採集した30匹中25匹が陽性だった。健全なミカンキジラミからは、GO特異的DNAは全く増幅されなかった。よって、本方法は、グリーニング病制御のために不可欠な、媒介昆虫の保毒虫率把握のために有効であると思われる。

ところで、GOの媒介昆虫であるミカンキジラミはゲッキツを好むことから、ゲッキツはGOの中間宿主である可能性があると考えられていた。しかし、GOが感染したカンキツ園付近で採集したグリーニング病様症状のゲッキツからは全くGO DNAが検出されなかったことから、ゲッキツが中間宿主である可能性は低いと思われ、ゲッキツの駆除は本病の防除に効果がないことが示唆された。

最後に、開発されたGO 16S rDNAおよび16S-23S rDNAスペーサー領域増幅法を用いて、GOの遺伝学的多様性について検討した。すなわち、タイのナンで採集した株2株、ヤラ、ペチャブン、フィチット、ランジット、ナコンパソムで採集した株各1株、ネパールのカ

トマンズ、ゴルカ、ポカラで採集した株各 1 株、合計 10 株について、開発した方法で増幅した GO 16S DNA のダイレクトシーケンシングによりGO 16S rDNA 断片 1167bp の塩基配列を決定したところ、全く同じ配列であった。これらの株の配列はインド株の配列と 98.8%、アフリカ株の配列と 97.5% の相同性を示した。さらに、タイのナコンパソム、ネパールのカトマンズ、ゴルカで採集した株各 1 株、合計 3 株について、開発した方法で増幅した 16S-23S rDNAスペーサー領域のダイレクトシーケンシングにより、各 GO の 16S-23S rDNA スペーサー領域 598bp の塩基配列を決定したところ、これらの配列も全く同じであった。これらの株の配列はインド株の配列と 99.2%、アフリカ株の配列と 69.6% の相同性を示した。以上の結果から、東アジア、東南アジア、および南アジアで発生しているGOは系統発生的に非常に近いことが示唆された。

開発されたGO遺伝子診断法を用いることにより、グリーニング病の簡易的かつ確実な診断が可能になった。本法を用いることにより、GO感染樹の早期発見、除去を通した発生源の駆逐が確実にできるようになった。また、媒介昆虫からの検出も容易になったので、媒介昆虫の定期的保毒率調査を通じて、有効な殺虫剤散布が可能になった。また、GO の遺伝子の解析を通じて、遺伝学的性状や遺伝学的関係を調べることも可能になった。今後は GO の遺伝子解析を通じて、GOの性状を明らかにしていく一方で、開発した遺伝子診断法を用いて、グリーニング病抵抗性素材の探索、あるいは開発に関する研究を進める必要がある。

章末カラーグラビア

図１　マンダリンのソムケオワンにおけるクリーニング病の典型的の症状（撮影地：タイ、ナン）

(3) 環境資源部

1) タイ畑土壌における有機物長期連用試験

鈴木正昭（現：沖縄支所）

英国では1843年から1856年にかけて施肥に関する圃場試験がロザムステッド農業試験場で開始され、それが継続され150年を経て今日に至っている。米国でもいくつかの長期試験があるが、イリノイ州では1876年以来120年以上継続されているものもある。我が国でも各地の水田、畑圃場で大正末から昭和初期にかけて、三要素や有機物に関する長期連用試験が開始され、74年間継続している農業研究センターでの例を筆頭に60年を越えるものも多い。1990年に京都で開催された第14回国際土壌化学会議ではナイジェリア、ポーランド、中国の例も紹介されている。長期連用試験は、土壌の生産力はどのように変化するのか、また、それを維持、向上させるにはどうすればよいのかなどの素朴で重要な疑問に答えるために行われてきた。近年は、物質の循環や環境の保全といった観点からも長期連用試験圃場が果たす役割は重要と考えられる。

タイ国における有機物長期連用試験

国際農林水産業研究センターの前身熱帯農業研究センターはプロジェクト研究「熱帯畑作の開発に関する研究（1975-1979）」の一課題として、タイ国で「熱帯畑土壌の肥沃度に関する研究」を行った。1976年五十嵐らはタイ国ロッブリー県のプラプタバ農業試験場（赤褐色ラテライト性土；アルティソル）でトウモロコシの生産に及ぼす化学肥料、有機物施用の影響などを知るために、稲わらマルチや都市コンポスト鋤込の圃場試験を開始した。試験区はその後、クロタラリア、ミモザなどの熱帯マメ科緑肥作物を導入するなど、若干の変更が加えられたが、その後も、試験は継続され、タイ農業局土壌科学部の研究員とともに、久保田、井上、仲谷、渡辺（光）、上野、藤本、鈴木らが20年余の長期に亘って、収量、土壌の理化学的特性などのデータを蓄積してきた。熱帯モンスーン地域での数少ない長期試験と成りつつある。

1) トウモロコシ収量の推移

窒素、りん酸、加里の三要素を化学肥料で施肥すると、無施肥の場合に比し増収は明瞭である。しかし、降水量と降水分布の影響を受け収量の年次間変異は極めて大きい。これは雨季の降水分布が一様でないため、生育期間中の小乾期に干ばつの被害を受けることに起因する。ヘクタール当たり4トンの稲わらでマルチをし、施肥をすると収量は高い水準で安定した。稲わらマルチ処理は、降雨の土壌中への浸透促進と地表からの蒸散の抑制、表土流出防止などにより、トウモロコシの安定生産に極めて有効であることが判明した（久保田、仲谷、上野ら）。稲わらの入手ができない場合には手近なイネ科雑草でも効果は同じであった（井上ら）。都市の生ゴミから生産されるシティーコンポストは開始から13年間、20t/ha、1989年から1995年までは6.3t/haを施用したが、20年間以後は入手できなくなり、無施用として残効をみた。コンポストの施用は化学肥料無施用でも増収をもたらし、微量要素を含む養分供給効果があった（渡辺、藤本ら）。1981年からクロタラリア、ミモザ、ライスビーンなどのマメ科作物が混作ないし後作として導入された。これらは主に緑肥として、地力増進に役立つことが判明した（図1）。熱帯の長期間の収量の維持・増進には有機物の還元と施肥が有効である。また、土壌水分をいかに有効に使うかがきわめて大切な技術である。

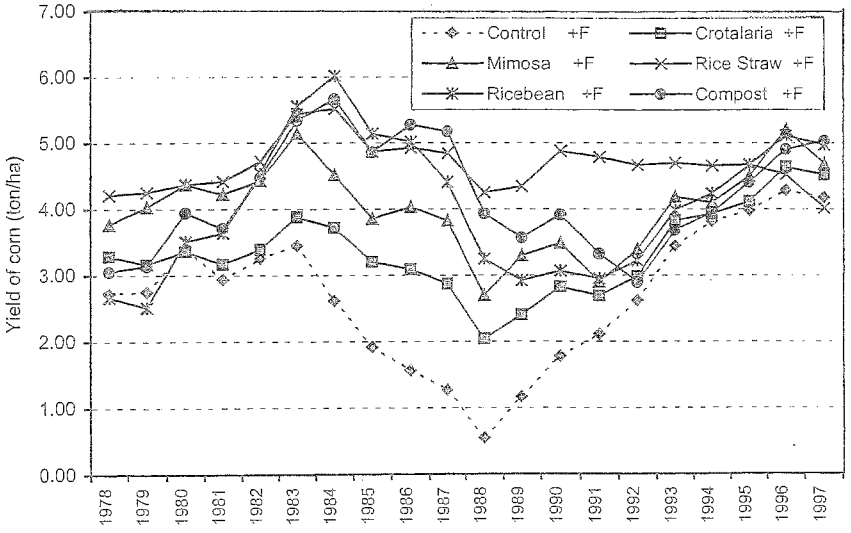
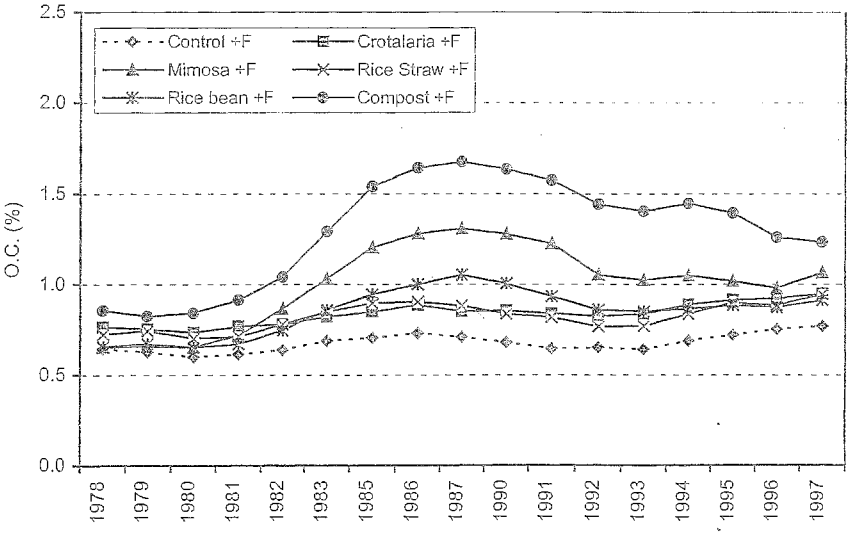


図1　有機物長期連用試験におけるトウモロコシ収量の推移（5年間の移動平均）

2）土壌の理化学性に及ぼす影響

有機物は収穫残査を還元するとともに、稲わら、コンポスト、緑肥などの形で施用されたが、土壌の炭素含量は24年間で徐々に増加する事が明らかとなった（図2）。この事実は有機物の分解速度が速い熱帯の畑土壌条件下でも、作物残査や緑肥等有機物の還元を効果的かつ持続的に行えば、表土の流出は軽減され、土壌腐植含量が増加し、地力の維持・増進が可能であることを示したものであり、熱帯での土壌管理上極めて重要な知見である。圃場外から有機物を持ち込んだ、稲わらとコンポストの場合には、含有量によって異なるが、特に後者では窒素、リン酸、加里などの他に、銅、亜鉛などの微量要素の集積もある。

1983年の土壌物理性を14年後の1997年と比較すると、固相率がコンポストの連用で減少したものの、他の有機物では変化がないか、やや増加した。緑肥を含む有機物施用で耐水性団粒の増加など物理性の改善がもたらされ、土壌の保水力も増大した。



1976 OC = 0.64%, 1976-1988 compost 20 ton/ha, 1989 Lime 3.15 ton/ha,
1989-1995 compost 6.3 ton/ha, 1996 - no compost.

図2　有機物長期連用試験における作土の炭素含量の変化（5年間の移動平均）

2）南米サバンナにおける陸稲の酸性土壌耐性メカニズムの解明

岡田謙介（現：海外情報部）

南米大陸には約2億4,000万haの亜湿潤熱帯サバンナがあり、そのうち2億haがブラジルのセラード、1,200万および1,000万haがそれぞれコロンビアとベネズエラのジャノスに相当する。これらのサバンナの土壌は、長年の風化と多雨によって塩基類と一部のケイ酸が溶脱してできたオキシソルやアルティソル等の「塩基溶脱土壌」である。十分な降雨と温暖な気候に恵まれているものの，その土壌酸性と低肥沃度性のゆえに，これまでは天然サバンナ草地による極端に粗放な放牧に用いられるのみであった。

しかし近年になって、ここに陸稲・草地作付体系が開発・導入され，持続的な作付体系として広く採用され、効果を上げつつある。

この作付体系には酸性土壌耐性を持つ陸稲が必須である。イネは一般に酸性土壌耐性が強い作物であるが、それでも耐性に大きな品種間差があり、その生理的機構についての理解はあまり進んでいない。そこで耐性および感受性の品種を用いて陸稲の酸性土壌耐性の生理的な機構を明らかにし，効率の良いスクリーニング法を開発するための基礎知見とすることとし、南米コロンビアにある国際熱帯農業センター（CIAT）のイネプログラムにおいて試験を開始した。

主な研究成果は以下のとおりである。

1）土壌酸性矯正用の炭カル（炭酸カルシウム）施用試験を、ジャノスと呼ばれるコロンビア東部平原の典型的な酸性土壌地帯の圃場で行った。300 kg ha^{-1} 以下の低施用領域においてのみ，耐性品種群は感受性品種群よりも高い収量を示した。すなわち、両品種群の耐性の差が、炭カル多量施用領域（酸性矯正領域）ではなく、少量施用領域（Ca供給領域）においてのみ発現することが確認された。

2）次に、陸稲作付期間中における、土壌および土壌溶液の化学性の変化を上記圃場において調査した。作付前の土壌pH（1:1水）は表層土、下層土ともに4.5～4.9程度であったが、作付中期のしかも表層土においてのみpHが4.3程度にまで低下し、土壌溶液中のアルミニウム濃度が100μMまで上昇することが分かった（図1）。

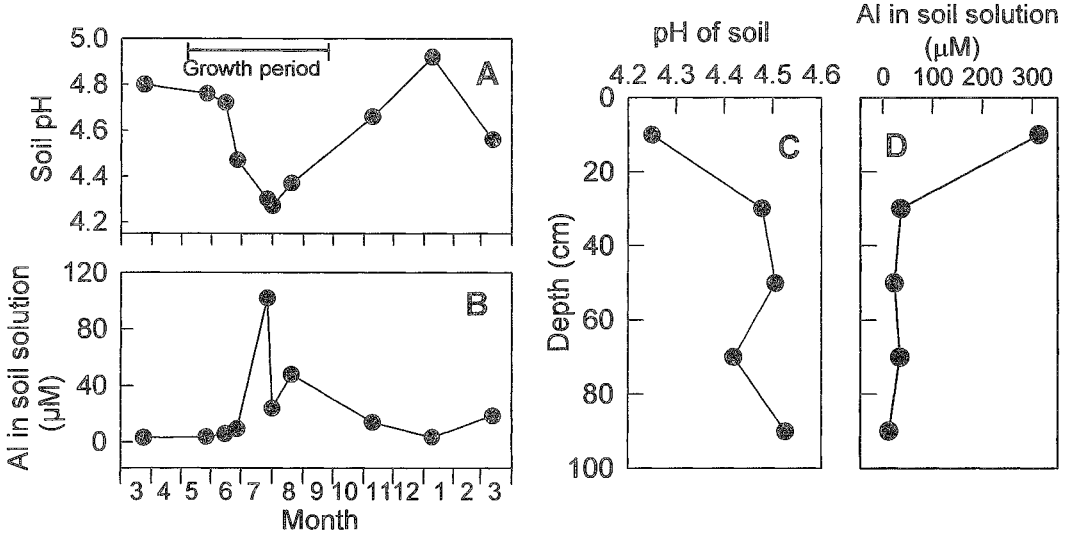


図1　表層土壌における土壌pH（A）と土壌溶液中のAl濃度（B）の時間的変化；および生育中期における土壌pH（C）と土壌溶液中のAl濃度（D）の深度別分布。サバンナの陸稲圃場において（1995年、コロンビア）

この局時・局所的な酸性化は、農家の慣行施肥法において、塩化カリウムと尿素を数回に分けて分施するために、表層土壌溶液中の塩濃度が高まり、また硝化作用が進行するためであることが、ポット試験から明らかになった。しかし圃場において根の継続的サンプリングと根長測定を行ったところ、土壌の酸性化がもっとも著しかった時期においても、高アルミニウム害の典型的な症状として知られている根の伸張阻害は起きていないことが分かった。

3) ジャノスの2カ所の圃場における4年間にわたる試験結果から、感受性品種の生育阻害程度と土壌酸性指標との関係を調べた。その結果、感受性品種の収量低減は、土壌pH、交換性アルミニウム、アルミニウム飽和度のいずれの土壌酸性指標とも相関を示さず、交換性カルシウムとのみ有意な相関を示した（図2）。このことは、ジャノス土壌における陸稲の酸性土壌耐性の品種間差が、高アルミニウム耐性にではなく、低カルシウム耐性にあることを示している。陸稲の酸性土壌耐性の品種間差が高アルミニウム（Al）耐性にあるとする通念はこれまでも何度か疑問視されてきたが、今回の試験によって初めてデータをもってこれが裏付けられたといえよう。

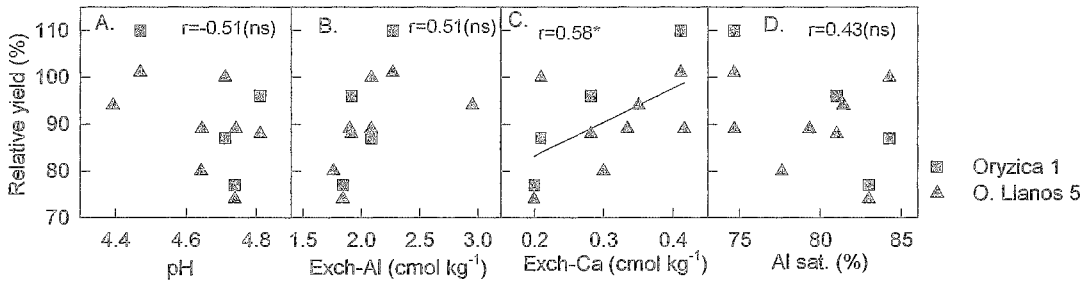


図2　サバンナ酸性土壌における、酸性土壌感受性の陸稲2品種の相対収量（酸性土壌ストレスのない場合に比較して）と、各種の土壌酸性土指標との関係（1993～1996年、コロンビア）。

4) 酸性土壌耐性の品種間差について、上記圃場試験の結果を踏まえて検討を行った。文献等からイネの根は有機酸をあまり分泌していないことが分かっていたので、細胞壁の役割をカルシウムとアルミニウムに絞って検討した。一般的にアルミニウム害として知られている根長の生育阻害は、根端の伸張域において細胞の伸張が抑制されることによる。細胞の伸張には細胞壁中にあるカルシウムが重要な役割を果たしている。試験の結果から、根周囲のアルミニウム濃度が高まった場合、感受性品種においては根表面のカルシウム量が激減することが明らかになった。耐性品種においては根表面のカルシウム量は初めから少なく、根周辺のアルミニウム濃度の上昇によっても影響を受けなかった。これらの置換反応には根の陽イオン交換能力よりも根細胞壁のキレート作用の関与が大きく、キレート作用によるカルシウムとアルミニウムの相対的な保持能力の差が、酸性土壌耐性に関わっていることが示唆された。

本研究の成果である、陸稲の酸性土壌耐性がアルミニウムにではなくカルシウムと関係しているという知見は、CIATのイネプログラムにおける耐性系統選抜の手法改良に貢献した。また酸性土壌耐性における細胞壁のキレート作用に関する知見は、陸稲と同様に比較的酸性土壌耐性の強いトウモロコシ、ソルガム、ダイズ等の作物の酸性土壌耐性メカニズム解明の参考となる。

3) ニューラルネットワークを用いた植生変動評価手法の開発

山本　由紀代

砂漠化を含む土地劣化現象は、今日の主要な環境問題のひとつであり、その発生に関しては、気候的な要因に加えて、地形や土地利用など、多様な要因が密接に関与している。

そこで、こうした土地劣化現象の実態を把握するための有力な情報源である衛星データおよび各種地理的情報を活用し、オーストラリア中央部の砂漠化地域を対象として、砂漠化の主たる指標としての植生損失の実態を、経年的な変動状況から評価するモデル開発を行った。

対象地域内の植生がどの程度、安定的な状態にあるかを評価するためには、植生の豊富さとともに年次的・季節的な変動の程度を知る必要があると考えられる。本研究では、1988 年 2 月・6 月、1994 年 12 月、1995 年 3 月に観測されたLANDSAT/TMデータから算出した本地域特有の植生指数 PD54[1] を指標として、観測期間を通じた恒常的な植生量とデータ間での変動量を判定した。これらの判定は、まず各時期の PD54 データについて、各階級の分布率が等しくなるよう、10 クラスに区分した階級化画像を作成し、その総和ならびに差の絶対量を再区分することによって行った。この結果より、対象地の東部は全般に植生が豊富であるもののデータ間での変動が認められ、西部から南部にかけては恒常的に低植生である状況が示された。

次に、こうした植生の現況と地理的要因との関連を明らかにするため、ニューラルネットワークによるモデル化を試みた。ニューラルネットワークは、人間の神経細胞が刺激に対してある種の反応を導く伝達作用を模式化した一種の人工知能の概念である。もっとも基本的なニューラルネットワークは、入力層、中間層、出力層から構成される階層型のもので、入力層が刺激すなわち「要因」に、出力層が反応すなわち「事象（結果）」に相当する。ニューラルネットワークの構築とは、「要因」と「事象」の組み合わせとして与えられる複数組のデータセット（教師データ）が示す組み合わせのパターンをもっとも合理的に対応づける数学的なパラメータを決定する作業である。中間層はこのための調整弁の役割を果たす仮定的なものである。

本研究ではバックプロパゲーション法を採用した階層型ニューラルネットワーク構築用プログラム「NEURO92」[2] を利用した。本プログラムは、要因とそれから導かれる事象を入力層と出力層のデータに見立て、与えられたデータセットの組み合わせを繰り返し、学習しながら、係数を調整することによって、推定誤差を減少させてゆく。係数の調整はプログラムによって自動的に行われるが、モデルの適合性は、ニューラルネットワークの構造すなわち中間層のユニット数に大きく影響されるため、最適なモデルを選定するには、中間層のユニット数を変えながら学習を行い、それぞれの判別精度を比較する必要がある。

本研究では、土壌・水系・植生・地貌・傾斜・水飲み場からの距離・稜線からの距離の 7 要因を入力層、前述の PD54 から判定した植生の豊富さならびに変動の程度をそれぞれ出力層とする2種類のニューラルネットワークモデルを作成した。これらの地図情報からランダムに 217 地点のデータを抽出し、NEURO92 による学習に供した。

図 1 は、中間層のユニット数を変えながら教師データをそれぞれ 10,000 回学習した結果を示したものである。ある程度までは、ユニット数の増加に伴い、推定誤差が減少する傾向が認められたが、10 ユニットを超える場合には、精度向上の効果は失われた。教師データに対してもっとも良く適合した構造は、中間層に 8 ユニットを有するもので、植生の豊富さおよび変動の程度を出力層とする両モデルとも、70%を超える判別精度を得た。さらに、作成したモデルにおける要因の重要度を調べるため、それぞれの要因を除いた場合の判別精度を比較したところ、両モデルとも「水飲み場からの距離」および「土壌」要因の寄与が高く、モデルの精度を維持する上で、これらが重要な因子であることが示された。

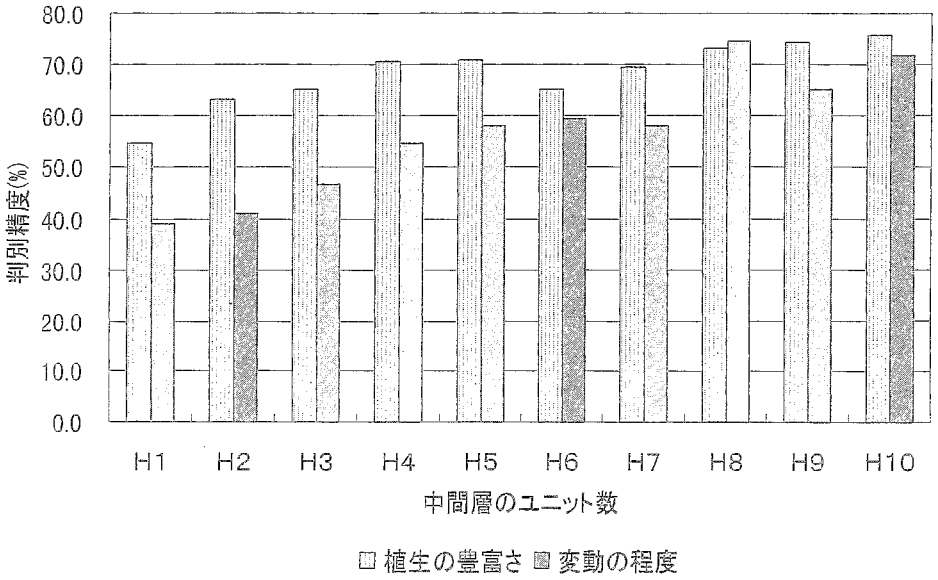


図1　中間層のユニット数を変更した場合の学習効果

図2は、中間層に8ユニットを有するモデルの係数を GIS における演算式に置き換え、入力層に充てた7種類の地図情報を用いた地図演算を行い、対象地域の植生現況を面的に推定・評価した結果である。これによると、対象地の西部は比較的、安定した永年生の植生域が優占するのに対して、東部には変動域が多く分布した。南部には侵食地も認められることから、本対象地域では、東部から南部にかけて、植生が変動しやすい状況にあることが推察された。1998年2月および11月に行った現地調査では対象地の北部から西部にかけてはマルガを中心とする灌木林が、東部には一年生の短草型植生が優占しており、南部に大規模な土壌侵食域を確認した。これらの現況は、ニューラルネットワークを用いた評価結果に概ね適合している。なお、短草型植生は、灌木林に比べて年間および季節間の植被変化が大きいことから、本手法では変動域として評価されたと推察される。一般に、こうした領域は、灌木林を主体とする安定的な永年生植生域に比べて、植生による土壌保持能力が弱いため、適切な放牧圧の維持や禁牧区の設営など、土壌侵食を回避する土地利用上での方策が必要であると考えられる。

また、ニューラルネットワークを利用した土地評価モデルでは、質的データと量的データを統合的に取り扱える上に、モデルが一定の評価式として表現されるため、容易に、GIS 上での地図演算式として展開できる利点がある。パラメータが自己調節されるため、適切な教師データを準備した後は、学習によって自動的にパラメータを決定できる。反面、教師データに基づく合目的的な調整が行われるとともに、中間層のユニット数によって精度の向上を図るため、ブラックボックス的なモデルとなり、パラメータから各要因の重要度を判断することは困難となる。このような特性を理解し、適切な教師データが得られる場合には、ニューラルネットワークは GIS における各種の評価モデル構築手法として有用であるといえよう。

1)　オーストラリア連邦科学産業研究機構・乾燥地研究センターにおいて開発・提供。

2)　農林水産省草地試験場において開発・提供。

章末カラーグラビア

図2　ニューラルネットワークモデルによる植生現況評価

4）中国乾燥地の新疆における気象・土壌・植生に関する研究

真木太一（現：愛媛大学農学部）

本研究は、「乾燥地の水動態・土壌特性の解明」プロジェクト（昭和63年度～平成3年度）として第Ⅰ期は1990年3月～1993年3月に中国で、また「乾燥農業限界地域の環境改善による持続的農業技術の確立」プロジェクト（平成4年度～9年度）として第Ⅱ期は1993年4月～1998年3月に、中国で実施された。日中共同研究の第Ⅰ期は研究課題「環境資源」として熱帯農業研究センターと中国科学院新疆生物土壌沙漠研究所、第Ⅱ期は研究課題「環境保全」として熱帯農業研究センター（10月より国際農林水産業研究センター）と同新疆生物土壌沙漠研究所（現：新疆生態与地理研究所）で行われた。

本研究の経過を記述すると、最初に共同研究場所の選定に当たり、エジプトと中国で調査を行ったが、中国は地理的に比較的近く、気象・土壌データも比較的整っていること、沙漠のない我が国の研究者にとってはまず沙漠に関する情報収集が不可欠であったこと、および気象測器・土壌関連機器の物理的協力の他に知的・技術的・人的協力も重要な判断要素となり、共同研究が実施されることとなった。ただし、1989年6月に調印の予定が天安門事件のため延期となり、1990年3月に正式に調印が行われて研究がスタートした。また、第Ⅱ期は1993年10月に国際農林水産業研究センターによって調印（郵送）された。

第Ⅰ期の研究では主要な関係者としては、真木太一、中井信（長期：3ヶ年滞在）、林陽生および中国ではカウンターパートなどとしては潘 伯榮、趙　貴海、夏　訓誠、閻　国榮、朱　衛東が関与した。また第Ⅱ期では真木太一、鮫島良次（長期：2ヶ年滞在）、大場和彦、小沢　聖、黒瀬義孝、城岡竜一および中国ではカウンターパートなどとしては唐　立松、李　述剛、尹　林克が主として関与した。

本研究は気候、水、植物資源、防風林・防風施設による防風・風食防止、気候改良、乾燥地の土壌特性や塩類集積の解明、オアシスと沙漠の環境評価、風食・沙漠化防止、野菜導入の可能性の評価など種々の研究が実施され、一定の成果をおさめた。なお、本研究は1998年3月に中国との共同研究は中国農業科学院に集中させることとして終了した。

第Ⅰ期の終了に当たって報告会は1993年3月4日に科学技術庁研究交流センターで開催され、当時、科学技術庁の「砂漠化機構」による中国の研究者の参加も加わって行われた。なお、発表題数は20題であり、それらを収録した日中共同研究成果発表報告会論文集（「環境資源」プロジェクト研究推進会議成果発表会論文集）（pp.164）が発行された。また第Ⅱ期の終了に当たって報告会は1998年3月20日に国際農林水産業研究センターで開催された。発表題数は27題であり、その内26題を収録した日中共同研究「環境保全」成果発表会論文集「乾燥農業限界地域の環境改善による持続的農業技術の確立」（pp.200）が発行された。これらは国内および中国などの沙漠研究関係者に配布され好評であった。

主要成果（成果情報）は平成2年度「防風施設による乾燥地の風食防止と気象改良効果」（真木太一・潘　伯榮・中井　信）：平成5年度：「乾燥地土壌の生成機構と特性の解明」（中井　信・趙　貴海）、平成6年度：「乾燥地における複数列の混交防風林による微気象改善と作物」（真木太一・鮫島良次・杜　明遠）などであり、その他農業研究センター、農業環境技術研究所などで10編程度の成果情報となった。

なお、本プロジェクトの関連論文・報文は200編に達するものであり、乾燥地に関する中国との共同研究において多く情報源となるとともに、また逆に乾燥地・沙漠に関する情報収集に当たっては国際的関係が密接になり、非常に有益であった。

書籍としては、『砂漠の中のシルクロード－悠久の自然と歴史』（真木太一・真木みどり）新日本出版社：1992、『砂漠緑化の最前線－調査・研究・技術』（真木太一・中井　信・高畑　滋・北村義信・遠山柾雄）新日本出版社：1993、『中国の砂漠化・緑化と食料危機』（真木

太一）信山社：1996、『緑の沙漠を夢見て』（真木太一）メディアファクトリー：1998 などであり、その他、共著者としての書籍の出版も幾つかある。

研究トピックスとして、防風林による微気候改良効果と砂丘移動状況について報告する。

1）防風林による気象改良

白楡・沙棗・胡楊の混交防風林で構成されている第1～4林防風林の高度（H）は8.0m、林帯幅は12m、密閉度は70%であり、第2林の風下側には高さ1.0mのクコがある。図1に防風林による各気象要素の変化を示す。

相対風速（Ur）は第1林（1列目の防風林）で39%に減少し、第2林（2列目の防風林）では33%で第1林より小さい。風速の回復程度も第1林で82%、第2林で63%で、減風効果の加算が認められる。地表面温度（Ts）は日射によって第1林風上直下で昇温し、防風林内からの防風林の風下直下では日陰のため降温している。2H（nHは防風林の高度Hの倍数で表した距離（高倍距離）で、－は風上側、＋は風下側を表す）では昇温が大きいが、圃場内では作物による日陰と加湿のためやや低い。第2林の0Hと5Hでは温度差がある。相対湿度（RH）は第1林で2%、第2林で1%加湿し、第3林の前方で最も高くなっている。これは防風林と作物からの蒸散で湿度の加算があるためである。気温（Ta）は風が強く変化は小さいが、第1林で加湿による潜熱消費のため少し低下している。第2林の後方でも加湿するが、気温の上昇が非常に大きいため、気温は第1林と比較して約1℃高い。第3林の前方では加湿により降温し、複数列林による効果が出ている。第1～3林では絶対湿度と相対湿度の変化はほぼ同じである。

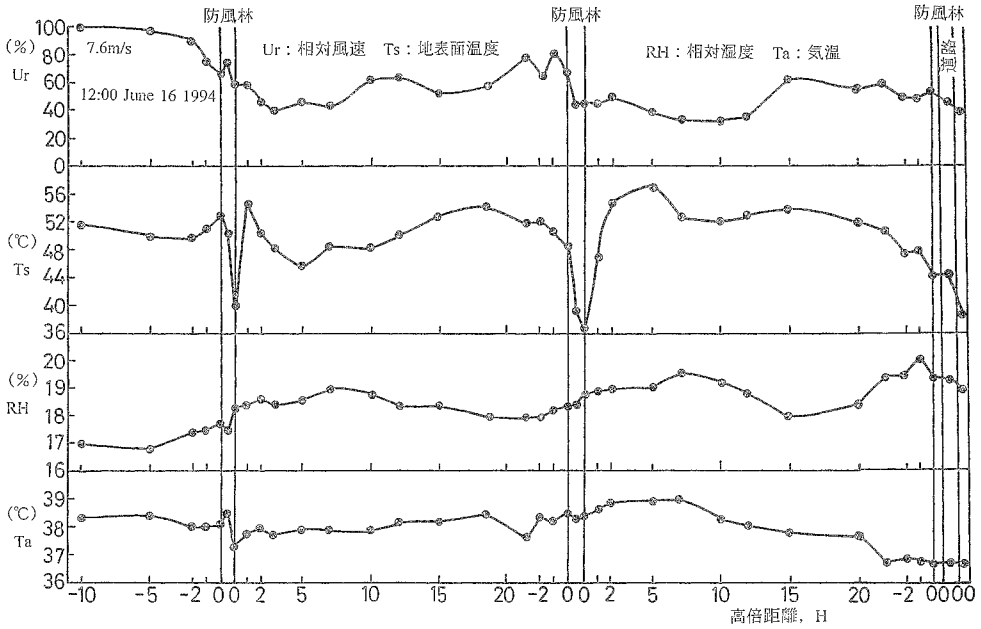


図1　中国トルファンにおける4列防風林による風速、気温、地表温、湿度の変化

2）砂丘の移動状況

中国の砂漠化状況調査の一環として砂丘の移動状況を調査した。タリム盆地のタクラマカン沙漠およびジュンガル盆地のグルバントングト沙漠における砂丘、砂地の風による移動方向、もしくは単に風向の変化状況を図2に示す。砂丘の移動方向はその地域での地上調査および人工衛星からの砂丘の写真から読みとった。特徴的な風向は、まず北部のジュンガル盆地では北西～西の風向であり、特に北部では北西風であり、ジュンガル盆地南部では天山山脈の北側で、その山脈の影響を受けて西寄りとなっている。また、天山山脈の東端を回って吹き込む風があり、北～北東風になっている特徴

がある。そしてトルファン付近では天山の谷地を越えて来た風によって西～北北西であるが、一部天山を越えた北東の風も見られる。タクラマカン沙漠では東部はほとんど北東風であるが、コンロン山脈沿いでは東北東風となっている。一方、西部では北西風であり、コンロン山脈沿いでは西北西風となっている。そして中央部のやや西部寄りでは北北西～北北東の風向となっており、特に民豊（Minfeng）付近では風向が収斂しており、従って砂丘が集まるようになっている。また、一般に砂丘は北寄りの風によって南側に押しやられ、コンロン山脈の北部では砂丘によって、特に道路などが砂に埋まることがよくあり、道路の着け換えが発生する被害が多い。

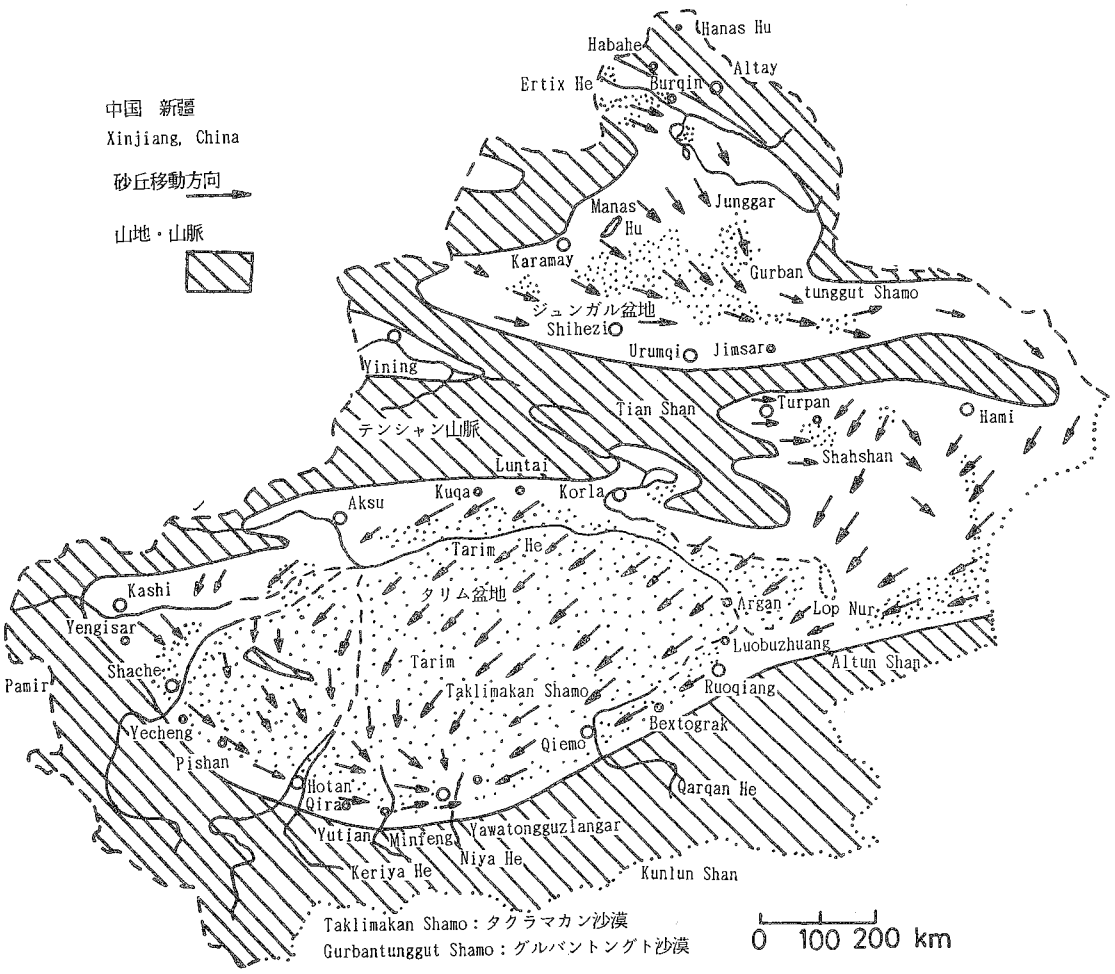


図２　中国新疆のタリム盆地・ジュンガル盆地における砂丘の移動方向と風向分布

5）衛星データによるインド・デカン高原中央部における農地利用度把握手法の開発

内田諭

熱帯半乾燥地域は、アジアからアフリカ、中南米にかけて広く分布するが、中でもアジアにおいては、インド・パキスタンを中心として10 億人に及ぶ人々が生活している。こうした地域では、豊富な日射量と作物の生育に十分な温度環境があり、水及び土壌の条件が整えば、高い生産性を持つと考えられる。しかしながら、現実には、肥沃度の低い土壌で天水に頼りながら雑穀・豆類等を栽培している地域がかなりの部分を占め、その生産性は不安定である。このような不安定な生産実態を的確に把握するためには、生産量の推移を見るだけでなく、作付域の分布とその変動を調べる必要がある。統計資料は、一般に行政単位などで集約された数値のみを示し、空間的分布あるいは立地条件との関係を具体的に表すものではない。そこで本研究では、衛星データを活用し、農地利用の実態を把握する手法について検討し、また、過去数年の推移について分析を行った。

本研究は、ICRISAT（国際半乾燥熱帯作物研究所）との共同研究として、筆者が平成7年3月から平成9年3月まで滞在し、実施したものである。ICRISAT のメインキャンパスは、インド・デカン高原中央部のハイデラバード近郊に位置しており、周辺では熱帯半乾燥条件下での天水畑が広く分布する。そこで、ICRISAT とその周辺を対象地域と選定し、衛星データを含む解析資料の収集及び現地観察を行った。衛星データとしては、IRS（インド・リモートセンシング衛星）による観測データを用いることとした。IRS に搭載された LISS- Ⅱセンサは、可視域3バンド、近赤外域1バンド、地上分解能36m の性能を持ち、22 日周期で回帰観測を行う。対象地域を観測した雲による被覆のない好条件データを検索したところ、1988 年の打ち上げ以降毎年1～2シーン利用可能なものが存在することが確認された。対象地域においては、インド半乾燥地帯の代表的土壌である Alfisols（赤色土）と Vertisols（黒色土）が存在するが、Alfisols 上では雨期に当たる6月から9月（カリーフ期）に作付され、Vertisols 上では雨期後（ラビー期）に作付されることが一般的である。収集された衛星データの大部分はラビー期に観測されたものであったため、本研究では、ラビー期における作付実態の経年変動を解析対象とした。

衛星データを用いた作付域抽出手法の1つとして、多バンド分光情報に基づき統計的に推定する、いわゆる教師付分類がある。ただし、この手法は分光反射特性が異なる集団毎に教師となるサンプルを適当に取る必要があるが、作付密度や生育状態にばらつきがあると考えられる場合には、この作業が容易でない可能性がある。そこで本研究では、土地利用毎の正規化植生指数（NDVI）の値に着目して、作付域の抽出を試みた。

対象地域における土地利用形態を類型化すると、作付された農地の他、林地・ブッシュ、野草地（休閑地を含む）、裸地、集落、水面等がある。これらのうち、裸地以下の類型において、正規化植生指数値は作物が生育状態にある農地に比べて明らかに低いと考えられる。そこで、農地、林地・ブッシュ、野草地、裸地の各々の項目に対し、正規化植生指数値を求めた結果を図1に示す。ここで、横軸は年度に関係なく10月1日を起点とする日数であり、ラビー期は11月初め（30日目）から2月終わり（150日目）頃に対応する。

図1より、①ラビー期の間を通じて農地の正規化植生指数値が他のいずれの項目よりも大きい点、②ラビー期後半に全ての項目において正規化植生指数値が減少傾向にあるが農地とその他を判別する線も直線的に低下している点、が読み取れる。①の点は、正規化植生指数が農地（作付域）判別のための有効な指標であることを表している。②の点は、ラビー期後半の時期において、作物の植生活動は極大を経過した後であり、自然植生域では乾燥が進み植生活動が低下していることが要因であると考えられるが、より重要な視点は、農地判別の閾値を一定とするのではなく、季節的に変化する関数値として設定しなくてはならないというこ

とである。本事例において、農地判別のための閾値は、直線で近似されることが確認された。

上記の手法を用い、1988/89 年から 1995/96 年に至るラビー期農地面積率を推定した結果を図 2 に示す。図 2 には、併せて播種期に相当する10月から12月の期間に記録された降水量が表されている。ここで、1991/92 年には適当なデータが存在しなかったため、農地面積率は推定されていない。

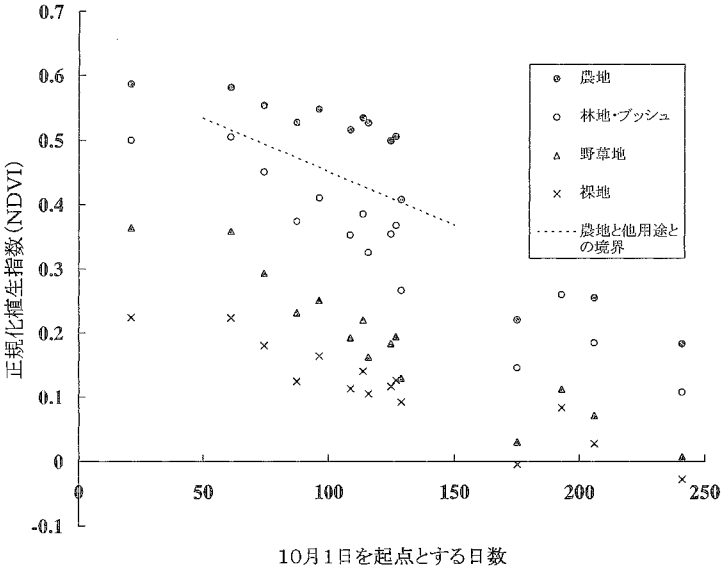


図 1　土地利用毎の正規化植生指数（ＮＤＶＩ）時間プロファイルと農地判別境界線

図 2 より、①農地面積率の年変動は大きく最大年と最小年とでは 2 倍程度の開きがある点、②播種期の降水量が十分にあることが作付域を増大させる要因となるが、降水量が多くなりすぎることも耕作上の問題となっている点、が読み取れる。これらの点は、熱帯半乾燥条件下での天水農業の不安定さを浮き彫りにするものである。一方、統計資料に見られる作付面積の推移には、その単位がより広域の行政区画である点を考慮したとしても、このような大きな変動は記録されていない。推定精度の検証に関する課題は残されているが、実態を知るという観点から、統計資料に頼ることの問題点を指摘できる。

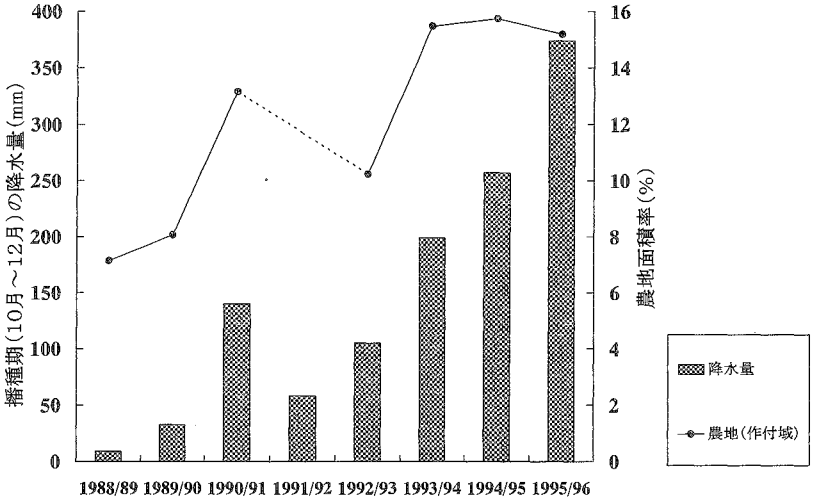


図 2　推定されたラビー期農地面積率と播種期降水量の経年変化

さらに、農地分布の変動状況を考察したところ、地形に基づく土壌条件が関係していることが見出された。ラビー期作は主として Vertisols 上で行われるが、Vertisols を衛星データから得られる分光情報によりさらに分類したところ、丘陵性地形の尾根状の部分で反射率が高く、谷状の部分で低くなっている。後者は前者に比べて有機物含量などの点で肥沃であると考えられるが、農地として利用される頻度を推定結果から見ると、後者が明らかに高くなっていた。また、最も頻度が高くなり、ほとんど休閑期間のない地域が、谷筋から少し入ったところであり、これらの周辺に降水条件の良い年に耕作されるであろう地域が分布する様子が、衛星データの解析により明らかにされた。

以上のように、熱帯半乾燥に位置し、天水農業を主とする地域を対象とした、農地の時間的・空間的変動状況を解析することが、衛星データの利用により可能となった。持続的な土地利用の在り方を考察する上で、土地利用の過去の履歴を立地条件との関係で調べることは必要な条件である。本研究の成果は、既存の統計資料からでは見出せなかったような、こうした情報の整備に寄与するものと考えられる。

6) 岩石・鉱物の変質過程と固体表面分析に関する研究

八田珠郎

地球表層条件下では，岩石・鉱物の風化・変質，土壌の生成が行われている。この現象に関する研究は，従来より先進国において盛んに行われている。開発途上国に調査で赴いたときには，ある研究所で，直ちにこの研究に関するセミナーが開かれた。また，JICA の研修においても，聴講生からさらなる鉱物の風化の解説を求められた。以前，我が国の地質学では，学生の野外実習の際に「ここは風化しているから次の露頭に行きましょう」という教育がなされ，土壌学では，我が国の食料生産等に関連する火山灰土壌と水田土壌のみが注目された。工学分野では風化といっても岩石や土壌の強度が重要視された。そのため，この現象のプロセス，メカニズムに関する研究は，我が国では軽視され，農業限界地に関連する環境と資源に関する固体変質の研究が遅延した。

開発途上国における問題点として，とくに熱帯乾燥地域における砂漠化があげられる。そこで，今後の変化を巨視的にとらえるため，化学平衡論を基礎とする地球化学的シミュレーションを行った。例として，かこう岩からラテライトへの変質を取り上げ，(1) 二次鉱物の生成過程，(2) 水質変化過程，(3) 風化断面における鉱物分帯及びこれに伴う物性変化が得られた（図 1)。また，熱帯乾燥地域の地表構成物質の生成において，最も重要な作用の一つである，熱膨張－熱収縮による物理的風化に関して，TMA を用いて実験を行った。

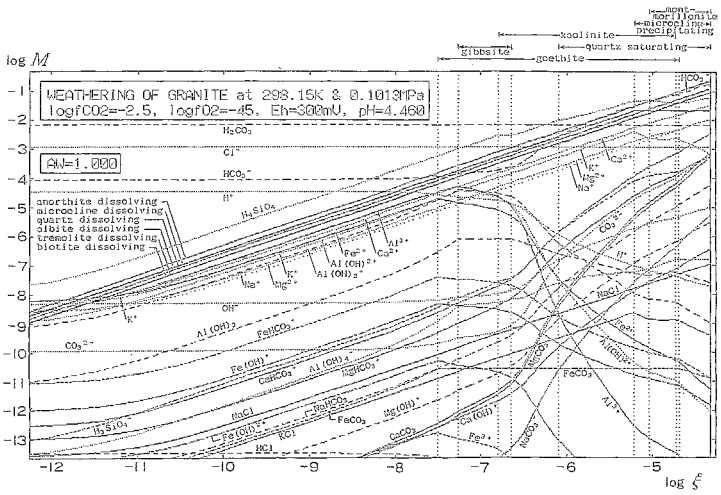


図 1　風化条件におけるかこう岩の反応進行度（ξ）にともなう水溶液（1000g）中の化学種（Mg）の変化と鉱物分帯.

その結果，新たに，(1) 岩石の熱膨張－熱収縮系列，(2) 各岩型の熱膨張－熱収縮特性における二様式の存在，(3) 間隙を考慮した岩石の物理的風化系列，(4) 石灰岩及び凝灰岩における特異な熱膨張－熱収縮特性，(5) 石英を多く含有する岩型の熱膨張－熱収縮係数は大きいこと等が得られた。以上より，熱帯乾燥地域の地表を構成する二次鉱物は，過去における多量もしくは長期間にわたる天然水の供給がなければ，形成されないことが理解された。したがって，現在の熱帯乾燥地域に存在する各種二次鉱物は，現在の気候条件下で形成されたとはいえない。また，熱帯乾燥地域における地表構成物質について，多くの教科書に述べられている「熱膨張係数の大きい（熱膨張率の高い）岩石は風化されやすい（破壊されやすい）」なる記述の誤認が判明した。

土壌の利用，改良等に関する農業生産環境の向上を求めるために，風化や土壌生成の研究は，きわめて重要であるが，同時に詳細な現象解析技術も必要である。例えば，化学反応の結果生じる，肥料の成分吸着における元素の存在状態の把握や，塩類の地表への上昇に伴う塩類土壌の改良，土壌表面における二次生成物の特異な存在状態の把握には，主体となる表面反応を理解せねばならない。こうした現象の分析には，高分解能 XPS や走査型プローブ顕微鏡が用いられる。表面化学組成や結合状態を，各元素の電子軌道状態から求めることができる高分解能 XPS のデータ（図 2）は，現在，海外や産学官における多くの研究者に提供されている。また，有機高分子化合物の構造決定，食品の状態分析，重金属の吸着状態等，広範囲の共同研究も行われている。本研究センターが，地域を対象とする研究のみならず，いくつかの先端的な研究内容を包含する中核となる必要があろう。

章末カラーグラビア

図 2　高分解能 XPS による鉄の化学シフトの例。

7）熱帯における水田からのメタン発生制御技術の開発

八木一行（加藤邦彦、村山重俊、鶴田治雄、陽捷行）

研究の背景

近年、大気中のメタン濃度が急激な割合で増加を続けていることが確認され、大きな注目を集めている。これまで、世界各地で行われてきた長期的な測定データは、大気中のメタン濃度が 1980 年代以降、全球的に 1 年間あたり 0.6-1% の割合で増加を続けてきたことを明らかにしている。さらに、極地の氷の中に閉じこめられていた過去の大気の分析結果は、メタン濃度が18世紀後半から増加をはじめ、今世紀に入ってその速度が急激に加速されてきたことを示している。このことは、大気メタンの増加と人間活動の拡大が密接な関係を持つことを示唆している。メタンは対流圏および成層圏で起こる光化学反応において重要な役割を果たすと同時に、強力な温室効果ガスとして知られている。したがって、大気中のメタン濃度の増加は大気の温室効果を増大し、近い将来に地球規模での気候変動を引き起こす可能性のあることが懸念されている。メタンの場合、1 分子あたりの赤外線吸収効率が二酸化炭素の数十倍強いので、低濃度であるにもかかわらず大気の温室効果の増大に大きな影響を与えており、温室効果ガスのなかでは二酸化炭素に次ぎ二番目に影響力の強いガスである。大気中のメタン濃度増加の原因は未だ十分明らかにされていない。しかし、大気中メタン濃度と人間活動の拡大との関係が示唆されることから、人為的なメタン発生・消失量の変動が重要視されている。現在のところ、近年の大気メタン濃度の変動は、おそらく、いくつかの人為的過程が複雑に合わさった結果であると考えられている。

大気メタンの発生源としては、さまざまな人為および自然発生源があげられているが、そのなかでも水田は最も重要な発生源のひとつである。すなわち、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の 1996 年の報告によると、世界の水田からの年間メタン発生量は約 60Tg（$Tg=10^{12}g$）であり、全発生源からの発生量の 11% 程度に相当することが示されている。それに加え、世界

の水田耕作面積が過去 50 年間で約 70% 拡大している事実から、水田からの発生量の増加が近年の大気メタン濃度の増加に大きく寄与していると推測されている。

熱帯地域には世界の水田面積の 70% 以上が分布しているとともに、高温であることからメタン発生強度が大きく、熱帯の水田から発生するメタンが地球全体の農耕地起源のメタンに占める割合は大きいと考えられる。しかし、熱帯の水田圃場において、メタン発生を実測した研究はきわめて限られていた。そこで、本研究では、熱帯湿潤農地、とくに熱帯水田におけるメタン発生量を評価するとともに、発生のメカニズムを解明し、生成抑制技術の開発を行うことを目的とした。

研究方法

この目的のために、まず、タイ国内各地の 9 地点の水田にて、水稲栽培期間内に数回から数十回メタンフラックスの測定を行い、熱帯水田におけるメタン発生量を評価するための基礎データを得た。測定は、土壌－大気間のガスフラックス測定法として一般的に用いられているクローズドチャンバー法を用いた。すなわち、チャンバーを水田圃場に水稲を内部に含めて設置し、閉鎖系となったチャンバー内大気中メタン濃度の経時変化からメタンフラックスを求める方法である。大気メタンの定量はガスクロマトグラフィーによった。さらに、これらの地点のうち、3 地点の土壌を用いてポット試験を行い、稲わら施用がメタン発生に及ぼす影響を同様の方法で詳細に調べた。

研究成果

タイ国内各地の9地点の水田で測定された水稲栽培期間のフラックスの平均値は、1.1-23.0mg m^{-2} hr^{-1} の範囲であり、地点によりメタン発生量に大きな違いのあることが明らかになった（表 1）。

表 1　タイの水田からのメタン発生量

地点	地域	土壌全炭素 (g/kg)	平均フラックス (mg/m^2 hr)	湛水期間 (day)	全発生量 (g/m^2)
Bang Khen	中央	21.3	10.9±7.7	106-120	29±19
Chai Nat	中央	14.8	1.1	94	3
Khlong Luang	中央	17.5	3.1	83	6
Khon Kaen	東北	6.7	23.0	137	76
Phitsanulok	北	16.7	6.9±0.3	98-113	17±1
Phrae	北	ND	19.4±2.8	127-128	60±9
San Patong	北	13.4	13.3±2.9	101-103	33±7
Suphan Buri	中央	14.6	17.9±1.5	97-109	45±6
Surin	東北	6.3	13.3	129	41

これらの値は、これまでに報告されている温帯の水田での測定値と比べて、有意に大きいということはなく、すべて地点や処理による変動の範囲内であった。また、多くの研究結果から、メタン発生には土壌の理化学性や有機物施用などが重要な発生制御要因であることが示されている。これらのことから、温帯、熱帯といった温度条件よりも、土壌や肥培管理などの処理の影響がメタン発生量の変動に対して重要であることが考えられた。個々の地点での測定結果を見ると、中央平原の Bang Khen における日変動の測定結果から、水稲出穂期における日平均フラックス（24.2mg m^{-2} hr^{-1}）が午前から正午に測定された値と同等であることが示された。また、乾季作における測定値は比較的低い値であったが、これは、乾季における灌漑水の制限によるものと思われる。この結果は、地球規模での水田からのメタン発生を評価する場合、水の供給が重要な要因となることを示唆している。北部タイの San Pa Thong および

Phrae、東北タイの Khon Kaen および Surin の水田圃場においては比較的高いフラックスが、逆に、中央平原の Chai Nat や Khlong Luang では低いフラックスがそれぞれ観測されたが、これは、土壌の新鮮有機物含量、田面水位、および酸化容量や粘土含量など土壌の理化学生の違いによると考察された。以上の一連の調査結果から、タイ全体の水田からのメタン発生量は 3.7Tg year^{-1} であると見積もられた。

異なった土壌を用いたポット試験では、いずれの土壌においても、湛水前の土壌に 0.2%（w/w）の稲わらを混入することによりメタン発生量は 3.8-10.4 倍増加することが示された。その際、稲わら無混入区では栽培後期に大きなメタン発生が見られたのに対し、稲わら混入区では栽培初期に最も大きなメタン発生が見られた（図 1）。

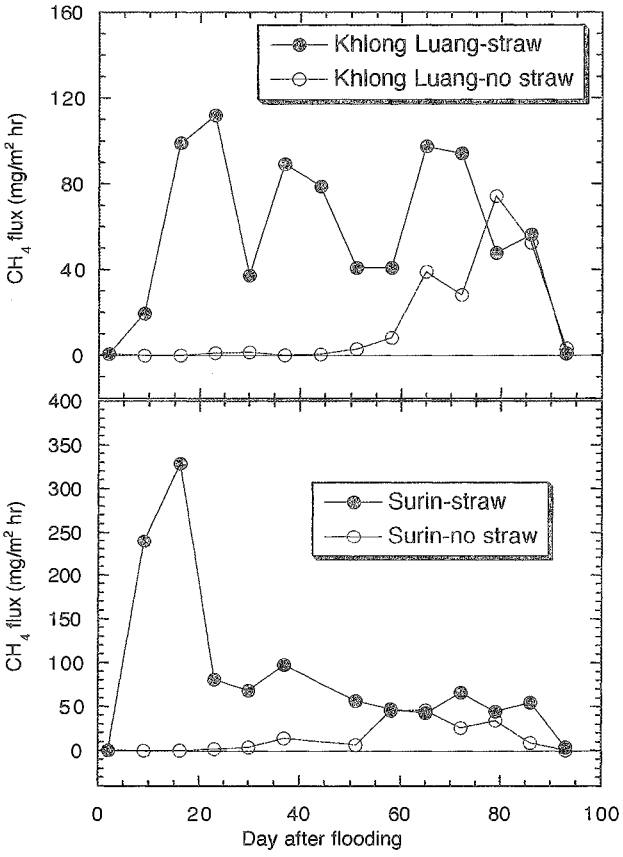


図 1　土壌への稲わらの混入がメタン発生に及ぼす影響

この結果は、稲わら混入区で、栽培初期に混入した稲わらが分解することによりメタン生成の基質を大量に供給すること、また、そのことが同時に土壌の還元の発達を促進し、メタン生成に適した環境をもたらすことの相乗効果であると考察された。このような栽培初期における稲わら混入による大きなメタン発生増大効果は、温帯の水田で報告されているものよりもきわめて強いものであり、高温環境である熱帯水田の特徴であるといえる。水稲の生育にしたがって、その効果が小さくなるのは、稲わらの分解速度が徐々に遅くなることによると思われる。また、栽培後期に混入区と無混入区での差が小さくなったのは、この時期のメタン生成に対して、混入した稲わらよりも水稲根からの有機物供給が重要になったことを示している。

以上の結果は、熱帯水田における稲わらや緑肥などの新鮮有機物の施用が、きわめて大きなメタン発生量の増大効果を持つことを示している。このことから、熱帯地域での水田からのメタン発生制御技術として、圃場残存有機物の酸化的分解の促進や、堆肥化など、新鮮有機物量を減少させることが重要であることが示唆された。

(4) 生産利用部

1) 東アジアモンスーン地域におけるイネウンカの移動実態の解明

寒川一成

インドシナ半島から中国南部をへて朝鮮半島、日本へ至る地域には、亜熱帯・温帯湿潤モンスーン気候の恵みを受けた灌漑稲作農業が発達している。この東アジア地域は同時に南西モンスーンに依存したイネ害虫の一大移動圏でもある。古来より水稲の重要な害虫であるトビイロウンカとセジロウンカは、東アジアモンスーン地域の東北端に位置する日本では越冬できず、毎年南西モンスーンがもたらす梅雨の到来とともに、東シナ海を渡り波状的に飛来侵入してくる。JIRCAS は移動性害虫の発生予察に関する国内プロジェクトの後を受け、海外飛来するイネウンカの地理的移動の全容を解明するために、1992 ～ 1997 年に中国水稲研究所において日中共同研究プロジェクト「東アジアモンスーン地域におけるイネウンカの移動実態の解明」を実施した。日本、中国、インドシナ半島各地におけるイネウンカの発生生態、稲作情況、アジアモンスーンの気象動態に関する知見の集積を下敷きに、本プロジェクトの中で開発されたコンピュータプログラムによるイネウンカ搬送気流の流跡線解析結果に基づいて、日本に至るイネウンカの長距離移動が、東アジア地域における南西モンスーンの季節的推移と水稲作期の地理的勾配に依存した繁殖地の2段階の地理的遷移を経て実現していることを明らかにした（図 1）

イネウンカはイネのみを寄主植物とする熱帯原産の昆虫であり、その本来の周年生息地は 1 月の平均気温が 19 ℃以上の概ね北緯 20 度以南の熱帯アジアに限られている。熱帯アジアに広がる広大な分布域から、東アジアモンスーン地域に飛び出すイネウンカの発生源を特定するために、アジア各地のトビイロウンカ個体群のバイオタイプを比較した。その結果、中国と日本で発生するトビイロウンカと同じバイオタイプが、北ベトナムに分布していた。そのバイオタイプは南ベトナムを含むその他の熱帯アジア地域のバイオタイプとは明らかに異なっており、東アジアモンスーン地域を移動するイネウンカが北ベトナム周辺に起源する事を示唆した。

北ベトナムの紅河デルタでは水稲の灌漑二期作が行われ、イネウンカが周年発生している。1 ～ 2 月に移植される冬春稲で越冬するイネウンカは、3 月中旬以降の気温の急上昇とともに増殖し、4 ～ 5 月に冬春稲から移出し始める。イネウンカの長翅型成虫は、羽化直後の薄暮期に上昇飛翔し、上空の風系に乗って新たな生息地へ風下分散する習性を持っている。この時期、中国大陸上の寒気団と暖湿な熱帯気団の境界に形成される前線が華南付近に停滞し、南シナ海に南西モンスーンが吹き始める。北ベトナムの冬春稲から移出したイネウンカは、この南西モンスーンによって華南上空に運ばれ、降雨を伴った前線帯の擾乱によって地上に降落する。第 1 段階の生息地遷移である。

華南の水稲二期作地帯で4月に移植される早稲は、北ベトナムの冬春稲から移出し、華南に降落するイネウンカに新鮮な生息地を提供している。早稲で 1 ～ 2 世代増殖したイネウンカは個体群密度の上昇と共に長翅型成虫を生じて、6 ～ 7 月に早稲から移出し始める。第 2 段階の生息地遷移の開始である。この時期、中緯度偏西風の吹走路がチベット高原北麓にシフトし、それに伴って華南に留まっていた前線が北緯 32 ～ 36 度付近まで北上し、長江流域から東シナ海を渡り日本付近に延びる顕著な梅雨前線を形成する。前線帯と南西モンスーン域の北方への遷移によって、華南の早稲を飛び立ったイネウンカは、華中、極東の水稲一期作地帯へ運ばれ、5 ～ 6 月に移植されるジャポニカ水稲に寄生する。

華中東部の長江中華流域と西日本では、イネウンカは一般に6月中旬～7月上旬に最も活発に飛来侵入する。多飛来は梅雨前線上を次々と発達しながら東北進する低気圧の暖域で起っ

ており、しばしば梅雨末期の集中豪雨の発生とも同調している。この多飛来時の予報天気図には目立った特徴がある。日本の南方洋上に中心を持つ優勢な太平洋高気圧が、西太平洋から東シナ海南部に張り出し、長江流域から日本付近に停滞した梅雨前線との北西象限に、南西気流の顕著な収束域が形成される。梅雨期におけるこのような天気図型の出現は、イネウンカの多飛来を示唆する身近な指標になろう。

イネウンカの飛来をもたらした気流の流跡線解析は、華南の早稲を移出したイネウンカが24～36時間で華中東部に飛来することを示した。東シナ海を渡り西日本に海外飛来するイネウンカについては、1,500～2,000km隔たった福建省南部、江西省南部、広東省東部付近を中心とする華南東部から、36～48時間かけて移動して来ることが明らかになった（図2）。日本に至るイネウンカの第2段階の長距離移動には、イネウンカの絶食耐性から、風速20ノット以上の高速気流が必要であり、梅雨前線上の低気圧暖域に発生する下層ジェット（梅雨ジェット）が重要な搬送気流になっていた。

東アジアモンスーン地域で毎年繰り返されるイネウンカの大規模な移動は、イネウンカ長翅型成虫の産卵前期間の分散飛翔行動、南西モンスーンによる長距離移送と前線帯での降落、および降落地域に増殖に好適な水田生態系が存在がすることによって成立している。しかし、はるか日本にまで進出するイネウンカの海外飛来には、「もどり移動」が伴っておらず、飛来した後代個体群は秋冷の訪れとともに消滅する「死滅分散」でしかない。従って、その大規模な移動現象に、種の生存戦略としての生態的、遺伝的な適応は認められない。

上記の日中共同研究プロジェクト成果は、イネウンカがインドシナ半島から、中国華南をへて極東アジアに分布を広げる最も基本的なパターンと、移動をもたす基本的な気象システムを解明しており、イネウンカの国際的な発生予察に求められる基礎的知見を提供している。

章末カラーグラビア

図1　北ベトナムの冬春稲から華南の早稲をへて、日本の一期作水稲に飛来するイネウンカの二段階の繁殖地遷移の模式図。横棒は各地の稲作期間、その上の波形はイネウンカの発生パターンを示す。

図2　1991年7月初旬、九州にイネウンカの多飛来をもたらした850hPa面の気流の48時間後退流跡線。

2）ムダ地域の直播水稲における水田雑草の防除

伊藤一幸（現：農業環境技術研究所）

はじめに

1980年代後半、半島マレイシア北部のムダ地域における10万haの水田は水不足を契機に、にわかに移植栽培から直播栽培に移行した。それに伴い、ノビエ類を中心とした雑草防除の問題が生じた。

これまで東南アジアにおける水稲二期作栽培技術体系の確立を図るため、国際農業研究センター（JIRCAS、旧熱帯農業研究センター）は直播栽培技術の確立に関する研究を半島北部マレイシアのムダ地区で実施してきた。直播栽培では苗立ち向上技術と雑草防除技術の確立が重要な課題となっているが、筆者はそのうち、特に潤土直播において問題となるヒエ属雑草について、分類および発生生態の解明を担当した。この研究の総合報告書はMADAとJIRCASから「RecentAdvances in Malaysian Rice Production」（諸岡ら、1996）にまとめられている。

熱帯では経済的な理由から、また地球的な規模で求められている環境保全的観点から、従来のように化学薬剤に依存して多くの雑草を非選択的に一挙に取り除くのではなく、自然界の有する雑草発生抑制システムを効果的に取り入れ、除草剤の使用量を最小限に抑えた生態系調和型の総合防除技術の確立が緊急に必要である。ここではムダ地区の稲作を例にして、東

南アジア熱帯の雑草防除を中心に雑草と除草剤について述べることにする。

除草剤抵抗性雑草の出現

戦後まもなくから、東南アジアではゴムやオイルパームなどのプランテーション作物を中心に非選択性茎葉処理剤のパラコート等が、水稲には2，4-Dなどの価格の安い剤が長期間にわたって利用されている。こうした中で、2，4-Dに抵抗性をもったナガボノウルシがタイ、マレイシアなどで10年も前から見つかっていたが、渡邊らによってムダ地区の直播圃場でヒデリコの抵抗性生物型が発見された。また、1989年にはマレイシアのコタバルにおける農家の庭先、カメロンハイランドの野菜畑、茶園などにパラコートに抵抗性をもつイヌホオズキ、ベニバナボロギク、イヌビユ及びオオアレチノギクが発見された。近年、スルホニルウレア系除草剤の連用により、ウキアゼナ、キバナオモダカ、ナンゴクオモダカ等の水田雑草で抵抗性生物型が確認され始めた。

これらの剤は強害雑草のオオサンカクイやMikania micranthaの防除には有効であったが、抵抗性の出現は雑草防除が特定の除草剤に偏重されてきた結果であり、今後改めなければならない。

水稲の直播への移行と除草剤利用の増加

1980年以降ムダ地区は移植栽培から直播栽培に急速に移行した。この間の除草剤の使用ではルンプトックスなど2, 4-D関連化合物はムダ地域全体の半分で使用され続けた。これらの剤はカヤツリグサ科雑草と広葉雑草には効果があったが、イネ科雑草に効果が低く、分類と種生態の解明が必要であった。ノビエ類については一年生3種、多年生2種に同定された（表1）。最も雑草害が多いのはイヌビエで、日本に多いタイヌビエも見つかった。多年生のヒエE.stagninaは不稔で、茎が横走して節から根を出し、節からの萌芽により増殖するため、丁寧な代かき、畦畔管理により防除が可能であることをHoらとを明らかにした。また、一年生のノビエ類種子の寿命については、連続して発生消長を調べたり、いろいろな土壌条件への埋土試験をしたが、温帯での実験と比べるとかなり寿命が短いことがわかってきた。共同研究者のAzmiはこうしたものに加え、体系的にノビエ類の生態的解明を行い、学位としてまとめた。

直播栽培が定着して、イネ科雑草対象剤は使用量が大幅に伸びており、イヌビエやタイワンアイアシの対策が農家まで徐々に浸透している様子が伺われる。ただ、除草剤散布後に多量の魚が死んでいたこともあり、抜本的な防除手段の変更が望まれる。

また、熱帯雨林気候下ではあまり問題にならなかった雑草イネは直播栽培の進展とともに問題化つつある。すなわち、水田に普通に生育する栽培稲の起源種Oryza rufipogon（多年生）と水田には侵入しないがニッパヤシの下草として多く、土壌の乾湿、遮光の強弱に適応性が高いO. officinalisが直播の強害雑草化するものと考えられた。直播地帯では栽培イネの開花期がばらつき、野生イネとの間で交雑すること、交配後代が残存しやすいことなどにより種子の脱粒しやすい栽培イネによく似た雑草イネがみられた。実際には、1995年頃から筆者の後任の渡邊や中山の時期に、収穫前に脱粒してしまう雑草イネが乾田直播栽培圃場で問題化した。雑草イネには水稲生育期防除が難しく、当面は播種前の防除と種子の更新が雑草害の拡大を防止する方法である。これらの研究は今後、遺伝子組換え体作物の導入とも関係して、大いに研究を深める部分であると考える。

雑草の生物的防除の可能性

オオサンショウモやホテイアオイのような水生植物ではオーストラリアのCSIRO、アメリカのUSDA-ARS、イギリスの国際生物防除研究所（IIBC）などが天敵を海外から導入して増殖し、湖沼や大河川では成功している。

日本ではこの分野の雑草防除研究が遅れているが、水田雑草で少し始まった。2，3の例を述べると、ヒエホソメイガは選択的にコヒメビエを除くヒエ属雑草の桿基部を食害する蛾である。1991年第1作に後藤がマレイシアで初めて見つけたイネに害のないヒエ類の鱗翅目益虫である。その後、安田はMARDIアロスターの圃場で多年生ヒエE.pictaからヒエホソメイガの幼虫に寄生している蝿の幼虫を見つけた。この他にもヒエウンカなど雑草だけから吸汁するものも見つかっているが、食物連鎖系

は単純ではない。せっかく見つけた強害雑草の益虫に天敵がいたことは、雑草の生物防除は言うはやさしいが、導入昆虫でないだけなかなか思うように防除につながらない。この他、雑草を枯らす菌など現在、マレー科学大学（USM）を中心にして研究が進展しているので、今後の研究の発展を待ちたい。いずれにしても水田の生物多様性の維持は必要なことであり、水田生態系における環境関係の調査も必要度はますます高まろう。

雑草の総合管理（ＩWM）の難しさ

JIRCAS では 1993 年よりムダ農業開発庁（MADA）とマレイシア農業開発研究所（MARDI）との３者で「熱帯二期作水稲の生物害総合防除技術体系の確立」のテーマで研究を推進した。その報告書「The Management of Biotic Agents in Direct Seeded Rice Culture in Malaysia（1999）」も近年できあがったが、問題は解決しただろうか。

1987 年より２年間、FAO のプロジェクトで IWM のキャンペーンを MADA で実施した。教育の主たる部分は①自分の田んぼに生えている草はなにか、②雑草を少なくするにはどうしたらよいか、③播種までに田んぼをいかにして均平にするか、④どうしたらうまく水管理ができるか、⑤どんな除草剤をいつ、どのように散布するか、などであった。実際に噴霧器を分解したりする実技もあり、大学（UPM,USM）などにも協力を求めて、教育方法、農村調査、心理的影響など雑草防除にとどまらず社会学的影響まで解析した。播種方式、反収などの調査と並行して実施前後の発生雑草量の差を見ている。キャンペーンによりムダ地域の約 5 万 ha の要防除面積のうち、約半分が問題でなくなったとされた。これはキャンペーンで、雑草を防除するためには除草剤や雑草だけではだめで、圃場の均平から水管理、品種選定、補植、収穫法、耕起法、稲わら処理法、畦畔管理まで、きめの細かな稲作が必要であることが認識された。これらの技術をパッケージ化して、農家に雑草防除対策を定着させる必要があるが、除草剤の量も増えている。

最後に、雑草の総合防除における ＭＡＤＡ の一つの結論でもあったが、雑草を防除しようと思えば水管理がうまく行えることが前提となる。水管理が思うに任せない圃場で雑草を防除することはできない。稲作の雑草防除が畑作と比べて比較的容易な理由は水の力に負っている。従って、雑草防除について述べることは水管理ができる圃場という条件ならいろいろな対策がある。かんがい水が思うようになく、第２作の播種が第１作の遅れを引きずる遅れが恒常化しており、北部ムダ地区は移植への回帰も多くなっていると聞いている。直播栽培を生物防除によって安定させることは当面のテーマであると思う。

また、熱帯雨林気候下では除草剤により下草を枯らすことは土壌流亡の元となり、好ましくない。最近、プランテーションでも下草管理に除草剤を用いないでカバークロップとして熱帯牧草を用い、牛の放牧圧により雑草を制御しようとする試みがある。いろいろな研究分野との協力がなくして雑草防除はできないと考えている。

3）イネ白葉枯病菌レース研究

野田孝人（現：海外研究交流科）

イネ白葉枯病はいもち病、紋枯病などと同様に世界の稲作国に広く分布している重要なイネ病害の一つで、特にアジア各国においてその被害が大きい。

本病は風雨や灌漑水によって運ばれた病原細菌（Xanthomonas oryae pv. oryzae）が水孔や傷口からイネ体に侵入し、導管組織に達して増殖するために起こる。そのため、台風などによる暴風雨や洪水の後では大規模に発生することが多い。被害程度は本病が発生する生育時期の違いによって異なるが、出穂期以前に多発した場合 30％以上の減収に達する。また、主に東南アジアで幼苗期に発生する萎凋症（Kresek）の場合は収穫皆無になることもある。

本病には確実に防除できる薬剤がないため、防除手段としては抵抗性品種を利用するのが

最も効果的である。しかし、1957 年に本病の抵抗性イネ品種として栽培されていたアサカゼが福岡県で激発し、その被害葉から分離した病原菌株の病原性がこれまでに確認されているものと異なることが九州農試の久原らによって実験的に証明された。さらに、菌株の病原性が品種との組み合わせによって逆転する現象がインドネシアの菌株を使用した山元らの実験で初めて明らかにされた。これらの発見によって、イネ白葉枯病菌にはイネ品種に対して病原性が異なるグループ（レース）が存在し、抵抗性品種を導入して本病を防除しようとする場合には、前もって現地に分布している菌株の病原性を検定して有効な抵抗性遺伝子を明らかにすることが重要であると認識されるようになった。その後も菌株の病原性とイネ品種の抵抗性との相互関係について多くの研究が行われ、現在、我が国では表 1 に示したように数種類の判別品種に対する病原性の有無によって、イネ白葉枯病菌をⅠ～Ⅶの 7 つのレースに類別する判別体系が確立されている（レースⅥは国内では確認されていない）。

表 1　国内におけるイネ白葉枯病菌レースと判別品種との相互関係

品種群	代表的品種	各レースの反応						
		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ
金南風群	十石、農林 37 号	○	○	○	○	○	○	○
黄玉群	全勝 17 号、農林 27 号	●	○	○	○	●	●	○
Rqantai Emas 群	Rantai Emas 2、Te-tep	●	●	○	○	●	○	●
早稲愛国群	早稲愛国 3 号、中国 45 号	●	●	●	○	○	●	○
Java 群	Java14、姫系 16 号	●	●	●	○	●	●	○
Elwee 群	Elwee、Dickwee1	○	●	●	○	●	－	－
Heen Dikwee 群	Heen Dikwee1, M104	○	●	●	○	○	－	－

○：病原性、●：非病原性、－：未検定。

このような判別体系が整理されていく過渡期の 1973 年から隔年で全国的なレース分布調査が堀野によって開始された。その後、筆者は第 2 回目に当たる 1975 年からこの調査に参画し、熱帯農業研究センター（TARC）に赴任する直前の 1991 年まで継続して調査を行った。その間、地域的なレース分布特性、年次変動などの実態解明の他、新しい反応を示すレースの発見やそれに対する抵抗性遺伝子を明らかにした。国内におけるレース分布を見ると（図 1）、東北・北陸地域ではレースⅠとⅡだけが分離されたのに対し、関東・甲信、東海・近畿および中国・四国地域ではレースⅠ～Ⅲが分離され、九州・沖縄地域ではレースⅠ～Ⅴのほかレース Ⅶも確認された。つまり、北日本地域と比較して多発地帯である南西部地域においてより多様なレースが分布していることが分かった。レース分布の年次変動を見ると（図 2）、1979 年以前にはレースⅠが約 60%、レースⅡが約 30%、レースⅢが 10%弱でほぼ一定の値を示していた。ところが、1983 年以降は 1987 年を除いてレースⅢが全く分離されなくなってしまった。もとより、この調査は国内におけるレース分布の実態の大枠を把握することを目的として行われたものであり、採集地点を厳密に選定した上での精密調査ではない。しかし、九州・沖縄地域で分離されていた比較的病原性範囲の広いレースⅢが突然分離されなくなったのには調査精度の問題以外にも理由がありそうである。イネ白葉枯病の発生面積は戦後急激に拡大し 1965 年には 50 万ヘクタールに達したが、その後減少傾向をたどり 1980 年以降は 10 万ヘクタールを割り込み、1990 年には 1.8 万ヘクタールにまで減少した。この発生面積の減少が各レースの分布頻度の変化と何らかの関連がありそうである。

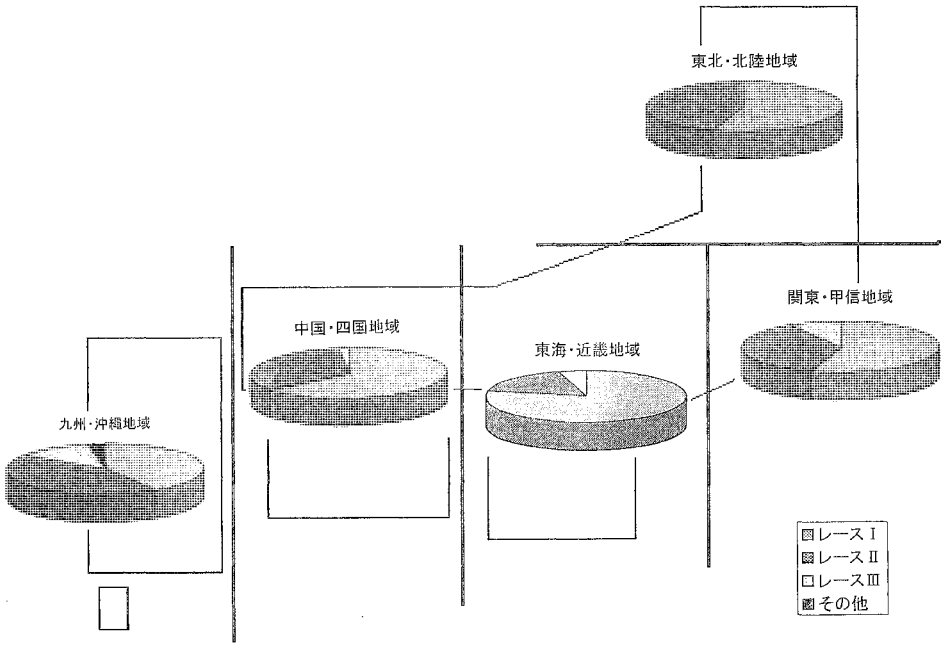


図1　イネ白葉枯病菌レースの全国分布（1973-1991）

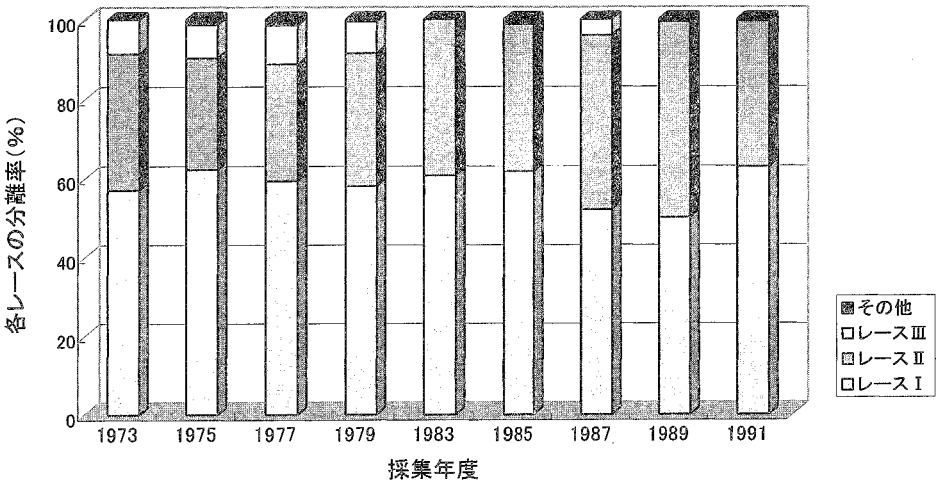


図2　レース分布の推移

上述したように、近年、日本では本病の発生量が激減している。その主な理由として、①農業基盤の拡充・整備による浸冠水の減少、②用水路の改修によるサヤヌカグサ、マコモなどの宿主雑草の減少、③機械移植栽培の普及による苗代感染の減少、④適肥栽培などの栽培管理技術の改善、⑤抵抗性品種の普及、などを上げることができる。ただ、依然として台風などによる暴風雨や洪水の後では、局地的な大発生がしばしば観察されるほか、

関東地方で縞葉枯病防除のために導入したイネ品種「むさしこがね」に白葉枯病が多発した経験は記憶に新しく、今後とも十分な警戒が必要な病害であることに変わりはない。

一方、国内の発生量の減少とは逆に、熱帯・亜熱帯地域では今なお白葉枯病がイネ栽培における重要病害として位置づけられている。一般に、高温多湿な熱帯・亜熱帯の自然環境は病害虫の発生・増殖に好適であるが、特にイネ白葉枯病の場合はその傾向が顕著で、東南アジア各国に大きな被害をもたらしてきた。そのような状況の中、本病に関する研究の蓄積が進んだ

日本への期待が高まり、1967 年以降 TARC からもスリランカやインドネシアを中心に大勢の研究者が派遣され、本病による急性症状（Kresek）の解析など、多くの貴重な成果をあげた。

1960 年に米の増産を目指して国際稲研究所（IRRI）がフィリピンに設立された。1960 年代後半からそこで開発された生育期間が短く、短幹で多げつの多収型改良品種が、抵抗性の検定が不十分なまま急速に普及していった。それは同時に、在来稲を従来の粗放的な方法で栽培する伝統的稲作から、化学肥料や薬剤を多投して多収を目指す集約的稲作に変貌したことを意味しており、病害虫の突発的な異常発生を助長することにも繋がっていった。当然、白葉枯病もその例外ではなかった。当時、緑の革命ともてはやされたイネ品種「IR8」を利用したインドの緊急食料増産計画が各地で失敗したのも本病の激発が原因であった。

これまでも述べてきたように、本病の最も効果的な防除方法は抵抗性品種の利用であるが、白葉枯病菌はイネ品種に対する病原性が分化しており、国や地域でレース特性も異なる。そこで、広くアジアの稲作地域で栽培可能な安定した抵抗性品種を育成するためにはアジア各国との共同研究が不可欠である。1980 年代の半ばに至るまで、白葉枯病研究は主に日本と IRRI で別個に継続的な研究が行われていたが、判別品種・菌株ともに共通のものが使われてこなかったため、双方で見いだされた抵抗性遺伝子やレースの病原性などの研究成果の相互比較が直接的には行えない状況であった。そこで、1984 年から日本と IRRI との共同研究が開始され、TARC からは小川、山元、加来らが中心となって参画した。この共同研究によって白葉枯病抵抗性遺伝子を異にする準同質遺伝子系統（near-isogenic lines）が育成され、白葉枯病菌の病原性分化とイネ品種との関係を共通的な基盤のもとに明らかにすることが可能になった。

筆者はその共同研究の終了と前後して TARC に赴任し、新しく開発された育成系統を用いた東南アジア産菌株の病原性特性の解明を開始した。それまで、病原菌株のレース検定は各国で独自に判別品種を選定して実施していたが、現在では育成された準同質系統が国際判別品種として認知され世界の統一基準となっている。表 2 に東南アジア産菌株の病原性検定結果の一部を記載したが、すべての判別品種に非病原性の菌株（判別品種以外の品種には病原性を示す）から、すべての判別品種に病原性を示す菌株まで、極めて多様な菌株が分布していることが分かる。一般に、本病の多発地帯には病原性範囲が広く、また、多様な病原性を示す菌株が分布していることが多い。

表 2　国際判別品種に対するアジア産イネ白葉枯病菌株の病原性

菌株名	原産国	国際判別品種と抵抗性遺伝子												
		IR24 *Xa-16,Xa-18*	BB1 *Xa-1,Xa-12*	BB2 *Xa-2*	BB3 *Xa-3*	BB4 *Xa-4*	BB5 *xa-5*	BB7 *Xa-7*	BB8 *xa-8*	BB10 *Xa-10*	BB11 *Xa-11*	BB13 *Xa-13*	BB14 *Xa-14*	BB21 *Xa-21*
CN9703	中国	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
BM8417	ミャンマー	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●
H75304	日本	○	●	●	○	●	●	●	●	○	●	●	○	●
TL8230	タイ	○	●	●	●	●	●	●	●	○	○	●	○	●
IN8482	インドネシア	○	○	●	○	●	●	●	●	○	●	●	●	●
T7147	日本	○	○	●	●	○	●	●	●	○	●	●	●	○
PP8616	フィリピン	○	○	○	●	○	●	●	●	●	○	○	●	●
PP8512	フィリピン	○	○	○	●	○	●	●	●	●	○	○	○	●
TL8219	タイ	○	○	○	●	○	●	●	○	○	○	○	○	●
VN9744	ベトナム	○	○	○	●	○	●	●	○	●	○	○	○	○
PP8511	フィリピン	○	○	○	●	○	●	●	○	●	○	○	○	●
BD8410	バングラデシュ	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	●	○	●
BD8437	バングラデシュ	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	●
IN8488	インドネシア	○	○	○	○	●	○	○	●	○	●	●	●	●
NP8311	ネパール	○	○	○	○	○	●	○	●	○	●	○	○	●
TL8203	タイ	○	○	○	○	○	○	○	●	○	●	○	○	●
IN8301	インドネシア	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	●
ID8318	インド	○	○	○	○	○	●	○	●	○	○	○	○	●
BM8416	ミャンマー	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	●
BD8407	バングラデシュ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	○	●
PXO99	IRRI	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
BD8421	バングラデシュ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○：病原性、●：非病原性。

現在、野生稲の Oryza longistaminata から発見された抵抗性遺伝子（Xa-21）が注目されており、この遺伝子に対して病原性を示す菌株は極めて少なく有望な抵抗性遺伝資源として評価が高い。しかし、驚くべきことに日本国内における分離菌株の約40%を占める（図2）レースⅡには抵抗性を発揮しないことが分かった。日本に分布する菌株は東南アジア産菌株と比較して決して強いわけではないので、このことは白葉枯病菌の病原性の多様性を物語る好例である。

白葉枯病菌の病原性に関するDNAレベルでの研究が1980年代後半から始まり、現在でも特定のプローブを用いたRFLPパターンの相違や、各種の遺伝子操作によって病原性とDNAとの関連を検出する試みが続けられている。しかし、イネ白葉枯病菌の病原性発現機構やイネ品種の抵抗性発現機構に関しては未解明の部分も多く残されている。病原性と抵抗性に関する生理生化学的な研究が不十分のまま、分子生物学的な方法で検討しようとする方向に進んでいることに、期待と不安が交錯している。

4）マレイシア・ムダ灌漑地区における稲作機械化

金谷　豊（現：農業研究センター）

背景

筆者は1988年12月より2カ年間、マレイシアにおいて稲作機械化の研究を行ってきました。研究テーマは「熱帯地域における水稲直播栽培の機械化」であり、1980年代より急速に普及してきた水稲直播栽培の問題点等を解明し、現地の栽培技術の向上に寄与することが主な目的でした。

ムダ灌漑地区は半島マレイシアの北西部に位置し、当時の水田面積は10万haで、今でもマレイシアの主要な穀倉地帯といえます。しかし、水稲の生産量は必ずしも多くはありませんでした。その大きな原因は、熱帯多雨地帯にもかかわらず灌漑施設が不十分であったため、水稲栽培に必要な用水が慢性的に不足していたということでした。このためマレイシア政府は1966年から1970年にかけてムダ地区の水田の灌漑用に2つの大きなダムを建設し、水稲栽培に必要な用水を計画的に供給する体制を作りました。このおかげで水稲二期作が可能となり収穫量も飛躍的に向上しました。このように水稲の生産基盤が徐々に整備されてきましたが、一方で、マレイシアへも工業化の波が押し寄せてくるようになり、農村部から都市への人口の移動が徐々に進むようになってきました。このため、農村部での労働力不足が顕著となり、水稲の栽培方式も多労を要する移植栽培に代わって直播栽培が急速に普及するようになってきました。このような背景のもとで、安定的な直播栽培技術の確立が必要となってきて、栽培を含めたこれらの研究が日本とマレイシアとの間で実施されることになりました。

目的

マレイシア・ムダ灌漑地区には、熱研から農業機械の他に農業土木、水稲栽培、農業経営、雑草防除の専門家（長期）が各1名派遣され、筆者は主に栽培時の耕起・播種および除草作業の機械化を担当しました。研究の目的は水稲直播栽培を如何にして機械化するかということですが、現地の機械化の特徴としては、請負業者による耕起作業や収穫作業がかなり普及していたということが挙げられます。また乾燥も政府所管のライスセンターが各所に建設されていて、機械化の点では、近隣諸国に比較して大型化が相当進んでいたといえます。しかし、個々の農家についてみると、耕起、収穫、乾燥を除く多くの作業は依然として人力作業で行われていて機械化は遅れていました。そこで、研究ではこれらの作業の機械化を促進する意味で、播種作業や除草作業の省力化に関する試験を行ってみました。また、耕起作業については請負業者による大型トラクタ作業が高速・高能率であった反面、必ずしも直播栽培に適した播種床とはいえなかったことから、比較的小型のトラクタでも対応できる耕起方式や営農排水方式も検討してみました。

手法

耕起・代かき：直播播種に適した播種床の造成を目的に、広幅耕うんロータリ（代かきロータリ）による耕起・代かき法の試験を行いました。

営農排水：直播栽培における苗立数の確保を目的に、オーガトレンチャなどを利用した地表水（停滞水）排除法を栽培・土木部門の専門家と共に検討しました。

水稲播種：播種むらの多い散播方式（手作業）の改善を目的に、耕耘機を利用した条播機（試作機）による潤田直播栽培試験を行いました。

機械除草：条播機を用いた場合には機械除草が可能になることからロータリカルチベータなどを利用した機械除草法に関する試験を行いました。

成果

現地の直播栽培では、耕うん・代かき後に落水し、水をひたひた状態に湛水した状態で、少し芽出しした種子が播かれるのが一般的です。現地では "wet seeding culture" と呼ばれていますが、我々はこれを潤田直播と呼びました。直播栽培で重要なことは播種後の苗立を一定量確保し、かつ均一にすることですが、この際、播種床を精度よく造成して、播種後は地表水を迅速に排水する必要があります。このため試験では、均平精度の高い播種床造成と迅速な排水技術に関する試験を行いました。その結果、広幅ロータリによる耕うん・代かき作業では圃場の均平が 3cm 程度になり、播種に適した播種床を作ることが出来ました。また作業能率も耕幅 1.6m 程度のロータリより 3 割程度高くなりました。

地表水の排水対策として現地では "gunny sack" と呼ばれる麻袋で簡易な溝を作って停滞水を除去していましたが、排水路までの距離が長い圃場では排水効果が低く、たまり水状態の中で種籾が直射日光に晒さられるなどして出芽不良になるなどの問題がありました。そこで圃場周囲に明渠を施工し、その溝を通して圃場内の停滞水を迅速に除去する方法に取り組みました。その結果、慣行方式で出現する苗立ち不良割合を 9% から 4% に減少させることが出来ました。試験で用いたオーガートレンチャは高価で普及には問題もありましたが、これらの技術は土木部門の研究者を含めてさらに研究が進められていきました。

現地の潤田直播では手作業による散播方式が一般的に採られていました。安価でかつ高能率に播種できます。問題は播種が不均一になることと雑草が繁茂しやすい点です。そこで機械除草のしやすい条播方式に挑戦してみました。すでに篤農家には耕耘機が普及していたことから、それをベースに条播機を試作しました。芽出し種子を播種する関係で繰出し部には日本で用いられている水稲育苗用の播種プラントを用いました。12 条播きの試作機の能率は毎時 0.8ha で、散播に比較しても遜色のない性能でした。しかし、収量は散播と比較して大差がなかったことや、雑草の繁茂も散播区と変わらなかったことから、条播の有利性を明らかにするまでには至りませんでした。直播栽培における播種方式については、日本でも経済性を含めて散播と条播の優劣がまだ議論されており、簡単には結論のでない技術問題であるといえます。

除草作業の機械化についてはロータリカルチベータを利用した装置を試作し、その効果を確認してみました。その結果、70% の雑草が機械除草できることが分かりましたが、除草剤に比較した除草効果は低く問題がありました。環境面では機械除草が一部で見直されていますが、経済性と労力を要する点で農家にはなかなか受け入れられて貰えない方法であったかも知れません。

以上、湛水直播を中心に当時のマレイシアにおける直播栽培を述べてきましたが、乾季にあたる3月から8月では乾田直播栽培が多く採られています。この時期の試験としては耕うん作業を中心とした機械化に取り組み、ロータリシーダを用いた耕起・播種作業では慣行の乾田直播の2倍の能率で作業が行えることを実証しました。またその後の鎮圧作業を効果的に行うことにより苗立ちが良好になることも明らかにし、現地の農業開発公団からも一定の評価を得ました。これらの技術は湛水（潤田）直播を含めて、マレイシアにおける直播栽培技術の確立に寄与してきたといえます。

現地でトライした機械化技術をムダ地区の

農家に紹介する意味で、カラー刷りのパンフレット（図1）を作成し、それを農家に配布しました。現地の慣行栽培におけるha当たりの作業時間は概ね62時間でしたが、機械化を行えば54時間までに省力化できることをそのパンフレットでは強調しました。これらの普及活動は、我々の技術をより分かりやすく現地の農家に伝えていくという意味で、有意義であったと考えます。

今後への期待

1992年の11月から12月にかけて、再度、マレイシア・ムダ地区においてコントラクタによる農作業の請負実態調査を行う機会を得ました。コンバイン1台当たりの請負面積は最大で300～350haに、同様にトラクタ1台では100ha（耕起作業）に及びました。大規模な請負業者は自前で農業機械の修理・改造も行っており、例えばコンバインの本体はマッセイファーガソンとクラースの組み合わせ、エンジンはヤンマーなど、まるでブロック玩具のレゴを組み立てるように機械を修繕していくのには感心させられました。今、マレイシアはアジアの中進国として発展していますが、地方に行けばかつての農業国のイメージを彷彿させます。工業と農業を両立させる未来型国家としてのマレイシアを今後とも期待します。

なお、マレイシア・ムダ地区へは筆者を含めて4名の長期在外研究者が水田作の機械化に取り組みました。貢献された方々は次のとおりです。

執行盛之氏（1979-1981）、田中孝一氏（1981-1984）、沢村宣志氏（1984-1988）

章末 カラーグラビア

図1　現地の農家向けに作成した水田直播機械化パンフレット

(5) 畜産草地部

1) ピロプラズマ病のワクチン開発に関する研究
ーアフリカ東海岸熱における牛免疫担当細胞の免疫病理学的研究ー

松原　豊（現：家畜衛生試験場）

東海岸熱は、タイレリア・パルバ *Theileria parva* を病原体とし、ダニ（brown ear tick）*Rhipicephalus appendiculatus* によって媒介される牛タイレリア病の一つである。牛に致死的な疾患を引き起こし、アフリカ地域に甚大な被害を与えており、その 1 年間の損害は約 16,800 万 US ドル（1989 年）にも上るため、ワクチン開発による効果的な防除が求められている。しかし、最適なワクチン接種法の戦略を考える上では、感染ダニによる *T.parva* のスポロゾイトが侵入する時の炎症反応、特に、スポロゾイトがリンパ球に侵入する時期やダニ付着部位の炎症反応に関与する免疫担当細胞の解明などが重要であるとともに、原虫の生活環に伴い感染リンパ球において発現する様々な *T.parva* 特異的抗原を検出することが、スポロゾイトを中和するワクチン開発にあたっての基礎的知見となる。

このため、*T.parva* 感染ダニの牛皮膚付着部位における免疫担当細胞の動態解明については、牛白血球分化抗原や主要組織適合遺伝子複合体（MHC）に対するモノクローナル抗体を用いて、様々な免疫担当細胞の動態を免疫組織化学的に検索した。炎症反応はダニ付着部位の近くで顕著であり、$CD4^+$（ヘルパー T 細胞）、$CD8^+$（サイトトキシック T 細胞）、及び $WC1^+$（成熟 γ δ T 細胞）細胞の増数と、皮膚の肥厚がみられ、経過とともに程度が著しくなった（表 1）。$WC1^+$T 細胞は、$CD4^+$ あるいは $CD8^+$T 細胞より多くみられ、その機能は明確ではないが、炎症反応や組織の変性に関与すると考えられる（表 1）。多数の MHCclassII（MHC Ⅱ）陽性細胞（抗原提示細胞）の浸潤が真皮にみられ、ほとんどは $CD11b^+$ 細胞（単球）であった。付着後 4 日の表皮には、通常見られない $CD1^+$樹状細胞と $CD11b^+$細胞が検出された（表 1）。これらの抗原提示細胞は、免疫応答に重要な役割を果たしている。

なお、本研究で得られた皮膚の免疫応答に関する知見は、他のダニ媒介性疾病の皮膚病変を解析する上で、有用であるとともに、国際家畜研究所（ILRI）では、様々なベクターを利用したサブユニットワクチンの開発が進行中であり、今後、ワクチン接種部位の皮膚や、ワクチン接種牛の感染ダニ付着部位での免疫応答の解析が必要であると考えられた。

また、*T.parva* 感染牛リンパ球における原虫抗原の免疫組織化学的検出を 3 種類の *T.parva* 抗原（p67、PIM、p32）に対するモノクローナル抗体を用いて検索したところ、*in vitro* と *in vivo* で感染牛リンパ球における *T.parva* 抗原の発現に差異がみられた。また、*in vitro* では、1 日後 p67 が約 5% の細胞にみられた。PIM は 3 日後に検出され、6 日後には殆どの細胞が陽性であった。p32 は 5§6 日後に検出され、陽性率は 20% 以下であった。さらに、*in vivo* では、3 頭とも感染後 10 日目から発熱し、瀕死のものは 20 日目頃に安楽死させたところ、PIM は 5~6 日後にみられ始め、10 日後には容易に検出され、15 日後には殆どの細胞が陽性であった（図 1）。p32 は、14 日後から容易に検出され（図 1）、ピロプラズマの出現時期と一致し、メロゾイトの発育と関連していた。その陽性率は、*in vitro* と異なり、PIM と同様に上昇し、p32 の発現には生体内の微小環境が必要であると考えられた。

このような PIM の陽性率は、感染の経過に伴ってほぼ 100% に達し、従来のギムザ染色による虫体の検出率が、最高 10% 程度であったことと比較すると、感度が高く、検出が容易である。抗 PIM モノクローナル抗体による免疫組織化学的染色は、牛における *T.parva* の感染動態を解析するための有用な手段であることが判明した。

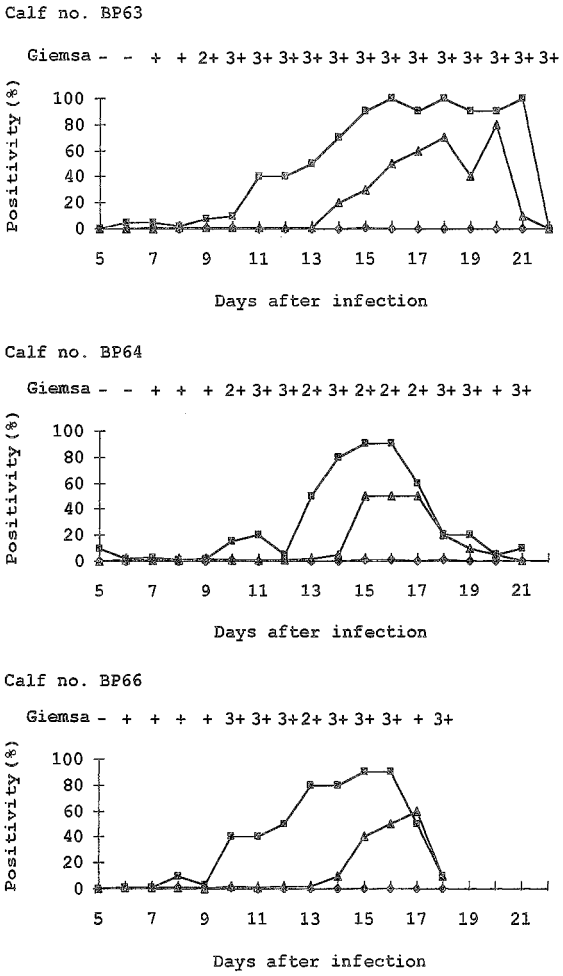


図1　*in vivo* での *T. parva* 感染牛リンパ球における *T. parva* 抗原の発現
p67（－◆－），PIM（－■－），p32（－▲－）

（マークの説明）

表1　ダニ免疫ボラン牛のタイレリア・パルバ感染ダニ付着部位における免疫担当細胞の動態

部位	付着後	CD4	CD8	WC1	MHC II	CD1	CD11b	WC6	IgM
表皮	0日	+*	+	+	+	-	-	+	-
	2日	+	+	+	+	-	-	+	-
	4日	+	+	+	++	+	+	+	-
	6日	+	+	++	+++	+	+	++	-
真皮	0日	++	+	++	+++	+	+++	++	-
	2日	++	+	++	+++	+	+++	++	-
	4日	++	+	+++	++++	++	++++	++	-
	6日	++	++	++++	++++	++	++++	++	+

＊細胞数の半定量的評価：みられない（-）、大変少数（+）～大変多数（++++）．

2) ブラジル中南部における持続型農牧輪換システムに適した最適イネ科牧草の検討

菅野　勉

ブラジルの熱帯サバンナは現地語でセラード（閉ざされた地という意味）とも呼ばれ、面積は2億700万ha、国土の25%を占める広大な植生である。しかしながら、1970年代から始まったセラード地域の農業開発計画により、1,400万haの穀作地、5,000万haの人工草地が開発され、ブラジル国内の穀物生産及び家畜生産量の40-50%を生産するようになった。しかしながら、これまでの農地の開発・利用が自然地力に依存した収奪型農牧業であったために、畑作においては土壌有機物の損耗や連作障害、牧畜においては草地荒廃や家畜生産力の低下が顕著となってきている。こうした状況を背景とし、JIRCASは平成8年度よりブラジル農牧研究公社（EMBRAPA）と共同で国際プロジェクト研究＜ブラジル中南部における持続型農牧輪換システム（アグロパストラルシステム）の開発＞を7年間にわたり実施することとした。その中で、著者らは農牧輪換システムに適した草地管理法の開発を担当し、農牧輪換システムに適したイネ科牧草の研究を進めている。

中南米の牧草地ではアフリカ原産の暖地型イネ科牧草が導入され栽培されているが、牧草地の自然環境条件や栽培条件により、牧草種の生育反応や適性はまちまちである。そのため、まず最初に現地で主に用いられている暖地型イネ科牧草である*Brachiaria decumbens*、*B.brizantha*及び*Panicum maximum*等のリン酸（P）や窒素（N）の施用に対する反応をポット試験により明らかにした。その結果、Pを25-50kg/ha施用した条件下では*B.brizantha*の乾物生産性が最も高いこと、*P.maximum*はN要求量（最大収量の80%にあたる収量を得るのに必要なN施用量）が顕著に高いことなどを明らかにした。さらに、放牧条件下で、それらの牧草の地下部バイオマスを比較したところ、*B.brizantha*は土壌を採取した0-10、10-20、20-40cmのどの層においても地下部バイオマスが他草種に比較して大きく、土壌への有機物供給能力が高いことが明らかとなった（図1）。

次に、農牧輪換条件下における草地生産力を評価するために、慣行的放牧草地（*B.decumbens*連続放牧草地）と農牧輪換草地2種（4年間夏ダイズ跡の*P.maximum*放牧草地、及び4年間夏ダイズ冬ミレット跡の*P.maximum*放牧草地）の乾物生産性を比較した。現在、先進的な農場では、農牧輪換技術を既に取り入れている例もあるが、それらの農場では、夏ダイズ冬ミレット跡に*P.maximum*草地を造成する場合が多い。これは、多肥条件下における*P.maximum*の潜在的な高い乾物生産性及び消化性を期待してのことである。しかしながら、本研究の結果では、この夏ダイズ冬ミレット跡の*P.maximum*草地の乾物生産量は夏ダイズ跡*P.maximum*草地に較べて著しく低く、*B.decumbens*慣行的放牧草地と同程度の乾物生産性しか示さなかった。そして、夏ダイズ冬ミレット跡*P.maximum*草地では、牧草中のN及び銅の含有量が夏ダイズ跡に比較して低いという現象が観察された（表1）。N含有量の差について考えると、*P.maximum*は先に示したポット試験の結果からも推察されるようにN要求量が高い草種であり、夏ダイズ冬ミレット放牧跡に残された土壌窒素のみでは、そのN要求量を満たせず、高い乾物生産力を発揮できないものと推察される。このため、夏ダイズ冬ミレット放牧跡においても*P.maximum*の高い乾物生産性を期待する場合には、Nの追肥等、新たなNの投入方法を検討することが明らかとなった。また、先に述べたように*B.brizantha*は、*P.maximum*よりもN要求量が少なく、かつ乾物生産性も高いこと、さらには土壌への有機物供給能力が高いことなどから、農牧輪換草地に導入するために最適なイネ科牧草と考えられた。今後は、これらの成果を基に放牧地で実証試験を行うことにより、導入種としての有用性を評価し、さらに、農家レベルでの普及を図っていきたい。

表1　農牧輪換条件下における *P.maximum* 草地の乾物生産性及び葉中の窒素及び銅含有量

	乾物生産量			
	期間合計 (tDM/ha/ 253days)	日平均 (kg/ha/day)	葉中の N 含有量 (%)	葉中の銅含有量 (ppm)
P.maximum 草地				
4 年間夏ダイズ跡	20.3	80	1.8	6.4
4 年間夏ダイズ冬ミレット放牧跡	13.2	52	1.2	4.3
平 均	16.7	66	1.5	5.4

tDM/ha：1 ヘクタールあたりの乾物生産量（トン）

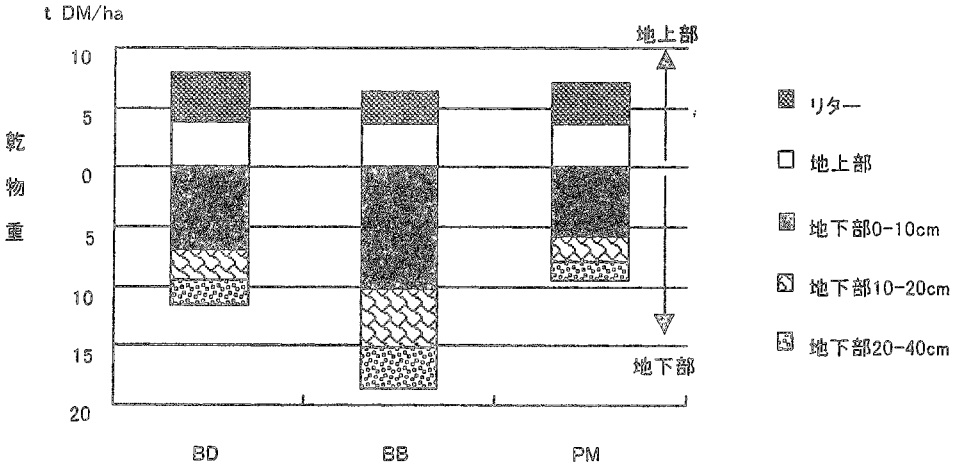


図1　*B. decumbens*（BD）、*B. brizantha*（BB）及び *P. maximum*（PM）のバイオマス

3）東北タイにおける持続可能な農業システム構築のための在来反芻家畜の役割

川島知之（現：畜産試験場）

畜産は物質循環の核として、また、農業経営の改善、雇用の創出という観点からも持続的農業システムの歯車の一つとして重要な役割を演ずる。東北タイにおいて利用されている反芻家畜の養分要求量、ならびに消化特性を明らかにし、それぞれの特性に応じた適正な飼養管理方法を検討した。

低質粗飼料を単独で反芻家畜に給与するとその利用性は低いが、栄養バランスを改善するために不足している養分をサプリメントとして給与するとその利用性が改善されることが知られている。粗蛋白質含量が 3% 程度の種子採取後のルジィグラス乾草に大豆粕を段階的に補給して、飼料全体の粗蛋白質含量が改善されるような処理区を設けて、緬羊、ブラーマン種牛、沼沢水牛、タイ在来種牛を用いて代謝試験を実施した。通常稲藁でさえ粗蛋白質含量が 4-5% であるので、使用された乾草は極めて低質である。緬羊においては繊維の消化率が大豆粕の割合が多くなるにつれて高くなり、粗蛋白質含量が 10% を越えるとその改善効果が認められなくなった（図 1）。ブラーマン種牛にお

いては大豆粕を加えて粗蛋白質含量が6%くらになるまでは改善効果があったが、それ以上では効果が認められなくなった。ブラーマン種牛は外来の改良種とはいえ、インド系の牛から育種されているので、低質な飼料にもある程度適応しているのであろう。一方沼沢水牛においては、大豆粕添加による繊維消化率の改善効果が認められず、稲藁を下回るような蛋白質が低い粗飼料でも、蛋白質の補給なしに繊維の消化が効率良くなされるものと考えられた。在来種牛においては沼沢水牛と同様に飼料中蛋白質が低くても繊維消化率が高く、全体的にその消化率は他の家畜種より高い傾向を示した。在来種牛はサプリメントを与えなくてもより一層効率よく繊維を消化できることが示された。

ブラーマン種牛、沼沢水牛、タイ在来牛それぞれのべ44, 27ならびに20頭の去勢雄を用いて実施したエネルギー出納試験における代謝体重当たりの代謝エネルギー摂取量とエネルギー蓄積量の関係からそれぞれの維持のための代謝エネルギー要求量を求めた。ブラーマン種牛、沼沢水牛、タイ在来種牛の値は日本飼養標準・肉用牛（1995）に示してある黒毛和種牛の値を100とするとそれぞれ、86、76、56であった（図2）。すなわち在来の反芻家畜は体重を維持するのに要する単位体重あたりのエネルギーが温帯の生産性の高い肉用牛よりもかなり小さいことが判明した。

一般に低質な飼料は消化に時間がかかるため消化管における通過速度が遅い。そのため、大量の飼料を摂取することが困難であり、エネルギー要求量が高い反芻家畜に低質飼料のみを飽食給与しても要求量を満たすことができず、体重が減少する。しかし、在来の反芻家畜は熱帯に多く存在する低質な粗飼料をサプリメントなしに効率良く消化できる上，維持のためのエネルギー要求量が低いため、低質飼料だけでも合理的に利用できることが明らかになった。

同じ反芻家畜であっても、先進国で利用されている高能力な乳牛や肉用牛と熱帯にいる在来の品種ではその特質が異なる。それぞれの特質を生かすように飼料資源に合った品種を適切に選定することが、熱帯諸国の生産体系を持続可能にするために重要である。タイ東北部においては在来種牛や沼沢水牛の飼養頭数が減少している一方でサトウキビの葉や稲藁が燃やされている状況を見ると、効率は悪いが合理的な在地型の畜産システムの重要性を考えさせられる。高価で限りある良質飼料を使用する酪農、粗飼料とわずかなサプリメントを利用する主にブラーマン種牛による肉牛生産、それに加えて豊富に存在する低質粗飼料と在来の家畜を組み合わせた肉牛生産、これら3つの反芻家畜による生産体系を利用可能な飼料資源のバランスに基づいて再構築する必要がある。家畜は状況によっては過放牧により砂漠化の一因と見なされているが、その一方で，家畜を軸にして土壌を改良しながらバランスのとれた農業システムを作ることも可能である。そのために現在見捨てられ、減少しつつある在来家畜の役割を再認識したい。

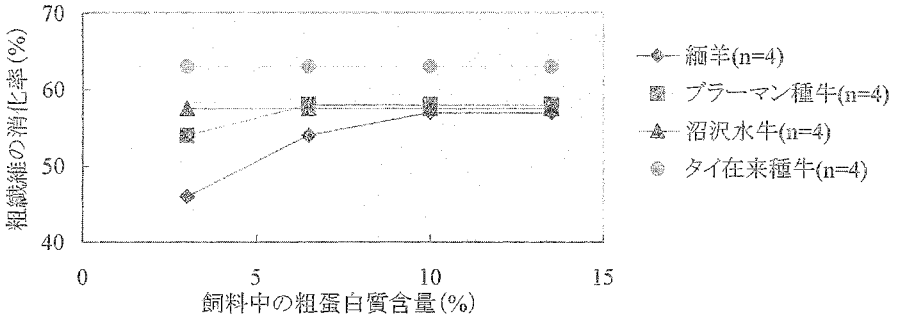


図1　大豆粕補給によるルジー乾草粗繊維消化率の変化（概念図）

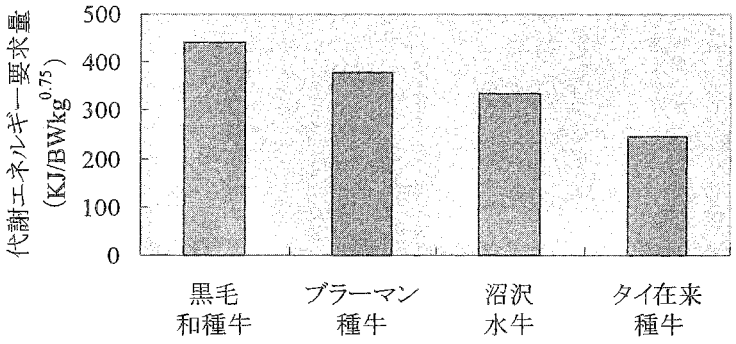


図 2　維持のための代謝エネルギー要求量

4）熱帯におけるアブラヤシ茎葉サイレージの利用

石田元彦（現：草地試験場）

マレイシアの牛乳，牛肉などの畜産物の自給率は極めて低い。草地開発は費用が多くかかり，投資を回収するのに時間がかかるという理由で敬遠され，草資源が乏しいからである。一方，世界有数のパーム油産油国である同国には多数のアブラヤシが栽培されている。アブラヤシの木（図 1）は成熟時には 12m から 15m ぐらいの高さまでになる。果実は長径 4cm，短径 3cm ぐらいの大きさで，一つの果房に 1,000 から 3,000 個付いている。果房を収穫するためにはその下にある茎葉を切り落とさなければならない。そのため，アブラヤシ農園では大量のアブラヤシ茎葉が副産物として生産される。そこで，アブラヤシ茎葉を牧草の代わりに牛の飼料として利用する研究をマレイシア農業開発研究所（MARDI）と共同で 1990 年 7 月から 1993 年 3 月まで実施した。

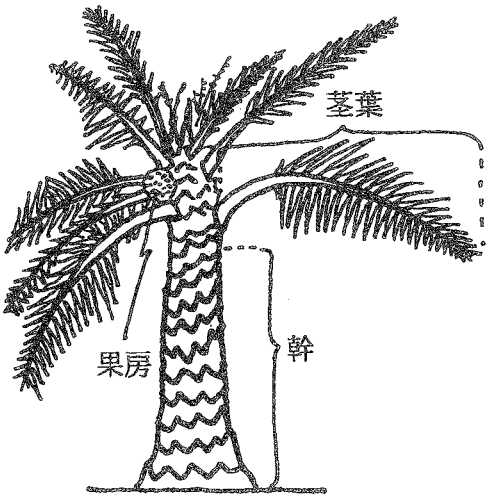


図 1　アブラヤシ

アブラヤシ茎葉は大量に生産され，放置しておくと腐るので，有効に活用するためには保存する方法が必要であった。茎葉を細切してドラム缶に詰めたところ，簡単にサイレージとなることが分かったので，サイレージとして試験を進めることにした。

まず，茎葉サイレージの栄養価を評価した。マレイシア在来のケダ・ケランタン雄牛に茎葉サイレージを給与して消化試験を実施し，その結果から茎葉サイレージの可消化養分総量が乾物中 46%で，稲藁に匹敵することが分かった。

次に，肉用牛の飼料としての価値を検討した。供試牛としては，マレイシアの多くの肥育農家が飼養しているオーストラリア・コマーシャル・クロスを用いた。茎葉サイレージを飼料の乾物あたり 10，30 または 50%配合した 3 試験区を設け，各区に牛を 6 頭ずつ割り当て，224 日間の発育試験を実施した。茎葉サイレージの配合割合を高くすると，牛の飼料全体の摂取量，濃厚飼料摂取量と体重増加は少なくなったが，赤肉の生産量は変わらず，脂肪生産量は少なくなった（表 1）。マレイシアでは牛肉に過剰に付着した脂肪は廃棄されることを考えると，肥育牛の飼料に茎葉サイレージを乾物あたり 30 から 40%程度配合，給与することによって，濃厚飼料を節約して肉生産が可能であると判断された。

乳用牛の飼料としての価値も検討した。茎葉サイレージと濃厚飼料をそれぞれ飼料乾物あたり 30%と 70%（茎葉 30%区）および 50%と 50%（茎葉 50%区）配合した飼料，さらに牧草と濃厚飼料を 50%と 50%配合した飼料（牧草区）を給与する 3 試験区を設け，各区にサヒワール種とフリージアン種の交雑泌乳牛9頭を割り当てて，27 週間の飼養試験を実施した。その結果，飼料摂取量は茎葉給与の 2 区の方が牧草区よりも少なかったが，乳量（kg/ 日）は 30%茎葉区，50%茎葉区および牧草区でそれぞれ，6.9，5.7 および 6.5 で，30%茎葉区が最高であった。飼料の利用効率を飼料乾物 1kg で生産できる牛乳の量で表すと，30%茎葉区，50%茎葉区および牧草区でそれぞれ，1.06，0.97 および 0.78 で茎葉給与区が牧草区よりも優れていた。これより，茎葉サイレージは牧草に勝るとも劣らない価値を有すると判断した。

1992 年 2 月，MARDI が共同研究の成果を記者発表したところ，新聞，テレビで大きく報道され，茎葉の飼料化施設を見学するために，多くの人たちが MARDI を訪れた。現在，多くの農家が茎葉を牛に与えているという。ある肥育農家は共同研究で用いたのと同じ日本製の飼料カッターを購入し，それで茎葉を細切して 100 頭の牛に与えていた。「畜舎まわりのパーム農園から，切り落とされた茎葉を集めてきて飼料カッターで切るだけで牛に給与できる。牧草を栽培していた時に比べ，かなり省力・低コスト生産が可能となった。」という彼の言葉がこの共同研究の成功を裏付けている。

表 1　アブラヤシ茎葉サイレージ給与肉用牛の発育と産肉量

項目	飼料へのアブラヤシ茎葉配合割合（乾物あたり）		
	10%	30%	50%
飼料の配合割合（乾物%）			
アブラヤシ茎葉サイレージ	10	30	50
濃厚飼料	90	70	50
乾物摂取量（乾物 kg/ 頭 / 日）			
アブラヤシ茎葉サイレージ	0.70[c]	1.83[b]	2.74[a]
濃厚飼料	6.32[a]	4.26[b]	2.74[c]
日増体量（kg 頭 // 日）	0.75[a]	0.62[ab]	0.45[c]
産肉量（kg/ 頭）			
赤肉	128.8	121.5	107.0
脂肪	76.4[a]	58.1[ab]	45.8[c]

a,b,c；処理間に有意な差のあることを示す（$P < 0.05$）.

5）アフリカ飼養牛の環境適応性と生産性の遺伝能力同時推定法とＤＮＡマーカー利用

富樫研治（現：北海道農業試験場）

アフリカ牛は、耐暑性、長期にわたる飼料ならびに飲水不足等のアフリカの過酷な環境に対して適応する能力を長年にわたる自然選抜の結果、獲得してきた。しかし、原虫トリパノゾーマ症による乳・肉生産の影響は、アフリカ牛の生産性向上を阻害する大きな要因である。さらに、実際のアフリカ牛の飼養現場ではトリパノゾーマ症のみならず低栄養、旱ばつ、熱波に対する抵抗性等のアフリカの過酷な環境に対する適応能力すべてが生産性に関与する。従って、アフリカ牛が病気や栄養不足で牛群から離れるまでの日数は環境適応能力の数値指標となる。一方、アフリカ牛は、この過酷な環境下でアフリカ農民の生活水準を向上させる意味から乳、肉、労役という生産性の向上も要求される。しかし、安易に生産性を高めるためにアフリカ以外の高生産性の牛を導入してもアフリカの過酷な環境にそれらの牛は容易には適応できないし、安易に導入をはかれば長年にわたって蓄積されてきたアフリカ牛の貴重な環境適応性に対する遺伝子を失うことにもなりかねない。そこで、環境適応性と乳・肉生産性を一方的に改良するのでなく、環境適応性としての牛群滞在期間と乳・肉生産性の両遺伝能力を同時に評価する手法を開発し両者のバランスを持った育種改良が必要となる。ここでは、まず、両遺伝能力を推定する手法を開発した。さらに、両遺伝能力の遺伝分散や遺伝共分散推定の摘要例としてケニヤ飼養フリージャン種の小牛群を用いた結果、乳量と牛群滞在期間の遺伝率はそれぞれ 0.1712, 0.4237 を示し、遺伝相関は - 0.4516 となった。牛群滞在期間の遺伝率が大きかったことは、過酷な環境下で牛群に存在し続けるか否かは遺伝に大きく左右されていることを示した。つまり、アフリカ牛が長年にわたり環境適応性の遺伝子を蓄積してきた証拠と思われる。一方、乳量の遺伝率は日本等の酪農先進国の遺伝率より低い値であった。この一つの要因として、アフリカの低栄養飼養が牛の遺伝能力を十分に発揮させていないものと思われた。逆に、栄養水準を上げれば生産性向上も可能と思われた。牛群滞在期間と乳量とがマイナスの遺伝相関を示したことは、安易に一方のみを改良すれば他方を失う可能性が高いことを示した。しかし、-0.9 とか -0.8 の大きな負の遺伝相関ではなかったことは、開発手法による牛群滞在期間と乳量の両遺伝能力を推定してどちらかを失わない育種改良が可能なことを物語った。具体的な育種改良手法として国際機関やそれを軸としたアフリカ中核農家との協力でえられたアフリカ牛のデータと開発された手法ならびにそのコンピュータープログラムによる遺伝解析により、アフリカの過酷な環境に対する適応性を維持しながら乳、肉、労役等の生産性を向上させる低コストな育種改良システムの必要性を示した。図１に牛群滞在期間と乳量の遺伝能力を同時に推定する数式を示した。なお、牛群滞在期間は、遺伝解析時点ですでに牛が死亡等でいなくなっている場合は確定した日数はわかるが、まだ、牛群に滞在している場合はその牛の血縁牛ですでに死亡等でいなくなった確定した日数にもとづきその牛の牛群滞在日数の期待値を打ちきり型データ最尤法により推定した。

トリパノゾーマ症は、多くの牛でその抵抗性はないが、ンダマ種という品種は抵抗性を有している。そこで、育種改良的に乳、肉、労役等の生産性は高いがトリパノゾーマ症に抵抗性がない牛に対して抵抗性遺伝子の導入が図られないかを検討した。現在、国際家畜研究機関では、マウスのモデル系により *T.congolense* によるトリパノゾーマ症の抵抗性を支配する遺伝子領域を同定する連鎖解析を実施している。マウス実験では抵抗性遺伝子は 1、5、17 染色体に同定されマウスＦ2集団の生存時間分散の40％がこれらによって説明されるとした。特に、17 染色体のＴＮＦα 遺伝子の関与が大きいと言われている。現在、抵抗性牛のンダマ種と感受性牛のボラン種を使って連鎖解析が実施されているが、牛の抵抗性遺伝子は完全には同定されていない。従って、抵抗性遺伝子の同定が明らかでない状況下で、抵抗性遺伝子の導

入をはかる手段としてＤＮＡマーカー利用の検討をおこなった。ＤＮＡマーカーとしては全染色体に分布し、かつその変異が大きいマイクロサテライトを用いた。ＤＮＡマーカーによる抵抗性遺伝子導入の一つの問題として、抵抗性遺伝子をヘテロで有している場合は、その牛自身は抵抗性があってもその子供の一部に感受性遺伝子をうけつぎ、トリパノゾーマ症を発症する個体が発生してしまうことがある。つまり、抵抗性遺伝子をホモで固定する必要性を生じる。次の問題は、抵抗性牛のンダマ種の乳、肉、労役の生産性が低いことである。つまり、遺伝子の同定が終了していない現時点では、導入をはかる手法は従来どおり交配による以外にないのである。このことは、ボラン種が本来持っていた高い生産性が生産性の低いンダマ種を交配した結果、トリパノゾーマ症抵抗性遺伝子の導入の犠牲として生産性が減少するということになってしまうのである。以上の問題に対して、第一にトリパノゾーマ抵抗性遺伝子により近接し、組換えが少なく、抵抗性遺伝子との関連が高いＤＮＡマーカーマイクロサテライトを発見すること、第二に乳、肉、労役等の高生産性にも関連するＤＮＡマーカーマイクロサテライトを発見し、高生産性ボラン種が交配の結果、その特徴である高生産性の低下を少なくするようなことがないようにすることである。これらの観点からトリパノゾーマ症や乳、肉、労役等の生産性に影響するＤＮＡマーカーを発見するため、個々のＤＮＡマーカーのトリパノゾーマ症や乳、肉、労役等の生産性に影響する効果を推定する数式を開発した。

ＤＮＡマーカー座位がヘテロになっている種雄牛において、ＤＮＡマーカーがトリパノゾーマ症や乳生産性に与える遺伝的影響の大きさ（効果）を推定する数式は以下のとおりである。

$$\begin{vmatrix} 1'R^{-1}1 & 1'R^{-1}Z \\ Z'R^{-1}1 & Z'R^{-1}Z+G^{-1} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} u \\ s \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1'R^{-1}Y \\ Z'R^{-1}Y \end{vmatrix}$$

図の説明

1:1を要素に持つ列ベクトル（Ｎ＊1、Ｎは観測値数）,R:残差共分散行列（Ｎ＊Ｎ）,Z:各マーカー毎にＭなら1、ｍなら－1を要素に持つ行列（Ｎ＊マーカー数、M,mはマーカー対立遺伝子）,Y:観測値列ベクトル（Ｎ＊1）,u:平均値,s:ＤＮＡマーカー効果,G:ＤＮＡマーカー効果分散共分散行列

開発した手法をもとに形質の遺伝率（0.2, 0.4）と形質に関与する遺伝子数（60、90）に対しＤＮＡマーカー数（マーカーは遺伝子の両側にある）がＤＮＡマーカー効果の真値と開発した手法から得られた推定値との関連にどう影響するかを検討した。ＤＮＡマーカー効果の真値と開発した手法から得られた推定値との相関係数を表1に示した。その結果、遺伝率や遺伝子数が増加するにつれ相関係数はわずかに増加する一方、ＤＮＡマーカー全部を用いた場合の相関係数は0.5062～0.6667であったが、ＤＮＡ効果の大きい30のマーカーを選んで推定した場合の相関係数は0.6370～0.8177と大きく増加した。従って、本推定手法により得られた効果の大きいマーカーを選んでトリパノゾーマ症や乳、肉、労役等の生産性に対して綿密な交配計画が実施される必要性を示した。

$$
\begin{vmatrix}
X'X & 0 & X'Z & 0 \\
 & X'DX & 0 & X'DZ \\
 & & Z'Z & \\
 & & +g^{11}A^{-1} & g^{12}A^{-1} \\
\text{対称} & & & \\
 & & & Z'DZ \\
 & & & +g^{22}A^{-1}
\end{vmatrix}
\begin{vmatrix} b1 \\ b2 \\ \\ u1 \\ \\ \\ u2 \end{vmatrix}
=
\begin{vmatrix} X'Y \\ X'DXb2+X'DZu2+X'h \\ \\ Z'Y \\ \\ \\ Z'DXb2+Z'DZu2+Z'h \end{vmatrix}
$$

g^{ij} は ij 形質の種雄牛分散共分散の逆行列要素、X: 観測値の牛群に対する係数行列
Z：観測値の種雄牛に対する係数行列、D: 対角行列（di が対角要素）
A: 種雄牛血縁行列、h: 牛群滞在日数（あるいは期待値）、Y: 乳量記録
u1: 種雄牛の乳量に対する育種価、u2: 種雄牛の牛群滞在日数に対する育種価
b1: 乳量に対する牛群効果、b2：牛群滞在日数に対する牛群効果
g^{11}、g^{22}: 遺伝分散（11 は乳量、22 は牛群滞在日数）、g^{12}: 遺伝共分散

図 1　環境適応性と生産性の両遺伝能力を同時推定するための数式

表 1　真の ＤＮＡ マーカー効果値と推定 ＤＮＡ マーカー効果値との相関係数

	娘牛数			
	500		1000	
	目的遺伝子数		目的遺伝子数	
	60	90	60	90
遺伝率				
0.2	0.7221 (0. 5928)	0.6741 (0. 5151)	0.7890 (0. 6812)	0.7639 (0. 5911)
0.4	0.7823 (0. 6649)	0.7316 (0. 5793)	0.8230 (0. 7276)	0.7961 (0. 6276)

注：(　) なしの数字は効果上位 30 のマーカーを用いた時の相関係数
　　(　) 内の数字は全マーカーを用いた時の相関係数

(6) 林業部

1) マタンマングローブ林の植生別リターの落下量

落合　幸仁（現：企画調整部研究企画科）

熱帯地方における汽水域は、エビ養殖や農業開発などに利用され、この生態系における本来の植生であるマングローブ林が急速に減少している。マングローブ林は陸から河川に沿って流れてくる様々なごみが海に流失するのを妨げるダムとして、あるいはそこに生息する海産物の隠れ家として重要な役割を果たしている。このため、マングローブ林における持続的な利用技術を明らかにするために、国際農林水産業研究センターは 1995 年から 1999 年にかけて「熱帯・亜熱帯汽水域における生物生産機能の解明と持続的利用のための基準化（汽水域プロ）」と題したプロジェクトを水産部、林業部とマレイシアの水産研究所、森林研究所、マラヤ大学が中心となって実行している。

ここでは、林業部の担当した汽水域の生産のもととなるマングローブ林からのリター量の研究を報告する。リター量の計測は 40,711ha の面積を持つマタンマングローブ林で実施した。マタンマングローブ林は、マレイシアの首都であるクアラルンプールの北、約 200km に位置するタイピン市の近くにある。この地域では、マングローブの一種である *Rhizophora apiculata* を植栽後 30 年周期で伐採して炭として利用するという世界的にみても希な持続的なマングローブ林の経営がなされている。

一般に、種の多様性が温帯林に比べて高いといわれる熱帯林の中では、マングローブ林の植生は比較的単純である。潮位に応じて、表れる植生が決まっている。マタン地区では、潮位の高いところから順に、a) *Avicennia* や *Sonneratia* 属の混交林が出現し、少し低くなると　b) *Rhizophora* 属の樹種のほぼ純林、そしてほとんど水のつかないところでは c) *Bruguiera* 属と *Rhizophora* 属の樹種の混交林が出現する。水位計をおいて潮位を調べた結果、大潮のときの最大潮位は a) で 90cm、b) では 70cm 程度であった。また、このときは、それぞれ、一日のうち、前者で約 16 時間、後者で 10 時間水に浸かっていることがわかった。c には、水位計を置かなかったので明らかではないが、観察の結果から大潮でもほとんど水に浸かっていないと考えられる。

この 3 箇所の代表的な林分にそれぞれ、20m × 20m の調査区を設定し、各調査区に 10 個ずつのリタートラップをおいた。リタートラップの受け口は 1m × 1m の大きさで、リターの回収は 1996 年 1 月から 2ヶ月おきに行った。回収したリターはマレイシア森林研究所に持ち帰り、葉や枝などにわけ、約 80 ℃で乾燥させた後、重量を計測した。

各調査区の林分構造をみると、全体の直径、樹高とも b が大きく、c が続く。a は一番小さい（表 1）。各調査区のリター全体の量も、各調査区の大きさと同じ傾向を示した。すなわち、a では、1996、1997 年それぞれ、729g と 557g であった。b では、それぞれ、1571g と 1383g、c では 1383g と 782g であった。この結果から、リターの総量は、b、c、a の順に多いことがわかる。各林分とも、目立った季節変動は見られず、一年を通して安定したリターが供給されていた。総リター量に占める葉の割合は、各林分ともほぼ等しく、約 50% であった（図）。

陸の林分では、ほとんどのリターが森林内にとどまり、そこで分解されるが、マングローブ林では、それ以外に満潮・干潮の水の動きによって葉が沖に流れることが特徴である。大潮のときに、葉が流される量を調べた結果、a では 100%、b では 95%、c ではほとんどの葉が残っていた。小潮のときでも a では 100% 流されるものの、b、c ではほとんどの葉が残っていた。このことから、各林分の海へのリターのインプットが異なることがわかる。

マタンマングローブ林で得られた汽水域プロの結果は、今後、持続的な森林経営のための

重要な指針を提供するものと思われる。

章末カラーグラビア
図1　マタンマングローブ林のリター量

表1　マングローブ林の林分構造

Avicennia spp.
Sonneratia spp.

	平均 D(cm)	H(m)	n/0.04ha 本数(%)
Avicennia spp.	3.2	3.8	106 (69)
Sonneratia spp.	11.5	8.7	36 (24)
Rhizophora spp.	4.6	4.3	11 (7)
全体	5.3	5.0	153

Rhizophora spp.

	平均 D(cm)	H(m)	n/0.05ha 本数(%)
Bruguiera spp.	4.0	5.6	1 (4)
Rhizophora spp.	26.7	24.9	26 (96)
全体	25.8	24.1	27

Bruguiera spp.

	平均 D(cm)	H(m)	n/0.05ha 本数(%)
Bruguiera spp.	9.2	9.6	38 (59)
Rhizophora spp.	19.3	19.6	26 (41)
全体	13.3	13.8	64

2）マホガニーマダラメイガの樹種選好性と植栽法的防除

松本和馬（現：森林総合研究所多摩森林科学園）

センダン科 *Meliaceae* のマホガニー類は熱帯の高級材生産樹種として造林が期待されているが、難防除害虫のマホガニーマダラメイガ（*Hypsipyla* 属）によってその確立が阻まれている。本属は汎熱帯性の穿孔性蛾類で、中南米では *Hypsipyla grandella* が、アフリカ、アジア、オーストラリアでは*H.robusta*の被害が大きい。これまで多くの研究が行われてきているにも関わらず、防除法は確立されていない。新梢、種子、時には樹幹に穿孔するが、被害木が枯死することはまずなく、幼齢木の主軸新梢に穿孔することにより梢端の分枝を引き起こし、通直な材の収穫を困難にすることが最大の問題である。このメイガ類は天然林に低い密度で生息していると考えられ、マホガニーが植えられると1－2年の内に造林地に侵入し、樹高4m程度に達するまでにすべての植栽木が加害されてしまうのが通例である。

しかし、センダン科の樹種とマダラメイガの地域個体群との組み合わせによっては被害が発生しないケースが知られており、例えばオーストラリアの *Toona ciliata* は現地の *H.robusta* には感受性でありながら、南米の *H.grandella* に対しては抵抗性である。アジア産の*H.robusta* の樹種選好性についてはこれまでまとまった報告がない。

また、これまでにマホガニーの周囲に他樹種を植えたり、マホガニーを二次林の中にラインプランティングで植えた場合はあきらかな被害低下が認められることが知られており、これはマホガニーの周囲の他樹種が物理的障壁としての役割を果たし、メイガの接近、産卵を困

難にしていることによるためであろうと考えられる。他樹種を物理的障壁として利用する防除方法は植栽法を改善すれば比較的有望であると予想された。

ここでは、マレイシア連邦サバ州ルアソン(Luasong)とブルマス(Brumas)で行った調査・試験結果に基づき、まず現地の *H.robusta* の樹種選好性を明らかにし検出された抵抗性ないし被害の軽微な樹種を報告する。次に植栽法的防除法として、二次林に隣接する伐開地にマホガニーを植え周囲にアカシア(*Acacia mangium*)を密植して囲み物理的障壁とする方法と、既存のアカシア造林地の内部にマホガニーを植え周囲のアカシアを物理的障壁として利用する方法について試験した結果を述べる。

樹種選好性

ルアソンには試験的に導入された *Swietenia* 属(3種)、*Toona* 属(1種)、*Khaya* 属(2種)、*Cedrela* 属(2種)のセンダン科樹種(調査時6?7年生)があり、予備調査としてこれの被害痕を調べたところ *Swietenia* 属と *Toona* 属で被害が大きいが、*Khaya* 属と *Cedrela* 属の被害は軽微であった。

次に二次林に *Swietenia macrophylla*、*Khaya ivorensis*、*Cedrela odorata*、*Toona sureni* のラインプランティング試験区(各区伐開幅3m×列長50mを5列、列間7m、列内植栽間隔2m)を設け、樹種ごとの被害程度を比較した。小面積のオープンプランティング試験区(各区20m×30m、植栽間隔3m×3m、ただし *C.odorata* のみ30m×50m、植栽間隔2m×4m)でもこれらの樹種と *T.ciliata* を植えて試験を行った。この結果 *S.macrophylla* と *Toona*2種はやはり被害が大きかったが、*C.odorata* はまったく被害を受けず、完全に抵抗性と考えられた。*K.ivorensis* も被害は軽微で経済的に許容できる程度であった。ラインプランティングではオープンプランティングに比べ被害が軽減されたが、とくに *K.ivorensis* ではほとんど無視できる程度に少なかった(図1)。アフリカでは現地の *H.robusta* が *Khaya* 属樹種を激しく加害することが知られており、サバの同種が異なる樹種選好性を示すことは注目される。

植栽法的防除

1) 二次林に隣接する場所でのアカシアの物理的障壁の利用

ルアソンの二次林に隣接する伐開地1ケ所にマホガニー(*S.macrophylla*)を植え(60m×60m、植栽間隔3m×3m)、密植したアカシアの物理的障壁(幅5m、植栽間隔1m×1m)で囲み防除できるかどうかを試験した。被害発生が遅れ、一定の効果が見られたものの最終的にはマホガニーが十分な受講を達成する前に多くの被害が発生し、メイガの温床となる二次林が近い条件ではこの方法での防除は難しいと判断された。

2) アカシア造林地の物理的障壁としての利用

ブルマスのアカシア造林地内にマホガニー(*S.macrophylla*)を植えた試験区3ケ所(50m×50m、植栽間隔3m×3mまたは10feet×10feet)では、低率で被害が発生したもののマホガニーがすでに十分高くなってからのことなのでほとんど問題にならないと判断された(図2)。ブルマスは丘陵地で傾斜の急な尾根上部には小面積の二次林が残っている。各試験区とも1km以内にこのような二次林があるので、そこからメイガが侵入したのであろうが、介在するアカシア造林地が障壁となって侵入は相当抑制されたとみなせる。アカシアは低い枝から梢まで満遍なく葉群を密生しているため物理的障壁として好適である。また、ブルマスにおけるマホガニーの生長は非常によく、アカシアの緑肥的な効果があったためとすれば、これも危険な低樹高の時期を短縮することで被害回避に貢献していたといえる。

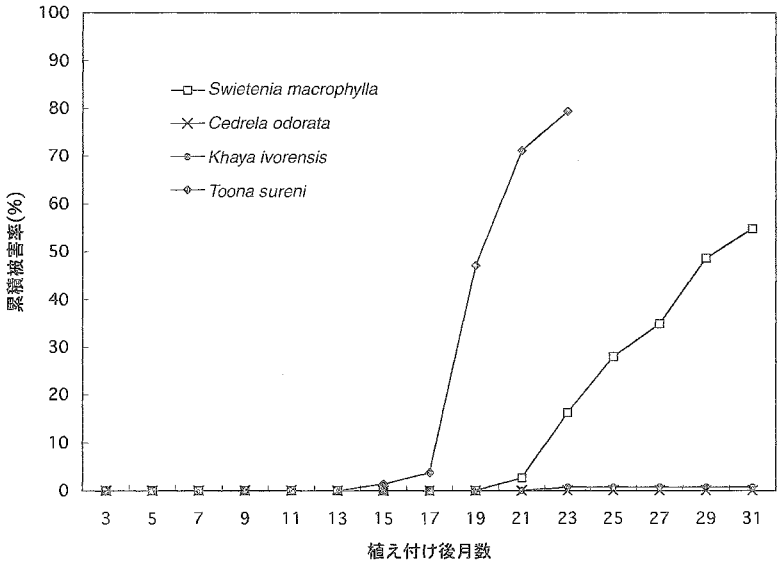


図1　*Swietenia macrophylla*、*Khaya ivorensis*、*Cedrela odorata*、*Toona sureni* のラインプランティング試験区における累積被害率の比較（*T.sureni* は植えつけが遅れたため23ヶ月目までの結果を示す）

まとめ

マホガニーマダラメイガの被害がない *C.odorata* と被害が経済的に許容できる程度の *K.ivorensis* はサバにおける植栽が可能であると判断された。近隣のアジア諸国においてもおそらく同様であろうが、念のため試験植栽を行った上でこれら2樹種の導入を考えることは推薦できる。アカシア造林地の内部にマホガニーを植える方法はマホガニーマダラメイガの被害回避法として有効であろう。過去 10 − 20 年程の間に東南アジア諸国では緑化と産業造林育成を目的とした広大なアカシア人工林が成立しており、高級材樹種への転換を望む声も大きくなりつつあるので、この方法によりマホガニー造林を行う余地も十分にあると思われる。ただし、メイガの温床となる二次林が近い条件では危険であり、いずれにせよマホガニーの大面積一斉造林が困難なことはすでに明らかである。今後は二次林からの距離やマホガニーの植栽面積についての検討も行う必要がある。

章末カラーグラビア

図2　マダラメイガ *Hypsipyla robusta* による被害を免れて幹が通直なアカシア造林地内のマホガニー *Swietenia macrophylla*

(3) アジア熱帯地域の森林資源の利用・加工技術

山本幸一（現：森林総合研究所）

アジアの熱帯地域における木材資源の利用は天然林からのフタバガキ科の樹種に大きく依存していた。しかし、熱帯林の保全、あるいは持続可能な森林経営等の観点から、今後の木材資源の利用は人工林からの造林樹種に大きくシフトするであろう。そのため、熱帯の主要な造林樹種であるユーカリ類、マツ類、アカシア類、チークの中から、これまでに 2-3 の樹種を選び、木材の有効利用に関する研究を進めてきた。

アカシア・マンギウムの材質評価

アカシア・マンギウムは 1966 年にオーストラリアからマレイシアのサバ州に導入されて以来、マレイシアやインドネシアを中心に造林が進められてきた。その過程で、アカシア・マンギウムには、ハートロットと呼ばれる心材部の腐朽が地域によっては高い頻度で発生し問

題となってきた。そこで、立木段階でハートロットの存在を検出できるかどうか、非破壊検査方法の適用を試みた。そして、樹幹の打撃により発生する弾性波の横断方向への伝搬速度を測定し、その速度からハートロットの有無について判定できることを明らかにした。伝搬速度は、ハートロットが存在する個体では、概ね800-900m/s以下であり、健全個体では1,000m/s以上であった。間伐木の選定に際しては、弾性波あるいは超音波の樹幹中の伝搬速度の測定により、ハートロットを有する個体を選ぶことが可能である。

ハートロットの調査の過程で、アカシア・マンギウムは、心材の生材含水率が辺材に比較して著しく高い多湿心材を有する個体が多いことが明らかにされた（図 1）。多湿心材は木材利用に際して、乾燥コストの上昇を招くなど欠点と考えられている。多湿心材の存在が知られている幾つかの温帯産樹種では、心材部ではミネラル含有量の増加やバクテリアの繁殖などの現象が報告されているが、アカシア・マンギウムではその兆候は見られなかった。カルシウム、カリウム、マグネシウム、ナトリウムの樹幹内分布は、形成層で最大値を示し、心材に向けて減少する正常なパターンを示した。アカシア・マンギウムの多湿心材の形成は、病理的な現象ではなく、樹種や系統に固有であると考えられた。アカシア・アウリカリフォルムスには多湿心材は存在しなかったが、アカシア・マンギウムとのハイブリッドには一部に多湿心材が認められた。

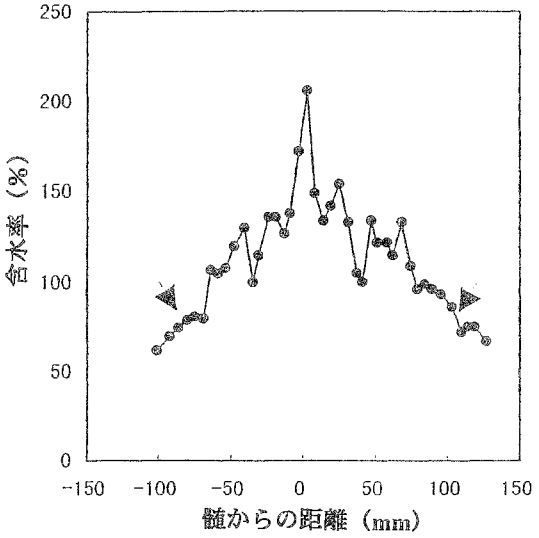


図 1　アカシア・マンギウムの生材含水率の樹幹内分布

チークの耐久性分析

チークは、高い耐久性や寸法安定性、美しい色調から高級樹種として世界的に知られており、多くの国々で広く造林されている。その高い耐久性には、カウチュークと呼ばれるゴム状物質が関与することを示した。カウチュークは辺材外部には存在せず、辺材中央部の柔細胞で形成され始め、辺材が心材に移行するときに大量に形成され、隣接する木繊維にも移動する（図 2）。心材形成の段階で、カウチュークは細胞壁内腔に沈着し、チーク材に高い撥水性を付与する。アセトンによりキノン類等の抽出成分を除去したチーク材では、木材腐朽による重量減少率が増加し、続いてクロロフォルムによりカウチュークを除去した材では、更に重量減少率が増加した。チークの高い耐久性は、キノン類等の抽出成分とカウチュークの相乗作用によると考えられた。

未利用資源の有効利用

オイルパームの樹幹、空果房、葉柄等は未利用資源として大量に存在し、その有効利用が課題となっている。維管束を繊維化して利用するため、蒸煮爆砕された葉柄の組織の表面性を調べた。X 線光電子分析によると、維管束から分離した木繊維の外表面では、O/C 比（酸素 / 炭

素の比）が低下し、C1s スペクトルの C1 要素（C-C,C-H 結合）が増加し、疎水化した。これは、蒸煮爆砕処理により木繊維の 2 次壁のリグニンが可溶化し、木繊維の外表面に移動して一部が再沈着したことに依った。これらの結果から、蒸煮爆砕された維管束は、接着性には問題があることが示唆された。

オイルパーム空果房をクラフト、ソーダ、ソーダ・アントラキノン蒸解し、環境負荷低減のため無塩素漂白、すなわち、酸素・酸・オゾン・過酸化水素の 4 段階漂白を行った。クラフト蒸解・無塩素漂白で得たパルプは白色度 80-90%を示し、塩素漂白と同程度の値となった。手漉きシートの引っ張り、引き裂き、破裂強度は広葉樹並であり、満足できる結果であった。

今後の木材の需給予測

2000 年以降は持続的な経営がなされる森林からの木材資源が国際流通の主流になり、天然林からの木材資源への依存は減少すると考えられている。そのため、今後の人工林材の需給予測についても調査研究を行ってきた。現在、人工林由来で最も多量に製材品として利用されているパラゴムノキは、資源の不足が予想されており、とりわけマレイシアでは深刻な問題になると考えられている。今後の安定的な供給地としてはインドネシアとベトナムが期待されている。インドネシアのスマトラ島はインドネシアのゴム園面積の 72%を占め、とりわけ大規模林の割合が 39%と高いことが特徴である。2010 年以降は、ベトナム南東部が、社会基盤整備に伴いパラゴムノキを原材料とファイバーボード等の面材料工業の地となることが予想される。パラゴムノキは、あて材の存在や小径木が多く製材歩留りが低いため、利用方法は製材からファイバーボード等にシフトすると考えられている。

章末カラーグラビア

図 2　チーク材の辺心材境界部の放射柔細胞中のカウチューク（球形の物質）

4）フタバガキ樹種の生理特性と環境適応性

丸山　温（現：森林総合研究所北海道支所）

はじめに

東南アジア熱帯雨林の主要構成樹種であるフタバガキ樹種は，比較的耐陰性が高く，稚幼樹段階での成長は庇陰条件下で優れており，一般的に裸地への造林が困難と考えられている。一方，アカシアやマカランガなどに代表される早生樹は，裸地で強光を利用して旺盛に成長する。伐採や開発により急速に失われつつある熱帯雨林の適切な維持，管理には，これら構成樹種の生理生態的特性に関する知見が不可欠である。しかし，これまでの研究の多くは生態学的手法に基づくもので，分布や成長を左右する生理的特徴に関する研究は極めて限られているのが現状である。

そこで，育苗・造林の基礎資料とする目的で，主としてフタバガキ科の樹種を対象に，個葉の光合成・蒸散などのガス交換特性，乾燥に対する耐性や適応性などの生理的特徴を調べ，環境耐性や適応性を検討した。

個葉のガス交換特性

光合成で気孔を通して大気中の二酸化炭素を取り込む過程で，葉内から大気中に水蒸気が拡散される。この蒸散によって失われた水は根からの吸水により速やかに補給する必要があるが，植栽直後の苗は根の機能が十分ではなく，蒸散に対する吸水の遅れが大きくなりがちで水ストレスを受けやすい。気孔を通じてのガス交換の過程で，光合成で取り込む二酸化炭素の量に対して蒸散で失う水の量が少ないほど，水ストレスを受けにくく乾燥に有利と考えられる。光合成の蒸散に対する比は水利用効率と呼ばれ，ガス交換過程での水消費の程度を評価する指標として用いられている。ここでは，熱帯有用樹 19 種の苗について，個葉の光合成速度と蒸散速度を調べ，一次生産力と水利用効率を検討した。

光合成速度は *Hopea odorata* を除いてフタバガキ樹種が早生樹と比べて低かった（表 1）。フタバガキ樹種の中では，タイ北部まで広く分布

し，乾燥耐性が高いと考えられる *H.odorata* が他の2倍以上の高い光合成速度を示した。一方，成長が遅く耐陰性の高い *Dipterocarpus cornutus* や *Neobalanocarpus heimii*，マメ科で成長の遅い *Intsia palembanica* の光合成速度が低かった。

水利用効率（光合成速度／蒸散速度）は，*I. palembanica* が最も高かった。この種は光合成速度が低く成長は遅いが，貯蔵可能な種子が安定して大量に得られ，材も有用であることから，造林樹種として期待される。次いで，マレー半島北部からインドシナ半島の乾季がある地域にも分布する *T.grandis* と *H.odorata* が高かった。これらの樹種は光合成速度も高く，乾燥条件下での物質生産に有利な性質を持っているといえよう。最も低かったのは *S.assamica* であったが，この樹種は主として谷筋の湿潤な立地に出現する。早成樹の中では，*A.excelsa*，*K.ivorensis*，*E.malaccensis* の水利用効率が比較的低い範囲にあった。これらの樹種は，成長の過程で蒸散により大量の水を消費すると予想される。

早成樹とフタバガキ樹種を比べると，光合成速度は前者が高かったが，水利用効率はほぼ同じ範囲にあった。これは，前者では高い光合成速度を維持するために大量の水を必要とすることを示している。一方フタバガキ樹種では，光合成速度は低いが蒸散による水消費も同時に低く抑えられるので，長期間かけて巨木に成長するのに有利な性質を持つと考えられる。

以上の結果，ガス交換特性は経験的に知られている樹種特性をおおむね反映していた。しかし，これらは湿潤な庇陰条件下で気孔閉鎖が起こっていない状態での測定に基づくもので，実際に生育する野外では反応が異なることが予想される。湿潤な熱帯雨林でも，日中の直射光下では気孔閉鎖による光合成の低下が観察されるので，植栽候補樹種選定にあたっては，植栽後の野外条件下における光合成速度や水利用効率についても情報を蓄積する必要がある。

枝葉の水分特性

熱帯雨林は降水量に恵まれた湿潤な環境に分布し，乾燥が問題になることは少ない。しかし，日中は強い陽射しのため気温が上昇し，大気も乾燥するので，蒸散や蒸発が大きくなる。したがって，ギャップ内や伐採後の直射光にさらされる環境下での更新を考える場合，稚幼樹の乾燥耐性に関する知見が重要になってくる。そこで，数種のフタバガキ科樹種について，しおれにくさを指標にして乾燥耐性を評価するとともに，異なる条件下に生育する葉の乾燥耐性を比較し，水分環境に対する適応性を検討した。

膨圧を失う水ポテンシャル（Ψw_{tlp}）は，膨圧を維持したままどこまで葉の水ポテンシャルを下げられるかを示しており，低いほど（絶対値が大きいほど）しおれにくい。飽水時の浸透ポテンシャル（Ψo_{sat}）は Ψw_{tlp} を左右する主要因で，また気孔が閉じ始めるときの水ポテンシャルと密接な関連があり，Ψw_{tlp} と Ψo_{sat} は乾燥耐性を評価する上で重要な指標となる。苗畑苗の場合，これらの値は温帯樹種と比べて高い範囲にあった（表2）。このような高い（絶対値の小さい）値は，通常未成熟葉や陰葉などの環境耐性に乏しい葉でしか見られない。したがって，苗畑のような庇陰下で湿潤な条件に置かれたフタバガキ苗の乾燥抵抗性は一般に低いと言えそうだ。一方裸地に生育する幼齢木と成木の場合，苗畑苗と比べて Ψw_{tlp} や Ψo_{sat} は低く，温帯樹種とほぼ同じ範囲にあったことから，裸地で生育するフタバガキ樹種の葉はしおれにくい性質を獲得していると考えられる。

以上の結果から，苗畑の庇陰された湿潤な環境で育った苗のしおれやすさが，フタバガキ樹種の植栽後の活着が不良であることの要因の一つと考えられる。しかし，蒸発散の大きくなる裸地に生育する個体ではしおれにくい性質を獲得しており，乾燥に対する適応が認められた。このことは，苗畑のフタバガキ苗も適度な乾燥や強光条件に馴化させることで乾燥耐性を獲得できる可能性を示している。

まとめ

ガス交換特性と水分特性から熱帯樹種，主としてフタバガキ樹種の環境特性を検討した。フタバガキ樹種の稚幼樹は環境変動に対して感受性が高く，どちらかと言えば陰樹の性質を持つようだが，一方で熱帯特有の強い日射と高温の環境に適応する機能も備えていることが判った。しかし，ここで対象としたのはマレー半島だけで168種と言われるフタバガキ科の樹種のわずか一部にしかすぎない。熱帯樹種の生理的特徴に関する研究は，その膨大な種数に反して極めて限られており，今後の研究による知見の蓄積が急がれる。

図１　光合成速度と水利用効率（平均±標準偏差，n=4）

樹種	光合成速度 μ mol/m^2/s	水利用効率 μ molCO_2/mmolH_2O
Acacia mangium	24.18 ± 4.79	3.28 ± 0.50
Hopea odorata	15.89 ± 2.03	3.73 ± 0.52
Tectona grandis	14.46 ± 4.57	3.84 ± 0.52
Cinnamomum iners	14.35 ± 0.74	2.77 ± 0.30
Alstonia angustiloba	10.73 ± 0.51	3.06 ± 0.11
Azadirachta excelsa	10.26 ± 1.05	2.55 ± 0.09
Khaya ivoreusis	10.18 ± 2.20	2.66 ± 0.24
Endospermum malaccensis	9.09 ± 0.83	2.43 ± 0.17
Shorea leprosula	7.85 ± 1.15	2.23 ± 0.17
S. parvifolia	7.54 ± 1.53	2.88 ± 0.36
S. acuminata	7.46 ± 0.84	3.71 ± 0.79
S. pauciflora	7.31 ± 1.80	3.67 ± 0.71
S. assamica	6.25 ± 0.79	1.86 ± 0.45
S. curticii	5.49 ± 1.13	3.41 ± 0.71
Intsia palembanica	5.48 ± 1.27	3.90 ± 0.97
S. ovalis	4.97 ± 1.29	2.15 ± 0.14
Dipterocarpus cornutus	4.89 ± 0.34	3.20 ± 0.34
Neobalanocarpus heimii	3.93 ± 0.72	2.77 ± 0.68
S. macroptera	3.58 ± 0.79	2.92 ± 0.57

太字：フタバガキ樹種

表２　しおれを起こすときの水ポテンシャル（Ψw_{tlp}）と飽水時の浸透ポテンシャル（Ψo_{sat}）

樹種	Ψw_{tlp} MPa	Ψo_{sat} MPa	備考
S. assamica	− 1.66	− 1.32	熱帯，苗畑
S. platyclados	− 1.47	− 1.18	〃
H. odorata	− 1.43	− 1.23	〃
D. aromatica	− 1.66	− 1.39	〃
N. heimii	− 1.50	− 1.28	〃
S. assamica	− 1.75	− 1.42	熱帯，裸地
S. platyclados	− 2.10	− 1.46	〃
H. odorata	− 2.35	− 1.64	〃
D. aromatica	− 2.58	− 1.87	〃
N. heimii	− 2.42	− 1.95	〃
スギ	− 2.12	− 1.76	日本，夏季
ヒノキ	− 2.00	− 1.50	〃
クロマツ	− 2.90	− 2.10	〃
ミズナラ	− 1.73	− 1.32	〃

5）熱帯択伐林における天然更新阻害要因の解明

田内裕之（現：森林総合研究所北海道支所），　Azman Hassan（マレイシア森林研究所）

東南アジア熱帯雨林地帯では択伐－天然更新という持続的森林管理･利用法が適用されてきた。しかし，択伐後に有用樹の更新が良好に進む例は少なく，多くは早生樹・中低木種など，利用面では価値の少ない樹種が繁茂する森林として再生していることが解ってきた。このような森林資源の劣化は，地域経済や資源維持に重大な障害となると予想されるため，今後の対応策の構築に向けて，森林劣化の主要因，天然更新の現状と阻害要因及び回復･改善手段を解明する研究が行われた。

西マレイシア（マレー半島）では，丘陵地帯にフタバガキ科樹種が優占する森林が広がり，1950 年頃から Selective Management System と呼ばれる択伐林施業法によって森林が管理されてきた。それは，胸高直径 45 ㎝以上のものを択伐対象とし，母樹を適切に残し，択伐後は更新を促すために下刈りやつる切り等を行うものである。ところが，多くの択伐林では，更新促進作業が行われなかった。それは，伐採時に多くの実生･稚樹が存在する，母樹があるので伐採後に種子が落ちて天然更新が期待できる，という理由によるらしい。

本研究では，試験地をセランゴール州 Semangkok 地区の択伐後5年経過した林分に設定した。また，隣接する原生林にも比較調査地を設定した。この地域は半島脊梁山脈に続く丘綾及び山岳地帯であり，優占する有用高木性樹種はセラヤ（*Shorea curtisii*）である。

択伐後の林分は，林冠が疎になっているために，直達光が林内に入り込むが，高さ 3-6m に存在する叢生ヤシの成長が著しく，低木層はこのヤシの樹冠で閉鎖してしまう。そのため，林床（高さ 1.2m）の光環境は開空度（その地点から見上げてどれ程上空が見えるか）で表すと 2.05％しかなく，原生林の林床（3.82％）よりも暗いことが解った。また，セラヤの稚樹は択伐林・原生林共に 1,000 本／ ha ほど存在していたが，上方に成長できずに枯れ下がっている稚樹の割合が択伐林で 24％と，天然林（13％）に比べ多かった。セラヤは，原生林では大きなギャップ（倒木などで林冠が開いた場所；開空度で約5％以上）で稚樹が成長し更新していた。

そこで，択伐林において林床の光環境に最も影響を与えていると考えられる叢生ヤシを除去した。ヤシの除去によって開空度は平均 1.83％高くなった（写真 1）。このヤシの刈り取りにより，開空度は原生林の閉鎖林冠下と同じもしくはそれより高い値となり，光環境がかなり改善されたことが解った。叢生ヤシ除去前 1 年間，除去後 6ヶ月間におけるセラヤ稚樹の成長変化は明らかな差として現れた（表 1）。択伐林においては，上方伸長していた稚樹の割合が除去前の 60％から 69％へと上昇した。その分上方伸長しなかった稚樹の割合は減少し，除去後死亡した個体もなかった。一方で，光環境の殆ど変わらなかった原生林では，択伐林でヤシの除去を行った前後同時期において，上方伸長した稚樹の割合が減ったことが解った。

択伐林は林冠木が数多く伐採されるので，人為的に規模の大きなギャップが形成された事になる。しかし，叢生ヤシの繁茂が林床の光環境を悪化させ，有用高木性樹種の更新が不良であることが分かった。ヤシの除去を行うと，光強度は原生林のギャップのそれに近づき，稚樹の枯損率が低下し，上方に伸長する個体の割合が増加した。ヤシの除去は，人力（手鉈）で簡単に行え（約 4.5 人役 /ha），丘陵フタバガキ択伐林では，この作業が更新促進のために有効かつ低コストな施業であることが分かった。

表１　択伐林において叢生ヤシを除去した前後期間におけるセラヤ稚樹の成長変化

	択伐林		原生林	
	94.05-95.04	95.05-95.10	94.05-95.04	95.05-95.10
上方伸長	0.60	0.69	0.72	0.48
上方伸長無し	0.34	0.28	0.25	0.50
死亡	0.06	0	0.03	0.02
その他		0.03		0

叢生ヤシの除去は択伐林において95年04月に行った。94.05-95.04とは除去前1年間，95.05-95.10とは除去後6ヶ月の期間を示す。その他とは除去作業時において，人為的に損傷を受けた稚樹。

章末カラーグラビア

写真１林内に繁茂する叢生ヤシ類の刈り払い

(7) 水産部

1) 熱帯・亜熱帯汽水域における生物生産機能の解明と持続的利用のための基準化

前田　昌調・早瀬　茂雄・木曽　克裕・福所　邦彦

マレー半島において平成7年～11年度の期間上記プロジェクト研究を実施した。国内からはJIRCAS水産部、林業部、環境資源部、海外情報部、水産庁水産研究所、林野庁森林総合研究所、水産庁、林野庁、農林水産技術会議が、またマレーシアからは水産局（DOF）、森林局（FDPM）、中央水産研究所（FRI）、森林研究所（FRIM）、マラヤ大学（UM）、が参加した。

背景・目的

熱帯・亜熱帯地域における河口部周辺やラグーンの汽水域ではマングローブが発達し、また後背地には湿地林や農地及び集落などが分布している。マングローブ林は木炭、木材などの用材供給をはじめ様々な用途で周辺の住民に利用される。さらにマングローブ林は護岸機能を有し、海岸を保全する他に水産資源の涵養にも重要である。しかし多くの開発途上地域では都市化、リゾート開発、養殖池、農用地開発などのためマングローブ林が減少している。この無秩序な汽水域の利用は、土壌侵食や陸圏物質の海域への流出などを伴い、水産生物の生息場の劣化やサンゴ礁環境の破壊など汽水・沿岸域生態系の変化をも引き起こす原因となり、また海岸防災機能などにも悪影響を及ぼしている。そのためマングローブ汽水域の生物生産機能を解明し、資源の利用基準を明らかにすることが重要となる。本研究プロジェクトでは、マングローブ汽水域の生産性を農業、林業および水産業の三部門が協力してマングローブのリターから魚介類の稚仔に至る食物連鎖や汽水域の生物多様度という観点から評価すること、さらに環境保全に配慮した汽水域生態系の持続的利用を促進することを目的とした。

得られた結果

1)　開発の程度による汽水域の類型化

マレー半島のマングローブ水域を類型化し、以下の3水域を調査地点とした。(1) 政府の適正な管理下にあり、マングローブ汽水域の計画的な利用がなされている汽水域（(マタン・マングローブ汽水域）(2) 最近10数年に後背地の利用が進み、マングローブ林の20%程度の減少がみられる汽水域（メルボック水域）(3) マングローブ林の伐採、開発が進行している汽水域（ルムット水域）

2)　汽水域の生産力評価

①マングローブ林におけるリターの生産

マタン地区では、水域から陸圏に向かうに従ってマングローブ *Avicenria, Sonneratia* が出現し、さらに *Rhizophora, Bruguiera* の順で出現した。各調査点でのリターの生産量は557より1383dry-g/m^{2}の範囲にあり、顕著な季節変動は見られず年間を通して安定したリターが生産・供給されていた。総リター量に占める葉の割合は、約50%であった。

②汽水域におけるベントスの生産

マタン水域におけるベントスは、貝類46%、甲殻類43%、線虫類9%で構成され、ルムットでは線虫類が優占し46.4%を占めた（貝類9.7%）。2枚貝優占種ハイガイ（サルボウの1種）はマタン水域のシルト状の細かい砂粒子中に生息し、線虫類は粒子サイズの大きな環境に生息する事が判明した。マタンでは比較的大きな粒子がマングローブ湿地に留保されるため河川での砂粒子径が小さいと推察された（図1）。17科に属する線虫がマタン水域に分布し、ルムットでは12科が出現した。両水域に共通する種は7種あり、また固有と考えられる種もあり、これらは環境指標種になると考えられた。

③魚介類の生産

c) 魚類の生産

マタン・セリシン川におけるビームトロール、プッシュネット採集による漁獲魚種は、ビームトロールで約20種、プッシュネットで約65種であった。魚種別にはタカサゴイシモチ属の1種（*Ambassis gymnocephalus*），ナンヨウコノシロ（*Anodontostoma chacunda*），インドアイノコイワシ属4種（*Stolephorus* spp.）が優占して

おり、プッシュネット曳網 100m³ 当たりの相対漁獲尾数は各々、1.2（10 月）～ 56.1（8 月），2.0（9 月）～ 25.9（5 月），1.9（6 月）～ 11.7（8 月）であった。水産業的にも価値の高い鍵種はインドアイノコイワシ属とナンヨウコノシロであった。オッタートロール採集では、底魚が漁獲の中心となり捕獲種数は約 65 種であったが、この内ハマギギ属 8 種（*Arius* spp.）とコニベ属 11 種（*Johnius* spp.）が全漁獲尾数の 2/3 を占めていた。両魚類は漁業的にも価値の高い鍵種である。マタン・サンガ川とメルボック・メルボック川でも同様の調査をおこなったが、インドアイノコイワシ属魚類の生産性は、マタンが 0.053g/100m³、メルボックが 0.010g/m³ で、マタンの方がメルボックより 5.3 倍高かった。

d）甲殻類（エビ類）の生産

マタン水域では 20 種のエビ（*Penaeid* spp. 16 種、*Caridean* spp. 4 種）が分布し、優占種は 6 種となった。*Penaeus merguiensis* と *Metapenaeus ensis* は上流に、*Metapenaeus affinis* と *Parapenaeopsis sculptilis* は下流にのみ分布した。本調査でエビの分布量の周年変動も明らかになり、また分布は川岸に多く河川中央部には少なかった。分布量には 1-3 月期と 7-9 月期との 2 つのピークがあり、この現象はピークの 1ヶ月前にエビ幼稚仔の生産があったことを示している。*P. merguiensis* の中で河川上流に生息する個体は、その 96%の餌料をマングローブ起源の炭素から摂取していたが、海岸より 2km の地点に生息する同種の餌料は、その 16%がマングローブ由来炭素組成を示した。

3） 魚類の消化管内容物からみた3汽水域生態系の食物連鎖構造

マタン・セリシン川とサンガ川の魚類群集の食性は大差なく、各食性の魚類出現数は植物プランクトン食種→動物プランクトン食種→エビ・カニ類食種（ベントス食種）→魚類食種の順に減少した。他方メルボック川の魚類群集では、動物プランクトン食魚種の出現割合が高く、食物連鎖構造の海洋への依存度がより高いものと考えられた。

4） エネルギーの流れと生物多様性の解明

マタン水域のセリシン川・サンガ川における有機懸濁物の炭素安定同位体比は塩分と正の相関を示した。この事実は河川の上・中流域から採集した有機懸濁物がマングローブリター由来のデトリタスによって構成されていると考えられるのに対して、河口域や干潟域の有機懸濁物が海の植物プランクトン由来のデトリタスによって構成されていることを示唆している。各生物群の同位体炭素と同位体窒素の比の傾斜傾向の結果から、マングローブ葉を起源としてデトライタスが生成され、デトライタス食のエビ・カニを介して、エビ・カニ等の動物を捕食する高次魚類やイカ類へエネルギーが伝達されるエナージーフローの経路が判明した。

5） マタン、メルボック、ルムット 3 水域の底魚類の漁獲量、種多様度等の相違

マングローブ林面積/河川面積が大きいマタン水域（割合値：4.7）では、河口、河川域とも漁獲重量はメルボック（割合値：2.1）ルムット（割合値：1.1）における値よりも大きかった。しかし種多様度については、メルボックにおいて高い値が得られる傾向にあった。そしてルムットでは漁獲量、多様度とも低い値となった。この結果、マングローブ林開発の許容度を水産生物の漁獲量と種多様度とを基にして算定した場合には、その値はマングローブ林面積 / 河川面積比 2.1 ～ 4.7 の範囲内にあると考えられた（図 2）。

6） 汽水域利用の社会・経済的評価

①マングローブ汽水域の保全と住民の環境便益

マングローブ地域の養殖事業は基本的に、養殖アクションプランの下で行われている。現在、①マングローブ林の水路内の生け簀養殖、②森林を伐採しての大規模池沼養殖、③森林内や周辺での小規模な養殖池が見られる。エビと魚の養殖についての費用便益分析（1997 年）によれば、市場価格、単位面積当たりの生産量、養殖サイクル等を考慮すると同一期間当たりの純収益（粗収益から可変費用を差し引いたもの）は、エビは魚の約 30 倍以上にもなる。ベラ州では、養殖業者の 16% が汽水域内で着業しており増加傾向にある。近年養殖対象魚として高級魚の導入が試みられているがいずれも失敗しており、汽水域における養殖技術指導が求められている。

急速に都市化が進んだため汽水域には川沿いに不法占拠者が増え生活条件の悪化と河川の汚染が深刻化した。このため当局は、不法占

拠者を河川や町の中心から離れた地区に強制移転させた。この強制移転者を対象とした調査において、移転前にはマングローブ関連の事業等への従事により毎月の世帯所得は1,106RM、失業率は5%であったが、移転後は失業率は10%に上昇し世帯当たりの毎月の所得は 946RMに低下したことが明らかになった。

以上このプロジェクト研究において、マングローブの保全管理が適正に実施されている水域では魚類の量、多様度等が大きいこと、またエビ、二枚貝等の有用魚介類が多く生息することが判明した。この中でマングローブ林面積/マングローブ林中の河川面積の比が2.1以上の水域では水産生物の持続的利用が可能と考えられた。一方社会経済的研究では、概してマタン・マングローブ林地域などのように適切に利用・管理を行っているところでは、大きな社会経済的効果をもたらし、管理が不十分なところでは、資源の減少等から経済的なロスが生じていることが明らかになった。

章末カラーグラビア

図1　マングローブ樹木数の多いマタン水域（A）の海底土には有用貝類が、樹木数の少ないルムット水域（B）では線虫類が生息していた。

図2　マレーシアにおいて、マングローブ林面積／河川面積の比が大きいマタン水域（比：4.7）では漁獲量が多いが、メルボック水域（比：2.1）では魚類多様度が大きい値をしめした。

2）持続的養殖技術の開発研究
－タイにおけるウシエビ（ブラックタイガー）養殖の実態と混合養殖の試み－

日向野純也

東南アジアにおけるエビ類の養殖は人工種苗の供給、配合飼料や薬品等の使用により飛躍的発展を遂げてきた。特にタイはウシエビ *Penaeus monodon* の集約的養殖の比率が8割以上であり、くるまえび類では世界最大の養殖生産をあげている。集約的養殖が興隆する一方で、廃水及び汚泥による有機汚濁が進行し疾病の頻発、生産性の低下などの問題が顕在化したため、タイ中央部の養殖池は大半が放棄され、養殖地帯の中心は東部、南部タイ湾側、アンダマン海側へと遷移してきた。しかしこれらの地域においても同様の問題を生じており養殖場の持続的利用のための技術開発が急務となっている。

JIRCAS 水産部では 1994 年からタイ・カセサート大学と東南アジアにおける持続的養殖技術の開発に関する共同研究を実施している。本課題では東南アジアの自然環境や社会環境に適合し、生態系への負荷を軽減した持続的養殖生産技術の開発に資する基礎研究を推進する事を目標として研究が進められてきている。本共同研究の開始時には原素之氏（現養殖研究所）が長期在外研究員として 1994 年から 2 年間滞在し、創始期における種々の労を担われ、同大水産学部における共同研究の体制を整えた。また東南アジアの養殖は長足の進歩を遂げる中で外来種の導入や対象魚種の地域間移動などが頻繁に行われており遺伝的多様性の保全などの問題が懸念されるため、熱帯域における養殖対象生物の遺伝的特性に関する研究を実施した。現在はウシエビ養殖において、集約的な給餌養殖の問題点を物質収支の観点から把握し、池中に生態系を形成する混合養殖による環境改善を目的とした現地実験を行っている。現在までに、養殖業者の営む集約的なエビ養殖池で現地調査を行い水底質環境や物質収支を調べた。また養殖の過程で排出される有機物量を軽減するためにウシエビと濾過食性二枚貝であるミドリイガイ *Perna viridis* との混合養殖実験を行い物質収支や水質変化についてウシエビの単一種養殖と比較した。

現地調査はタイ中央部の Nakhon Prathom 県 Bang Len にあるウシエビ養殖場で行った。同地域は海岸線から60km程度内陸にあり淡水域であるが、塩田から濃縮された海水を運搬しこれを希釈して用いている。潅漑用水路から導入した共通の貯水池を使用している方形の池（Pond1、面積 6,800m^2）と台形状の池（Pond2、

3,200m²）の2つの池で、1998年1月から5月にかけて凡そ週に1回の頻度で午前10時と午後1時に水温、塩分、pH、DO、濁度等の現場測定及び採水を行い、定法により水質分析を行った。また、種苗投入前と取り上げ直後に池の中央部及び縁辺部でコアにより採泥した。底泥試料及びさらに投与された配合飼料サンプルと取り上げ時のエビを入手し湿重量、乾燥重量を測定した後、試料を粉砕し CN アナライザーで炭素窒素含量を測定した。

養殖開始時の飼育密度はPond1及びPond2がそれぞれ52, 69個体／m²で、種苗投入時には水深約50cm、塩分7及び10であったが、断続的に淡水が添加され取り上げ時には水深130cm、塩分2であった。pHは開始後2カ月から、Pond1の中央部で値が大きく変動するのに対し端部では午前中で7.5～8、午後は約8.5でほぼ一定していた。Pond2では中央部と端部での変化に一定の傾向は見られず、池の構造と水車の配置の差異が現れている。溶存酸素は、午前中は飽和度が90～100%であるのに対し午後は過飽和であった。アンモニア態窒素は開始直後に1mg/l以上の高い値を示したが、その後は概ね0.2mg/l以下で安定していた。植物プランクトンは開始2ヶ月以降高濃度となりChl.*a*は200μg/lを超え、最大500～800μg/lに達していた。Pond1及びPond2におけるエビの生残率はそれぞれ80%と43%、乾重量換算の増肉計数は5.5及び6.7であった。撹拌用水車の作用により糞と残餌とを含む汚泥は中央に集積し表層約10cmが還元状態にあったが、水流の強い池の端部に堆積は見られなかった。還元層に堆積物の見られた面積を乗じて汚泥量を算定し、さらに餌、エビ、底泥サンプルのCN分析値から各要素の炭素と窒素含量を求め、餌の窒素及び炭素量に対する比率を計算した。この結果与えた餌料から炭素で16～19%、窒素で25～30%がエビに転換、底泥にそれぞれ60～72%, 46～54%残留、残りは外囲の環境中に放出・残留されると推定された。また餌のC/N比は5.9、エビは3.7、底泥は7.9～8.3であり、エビが窒素をより選択的に取り込み、結果として炭素が過剰に残留すると考えられる。

混合養殖の現地実験はタイ中央部のPhetchaburi県Baan Laemにあるウシエビ養殖場で行った。同地域はタイ湾奥部のマングローブ域に位置し放棄された養殖場が点在している。実験は面積18～23m²、深さ1.2mのコンクリート水槽6面を用い、2面ずつにウシエビの種苗（成長期P15）を20、30、50個体/m²で収容した。各収容密度に設定した水槽の一方に竹竿に付着させたミドリイガイを約600個体ずつ収容した。実験は1999年5月～9月にかけて行い、終了時まで無換水で飼育し曝気により酸素供給と攪拌を行った。この間凡そ週に1回の頻度で11～13時に主要水質項目の現場測定及び採水を行い、アンモニア態窒素等について定法に従って分析した。終了時にウシエビおよびミドリイガイを回収し湿重量、乾燥重量等を測定した他、排水及び沈積物を回収し全窒素量を分析した。また配合餌料の投与量を記録し、これらのデータから生残率、窒素収支などを算出した。

実験期間中の水温は各水槽とも28～32℃、塩分は2.6～2.9%で推移していた。溶存酸素は概ね過飽和の状態にあり、pHは7.8～8.8の間で変動した。開始40日目以降、収容密度の高い区から順次アンモニア態窒素の急激な増加が見られ、引き続いて亜硝酸、硝酸の増加が見られた。特に亜硝酸は50個体/m²の単一区で50日後、混合区で60日後から約2ヶ月間0.8mg/lと非常に高い濃度が継続し、他も100日以降順次高濃度となり亜硝酸の酸化が不十分である傾向が現れている。ウシエビの生残率は単一区の20、30、50個体/m²でそれぞれ74、70、62%、混合区で68、65、59%と単一区の方がやや高く収容密度が低くなるにつれ上昇する傾向が見られた。ミドリイガイの生残率は20、30、50個体/m²でそれぞれ43、24、0.3%であった。50個体/m²で著しく低いのは収穫前1ヶ月間でエビによる食害が生じたためである。各区における窒素収支は、餌料からエビに転換されたのは、単一区の20、30、50個体/m²でそれぞれ16、23、6%、混合区で21、19、8%であった。同様に排水と沈積物中には単一区でそれぞれ70、67、33%、混合区で56、66、28%であった。20、30個体/m²ではミドリイガイによる吸収は2%程度と見積もられ、空中への蒸散は約10～20%、50個体/m²では60%になると推定される。同水槽中では曝気が十分に行われていたものの亜硝酸が高濃度で推移したことから脱窒等によると推察される。以上

よりウシエビとミドリイガイを混養する際には、ウシエビの収容密度を20個体/m^{2}程度にすれば有機汚泥を軽減させる効果が高いと考えられるが、窒素吸収の面からは多くを期待するのは難しいようである。さらに実用性を検討するために素堀池での混合養殖実験やミドリイガイその他の二枚貝類による有機物の摂取速度についての研究を進めている。

3) 海外エビウイルス病の迅速診断技法の開発

大迫典久

東南アジア地域は世界で有数のエビ養殖が盛んな地域であり、これら養殖産業が地域経済の基盤を為しています。しかしながらが、これらのエビ養殖場ではその規模の拡大に伴なって、著しい被害をもたらすウイルス病が発生し重要な問題となってきています。現在、これらのウイルス病に対しては効果的な治療法がないことから、疾病を防除する為には広域的な防疫対策をとり疾病の蔓延を予防することが必要です。そこで、東南アジア地域に於いてこれらのウイルス病の発生状況を調査するとともに、正確でかつ迅速な疾病の診断方法を開発することを研究の目的としました。まず始めに、エビ養殖業の発展途上にあるマレーシアを対象として各地のエビの養殖場を訪問し養殖環境や実際に発生している疾病について調査しました。主な訪問先はマレーシア国内で特に養殖が盛んなマレーシア半島西海岸のケダ州(スンガイペタニ)、ペラ州(ニボンテバル、タイピン)、及びペナン州(ペナン島、ブキットビンタン)、次いで養殖の盛んなマレーシア半島南端のジョホール州(ジョホールバル、バツパハット)、またこれまでエビウイルス病の非汚染地区とされていたボルネオ島のサラワク州(クチン)です。調査を開始した平成10年では、その前年までのウイルス病被害により多くのエビ養殖場が事業を断念して放置されているか、または海産魚の釣堀に替わっている状況でした。調査が行えた養殖業者は、新しく創業した業者や比較的管理の行き届いた優良な業者が多かったこと、またウイルス病は雨期明けに多く発生し、発生後短期間で養殖エビが死滅してしまうため、調査した時点でウイルス病の発生状況を調べることはなかなか難しい状況でした。野外調査を続けた2年間では、調査が行えたエビウイルス病の発生事例は、ペナン州及びペラ州で発生したウシエビのホワイトスポット症候群(VSS)ウイルス感染症の2例でした。これらの発生時例では、飼育池の供給水が塩素ガス消毒されており、近くには他のエビ養殖場が無く、また罹病エビは孵化場から移入後約30日のものであったこと等から、ウイルスの感染経路が孵化場から移入された稚エビと推察されました。また、過密養殖や雨による塩分濃度の急変も疾病発生の引き金になったと考えられました。なお、サラワク州では調査時にウイルス病の発生が認められませんでしたが、送付された試料を検査した結果WSSウイルス感染症の発生が確認され、ボルネオ島におけるウイルス汚染を初めて明らかにしました。

つぎに、診断法の開発については、現在エビウイルス病の診断方法としてPCR法が一般的に行われています。しかし、この方法は多額の検査費用が掛かかり、特定の装置や技術が必要な上、検査に時間が掛かる等の問題点が上げられます。そこで、経費が掛からず現場での応用が可能な正確かつ迅速診断法として、病原ウイルスに対する単クローン抗体を用いた血清学的診断法の開発について検討しました。その手法は、まず野外調査で採集したWSSウイルス感染症の罹病エビを用いて、これの磨砕濾過液を健康エビに接種してウイルスを生体内で増殖させ、血リンパ中に出現した大量のウイルスを回収した後、遠心濃縮します。ついでこの濃縮ウイルス液を免疫抗原としてマウスに接種し、充分マウスが免役された後に脾臓を摘出して、その脾細胞とあらかじめ培養してあったミエローマ細胞との細胞融合を行ないます。こうして融合した細胞は限界希釈して個々に分散させて培養し、コロニー(集団)を形成したそれぞれの細胞融合株について抗体産生の有無を調べてウイルスを特異的に認識する抗体を産生する細胞株をスクリーニング(選別)

します。そしてスクリーニングした細胞株を培養して抗体を産生させることにより単クローン抗体を作成します。なお、融合細胞の抗体産生の有無については罹病エビを抗原とした間接蛍光抗体法により調べました。その結果、エビへの感染試験では、ウイルスを多量に含む血リンパ約 200ml を回収し、低速遠心により約1/10量まで濃縮しました。これらを抗原として3尾のマウスに接種して4週間免役し、脾細胞とミエローマ細胞との細胞融合を行ない、融合細胞を14枚の96穴マイクロタイタープレートに撒き込みました。そのうちの90%以上のウェルと非常に高率な割合で融合した細胞のコロニーが形成されました。これらのコロニーに対して抗体産生の有無を調べた結果、約100株ほどの細胞融合株が罹病エビ抗原を認識する抗体を産生していたましたが、これらの多くはウイルスではなくエビの体成分を認識していると考えられます。しかし現在、これらの株からウイルスに特異的に反応する抗体を産生している細胞株を数株得られました。今後はさらにウイルスを特異的に認識している細胞株を選抜して行くと共に、得られた単クローン抗体についてウイエスタンブロッティング法によるウイルス抗原の認識部位の確認、他の地域で発生しているＷＳＳウイルス株との反応性についても検討してゆきます。こうして、単クローン抗体を用いた血清学的診断法を現場での応用可能な迅速診断技術としたいと考えています。

4）分子生物学的手法による淡水エビ類の生殖機構の解明

マーシー・ワイルダー

東南アジア全体では淡水エビの養殖が広く行われており、重要な産業となっている。対象種はほとんどの場合、大型のオニテナガエビ（学名：*Macrobrachium rosenbergii*）である。淡水エビ類の生殖機構について不明な点が多く、人工的な環境下で親エビの成熟を制御し、種苗生産を行うことがまだ困難であるため、多くの場合、天然由来の親エビに頼らざるを得ず、天然資源の乱獲にもつながっている。

現在、国際農林水産業研究センターでは、メコンデルタにおいてファーミングシステム（農業、畜産業、林業、水産業が一体となった生物生産システム）の向上を目指した新技術開発の国際総合プロジェクトを実施している。このプロジェクトの第1フェーズは1994年より開始し、1999年に終了した。現在引き続き、第2フェーズを1999～2004年の間、実施しているところである。水産分野においては、ベトナムのカントー大学農科大学と共同して淡水エビ養殖と稲作とを一体化した生産システムを発展させるための基礎および応用的研究を行っている。

メコンデルタにおいてはオニテナガエビは高価なため、その養殖が低所得農家の生活水準の向上につながるものと考えており、ベトナム政府は、淡水エビ－稲作ファーミングシステムの普及を進めている。しかし、農家に稚エビを安定的に供給することが困難であるため、大きな壁に直面している。その背景には、国立ふ化場が全国5カ所にあるものの、ふ化場における成熟制御および人工種苗生産が順調に進んでいないことがあげられる。そのため、天然由来の稚エビに頼らざるを得ない場合が多いが、近年その資源が不足してきているため、ふ化場の業務が停止する場合も生じてきたので安定的な種苗生産技術を確立するためにベトナムで現場に即した試験を実施しながら、水産部で淡水エビ類の生殖機構を解明するための基礎研究を行っている。

エビ、カニ、ロブスターを含む十脚類の甲殻類では、成熟過程と脱皮過程には相関があり、双方とも内分泌要因および環境要因によって調節されている。エビの眼柄から卵黄形成抑制ホルモン（vitellogenesis inhibiting hormone: VIH）が分泌され、卵黄タンパク質を合成する組織に作用している。しかし、これまで合成部位が未確定で、肝膵臓、皮下組織、卵巣等を含め様々な組織で生産されると考えられている。また、脳または胸部神経節に促進因子が存在するという仮説が提唱されているが、その生化学的性質はまだ明らかではない。

我々は環境・栄養条件の調節により、人工的にエビの成熟を制御することが可能であると

考えている。このためには、分子レベルでこれらの生殖機構を明らかにする必要がある。水産部では、エビの生殖機構を解明する一つのカギとして、オニテナガエビの卵黄タンパク質の生化学的同定、遺伝子レベルでの構造解析および産生組織の同定を行っている。

まず卵黄タンパク質の構造を明らかにするため、卵黄タンパク質を多く含んだ成熟した雌オニテナガエビの卵巣を材料として、尿素を含むトリス緩衝液で卵黄タンパク質を抽出し、逆相 HPLC で精製した。これにより卵巣に 4 種の卵黄タンパク質（A、B、C および D）が存在していることが明らかとなった。これらのアミノ酸配列を分析して、それぞれの卵黄タンパク質について N 末端から 33 残基以上のアミノ酸配列を決定した。次にこれら 4 種の卵黄タンパク質を lysyl endopeptidase で消化し、得られた断片のアミノ酸配列を決定し（図 1）、卵黄タンパク質の一次構造に関するさらなる情報を得た。この結果により、卵黄タンパク質 A と B は構造上共通する部分をもたないが、C と D は共通する部分をもつことが明らかになった。

```
                10        20        30        40
A-N: APWPSGTNL?SKE?PVAGSPKLFYAAAEK??YSY?TG
A-19: RTPARQIWEDDK
A-28: YVEAHQESVLRFQSETDQIPPSVSQL
A-38: MESLFLDGLAFVYESGAVK


B-N: SIDLRQISH?FDKLYENRHMQKADIYARIN?Q?MAFGS?G?NMKN
B-26: RTPARQFWEDSIERPVAGSPI
B-42: LEDISTWFVGRNSLMLEVTNPSQQMYK
B-44: SIDWHQLTHLFVIQGNATYLFYLSQ


C-N: RREEQKVTGTVELDIFLRPEDKITGRLEILIYARNTVI?EAKL?GK
C-33: KPRHLVNWIVSDMNIE?MVF?GVDD
C-36: STVGDMLERLMSSAGNWMDSMSSEVLQEGSG?PSG


D-N: RREEQKVTGTVELDIFLRPEDKITGRLEILIYA
D-18: THSLVMQNQQPGHLPHFILK
D-31: DSRTASVEVSGWTFGRIAGLLGTYDG
D-38: ALFLPVQIDGSYFELQLPVRRPVQSLPQALYYVSLNPTPVVD
```

図 1　卵黄タンパク質の N 末端アミノ酸配列（A-N、B-N、C-N、D-N）およびそれらの内部のアミノ酸配列（A-19、28、29;B-26、42、44;C-33、36;D-18、31、38）。

また、卵黄タンパク質の産生組織と考えられる肝膵臓から全 RNA を抽出し、逆転写反応を行って、cDNA を合成した。この cDNA を鋳型にして、PCR 法による cDNA クローニングを行い、さらにこれらの 4 種の卵黄タンパク質をコードするそれぞれの cDNA 断片をプローブとして Northern hybridization を行って卵黄成熟期の雌エビの各組織（肝膵臓、卵巣、皮下組織、鰓、筋肉）における遺伝子発現を調べた。その結果、これらの4種の卵黄タンパク質をコードするmRNA は全て約 7Kb であり、卵黄形成期に肝膵臓のみに発現していることが明らかとなった（図 2）。

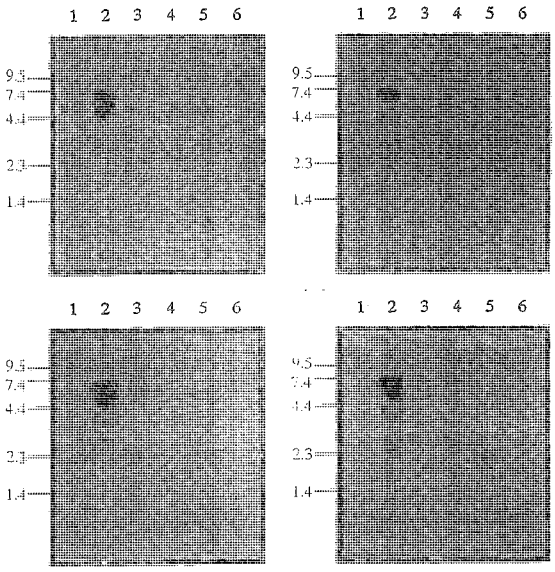


図2　Northern hybridization による卵黄タンパク質遺伝子の発現。
1）卵巣；2）雌膵臓；3）皮下組織；4）鰓；5）筋肉；6）雄肝膵臓

現在、卵黄タンパク質の一次構造を解明し、さらに卵黄タンパク質前駆物質のプロセッシングや組織間の輸送を調べているところである。前者に関しては、肝膵臓から cDNA ライブラリーを作製し、既に得られている4つのcDNA断片をプローブとして用いて現在スクリーニングを行っているところである。後者に関しては、今後卵黄タンパク質の合成経路およびその輸送機構を全て明らかにする予定である。

本研究により、オニテナガエビの生殖機構が明らかになりつつあり、この結果は単なる基礎研究にとどまらず、養殖現場およびふ化場において、成熟制御などに応用が可能になると考えている。今後、メコンデルタにおける特有の環境条件とオニテナガエビの基本生殖メカニズムとの関係をよく理解した上で、人工的な環境においても、栄養状態や環境条件を調整することにより、効率的かつ安定的にエビの成熟を誘発させうるようなシステムを確立することを目指している。

5）中国における淡水漁業資源有効利用技術共同研究　ー淡水魚すり身の開発ー

福田　裕（現：養殖研究所）

背景と目的

1）巨大な中国の淡水漁業資源

中国の淡水漁業生産量は 1998 年には 1,550 万トンを記録し、半世紀の間に 15 倍となったが、改革解放政策後の伸びが特に大きい。この 10 年間に中国の動物タンパク質資源の中で水産物が最速の成長を遂げてきたが、その原動力は淡水漁業資源の急増にある。中でも養殖漁業生産量が 88%を占めていることに注目しなければならない。FAO では、中国での実績を根拠に、2010 年の世界総漁獲予測量 1 億 2,000 万トンの 25%を淡水魚が占めるだろう試算している。海面での生産量が限界に達したと言われる現在、淡水養殖業の重要性が注目されており、南米、東南アジア、アフリカ等への波及効果も期待される。

2）食糧安定供給への役割

今のところ中国では魚類摂取量は飽和状態には遠いが、魚類は中国人に最も好まれる食材の一つであり、今後日本とよく似た需給動向を辿ることが予想される。日本では水産物は食の多様化高級化への寄与が大きいが、中国でも最近中高所得層での魚類に対する需要圧力が強まっており、将来は世界の水産資源の分配を日本と競合することが懸念される。中国淡水漁業資源の利用技術開発への国際協力は、中国のみ

ならず日本への水産物の安定供給に連動する重要な事業である。

3)　ポストハーベストに問題がある

現実には中国の淡水魚の流通は殆どが活魚輸送に依存しており、鮮魚や冷凍での流通貯蔵はきわめて少なく、また加工品も皆無であり、海産魚のように多様で高度な利用が阻まれている。淡水魚の需要も供給も依然として右肩上がりであるものの、大量生産されるハクレンなどは地域や時期によってはポストハーベストロスが現れ始めている。ポストハーベストに大きな陥穽があると指摘できる。従って淡水漁業資源の流通と利用加工に関わる技術開発は、貴重な動物タンパク質資源の効率的な利用を促すと同時に、翻って淡水漁業資源の安定生産を保証するためにも緊急の課題である。

4)　有効利用のための研究戦略

以上の現状分析から、研究の戦略として、(a) 中間素材の開発と (b) ゼロエミッションへの挑戦の２本の旗を立てた。まず、中間素材として、第一の研究目標を冷凍すり身の開発に絞って研究を進めてきた。冷凍すり身は広域流通と安定貯蔵を可能にし同時に多様な製品作りも達成できるので、淡水魚の流通加工の隘路を打破できることに魅力がある。近年の中国沿海都市部の低温流通システムは急速に普及しているので、冷凍型中間素材の流通は可能性がでてきた。もちろん常温流通型中間素材開発の必要性は高いので並行的に進めている。なお、ゼロエミッションへの挑戦は、淡水漁業資源の未低利用部分を利用して天然調味料、餌肥料、機能成分の開発を目的とし、一部はすでに研究を開始している。

研究成果

1)　淡水魚すり身の品質調査

４年間の共同研究では、中国淡水魚生産量の80％以上に相当する7魚種淡水魚すり身の品質評価を完了した。その結果、淡水魚も海産魚と同じようにすり身のゲル特性は魚種によって異なり、二つのグループに分類できた。一つはスケトウダラと似たグループで、中温（60 ℃付近）加熱でゲル崩壊（火戻りと言う）が起こるので、この温度帯を避けて加熱しなければならないが、40 ℃以下と高温（85 ℃付近）を組み合わせる二段加熱法で強い弾力が期待できるグループである。ハクレン、コクレン、タントウホウがこれに該当した。もう一つは 40 ℃以下の加熱でゲル化（坐りと言う）しないので二段加熱効果は期待できないが、火戻りが起きにくいので広い温度域でゲル化が可能で、そのうえ高温長時間加熱でもゲルの劣化が起こりにくいグループである。テラピア、草魚、コイがこれに該当した。

これらを総合的に評価すると、テラピア、草魚、ハクレン、コクレンがすり身原料として利用可能と判断された。特にテラピアすり身の品質は非常に優れており、ゲル特性は異なるが今日世界のすり身生産量の 60％以上を占めているスケトウダラすり身の品質に近いものであることが証明された（表 1）。なお、テラピアの場合は原料コストの問題を解決しなければならないであろう。

2)　すり身原料としての鮮度限界

魚類は他の動植物に比べて、死後の成分変化が大きく食品学的品質低下が激しい。そこで淡水魚すり身の鮮度限界を明らかにするため、ハクレンを氷蔵し人為的に鮮度を落としながら製造したすり身のゲル形成能力の変化を調べた。ハクレンすり身のゲル形成能は鮮度低下につれてやはり低下したが、9 日後でも内臓はやや腐敗の兆候を呈してしていたもののすり身はカマボコ型ゲルとなり、かなり鮮度低下した原料でもすり身に利用できることが確認された。なお、鮮度低下につれて坐り能力の低下はあまり大きくなかったが、火戻りが大きく起こりやすくなる傾向が認められたので、鮮度低下した原料から製造したすり身ではこの点に注意した加熱法が要求される。

3)　すり身製造技術の改良

すり身は、一般に魚肉を水で洗浄して水溶性タンパク質等を取り除き、筋原繊維タンパク質を濃縮したものである。おのずと肉利用効率は低くなる。この点を改善するためフィレーの状態で洗浄し、水溶性タンパク質の流失を防止した改良型すり身の品質を検討した。ハクレンすり身をこの方法で製造すると歩留まりが従来法の 15％から 26％（この数値は超小型試験器

のデータ、実生産ではもっと高くなる）まで向上した。面白いことに、改良型すり身のゲル物性は破断強度がやや低下するものの、しなやかさはむしろ向上するので、この方法の実用性は結構高いことが確認された。なお、この様にして製造したすり身では、理由は明らかでないが従来法に比べて中温加熱でのミオシン重鎖の分解が遅く、火戻りが起こりにくくなる利点も発見した。この発見が、海産すり身の品質改良にフィードバックできたら望外の喜びである。

4） すり身ゲル物性の改良技術

中国淡水魚すり身の弱点は、坐り能力が低いことにある。低温度でタンパク質分子間に架橋を起こす酵素トランンスグルタミナーゼの効果について調べた。一般にトランスグルタミナーゼは魚種選択性があるが、坐り能力を少し有するハクレンはもとより元来坐り能力を全く有しない草魚でも明確な感受性を示し、強い坐りゲルを形成した。魚肉が自然に有する能力を補うために架橋酵素製剤の利用は有効である。

塩摺りしたすり身に交流電流を流すと抵抗熱で瞬時にしかも均一に加熱できる。これを通電加熱と言う。通電加熱による淡水魚すり身のゲル化効果を調べた。ハクレン、コクレンのように火戻りを起こすすり身の場合は、通電加熱では危険な温度帯を瞬時に突き抜けることができるので、温湯や蒸気等の加熱法より弾力の優れたゲルを形成し、この技術の有効性が証明できた。

5） 大豆タンパク質を利用したすり身加工食品の開発

食糧資源を有効に利用するために、異なる成分間で相互に置き換えが出来る互換性ある加工技術の開発が求められている。中国の主要食糧資源の淡水魚タンパク質と大豆タンパク質を利用した魚肉豆腐の開発を行った。ハクレンすり身の二段加熱効果と吉林省で製造された粉末分離大豆タンパク質の油脂乳化能を効果的に組み合わせて製造したところ、ソフトなテクスチャーと淡水魚の独特の臭みがマスキングされた魚肉豆腐様食品ができあがり、中国の人々から好評を得ることができた。

6） 淡水魚冷凍すり身の凍結変性防止機構の解明

淡水魚すり身の凍結変性防止機構について、筋原繊維タンパク質の示す生化学特性を指標に検討した。その結果、すり身に対して糖類を8％以上混合すると、凍結速度の遅速に関わらず、-20 ℃以下の貯蔵温度ですり身の筋原繊維フィラメント構造およびその主要構成タンパク質のミオシン、アクチンの構造はほぼ完全に保存できることを明らかにした。-10 ℃貯蔵温度ではミオシンの尾部に僅かに損傷が示唆されるくらいでその他はあまり大きな変性が生じていなかった。従って -20 ℃貯蔵であれば長期間でもすり身の品質に影響は全く考えられなし、-10 ℃貯蔵でも費用対効果からみて短期貯蔵であれば問題は非常に小さいと思われた。

7） その他の研究成果

淡水魚の流通貯蔵中の脂質成分の変化と制御技術、淡水魚から魚醤油の開発、魚肉の接着技術、魚肉低温簡易乾燥技術等について成果をあげている。

研究成果の産業化展望

以上の通り研究データを蓄積できたが、この成果を産業化に結びつけなければ意味がない。全国的な低温流通網の未整備など大きな問題があるが、今それ以上に必要なことは、中国の人々にすり身加工食品を知って頂くことが先決との結論に達し、2000 年 3 月 3 日に上海市のレストランで淡水魚すり身の料理と加工品の試食をテーマに第3回日中共同ワークショップを開催した。中国料理の鉄人が試作した 8 品の料理（写真 1）と日本を代表するメーカが試作した 10 品の練り製品（写真 2）を参加した食品業界、行政関係者、研究者が試食し高い評価を得ることが出来た。これは産業化への第一歩である。様々な加工食品の開発、流通問題の現実的解決、淡水魚に適したすり身および練り製品製造装置の開発、養殖場立地型加工工場の建設等生産構造の改革、加工に適した淡水魚を開発するための生物工学的研究など、更なる挑戦が必要とされている。

章末カラーグラビア

表 1　中国淡水魚のすり身化適性

写真 1　中華料理の鉄人が試作したすり身料理の一部

写真 2　日本の代表的メーカーが試作した練り製品の一部

(8) 沖縄支所

1) 熱帯・亜熱帯地方に発生するウイルス性病害の診断マニュアルの作成

野田千代一

はじめに

熱帯・亜熱帯地域は一年を通して伝染源となる植物が繁茂することから、周年病害虫の脅威にさらされており、作物保護研究室はこの気候域に発生する病害虫の発生生態の解明と防除法の開発を行っている。病害分野ではウイルス病及びそれに類するものを対象としているが、これらは一度感染すると治療がほとんど不可能な病害であるために全世界で大きな農業生産阻害要因となっている。ウイルス性病害の拡大を抑える最も有効な方法は、感染個体の早期発見・早期抜き取りと、媒介昆虫の防除であるが、そのためには、まず発生生態の解明と病原体の正確な診断を行う必要がある。われわれは、抗血清を利用した、扱いが容易な「熱帯・亜熱帯地方に発生するウイルス性病害の診断マニュアル」を作成する目的で、病原体の分離・同定および抗血清の作製を行っている。

亜熱帯地方で発生するウイルス性病害

「熱帯・亜熱帯植物に発生するウイルス病の農作物への影響」という研究課題で、沖縄県全域を対象として、栽培、非栽培にかかわらず植物全般に発生するウイルス病を分離し、それらの農作物に与える影響を調査している。亜熱帯気候域の拡大が進む現在、本土への移動が予想される当地の病害の把握は不可欠と考える。調査の結果、ハイビスカスからハイビスカス黄斑ウイルス（HYMV）とハイビスカス退緑斑ウイルス（HCRSV）、フサナリツルナスビからジャガイモ Y ウイルス（PVY）、タバコからタバコ脈緑モザイクウイルス（TVBMV）、アワユキセンダングサからレタスモザイクウイルス（LMV）とビデンスモットルウイルス（BiMoV）、ホウライカガミからキュウリモザイクウイルス（CMV）と未知の potyvirus（分離株 PL1）、キク科雑草から未知の geminivirus（分離株 Agr1、未発表）を見いだし、農作物に対する影響を評価した（表 1）[1]。そのなかにはわが国で初めて発見されたもの（BiMoV,Agr1）やわが国では沖縄県特有のもの（TVBMV）など、本土で報告のないものが含まれる。ウイルス病以外にも、沖縄県で発生が確認されたカンキツグリーニング病（GO）を沖縄県農業試験場から分譲され、研究対象に加えた。ほとんどの病原体については、分離後抗血清を作製済みか作製中であり、診断マニュアルを作成中である。実験的には作物への感染が成立するにも関わらず、実際の被害が少ない病害も含まれるが、それらの勢力が今後拡大する可能性は否定できない。

熱帯地方で発生するウイルス性病害

熱帯地方に発生するもののわが国で報告のないウイルスのうち、タバコエッチウイルス（TEV）、チリヴェイナルモットルウイルス（CVMV）、オクラモザイクウイルス（OMV）、オクライエローヴェインモザイクウイルス（OYVMV）、ペッパーモットルウイルス（PeMV）、BiMoV、ビデンスモザイクウイルス（BiMV）については植物防疫所に申請し、輸入の特別許可を得た。現在は、それらを陽性抗原として、沖縄県での熱帯性ウイルス病の発生調査に利用しているが、将来は抗体作製用の抗原としての活用を計画している。今までの調査で、わが国での発生を確認したのは、幸いにして BiMoV のみであるが、他のウイルスの侵入に備えるために継続調査を行っている。輸入許可を得たウイルスのうち、TEV、CVMV、PeMV については分譲あるいは購入した抗血清を利用して、検出条件を決定済みである。

抗血清による診断

抗血清はポリクローナル抗体とモノクローナル抗体の 2 種類を使用する。診断方法は改良した DIBA 法（Dot Immuno-Binding Assay）を採用したが、本法は簡単で、試薬のほかには特殊な機器は一切不要であり、100 サンプルでは 2 時間以内で結果が出る。本法は 1 次抗体以外はすべて市販の試薬を使用し、抗血清を含め、試薬の使用量は一般的に用いられる ELISA

(Enzyme Linked Immunosorbent Assay) 法に比べて、10 分の 1 以下である。抗血清は多くの場合、非特異反応を抑さえるために前処理が必要となるが、われわれが作製した抗血清については検出条件を決定済みで、配布可能である(表2)。例えばジャガイモ Y ウイルス(PVY)は 1 次抗体の濃度は 5μg/1ml、2 次抗体は 2,000 倍希釈で他のウイルスから区別して検出でき、1次抗体はマニュアルに添付して配布する用意がある。

ウイルス性病害検定マニュアル

検定マニュアルは、ウイルス病ひとつにつき A4 紙 1 枚の裏表を使い、検出条件、病徴写真、粒子写真、伝染経路、媒介虫、感染源雑草名、種子伝染、間違いやすいウイルス等の情報を載せる。各マニュアルにはウイルスごとに調整した 1 次抗体を添付するが、その他の必要な試薬も濃縮あるいは凍結乾燥の形でセットする案もあり、検討中である[2)]。

おわりに

熱帯・亜熱帯地域の農業生産性低下の原因のひとつが病害の周年発生であるのは明らかであるが、その被害を拡大させるのは、正確な診断のための人材・資材の不足であろう。特に、誤った診断により無用な農薬が多量に施用される傾向にある熱帯地域において、調整済み抗血清付きの診断マニュアルが完成すれば、専門外の長期・短期在外研究員あるいは現地の普及職員でも種々のウイルス病をほぼ正確に診断することができ、正しい防除法の選択につながると期待される。本研究は、対象が特定の国に限定されず、国際農林水産業研究センターで実施中のどのプロジェクト研究に対しても必要に応じて対応可能であり、熱帯・亜熱帯において減農薬という環境保全型農業の展開にも貢献するものと考える。

文献

1) 野田千代一　花卉病害診断防除編，農産漁村文化協会，第 7 巻 .pp91-96 (2000)
ほか講演要旨 7 点。

2) 野田千代一・眞岡哲夫　日本熱帯農業学会第 87 回講演会　44:77-78 (2000)

表 1　沖縄県で分離したウイルス性病害と当地での農作物への影響 (1999 年現在)

病原名	分離植物	病徴	被害作物	影響評価	備考
HYMV	ﾊｲﾋﾞｽｶｽ	微斑	ｵｸﾗ、ﾑｸｹﾞ	少ない	農家ｵｸﾗに影響なし
HCRSV	ﾊｲﾋﾞｽｶｽ	退緑斑	ｵｸﾗ	少ない	農家ｵｸﾗに影響なし
PVY	ﾌｻﾅﾘﾂﾙﾅｽﾋﾞ	えそﾓｻﾞｲｸ	ﾀﾊﾞｺ、ｼﾞｬｶﾞｲﾓ、ﾄﾏﾄ	大きい	ﾌｻﾅﾘﾂﾙﾅｽﾋﾞが感染源
TVBMV	ﾀﾊﾞｺ	微斑	ﾀﾊﾞｺ	少ない	台湾では大問題
LMV	ｾﾝﾀﾞﾝｸﾞｻ	ﾓｻﾞｲｸ	ﾚﾀｽ	大きい	ﾚﾀｽにのみ被害
BiMoV	ｾﾝﾀﾞﾝｸﾞｻ	ﾓｻﾞｲｸ	ﾚﾀｽ	大きい	様々な植物に被害
CMV	ﾎｳﾗｲｶｶﾞﾐ	ﾓｻﾞｲｸ	ﾀﾊﾞｺ、ﾆﾁﾆﾁｿｳほか	少ない	熱帯では大問題
PL1	ﾎｳﾗｲｶｶﾞﾐ	えそﾓｻﾞｲｸ	ﾍﾟﾁｭﾆｱ	少ない	未同定
Agr1	ｶｯｺｳｱｻﾞﾐ	葉脈黄化	不明	不明	未同定，宿主範囲広い
GO	ｶﾝｷﾂ	黄化	ｶﾝｷﾂのみ	大きい	細菌様微生物

注　GO 以外はすべてウイルス病。HYMV: ハイビスカス黄斑ウイルス、HCRSV: ハイビスカス退緑斑ウイルス、PVY: ジャガイモ Y ウイルス、TVBMV: タバコ脈緑モザイクウイルス、LMV: レタスモザイクウイルス、BiMoV:bidens mottle potyvirus、CMV: キュウリモザイクウイルス、PL1: ホウライカガミのウイルス病、Agr1: カッコウアザミのウイルス病、GO: カンキツグリーニング病

表2　ウイルス検定マニュアル資料（1999年現在）

ウイルス名	主な発生植物	血清の由来	1次抗体	2次抗体濃	我国の発生	配布
HYMV	ﾊｲﾋﾞｽｶｽ、ﾑｸｹﾞ	ウサギで作製	2μg/ml	2,000倍希釈	あり（沖縄）	可
HCRSV	ﾊｲﾋﾞｽｶｽ	ウサギで作製	4μg/ml	2,000倍希釈	あり（沖縄）	可
PeMV	ﾄｳｶﾞﾗｼ	分譲	5μg/ml	2,000倍希釈	なし	準備中
TEV	ﾄｳｶﾞﾗｼ、ﾀﾊﾞｺ	ＡＴＣＣ	3μg/ml	2,000倍希釈	なし	準備中
CVMV	ﾄｳｶﾞﾗｼ	分譲	5μg/ml	2,000倍希釈	なし	準備中
CMV	非常に多数	植防	4μg/ml	2,000倍希釈	あり	可
TMV	ﾄｳｶﾞﾗｼ、ﾀﾊﾞｺ	植防	4μg/ml	2,000倍希釈	あり	可
PVY	ﾄｳｶﾞﾗｼ、ﾀﾊﾞｺ	ウサギで作製	2μg/ml	2,000倍希釈	あり	可
TVBMV	ﾀﾊﾞｺ	ウサギで作製	2μg/ml	2,000倍希釈	あり（沖縄）	可
TuMV	ﾀﾞｲｺﾝ	植防	2μg/ml	2,000倍希釈	あり	可
LMV	ﾚﾀｽ	ＡＴＣＣ	4μg/ml	2,000倍希釈	あり	準備中
BiMoV	ﾚﾀｽ	ウサギで作製	2μg/ml	2,000倍希釈	あり（沖縄）	可
TSWV	ﾀﾊﾞｺ他多数	ＡＴＣＣ	4μg/ml	2,000倍希釈	あり	準備中

注　PeMV：pepper mottle virus、TEV：tobacco etch virus、CVMV：chilli veinal mottle virus、TSWV：トマト黄化えそウイルス

(2) パインアップル畑における侵食とその軽減対策

地力維持研　坂西研二

はじめに

沖縄本島北部の河口海域には，1970年から84年にかけて集中的に行われた道路建設，農地造成等が原因となって，豪雨のたびに赤土が流出し，その赤土は礁嶺によって外洋から隔てられた礁池内に滞留し，サンゴを死滅させるに至っている。同時期に石垣島でも2基のダム建設を含むかんがい排水事業と圃場整備事業が集中した。この大規模な土木工事に伴い，宮良川や轟川の河口海域には，豪雨のたびに濁流が押し寄せ，サンゴ礁を赤く染めるようになった。その土地改良事業も平成5年に終了し，赤土流出の峠は既に超えている。今後は，作物栽培やその農作業に伴って引き起こされる土壌侵食の軽減対策に力点を置く必要がある。石垣島の主要作物はサトウキビ，パインアップル，水稲，牧草などであるが，耕地面積の約2割を占めるサトウキビ，1割弱を占めるパインアップル畑の土壌侵食が問題となっている。

パインアップル畑の土壌侵食の実態

石垣島では，斜面長20～150m，傾斜角0～8度のパインアップル畑に年平均2,100㎜の雨が降る。梅雨末期や台風時に降る雨は強く，年に数回は日雨量が100～400㎜に達する。この時期に道路は排水路に変貌する。パインアップルは酸性を好むので，沖縄に広く分布する赤黄色土（国頭マージ土壌）に栽培されている。日本の代表的な畑土壌の黒ボク土と比べて，国頭マージ土壌は分散率が高く土壌構造の発達が弱いので，土壌侵食を受けやすい。石垣島では，夏にパインアップルを定植し，2年目の夏と3年目の秋に果実を収穫したのち，4年目に更新するという栽培法が広く行われている（夏植え栽培）。パインアップルの古株を鋤込み，砕土したあと，裸地のまま放置していることが多い。

農家のパインアップル畑を子細に観察すると，肥料・農薬の搬入や果実の搬出のために圃

場内に設けられた作業道路が豪雨時に排水路になる。すなわち，作業道路に沿って土壌侵食が起こると考えられた。そこで，光波式測量機械を用いて，パインアップル定植後1年間における土壌侵食の発生実態を調べた。その結果，圃場内の作業道路に沿い，斜面下方に向かって侵食が進行することを明らかにした（図1）[1]。

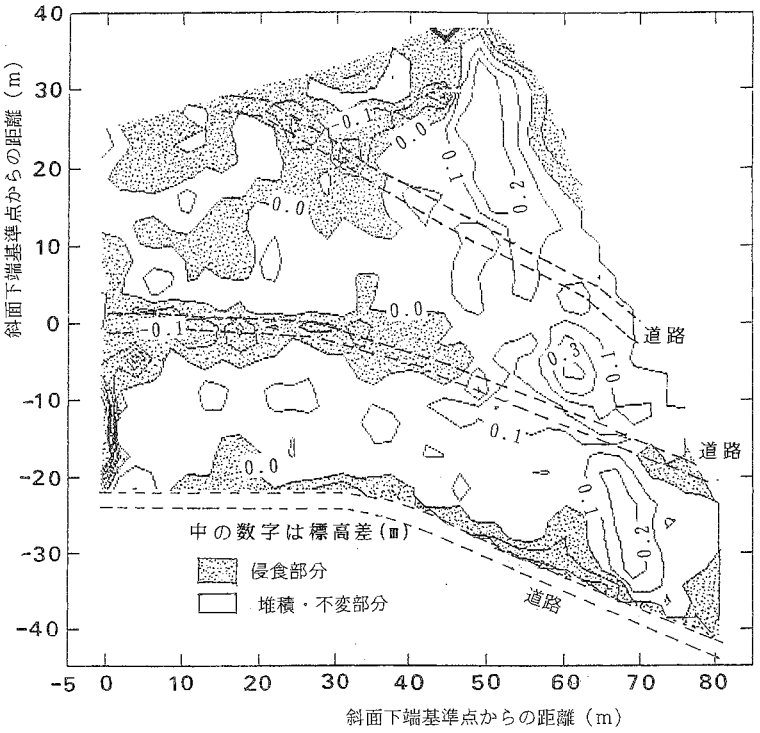


図1　光波式測量機械を用いた土壌浸食の実態調査
（1993～94年）

土壌浸食防止技術

土壌侵食防止技術を大別すると，侵食防止農法と防止工法がある。前者は，圃場面での耕耘作業や栽培方法に関係し，不耕起栽培，ミニマムティレッジ，等高線栽培，植（草）生帯，心土耕・浅耕，マルチング（有機物残渣），堆肥・有機物施用等の防止技術である。その効果は，表面を被覆することにより雨滴の衝撃の軽減，雨水の浸透能の維持，表面抵抗性の増大にあり，土壌改良の面からは団粒構造の安定化，分散性の低減，粗間隙や亀裂による浸透促進の効果が見られる。後者は，土木的な造成や構造物によるもので，短斜面長，緩勾配，テラス，畦畔，植生帯であり，表面流出制御のため承水路，排水路，沈砂池，暗渠である。以下，侵食軽減農法について実証試験による効果を数値で示した。

1）有機物マルチの防止効果

各種の有機物マルチを施した区におけるパインアップル定植後1年間の土壌流亡量（0.01～0.09kg/m^2）は，対照区の土壌流亡量（4.94/m^2）の約1/100であった。なお，厚さ約10㎝を目途に有機物マルチを施したが，ピジョンピー，クロタラリアおよびネピアグラスの乾燥重量は，それぞれ約4.8，6.3および3.5kg/m^{2}であった。これは，それぞれの収量の約4.9，9.5および5.6倍であった[2]。

2）斜面下端の植被効果

斜面下端にウィーピング・ラブグラスを栽培した区におけるパインアップル定植後1年間の土壌流亡量（0.07kg/m^2）は，対照区の土壌流亡量（7.48kg/m^2）の約1/100以下であった（図2）。アラキス・ピントイはウィーピング・ラブグラス以上に効果があったが，匍匐性があるために隣接するパインアップルの生長を阻害した[3]。

3) 不耕起栽培の効果

不耕起栽培区における定植後8ヵ月間の土壌流亡量（0.07kg/m²）は，対照区の土壌流亡量（1.01kg/m²）の約 1/14 以下であった。また，1994 年に台風 29 号によって総雨量 228mm の雨が降ったとき，不耕起栽培区における表面流去水の流出量は緑肥鋤込（マメ科作物：ピジョンピー）区の約 1/3 であった[4]。

1994 年に対照，不耕起栽培，緑肥鋤込み，有機物マルチの各処理区に定植したパインアップルから1996年には果実を収穫するに至った。各処理区よりそれぞれ約100個体を採取して生重（冠芽を除く）を測定したのち，約 30 個体の品質を調査した。その統計処理による結果，各処理区の間で生重・糖度の平均値は等しいと判断された。

パインアップル新農法による侵食軽減

農家のパインアップル畑を観察してみると，栽培期間中よりもそれ以前の圃場管理に問題のあることが多い。前項において述べたようにパインアップル畑は更新の時期に裸地状態で放置される場合が多い。そこに，梅雨末期や台風期の豪雨が降ると，大規模なガリ侵食が起こりやすい。裸地状態を回避するには古株の鋤込み・砕土のあと直ちに緑肥作物を栽培するのが良い。したがって，パインアップルの夏植え栽培に適した土壌侵食の軽減対策として緑肥作物の残渣・刈り株を残したままパインアップルを不耕起定植する方法と，斜面下端への植被を組み合わせることにした。4 月に耕起した斜面の下端にウィーピング・ラブグラスを，畑面にピジョンピーを栽培したのち，8 月にピジョンピーを刈り倒し，9 月にパインアップルを不耕起定植する新農法を組み立てた（表 1）[5]。

慣行の施肥により不耕起栽培したパインアップルの初期生長は，対照区に比べてやや劣る。その原因として，1) 作土が堅く締まっているために根の伸長が妨げられること，2) 土壌表面・作土層に残されたピジョンピーの残渣・刈り株が分解する過程で，窒素飢餓が起こることなどが考えられる。しかしながら，苗の定植から果実の収穫までに要する約 2 年の間に慣行の施肥によってもパインアップルの生長はほぼ回復した。なお，緑肥鋤込み区におけるパインアップルの初期生長は対照区と同等であったので窒素飢餓の可能性は低いと思われる。

慣行の栽培法に比べて不耕起栽培では雑草の制御が大きな問題であるといわれている。その対策として，ピジョンピーを刈り倒した直後，すなわちパインアップルの定植 1ヵ月前にグリホサート剤またはグルホシネート剤を定植 1ヵ月後に DCMU 剤を散布することにより，定植後の数ヵ月に渡って雑草を抑制することができた。

4) おわりに

最後に我々の組み立てた新農法を普及する場合，農家にとって次の利点と欠点がある。

利点：1) 表土・肥料の流亡を防ぐことができる。2) パインアップルの苗が土に埋まりにくい。3) 慣行法に比べて雑草が生えにくい。すなわち，新農法では表土が流れにくく，パインアップルの苗が土に埋まりにくいため，農家は苗を植え直す手間が省ける。

欠点：1) 新たに緑肥作物および牧草の種子を購入する必要がある。2) 新たにグリホサート剤またはグルホシネート剤を購入する必要がある。3) 作業課程が 3 つ増える（表 1）。

表 1　パインアップル夏植えの栽培歴（八重山地方）

時期	1年次														2年次			
（月）	11	12	1	2	3	④	5	6	7	8	⑨	10	11	12	1	2	3	4
慣行法		古株破砕－－－耕起－－－砕土									植付け							
												DCMU剤					DCMU剤	
新農法		古株破砕－耕起－砕土																
						緑肥播種－－－刈り倒し												
										グリホサート剤／グリホシネート剤								
											植付け							
												DCMU剤					DCMU剤	

＊ 4月に耕起した斜面の下端にウィーピング・ラブグラスを畑面にピジョンピーを栽培したのち，8月にピジョンピーを刈り倒し，9月にパイナップルを不耕起定植する。

すなわち，緑肥作物の種子や農薬の購入費用が農家の負担となる。現在，石垣市は，緑肥作物の種子の購入に対し公的支援を進めているが，他の2点は今後の課題である。

この新農法は，慣行法にわずか3課程を付け加える程度であり，農家にとって利点もある。この農法の普及が今後の課題である。

文献

1) 坂西研二，菅原和夫，古畑　哲：平 10 農土学会講要，464-465（1998）
2) 菅原和夫，大脇良成，坂西研二，長谷川功他：土肥学会講要,40,7（1994）
3) 菅原和夫，大脇良成，小林　真，坂西研二他：土肥学会講要,41,403（1995）
4) 菅原和夫，大脇良成，坂西研二，長谷川功他：土肥学会講要,41,143（1995）
5) 菅原和夫：研究成果（農林水産技術会議）,336,16-22（1999）

章末カラーグラビア

図2　斜面下端植被による土壌浸食の軽減

3）耐暑性サヤインゲン品種「ハイブシ」の開発

作物導入栽培研、作物育種世代促進研

はじめに

わが国の南西諸島は亜熱帯に属し高地が乏しいので、夏季は高温のため温帯野菜の栽培が困難であり野菜不足が深刻な問題となっている。しかも、島嶼地域であるため本土からの野菜の輸送は航空機や船舶に頼らざるを得ず、移入野菜は高価格の上、鮮度が落ちるなど悩みは大きい。このような背景で国際農林水産業研究センター沖縄支所は、沖縄等亜熱帯地域で栽培可能な新規野菜の導入や作物耐暑性の改善を目的として試験研究を行ってきた。その成果のひとつとして1986年にシカクマメ品種「ウリズン」を発表した[1]。熱帯低緯度地域で栽培されているシカクマメは、日長感受性が高い。わが国で栽培すると短日となる秋以降でないと開花せず、秋冬季の低温のため結莢できない。一方、「ウリズン」は日長に非感受性で夏の高温長日という条件下で開花・結実できた。このため「ウリズン」は野菜の不足する夏場の新規野菜として沖縄県の宮古・八重山地域で大いに注目され、栽培、利用、栄養価、収穫後の若莢の保存法などについて研究がすすめられた[1]。

この熱帯産の野菜に続いてJIRCAS沖縄支所はもっと需要が大きい温帯野菜としてサヤインゲンを取り上げ、夏場に栽培できる耐暑性品種の開発に取り組んだ。沖縄県はわが国有数のサヤインゲンの生産地である。冬季には盛んに栽培され本土へ出荷される。しかしながら、一般にサヤインゲンは高温に対し極めて感受性が高い。盛夏季の栽培は、本土においてさえ困難であり、高冷地に限って栽培されている。沖縄県のサヤインゲン消費も6月から10月は県外からの移入に頼っている。

ハイブシの育成経過

JIRCASはこれまでに独自の海外遺伝資源探索を企画し、インゲンマメ遺伝資源についても熱帯アジアの各地で収集することに成功してきた[2]。これらに加えてCIATなど国際農業研究機関やUSDAなどから導入することにより323系統のインゲンマメ遺伝資源を獲得した。これらを夏季に露地で栽培し、耐暑性に関しスクリーニングを行った。その結果、東南アジアで収集した在来種の中に有望なものを見出した[3]。これを原系統とし、平成2年から3年間純系選抜を行った。選抜系統を平成4年から3年間、石垣島に加え、鹿児島県農業試験場、東京都小笠原亜熱帯農業研究センター、沖縄県農業試験場園芸支場などで系統適応性検定試験を実施したところ、既存のサヤインゲン品種に比べ耐暑性が高く高温条件下で若莢の品質・収量とも優れていたので、いんげんまめ農林1号として平成7年に発表した[4]。さらに平成10年7月17日に耐暑性サヤインゲン品種「ハイ

ブシ」（沖縄県八重山地方の方言で「南星」を意味する）として品種登録（農水省品種登録第6624号）され、種苗特性分類調査のための標準品種に採用された。

ハイブシの特性

ハイブシはつる性のサヤインゲンで、胚軸、花ともに赤紫色である。長さ13～15cm、重さ7～9g程度の淡緑色・丸平形の莢をつける。蒸煮した莢の甘味が強く、食味は「ケンタッキーワンダー」並である。耐暑性が極強であり、わが国でもっとも気温の高い南西諸島においても、4月や8月播種、また平年の気温であれば6月播種も可能である。高温期の栽培で、播種後開花まで日数が31～33日、収穫期間3週間（栽培期間60日）で10アールあたり2トン以上と多収である[5]。莢長の揃いも良く、湾曲変形した莢や粗い表面をもつ屑莢の発生も少ない。

ハイブシ耐暑性の生理的メカニズム

サヤインゲンは高温ストレスにより花粉不稔を生じ、落花、落莢を引き起こすため夏季における栽培が極めて困難となっている。花粉発育段階のうち開花約10日前の花粉四分子期頃が特に高温感受性の時期であり、高温条件下ではタペート細胞の崩壊が早く、小胞体などに形態学的異常が現れ、不稔花粉を生じることを観察した[6,7,8]。この花粉四分子期頃に生殖器官に起こる生理学的変化として、花蕾での遊離プロリン含量と浸透ポテンシャルの変化をハイブシと高温感受性品種との間で比較した。

遊離のプロリンは塩分・高温または乾燥などに伴う水分ストレスを緩和する適合溶質として葉中に蓄積し、生殖器官において減少する。我々の調査でも高温ストレス下で花蕾に含まれる遊離プロリンは減少した。しかし高温感受性品種は花粉四分子期におけるプロリン含量が著しく低下したのに対し、ハイブシでは低下の程度が小さかった[9]。また、高温により花蕾の水分状態は悪化する。これも花粉稔性の低下の原因と考えられる。花蕾の浸透ポテンシャルは高温ストレス下で低下するが、ハイブシは生育適温下でも花蕾の浸透ポテンシャルが低く維持されており、高温による浸透ポテンシャルの低下の程度は緩やかであった[10]。

ハイブシ耐暑性の他品種への導入

ハイブシは上述したとおり高温下で多収を示し食味もよい。しかし若莢がやや短く地色が淡い欠点がある。一方、市販品種の中には「ケンタッキーワンダー」（つる性）のように耐暑性は劣るが、緑色の長い莢をつける品種も多い。また、「サーベル」（緑色・丸莢をつける）のような有限伸育性（立性）の品種も沖縄県で広く栽培されている。JIRCAS沖縄支所では現在、ハイブシの示す高温下での多収性をこれらの品種に導入し、高温の栽培条件下で「ハイブシ」並あるいは「ハイブシ」以上に多収となる立性の系統や長い濃緑の莢をつける系統の育成を計画中である[11,12,13]。それにより熱帯・亜熱帯地域で栽培可能な多様なサヤインゲン品種の開発を目指している。

文献

1) 野口正樹他：熱研沖縄支所研究資料 No.4（1986）
2) Nakano,H.*et al*.:Jpn.J.Trop.Agr.38(3),239-245(1994)
3) 安田慶次・桃木徳博：熱研資料 No.78（1989）
4) Nakano,H.*et al*.:JIRCASJ.No.5,1-12（1997）
5) 江川宜伸他：熱帯農業、42（別2）、69-70（1998）
6) Nakano,H.*et al*.:Jpn.J.Trop.Agr.42(2),78-84(1998)
7) Suzuki,K.*et al*:Proc.16thInt.Bot.Congress,569(1999)
8) 鈴木克己他：日本作物学会紀事、68（別2）、198-199（1999）
9) 竹田博之他：日本作物学会紀事、69（別1）、74-75（2000）
10) 塚口直史他：日本作物学会紀事、68（別2）、148-149（1999）
11) 江川宜伸他：熱帯農業、43（別1）、57-58（1999）
12) 塚口直史他：熱帯農業、44（別1）、45-46（2000）
13) 江川宜伸他：熱帯農業、44（別1）、47-48（2000）

4）省エネルギー型養液栽培装置の開発

作物導入栽培研・業務科

はじめに

熱帯・亜熱帯地域には塩類集積土壌、酸性土壌、砂漠など作物栽培にとって不適な土壌が拡大しつつある。一方、養液栽培は土壌とは無関係な栽培方法であるためこれらの地域においても作物の栽培が可能である。しかしながら、多くの養液栽培装置は養液中にポンプで空気をおくるなど電気エネルギー供給のため高いコストがかかる。わが国においても電気の利用できない圃場では設置が困難である。JIRCAS 沖縄支所は開発途上地域での利用を目指して、電力を使用しない簡易な省エネルギー型の養液栽培装置を作成した[1)]。

省エネルギー型養液栽培装置の構成

本養液栽培装置は、養液タンク、液量調節タンク、栽培ベッドから構成される[1,2)]。養液タンクを液量調節タンクより高い位置に設置することで、養液は重力で自然に供給される。液量調節タンクにボールタップをつけることにより、養液量は一定に調節できる。栽培ベッド底面には液量調節タンクと水平につながった溝があり、養液はこの溝から親水性の不織布、防根シート、多孔質チップ（ポリビニルアルコール製）の培地へ伝わる。一度培地を濡らした後はベッド上部の培地まで毛細管現象により養液は供給される。

各種野菜の栽培試作

メロン、トマト、サツマイモ、チンゲンサイなどを本装置を用いて栽培した[2)]。栽培中、養液タンクの養液が減少し、からに近づいた場合に新しい養液を補給した。試作した作物はすべて順調に生育し、途中で枯れることはなく収穫に至った。各作物とも成長に伴い根は防根シート上で面状となったが、多孔質チップは通気性があるので養液にポンプで空気を送り込む必要はなかった。このように本装置を用いて、電力を使用せず作物の養液栽培を行うことが可能であることが明らかとなった。

養液栽培装置を用いたサトウキビ側枝苗の安定生産

サトウキビは南西諸島の重要な基幹作物である。しかしサトウキビの生産には植付と収穫作業に過重な労働が強いられ、農家のサトウキビ離れが急速に進んでいる。このような状況下で、石垣島にある石垣島製糖は植付作業労力を軽減するため 3 ～ 4 葉の側枝苗（高位分けつ苗）を育成して機械移植する方法の開発に長く取り組んできた[3)]。側枝苗を獲得するには圃場で母木を養成する必要があったが、圃場では側枝の伸長、生育が不安定で、側枝苗の十分な確保に問題があった。JIRCAS 沖縄支所は養液栽培装置を用いてサトウキビの母木を養成し、側枝苗の増殖が可能か検討した。その結果、ハウス内で養液栽培装置を用いることで、側枝苗の安定生産が可能となることを明らかにした[4)]。現在、沖縄県では石垣市農業開発組合やサザンプラント㈱が中心となり、本技術も利用した側枝苗の大量増殖事業を展開している。

JIRCAS プロジェクトでのタイ農業局との共同研究

タイ東北部は、塩類集積による農地の荒廃が進行しつつあり、持続的な農業の確立が強く望まれている。JIRCAS 沖縄支所は総合プロジェクト「タイ東北部における持続的農業技術の確立のための開発研究」において、コンケーン畑作物研究センターと共同で現地資材を用いて養液栽培装置を作成し、培地の選定、養液の調整などを検討し、養液栽培装置の低コスト化と高価な品目の作物栽培を目指し、現在研究を進めている。

文献

1) 佐久間青成・鈴木克己　熱帯農業：41（別 1）、41-42（1997）
2) Sakuma,H.andK.Suzuki:JIRCASJ.No.4,73-77（1997）
3) 入嵩西他　沖縄農業：31（1）、22-29（1996）
4) 勝田義満他　熱帯農業：41（別 1）、43-44（1997）

5）栄養繁殖性熱帯作物遺伝資源の長期保存法の開発

高木洋子（現：海外情報部）

近年の活発な植物遺伝資源収集活動の結果，国際機関や各国のジーンバンクに保存されている遺伝資源の数は急速に増加してきた。しかし，これらの遺伝資源をいかに安全に効率良く保存していくかという研究は残念ながらあまり進んでいない。特に，種子で保存できない果樹やイモ類など栄養繁殖性作物の多くは圃場に保存されているが，自然災害や病虫害による消失の危険にさらされ，管理にあたる現場の負担は非常に大きい。組織培養体による保存も行われているが，継代培養による遺伝的・生理的安定性に問題があり，長期保存には向かない。安定した長期保存法として，有望視されているのが，液体窒素温度（－196℃）における保存（超低温保存）である。

植物の組織を超低温で保存し，必要に応じて取り出し，再び育てるというのは，なにやら非現実的に聞こえるかもしれないが，安定性・経済性共に高く，すでにアメリカ（リンゴ等）やカナダ（林木）で実用化されている。超低温保存技術は，近年その多様化と簡易化が進み，保存できる植物の数が飛躍的に増加したが，成功例の多くは寒帯・温帯の種であり，熱帯植物の超低温保存は，今後の開発が望まれる分野である。国際農林水産業研究センター沖縄支所において国際招聘研究事業の一環として，平成4年度から5年間，熱帯作物遺伝資源のための長期保存法の開発に取り組み，タロ・バナナ等の長期保存法の開発に成功した。

超低温保存の材料には，茎頂，不定胚，培養細胞等が使われる。液体窒素中でこれらの組織を生かすためには，急速冷却中に起こる細胞内凍結を防ぐために，事前に脱水によって細胞内の濃度を上げ，冷却しても分子が結晶配列をとらない状態（ガラス状態という）を誘起する必要がある。いかに組織を殺さずに十分に脱水するかというのが成功の鍵で，凍結脱水・浸透脱水・乾燥等異なった手法が試みられてきた。当プロジェクトでは，遺伝的に安定し植物体の再分化が得やすい茎頂を材料とし，脱水には，グリセリン・ショ糖・DMSO 等からなる高濃度の溶液を使った浸透脱水を主として用いた。この手法は操作が簡便で高価な機器を必要とせず，熱帯地域でも実用化される可能性が高いと考えられた。一方で，脱水につかう薬品類が高濃度であるため，脱水に加えて薬の害がでることが手法開発の難点となると予想された。

これまでの超低温保存の手法は主として寒帯や温帯の作物を中心に開発されてきたため，低温・乾燥に対する感受性が高い熱帯性の種には，そのままでは適用できず，それぞれの条件を詳しく検討しなければならなかった。材料となる植物体の育成，切り出した茎頂の培養，予備脱水（時間・溶液の種類），脱水（温度・時間・溶液の種類），液体窒素処理，保存した組織の融解，再培養の各行程を詳細に検討するためには何千という茎頂を供試した。当初，タロで手法の検討を始め，品種によって超低温保存後の生存率に若干の違いはあったものの，平均74% の生存率を達成することができた。タロを材料として得られた知見を基に，その他の作物の特性によって材料の調整法，脱水処理時間および温度を検討することによってバナナ（平均生存率：70%），シロギニアヤム（69%），アメリカサトイモ（64%），パイナップル（67%），シンビジウム（87%）の茎頂を保存するためのプロトコールを開発し，要点を押さえた条件設定を行えば，これまで難しいとされてきた熱帯作物の茎頂の超低温保存も技術的に可能であることを明らかにすることができた。今後の課題としては，ジーンバンク等で利用するため，規模を大きくした実用化試験を行うこと，超低温保存した植物体の遺伝的安定性を DNA レベルで確認することがあげられる。また，本プロジェクトで扱った熱帯作物のうち，カンショやイモジソのように高濃度のショ糖や脱水に使う溶液に非常に感受性が強いため，高い生存率を達成することができなかった種もあった。超低温保存をより多くの種で実用化するためには脂質代謝，生体膜の変化，膜タンパク等の研究を通して超低温保存を成功させるための諸条件を深く分析していくことが重要である。

熱帯・亜熱帯地域の作物とくに栄養繁殖性作物の遺伝資源の研究は，評価・保存・利用のいずれの分野においても，温帯性の穀類・豆類などに比べて大きく遅れをとっている。これらの作物が特定の地域にしか栽培されていない，経済性が低い，遺伝・育種学的に扱いにくい特性（高次倍数性を持つ，異型接合性植物が多い，他殖性である等）を持つ等の理由によるものと考えられるが，近年開発されてきたバイオテクノロジー技術等の利用により，これらの遺伝資源の利用・開発が効率化され，可能となりつつある。熱帯地域における食料生産の安定化や環境保全のための持続的農業の開発には，各地域における多様な遺伝資源を十分に活用するための基幹となる技術開発が今後益々重要となると考える。

文献

1) Takagi, H., N.T.Thin, O.M. Islam, T. Senboku and A. Sakai (1997) Cryopreservation of *in vitro*-grown shoot tips of taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) by vitrification. 1. Investigation of basic conditions of the vitrification procedure. Plant Cell Reports 16: 594-599.

2) Takagi, H., N.T. Thinh and P.M. Kyesmu (1998) Cryopreservation of vegetatively propagated tropical crops by vitrification. Proc Int. Symp. Biotechnology Tropical & Subtropical Species. (ed. R.A.Drew) Acta Hort. 461, ISHS 1998: 485-494.

3) Thinh, N.T., H.Takagi and S. Yashima (1999) Cryopreservation of *in vitro*-grown shoot tips of banana (*Musa* spp) by vitrification method. Cryo-Letters 20: 163-174.

4) Engelmann, F. and H. Takagi, editors (2000) Cryopreservation of tropical plant germplasm. Current research progress and application. Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS), Tsukuba, Japan/ International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Rome, Italy. pp.496.

主要研究成果

海外情報部　国際農林水産業統計情報システム（JIRCAS-STAT）の開発

本文－113ページ

図1　メニュー画面（一般利用者用）

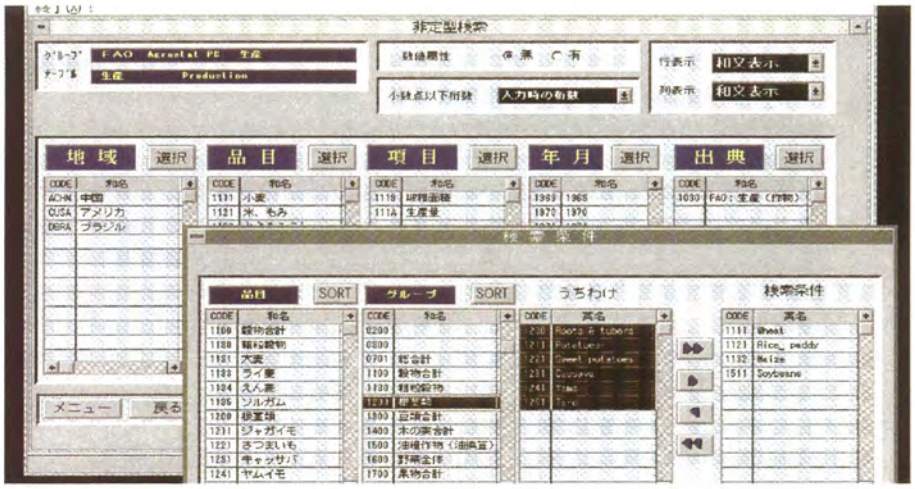


図2　検索画面－品目グループと品目（名称は英語でも表示）

生物資源部　乾燥にも寒さにも海水にも耐えるスーパー植物開発

本文－124ページ

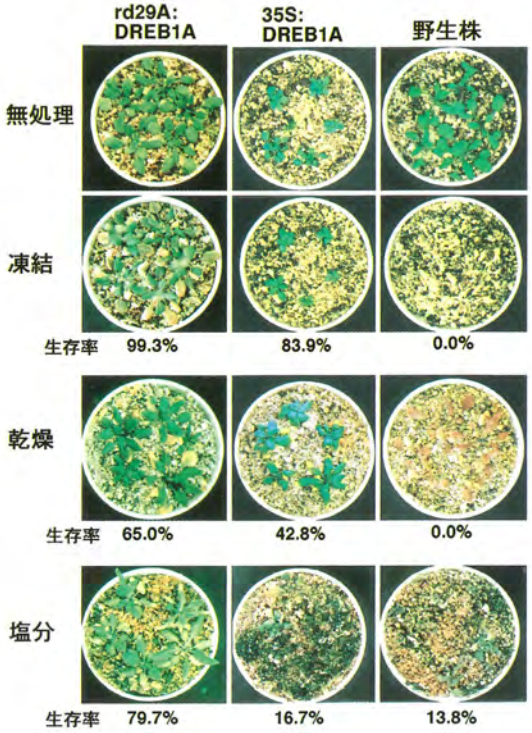


図２　耐乾燥性、耐塩性、耐冷性をそなえた遺伝子組換え植物

生物資源部　カンキツグリーニング病の病原体の遺伝子診断技術の開発

本文－127ページ

図１　マンダリンのソムケオワンにおける
グリーニング病の典型的症状（撮影地：タイ、ナン）。

環境資源部　ニューラルネットワークを用いた植生変動評価手法の開発

本文－ 134 ページ

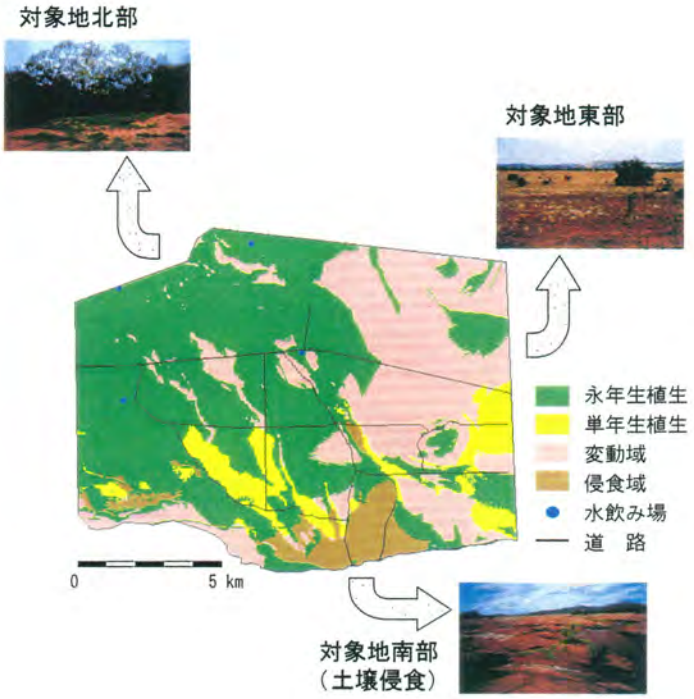


図 2　ニューラルネットワークモデルによる植生現況評価

環境資源部　岩石・鉱物の変質過程と固体表面分析に関する研究

本文－ 141 ページ

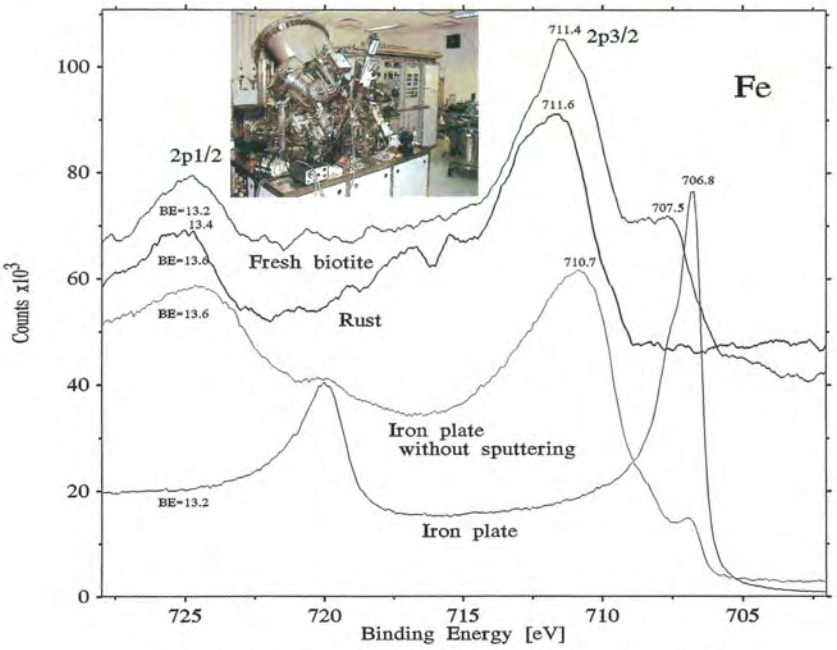


図 2　高分解能 XPS による鉄の化学シフトの例.

生産利用部　東アジアモンスーン地域におけるイネウンカの移動実態の解明

本文－145ページ

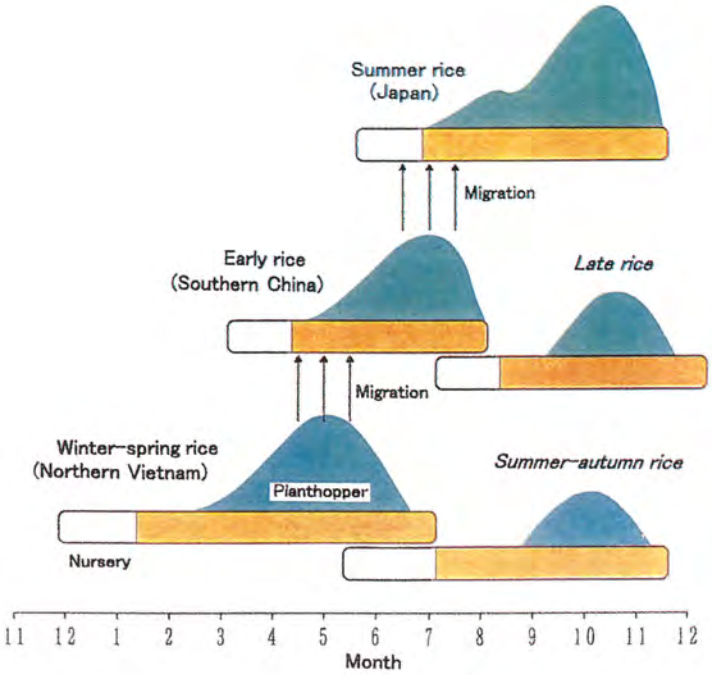


図1　北ベトナムの冬春稲から華南の早稲をへて、日本の一期作水稲に飛来するイネウンカの二段階の繁殖地遷移の模式図。横棒は各地の稲作期間、その上の波形はイネウンカの発生パターンを示す。

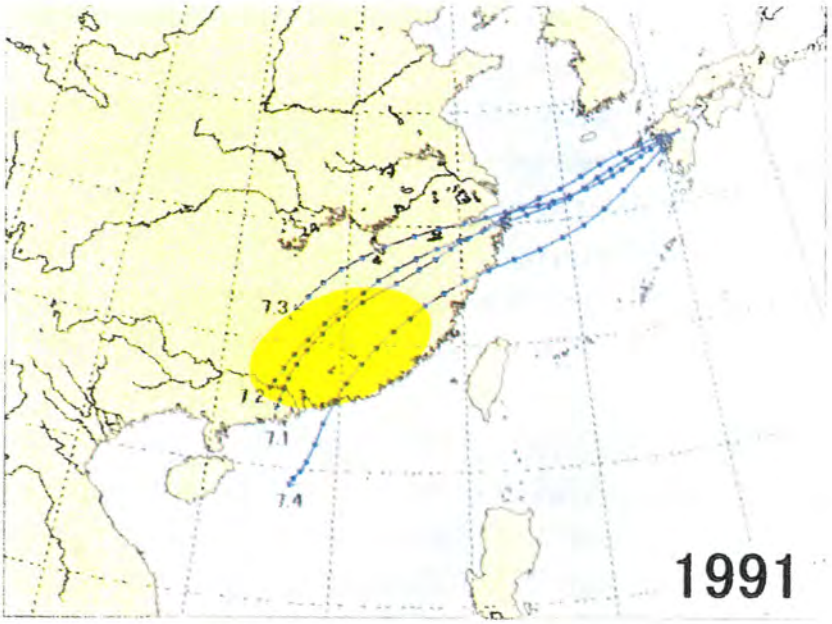


図2　1991年7月初旬、九州にイネウンカの多飛来をもたらした850hPa面の気流の48時間後退流跡線。

生産利用部

マレイシア・ムダ灌漑地区における稲作機械化

本文－ 152 ページ

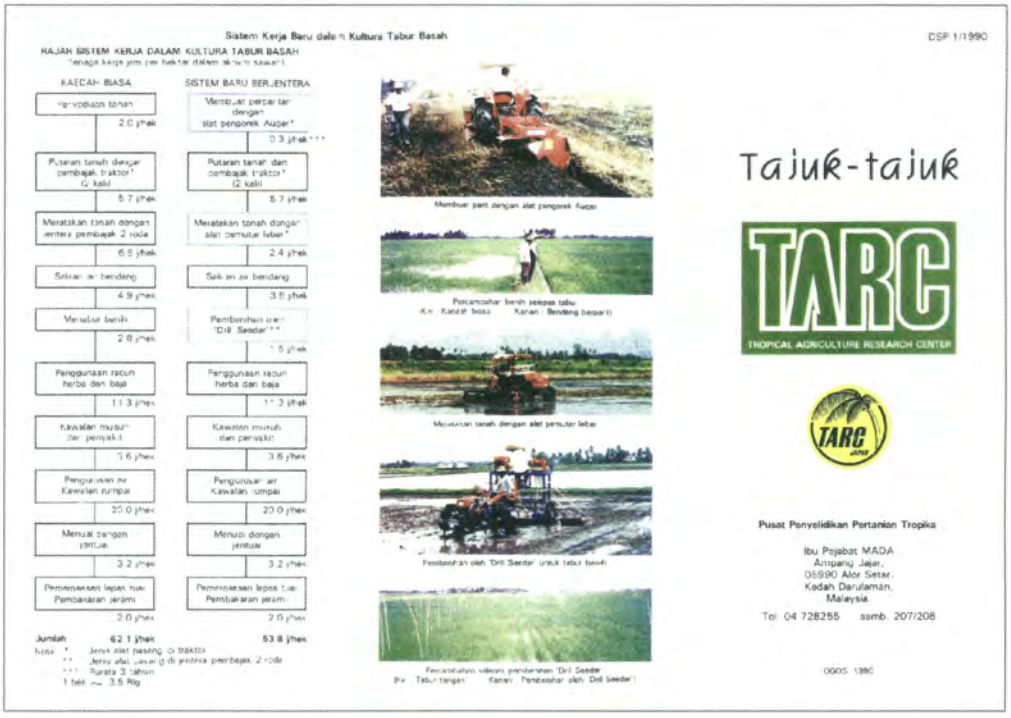


図 1　現地の農家向けに作成した水田直播機械化パンフレット

林業部

マタンマングローブ林の植生別リターの落下量

本文－ 165 ページ

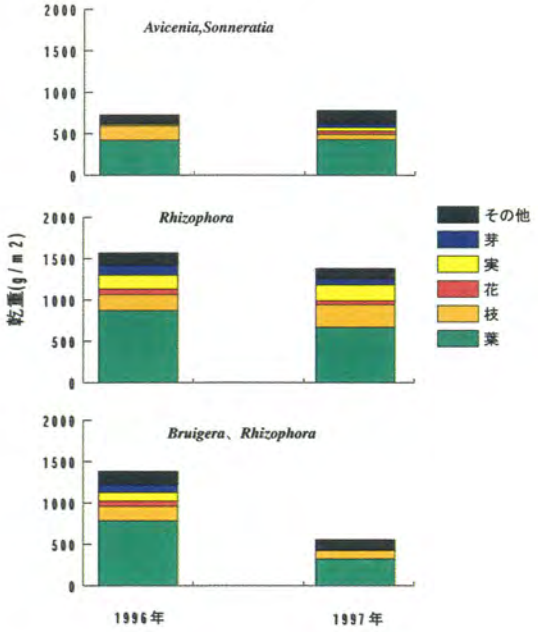


図 1　マタンマングローブ林のリター量

林業部　マホガニーマダラメイガの樹種選好性と植栽法的防除

本文－ 166 ページ

図２　マダラメイガ *Hypsipyla robusta* による被害を免れて幹が通直なアカシア造林地内のマホガニー *Swietenia macrophylla*

林業部　アジア熱帯地域の森林資源の利用・加工技術

本文－ 168 ページ

図２　チーク材の辺心材境界部の放射柔細胞中のカウチューク（球形の物質）

林業部

熱帯択伐林における天然更新阻害要因の解明

本文－173ページ

写真1　林内に繁茂する叢生ヤシ類の刈り払い

水産部

熱帯・亜熱帯汽水域における生物生産機能の解明と持続的利用のための基準化

本文－175ページ

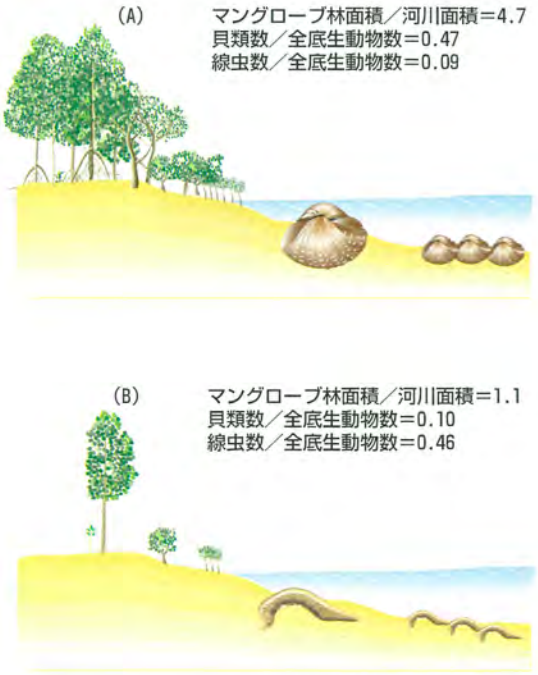


図1　マングローブ樹木数の多いマタン水域（A）の海底土には有用貝類が、樹木数の少ないルムット水域では線虫類が生息していた。

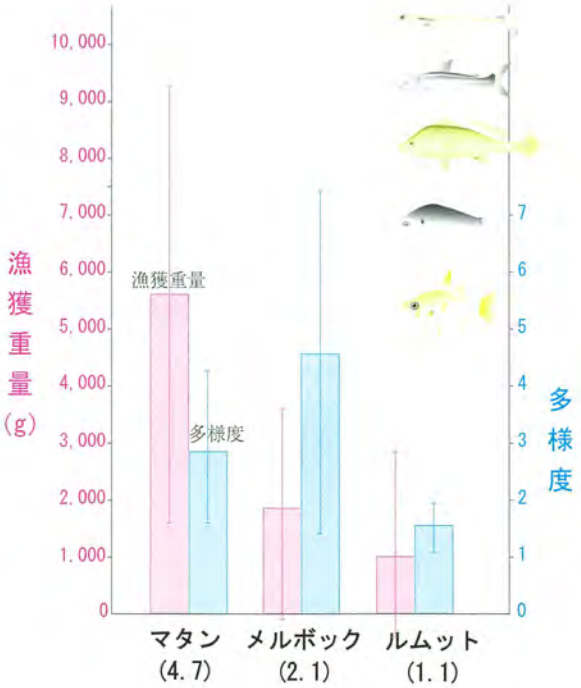


図2　マレーシアにおいて、マングローブ林面積／河川面積の比が大きいマタン水域（比：4.7）では漁獲量が多いが、メルボック水域（比：2.1）では魚類多様度が大きい値をしめした。

水産部　中国における淡水漁業資源有効利用技術共同研究ー淡水魚すり身の開発ー

本文－ 182 ページ

	高い	普通	低い
高温加熱ゲル化能	テラピア	（スケトウダラ） 草魚 ハクレン コクレン タントウホウ	黒魚 コイ
二段加熱ゲル化能 （30 ℃→85℃）	（スケトウダラ）	ハクレン コクレン テラピア コイ タントウホウ	草魚 黒魚
高温加熱ゲル劣化耐性 （85 ℃付近）	テラピア	コイ 黒魚 草魚 コクレン タントウホウ （スケトウダラ）	ハクレン
中温加熱ゲル劣化耐性 （60 ℃付近）	テラピア	草魚 コイ タントウホウ （スケトウダラ）	コクレン 黒魚 ハクレン
総合評価	（スケトウダラ） テラピア	草魚 ハクレン コクレン タントウホウ	黒魚 コイ

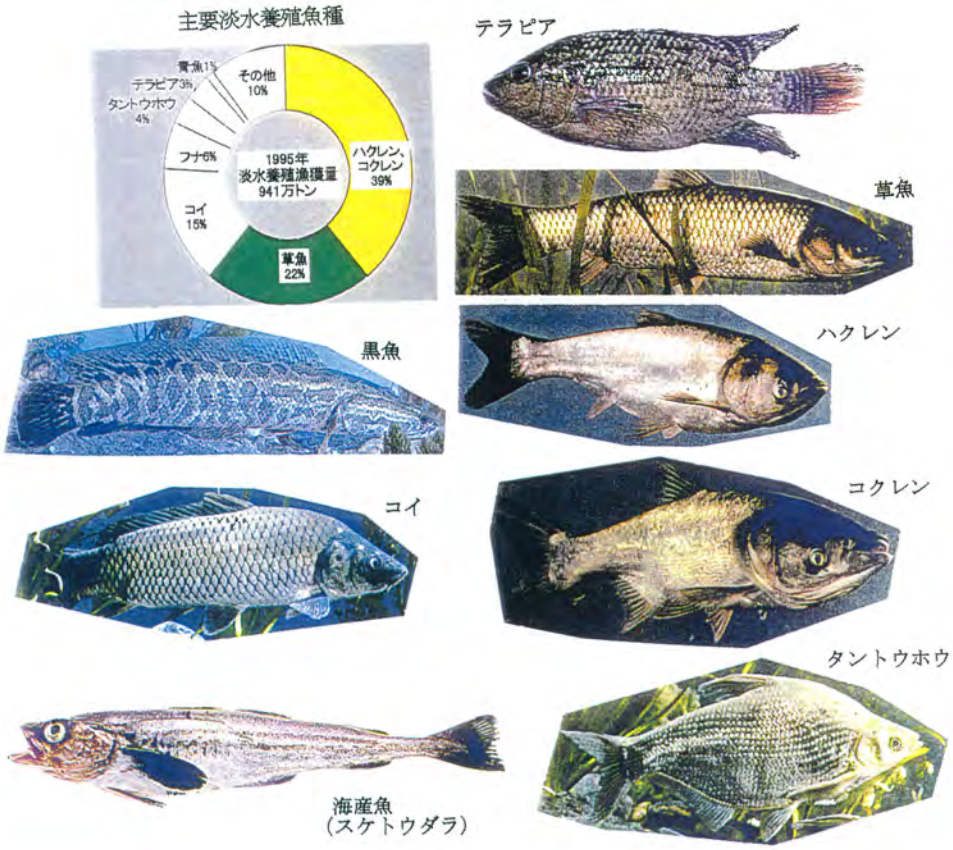
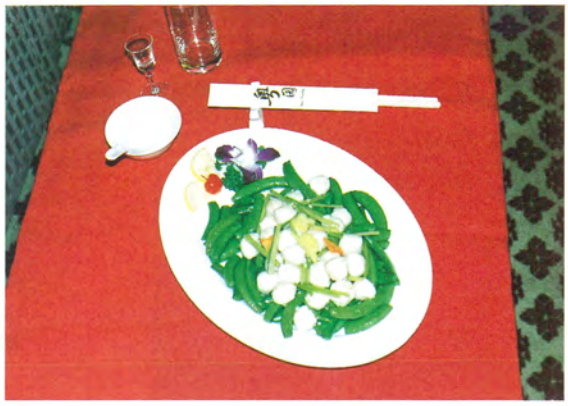
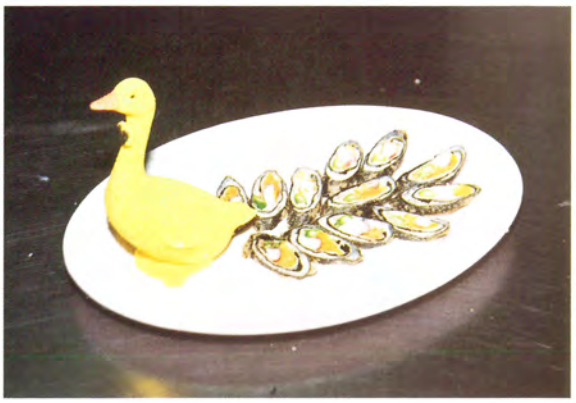


表１ 中国淡水魚のすり身化適性



ミント風味炒め魚団子（ハクレン）



海苔巻き魚団子（ハクレン）

写真１　中華料理の鉄人が試作したすり身料理の一部。

ロブスターテール（草魚）

魚肉豆腐揚げ（ハクレン）

写真２　日本の代表的メーカーが試作した練り製品の一部。

沖縄支所

パインアップル畑における侵食とその軽減対策

本文－187ページ

図２　斜面下端植被による土壌浸食の軽減