

## 「ファームシステム研究」の創刊にあたって

ガット・ウルグアイ・ラウンド農業合意後のわが国の農業を取り巻く厳しい情勢の中で、農業の生産性を飛躍的に向上させ、農業・農村を活性化させるために、技術開発に対する要請はこれまでになく大きくなってきた。農政改革大綱の中でも、営農現場のニーズに即した先導的技術の開発と早急な普及が強く求められている。営農現場において発生する問題解決のためには、必要な個別技術を深化させ、それらを体系化すると共に、従来の分析的研究手法を超えた総合的なアプローチが必要である。

そのため、農業研究センターのプロジェクト研究チームや地域農業試験場の総合研究部を中心に、農業に関する専門的知識を活用して行う総合的な試験研究が全国的に展開されている。具体的には、地域先導技術総合研究などの形でプロジェクト化を図り総合的な試験研究を推進してきており、わが国の農業の生産性を向上させ、食料・農業・農村を活性化させるための誘因となっている。しかし、長年にわたる研究成果の公表には、様々な困難があることが従来より指摘されてきた。例えば平成9年度の総合農業試験研究推進会議総合研究部会での検討課題「総合研究推進上の問題点とその対応」の中でも出され、今後のいわゆる総合研究推進上の大きな問題点として議論された。主な原因としては、現在の学会が専門的に細分化されていることもあり対応する学会がない、複数の学会にまたがる学術的な研究であることが多い、内容が大部であり通常の学会の投稿規定では採用されないか分割して報告することが難しい、などが考えられている。先の部会においても、既存の学会誌での論文化にはかなりの困難が伴うため従来とは異なる業績評価等の条件整備を検討する必要があること、成果の公表についても学会誌に限らない幅広い広報活動への努力が関係者に求められたと聞いている。

以上のような経過を踏まえ、多数分野の専門的成果を最大限に活用した新しい農業技術の総合的な展開に関連した内容を持ち、農業研究センターおよび農業関係試験研究機関の研究活動に基づくもので、総合研究の推進に有益と認められるものを収録した総説誌「ファームシステム研究」を刊行することとした。

本誌は、以上の様な背景ならびに期待があつて刊行するものであり、広く関係各位に活用いただくとともに、ご批判、ご叱正をいただければ幸いである。

農業研究センター所長 中川原 捷洋

關於... 的...

第一、...

第二、...

第三、...

此致...

# ファーミングシステム研究

No.1 (1999.3)

## 目次

● ファーミング・システムズ・アプローチによる環境保全型農業の経営評価 —その基本理念と新たな分析手法の提案—	1
門間 敏幸・山田 隆一	
● 総合研究シンポジウム	
水田の生産機能の最大活用による持続的作物生産	21
主催者挨拶	
農業研究センター 中川原 捷洋 (所長)	22
農林水産技術会議事務局 八巻 正 (研究管理官)	22
基調講演	
光合成から見た水稲バイオマス生産の可能性	25
秋田 重誠	
地力窒素と生産力限界	39
三枝 正彦	
話題提供	
環境保全に配慮した水田の生産力	51
清野 豁	
飼料イネ生産について	59
萱場 猛夫	
飼料イネ技術確立の必要性と今後の方向	69
佐藤 純一	
総合討論	84



# ファーミング・システムズ・アプローチ による環境保全型農業の経営評価

— その基本理念と新たな分析手法の提案 —

門間 敏幸  
山田 隆一

## 1. はじめに

わが国で現在を含めてこれまで環境が大きな社会問題になったことは3度ある。第1の環境問題は、高度経済成長のひずみが顕著になった昭和30年代の後半であり、公害問題として大きな社会問題となった。第2の環境問題は、高度経済成長の終焉をつげるオイルショックが発生した昭和40年代後半であり、資源枯渇や食料危機が大きな社会問題となり地域主義や有機農業運動といった新しい社会運動が牽引車となり環境問題に対する国民の意識を高めていった。そして現代の地球環境問題である。しかし、これまでの環境問題と現代の環境問題を単なる時間の延長線上で捉えることは誤りであり、そこには根本的な違いがあることを認識しなければならない。すなわち、環境問題を経済成長のひずみの単なる点的・線的な広がりの特異問題として捉え、その解決は技術革新によって可能であるという考え方だけでは、現代の環境問題は解決できない。現代の環境問題は、人類の生存そのものが地球環境の大きな脅威であり、閉鎖系である地球と人類が永続的に共存できる地球環境保全システムを将来世代の生存を保障するために早急に構築すべきことを警鐘している。

そのため、人類の生存の営みそのものが地球環境悪化の加害者であるという認識に立脚し、農業生産システムの革新を技術者、農業者、行政、流通担当者そして消費者が一体となって実現していかなければならない。経営研究は、技術研究者が開発した環境保全型技術を経営評価するという役割だけでなく、環境保全型農業の重要性の農家、一般消費者への啓蒙、生活者としての農家の経営が成り立つための技術開発の課題、経営政策、流通政策を積極的に提言しなければならない。

以上の問題意識に基づき本報告では、①環境保全型農業評価のための基本的なスタンスを整理するとともに、②環境保全型農業評価のための経営研究の課題と新たな評価手法開発の方向を提示する。さらに、③現在筆者らがベトナムのメコンデルタで取り組んでいる環境保全型農業生産システム確立のために採用しているファーミング・システムズ・アプローチを紹介し、技術の開発と普及の新しい接近方法を提案する。

## 2. 環境保全型農業評価の基本的なスタンス

### 1) 加害者としての農業を認識することの重要性

気象条件が温暖で雨が多く稲作を中心とした営農が展開されてきたわが国では、環境保全型農業確立の重要性に関する認識は相対的に低い。確かにわが国では稲作の展開により塩類集積、砂漠化、土壌浸食、森林消滅といった問題は、それほど深刻な環境問題として顕在化していない。しかしながら表1に整理したように、現代の地球環境問題と呼ばれている温暖化、オゾン層破壊、砂漠化、酸性雨、森林破壊、水資源枯渇と水質汚染といった問題を引き起こしている原因物質を見ると、加害者として農業がかなりの環境負荷を与えていることが理解できる。とりわけ砂漠化や森林破壊といった問題では農業がほぼ100%近い加害度を示している。また、最近わが国で開催され国民的な注目

を受けた地球温暖化防止京都会議で問題となった温室効果ガスの排出問題では、水田や家畜から発生するメタンガスが大きな負荷要因となっていることが指摘された。まさに、閉鎖系としての地球環境という視点に立脚した場合は、農業生産そのものも地球環境悪化の主要な加害者であることが理解できる。

表1 地球環境問題と農業との関わり

発生問題	原因物質 (要因)	農業の加害度	農業への影響
温暖化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・二酸化炭素</li> <li>・メタン</li> <li>・亜酸化窒素</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・化石燃料、森林破壊など</li> <li>・水田・家畜などで人為発生量の50%を占める</li> <li>・窒素肥料の生産・使用、バイオマス燃焼で人為発生量の50%以上を占める</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①作物の栽培限界の拡大</li> <li>②雑草・病害虫が増える</li> <li>③地力の劣化や土壌侵食</li> <li>④有機物や肥料の分解が加速</li> <li>⑤水温・地温の上昇・塩類集積</li> </ul>
オゾン層破壊	<ul style="list-style-type: none"> <li>・クロロフルオロカーボン</li> <li>・亜酸化窒素</li> <li>・臭化メチル</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・冷媒、噴射剤、発泡剤など</li> <li>・窒素肥料の生産・使用、バイオマス燃焼で人為発生量の50%以上を占める</li> <li>・生産量の80%以上が土壌くん蒸に用いられる</li> </ul>	紫外線照射量の増加により <ul style="list-style-type: none"> <li>①DNAなどの生体物質、</li> <li>②植物の生理活性・成長、</li> <li>③土壌の生化学代謝、</li> </ul> への影響が指摘されている。
砂漠化 不適切な人間活動に起因する土地の荒廃現象	<ul style="list-style-type: none"> <li>・過放牧や過度の集約耕作</li> <li>・灌漑地の塩類集積</li> <li>・森林の伐採</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ほぼ100%農業が加害者であるといえる。とくに人口増加がこの傾向に拍車をかけている。毎年2,000万haの土地が経済収益性ゼロになっていくといわれている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①農耕地の減少</li> <li>②食料需給のアンバランス</li> <li>③飢饉の発生</li> <li>④森林破壊</li> </ul>
酸性雨	<ul style="list-style-type: none"> <li>・イオウ酸化物</li> <li>・窒素酸化物</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・化石燃料の使用、排気ガス</li> <li>・施肥土壌</li> <li>・焼き畑によるバイオマス燃焼、ゴミ消却</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①水中生物の死滅</li> <li>②土壌の酸性化・干ばつと洪水など</li> <li>③局地的な温度変化</li> </ul>
森林破壊	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人為伐採</li> <li>・酸性雨</li> <li>・大気汚染</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・農耕地と放牧地への転換が森林破壊の最大の原因。その背景には急激な人口増加、輸出目的の単作輸出目的の単作・集約農業の展開がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①表土流出</li> <li>②豊かな漁場の喪失</li> <li>③生物多様性の低下・水不足</li> <li>④塩類集積による農地荒廃</li> </ul>
水資源の枯渇と水質汚染	<ul style="list-style-type: none"> <li>・灌漑・工業用水</li> <li>・都市用水</li> <li>・森林伐採</li> <li>・肥料・農業投入</li> <li>・家畜ふん尿</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水灌漑では水資源そのものの枯渇、地下水位の低下をもたらし、地表水灌漑では塩類集積被害を発生。</li> <li>・森林伐採による水質汚濁や災害の発生、肥料・農薬・家畜ふん尿による水質汚染のいずれも農林業の責任が大きい。</li> </ul>	

注) レスター・R・ブラウン<sup>1)</sup>、石<sup>2)</sup>、陽<sup>3)</sup>を参照して作成した。



2) 環境保全型農業接近への倫理的な基礎

地球環境悪化の加害者としての農業を認識したとしても、地球環境問題解決のための活動を展開する場合の哲学的な基礎を我々はどこに置いたらいいのであろうか。すなわち、①自然と人間はどのように共生すべきなのか、②人間生存のために他の生物の生存権を奪うことが許されるのか、③現代に生きる我々は将来の人類の生存に対して責任がないのか、④地球資源をこれまで大量に消費してきた先進国が今になって地球環境問題を叫び発展途上国の経済成長を阻害するのは不平等ではないのか、⑤地球環境問題の最大の原因である人口爆発を押さえるための論理はあるのか、⑥地球環境重視の発想は現代の主流の価値観である自由主義と矛盾しないのか、といった深刻な倫理的問題に我々は突き当たってしまう。

こうした問題に対する回答を求めた活発な論議が哲学者を中心として様々な分野の研究者、一般国民を巻き込んで展開しており、環境倫理学が社会の大きな注目を集めている。現代の環境倫理学は、①自然の生存権問題、②世代間倫理問題、③地球全体主義、という3つの主題を提起し、その解決のための倫理的基礎を探求している(表2)。自然の生存権問題に対しては、次の自然保護の3段階が提起され、そのあるべき方向を検討している。

表2 地球環境問題を考える倫理的基礎

3つの主題	主題の内容	どのような問題提起をしているか
自然の生存権問題	・人間だけでなく生物の種、生態系、景観などにも生存の権利があるので、勝手にそれを否定してはいけないという考え方。	①人間優先主義の否定 ②キリスト教的倫理観の見直しと東洋的倫理観の重視 ③人間の生存と個人の生活の質(快楽)追求のあり方に対する根源的な問題を提起
世代間倫理問題	・現代の世代は未来の世代に対して責任があるという考え方。	①共時的な決定システムである民主主義による世代間にまたがるエゴイズムチェックの不可能性 ②自己決定還元主義(自由主義)の再検討 ③未来世代の価値観を現代世代が代弁することの不可能性(社会契約倫理の否定)
地球全体主義	・地球の生態系は開いた世界ではなくて閉じた世界であるという考え方。	①新しい地球全体主義模索の重要性 ②技術革新、人口問題、南北問題解決の重要性 ③地球の有限性に関する世界的な認識と共同責任意識

注) 加藤<sup>2)</sup>を参照して作成した。

第1段階：人間生存だけでなく、個人の快楽追求のための種の破壊が許される。

第2段階：人間生存のための種の破壊は許されるが、快楽追求のための種の破壊は許されない。

第3段階：人間の快楽はもちろん、人間個体の生存のためであっても種の破壊は許されない。

しかし、人間の種の保存のためならば、他の種の破壊は許される。

現在の我々の共通認識は、第2段階と第3段階の中間にあり、人間としての利益を離れて自然そのものを保護するに値するという自然中心主義の方向に移行しつつある。現代の民主主義は共時的な決定システムであり、世代間にまたがるエゴイズムを阻止することはできない。地球環境問題を検

討する場合には、現代民主主義の基本論理である自己決定還元主義（自由主義）の再検討が不可欠となる。しかし、未来世代の価値観を現代世代は決して代弁することができないという反論がある。これに対する回答として現在中心的な考え方として多くの人々によって受容されている考え方は、「未来世代の選択の幅の可能性」を狭めてはいけないという論理である。地球全体主義は現代世代が忌避する全体主義の復活をもたらすとともに、南北問題の深刻化を招くという批判がある。この批判に対しては、人類全てが地球環境の有限性を正しく認識するとともに、共同責任意識をもって新たな技術開発により地球環境問題の解決の扉を開くとともに、人口問題の解決、南北問題の解決に取り組むという以外に解決の道はない。

### 3) 環境保全型農業をいかに理解するか

現在、環境問題に対する危機感は急速に高まっており、環境にやさしい農業生産システムの確立を目指した取り組みが世界の多くの国々で行われている。こうした中で環境にやさしい農業として《持続的農業》《代替農業》《環境保全型農業》《有機農業》といった様々な概念が提示されている。これらの概念については、国、地域ごとに理解が微妙に食い違っており、必ずしもコンセンサスはできていないのが現状である。また、これらのコンセンサスは取り組みの中で徐々に確立されていくものであり、現在その明確な定義づけを急ぐ必要はない。したがって、ここでは以上の概念に対する共通理解について整理しておく。

#### <持続的農業>

農業が環境負荷の加害者であることを明確に意識し農業政策と環境政策一体化のためにOECDで提案されたのが持続的農業の概念である。必ずしも全ての加盟国間の明確なコンセンサスは確立されていないが、次の共通理解は得られている。①自然の営みを総合的に利用した営農技術を用い（総合的農業）、生態系をできるだけ傷つけずに保存する、②現場の状況に応じた弾力的なものであること、③動植物の種の多様性や良好な景観といった金銭では計り切れない価値を保全する、④長期的には生産者自身にとっても収益性があること、⑤社会的にみて費用対効果が妥当であること。この考え方の基本には、単なる農業技術の革新だけでなく環境がもつ様々な価値を保全するとともに、そうした農業自身の社会的な効率性、資源配分の妥当性を実現すべきであるという考え方がある。詳細については、OECD環境委員会<sup>9)</sup>を参照されたい。

#### <代替農業>

代替農業はアメリカで提示された概念であり、次のような目標を体系的に追求するための食料生産にかかわるあらゆる体系をさしている。①空中窒素固定などの養分循環、害虫と捕食者との関係のようなプロセスを農業生産過程に徹底して取り入れること、②環境や農民および消費者の健康に害を及ぼす可能性の高い投入資材の使用量を削減すること、③植物、動物の種がもっている生物学的および遺伝的潜在能力をより積極的に農業生産に利用すること、④現行生産水準の長期的な持続を可能にするために、作付様式を農地の潜在的な生産力や自然的特性に適合させること、⑤農地管理方法の改善と土壌、水、エネルギーおよび生物などの資源の保全に重点をおいた収益性の高い効率的な生産。代替農業は特定の農法を示す概念ではなく、環境に配慮した様々な農法、技術を自分たちの農業生産体系の中に組み込むことを目指す農業である。すなわち、経費節減、健康や環境の保護を目指す農家が用いている技術・経営的選択を意味している。詳細については、久馬・嘉田・西村<sup>10)</sup>を参照されたい。

### <環境保全型農業>

農林水産省では環境保全型農業を「農業のもつ物質循環機能を活かし、生産性との調和などに留意しつつ、土づくり等を通じて化学肥料、農薬の使用などによる環境負荷の軽減に配慮した持続的な農業<sup>10)</sup>と、かなり限定して把握していることがわかる。これに対して嘉田は加害者としての農業を問題にすべきであるとして、①人にとって安全であり、より危険が少ない、②農業の持続可能な生産力が保持できる、③動植物の生態系にマイナスの影響が少ないもの、を環境保全型農業と呼ぶべきであることを提案している<sup>10)</sup>。また、酒井<sup>11)</sup>は環境保全型農業の役割を、土地の持続的な利用という局面だけに限定せず、資源・エネルギーの節約、食糧増産、高い経済性があって将来にわたって生産が維持できる農業であると積極的な理解をとるべきであることを強調している。

### <有機農業>

有機農業には様々な考え方や定義があるが、有機農産物のガイドラインに適合した農産物を生産する農業というように理解するのが適当であると考ええる。すなわち、ガイドラインというものは社会的な背景、国ごとの農業生産の特性に従って変化する流動的なものであり、有機農産物に対する評価も流動的に把握した方がよいという考え方に立脚している。わが国の場合、化学合成農薬、化学肥料、化学合成土壌改良資材を使わないで、3年以上を経過し、堆肥等による土づくりを行ったほ場において収穫された農産物を「有機農産物」、3年未満6ヶ月以上の場合は転換期間中有機農産物という、というように規定されている。しかしながら、この規定は米、畑作物、野菜、果実などの作物を対象としたものであり、畜産物に対する規定はない。抗生物質の投与、輸入穀物飼料に依存した生産システムが支配的な畜産物に対しても何らかの規定が必要であろう。

## 3. 環境保全型農業の経営評価の課題と方法

### 1) 環境保全型農業技術の経営評価の役割

環境保全型農業技術の評価における経営研究の役割については、技術開発研究そのものがまだまだ手探りの状況にあるため、より幅広い角度からの接近がきわめて重要である。図1はこうした経営研究の役割を整理したものである。ここでは、環境保全型農業に関わる経営研究の課題を大きく次の5つの領域に分けて整理する。

- ①環境保全型農業と従来型農業の比較有利性分析
- ②環境保全型農業定着・普及条件の解明
- ③環境保全型農業に関わる新しい技術開発ニーズの解明
- ④環境保全型農産物の適正評価法の提案
- ⑤環境保全型農業一般化のための経営政策プログラムの提示

これらの5つの課題解明へのアプローチは決して個々別々に実施するのではなく、最終的には地域全体としての環境保全への取り組みプロセスを評価するために不可欠な地域環境管理指標の策定に収斂させるべきであると考ええる。

### 2) 経営評価の課題と評価手法開発の方向

次に以上で整理した経営評価の課題ごとに、課題へのアプローチと評価手法開発の方向について検討する(表3参照)。

環境保全型技術の経営評価については、開発された個別の環境保全型技術の単純な経営試算に終始するのではなく、営農体系全体への影響という視点で評価することが重要である。具体的には開発技術を採用した農家の経営全体への影響を分析し、類似した採用しない経営体と比較してどのよ

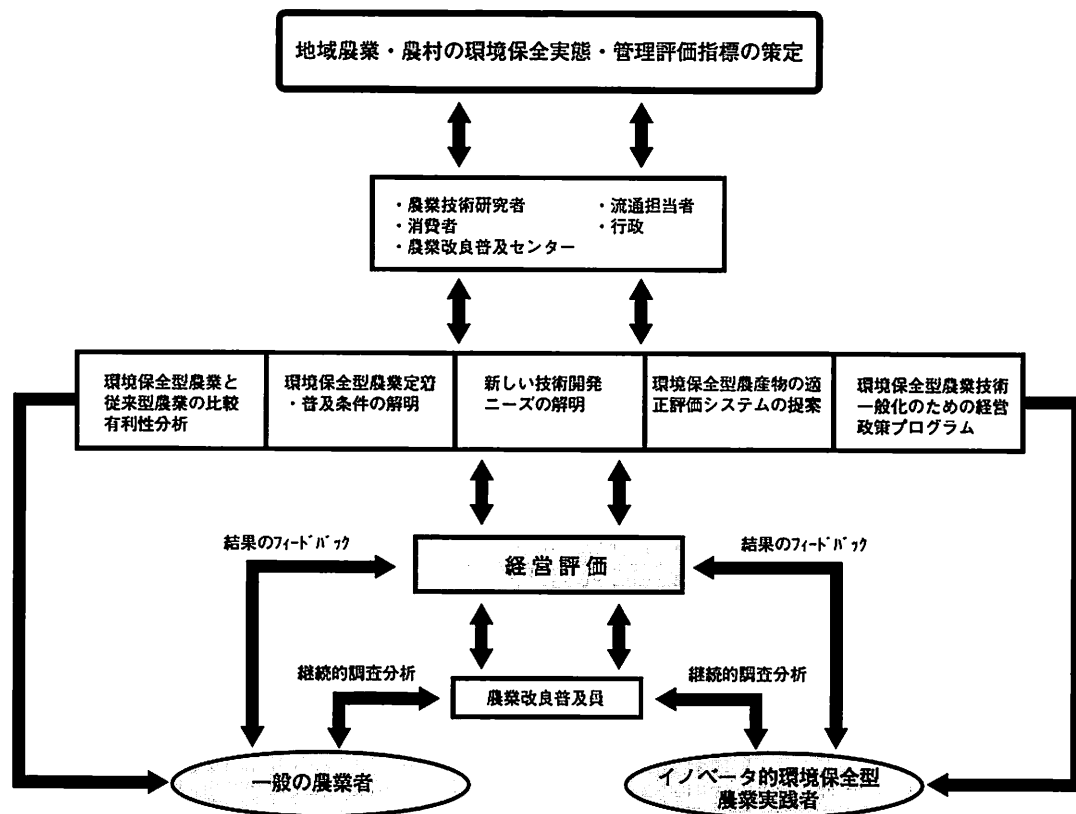


図1 環境保全型農業技術の経営評価の役割

うな効果があるかを総合的に評価することが最も望ましい。しかし、必ずしも開発技術を農家が採用しないケースも多く、こうした場合はある程度標準的な経営体を設定したシミュレーション分析が不可欠となる。また、革新的な有機農業実践農家などの経営システムを継続的にモニタリング調査し、一般の農家との比較有利性を総合的かつ動的に解明する必要がある。この場合の評価指標としては、収益性、労働配分といった従来型のフローとしての経営成果を測定する経営評価指標を長期的な視点から活用するとともに、土地、水、森林、生物多様性や景観といったストック資源に対する環境保全の取り組みの貢献度を測定できるような評価指標の開発が不可欠である。開発技術の環境保全効果を多面的な角度から評価するための指標の開発にあたっては、チェック・リスト法やTN法が有効である。

環境保全型農業を地域に定着・普及させるための条件を解明するためには、通常の経営学的なアプローチとともに、農業者の動機づけや学習効果を含めた心理学的・情報科学的なアプローチが不可欠となる。また、定着・普及メカニズムを定式化したシミュレータの開発も有効であろう。なお、イノベーションの普及過程に関するロジャースの体系的な理論も非常に重要な役割を果たすであろう。これらの課題への接近に当たっては、ファクトファインディングとともに、教育や普及のプログラム策定という視点が重要である。

さらに環境保全型農業を定着させるためには、環境保全的な技術によって生産された農産物の適正な評価システムの確立が不可欠である。とりわけ農産物の外観を重視する現在の評価システムから栄養価や安全・安心を重視した評価システムへの転換が重要である。この課題へのアプローチにあたっては、事例研究に耐えうる研究対象が少ないためテストマーケティングによる市場実験的な研究、さらには環境保全型農産物にたいする消費者の潜在的な支払い意志やニーズを解明するため

表3 経営評価の課題と評価手法開発の方向

課題の領域	課題と適正なアプローチの方向	評価手法開発の方向
環境保全型技術の経営評価	①環境汚染処理技術よりも汚染防止技術の効果をどう評価するかが重要である ②次世代への貢献度をどう評価するか ③輪作体系の収量以外の多面的な効果を長期的に評価する必要がある ④土地資源の特性(浸食性、透水性、降雨パターン)と汚染物質の流失との関係の解明 ⑤特定環境保全技術が経営全体・地域全体に及ぼす効果を時系列的かつプロセス的に解明する ⑥環境保全型農業に関する優良事例の営農システムの特徴を総合的かつ系統的に捉え、調査事例の蓄積を図る(基本調査事項の統一が必要となる) ⑦環境保全型農業技術の採用効果は、広い範囲の受益者を対象に解明すべきである ⑧長期的な費用・便益分析の考え方が必要	①開発技術の具体的な環境保全効果リストの整理(短期・長期の効果の識別が必要)…技術者、農家、経営研究者が一体となった調査、チェック・リスト法、TN法等が有効。 ②効果を具体的に把握するための指標の開発と影響要因の直接的・間接的の開発と影響要因の直接的・間接的な波及関係の定式化…回帰分析、DEMATEL分析等 ③長期効果評価のための適切な割引率の設定 ④経営シミュレータの開発…記述分析シミュレータ→SDシミュレータ→最適化シミュレータ
環境保全型技術の定着・普及方法の解明	①効果的な生産者教育プログラムの解明 ②効果的な技術普及プログラムの開発	①心理学的な分析(動機づけ理論)、情報理論(学習理論)による接近 ②ロジャースの普及理論の援用
環境保全型農産物の適正評価のあり方解明	①環境保全型農産物の適正価格の設定をいかに行うか ②環境保全型農産物を適正に評価するための品質評価基準のあり方解明 ③消費者による評価をいかに把握するか	①この問題については優良事例が少なく、テスト・マーケティングやCVM、コンジョイント分析等の手法の活用が不可欠となる。 ②実験的経営研究の領域を開拓する。
環境保全型農業定着のための経営政策の展開方向の解明	①従来の経営政策を環境保全の視点に立脚して再評価する ②環境保全型農業定着のための適正な投入財価格の解明 ③環境保全型農業定着のための直接所得補償政策の解明	①環境保全の視点から経営政策を評価するための指標の策定…チェック・リスト法が有効 ②直接所得補償の理論・水準とその効果の解明
環境保全型農業定着状況把握のための地域環境管理指標の開発	①環境負荷コストの適正な評価 ②ストック資源への環境負荷物質の蓄積量とフローとしての環境負荷物質の流入・流出をいかにして把握するか ③環境管理指標の作成単位をどのように設定するか(市町村、集落、メッシュ等)	①客観的な管理指標と快適性や満足度のような主観指標をどう組み合わせるか。 ②個別指標の体系と総合指標の合理的な導出方法 ③専門家と住民評価の統合

のCVM、コンジョイント分析などが有効に活用できる。環境保全型農業定着のための経営政策としては、化学肥料や農薬の過剰施用を規制するといった直接的な政策から、投入資材の価格体系の変更により間接的に環境保全型農業を誘導するという政策、指定した環境保全型農業技術を採用した農業者に対して所得補償をするといった経営政策の展開が考えられる。これらの政策の機能、効果、問題点を幅広い角度から解明することが重要な課題となる。

最後に環境保全型農業定着状況把握のための地域環境管理指標の開発にあたっては、環境負荷コストの評価、ストック資源への環境負荷物質の蓄積量とフローとしての環境負荷物質の流入・流出を総合的に把握することが重要である。また、環境管理指標を策定する地域の単位をどのように設定するかという大きな課題がある。評価手法開発にあたっては、客観的な管理指標と快適性や住民の満足度のような主観指標をどのように組み合わせるか、個別指標の体系的な整理と総合指標への集計化方法の解明が重要な課題となろう。

#### 4. 参加型ファーミング・システムズ・アプローチ (FSTN法) によるメコンデルタVACシステムの確立研究の実践

ここでは、環境保全型農業システムの経営評価研究として現在ベトナムのメコンデルタで我々が取り組んでいる研究事例を取り上げ、その新しいアプローチの方法について提案する。

##### 1) 研究の目的

現在、ベトナムのメコンデルタでは、気象、水、地域資源などを有効に活用するとともに地域環境の積極的な保全を目指した「米」「家畜」「果実」「野菜」「魚」を組合せたファーミングシステムの確立に、カントー大学や国立の試験研究機関が積極的に取り組んでいる。こうした新しい目的・視点のもとでその確立を目指しているメコンデルタの環境保全型ファーミングシステムは、一般的に「VACシステム」と呼ばれている。VACとはベトナム語で庭または果樹園を表すVUONと、池を表すAO、および家畜小屋を表すCHUONGの頭文字からきた略語である<sup>2)</sup>。ファーミングシステムの視点からVACシステムという用語を理解すると、農地での作物生産を表す「V」、池や水などの地域資源を有効に活用する水産を表す「A」、家畜生産を表す「C」を、副産物交換とその有効利用によって有機的に連結しているシステムと定義することができよう。

国際農林水産業研究センターでは、メコンデルタのVACシステム確立の今日的な意義を高く評価し、現在ベトナムのカントー大学と共同でプロジェクト研究を展開している。現在、ほぼ事前調査段階を終了しVACシステム確立のための技術開発を、主として農家の圃場レベルで実施するオン・ファーム・トライアルの段階に至っている。我々は経営研究の立場からこのプロジェクトの中心メンバーとして参加している。研究の直接の目的は「メコンデルタにおけるVACシステムの確立による農家所得の向上」にあるが、それとともに経営研究者として「新たな参加型ファーミング・システムズ・アプローチの確立」という目的を設定し、農民参加を基本とした効率的かつ実践的な技術の開発と普及を支援するためのソフト技術の体系的な開発を同時に実施している。

##### 2) 参加型ファーミング・システムズ・アプローチ (FSTN法) の全貌

我々が開発・整理を目指している参加型ファーミング・システムズ・アプローチの全貌は、表4のように整理することができる。ここで目指しているのは、筆者の一人である門間が住民参加型地域づくり支援手法として開発したTN法(東北農業試験場法)<sup>3)</sup>を、農民主体の技術の開発と体系化及び普及、すなわちファーミングシステム確立のための支援手法(FSTN法)として有効に活用できるように体系的かつ実践的な改良を行うことである。

FSTN法の原型となっているTN法の基本的な理念は、地域づくりに参加する住民はユニークかつ多様なアイデアや意見をもっており、こうした意見やアイデアをうまく集約することによって、少数の特定のリーダーが指導する地域づくりよりも有効な地域づくりが実践できるという考え方である。TN法はこれまで住民参加型地域づくりを支援するための手法として開発され全国各地の地域づくりで活用されてきたが、最近では農業技術が抱える問題点の発見、効果的な技術開発や指導普及の方法解明に有効に活用できることが明らかにされている。

こうした場面でのTN法の活用のされ方を見ると、技術の開発と普及が効率的に実施されない重要な要因の一つとして、農家、普及員、技術者間に問題の重要性や深刻さ、技術開発ニーズ、技術開発の有効性に関して認識のズレが存在することが明らかになった。TN法はこうした技術開発・普及に関わる主体間に存在する認識のズレをできるだけ客観的なデータとして把握し、それらの情報

を関係者にフィードバックすることによって相互理解や合意形成を促進するという大きなねらいをもっている。とりわけ、多様な自然的特性、地域資源、社会的な風俗や習慣、多様な経営形態が存在し、様々な問題点が存在する開発途上国での技術の開発と普及に当たっては、TN法が採用している農民参加型の考え方が重要である。先進諸国で開発した技術を単純に移転しようという発想には大きな問題がある。何百年あるいは何千年という時代の中で構築されてきた伝統農法の優れた点、農家の様々な工夫を尊重しながら、農家と一体となった新たな技術開発システムの確立が強く求められている。

表4 参加型ファーム・システムズ・アプローチ (FSTN法) の体系

第1章 課題

第2章 新しいファーム・システムズ・アプローチの概要

1. ファーム・システムズ・アプローチとは何か

- 1) FSR/Eについて 2) FSR/Eの手順 3) FSR/Eにおける診断・計画の方法
- 4) FSR/Eにおける技術実証試験の方法 5) FSR/Eにおける技術の普及支援の方法

2. 問題の発見・整理・構造解明手法としてのTN法の活用

- 1) TN法第1ステップによる問題発見と整理 2) DEMATEL法による問題構造の解明

3. 新技術導入効果の事前評価手法としてのTN法の活用

- 1) 新技術導入に関する意思決定支援 2) 対策評価法を用いた新技術導入の総合的な効果の評価

4. オン・ファーム・トライアルを総合的に評価するためのシステム

- 1) 多様な経営目標の把握システム 2) 長期・短期の営農計画策定支援システム
- 3) 技術導入効果のモニタリング・システム 4) 技術導入効果の総合的な評価

5. オン・ファーム・トライアル・シミュレータ

- 1) オン・ファーム・トライアル・シミュレータ開発の意義
- 2) システム・ダイナミクスによるオン・ファーム・トライアル・シミュレータの開発
- 3) その他の手法を用いたオン・ファーム・トライアル・シミュレータの開発

第3章 地域づくり手法としてのTN法から参加型ファーム・システムズ・アプローチ手法への改良

1. 問題発掘・整理・評価手法としてのTN法第1ステップの改良

2. 問題構造解明、影響評価手法としてのTN法第2ステップの改良

3. 意思決定支援手法としてのTN法第3ステップの改良

第4章 参加型ファーム・システムズ・アプローチとしてのFSTN法の体系

1. 問題発見とその構造的性質の解明方法

2. 対策の選定とその効果の事前評価方法

3. オン・ファーム・トライアルの評価・モニタリングの方法

4. 開発技術の普及と農民の組織化方法

第5章 FSTN法の実証効果

第6章 むすび —FSTN法の効果的な活用方法—

### 3) 現在までの取り組み状況

以上の研究目標・戦略のもとに策定した具体的な研究計画は以下のとおりである。

- ①メコンデルタのVACシステムが抱える問題を、文献整理、農家調査、農業技術者や普及員に対するインタビューに基づいてできるだけ幅広い角度から抽出した。こうして抽出した問題点の深刻さや解決した場合の効果の特性を、メコンデルタの中心都市であるカントー市の近郊の農村であるタンフータン村の47戸のVACシステム採用農家にインタビューすることで明らかにした（問題発見調査）。
- ②次にオン・ファーム・トライアルに持ち込むべき技術選定に関わる基礎情報を獲得するため、農家が実際に工夫している技術、普及機関が普及を試みている技術、技術者が現在開発を試みている新技術を把握するためのインタビュー調査を実施した（問題解決方策説明調査）。
- ③VACシステムが抱える問題構造の特質を体系的に把握するため、カントー大学のファーミングシステム研究所の職員6名を対象にDEMATEL法を活用した調査を実施するとともに、問題解決のために有効と思われる技術開発の具体的な戦略を階層図に整理し、その重要度を測定した（問題解決対策の有効性評価調査）。

### 4) 実証分析結果の概要

#### (1) ファーミングシステムが抱える問題に関する農家の評価結果

ここでは、VACシステムを形成する部門を「稲作」「果樹作」「畜産（養豚）」「養魚」「経営・流通」の5つに分類し、それぞれのシステムが抱える問題の特質を評価するためのTN法第1ステップによる分析を47戸の農家を対象に実施した。以下、結果の概要だけを要約しておく。なお、ここでの分析結果は、農民が求める技術と研究者が必要であると考えている技術が必ずしも一致しておらず、こうした事前調査の積み重ねによる「技術開発の具体的な内容」「農家圃場で実証する技術の決定」の重要性を示している。

#### <稲作>

「問題の深刻さ」と「問題が解決した場合の効果の大きさ」という2つの側面からの評価を集計した総合評価が最も高いのは、「籾の未乾燥による品質低下」であり、それ以外でも「乾燥する場所がない」が2位、「雨期の籾乾燥の困難性」が4位と、乾燥問題の解決が最も有効であると評価されている。同様に、「ポンプがないため3期作ができない」「ポンプが買えない」といった問題の総合評価もかなり高い。また、問題の深刻さという点で高い評価を獲得していた農薬による川魚・河川の汚染と人体への影響、「3期作後のネズミ被害の増加」「出穂期前～出穂期のネズミの害」についても総合評価が高い。

#### <果樹作>

総合評価で1位と5位になっているのは「生産物価格変動が激しい」「生産物価格が低い」であり、果実価格の不安定性が大きな経営問題になっている。こうした低価格と価格変動を回避するための対策として、加工が有効であると多くの農民は認識しているが、実際には資金や知識の欠如から取り組めないのが実態である。また、無病苗の確保が重要な課題でありながら、それを自分で作るための知識や作業がわからないという問題が指摘されている。その他の問題としては、病気の見分け方や防除に関する問題、自給肥料と化学肥料の適正な組合せ、施肥や摘果による果実の収穫時期の調整問題などに関する総合評価が高くなっている。いずれにしても、果樹生産が抱える問題点克服



のためには、市場価格を有利に展開できる技術開発、あるいは価格変動を回避するための加工・付加価値の増大技術、適正な防除と施肥法、施肥や摘果による収穫時期の調整による高価格の実現などの対策が重要であると農民は評価している。

<畜産（養豚）>

総合評価では、「加工施設がないため価格変動が激しい（1位）」「子豚価格が高い（6位）」「欧米種の子豚価格が高い（4位）」「米ぬか、碎米が高い（8位）」「豚舎の建設費用が高い（3位）」「プラスチックバイオガスダイジェスターが高い（2位）」といった子豚や生産資材の高さが深刻であり、かつその解決効果が大きいと評価されている。その他の問題としては、「原因不明の病気の発生」「下痢が発生」「飼料資源の栄養含量」「適切な豚の販売時期」「豚の事故死が発生」等、病気の治療や予防、飼料の自給化、市場的確に対応できる肥育管理技術に関連する問題の総合評価が高く現れている。さらに、糞尿の臭い、糞尿による河川や飲み水の汚染等の問題に対する総合評価も高く、VACシステムという資源循環型営農システムにおいても畜産公害への適切な対処が重要であることを物語っている。

表5 TN法第1ステップによるメコンデルタ稲作が抱える問題特性の分析結果

問題項目	集計農家戸数 (32)	
	平均評価得点	順位
【2】3期作を始めた後、ネズミの害が増えた	3.77	6
【3】dike-ditchシステムをつくってからネズミの害が増えた	3.1	18
【6】出穂期前～出穂期にかけてネズミの害が発生する	3.58	9
【18】除草剤を利用することによる川魚の減少、汚染が不安である	3.29	14
【25】稲が倒伏する	3.16	20
【26】化学肥料の購入は経営を圧迫している	3.41	12
【29】紋枯病が発生していて深刻な問題になっている	3.51	11
【32】ラッキッドスタント病 (RSV) が発生していて深刻な問題になっている	3.20	16
【34】トビイロウンカの害が深刻である	3.40	13
【43】農業が人間の健康に深刻な影響を与えている	3.89	3
【44】農業は川魚や川の汚染をもたらしている	3.67	8
【46】農業を利用しない病虫害の防除法がわからない	3.19	17
【57】異品種が混入する	3.52	10
【58】乾燥する場所がない	4.08	2
【60】乾燥機がない	3.23	15
【61】雨期には庭での乾燥は難しい	3.88	4
【62】籾を未乾燥で数日置くと品質が低下する	4.35	1
【63】ポンプがないため洪水期の水の強制排出ができず3期作が難しい	3.79	5
【65】ポンプを持ちたいが、設置費が高い	3.72	7
【67】初期生育がおくれる	3.17	19

注：1) 70項目の問題のうち、5段階評価の総合評価得点が高い上位20位までの問題のみを示した。  
2) 集計農家戸数32戸。

### <養魚>

総合評価が最も高いのは、「エビの頭を飼料として利用できない」であり、安価で利用しやすく、飼料価値が高いエビの頭を飼料として確保したいという農民の強い希望がうかがえる。続いて「池の造成・改良資金不足」「稚魚を買う資金不足」などの資金問題の総合評価が高い。さらに、魚の病気の見分け方と対処方法、病気予防費用などの病気対策の展開に関わる問題に対する総合評価が高い。その他の問題としては、水質と魚の生育問題、魚種構成や魚の飼育密度と生育との関係、飼料の最適配合割合や自給飼料の活用方法等に関する問題の総合評価もかなり高い。このように、養魚に関しては価格や資金問題を中心とした経営問題から、病気の防除、エサの確保と配合、魚種構成と飼育密度に関する技術問題まで、かなり幅広い問題の解決が要請されていることがわかる。

### <経営・流通問題>

総合評価が最も高いのは、「特定の時期に収穫が集中することによる低価格」であり、続いて「作物の将来性がわからない」「農産物の価格変動が激しい」「中間マージンが多い」「資金貸付期間が短い」「栽培技術の指導体制が十分でない」「農産物の貯蔵ができないため買ったたかれる」「農業技術の普及雑誌やリーフレットが少ない」「農業機械が高い」「農産物の品質評価が不十分」などの問題である。多くは市場における取引上の問題であり、市場経済への合理的な対応をどのように今後確立していくかが大きな課題となる。

## (2) 経営・流通問題の構造的特質と問題解決対策の有効性の総合評価

### <分析のねらい>

ここでの分析目的は、TN法第1ステップを用いたVACシステムが抱える問題の特質に関する農家評価結果をより詳細に検討し、こうした多様な問題点を総合的に解決できる対策を選定するのに有効な情報を提供することにある。また、第2の目的は、複雑なVACシステムが抱える問題構造や対策の有効性に関して、農家、普及員、技術者の間に存在する認識のズレを解明することにある。この認識のズレに関する情報を提供することが出来れば、農家、普及員、技術者が一体となった技術開発、すなわちオン・ファーム・トライアルを効率的に実施できる可能性が高まるであろう。ここでは経営・流通問題を取り上げ、カントー大学のファーミングシステム研究所職員6名を対象として分析を行った結果について紹介する。

### <DEMATEL分析結果>

DEMATEL分析とは幾何学的な構造分析とも呼ばれ、問題に詳しい情報や判断能力をもつ人々の考え方の特徴を分析して、複雑な問題構造の解明を支援するソフト技術である。この方法を用いることにより、問題を構成する要素間の関係が、直接的な影響ばかりでなく間接的な影響を含めて把握することができる。また、分析対象とした問題の中で重要な役割を果たしている要因、原因あるいは結果的な要因の発見なども行うことができる。

カントー大学ファーミングシステム研究所職員6名のDEMATEL分析結果を見ると、各問題への影響力が最も大きな値を示す問題は、「農業経営情報がない」「農民組織の活動が不十分」「農民自身による信用組織がない」である。これらの評価結果を逆に解釈すると、経営・流通問題の解決で最も波及効果が大きいのは、農民の経営的なセンスを高めるような普及指導と農民自身による信用を基幹とした組織活動の展開であると理解されていることがわかる。次に影響力が大きいのは「普及情報が少ない」「資材購入資金不足」「投資資金不足」「農産物価格変動が大きい」「中間マージンが大きい」「共同販売組織がない」であり、資金不足と市場における価格形成力の弱さが、様々な問題

表6 総合影響行列の行合計（影響度）／列合計（被影響度）／中心度／原因度

問題項目	影響度	被影響度	中心度	原因度
1. 普及活動の中に農業経営に関する情報がない	4.61	2.99	7.61	1.61
2. 農業普及機関から提供される情報が少ない	4.15	2.07	6.22	2.08
3. 農業改良普及員があまり農家を訪問しない	3.39	2.93	6.32	0.46
4. テレビや雑誌からの農業普及情報が少ない	3.49	2.53	6.02	0.96
5. 経営指導が行われない	3.53	3.81	7.35	-0.27
6. 資金融資を受けるのが難しい	3.60	4.08	7.69	-0.48
7. 資金を借りる場合の利息が高い	1.51	1.24	2.76	0.26
8. 資金の借り入れ期間が短い	2.90	4.76	7.67	-1.85
9. 日常的な投入資材購入資金の不足	4.39	3.71	8.10	0.67
10. 将来の投資のための資金が不足する	4.25	4.24	8.49	0.00
11. 副産物交換のためには多くの労働力がかかる	1.48	1.17	2.66	0.31
12. 雇用労働の確保が難しい	0.39	1.14	1.54	-0.74
13. 農繁期と農閑期との間の忙しさにギャップがある	2.61	4.59	7.21	-1.98
14. VACシステムには多様な作業が多く機械化が困難	1.73	1.31	3.05	0.41
15. 生産した農産物価格の変動が大きい	4.05	5.11	9.16	-1.05
16. 中間マージンが多く農家の手取りが少ない	4.36	5.13	9.50	-0.77
17. 品質を適切に反映した価格形成がなされていない	3.35	4.04	7.40	-0.69
18. 出荷時期の調整ができないため低価格になる	3.91	4.39	8.30	-0.47
19. 農産物の輸送施設や貯蔵施設が整備されていない	2.68	2.51	5.19	0.17
20. 農民自身による技術交換のための組織がない	2.94	2.83	5.78	0.10
21. 農民自身による信用組織がない	4.55	3.80	8.35	0.74
22. 農業生産資材を共同購入する組織がない	3.58	3.33	6.91	0.24
23. 農産物を共同販売する組織がない	4.01	4.49	8.51	-0.48
24. 農民組織の活動が不十分である	4.61	3.85	8.47	0.76

注：1）影響度とは総合影響行列の各行ごとに24の要素を合計した値であり、当該要因がその他の要因全体に与える影響の大きさを、非影響度とは各列ごとに24の要素を合計した値であり、当該要因がその他の要因から受ける影響の大きさを示している。

2）中心度＝行合計（影響度）＋列合計（非影響度）  
原因度＝行合計（影響度）－列合計（非影響度）

の発生に大きな影響を与えているという認識が理解できる。

＜対策展開の総合的な問題解決効果＞

DEMATEL分析の結果を見ても明らかなように、問題は決して単独で存在しているわけではなく、相互に密接な関連をもって存在している。そのため、個別の問題解決を意図して展開した対策であっても、結果的にはその他の問題解決に多面的な波及効果を及ぼすのが一般的である。こうした実態を評価するため、我々は個別対策の問題全体の解決に対する直接・間接の効果を総合的に評価した。この分析結果を見ると、様々な問題の総合的な解決に最も有効であると評価されているのは、「経営指導の充実」である。すなわち、経営指導を充実することによって農家ばかりでなく普及員の意識が向上し、市場経済への対応、農民の組織化、部門・作物結合の合理化などが実現でき、経営・流通問題の全般的な問題解決に有効であると評価されている。続いて総合的な問題解決効果の評価が高いのが、「技術指導を十分に実施する」「農産物販売組織をつくる」である。経営指導と技

術指導を車の両輪とした普及体制の確立が、経営・流通問題の解決に最も波及効果が大きいと評価されている。また、市場経済への移行に伴う混乱が続いているベトナムでは、農民自身による販売組織の結成と活動が不可欠であり、こうした組織活動の成果は多方面に影響すると評価されている(表7)。

表7 対策の総合的な問題解決効果評価結果

対 策 項 目	総合得点
1. 農業経営指導を十分に実施する	131.10
2. 農業技術指導を十分に実施する	124.45
3. テレビや雑誌による普及指導を行う	106.90
4. 年間を通した労働配分の調整	79.39
5. 簡便で安価な農業機械・施設の開発	104.58
6. 農産物販売組織をつくる	123.93
7. 共同購買組織をつくる	100.94
8. 信用組織をつくる	106.66
9. 技術普及のための農民組織の結成	94.63
10. 農産物の品質規格を確立する	82.53
11. 地域・経営条件に応じた作物・家畜の最適組合せ解明	109.45
12. 地域・経営条件に応じた作物・家畜の最適規模の解明	100.69
13. 副産物利用の可能性を解明する	91.58
14. ファーミングシステムの経済効果と環境保全効果の解明	94.26
15. ファーミングシステムによる水質維持効果を解明する	82.30
16. ファーミングシステムによるその他の環境保全効果の解明	78.93

### (3) VACシステム確立のための技術開発の体系と重要度評価

#### <分析の目的>

ここでは、メコンデルタにおけるVACシステム確立のために不可欠となる技術開発の体系を整理し、その重要度を評価するのが課題である。この課題を解明することによって、オン・ファーム・トライアルに持ち込むべき技術の選択プロセスを客観的に把握することが可能になる。また、この分析の第2のねらいは、前述のDEMATEL法を活用した対策評価法と同様に、農家、普及員、技術者間の認識の違いを明確にすることにある。こうした情報が客観的に提供できるならば、オン・ファーム・トライアルの実践過程で相互に十分な議論が可能になり、相互理解の向上、合意形成の促進につながり、より実践的で農家の経営改善につながり、広範囲の普及が可能な実証技術が選択されるであろう。

#### <技術開発体系の策定方法>

この分析が成功するか否かは、実践性が高く経営指導に有効であると期待される技術を客観的に選択できるかにかかっている。こうした技術の選定にあたっては、一般的には技術者の判断が重要であると考えられている。特に開発途上国では農民の教育レベルが低く、農民自身による技術開発よりも公共機関による技術開発や技術移転が有効であると考えられている。しかし、日本の経験を見ても明らかなように、農家に普及している技術の中には農民自身が開発・工夫したものが多く含

まれている。我々はVACシステムという研究者にとっても未知のかつ複雑な要因を多く含む技術開発にあたっては、農民自身が開発工夫している技術の発見が重要であると考えている。

そのため、水稲、果樹、畜産、養魚、ファーミングシステム等の専門分野の研究者・技術者に対するインタビューと先進的な農家によるインタビューを繰り返し、VACシステム確立に必要な開発すべき技術の体系を図2のように策定した。この図の最大の特徴は、階層図として開発すべき技術の体系を整理した点にある。こうすることにより、技術開発の体系が個別具体的な課題、個別課題をより集約した中課題、中課題をより集約した大課題へと体系的に整理できる。また、階層図体系による整理を行うことによって、各技術開発の重要度の測定を容易に行うことができる。

#### <技術開発の重要度評価>

なお、こうした開発すべき技術の体系的な整理とともに、開発すべき技術体系の重要度に関する評価をファーミングシステム研究所の職員を対象に測定した平均数字が、図2の中に記入してある。測定方法としては、アメリカのサティアーによって開発された階層化意思決定（AHP）における一対比較調査を基本とした重要度測定法を用いた<sup>12)</sup>。

大分類の重要度推定結果を見ると、ファーミングシステム研究所の職員は、ファーミングシステム技術の開発がVACシステム確立のためには最も重要であると評価し、次に重要な技術としては、経営流通改善技術と果樹生産技術であると評価している。この結果はファーミングシステム研究所職員という属性が大きく作用していると思われる。おそらく、稲作関係の技術者は稲作関連技術の開発が、畜産関係の技術者は畜産関連技術の開発が重要であると判断するであろう。以上の分析結果から明らかなように、オン・ファーム・トライアルに持ち込むべき技術の選択に関する技術者間の合意形成はかなり難しくなることが予想される。こうした状況では、普及員もしくは農民自身による判断が最も重要な情報を提供することになる。意見の違いを客観的に明確にすることは合意形成の第一歩である。

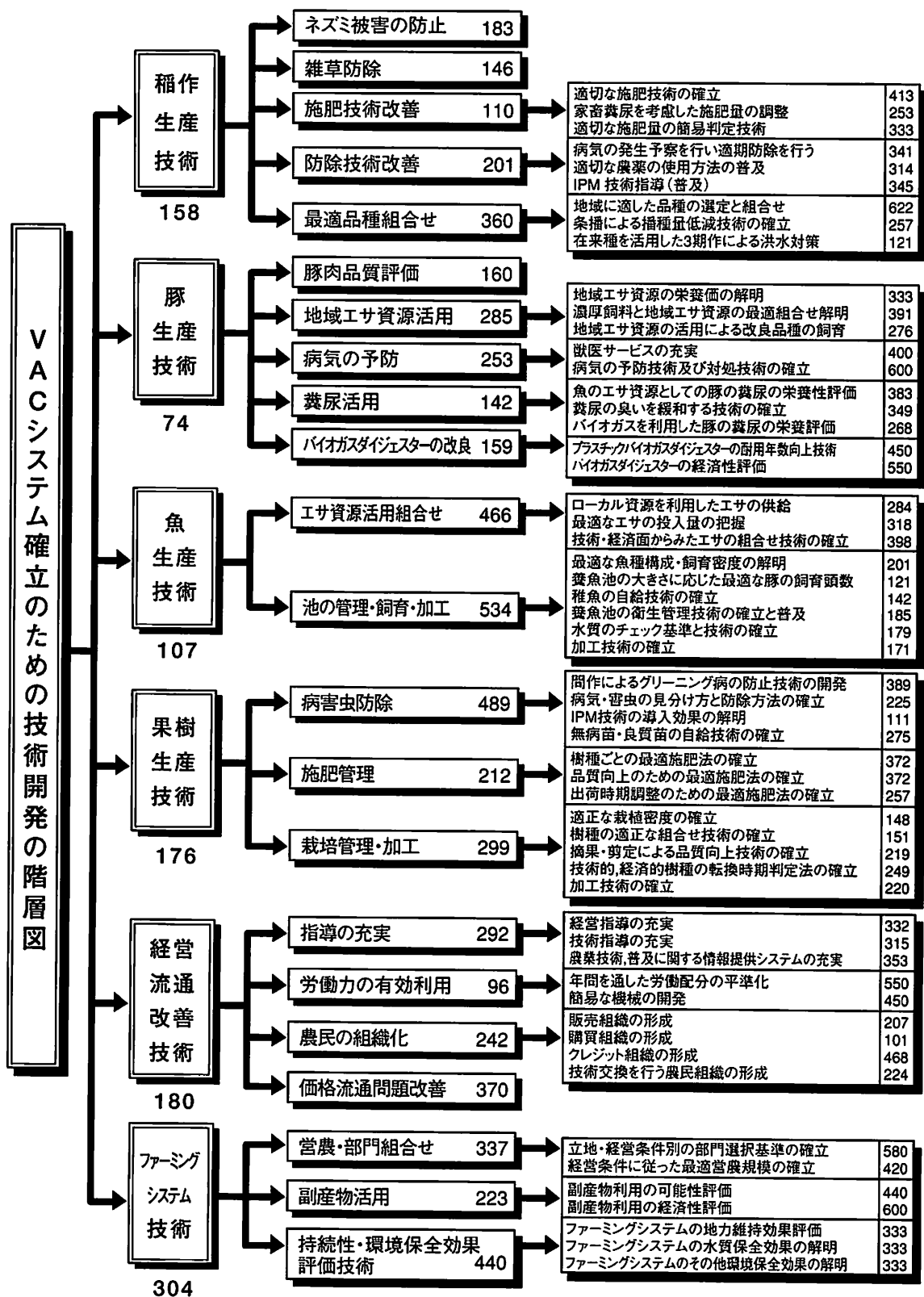


図2 メコンデルタにおけるVACシステム確立のための技術開発の体系とその重要度

注) 数値は、ファームシステム研究所職員5名の評価結果の平均値である。  
 なお、数字は1000倍して示してある。

## 5. むすび

本稿では環境保全型農業確立のための研究の基本的なスタンスと、経営研究の展開方向、そしてメコンデルタのVACシステム確立のために我々が実施している参加型ファーミング・システムズ・アプローチ（FSTN法）について紹介した。最後に本論文の主張の要点と今後の経営研究の課題を整理しておく。

### <要約>

- ① 環境保全型農業研究のためには、クローズド・システムである地球環境問題を常に視野に入れ加害者としての農業を明確に意識すること、環境保全型農業に接近するためには哲学的な基礎を自分なりに確立することが不可欠であり、環境倫理学に対する理解を深める必要がある。
- ② 環境保全型農業技術の経営評価は部分的に実施すべきでなく、農家の営農体系の中で総合的に評価する必要がある。また、短期的な視点から評価すると誤った結論を導き出す可能性が高くなるため、動態的な視点からの評価、あるいは将来世代の選択の幅の拡大といった視点から評価する、さらには個別経営全体で評価するとともに常に地域あるいは産地といった地域レベル、さらには地球環境への貢献といったレベルで捉える必要がある。
- ③ 環境保全型農業技術の定着、効率的な普及プロセスを解明するためには、動機づけ理論や社会心理学的なアプローチとTN法やFSRE的な参加型アプローチが重要になる。とくに農民と技術者との間に存在する技術開発に関する意識やニーズのギャップを埋めるためには、TNを活用した参加型ファーミング・システムズ・アプローチ（FSTN法）が有効であることが、ベトナムメコンデルタのVACシステム確立のための研究で確認された。

### <農民参加型ファーミング・システムズ・アプローチにおける経営研究の展開方向>

- ① FSTN法の有効性をより一層高め、迅速な技術開発を実現するためには、農家圃場における新技術導入の技術的、経営的な多面的効果ならびに問題点を常にリアルタイムでモニタリングできるシステムを開発することが必要である。モニタリングシステム開発の最大のねらいは、間違った方向への技術開発の起動修正を迅速かつ正確なデータに基づいて農民参加型で実施することにある。
- ② 技術導入効果を事前に的確に評価できるシミュレータの開発が重要である。オン・ファーム・トライアルという農家に大きなリスク負担を求める形態での技術開発に当たっては、新技術導入の多様な経営効果を多方面から評価できるシミュレータの開発が不可欠である。これまで経営研究では数理計画法を活用したシミュレータがあるが、実用化するにはまだまだ克服すべき大きな課題がある。また、新技術導入の効果や問題点を時間の経過に基づいてリアルタイムに近い形で評価できるような新たな動態的なシミュレータの開発が必要である。

## 6. 引用文献

- 1) レスター・R・ブラウン・本田幸雄監訳：『地球白書－2000年・人間と環境への提言』ダイヤモンド社, 1989.
- 2) 長 憲次・岩元 泉編：『市場経済導入後のベトナム稲作農業の生産・流通問題』平成7年度文部省科研費報告書,p.45, 1995.
- 3) 石 弘之：『地球環境報告』岩波書店, 1994.
- 4) 嘉田 良平：『環境保全と持続的農業』家の光協会, 1991.
- 5) 加藤 尚武：『環境倫理学のすすめ』丸善ライブラリー, 1996.
- 6) 久馬一剛・嘉田良平・西村和雄監訳：『代替農業－持続可能な農業を求めて－』(財)自然農法国際研究開発センター, 1992.
- 7) 陽 捷行編著：『地球環境変動と農林業』朝倉書店, 1995.
- 8) 門間 敏幸編著：『TN法－むらづくり支援システム実践事例集－』農林統計協会、1996.
- 9) OECD環境委員会編・嘉田 良平監修・農林水産省国際部監訳：『OECDレポート－環境と農業先進諸国の政策一体化の動向－』農文協, 1993.
- 10) 農政ジャーナリストの会：『環境保全型農業をどう進めるか』日本農業の動き, 111：p19, p. 38－56, 農林統計協会, 1995.
- 11) 酒井 惇一：『農業資源経済論』農林統計協会, 1995.
- 12) 刀根 薫：『ゲーム感覚意思決定法』日科技連, 1987.

門間 敏幸（農業研究センター）

山田 隆一（国際農林水産業研究センター）





豊かな恵みをもたらすメコンの夕暮れ



研究者、普及員、役場職員と一体の農家調査風景



様々な価格の米が並ぶ町の市場  
一番高いタイ産の品種でも日本円換算でキロ70円



豊富な種類を誇る果物店  
まだまだ価格が高く、農家には魅力的な商品



炊事に活用されるバイオガス



バイオガスの原料はこの豚の糞尿豚の糞尿は  
さらに魚のエサにもなり、見事に資源循環している



## 総合研究シンポジウム

# 「水田の生産機能の最大活用による 持続的作物生産」

## 趣旨

わが国の稲作は、厳しい生産調整が余儀なくされており、生産調整面積は約100万haに及ぼうとしている。また、米の生産コストは一層の削減が求められており、水田の果たしている公益的機能を保全しながら、水田の新たな有効利用技術の開発が求められている。

一方、大家畜生産は自給飼料生産の場を伴わない頭数規模拡大・労力不足から、濃厚飼料はもとより乾草など粗飼料までも輸入に依存しつつある。こうした大量の輸入飼料に依存したわが国の畜産は、家畜排泄物による環境汚染の大きな要因となっており、水田等と有機的に結合した資源循環型畜産経営が求められている。

このシンポジウムでは、わが国の食料生産基盤として築かれてきた水田とその優れた機能を活かした環境保全技術の確立を前提とした、水田の高度利用技術の確立に向けて、飼料稲を含む多様な作物の結合による水田の生産機能を最大限に活用する可能性と限界を探り、その方向を展望する。

**主催** 農業研究センター、農林水産技術会議事務局  
**日時** 平成10年11月11日（水）10：00－17：00  
**場所** 農業研究センター大会議室  
**事務局** 農業研究センター・企画調整部研究交流第2科

### ◆プログラム◆

<b>開会</b>		10：00
<b>挨拶</b>		10：00－10：15
	農業研究センター／農林水産技術会議事務局	
<b>基調講演</b>		
	「光合成から見た水稲バイオマス生産の可能性」 秋田 重誠（東京大学教授）	10：15－11：15
	「地力窒素と生産力限界」 三枝 正彦（東北大学教授）	11：15－12：15
<b>話題提供</b>		
	①「環境保全に配慮した水田の生産力」 清野 豁（農業環境技術研究所科長）	13：15－14：00
	②「飼料イネ生産について」 萱場 猛夫（山形大学教授）	14：00－14：45
	③「飼料イネ技術確立の必要性と今後の方向」 佐藤 純一（草地試験場部長）	14：45－15：30
<b>総合討論</b>		15：45－17：00
<b>閉会</b>		17：00

## 主催者挨拶

### 農業研究センター・中川原所長

第3回目の総合研究シンポジウム開催に当たりご挨拶をさせていただきます。このシンポジウムは農業研究の総合化を実現するため広く識者に意見を頂きまして、将来の研究方向を定める契機とするために行う勉強会であります。第1回目は平成8年11月に開催されまして、まさに、総合研究を解題するシンポジウムでありました。ご記憶のことと思いますが、副題は「総合化に向けた農業研究とその方法論」でありました。第2回目は今年の4月に開催しました。「これからの水田農業と日本の米」という具体的なテーマを取り上げました。新たな米政策のもとで、わが技術陣営・研究陣営が何をなすべきかということを討論して頂きまして、米生産の問題以外に、活用する水田輪作技術、あるいは環境と調和した水田機能の活用、あるいは現在挑戦中の新しい水田生産技術などを話題としました。今回の第3回は、その「おさらい」というべき話題を取り上げてみました。前回との間隔をあまり置かずに開催いたしますが、そのような背景で今回第3回目の勉強会があると考えています。その話題は、「水田の生産機能の最大活用による持続的作物生産」であります。わが国は、水田耕作面積の1/3を生産調整しています。かと思えば、家畜飼料の大部分を海外の生産物に頼っているというような背景があると思います。農業の現状は、農業の環境から見ると、いかにも非正常な状態と言わざるを得ないと思います。

一方、わが国の農業環境というのは、先の「食料・農業・農村基本問題調査会」の「最終答申」にも見られますように、一言で言えば、激動と変革の渦の中にあります。このシンポジウムはこのような中で開かれると言うことですが、私たち技術陣営にとってなにがしかの具体的な方向や積極的な意義づけというものが出るとすれば、これに勝る成功はないと考えています。

本日は、秋田先生、三枝先生のお二方に基調講演を頂き、さらに、お三方には話題提供をお願いしましたところですが、お忙しいにも関わらず、快くお引き受け頂きました。誠に有り難く存じます。私たちと致しましては、このご講演を頂く皆様の話題を糸口にしまして、水田の多様な利用について、技術分野といたしまして、何が可能であるか、何を可能にするのか、あるいは何が限界なのか、ということを知りまして、将来の展望の出発点にさせていただきたいと思っておりますし、そのような方向でこの会議が進められれば幸いかと存じております。本日は以上のように、このシンポジウムに大きな期待を致しておりますことを申しまして、主催者側の開会の挨拶に代えさせていただきます。どうも有り難うございました。

### 農林水産技術会議事務局・八巻研究管理官

本来ならば事務局長の三輪がご挨拶申し上げるところでございますが、所用のためこちらに参ることができませんので、代わりまして一言ご挨拶申し上げます。

本日は平成10年度総合研究シンポジウムを開催しましたところ、多数お集まり頂きまして、本当に有り難うございます。さらに、本日、基調講演、話題提供をお引き受けいただきました、先生の皆様方には御多忙中にもかかわらず多大なるご尽力を賜りました、厚く御礼申し上げます。

今日、わが国の農業・農政は大きな転換期にございます。周知のとおり昨年4月より「食料・農業・農村基本問題調査会」におきまして、これからの食料・農業・農村にかかわります基本政策につきまして、各界・各層よりお集まり頂きまして、精力的に議論が進められて参りました。この9月17日に最終答申が出されておりますが、その中では、従来の食料の安定確保のほかに、農業の自然

循環機能の発揮、農業・農村の多面的機能の発揮というこれまでに無い新しい切り口が出されております。このような新しい面に配慮した形で、今後、農業基本法が策定されるものと考えております。そこで、調査会答申の中で、農林水産業試験研究に関わる部分であります、あらためて技術の開発・普及という項を起こしまして、今後の技術開発につきましては、食料の安定供給、農業の生産性の向上、食料の安全性の確保、品質の向上、持続的な農法への転換、国土・環境保全等食料・農業・農村に対する国民の期待と政策の展開方向に即したものに重点を置くべきであるとしております。さらに、生産現場との連携を密にすることにより、技術の積極的な普及・定着を図り、わが国全体の技術水準の向上を図るべきであるというふうにしております。

農林水産技術会議事務局としましても、このような期待に応えるべく、国際化に対応しうる革新的な技術開発、さらに生産現場に直結した技術開発等を積極的に推進して参る所存でございます。さて、本日のシンポジウムは、「水田の生産機能の最大活用による持続的作物生産」と題しまして、水田の生産機能と飼料稲の生産・収穫・利用技術を中心に論議することにしております。飼料稲につきましては、昭和40年代後半、米過剰が顕在化するに伴いまして提案されておりますし、50年代半ばに農政審議会でも取り上げられているところでございます。生産現場におきましても、試作に取り組みましたが、技術的隘路も多く定着を見ませんでした。それに対しまして、今日改めてこの課題を取り上げるのは、これから3点ほど申し上げたいと思いますが、新しい視点で取り組まなければならないと考えております。

第1点は、円滑な米生産調整の実現と水田利用の高度化でございます。平成10年度の米生産調整目標面積は96万haに達してございまして、このような米の需給ギャップは今後も続くものと考えなければならないと思います。それに対する新たな強力な有効な打開策が今求められているわけでございます。特に、湿地地帯におきましては、麦や大豆による転作対応が困難でありまして、ほとんど保全管理のような状況で対応している所も多いわけでございます。これに対しまして、飼料稲の導入は、水稻による米の生産調整が可能になり、さらに耕種部門と畜産部門とを結び付けた新しい水田の高度利用が可能になると考えております。そういうものに貢献するものだろうと考えております。

第2点は、畜産飼料の自給向上と地域物質循環の構築でございます。飼料稲のホールクロップサイレージ化によりまして、粗飼料とともに濃厚飼料の自給向上を図るということでございます。さらにその家畜のふん尿を堆肥化して、飼料稲に投入すれば、地域全体として物質循環を構築することになると考えております。

第3点は、水田機能の維持と公益的機能の発揮です。水稻作付けに伴いまして、水田としての機能の維持を図り、そのことを通じて国土保全という公益的機能を発揮させることになるわけでございます。さらに水田機能の維持ということは、例えば冷害等によって主食米が著しく不作になった時に対応することは勿論のこと、今後予想される世界的な食料需給ひっ迫に対して、生産の場、生産技術、あるいは担い手の確保を図っていくということになるのではないかと考えております。

飼料稲の導入は、以上のような意義を持つわけですが、過去の試験研究の反省に立てば、例えば、品種育成や栽培の面で、単に収量の追求だけではなくて蛋白質含量を追求するような、飼料作として新しいコンセプトの稲作というものを考えていかなければならないのではないかと考えております。さらに、飼料稲の栽培と家畜飼養をどう結び付けていくのか、いわば地域農業の再構築という問題も存在するというふうに思っております。また、飼料稲は経営に定着してこそ意味があるわけでして、そのような観点から水田転作助成金体系を踏まえつつも、開発技術を的確に評価し、研究内容

と現実の営農システムの方向づけを図っていくことが重要なことであろうと思っております。

このように考えて参りますと、飼料稲はたぶんにも多様な研究分野の連携が必要であり、総合研究としての推進が重要であります。そのような態勢を早急に整えていく必要があると考えております。いずれにしましても、飼料稲はこれまでの稲・麦・大豆に加えまして、転作のメニューを増やします。それによって水田利用の高度化・多様化を図ることになります。がしかし、今後の技術開発の推進にもよるわけですが、短期的には、コスト面・価格の面で購入飼料に太刀打ちできないのは明らかでございます。それには、やはり、政策的な支援というものが不可欠になるのだらうと思っております。それに関連しまして、水田の生産機能を維持すると言ふことの意味、つまり、水田の持つ公益的機能をどう評価し、それを国民レベルで費用負担が容認できるかどうかという、そういう観点も必要だと思っております。

このように考えてみますと、飼料稲をめぐるまはは何らかの政策転換が必要であろうと思っております。それを技術面から先導していくことが、我々の課題であろうと認識しているところでございます。そのためにも、一定の研究期間を設定しまして、それに合わせて明確な研究目標を設定し、それを着実に達成していくことが求められております。このような研究推進の方策は、麦類緊急研究プロジェクトの中に取り入れてきたことは周知のとおりでありまして、現在、大豆についてもこの方向で検討をしております。同様にこの飼料稲につきましても、麦プロと同様な研究推進方策を取り入れ、農業関係試験研究機関が一体となって研究を進めて参りたいと考えておりますので、今後ともご協力のほどをよろしくお願いしたいと思います。

最後になりましたが、この総合研究シンポジウムは、これまでの米・麦・大豆作の技術開発に加えまして、飼料稲の技術開発・技術確立により水田農業の革新という、より大きな課題に研究勢力が研究陣営が総力を挙げて取り組む契機になることを祈念いたしまして開会のご挨拶にさせていただきます。

# 光合成から見た水稻バイオマス 生産の可能性

秋田 重誠

## 1. 今時、なぜ水稻バイオマス研究なのか

私がここで話をさせていただくのは2回目である。前回は直播の研究のかなり初期のころで、直播の研究をどういう視点で取り組むべきか、という話をさせていただいたと思う。その時、私がここで話したことは、「おそらく直播の研究といっても色々な場面の研究があるだろう、しかし、基盤的研究として非常に大事なことは、イネのストレス耐性の研究である、したがって、直播に関わらず、イネの基本的な研究課題として取り組むことが大事ではないか」というような話をしたと思う。本日は話すことも基本的には同じことで、一時的な米過剰の問題とか現実的対応ではあろうが、収量性を高める研究というのは、農学において基盤的な研究として、進めていかなければならないものである。

私自身は、農林水産省に入って以来、一貫して光エネルギー固定の関係の仕事に携わらせていただき、技会では、当時の「エサ米」研究プロジェクトの企画にも関係した。それ以来、イネの収量性についての研究プロジェクトの名前は色々変っているが、米の多収研究は今日でも継続されてきている。「エサ米」の研究から、「新形質米」、「多用途米」、それから今は「次世代」と、名前は変わってきているが、柱の一つとして流れているものは、収量性を高める研究でなかったかと思う。したがって、今日の「水田機能を活用した持続的作物生産」という課題のなかで、また、収量性に係わる研究テーマが取り上げられるということもあって、今までの研究経緯を少しまとめながら、太陽エネルギー固定上、今具体的にどういうことが生理・生態的視点から問題になっているのかというようなことを紹介したい。

## 2. 最近の水稻生産力と技術的背景

常に耕地を拡大することによりエネルギーの固定量の確保を図ってきたという経緯がある。そのため不適地にまで耕地を拡大してきた。そのことが持続性の低下を持たらしている最大の原因である。したがって、そういう希薄なエネルギーを利用し、エネルギーの固定効率を何とかして上げていくことは環境保全に大きく寄与するものであり、作物の持続的生産を確保する上でも基本になることである。すなわち、環境保全型農業の基本は何かということ、「光エネルギーの固定効率を少しでも高める研究が最も基盤的な研究になるだろう」と考えている。我々が21世紀に向けて考えていかなければならないことは、自然との共生のなかで、「環境保全型」や「持続性」ということを基本的に考えるのであれば、こういうエネルギーの固定効率について、研究の主要課題として取り上げられるべきであろうと考えている。したがって、これらを背景に、主にイネについてのエネルギー固定のこれまでの研究経過と問題点を述べたい。

特にイネの場合は、これまで、環境の制御技術がかなり進歩してきた。初期の頃は窒素をいかにして作物に吸収させるか、そのために環境を整備する、すなわち施肥技術、土壌改良、水の管理な

どで、そういう技術が先行して、現在では20g/ 程度の窒素をやればバイオマスはそれ以上はあまり増えないというような領域にさしかかっている。これからはどのようにしてイネ自体のエネルギーの固定効率を上げるかという手だてを考えていくべき時代にさしかかっていると思う。

最近の日本における多収研究の成果をまず紹介すると、Table.1,2 のようになる。これは農林水産省で行われた米の多収に関するプロジェクト研究の成果だが、代表的な品種である「日本晴」に比べると、新しく作られた品種は、高いものでは50%も収量が上がってきている。これは四国の例だが、関東においても同様である。これは農研セの石川さんが行った未発表のデータであるが、やはり「タカナリ」だと「コチヒビキ」に比べて3割、したがって3~5割収量性が上がってきている。これは食用の米ではないので現段階では直接利用はできないが、エネルギーの固定能力という点では、このように高まってきている。これは農林水産省の今までの多収性の研究の成果である。

日本の稲作をめぐる環境制御技術の進歩の結果、今の日本の米の収量の地域性は、制御の出来ない環境要因、すなわち、日射と温度でかなり説明ができるようになってきた。これは村田氏の試験結果 (Fig.1) だが、温度を横軸にとって、縦軸に収量を日射量で割ってある。すなわち日射量と温度で、収量の地域性がかなり説明できるようになってきた。これに対して、農林水産省のプロジェクト研究では半矮性のインド型の多収品種を導入して暖地における収量を上げてきた。かつての米

**Table. 1 Grain Yield of high yielding rice cultivars in warmer region in Japan**  
(Shikoku Agr. Exp. Sta. 1981-82)

Cultivar	Country or origin	Yield g/m <sup>2</sup>
<i>Semidwarf indica</i>		
Nanjin11	China	782(125)
Suwon 258	Korea	960(153)
IR36	Philippines	773(123)
Akenohashi	Japan	656(105)
<i>Japonica</i>		
Nipponbare	Japan	626(100)

**Table. 2 Grain Yield of high yielding rice cultivars in central region in Japan**  
(Ishikawa et al. Unpublished data)

Cultivar	Country or origin	Yield g/m <sup>2</sup>
<i>Semidwarf indica</i>		
IR 36	Philippines	767(123)
IR72	Philippines	666(106)
Takanari	Japan	841(134)
<i>Japonica</i>		
Kochihibiki	Japan	626(100)

Average yield of 6 years (1992-98) except that of 1993 in which cool summer damage was severe.



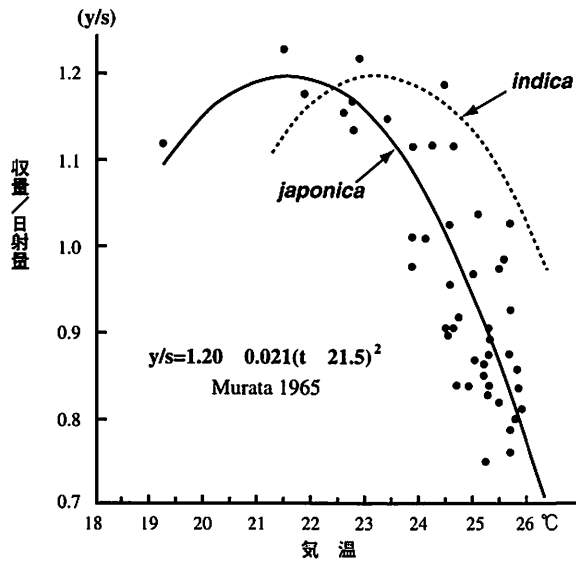


Fig.1 日射と気温が米の収量に及ぼす影響

作日本一の時代から、北の方の稲の収量性は上がってきていないが、暖地についてのポテンシャルはずいぶん上がってきて、今現在、日本の北から南までだいたい収量のポテンシャルを見ると、かつて見られた暖地ほど収量性が低いというような事実はなくなってきている。収量のポテンシャルは北から南までだいたい10t/ha位ではないかと思っている。

これまでの品種改良の効果について、どこに特徴があったのかとまとめてみる (Fig.2)。これは熱帯でのデータだが、日本でもそんなに事情は変わらないと思う。縦軸にエネルギーの固定量、横軸にイネの生育期間が取ってある。このバイオ

マスが品種改良に伴って、熱帯でどのように変わってきたかを見ると、3つのグループの品種が使っており、1つはIRRIの半矮性の遺伝子が入った多収性の品種、それからF<sub>1</sub>、それから伝統的な品種のバイオマスを見ると、この3つのグループはほとんど区別が出来ない。すなわち生育期間が長くなればなるほど、バイオマスの生産量は増える。ただし玄米収量について見ると、明らかに3つのグループに分かれてくる。

したがって、トータルのエネルギーの固定量そのものが品種改良によって、それほどは増えてきていない。しかし、固定したエネルギーの、子実への分配、すなわち、ハーベストインデックスは明らかに高くなってきている。ハーベストインデックスを3つのグループについて見てみると、グループ間では差があり、ハーベストインデックスが高くなる方向、すなわち、エネルギーの固定量を変えないで、分配量を増やしていき、収量が高まってきたという傾向にある。

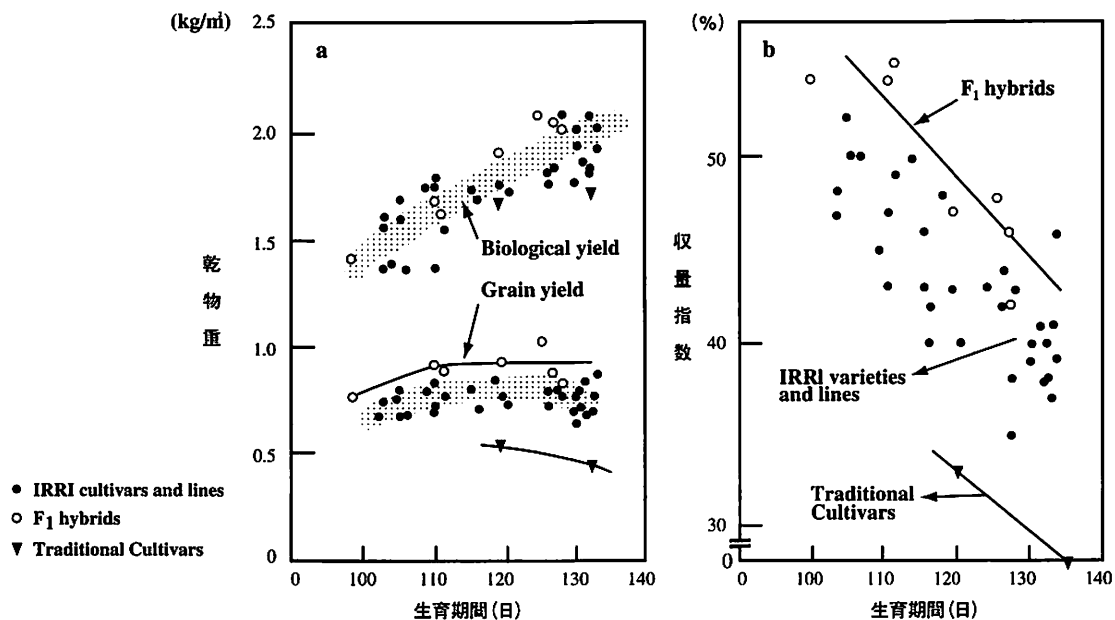


Fig.2 稲の生育期間のエネルギー固定量

### 3. 世界の水稲多収事例

次に世界の多収事例である(Table.3)。世界にはもっと多収地帯が沢山ある。こういう所はどういう理由で高くなるのかに関心の的であった。ここにヤンコバレー、筑波、それからIRRIの3カ所の収量性を比較してみると、日本の場合500~600kg/10a、それに対してヤンコバレーは2倍穫れることがわかる。それに比べてフィリピンだと日本よりも少し低い値になっている。こういう収量性の違いがどういう要因によるかをシミュレーションモデルを利用して考えてみると、登熟期間の違いというのが明らかになる。例えばヤンコバレーだと日射量が22MJ、日本が14MJ、また、平均気温は大きく

**Table.3 Grain yield of rice cultivars grown under favourable growing conditions in different locations in the world**

Location/cultivar	Grain yield (kg/10a)	Total biomass (kg/10a)	Reference and notes
Yanco Valley, Australia			Onishi et al, 1993 Climate in ripening period : av. solar radiation : 22-24MJ ; av. max. temperature : 29.0℃ av. min. temperature : 17.0℃ ripening period : 60days
Echuka	1170	2350	• Similar to United States cultivar
Amaloo	1090	2550	• Similar to United States cultivar
Sasanishiki	1210	2600	• Japonica
Koshihikari	1110	2500	• Japonica
Tsukuba, Japan (National Agricultural Research Center)			Ishikawa, Akita & Li, 1993 Climate in ripening period : av. solar radiation : 14.1MJ ; av. max. temperature : 28.5℃ av. min. temperature : 21.0℃ ripening period : 45days
Sweon 258	800	1660	• Semi-dwarf indica
Takanari	790	1630	• Semi-dwarf indica
IR36	670	1320	• Semi-dwarf indica
Koshihikari	620	1470	• Japonica
Nipponbare	570	1380	• Japonica
Lemont	530	1110	• United States cultivar
M-401	510	1260	• United States cultivar
Los Barrios, the Philippines(IRRI) Dry season			Climate in ripening period : av. solar radiation : 17-18MJ ; av. max. temperature : 33.0℃ av. min. temperature : 23.3℃ ripening period : 30days
Peta	426	1780	• Tall indica
IR36	512	1230	• Semi-dwarf indica
IR64	650	1583	• Semi-dwarf indica
IR29723-143-3-2-1	686	1835	• Semi-dwarf indica
Wet Season			Climate in ripening period : av. solar radiation : 12-15MJ ; av. max. temperature : 30.5℃ av. min. temperature : 23.0℃ ripening period : 30days
IR64	360	1180	• Semi-dwarf indica
IR29723-143-3-2-1	460	1356	• Semi-dwarf indica

Brown rice with 14 percent moisture  
a=100 m<sup>2</sup>

異なる。したがって登熟期間がヤンコバレーでは60日、日本が45日、フィリピンが30日と変わる。こういった気象と温度の要因で世界の多収地帯の収量性の差がかなり説明できるようになってきた。したがって、特に生産効率のよいイネを使っているということではなく、環境要因で収量性の変動がかなり説明できるようになってきている状況にあらう。

次に、一年を通した生産量を見たときにどうなるか見てみたい(Table.4)。日本の北海道、沖縄、香川、ロスパニオスで、一年間を通してイネを作れるだけ作ってみようというような発想で行われた試験である。日本の場合、北海道では1作しかできず6.5t/ha、香川になると2作が可能で10t/ha、沖縄では3作が可能で15t/haできる。フィリピンでは4回作ろうと思えばでき、合計収量は23t/haとなる。このように緯度にもなって周年の収量が変わることがわかる。今の関係を、横軸に緯度をとって、縦軸にトータルの収量をとると、熱帯ほど1年間のエネルギーの固定量が高くなることがわかる。1作だとこの関係は逆になる。バイオマスは、玄米収量に2を掛ける、すなわちハーベスト・インデックスが0.5とすると25t/haの玄米収量は、バイオマスでは年間50t/ha位を生産することが今のイネでも可能であるというような現状かと思う。

Table.4 Annual productivity of rice in temperate regions and in the tropics.

Location	Crop season	Yield (t/ha)
Hokkaido, Japan (43° N)	May-October	6.5
Kagawa, Japan (34° N)	March-July	5.5
	July-October	5.4
Okinawa, Japan (27° N)		10.9
	January-June	6.2
	June-August	4.9
Los Banos, Philippines (14° N)	September-November	4.2
		15.3
	January-May	8.5
	May-July	4.9
	July-October	5.9
	October-December	4.4
		23.7

Yoshida (1977a)

#### 4. 水稲の光エネルギー固定の特質

次にイネのエネルギー固定上の特性に触れてみたい (Table.5)。これはIBP試験において、全国各地で4年間、作物を育てて、その時のバイオマス生産量、1日当たりの最高のエネルギーの固定量、太陽エネルギーの利用効率をみると、作物によって多少違うが、イネではバイオマスの、4年間の最高値の平均が20t/ha位、それに対してC<sub>4</sub>作物のトウモロコシではこれより高くなる。エネルギーの固定量で見てもイネというのはトウモロコシに比べると多少は低い、これはC<sub>3</sub>とC<sub>4</sub>の違いということが出ている。

では実際の世界の米の単収はどうなっているかを見ると (Table.6)、イネは単収レベルで見ると3.5t/ha (世界の平均値)、トウモロコシは3.7t/haであり、C<sub>3</sub>とC<sub>4</sub>の光エネルギー固定上の特性は、実際の生産場面には反映されていない。これには色々な要因がかかわるが、トウモロコシは水による生産の変動が非常に大きい、一方、イネは湛水下で栽培されるので水要因の影響がないことが主要

Table. 5 各種作物の生物学的収量 (Ybiol.), maxCGR, 太陽エネルギー利用効率 (JIBP,1967~1970)にわたり各地で得られた値の平均値)

	Ybiol. t/ha /life		maxCGR g/m <sup>2</sup> /日		maxEu (%)		生育期間を 通じてのEu
	最高値	平均値	最高値	平均値	最高値	平均値	平均値
水 稻	19.7(18.6)	15.2	36.0(30.1)	25.0	3.17(2.91)	2.27	1.25
大 豆	9.4(8.7)	7.3	26.7(20.0)	14.4	4.36(3.00)	1.90	0.73
トウモロコシ	26.5(20.3)	16.3	51.6(40.4)	32.7	4.63(4.23)	3.59	1.36
テンサイ	22.0(30.0)	19.5	27.8(26.2)	24.7	4.52(3.61)	3.18	1.32

( ) 内は各年度の最高値を4年間について平均した値。平均値は各地の平均値をさらに4年間について平均した値。

Table. 6 耕地における食糧生産 (国際イネ研究所 1993)

作 物	栽培面積 ×10 <sup>6</sup> ヘクタール	生産量 ×10 <sup>6</sup> トン	食糧としての利用量 ×10 <sup>6</sup> トン	単 収 t/ha
イネ	148	522	339	3.5 (C <sub>3</sub> )
トウモロコシ	129	479	120	3.7 (C <sub>4</sub> )
コムギ	232	602	358	2.6 (C <sub>3</sub> )
オオムギ・ライ麦	89	222	78	2.5 (C <sub>3</sub> )
ソルガム・雑穀	76	87	47	1.1 (C <sub>4</sub> )
馬鈴薯	18	268	141	
甘藷・ヤム	11	146	66	

生産量とは流通形態での量であり、食糧として利用可能量の算出に当たってはイネでは籾から精米への換算率65%、トウモロコシでは75%が飼料用、小麦では製粉歩留まり70%、15%飼料利用など作物の調製の仕方、用途を考慮して算出。

な原因と考えられよう。イネのC<sub>3</sub>である特性というのは、かなりポテンシャルに近いものが引き出されているということだ。これは小麦では2.6t/haであるから、イネは同じC<sub>3</sub>でも太陽エネルギーの利用効率の高い作物であるという特徴が明らかである。

## 5. シミュレーション・モデル

シミュレーション研究によると、バイオマスの生産量はRUE (Radiation Use Efficiency) と太陽エネルギーの吸収量を掛けたもので表され、穀実収量は、このバイオマスにハーベスト・インデックスを掛けたものである。

最近のDVRのモデルによると、発育速度そのものはシミュレーション・モデルでかなり正確に推定できるようになった。これは温度との関数で穂が出るまでの日数などはかなり良くあたるようになってきた。またこれを利用して生産量自体もRUEに吸収光エネルギーを掛ければ求められるが、栄養生長期間というのは比較的動きにくい、RUEは日本の場合、北から南までイネを対象に計算してみると、1.95g/MJと大変安定している。ただし、問題は、出穂以後には、この変換係数・RUEの

内容というのは、複雑な式になる。すなわち、 $\beta$ とか $\epsilon$ とかの係数が入っているが、これは単なる当てはめであり理論的な背景はない。そういう状態で無理矢理に合わせてシミュレーションを行っている関係上、なかなか合わないのが現実のようだ。したがって、栄養生長期のエネルギー固定というのは論理的に捉えやすくなっているが、穂が出てから後のエネルギー固定過程はまだ不確定要素があるということが判ると思う。

### 6. イネの収量限界

将来、ポテンシャルとしてどのような値を考えればよいか、ということは研究者であれば常に興味を持ち、事実、過去の研究者はいろんな仮説を出してきた (Table. 7)。

Evanse博士が小麦とイネについて検討したところでは、ポテンシャルとして、水稻の場合16t/ha位を推定をしている。こういった試算はかなりの多くの人がやってき、収量限界をめぐる議論がずいぶん華やかになりし時代があった。わが国でも武田先生、村田先生、東北大の角田先生等がずいぶん検討された。エネルギーの固定過程で用いている係数そのものは仮定の数字であって、これが実際のレベルとどの程度のギャップがあって、そこを埋めるための科学的なベースはどんなものかということに対してはまったくの説明がなされていない。そういう意味ではまったくの夢だと考えて頂きたい。科学性をこれから埋めて行かなければならない時期にあると思う。

多くの方が、日射エネルギーを作物が固定する場合、生育期間を通じると1%という話をしたが、最高の中でもイネの場合5%位となる。問題はエネルギーの転換効率と呼吸のロス、ここをめぐって

Table. 7 米作におけるエネルギー利用率、米収量の試算

(角田 1996)

	武田	村田	角田					
			I 明治初期 平均米作	II 現在の 平均米作	III	IV	V	VI
(イ) 土地1㎡、1日当たり 照射光全エネルギー	5,000kcal以上	3,865kcal	4,000kcal	4,000kcal	4,000kcal	4,000kcal	4,000kcal	4,000kcal
(ロ) 光合成に利用される波長 部分のエネルギーの割合	1/2	44.4%	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
(ハ) 同化器官への吸収割合	1以下	91.7%	7/10	8/10	9.2/10	9.2/10	9.2/10	9.4/10
(ニ) 吸収された光エネルギー の化学エネルギーへの転換率	1/3以下	90%×30%	1/20	1/15	1/10	1/7.5	1/5	1/3に接近
(ホ) 全同化のうち純同化とし て残る割合	2/5	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	3/5?
(ヘ) (イ)×(ロ)×(ハ)×(ニ) 圃場エネルギー利用率	6.7%以下	5.5%	0.9%	1.3%	2.3%	3.1%	4.6%	9.2%
(ト) (イ)×(ロ)×(ハ)×(ニ) ×(ホ) 土地1㎡、1日あたり 純同化量	333kcal 炭水化物 90g以下	210kcal 米換算 60g	35kcal 米換算 10g	53kcal 米換算 15g	92kcal 米換算 27g	123kcal 米換算 35g	184kcal 米換算 53g	368kcal 米換算 06gに接近
(チ) 生産日数	40	40	21	28	40	60	80	100に接近
(リ) 分配率	1	1	1	1	1	1	1	1
(イ)×(ロ)×(ハ)×(ニ)×(ホ) ×(ト)×(チ) 土地10a当たり 炭水化物	13,333kcal 炭水化物 3.6kg以下	8,400kcal 米2.4kg	735kcal 米0.21kg	1,470kcal 米0.42kg	3,680kcal 米1.05kg	7,350kcal 米2.1kg	14,700kcal 米4.2kg	36,800kcal 米10.5kgに接近
土地10a当たり収量	3.6t 24石以下	2.4t 16石	0.21t 1.4石	0.42t 2.8石	1.05t 7石	2.1t 14石	4.2t 28石	10.5t 70石に接近

の係数について、どれだけ現実的なアプローチの可能性があるのであるかということが、今後のエネルギー固定関係の研究の対象になろうかと思う。

## 7. 光—光合成関係のリニアライゼーション

光エネルギーとエネルギーの固定量の関係は双曲線式となる(Fig.3)。双曲線の形を取っているため、エネルギーの利用効率は、光エネルギー量が少ないほど高い。こういう光合成曲線の特徴があるために色々なエネルギー固定上の問題が生じてくる。もしこれが非常に単純で、エネルギーの固定関係がリニアだとすると、物事が単純化できる。したがって、この双曲線をどうしてリニアに持ってくるかということが光合成研究における大きなターゲットになっている。

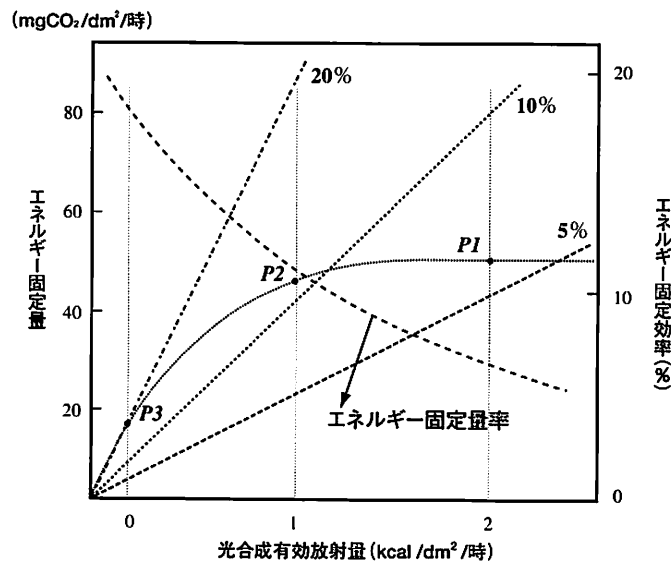


Fig. 3 葉の光—光合成関係(模式図)

まずは、光化学段階での効率の改善であるが、この可能性は小さい。量子収率が8~10で、これを変える技術は今のところほとんどない。ここに色々な植物の量子収率の測定値があるが(Table. 8)、ほとんど種による変動がなく、動かしがたい領域だ。したがって、この所はあまりターゲットにできない。リニアになれば、イネの群落構造もソーラーカーのように単純な構造にでき得るわけだ。こんにゃくのような陰性植物の場合はどういう群落構造をとるかということ、一生に一枚の葉を水平に広げるだけだ。これはなぜこういう体勢で良いかということ、とりもなおさず、太陽電池と同様、グラフの光—光合成曲線のリニアな領域を使っているからである。したがって、イネの場合もライトカーブをできるだけリニアにすることが、群落構造を単純化し、基本的なエネルギー固定効率向上のための戦略になってきた訳だ。

そのためには暗反応過程のエネルギーの固定効率を上げること(Fig. 4)、すなわち、リニアライゼーションであるが、一つは葉の単位面積当たりの窒素含量を増やすことであった。イネの場合、葉の厚い品種ほど光合成が高い、葉を厚くすることにより単位面積当たりの酵素量を増やすことが今まで取られてきた。こういう技術があったわけだが、これから考えなければならないのは、窒素含量は増やさずに、単収窒素量当たりの光合成速度を増やす方向であろう。例えばC<sub>3</sub>植物をC<sub>4</sub>化することは単位窒素量当たりの光合成の効率を高めるということであり、光合成のライトカーブのリニアライゼーションということに寄与するわけである。

実際に光呼吸がある普通のイネの場合の生育に比べ、光呼吸を止めてやると、生育は旺盛になる。光呼吸を抑えるという一つの方法で光合成のリニアライゼーションをやってみると、たしかにエネルギーの固定量が増えてくる。最近になって、イネの中にC<sub>4</sub>的形質を導入するという研究が継続して行われている。そういうC<sub>4</sub>系を制御している酵素が遺伝子技術の進歩によって、イネでもある程度発現を高めることが出来るようになったと言われているが、これだけではC<sub>4</sub>化はまだまだ遠い課題である。これは、酵素が空間的にどういう配置をしているかということの方がむしろ重要である。こういう組織的な対応が伴わない限り、いかに酵素が発現しようと、そういうことでは光合成はなかなか制御できない。

エネルギー固定の問題で、もう一つ具体的な研究課題として上げておきたい。

これは熱帯での実験だが、こちらのカーブ、同じ品種を使い、こちらの下側のカーブは普通の栽培法、良好な管理をした場合のカーブである (Fig. 5)。それに対して、窒素多量で水耕栽培を行うと、光合成速度を変えることは、比較的容易である。窒素をやると増える。ところが、最終的な収量は、同じになってしまう。したがって光合成を制御する手だけでは窒素をやれば可能だが、最終的にバイオマスを上げることは非常に難しい。これは主に窒素を沢山やるとイネの中に蛋白が増えるから、そのターンオーバーのためにも、呼吸エネルギーをかなり使ってしまうという結果である。したがってエネルギーの固定量そのものは高められるけれども、呼吸との差し引き、実際にイネの中に蓄積されるエネルギー量を見ると、穂が出た後は急減してしまう。こういうことが起ってしまうと、呼吸をめぐらる問題はまだまだやることがある。

**Table. 8** Quantum Yields for CO<sub>2</sub> Uptake (Mol CO<sub>2</sub> Absorbed Einstein) of Different C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> Species Measured at a Leaf Temperature of 30°C and an Atmospheric CO<sub>2</sub> Pressure of 325 μ bar

	O <sub>2</sub> concentration	
<b>C<sub>3</sub> species</b>	2%	21%
<i>Atriplex glabriuscula</i>	0.072	0.051
<i>Atriplex heterosperma</i>	0.073	0.053
<i>Atriplex hortensis</i>	0.073	0.055
<i>Atriplex triangularis</i>	0.073	0.051
<i>Encelia californica</i>	0.074	0.052
<i>Encelia forinosa</i>	0.074	0.052
<i>Plantago lanceolata</i>	0.074	0.052
mean and stanndard deviation	0.0733 ± 0.0008	0.0524 ± 0.0014
<b>C<sub>4</sub> species</b>		
<i>Atriplex argentea</i>	0.052	0.052
<i>Atriplex rosea</i>	0.054	0.052
<i>Atriplex sabulosa</i>	0.054	0.054
<i>Atriplex serenana</i>	0.055	0.054
<i>tidestromia oblongifolia</i>	0.054	0.054
mean and stanndard deviation	0.0538 ± 0.0011	0.0534 ± 0.0009

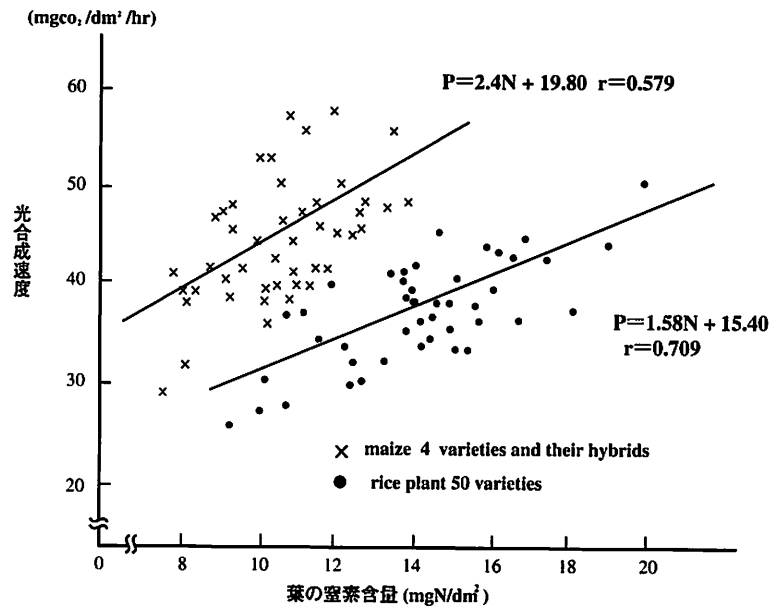


Fig. 4 光合成速度と葉面窒素量 (Akita 1980)

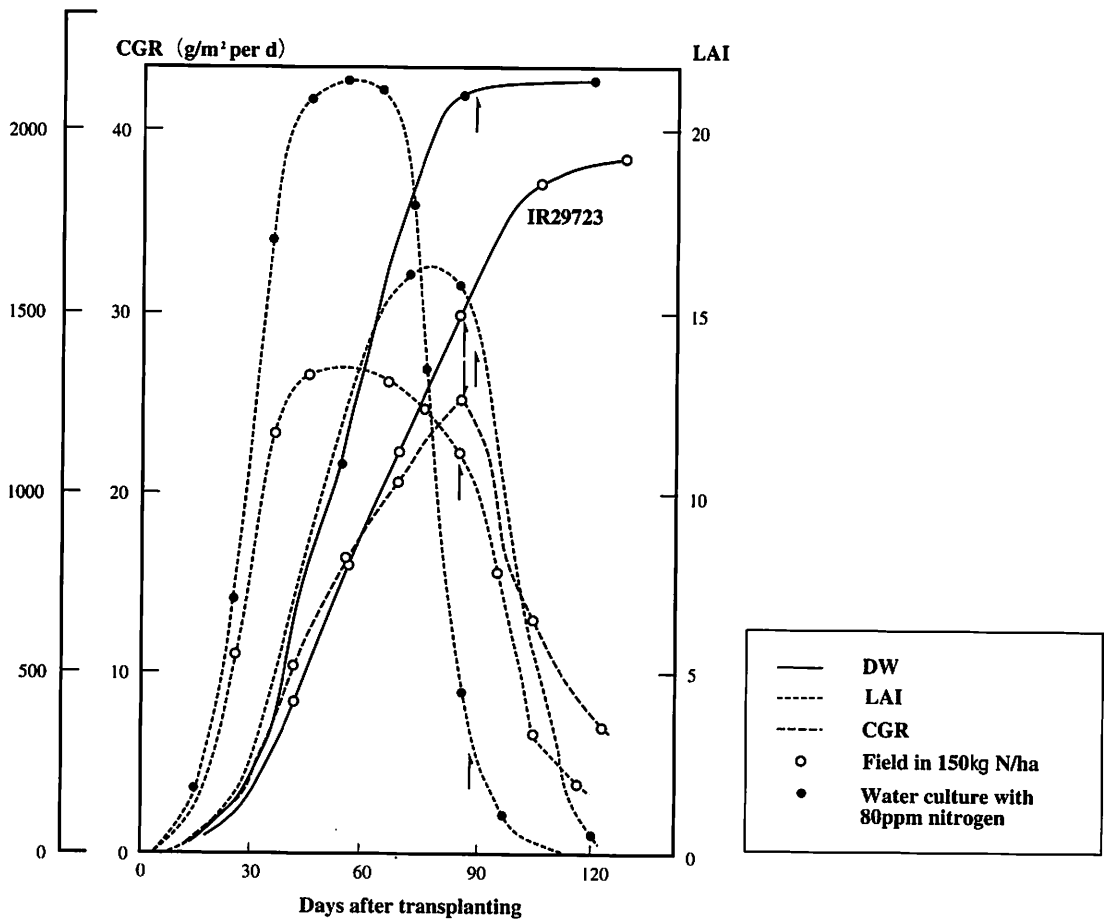


Fig. 5 Growth curves of IR29723-143-3-2-1 (medium-duration) grown in high-nitrogen water culture and in the field with favorable management. 1987 dry season (Q. Shi and S. Akita, unpubl. data).



最近、IRRIと雲南とでイネを育てた結果をみると (Table.9)、同じ品種を使っても、IRRIの収量に比べて雲南の収量は5割ぐらい高い1.5t/haであり、これはイネの最多収事例であろう。日射量の差はないうえ、温度を見ても、平均値をとると雲南とIRRIはほとんど変わらない。しかし収量が倍も違う、そこで考えられることは、ひとつは温度の日較差である。平均気温は両地帯で変わらないが (Fig.6)、日較差が雲南ではIRRIに比べて非常に大きい、夜温度が非常に下がるという特性がある。このことがひとつのファクターとして、シミュレーションモデルの中に入らないと、こういった雲南とIRRIの収量差を説明出来ないといった事例がいくつか報告されている。

**Table. 9 Grain Yield of rice cultivars grown at the International Rice Research Institute (IRRI) in the dry season and Yunnann Province, China in 1996** (Ying et al.1988)

Cultivar	Grain yield (g/m <sup>2</sup> )	Biomass (g/m <sup>2</sup> )	HI	Spikelets /m <sup>2</sup> (×10 <sup>3</sup> )	Spikelet filling(%)
<b>IRRI</b>					
IR72	760	1620	47	40.1	76
IR68284H	920	1770	52	44.0	71
Guichao 2	800	1690	47	43.0	66
Shanyou 63	860	1650	52	36.5	75
Mean	840	1680	50	41.3	69
<b>Yunnann</b>					
IR72	1290	2410	54	66.6	79
IR68284H	1300	2370	55	60.7	73
Guichao 2	1470	2510	59	64.1	85
Shanyou 63	1520	2970	51	54.8	90
Mean	1360	2570	53	62.9	79

これは農環研の川島氏のグループによるもので、日本の東北地方の太平洋岸から奥羽山脈に向かって色々な地帯のイネの収量性をシミュレーションモデルで解こうとしたものだ (Fig.7)。実際の収量とシミュレーションモデルの推定収量の対応を見ると、今までのモデルそのまま計算すると、この相関は非常に低い。ところが温度の日較差というファクターを入れると、この相関係数がうんと上がってくる。収量性の差を説明するのに日較差がひとつ大きなファクターではないかということが、IRRIと雲南の結果と同時に、日本でも出てきている。そこを説明するファクターというのは呼吸になってくる (Fig.8)。一般に呼吸の温度係数というのは温度が10度上がると反応速度が倍になるとされているが、実際にイネの温度係数を求めた例では、温度係数が3ぐらいになっている場合もある。こういうエネルギーの消費系というのは、まだまだこれからやらなければならないことがある。

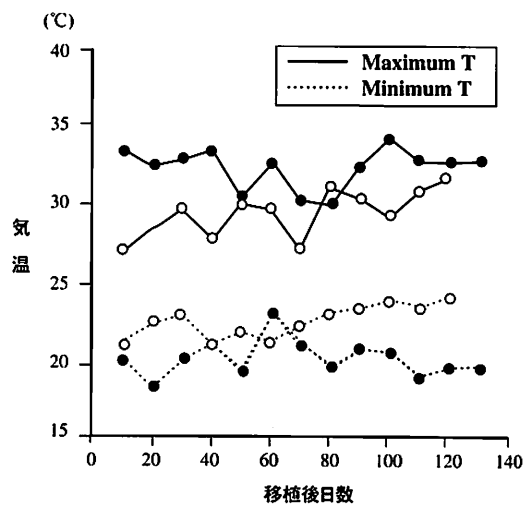
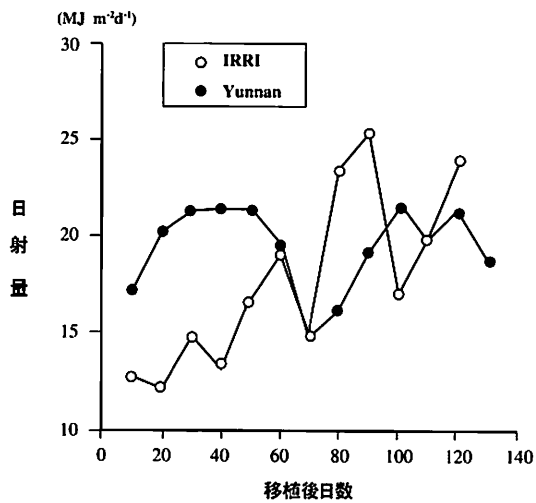


Fig. 6 IIRIと雲南の日射量及び気温

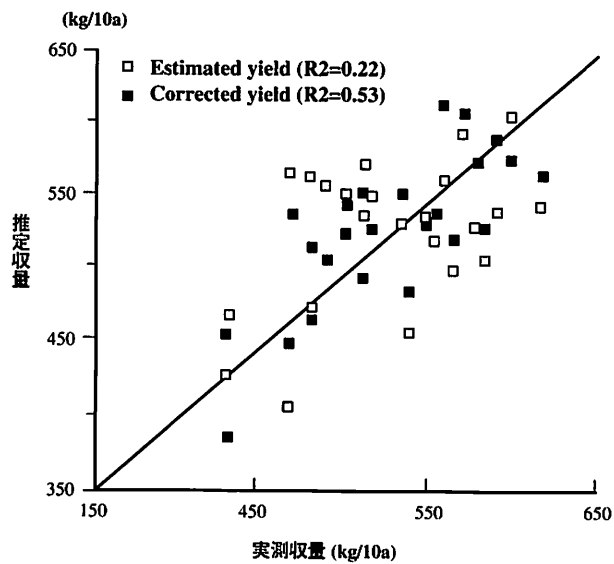


Fig. 7 シミュレーションモデルの推定収量  
(Kawashima et al. 1998)

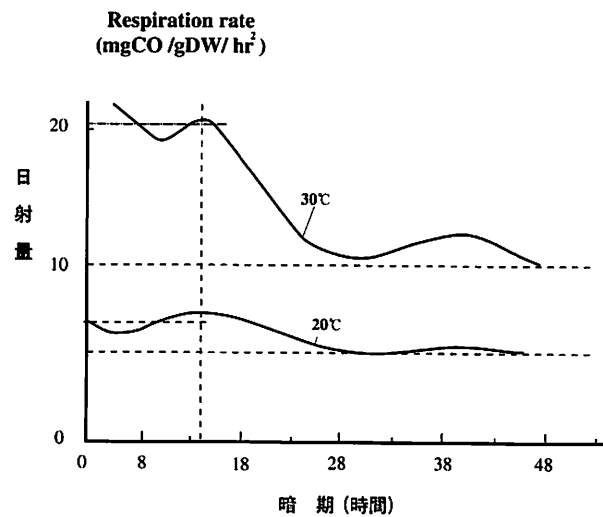


Fig. 8 日没後の呼吸作用  
(Akita and Blanco 1988)

## 8. ヘテロシス

最近、IRRIでは、非常に収量性の高いF<sub>1</sub>ハイブリッドが育成されつつあり、最近は味まで良くなってきている。日本とか先進国にはなかなか入らないが、開発途上国では非常に大事な技術として精力的に取り組まれている。収量は実用品種に比べるとF<sub>1</sub>のほうが高くなるが、バイオマスも高くなっている (Table. 10)。F<sub>1</sub>の問題は、収量は明らかに高いが、精米にしてみると逆に減ってしまう。これが問題になり、日本では誰も見向きもしてくれない。しかしバイオマスのポテンシャルを考えると、非常に高い可能性がある。日本ではF<sub>1</sub>研究で世界の先鞭を切ったわけだが、F<sub>1</sub>でタカナリを超えるようなものが出来るかという答えは、日本では残念ながら得られていない。こういったものが試験材料としてでも、何とか打開していってもらえないものかという期待を常に持っている。F<sub>1</sub>の仕事でもうひとつ注目しておきたいことは、ヘテロシスにより初期生育を早くすることにより雑草抑制に使えるのではないかという点である。

**Table. 10 Grain yield and whole grain milling yield of F<sub>1</sub> hybrids in Texas, USA**  
(Bollich et al, 1988)

	Yield, t/ha			
	1983	1984	1985	Average
<b>Graun yield</b>				
F <sub>1</sub> hybrids	8.6(107)	11.0(125)	8.6(116)	9.4(116)
Checks	8.0(100)	8.8(100)	7.4(100)	8.1(100)
<b>Whole grain milling yield</b>				
F <sub>1</sub> hybrids	4.1( 87)	3.6( 64)	3.0( 71)	3.6( 75)
Checks	4.7(100)	5.6(100)	4.2(100)	4.8(100)

Five and nine F<sub>1</sub> hybrids and check cultivars and lines were used respectively in five locations.

## 9. バイオマス生産と冷害

環境ストレス耐性の中で日本の稲作で最大のものは冷害である (Table11,12)。ここに冷害年がいくつかプロットしてある。1985年、1990年は平年並の収量であったが、青森県の小林さん、この篤農家の技術を持ってすると1980年の冷害、1993年の大冷害の時でも、日本の平均単収とほぼ同じぐらいであった。品種以外の栽培技術があって小林さんのイネは多収を保っていることが明らかである。原因は堆肥を沢山使うということであるが、何故そういう技術が一般化しないか、どういう理由で堆肥をやると冷害時でも安定して収量を確保できるかということについては、昨年までの農林水産省のプロジェクトがあったが、結局究明できなかった。こういう問題もまだまだ残っている。最近、シアン耐性呼吸系をめぐって、色々な面白いことがでてきている。シアン耐性呼吸にかかわるオルターネイティブオキシデース (AOX) の遺伝子制御により、植物の生長が変化することも知られており、呼吸のエネルギーの効率、耐冷性という観点からも、シアン耐性呼吸というのはこれから注目していく価値があるのではなからうか。

エネルギーの固定過程をめぐっては色々な研究の経過があったし、現状でまだまだやらなくてはならない課題が残っている。しかし収量性は多くの形質に関わった現象である、したがって、例えばC<sub>4</sub>

**Table. 11 Variation of rice yield in the field of a farmer(Kobayashi Fukuzou) in northern Japan (Aomori prefecture) with climate in comparison with those in his town and in Japan.**

Year	Rice Yield kg/10a			
	Farmer	Town	Japan	
1980	400	29	412	Cool summer
1985	795	602	501	Good summer
1990	706	603	509	Good summer
1993	480	10	367	Cool summer

**Table. 12 Rice yield of tolerant line to cool injury in the yield trial plot.**

Year	Line	Rice Yield kg/10a	
		Farmer's field	Fujisaka Experiment Station
1980	Fukei 124	481	726
1993	Fukei 149	480	106

型にすればよいといっても、分子生物学だけが進んでもこれだけでは出来ることではない。生理学、形態学、育種学など多くの分野の研究が基礎となる。収量性に関わる形質というのは絶えずいろんな分野の研究というものを総合化してはじめて収量に結びつくというところがあって、ただ単にひとつの分野の研究がぬきんでてもなかなか収量性の実現につながらない、しかも、収量はほとんどフィールドで起こることである。したがって、実際にフィールドのイネを見ながら、いかにしてそういうエネルギーの固定効率をあげるかという、インターディシプリーナリーな基盤的研究は農水省でやっていただく、非常に大事な課題になってくるのではないか。こういうインターディシプリーナリーな研究、それから、データ蓄積型の研究、トップダウン的な研究ができるのは農水省しかない。そういう特性を活かしていただいて、こういったエネルギーの固定、収量に関わる仕事というのは、農水省の研究の柱においていただきたい。今回、飼料稲という形ではあるが、収量性にかかわる研究を課題として取り上げていただいた慧眼に対して敬意を表したい。

(講演の収録テープを事務局で文章化)

秋田 重誠 (東京大学大学院農学生命科学研究科)

# 地力窒素と生産力限界

三枝 正彦

## 1. はじめに

21世紀は食糧と環境の時代といわれる。依然として増え続ける世界人口は現在58億人、2050年には100億人に達するともいわれる。一方、世界の耕地面積の年間増加率は1950年代から低下し続け、1992年にはついに-0.5%に転じたといわれる（陽ら1995）。したがって現在の耕地面積で現在の生活水準を仮定しても単純に2050年には単位面積当たりの穀物生産量を1.7倍に増やす必要がある。しかし現在残されている潜在可耕地の土壌タイプをみるとラトソルやポドゾルなどの強酸性土壌が多く土壌改良にこれまで以上の多大な経費を必要とする。これに加えて地球温暖化は多くの穀物生産にマイナスに働くと共に、産地の極地方向あるいは高標高地への移動、気象の不安定化による干ばつや冷害などの発生、海水面の上昇による耕地の消失などが予想されている。さらに発展途上国の生活レベルの向上などを考慮すると21世紀の食糧生産は極めて深刻な状態にあるといえる。このような情勢の下に、21世紀の食糧生産を気象学的、土壌学的、あるいは栄養学的観点から考えると、気象変動に相対的に安定で栽培領域が広い、土壌酸性に強く、土壌侵食を起こさない、バランスのとれた栄養成分を提供できる水稲栽培が最も有効な手段と思われる。わが国は長年の冷害との闘いの中で耐冷性品種の開発、冷害を軽減する栽培技術の確立を行い、今や寒冷地における稲作は他国の追従を許さない状態にある。しかしながら時代の変遷は国内における米の生産過剰を引き起こし、貿易の実質的部分的自由化ともいえるミニマムアクセスや新食料法の施行、国民の生活水準の向上に伴う米離れ、後継者不足、地球環境の悪化など水稲生産を巡る情勢は極めて厳しい状態にある。その結果、減反や省力、低コスト栽培、高品質（安全良食味）米栽培などが求められている。このようなもとに農林水産省は21世紀の持続的食糧生産方法として“環境保全型農業”を打ち出している。その基本方針は「農業の持つ物質循環機能を生かし、生産性との調和などに留意しつつ、“土づくり”などを通じて化学肥料、農薬の使用等による環境負荷の軽減に配慮した持続的農業」とされている。持続型農業は一般に環境負荷を軽減し消費者に安全な食糧を供給する農業と考えられるが、この場合十分な供給量と農家経営の持続なくして持続型農業はありえない。すなわち環境保全型農業は決して無農薬や無肥料栽培を意味するものではなく土壌の潜在能力と日本の進んだ科学技術を最大限活用し、物質循環を基本とする最大効率最小汚染農法を行うことである。このような観点からこれまでおこなわれてきた地力窒素の研究を概括し、土づくりや物質循環を重要視した多収・高品質水稲栽培の可能性を述べることにする。

## 2. 水田における地力窒素の無機化

“イネは地力でムギは肥力で”といわれるように水稲の一作期間中に吸収する窒素に対して土壌由来無機化窒素の割合は6-7割も占めるといわれる。また水稲の生育に最も大きく影響する養分は窒

素であることから水稻の栽培管理においては土壌窒素の無機化量と無機化パターンを把握することが極めて重要である。水稻栽培期間中の大部分は湛水状態にあるので水田における土壌窒素の無機化は主として温度のみに支配されている。水田における温度の概念としては、羽生ら（1962）の積算有効温度示数、吉野・出井（1977）の有効積算温度および金野・杉原（1986）の温度変換日数の3つにまとめられている（住田1990）。羽生らの積算温度示数は階層別温度値に有効気温係数を乗じて求めた成長気温当量で表される。この概念を用いて高橋ら（1976）は基肥のみを施用した移植水稻の窒素吸収パターンを検討した。その結果、水稻の窒素吸収量は有効積算温度示数に対して最高分げつ期に相当する有効積算温度示数400℃までは試験年次や場所、移植時期にかかわらず、指数関数でそれ以降は一次式で表せることを明らかにした。またこの関係は地力窒素の吸収としてもあてはまることが確かめられている。その後、前・庄子（1984）はこの考えを基に有効温度を用いて水稻の窒素吸収量と土壌窒素の無機化量を図1のように模式化した。

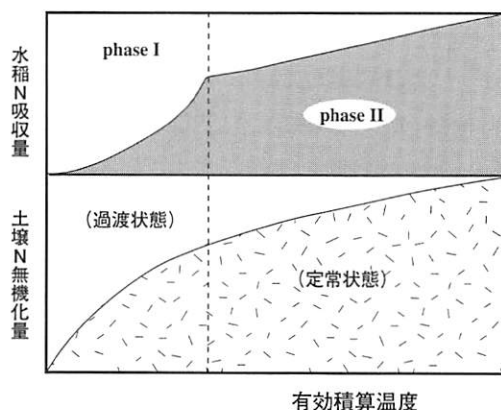


図1 水稻の窒素吸収パターンと土壌窒素無機化パターンの関係の模式図

[前・庄子（1984）の図を参考に作成]

鳥山（1990）

吉野・出井（1977）は無機化に有効な温度を15℃以上とし、土壌窒素の無機化量と有効積算温度の関係を次式で示した。

$$Y = k [(T - 15) D]^n \quad \text{ただし、} Y: \text{窒素無機化量, } T: \text{地温, } D: \text{培養日数, } k, n: \text{定数}$$

また、栽培期間中の無機化量の推定は次式で示される。

$$Y = k \alpha [(T - 15) D / \alpha]^n \quad \text{ただし、} \alpha: \text{任意の積算温度}$$

たとえば一作期間の有効温度を30℃、10週間とすると有効温度  $\alpha = (30 - 15) \times 7 \times 10 = 1050$  であるので  $k \alpha$  は  $k1050$  となる。この時の無機化量 (Y) を最大の100とすれば n の値によって無機化のパターンが得られる。すなわち n が1未満の場合は窒素の無機化が水稻生育の前半に多いI型であり、n が1以上では水稻生育期間に無機化がほぼ一定割合か生育後半多くなるII型と生育中期に多くなるシグモイドのs型である。この式によって計算された生育時期別窒素無機化量と無窒素栽培の水稻の窒素吸収量は良く一致するといわれる。

吉野・出井は基準温度（15℃）以上の温度の上昇と無機化量が直線的関係にあるとしたが一般的には温度の上昇に対して無機化速度が指数になる。そこで科学反応速度論や酵素反応速度論でその概念が明らかなアレニウスの法則で金野・杉原はこの関係を示した。

$$k = A \cdot \text{EXP}(-EA/RT)$$

ここで、k：速度定数，A：頻度因子，EA：活性化エネルギー

R：気体定数，T：反応温度（絶対温度）

この式を変換して任意の培養温度と培養日数を次式によって標準温度の培養日数に置き換えることができる。

$$t_a = t_s \text{EXP} [E_a (T_a - T_s) / RT_a T_s]$$

ここで、 $t_s$ ：標準温度 $T_s$ における培養日数， $t_a$ ：任意の温度 $T_a$ における培養日数。

なお、活性化エネルギー $E_a$ は未知なので $E_a$ を変化させて分散が最も小さい $E_a$ を最小自乗法で求める。 $E_a$ は室内実験（20, 25, 30℃）で求め平均値を用いる。

### 3. 土壌窒素の無機化モデル

土壌窒素のうちタンパク質やアミノ酸などの有機物は微生物の働きでアンモニアに分解されるがその基本形は一次式で表される。

$$N = N_0 - \{1 - \exp(-kt)\}$$

ここで、N＝窒素無機化量， $N_0$ ＝可分解有機態窒素量，

t＝標準温度での培養日数，k＝無機化速度定数

反応モデルとしてはこのような単純型のほかに、分解速度が異なる有機物が2種類存在しそれぞれ独立して無機化が進行する単純並行型、有機化と無機化が同時に行われる場合で反応の初期にラグタイムあるいは無機化窒素の減少がおこる有機・無機並行型および培養期間が不十分でほぼ直線的に反応する0次反応型（多湿黒ボク土）などが提案されている（東北地域土壌窒素無機化パターン研究グループ1988、図2参照）。

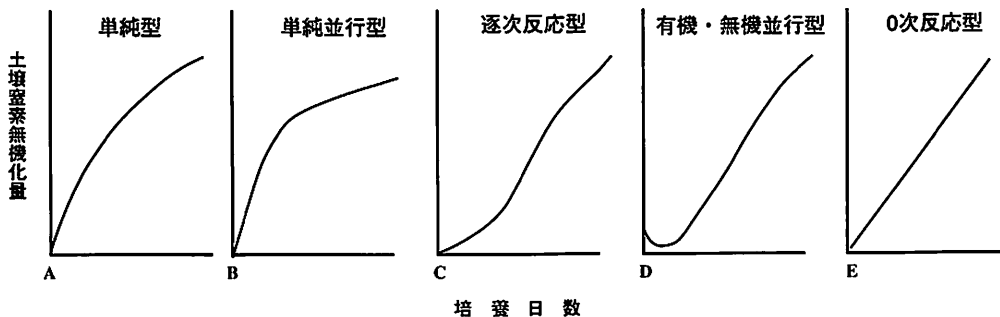


図2 土壌窒素無機化のいくつかのパターン

単純型： $N = N_0 \cdot \{1 - \exp(-k \cdot t)\} + C$

単純並行型： $N = N_q \cdot \{1 - \exp(-k_q \cdot t)\} + N_s \cdot \{1 - \exp(-k_s \cdot t)\} + C$

有機・無機並行型： $N = N_m \cdot \{1 - \exp(-k_m \cdot t)\} - N_i \cdot \{1 - \exp(-k_i \cdot t)\} + C$

逐次反応型： $N = N_0 \cdot \{k_2 \cdot \{1 - \exp(-k_1 \cdot t)\} - k_1 \cdot \{1 - \exp(-k_2 \cdot t)\}\} / (k_2 - k_1)$

0次反応型： $N = k \cdot t$

東北地域窒素無機化パターン研究グループ（1988）

### 4. 地力窒素無機化の年次間変動

無窒素区圃場における水稻の窒素吸収をみると、栽培年次によって2倍近い変動がみられる（図3）。この原因としては栽培期間中の積算有効地温の変動、無窒素栽培の継続による地力の消耗、および

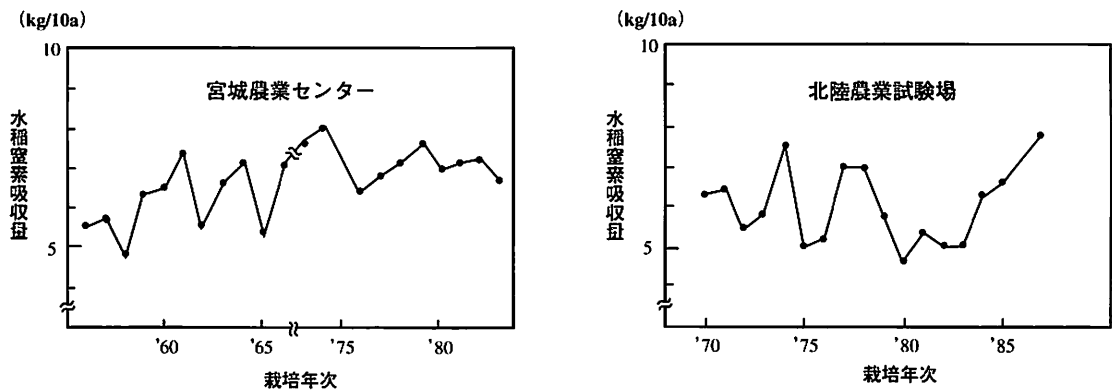


図3 無窒素区ほ場での水稻窒素吸収量の年次変動

左図は塩島ら(1987)のデータより、右図は伊藤(1983等)のデータより作図  
鳥山(1990)

湛水前の圃場の乾燥状態による乾土効果の違いなどが考えられる。図3において水稻窒素吸収量は必ずしも経年的に減少していないことから地力の消耗が年次変動の主要因とはいえない。また、宮城農業センターと北陸農業試験場の水稻窒素吸収量の変動パターンは類似している傾向はあるが、大きく異なる年度が存在することから栽培期間中の有効積算地温が主要因とは考えにくい。この主原因としては春先の圃場の乾燥程度による乾土効果の違いであることが北陸農試、山形農試、宮城農試、中国農試などの研究によって明らかにされている。

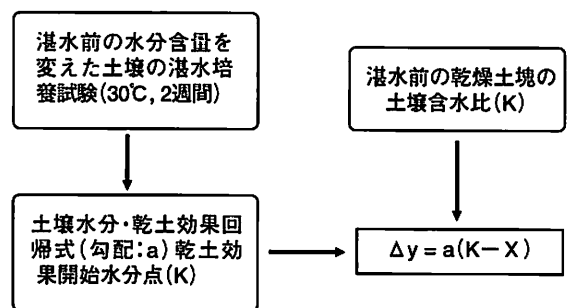
### 5. 乾土効果とその予測法

乾土効果による湛水後の地力窒素の発現は水稻の初期生育を大きく支配しその予測法が検討されている。表1に示されるように、乾土効果は土壌型により土壌含水比は異なるが、土壌水分張力がおよそpF4 (1MP:メガパスカル) 付近(K点)になると発現する。したがって、湛水前の作土の土塊のどのくらいの割合がK点を超過しているかを評価できれば乾土効果を予測できることになる。鳥山(1990)はこのような観点から図4に示すような圃場における乾土効果の発現量の予測法を提案している。

表1 乾土効果の発現開始水分(K点)の含水比と脱水強度(pF)

土壌名	土性	含水比(%)	pF
高田	LiC	26~31	4.0
福井	LiC	26~33	3.7
石川	L	16~18	4.2
富山	SL	16~18	3.8

● 乾土100g当たりの乾土効果発現量(Δy)の予測手順



● 面積10a) 当たりの乾土効果発現量(Y)の予測式

$$Y = \Delta y \div 100 \times \text{作土深} \times \text{作土仮比重} \times \text{作土中の乾燥土塊の割合} \div 100 \times 10^6 \times 10^7$$

(kg/10a) (mg/g) (cm) (g/cm<sup>3</sup>) (%) (kg/mg)(cm<sup>3</sup>/10<sup>7</sup>)

図4 ほ場における乾土効果発現の予測方法 鳥山(1990)



### 6. 下層土の地力窒素の発現

圃場における耕起から湛水までの上塊水分の変化を図5にみると、作土については前述の如く乾土効果発現含水比（K点）を越える場合が多いが、下層土の土塊はK点以下に推移している。このことは、下層土については乾土効果は考慮しなくてもよいことを意味している。それゆえ下層土の無機化は温度上昇効果に依存し、水稻の生育後半の窒素供給に重要である。このような下層土の無機化量は多収種栽培（深耕）や輪換水田における水稻栽培を考えると特に重要である。八郎潟輪換水田における水稻の窒素吸収量は最分期まで

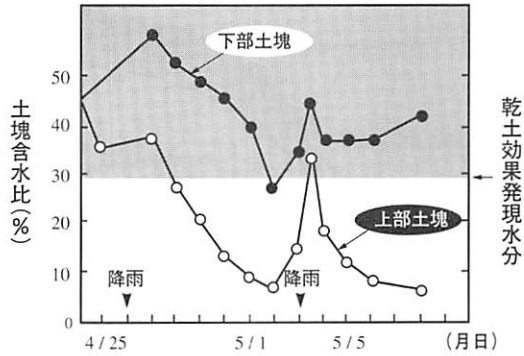


図5 ほ場における耕起から湛水までの土塊水分の変化  
鳥山(1990)

は主として作土の土壤窒素量と基肥窒素量に由来するが幼形期以降では下層土由来の土壤窒素に依存する部分が著しく増大する（図6）。その結果、成熟期における水稻の全窒素吸収量に対する下層土由来の窒素の割合は連作水田の約19%に対して、輪換水田では59%にも達することが報告されている。

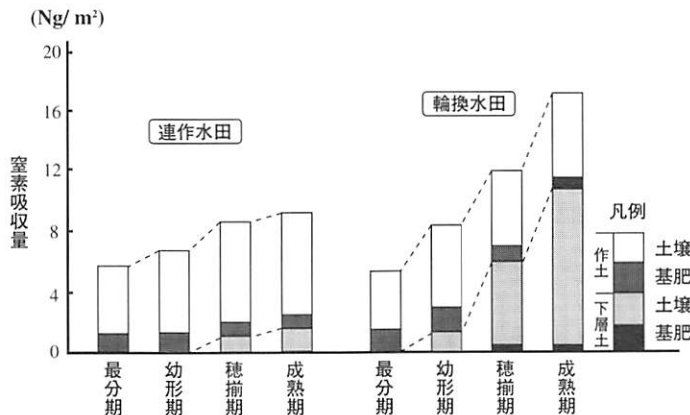


図6 作土および下層土からの由来別窒素吸収量の推移

### 7. 可分解性有機態窒素量の簡易定量法

水田土壤の地力窒素の無機化量と無機化パターンは反応速度論的に解析することによって精度よく予測することが可能となったが現場の技術として用いるには労力的にも、経費的にも大きな問題があり、パラメータの簡易分析法が検討されている。上野ら（1991）は、可分解性有機態窒素量を生土および乾土の30度2週間の湛水培養値から、可分解性有機態量とそのうちの乾土効果発現量 ( $N_{0q} = \text{乾土発現値} - \text{生土発現値}$ ) を推定しており、藤井（1995）は作土の可分解性有機態窒素量を0.2M硫酸抽出法で、下層土の有機態窒素量を0.5M硫酸抽出法で検討し、庄内地域の立体的（作土+下層土）な可分解性有機態窒素量の分布図（図7）を作成し、水稻収量の分布図（図8）と比較検討した。その結果、立体的有機態窒素量と水稻収量には密接な関係があることを明らかにしている。また、池田（1997）は愛知県における無機化モデルを単純並行型モデルと想定し、 $N_1$ （易分解

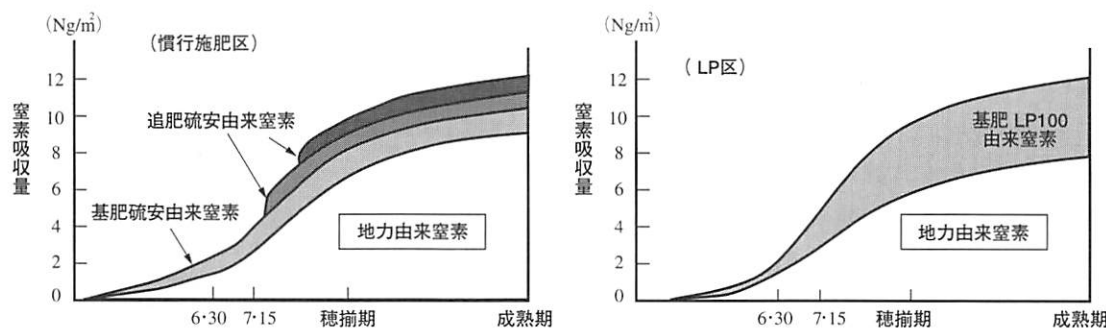


図7 慣行区と肥効調節型区の窒素吸収経過 上野ら(1988)

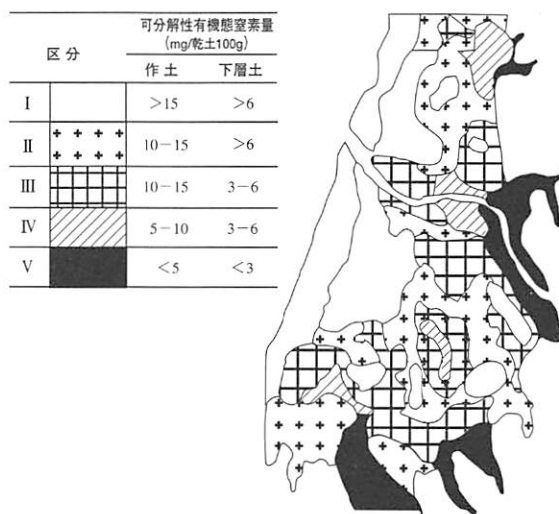


図8 立体的な(作土と下層土)の可分解性有機態窒素量の分布図 藤井(1995)

性窒素画分)を30度4週間培養窒素、 $N_2$ (遅分解性窒素画分)を全窒素量として無機化窒素量を求めると無窒素区の水稲吸収量と土壤中の残存アンモニアの和がよく一致することを示した。

## 8. 地力窒素の無機化量と施肥量の決定

鳥山(1990)は前・庄子(1984)の水稲の窒素吸収量と土壤窒素無機化量の模式図を参考にして図1のように変曲点を境に水稲の生育ステージと土壤窒素の無機化ステージをphase-Iとphase-IIに区分した。そしてphase-Iを乾土効果など湛水前の土壤の前歴を反映する過渡的部分、phase-IIを土壤固有の無機化特性に支配される部分と解釈している。この考え方に立って地力窒素の無機化を想定した施肥法を考えると、基肥窒素施用はphase-Iに水稲が必要な窒素量からこの時期までに発現する乾土効果を含む無機化窒素量を差し引き不足する分とする。一方、追肥窒素量はphase-Iまでに発現した無機化量を考慮しながら、phase-IIに無機化する窒素量を平年気温を用いて予測し、phase-IIに水稲が必要とする窒素量から差し引いた値とする。

上野ら(1988, 1990)は目的とする収量を得るための理想的水稲の窒素吸収パターンを作成し地力窒素を考慮した緩効性窒素肥料を用いた全量基肥一発施肥体系を提案している(図9)。地力窒素としては乾土効果由来の無機化窒素量、地温上昇由来の無機化量(7月以降)、下層土からの無機化量を予測しそれぞれの水稲による利用率を30-40%, 60-70%, 30-40%と想定した。一方施肥窒素については速効性窒素と緩効性窒素の基肥利用率をそれぞれ30-40%, 60-70%と仮定して理想的窒素吸収パターンに近似する施肥量と施肥形態を決めている(表2)。

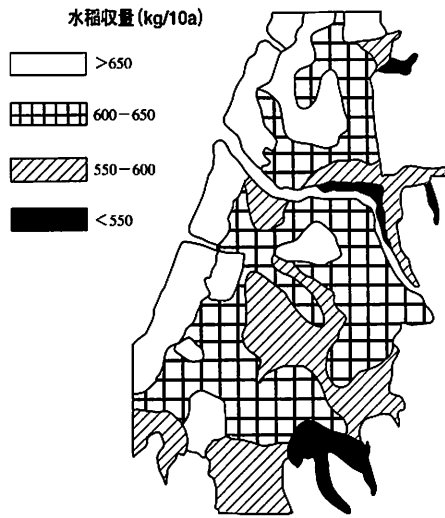


図9 庄内地域の水稲収量の分布図 藤井 (1995)

表2 ササニシキの収量目標600kg/10aを想定した全量基肥一発施肥体系

対象地域	基肥N (kg/10a)		
	速効性N	緩効性N	計
地力の高い地帯 (グライ土壌等)	2~3	4~5	6~8
地力の中層な地帯 (灰色低地土等)	2~3	5~6	7~9
地力の低い地帯 (砂質系の土壌等)	2~3	6~8	8~11

注) 燐酸8kg, 加里10kg/10aを別途併用する。

### 9. 水田の天然窒素供給量と堆厩肥による地力の増強

わが国水田における窒素の天然供給量としては地力窒素の無機化、河川水によって搬入される窒素、微生物による固定窒素を考慮し図10のような値が松尾によって推定されている(志賀1986)。これによると全国平均で70kg/haの窒素が供給され、無窒素区の玄米収量の平均値は約3.7t/haといわれる。土壌の有機物水準を維持、増強するには施肥窒素も関与していることが知られているが、有機物特に堆厩肥の施用が一般的である。

表3 堆肥連用による作土の全炭素および全窒素含量の変動

分析項目	試験開始時 (昭43)	連用13年後(昭56)				
		0t区	1t区	2t区	3t区	4t区
全炭素含量(C%)	2.02	1.74	2.14	2.55	2.78	3.15
全窒素含量(N%)	0.174	0.159	0.204	0.240	0.263	0.299

表4 水稲栽培上望ましい窒素肥沃度に到達するのに必要な堆肥施用量

大山(1989)

地域	土壌型	基礎的 N肥沃度 kg/a	望ましい N肥沃度 kg/a	吸収増加 目標N kg/a	堆肥の 熟度	堆肥施用必要量kg/a		50年後 T-C 増加%
						10年後 目標	50年後 目標	
北海道	多湿黒ボク土	0.5	0.8	0.3	完熟	200	100	0.88
東北	細粒灰色低地土	0.65	0.9	0.25	〃	180	100	0.8
北陸	細粒強グライ土(乾田化中)	—	—	—	—	180	—	—
関東	細粒灰色低地土	0.55	0.8	0.25	中熟	300	160	1.2
四国	中粗粒灰色低地土	0.8	—	0.17	〃	200	110	0.8
九州	細粒灰色低地土	0.8	—	0.2	〃	240	130	1.0
(東海)	(細粒黄色土。洪積性)	—	—	0.2	〃	(150)	(120)	—
中国	(中粗粒灰色低地土)	—	—	—	〃	—	—	—

注) 志賀による。

堆厩肥利用による地力増進については大山（1989）が詳細にまとめている（表3）。それによると堆厩肥の連用施用は地力の増強に有効であり、堆肥1t/10aの連用で水田作土の地力（有機物および全窒素含量）がほぼ維持されるが、積極的な地力増進には1t/10a以上の施用が必要と言われる。また、志賀は現在の水稻収量を10－20%向上させるための目標達成年を10年後、50年後とした場合の施用量を表4のように想定している。



図10 水田における窒素の天然供給量推定値  
(1963～1973) 志賀(1986)

## 10. 地力窒素と施肥窒素

堆肥と化学肥料を併用した場合の堆肥の水稻収量に対する施用効果が東北地方の各試験地で調べられた。大山によれば、昭和50－59年の平均では化学肥料（N, 8kg/10a）併用では堆肥1t施用で約7%と増収したが、2t以上では窒素過剰となりむしろ減収する。また、堆肥単独では4t/10a、10年間連用しても化学肥料併用の600kg/10aに到達できなかった（表5）。逆に化学肥料単独では4回の分施によって16kg/10a施用しても、化学肥料6kgN/10aに堆肥3t併用区の収量には及ばなかった（表6）。このような堆肥と化学肥料の併用効果については今後の詳細な研究が必要である。しかしながら現時点では地力あるいは堆肥由来窒素と無機質肥料窒素の施用効果については厳密な試験でも本質的な違いは認められていない。したがって堆肥と無機質化学肥料の施用効果に違いが見られる場合があるのは窒素の供給パターンの違いであり、両者が限りなく近づけば同じような結果が得られるものと思われる。従来の地力増強はその圃場でとれた稲藁やそれを用いた堆肥を基本としており、稲藁で500kg/10a、堆肥で1t/10aが推奨されてきた。しかし、わが国には食品産業や畜産廃棄物コンポストをはじめとして多量の有機物資源が残存している。これらを活用し、地力を増強し、その分、化学肥料の節減を図ることが重要である。しかしながらコンポストは局在しており、またボリュームがあることから、農地への輸送コストの低減、あるいは輸送コスト補助に対する国民的合意が必要である。

表5 水稲収量および登熟に対する堆肥施用量の影響 大山(1989)

堆肥施用量 (t/10a)	収量 (kg/10a)			登熟 (昭58~62)	
	20年の平均	昭和53~57年 (11~15年目)	昭和58~62年 (16~20年目)	登熟歩 合(%)	千粒重
0 (無施用)	520 (100)	549 (100)	534 (100)	90.5	22.4
1	589 (113)	609 (111)	610 (114)	82.1	22.2
2	600 (115)	595 (108)	643 (120)	81.6	22.0
3	589 (113)	563 (103)	649 (122)	79.8	21.7
4	583 (112)	559 (102)	660 (124)	76.0	21.6

注) 東北農試(大曲)、灰色低地土、試験開始昭和43年、堆肥は稲わら堆肥、施肥量はN, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O各8kg/10a基肥施用

表6 水稲の生育、収量に及ぼす厩肥および肥料の効果 (昭62) 大山(1989)

試験区		収量 (kg/10a)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	総粒数 (×10 <sup>5</sup> /m <sup>2</sup> )	登熟歩 合(%)	千粒重 (g)	茎 葉 N %		
厩 肥*	窒素施肥** (Nkg/10a)						幼形	穂揃	成熟
無施用	(1) 無窒素 (0+0+0+0)	262	232	115	93.4	23.1	1.86	0.70	0.45
	(2) 6+0+0+0	489	375	242	88.5	22.7	2.18	1.00	0.60
	(3) 6+4+3+3	676	572	404	76.2	22.5	2.46	1.71	0.68
連 用 (3.6t/10a)	(4) 無肥料 (0+0+0+0)	529	364	258	91.8	23.0	2.26	1.19	0.55
	(5) 4+0+2+0	703	525	385	80.3	21.6	2.50	1.63	0.67

注) \*厩 肥: 飼育作物、牧草を材料にした牛ふん厩肥。  
 \*\*窒素施肥: 基肥+中間+幼形+減分、昭和48年開始 系統: 奥羽315号

## 11. 多収穫栽培における地力窒素の役割

### 1) 米作日本一にみる地力窒素の重要性

米作日本一の米づくりの多くは土づくり(堆肥施用、深耕、排水、土壌改良資材の投入)を基本としており最も地力を活用した稲作栽培である。この栽培における窒素供給を表7にみると、長年にわたる堆肥多用(1.3-3.0t/10a)と藤田氏を除くと基肥が6.7-11.3kg/10aに対して、追肥が0-1.7kg/10aであり、基肥に重点がおかれ後期窒素栄養は堆肥を含む地力窒素に依存している。多収穫の玄米生産効率を60あるいは70kg/kgNと仮定し(図11; 本谷1969)、基肥窒素利用率を30%、追肥窒素利用率を60%とすると、堆肥を含む地力依存玄米収量は追肥重点の藤田氏を除くと518-862kg/10aで玄米収量(764-1055kg/10a)の67.8-85.9%と極めて地力窒素依存性の高い稲作であることがうかがわれる。

これに対して追肥重点の藤田氏は同じ計算方法で地力依存割合を計算すると24.7-35.5%であり肥料依存型である(実際には後述するように追肥重点栽培では玄米生産効率が低下するのでこれよりは地力依存度が大きいと思われる)。

表7 東北地域における多収穫事例の施肥量と土づくり

入賞年次	氏名	収穫	基N	追N	堆肥	土づくり	地力収量※ 玄米生産効率		地力由来割合 玄米生産効率	
							60kg	70kg	60kg	70kg
27	丹 民蔵	987	8.6	0	1.5t	深耕、客土、排水、 リン酸多用	833	806	85	82
29										
28	佐藤 源助	813	11.3	0	1.3t	暗渠、客土	610	576	75	71
30	寺立 幸太郎	826	9.6	0.4	2.3t	暗渠、客土	639	608	77	74
31	佐藤 睦	823	6.7	0	1.5t	暗渠、客土、深耕	702	682	85	83
32	菅原 市之助	764	8.3	1.7	1.5t	暗渠、客土	554	518	73	68
33	谷口 三之助	880	8.0	0.8	1.7t	暗渠、客土	707	678	80	77
34	加藤 金吉	959	7.5	tr.	3.0t	暗渠、客土	824	801	86	84
35	工藤 雄一	1055	10.7	0	2.3t	暗渠、客土、深耕	862	830	82	79
36	金仁 一郎	844	10.5	0	0	暗渠、客土	655	623	78	74
37	藤田 武司	768	5.5	11.0	1.5t		273	190	36	25

地力依存収量の計算方法：基肥N利用率30%、追肥N利用率60%、玄米生産効率60kgあるいは70kg/1kgN、堆肥は地力と仮定して計算

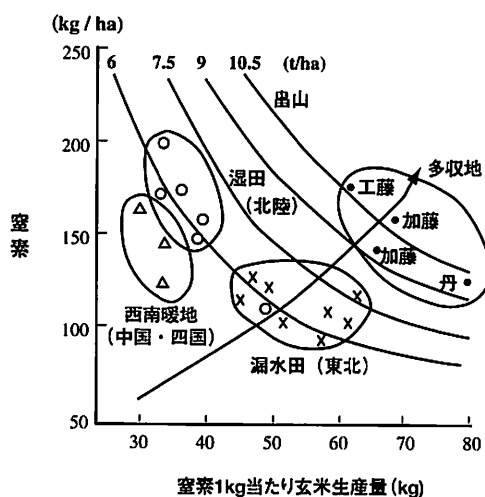


図11 多収穫水稻の窒素吸収量と玄米生産効率 (本谷 1969)

## 2) 米作日本一以降の多収穫栽培事例

化学肥料の普及は堆肥一基肥栽培から追肥重点多肥栽培へと大きく変換させた。ここでは山形農試(前1998)と秋田農試(本谷1989)の例について解析を行った。

山形農試の耕種概要は品種：山形22号(穂重型)、中苗、移植日；5/14、出穂期；8/8、成熟期；10/2 施肥；基肥110kg/ha(このうち肥効調節型肥料が80kgN/ha)、追肥；7/8；50, 7/28；10, 8/6；15で合計75kgN/ha、5年間の深耕と土づくり

玄米収量；10.2t、全乾物重25.3t、籾糲比1.03、穂数；515本/m<sup>2</sup>、総籾数；58700粒/m<sup>2</sup>、登熟歩合；82%、総窒素吸収量；289kg/ha

ここで施肥窒素利用率を速効性基肥；30%、肥効調節型基肥；75% 速効性追肥；60%とすると施肥由来窒素は126kg/ha、地力由来窒素は163kg/haとなり地力依存収量は5.75t/haである。こ

ここで総窒素吸収量に対する地力窒素は56.4%であり、地力窒素依存度は米作日本一の結果よりかなり低い値である。また、玄米生産効率は35kgと低い値であった。

一方、秋田農試では昭和56年に行われた耕種概要は品種；ふ系104号（穂重型）、移植目；5/9。施肥；基肥70kg/ha、追肥；30kg/haを2回、合計60kgN/ha、深耕（20cm）、暗渠排水と土作り（堆肥30t、熔リン0.9t、ケイカル1.5t）玄米収量；10.1t、全乾物重22.1t、籾藁比1.45、穂数；603本/m<sup>2</sup>、総籾数；58900粒/m<sup>2</sup>、登熟歩合；86.9%。

ここで施肥窒素利用率を速効性基肥；30%、速効性追肥；60%とすると施肥由来窒素は57kg/haであり、玄米生産効率は60kg-70kgとすると、施肥依存収量は3.42t-3.99t/haであり、地力依存収量は6.11t-6.68t/haとなる。全玄米収量に占める地力依存収量の割合は61.7-67.5%と山形農試より高いが米作日本一より低い値である。

### 3) 中国雲南省における多収穫栽培事例

中国雲南省賓川県の4-9月の平均気温は22.8℃、日平均日射量は19.5MJm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>で京都（22.7℃、17.3MJm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>）より日照に恵まれている。ここでは1994年に中国一の多収穫が記録されている（天野ら1991）。その要因としては平均日射量の多いことより光エネルギー利用効率が高いことが上げられている。

耕種概要は土壌型：褐色森林土（CL）品種：楡雑（YU-ZA）29（ジャポニカハイブリッド種）栽植密度：78.5株/m<sup>2</sup> 2本/株、4月27日植え、施肥：N：P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：K<sub>2</sub>O=135, 104, 98kg/ha N施肥法：基肥58kg、追肥77kg 堆肥：23t/ha

この多収穫例における地力の役割を米作日本一と同様に計算したのが表8である。ここでの地力依存収量は慣行区で8.0-8.7t/haで玄米収量12.5t/haの64.0-69.6%、疎植区では10.5-11.2t/haで玄米収量15.0t/haの70.0-74.7%を占めており地力窒素の役割が極めて大きいといえる。

表8 中国雲南省における水稻多収穫の実証的研究（天野ら1996）

	玄米収量	地力依存収量 玄米生産効率		地力由来割合(%) 玄米生産効率	
		60kg	70kg	60kg	70kg
慣行区	12.5t/ha (700m <sup>2</sup> 刈り)	8.7t	8.0t	69.6	64.0
疎植区	15.0t/ha (6m <sup>2</sup> 刈り)	11.2t	10.5t	74.7	70.0

仮定：窒素利用率→基肥30%、追肥60% 施肥吸収量→基肥17.4kg、追肥46.2kg、全量63.6kg 玄米生産効率→60kg、或いは70kg 堆肥：地力に含める

## 12. 多収と米の品質

前述の如く多収の方法には、米作日本一に見られる土づくりを主体とする地力依存の大きいしかも追肥を殆ど行わない栽培法と山形農試に見られる追肥に重点を置く多肥栽培がある。施肥窒素と地力窒素は本来的にはなんら違いはないが窒素の供給パターンと根への影響（伸展領域の拡大と活性維持）が異なる。それゆえ堆肥を中心とする土づくりを主体とする米作日本一の栽培法では生育後期まで高い光合成活性を維持し玄米生産効率は60-80kg/kgNときわめて大きな値である（図1）。これに対して山形農試の結果では窒素吸収量が著しく多く玄米生産効率は35.3kgと一般的な50kgよ

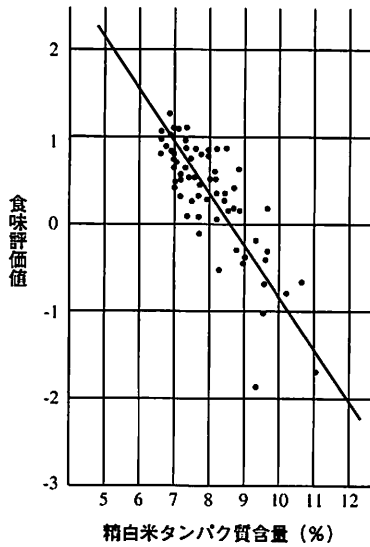


図12 精米のタンパク質と食味の関係  
(石間ら)

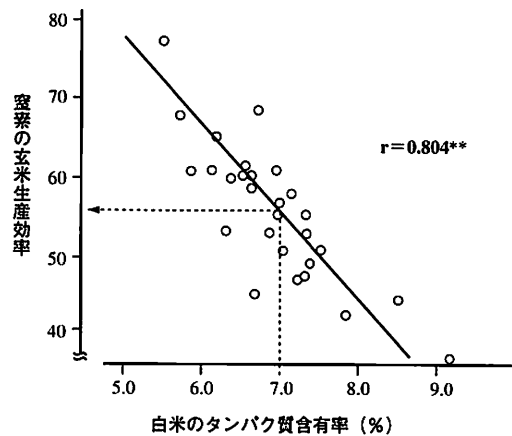


図13 白米中のタンパク質含有率と窒素の玄米生産効率の関係(稲津ら)

$$\text{窒素の玄米生産効率} = \frac{\text{精玄米収量 (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{窒素保有量 (成熟期 kg ha}^{-1}\text{)}}$$

り更に低い値である。

一般に玄米生産効率が高いと屑米や青米が少なく整粒歩合が高まり品質が向上することが知られている。一方、近年、品質の中でも食味が特に重要視されているが、食味は米のタンパク質含有率と密接に関係することが明らかにされている(石間ら1974)(図12)。さらに図13に示されるように、白米のタンパク質含有率は窒素の玄米生産効率と極めて密接な関係があり玄米生産効率の高い稲は白米の窒素含有率が低くなることが明らかにされている(稲津ら1998)。

地力依存度の大きい米作日本一の水稲栽培法は高い玄米生産効率であり同一品種を栽培した場合追肥重点の作今の栽培法より食味に優れる可能性がある。すなわち多収と高品質は相反するものではなく、技術が伴えば両立できる可能性がある。

物質循環により地力を増強することを基本としながらも、不足する養分はわが国の進んだ科学技術を活かした施肥法あるいは施肥形態で補う最大効率最小汚染農法こそが21世紀に求められている稲作栽培法と思われる。

三枝 正彦 (東北大学農学部附属農場)



# 環境保全に配慮した水田の生産力

清野 裕

## 1. はじめに

わが国はユーラシア大陸の東方に位置し、年平均1,800mmという豊富な雨量と温暖な気候のもとで、水田を中心とした農業が2,000年以上にわたって発展し、狭い国土の中で多くの人口を支えてきた。

水田は畑作に比べ連作障害もなく、天然養分供給量も高く、収量の高い持続的生産形態であるだけでなく、畦畔による洪水防止、土砂崩壊防止、土壌侵食防止、還元的土壌による硝酸態窒素の脱窒による水質浄化、水の存在による水生生物の保全などの機能を発揮している。こうした水田農業が崩壊した場合、水田の果たしている公益的機能を他の代替物で置き換えるとすれば、社会コストはかえって増加する可能性が高く、農業生産を営みつつ、水田を維持する方が社会負担は少なく済むと考えられる。

本シンポジウムは、今日のコメ消費の減退とコメ輸入圧力の高まりのなかで水田を維持し、水田の果たしている公益的機能を保全しながら水田の新たな有効利用技術の開発、及び水田等と有機的に結合した資源循環畜産経営が求められていることを背景とし、水田の高度利用技術の確立、水田の生産機能を最大限に活用する技術の確立等のための検討を行うことを目的としている。筆者は農業環境の立場から、水田の高度利用技術の確立、水田の生産機能を最大限に活用する技術の確立等に際して、環境保全の観点からみて問題となる点、あるいは水田の活用技術等について述べてみたい。

## 2. 水田の環境保全（多面的）機能

農業で生産された農産物は市場で販売され、生産行為に対する対価が支払われている。しかし、農業は農産物生産以外の国民生活に貢献する機能を果たしている。こうした機能を多面的機能と呼ぶ。多面的機能に対する対価は農産物価格のなかでは考慮されておらず、支払いがなされていない。その意味において、多面的機能は公益的機能とも呼ばれる。

農業・農村のもつ多面的機能（公益的機能）は以下のように分類される。

多面的機能＝公益的機能

### 1) 国土保全・環境保全機能

#### ①自然科学的（資源保全的）機能

- 水の保全（洪水調節、水資源涵養等）

●土の保全（土壌侵食防止、土砂崩壊防止等）

●大気の保全（大気の浄化等）

●生物の保全（身近な生物の保全）

②保健休養機能（景観保全、快適環境の提供）

③その他の機能

2) 人文社会学的機能

①地域社会の維持

②自然情操教育

③伝統文化の保全

とくに、水田は多くの機能を有している。水田が有するプラスの機能として、洪水防止機能（水流出調整機能）、水涵養機能、土壌侵食防止機能、水質浄化機能、気候緩和機能、生物相保全機能などがある。これらの機能についての詳細は、すでに報告されているので省略する。

表1 畑地及び水田における年間の炭素収支 小泉 (1996)

	陸稲 (gCm <sup>2</sup> )	トウモロコシ (gCm <sup>2</sup> )	水稲 (gCm <sup>2</sup> )
<b>I. 作物に固定された炭素量</b>			
(a) 総生産として固定された量	436.1	548.1	1,372.4
(b) 純生産として固定された量	259.1	381.7	749.8
(i) 収穫に伴う持出量	114.8	179.9	543.4
(ii) 土壌への供給量 (= III b)	144.3	201.8	206.4
(iii) 捕食者に利用された量	nil	nil	nil
(c) 呼吸として消費された量	177.0	166.5	622.7
<b>II. 藻類に固定された炭素量</b>			
(a) 総生産として固定された量	0	0	36.8
(b) 純生産として固定された量 (= III c)	0	0	25.7
(c) 呼吸として消費された量	0	0	11.1
<b>III. 土壌中の炭素</b>			
(a) 厩肥として供給された炭素量	0	0	0
(b) リター・刈株として供給された量	144.3	201.8	206.4
(c) 藻類の遺体として供給された量	0	0	25.7
(d) 有機物の分解に伴う炭素放出量	459.9	468.7	238.2
<b>IV. 田面水中の炭素</b>			
(a) 河川・降水による流入量	1.3	1.3	34.0
(b) 河川への流出量	0	0	23.1
(c) 地下水への浸透量	0	0	25.8
<b>V. 土壌中の炭素収支</b>			
	-314.3	-265.6	-21.0

それぞれの値は3年間の平均値±SDを示す。作物・藻類の固定量は生長解析法で、作物体の呼吸速度及び土壌・田面水-大気間のCO<sub>2</sub>フラックスは赤外線ガス分析装置を用いた通気法で測定した。土壌中の炭素収支 = (I a + II a + III a + IV a) - (I bi + I bii + I c + II c + III d + IV b + IV c)  
総生産量 = 純生産量 + 呼吸量

### 3. 水田における炭素収支

小泉（1996）の研究によると、水田における炭素収支は、畑地と大きく異なり、比較的バランスがとれている。すなわち、水田で今後も同様な耕種方法を繰り返しても、土壤中に蓄積されている炭素が大きく消費されていくことはないと考えられる。このことは、炭素あるいは有機物収支という観点からみた場合、わが国の水田は地力を維持しながら長期にわたり安全な作物を安定生産していくことが可能であることを示している。一方、畑地の場合、水田に比べて土壌有機物が活発に分解されるため、現在広く行われているような化学肥料に強く依存した耕種方法では、土壌に蓄積されている炭素が年々消費されていく。

### 4. 環境保全からみた水田の活用方策

わが国では河川や湖沼の周囲に水田が配置されている。このため、基肥施用後の落水期を除けば、水田は河川や湖沼の栄養塩類や土壌粒子による汚染の軽減に貢献しており、水田が他目的に転換されたり、耕作放棄されれば、水質汚染は一層深刻化し、地下水涵養機能等が低下するなどの問題が生ずると考えられる。各種の環境保全機能の強化を図るための水田の活用方策として次のようなものが考えられる。

#### 1) 水田の水質浄化機能の向上

とくに水質汚染が問題となっている河川や湖沼の周辺の水田では基肥施用後の落水を行わずにすむ稲作技術の普及が必要である。これに加えて、水田の水質浄化機能を更に発揮させるため、参加希望の農業者の水田を収穫後も通年湛水する。通年湛水に伴う水稻の収量低下を科学的に明らかにして、それによる減収分を補償する。この時、水稻を夏季に栽培する水田と、後継者不足等の理由から夏季に水稻を栽培しない水田の二つを対象として補償金額を区別する。水稻栽培に際して施肥及び農薬散布には基準を設け、水稻無栽培水田については無施肥・無農薬を条件とする。ハード事業としては、水稻栽培水田及び無栽培水田の両者に自動水位調節装置を配備する、用水路を変更して循環灌漑ができるようにする、水質浄化機能を向上できるように用水路を改修する、などが考えられる。

#### 2) 水田の野生生物生息地機能の向上

水田は水鳥、昆虫、水生生物等、身近な生物の生息地となっている。こうした水田の野生生物生息地機能の向上を図るため、通年湛水の水田を確保することが重要である。とくに、渡り鳥、例えばムナグロの飛翔地においては減反分の水田を水稻無作付（無施肥・無農薬）で通年湛水し、ムナグロに餌場を提供する。その他の地域においても、減反分を無作付で通年湛水し、各種野生生物の生息地機能を向上させる。

このためには、「水張り水田」について、地力維持のための理由に加えて、野生生物の生息地機能としての意義付けを与え、転作奨励金交付の対象として新たなカテゴリーを設ける必要がある（カリフォルニア等では収穫後も湛水して渡り鳥の餌場にするプロジェクトが行われている）。そのなかで、希少生物、絶滅危惧の鳥類、身近だが珍しくなった水生生物（ホタル、タガメ、ホーネンエビ等）などの保全を目的にした通年湛水にはプレミアムをつける。なお、水稻を作付する水田については、施肥・農薬散布に条件をつける。

## 5. 環境保全からみた直播栽培技術の問題点

わが国の直播稲作の栽培面積は1974年の約55,000haをピークに減りつづけ、1993年には約7,300haとなった(藤巻, 1997)。最近、わずかながら増える傾向にあり、直播栽培技術は稲作の生産コストの低減を目指している。飼料稲の栽培も低コスト化のため直播栽培になると考えられる。飼料稲に限らず、直播栽培技術は環境保全の立場から見ると、いくつかの問題を抱えている。それは、除草剤多用傾向、鳥やスクミリンゴガイの被害、畦畔管理、代かき後の排水による肥料成分の流亡、省力化のための有機物還元量の減少などである。

### 1) 除草剤の多用傾向の抑制

大区画圃場では厳密に均平な圃場が必要となる。そうでない場合、田面水上に露出した土壌には水に溶けた除草剤が効かず、雑草が生い茂る。また、粉を散播した場合には株間の機械除草ができなくなる。したがって、除草剤に依存する除草体系となる。また、薬剤の選択に加え、施用のタイミングにも熟練を要する。このため、除草剤を多めに施用することが懸念される。

### 2) 鳥害、スクミリンゴガイの防除

東日本ではカルガモの害、西南団地ではスクミリンゴガイの防除が、播種期～苗立期で深刻な問題となっている。直播栽培では低コスト化が最大の目標であるので、コストのかかる対策技術では意味がない。

カモ害については有効な対策がまだなく、今後、虫が鳥から自らを守るために有している忌避剤の利用、休耕田を餌場にした被害回避方法、国民のコンセンサスを得た上での余剰個体の駆除などの研究が必要である。

九州ではスクミリンゴガイによるイネの実生の採食を解決しないと直播は難しい。大きな苗なら採食されず、スクミリンゴガイをむしろ除草のために利用しているものもある。防除技術として、石灰窒素(10～20kg/10a)の施用や、カルタップ粒剤の散布があるが、今後は、スクミリンゴガイが交信に使っている化学物質の同定・利用による交信攪乱や、人為的産卵場の設定などによる撲滅技術などの開発が必要である。

### 3) 畦畔管理

直播栽培においては、畦畔管理の省力化のために雑草を枯らさず草丈を低く抑える抑草剤の開発が指向されている。しかし、抑草剤も除草剤の類であり、人体や周辺の生物への影響の少ない低毒性の薬剤が必要である。

### 4) 代かき後の排水による肥料成分の流亡

直播栽培では代かき後に排水を行うが、この時、施用された肥料成分がかなり圃場外に流出する。これを抑制するには、排水しない水管理での水稻生産が必要である。現在、優れた自動水管理装置とそれを気象条件や生育状態に合わせて制御するシステムが開発されており、それを普及させることで克服することができる。

## 5) 省力化による有機物還元量の減少

堆肥製造・散布は時間と労力のかかる作業である。直播栽培においては省力化のため、堆肥製造・散布は大幅に削減される可能性があり、地力低下が懸念される。

## 6. 環境保全からみた飼料用稲栽培の問題点

飼料稲を栽培するにあたり、子実のみの利用と、稲体地上部（ホールクロップ）の利用が考えられる。それぞれ、環境保全の観点から次のような問題が指摘できる。

### 1) 子実のみ利用する場合

子実のみ利用する場合ではわらの還元量が増え、二期作を行うとなるとますます還元量は増えることになる。水田は連作障害のない栽培システムであるが、西尾（1989）は、わらの過剰な還元は問題を生じる場合もあることを志賀ら（1983）の結果を引用しなから述べている。

すなわち、埼玉県大里村ではムギ作が復活してから3年目の1978年に水稻に強烈な不稔障害が発生した。多量に還元されたわらを嫌気的な条件で微生物が分解する際に、不稔を起こす有害物質を生成していたのである。この有害物質は関東以西の暖かな地方のどの水田でも作られているが、わらの還元量が多くないときには生成量が危険レベルを超えることなく、別の菌によって分解されて問題を生じない。しかし、湛水条件下でわらの還元量が多いときには、有害物質生成菌の活動が分解菌の活動を上回って有害物質が蓄積する。わらの還元量が多くとも、中干しすれば嫌気的にならずに、有害物質の蓄積を回避できる。しかし、雨の異常に多い年には排水不良で障害が出たという。

### 2) ホールクロップ利用の場合

輸入濃厚飼料と対抗しながら、子実のみを利用するのはコストの上で成り立たつのは難しいと考えられる。むしろ、大麦や小麦を利用する方が安上がりであろう。したがって、飼料稲はホールクロップサイレージとして利用するのが現実的と考えられる。

ホールクロップサイレージ用のイネを栽培すると、稲体地上部を持ち出すことによる水田へのわらの還元量が減少することが懸念される。このため、何らかの形で有機物を還元する必要がある。畜産廃棄物を堆肥化して水田に還元することで、地域内の物質循環を図ることが可能となる。この時、窒素過多にならないよう注意する必要がある。

現在、各地に堆肥センターが設置されているが、ここで作られた堆肥の多くは野菜作で利用されている。これでは稲作農家にはわらの提供だけとなり見返りが無い。この堆肥センターにサイレージセンターを併設すると、畜産農家からは家畜糞尿を運び込んで帰りにサイレージを持ち帰ることができ、稲作農家は稲わらや飼料稲を運び込んだ帰りに堆肥を持ち帰ることができ、輸送に無駄がない。こうした地域の物流システムの構築も必要であろう。

## 7. あとがき

水田はさまざまな環境保全機能（多面的機能）を有している。今後とも水田を水田として維持し、水田の持つ環境保全機能を発揮させつつ水田の優れた生産機能を活用することが重要である。減反に伴う水田転作が増える傾向にあるなかで、前述した環境保全の観点からの問題点に配慮しつつ、「水田活用」という観点から飼料稲の栽培が拡大されることを期待する。

## 参考文献

- ・小泉 博 (1996) : 炭素循環からみた畑地及び水田生態系の持続性. 「新たな時代の食料生産システム」75-90, システム農学会編, 農林統計協会
- ・農業研究センター (1997) : 日本型直播稲作導入指針, 217pp,
- ・農業総合研究所 (1998) : 農業・農村の公益的機能の評価結果, 14pp
- ・西尾 道徳 (1989) : 土壌微生物の基礎知識, 農文協, 206pp
- ・西尾 道徳 (1997) : 有機栽培の基礎知識, 農文協, 289pp
- ・志賀 一一・大山 信雄・鈴木 正昭, (1983) : 二毛作水田における水稻の異常穂発生の要因, 日本土壌肥料学雑誌, 54 (5), 383-388.

## 【参考】

### 農水省、サイレージ用稲品種育成へ (1998年10月13日付け日本農業新聞)

農水省は、実と茎葉を同時に利用するホールクロップサイレージ用稲の品種育成に乗り出す。転作田の有効利用と、飼料自給率の向上が狙い。同サイレージ用の品種は今もあるが、収量性や消化性に難があり、ほとんど栽培されていない。そのため同省は、来年度から6年かけて10アールの乾物収量が2トン以上で、肉牛や乳牛が効率よく吸収できる品種を育成するとともに、専用品種に適した栽培技術や給与技術などを開発する。

イネは、成熟期前に収穫して、すべての地上部を発酵させて牛に給与する。専用品種には「ホシユタカ」、「はまさり」などがあるが、10アールの乾物収量は1トン代後半～2トン未満と少ない。牛が養分として吸収できる可消化養分総量 (TDN) の割合も50%代半ばと低い。全国で25ヘクタール栽培されているだけ。

そこで同省は、10アール乾物収量が2トン以上、TDNが青刈りトウモロコシ (65～70%) 並みの65%程度の品種を育成する。試算では、TDN換算した場合の1キロ価格は67円程度が目安。2トン収穫するとTDN換算収量は1.3トンで、10アール収入が8万6千円となり、「転作物として採算の合うレベル」(農林水産技術会議事務局)になる。当面、TDN換算収量で1.1トンの品種を早急に育成、普及する。

育種素材には、もみの超多収品種として育成された「オオチカラ」、「タカナリ」のほか、乾物重2トン前後の多収系統などがあがっている。いずれもインディカ系の流れをくむ。TDN含有率の向上には、稲わら部分の養分吸収の向上がポイント。更に、病気や虫に強く、省力的な直播き栽培に適した品種にする。栽培面では、直播き栽培や不耕起栽培、ひこばえも収穫する西南暖地の再生稲生産など、省力・低コスト化を進める。また、①湿田などでも作業が可能なフォレンジハーベスタ、ロールベールラップ開発などの収穫技術、②高水分のホールクロップ稲をベースとした濃厚飼料との混合割合などの調製技術、③肉牛の増体や肉質の向上、乳牛の泌乳性向上に役立つサイレージ給与技術、などを開発する。

## 【参考】

### イトミミズによる水田雑草の防除（西尾道徳著「有機栽培の基礎知識」より抜粋）

イトミミズは小型ミミズの仲間だが、水生でヒメミミズと異なり、通常は土壤動物には入れられていない。しかし、水の多い水田土壤には、ユリミミズ、エラミミズなど、体長10cmに満たないイトミミズが多数生息している。イトミミズは、頭部を下に尾部を上にして土壤に潜り、還元層の土壤粒子と一緒に微生物や有機物をため、未消化の土壤粒子を土壤表面に排泄する。水のない秋から早春には鋤床層に潜伏していると考えられている。

このイトミミズの有無によって雑草の生え方が違うことに注目して、イトミミズと水田とのかわりを東北大学理学部の栗原および菊池の両氏が研究した。ピーカーに土壤を詰め、表面に雑草のコナギの種子を播いてイトミミズを接種すると、イトミミズは細かな土壤粒子を消化管を通して下から土壤表面に運び上げるが、コナギの種子はイトミミズの口に入らないため、種子の上に土壤粒子が堆積されて次第に下に埋没してしまう。…（途中省略）…

こうして還元層に埋没された雑草種子は酸素不足で発芽できなくなる。また、土壤表面近くに留まっていた種子は発芽しても、イトミミズが尾部を動かして土壤を攪乱するので、雑草幼植物の根は定着できずに浮いてしまい、防除される。

## 【水田のもつ公益的機能】

### 1) 洪水防止機能（水流出調整機能）

水田は周りを畦畔で囲まれ、大雨のときは水を一時貯留して下流及び周辺に徐々に流すことにより、洪水を防止・軽減する機能がある。最近行われた「農業・農村の公益的機能の評価結果（農総研，1998）」によると、256万haの水田が貯留できる水量は51.74億トンで、黒部ダムの30個分に相当する。つまり、これだけの水を一時溜めて徐々に放出する。このため水田は、我が国の洪水防止の上で重要な役割を果たしている。ちなみに、これを治水ダムの減価償却費及び年間維持費で代替したとすると、2兆4.731億円と評価されている。

### 2) 水資源涵養機能

灌漑のために水田に導水された河川水等の大部分は地下に浸透し、地下水となる。この間に溶けているさまざまな物質は土壤に吸着され、浄化される。この地下水は井戸や湧水として地表に出て利用されるほか、河川の水位の維持や都市の地盤沈下防止に重要な役割を果たしている。前述の「農業・農村の公益的機能の評価結果」によれば、地下水涵養を用水コストを考慮した水価割安額（地下水と上水道との利用額の差）で評価した水田の水資源涵養機能は658億円と評価されている。

### 3) 土壌侵食防止機能

わが国の山岳は急峻であり、火山や比較的新しい地層からなる地域が多く、世界有数の土砂の流出国である。農地においては、作物の栽培を通じて、畦畔の補修、有機物の投入による土壌の膨潤化、農地面の平坦化等が行われており、これによって水食、風食などによる土壌の流亡が抑制され

ている。しかし、耕作が放棄され、これらの作業が行われなくなると土壌の流亡が発生しやすくなる。現行の土地利用下における農地からの土壌流出量と、耕作放棄された場合の土壌流出量との差（土壌流出防止量）を砂防堰堤で代替した場合の評価額は1,428億円と試算されている「農業・農村の公益的機能の評価結果」より。

#### 4) 水質浄化機能

水田で用水として使用される河川の中下流部の水は、生活廃水や工場排水、畑作における不適切な肥培管理などによって富栄養化され、環境問題を引き起こしている。これらの水が水田に引き入れられると、水田の特性である脱窒によって窒素分は空中に放出され、リン酸や塩基分は土壌表面に吸着される。有機物も田面を緩やかに流れていくうちに沈着する。一部は土壌下方へ浸透するが、この過程でも同様な作用で水は浄化される。水田に沈積、吸着された物質は長期的には水稻の養分として利用される。

#### 5) 気候緩和機能

水を貯えた水田からは水が絶えず水蒸気となって大気中へ出て行く。その際、気化熱を奪い、周辺の温度の上昇を防いでいる。その結果、農村部は蒸発の少ない都市部に比較して温度が低く保たれることになる。これを気候緩和機能と呼ぶ。この機能は、とくに夏季において発揮される。水田による周辺大気的气温低下効果を夏季の冷房に要する経費の節約額をもって評価された水田の気候緩和機能は、105億円と試算された「農業・農村の公益的機能の評価結果」より。

#### 6) 生物相保全機能

水田は水路、畦を含む複雑なシステムである。そこには水深の異なる水辺があり、水鳥、昆虫、水生生物等、さまざまな生物が生息している。例えば、渡り鳥のムナグロは渡りの中継の場として水田を利用している。この鳥はかなり限定された飛翔ルートを通り、渡りの中継の場として日本の特定地域の水田を利用して、シベリアとオーストラリアの間を往復している。しかし、最近の宅地化等による水田の減少は、ムナグロの個体数の減少をもたらしている。また、ホタル、タガメ、ホウネンエビ等の身近な水生生物の減少が危惧されている。

一方、水田には環境へのマイナスの影響もある。それは、温室効果ガス（メタン）の発生である。水田では還元が進むとメタンガスが発生する。メタンガスは温室効果ガスの一種であり、温暖化を引き起こす。地球全体のメタン発生量に占める水田の割合は12%と推定されている。また、水を落とした後の好氣的となった水田からは亜酸化窒素が発生する。現在のところ、中干し、間断灌漑等の水管理、堆肥化等の有機物管理がメタン発生抑制に効果的であることがわかっている。

清野 裕（農業環境技術研究所環境管理部資源・生態管理科）



# 飼料イネ生産について

萱場 猛夫

わが国の食糧自給率は、カロリーベースで42%、穀物自給率で29%であり世界でも最も低い国の一つとなっています。わが国の自給率低下の原因は、海外の農産物の輸入の増加、なかでも、飼料原料の大半を海外に依存していることにあります。わが国においては、昭和30年以降の高度経済成長を契機に、畜産物の需要の増加に対応し、飼料の自給、特に濃厚飼料の自給を放棄しながら、海外の余剰穀物を受け入れるなかで、急激に家畜の飼養頭数を拡大しました。わが国の飼料穀物の輸入は、1996年で1,656万tのうちトウモロコシ1,197万t、マイロ227万t、大麦170万t、小麦20万t、その他42万tであった。可消化養分総量での純国内産濃厚飼料の自給率は9.6%、粗飼料を含む純国内産飼料自給率は124.7%となっている。すなわち、わが国の全飼料需要量の4分の3をも外国からの輸入に依存し、それらの飼料を基盤に、乳牛193万頭、肉牛290万頭、豚990万頭、採卵鶏145百万羽、ブロイラー118百万羽（1996年）を飼養し、牛肉59万t、豚肉130万t、鶏肉126万t、鶏卵256万t、生乳866万tを国民に供給している。ここにわが国の畜産が、加工型畜産、あるいは奇形的畜産といわれる問題点が存在していると言える。

米が家畜の飼料として本格的に利用されたのは、第一次稲作転換の時、過剰米の処理として、飼料の配合原料として使用された。過剰米の処理として飼料に利用された数量は、「食糧需給表」によると、昭和45年25万t、46年147万t、47年125万t、48年48万tであり、さらに昭和56年より昭和61年までに165万tとなっている。

今年度は、米過剰から、さらに減反の強化がせまられており、全水田面積の3分の1強にあたる面積が計画されている。

今回の総合研究シンポジウムは、「水田の生産機能の最大活用による持続的作物生産」と題して行われるが、そのなかで「飼料イネの生産について」という課題の話題提供として以下の3点の事例を報告する。

1. 自給促進・環境保全用米（飼料用米）の取り組みについて  
—山形県庄内地方の事例—
2. 新しい飼料用イネの開発
3. 家畜糞尿を施肥した水稲ホールクロップの栽培と飼料化

## 1. 自給促進・環境保全用米（飼料用米）の取り組みについて

（平田牧場報告書より）

## 1) 目的

現在、人類が抱えている最も大きな問題は、人口問題、環境問題、食糧問題であります。この3つの問題は密接に関わり合っており、人類が将来に希望を持って子孫に引き継ぐ為には大きな障害となるだろう事は、ご承知の通りであります。

この中の食糧の自給化促進を目的に「食糧自給化促進協議会山形ブロック」を平成7年に組織し、運動に取り組みました。昨今の日本の食糧自給率は、カロリーベースで42%、穀物自給率では29%と低位にありまして、全世界で118番目の低さであります。自給率低下の原因について、いまさら申し上げるまでもありませんが、海外の農産物の輸入が増えたこと、とりわけ飼料原料の大半を海外に依存していることであります。私たちは飼料用米の生産に取り組むことによって、輸入飼料を少しでも減らし、食糧自給率の向上を図り、将来の食糧不足に備えることが出来るものと考えております。庄内の基幹農産物であります「米」について、生産過剰と消費の停滞によって需給が緩和し、生産調整が強化されております。平成10年度における庄内の転作率は25.92%で、9,708haが配分されました。この生産調整水田を活用して栽培するのが飼料用米生産です。

飼料用米生産の意義は

- (1) 食糧（穀物）自給率の向上が図られること。
- (2) 食糧の安全保障の立場から、平成5年のような凶作等の対応が素早くできること。
- (3) なんとといっても水田機能を維持することによって、貯水機能や緑の保全によって環境保全が図られることであります。

また、生産者の立場からみれば、農業機械や乾燥・調製施設について、新規の投資が必要ないことや、長年培ってきた米づくりの技術をそのまま発揮出来ることであります。

## 2) 飼料用米生産の仕組み

飼料用米の栽培については、過去に山形大学農学部や県農業試験場庄内支場の指導を受けながら、多収品種である長粒種の栽培に取り組んだ経過がありますが、輸入原料との経済的・品質的な比較でペイせずには中絶しておりました。

平成8年度から飼料用米が転作物目として新生産調整推進助成の対象品目に認定され、補助金の対象となりました。そこで、制度上の助成措置を勘案して生産コストの試算を行ったところ、10a当たり8万円程度の粗収入の確保が見込まれ、生産者から理解と協力が得られるレベルの試算結果となりました。

これを踏まえて平成8年産に試験栽培を行い、平成9年から地域を拡大し一般作付けに移行し12haの作付けとなりました。

飼料用米生産の概要を述べますと。

- (1) 生産された飼料用米は、配合飼料原料として（株）平田牧場が1,000キロ当たり3万円で購入する。転作対応の収支試算比較を表1に示した。
- (2) 飼料用米の流通は、主食用米と同じルートでJAが集荷し経済連を通じて全農（自主流通法人）に出荷され、全農の米穀部門から飼料部門に配合飼料原料として売却。全農は、（株）北日本くみあい飼料酒田工場に飼料用米を原料とした配合飼料の製造を委託し、製造された製品は庄内経済連を経由して（株）平田牧場に供給される流れとなっています。

表1 転作対応の収支試算比較

(庄内経済連調べ)

(単位：円/10a)

		調整水田	飼料米		大豆
			普通栽培	直播き栽培	
収入	販売高	0	18,900	16,200	42,000
	補助金	15,000	61,300	60,400	40,000
	小計 (A)	15,000	80,200	76,600	82,000
支出	生産者(固定費)	45,091	48,758	48,758	37,731
	生産者(流動費)	2,000	21,547	19,392	23,008
	その他	3,000	22,597	19,566	7,343
	小計 (B)	50,091	92,902	87,716	68,082
差し引き収支 (A-B)		△35,091	△12,702	△11,116	+13,918
収量			10.6俵 @30,000/t	9俵 @30,000/t	180キロ @14,000 * 3

## 3) 平成9・10年産飼料用米の実績について

平成9年産の取り組み実績は、次のとおりとなりました。

- (1) 作付け面積 1農協 23農家 12ha
- (2) 在庫量 66,603.2kg
- (3) 平均単収 (10aあたり) 553.64kg

平成10年度の取り組み状況

- (1) 作付け面積 5農協 440農家 208ha
- (2) 予想生産量 700～800t

## 4) 平成10年産の対応について

飼料用米に取り組んでみると、色々な課題がありましたので、10年産に向けて次のように政策要求を致しました。

- ・飼料用米に対する助成措置の継続と助成金の水準確保
- ・飼料用米の栽培品種の条件緩和 (県の推奨品種でなければならない)
- ・諸手続き (確認作業・事務作業) の簡素化 (行政・農協・生産者)

## (1) 全国の取り組み状況

当地で始まった飼料用米の生産は、転作面積の拡大 (全国ベースで35.5%) にともない各地で、関心を呼んでいる。

取り組み方式としては、飼料用米を配合飼料原料とするところ (庄内、千葉) と、イネの茎も利用するホールクロップとして利用するところ (埼玉、群馬、三重等) に別れているが確実に取り組みが拡大している。

## (2) 庄内の取り組みについて

今年産の取り組みについては、栽培が庄内全域に広がり、栽培面積で208ha、生産者数で440名

となった。原料代替率としては、5%から15%程度を想定しており、飼料用米の確保量とのかねあい設定している。今年からは、生産量が大幅に増加するので通年使用に向けた対応をしたいと思っている。

今後は、飼料用米の生産が持続的に拡大され、庄内に定着するとともに、全国に運動としての輪が広がることを期待している。

## 2. 新しい飼料用イネの開発

米の過剰な中で食糧用イネの改良は、「食味品種」の育成にのみ力が入れている。しかし、飼料用イネの開発への努力は、ほとんどなされていないのが現状である。円高による圧倒的に安い輸入飼料の前に、畜産関係者の関心は、良質粗飼料の開発の面に現れ、独自の飼料作物の開発は、特に穀物を含めたものには全く否定的である。水田を利用した新しい飼料作物としてのイネの可能性を、山形大学農学部・笹原らの飼料用イネの開発の事例を紹介する中で検討したい。

笹原らは、超多収稲の育成を目指し、昭和48年より、日本稲および外国稲4品種の4元交雑種を基礎として、稲の多収性に関する草型育種理論を導入し、葉の光合成能力が高く、受光態勢が良く、倒伏に強い、半わい性で葉の断面がV字型をし、葉が直立した多収性の稲系統群の育成に成功し、これらをV字葉系統と名づけた。これらの系統群は、多肥条件下でも倒伏に強く、多肥下で多収なのが特徴である。

これら系統群の昭和63年度の山形大附属農場での圃場試験の結果を表2に示した。10a当たり、籾収量において、系統番号2が、中肥区で1.33t、多肥区で1.47tを示した。この収量は当農場のササニシキの2倍以上の収量であった。また、1t以上の籾収量をあげた系統は、中肥区で5系統、多肥区で3系統だった。

各試験区の10a当たりの施肥量（窒素成分）は標準区で9.6kg、中肥区で25.6kgおよび多肥区41.6kgであった。また、これらの系統の玄米タンパク質含量が食用米の約8%を上回ることも注目される。これらのイネ系統の籾および稈ワラを含めた10a当たりのTDN含量は、籾ワラ比を1:1として推定すると、籾収量1.5tでTDN1.56t、籾収量1tでTDN1.04tとなる。すなわち、籾収量1tで、青刈りトウモロコシの全国の平均収量のTDN含量をもつことになる。なお、籾収量1tは玄米収量で約800kgという数値である。

飼料作物として全国的に普及している青刈りトウモロコシを上回る収量のイネの育成には、籾で1t以上の多収性品種を、さらには籾で1.5tの安定収量を得る系統の確立とその栽培技術の確立が必要とされる。そのためには、次の諸課題を総合的に研究実証し、その技術体系の確立が必要とされよう。

- 1) 水稻超多収（V字葉）系統群の改良と生育特性の解明
- 2) 半わい性遺伝子を有する水稻品種群および水稻超多収（V字葉）系統群を用いた水稻超多収栽培技術体系の確立
- 3) 水稻超多収系統・品種群の粗飼料および飼料穀物としての飼料効率の検討
- 4) 転換田に栽培された水稻超多収系統・品種群を用いた肉牛の肥育実用化試験および肉質の調査
- 5) 家畜の生糞尿を水田に還元した場合の水稻超多収系統・品種群の栽培技術体系の確立
- 6) 水田に還元した生糞尿の窒素無機化過程の解明と流域の富栄養化防止のための水循環利用体系の確立
- 7) 水稻を利用した完全自給による肉牛肥育実用化に関する農業経営上の問題点

表2 V字葉稲系統の収量および収量構成要素の変動

肥料水準	系統 番号	草 丈		穂 数		登熟歩合		千粒重		籾収量 (kg/10a)	
		平均値	標準 誤差	平均値	標準 誤差	平均値	標準 誤差	平均値	標準 誤差	平均値	標準 誤差
標肥区	1	107.1	1.0	9.2	0.4	63.7	3.2	20.6	0.3	509.3	2.9
	2	106.6	4.1	12.4	0.6	75.3	2.1	16.8	0.3	759.7	35.0
	3	87.4	0.6	17.9	1.3	66.7	1.2	21.2	0.2	656.8	28.6
	4	107.1	3.4	13.4	1.0	76.9	0.5	16.9	0.7	757.9	125.4
	5	95.8	1.7	15.2	0.2	65.2	4.5	19.1	0.4	661.0	44.6
	6	101.7	2.8	14.7	1.0	73.0	1.8	21.5	0.3	770.6	52.7
	7	93.5	2.6	12.3	0.6	64.7	5.9	18.8	0.5	638.4	69.3
	8	86.1	3.3	10.5	0.8	87.4	1.7	19.3	0.2	405.8	48.5
	9	89.7	0.2	13.7	1.4	48.1	3.9	18.7	0.3	339.1	40.2
	10	81.8	1.1	13.5	1.5	81.4	3.3	18.8	0.3	430.8	37.3
中肥区	1	113.7	2.7	18.5	1.4	46.9	1.5	22.2	0.4	665.8	110.8
	2	114.4	2.9	23.1	0.8	55.5	10.1	18.6	0.2	1,332.2	172.3
	3	95.8	1.1	36.2	0.8	64.7	1.6	22.2	0.3	1,114.9	123.7
	4	117.7	4.2	25.9	3.4	53.1	13.5	18.4	0.3	1,224.5	186.4
	5	104.9	0.7	33.1	0.3	55.0	5.0	20.2	0.4	982.0	140.2
	6	112.4	3.0	26.4	2.4	71.2	3.4	22.7	0.5	1,308.4	61.7
	7	105.6	2.4	25.2	0.3	59.6	4.6	18.7	0.3	1,248.3	227.8
	8	85.9	1.9	20.2	1.2	78.0	4.9	20.7	0.4	650.4	91.6
	9	89.7	0.5	30.7	1.0	41.7	7.4	18.7	0.2	468.3	42.1
	10	86.3	1.3	21.3	0.9	79.8	3.9	20.4	0.4	670.3	28.9
多肥区	1	113.3	1.8	19.8	1.2	41.4	7.7	21.3	0.5	819.2	19.5
	2	118.2	0.3	23.7	1.8	63.8	5.6	19.5	0.0	1,466.6	104.9
	3	91.8	0.5	34.3	0.5	63.2	6.0	23.2	0.1	1,085.0	85.3
	4	114.0	2.2	22.6	1.5	40.7	4.0	17.7	0.1	731.5	62.8
	5	102.2	0.8	27.6	1.7	65.1	1.9	19.6	0.4	965.8	75.1
	6	108.9	3.0	27.5	2.2	63.3	4.4	21.9	0.4	1,196.7	66.4
	7	103.1	5.7	24.9	2.3	51.7	8.9	18.1	0.9	946.5	101.7
	8	87.7	0.8	25.2	3.9	77.1	3.7	20.5	0.2	819.6	49.4
	9	90.5	1.6	26.3	3.2	41.1	2.3	20.2	0.7	512.2	38.3
	10	83.6	0.7	21.5	2.0	69.8	2.6	19.5	0.4	775.6	76.6

笹原ら：日作東北支部報，No.32(1989)

### 3. 家畜糞尿を施肥した水稻ホールクロップの栽培と飼料化

当研究室で、家畜糞尿を施肥して栽培した水稻のホールクロップをサイレージに調製し飼料化を進めることと水稻ホールクロップサイレージの飼料価値の向上を数年間検討してきた。その研究の意図は以下のとおりである。

- 1) 窒素とエネルギーの循環を目指した作物と家畜生産のモデルを作成する。
- 2) 家畜糞尿処理と省力化を目指した水稻の栽培法を確立する。
- 3) 笹原らが開発した葉の横断面がV字型をし、受光態勢が良く、光合成能力が高い耐倒伏性系統であるV字葉型水稻ホールクロップの飼料化を図る。
- 4) 尿素を添加給与して飼料価値の改善を図る。

図1に牛の液状厩肥（スラリー）のみを水田に施用し、V字葉型水稻を供試して、そのホールクロップの乾物収量、窒素含量、窒素収量及び見かけの窒素利用率の生育にともなう変化を示した。スラリーの施肥量は、山形県農林水産部が推奨している窒素量（8kg/10a）の1.5倍量と3倍量を基肥のみ全量と基肥（耕耘時施肥）と追肥（出穂時施肥）にそれぞれ半量づつに分けた4試験区を設定し、無肥料区を対照に栽培した。腐熟が不十分な家畜糞尿の水田に対する施用は、湛水後土壌の酸化還元電位が急激に低下し、硫化水素ガスや有機酸の発生により根は呼吸障害のため根腐れ現象を起こす。しかし、本試験に施肥した液状厩肥は自然流下式の牛舎から出され腐熟されて蓄えられていたため、根腐れ現象は起こらなかったと思われる。また、後述の完熟追肥を施した試験でも同様に根腐れ現象は起こらなかった。

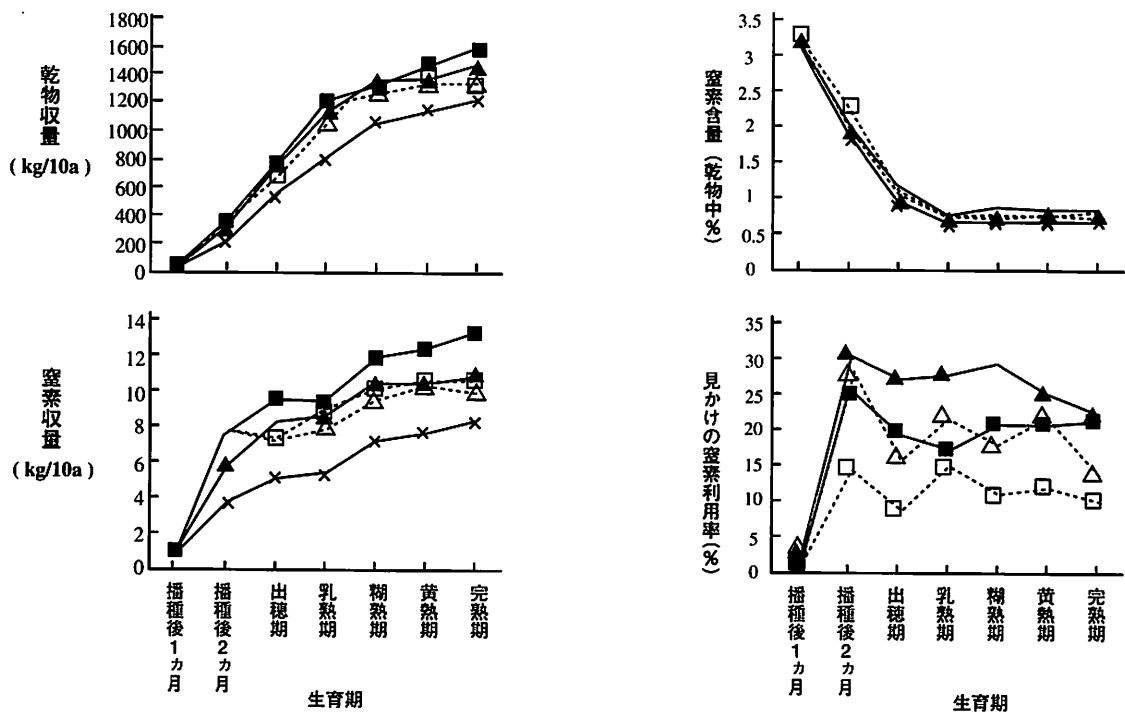


図1 液状厩肥施用による水稻ホールクロップの乾物収量、窒素含量、窒素収量及び見かけの窒素利用率の生育に伴う変化

×:無施肥区 △:基肥のみ1.5倍区 ▲:基肥+追肥1.5倍区  
 ■:基肥+追肥3.0倍区, 1.5倍区:12kgN/10a 3.0倍区:24kgN/10a  
 □:基肥のみ3.0倍区

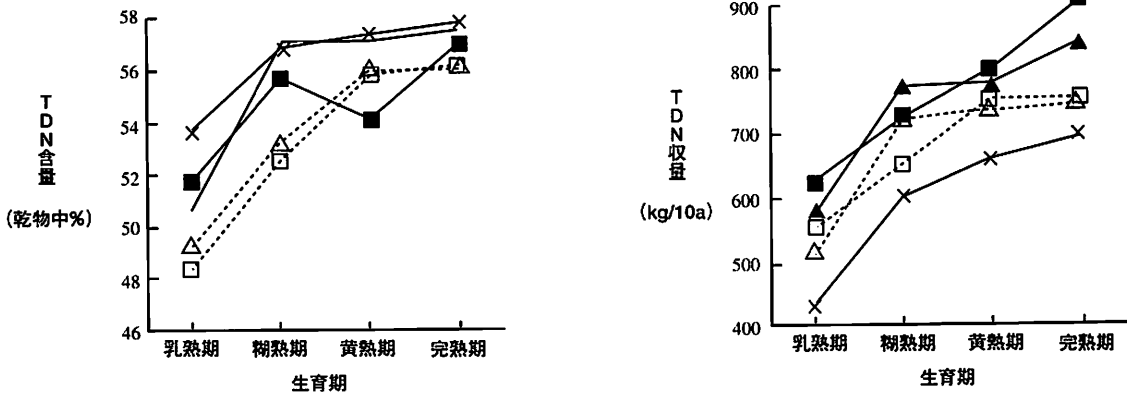


図2 液状厩肥施用による水稲ホールクロップサイレージのTDN含量およびTDN収量の生育に伴う変化

×:無施肥区 △:基肥のみ1.5倍区 ▲:基肥+追肥1.5倍区  
 ■:基肥+追肥 3.0倍区, 1.5倍区:12kgN/10a 3.0倍区:24kgN/10a  
 □:基肥のみ3.0倍区

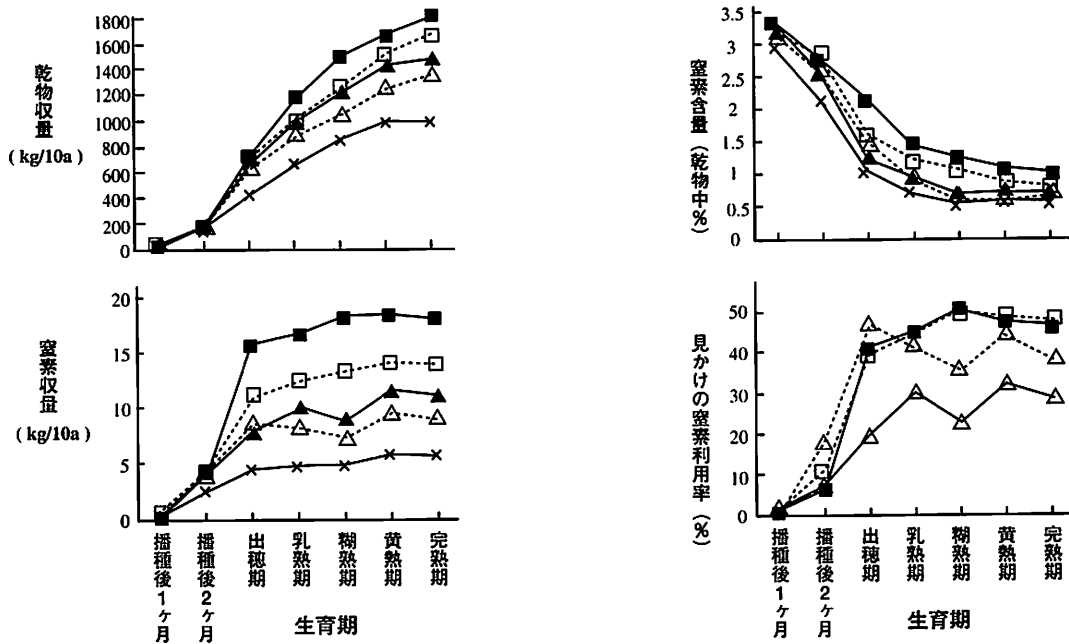


図3 堆肥と緩効性化成肥料による水稲ホールクロップの乾物収量、窒素含量、窒素収量及び見かけの窒素利用率の生育に伴う変化

×:無施肥区 △:基肥のみ1.5倍区 ▲:基肥+追肥1.5倍区  
 ■:基肥+追肥 3.0倍区, 1.5倍区:12kgN/10a 3.0倍区:24kgN/10a  
 □:基肥のみ3.0倍区

乾物収量は生育にともない増加したが、施肥量と施肥法の違いにより大きな影響は与えないと思われた。乾物中の窒素含量は播種1カ月後3～3.5%あったが、その後急激に低下し、乳熟期以降は0.6～0.9%の範囲で推移した。見かけの窒素利用率は1.5倍区が3倍区より高く、いずれの施肥水準とも基肥+追肥区が基肥のみ区より高く推移したがいずれの施肥区も出穂期以降は増加しなかった。基肥と追肥に分けた1.5倍区の窒素利用率が出穂期以降20～30%で最も高く推移した。酵素法により細胞内容物質の有機物(OCC)と高消化性繊維(Oa)を分析して、それぞれのパラメーターと2次の多項回帰式( $TDN = 16.65 + 1.494X + 0.012X^2$   $R^2 = 0.951$   $X = OCC + Oa$ )から推定したTDN含量(図2)を算出した。生育に伴い増加する傾向にあるものの、無施肥区が高く推移した。このことは無肥料区では細胞壁の成長が促進しないため相対的に易消化性の成分が多くなったためTDN含量が多くなったと思われる。しかし、TDN収量では、施肥法による違いは見られなかったが、完熟期では3倍区が最も多い収量が得られた。

V字葉型水稻を供試して、基肥に緩効性肥料を山形県農林水産部で推奨している量(窒素量8.5kg/10a)とその2倍の量を完熟堆肥(2t/10a)の有無により設定した4試験区に無施肥区を加えた5試験区を設定し栽培試験を実施した(加納昌彦、未発表)。図3に示したように、乾物収量は液状厩肥を施肥したときと同様に生育に伴い増加し、施肥する肥料の違いで乾物収量の差が明らかだった。即ち、緩効性肥料の施肥量を多くするほど、また、堆肥を施用すると乾物収量が多くなった。窒素含量は液状厩肥施用試験と同様に生育に伴い減少したが、堆肥と緩効性肥料を窒素で山形県の推奨量の2倍量を施用したとき出穂以降最も高く、乾物中1%以上の濃度を維持した。その結果、窒素収量も乾物収量と同様に化成肥料の施肥量を多くするほど、また、堆肥を施用すると多くなった。但し、乳熟期以降はいずれの施肥区も窒素収量はほとんど上昇しなかった。見かけの窒素利用率は堆肥の施用に関わらず2倍区で高くなり、出穂期以降40～50%の高い利用率を維持した。黄熟期のTDN含量は無肥料区が高かったが、TDN収量は緩効性肥料を多く施用するほど、また、堆肥を施用すると多くなった(図4)。

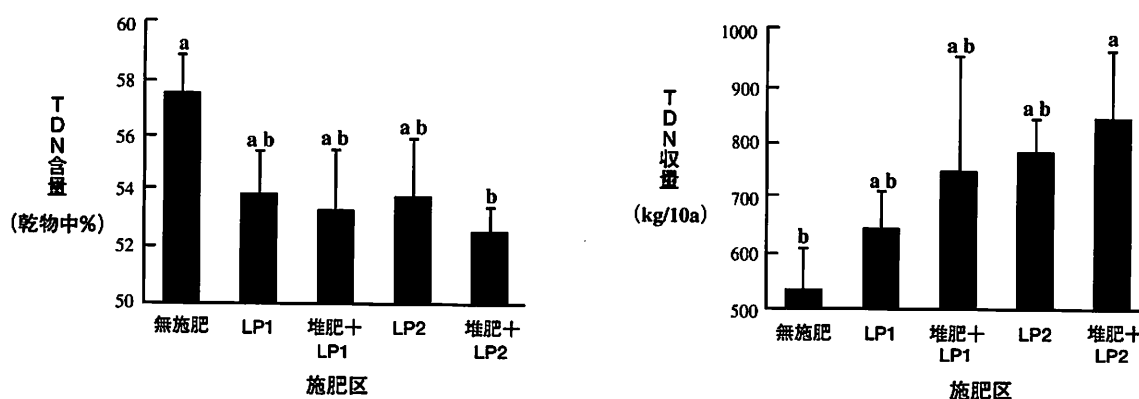


図4 堆肥と緩効性化成肥料による黄熟期の水稻ホルクロップサイレージのTDN含量及びTDN収量

LP1: 緩効性化成肥料8.5kgN/10a,  
 LP2: 緩効性化成肥料17kgN/10a,  
 堆肥: 2t/10a  
 異符号間に危険率5%で有意差あり



表3 液状厩肥の施用による黄熟期の水稻ホールクロップサイレージの発酵品質

項目	無施肥区	基肥のみ		基肥+追肥		SEM
		1.5倍区	3.0倍区	1.5倍区	3.0倍区	
乾物回収率 (%)	95.2 <sup>a</sup>	96.4 <sup>a</sup>	85.9 <sup>b</sup>	90.0 <sup>b</sup>	97.3 <sup>a</sup>	1.93
水分 (%)	54.9 <sup>b</sup>	57.0 <sup>b</sup>	63.3 <sup>a</sup>	57.9 <sup>b</sup>	59.4 <sup>ab</sup>	1.63
pH	5.39	5.18	5.00	5.22	5.38	0.145
乳酸(新鮮物中%)	0.0935	0.0647	0.0550	0.126	0.0767	0.0320
酢酸(%)	0.158	0.251	0.251	0.159	0.158	0.0413
プロピオン酸(%)	0.0867 <sup>b</sup>	0.0945 <sup>ab</sup>	0.283 <sup>a</sup>	0.0653 <sup>b</sup>	0.0555 <sup>b</sup>	0.0613
酪酸(%)	0.106	0.144	0.162	0.157	0.163	0.0277
総VFA(%)	0.351	0.489	0.696	0.382	0.377	0.144
フリーク評点	20	15	17	17	15	4.51
VBN/全窒素(%)	5.28 <sup>b</sup>	6.49 <sup>b</sup>	9.13 <sup>a</sup>	5.31 <sup>b</sup>	6.97 <sup>ab</sup>	0.847
V-SCORE	90 <sup>a</sup>	84 <sup>ab</sup>	75 <sup>b</sup>	86 <sup>ab</sup>	83 <sup>ab</sup>	3.64

1.5倍区; 12kgN/10a, 3倍区; 24kgN/10a. 異符号間に危険率5%で有意差あり

表4 堆肥と緩効性化成肥料の施用による黄熟期の水稻ホールクロップサイレージの発酵品質

項目	無施肥区	LP1	堆肥+LP1	LP2	堆肥+LP2	SEM
乾物回収率 (%)	96.6	94.2	90.8	94.1	89.7	3.53
水分 (%)	58.4	64.0 <sup>b</sup>	64.2 <sup>b</sup>	66.4 <sup>ab</sup>	68.5 <sup>a</sup>	1.05
pH	5.42	5.58	5.53	5.67	5.88	0.325
乳酸(新鮮物中%)	0.0925	0.0968	0.0781	0.181	0.0575	0.0614
酢酸(%)	0.0879 <sup>b</sup>	0.125 <sup>ab</sup>	0.121 <sup>ab</sup>	0.130 <sup>ab</sup>	0.215 <sup>a</sup>	0.0289
プロピオン酸(%)	0.00180 <sup>b</sup>	0.00420 <sup>b</sup>	0.00380 <sup>b</sup>	0.00500 <sup>b</sup>	0.0392 <sup>a</sup>	0.00659
酪酸(%)	0.166	0.208	0.231	0.149	0.263	0.0442
総VFA(%)	0.260 <sup>b</sup>	0.359 <sup>ab</sup>	0.364 <sup>ab</sup>	0.311 <sup>b</sup>	0.551 <sup>a</sup>	0.0613
フリーク評点	18	15	15	30	10	10.6
VBN/全窒素(%)	4.78 <sup>b</sup>	9.92 <sup>ab</sup>	9.31 <sup>ab</sup>	11.6 <sup>a</sup>	14.5 <sup>a</sup>	1.93
V-SCORE	86 <sup>a</sup>	69 <sup>ab</sup>	71 <sup>ab</sup>	67 <sup>ab</sup>	48 <sup>b</sup>	9.48

LP1; 緩効性化成肥料8.5kgN/10a, LP2; 緩効性化成肥料17kgN/10a, 堆肥; 2t/10a, 異符号間に危険率5%で有意差あり.

これらの実験を通して、以下の知見が得られた。

- 1) 耐倒伏性系統であるV字葉型水稻は山形県で推奨している窒素の施肥量の2~3倍量を基肥のみで家畜糞尿(牛)の液状厩肥で倒伏することなく栽培可能である。
- 2) 緩効性化成肥料で山形県で推奨している窒素の施肥量の2倍量でも基肥のみで倒伏することなく栽培可能である。また、堆肥を併用して施用すると窒素の収量が多くなる。

- 3) 1) と2) のときの乾物収量は1,700～1,800kg/10a、TDN含量は850kg/10aとなり、乾物収量はトウモロコシに匹敵し、TDN含量はトウモロコシの70%程度だった。
- 4) 水稻ホールクロップの窒素の利用率は液状厩肥基肥の3倍区を除いて、20～50%が得られ、トウモロコシの18～22%より高かった。特に液状厩肥の追肥と緩効性化成肥料2倍の施用が利用率向上に効果があった。窒素の形態は吸収がよいアンモニア態窒素が大部分と思われ、<sup>15</sup>Nを用いたアンモニア態窒素の吸収率の20～40%の範囲の成績と同等の吸収率だった。

表3に液状厩肥を施用したとき、表4に堆肥と緩効性化成肥料を施用したときの刈り取り適期といわれる黄熟期の水稻ホールクロップサイレージの発酵品質を示した。いずれの肥料区とも水分は70%以下であり、牧草サイレージなどのように予乾の必要はないが、乳酸の基質となる水溶性炭水化物が稲ワラに少ないため、乳酸含量は0.2%以下でトウモロコシに比較すると10分の1以下の極めて少ない含量である。酪酸やVBN/全窒素(%)も比較的少ない数値と思われるが、フリーク評点では10～30点と評価は高くない。今後、フリーク評点を上げるためには、乳酸発酵を促進する糖質の添加物を併用するなどの検討が必要だろう。しかし、乳酸発酵を偏重するフリーク評点でなく、VFAやVBNが少ないと良質であると評価する基準にV-scoreがある。この評価法に当てはめると、かなり評価が高くなった。即ち、水稻ホールクロップサイレージの品質は良質発酵の基準となる乳酸発酵は期待出来ないが、劣質の基準となるVFAやVBNなどの揮発性成分が少ないのが特徴である。しかし、表3の基肥のみの3倍区と表4の堆肥+LP2区のVFAとVBNが高かったため、V-scoreが低くなる傾向だった。今後、V-scoreと飼料価値との関係をメン羊などの実験動物で検討する必要があると思われる。

水稻の飼料価値の改善に尿素の添加給与が有効であり、DCPや窒素水稻量を増加させた事例がある。また、禾本科の牧草などで牛のグラスステタニー発生の原因として問題になっているK/(Ca+Mg)当量比は、水稻ホールクロップでは出穂期以降は危険値とされている2.2を下回り問題ないと判断された。

## 参考文献

- ・ 萱場 猛夫 (1982) 家畜の飼料としての米について. 日本畜産学会東北支部会報 32(3): 79-83
- ・ 笹原 健夫・崔 成煥・阿部 利徳 (1989) イネV字型系統に対する逆V字追肥の効果. 日本作物学会東北支部会報 32
- ・ 笹原健夫・萱場猛夫 (1991) 日本型飼料用穀物生産の技術的課題. 畜産の研究 45 (2) 233-239
- ・ 水間 豊編 (1991) 飼料用「稲」について 第・章 321-325. 畜産の近未来(分担執筆)川島書店
- ・ T. SASAHARA, T. KAYABA and S. TSUNODA (1991) Breeding for feed and fodder use of the whole rice plant. International Rice Commission Newsletter 40: 3-7
- ・ T. SASAHARA, T.T. AKAHASHI, T. KAYABA and T. TSUNODA (1992) A new strategy for increasing plant productivity and yield in rice International Rice Commission Newsletter 41: 1-6
- ・ 高橋 敏能 (1997) 水稻の家畜用飼料としての可能性. 山形大学農学部農場報告 9
- ・ 飼料用米の生産の取り組み状況について (1998) 平田牧場

萱場 猛夫 (山形大学農学部)

# 飼料イネ技術確立の必要性和今後の方向

佐藤 純一

## 1. 飼料イネ技術確立の必要性

### 1) 大家畜（乳牛・肉用牛）飼料の現状

#### (1) 粗飼料と濃厚飼料

牛は草食動物であり、野性の状態では草だけをエサとしていたが、家畜となって人に飼われ、畜産という産業として成立する過程において、効率的な動物へと改良が加えられた。効果的に増体させたり、牛乳を多く出すようにするため、与えるエサも、草のみから大豆・麦類・コーン等の穀物を併用する技術へと進み、今日では、前者の草すなわち牧草、そして牧草と同じような役目で茎葉すべてをエサにするソルガムやトウモロコシ等飼料作物を、まとめて粗飼料と呼び（粗の字が悪い印象があるため粗飼料と呼ぶことを好まず、繊維性飼料と呼ぶ場合も多くなってきている）、後者の穀物飼料を濃厚飼料と呼んでいる。

牛が濃厚飼料を食べて効率的な生産をする家畜に改良されても、牛そのものの基本として特徴のある4つの胃で消化を行う動物には変わりはなく、粗飼料すなわち繊維分の多いエサが牛の生理として必要である。粗飼料と濃厚飼料の利用割合は、乳牛と肉用牛では異なり、また牛の発育段階や、飼養形態、牛の生産能力等で様々であり一概に言うことは難しいが、統計的には酪農の場合、TDN換算でほぼ50%：50%である（TDN：可消化養分総量、家畜が消化できる栄養量）。なお肉用牛では濃厚飼料が主体となっている。

表1 酪農経営における飼料給与構成（TDN換算）

濃厚飼料 (%)		粗飼料 (%)	
穀類	5.0	生牧草	0.7
粕類	9.4	乾牧草	20.3
配合飼料	35.0	サイレージ	23.6
その他	1.3	その他	4.7
合計	50.8		49.2

平成8年度全国、平成10年7月自給飼料課関係資料

## (2) 自給飼料

中小家畜と呼ばれる豚、ニワトリを飼う畜産経営においては、粗飼料はエサにならず、濃厚飼料のみで飼養するためその需要量は多く、現在、わが国における飼料用穀物の年間消費量は平成10年度（計画）のTDNベースで約2,000万トン（飼料用穀物のTDN含量は65%～85%であるので現物量はもっと多い）であり、そのほとんど（1,800万トン、TDNを75%とすると現物では約2,400万トン）が輸入に依存していることは周知のことである。一方、大家畜の乳牛・肉用牛飼養の内、特に乳牛を飼ってミルクを生産する酪農においては、粗飼料が十分に必要ことから、草地や飼料作物畑あるいは転換畑で、牧草や飼料作物を栽培しており、従って濃厚飼料が輸入飼料または購入飼料と呼ばれるのに対して、粗飼料を自給飼料と呼んでいる。

## (3) 乾草の輸入

統計による自給飼料の生産や濃厚飼料の輸入は表2に示すとおりであり、肉用牛飼養を中心に大家畜においても輸入濃厚飼料に依存していることは間違いない。しかし酪農においては、粗飼料は健全な乳牛生産に欠くことのできない要素であることから、経営の中で自前で生産することが建て前であった。しかしながら、大規模化による生産の低コスト化を進める場合、それに伴う自給飼料生産を行う土地の集積は、家畜の増頭のように進んでいない。また、飼料生産については機械化による省力化を進めるものの、直接収入となる牛乳を生産する飼養管理に労力をとられて、圃場作業労力の不足が恒常化している。その他、乾草給与による乳成分向上技術の普及などもあって、本来自給飼料と言われる粗飼料までも外国から輸入する牧草に頼る状況が見られるようになり、表3に示されるように、年間約152万トン（平成9年度）もの乾草が輸入される事態となってしまっている。

表2 平成9年度 飼料需給表(TDNベース) (単位:千トン)

需要量	A	26,641
国内供給	粗飼料 B	4,550
国内産	濃厚飼料原料 C	2,166
輸入	粗飼料 G	1,300
	濃厚飼料原料 D	3,642
	濃厚飼料 H	14,983

平成10年7月自給飼料課資料

粗飼料輸入率 $G/(B+G)$	22.2%
濃厚飼料輸入率 $(D+H)/(C+D+H)$	89.6%

上表から算出

## (4) 輸入飼料の価格

輸入飼料の価格は、為替の変動や、海外における穀物生産の良不良、あるいは世界の需給関係から変動している。一般的に輸入穀物は1kg当たり30～40円である。一方、粗飼料となる輸入牧草は、カサが大きく、また港や輸送時の積み替えなどが穀物の様に流動して省力的な扱いができず、フォークリフトやクレーンそして人力が必要なことから農家の庭先価格は、乾草1kg（含水率15%）当たり40～50円である。

表3 平成9年度粗飼料の輸入量及び価格

	輸入量	価格(CIF)	農家庭先のTDN価格
ハイキューブ	624.5 (千トン)	29.3 (円/kg)	81 (円/kg)
乾草	1521.9	31.2	87
稲わら	268.0	23.1	109

農家庭先TDN価格は平成8年度自給飼料課調べ

濃厚飼料は濃厚と言われるとおりTDNが平均約75%（乾物中の含有率）と高いことから、TDN1kg当たりになると40～70円である。牧草は繊維分の役目があることから、TDNの割合は50%程度で（品質によって大幅に変動する）、輸入乾草のTDN1kg当たり価格は87円（平成8年度）と濃厚飼料よりかなり高くなっている。

## 2) 水田の活用

### (1) 米の生産調整と水田転換利用

米消費の動きや、世界経済の圧力による米輸入などにより、平成10年度は米の生産調整を行う水田が更に16万ha増加し、合計96万3千haに達していることは周知のことである。平成9年度の実際に転作の作付けが行われた面積は約46万haであり、麦・大豆等への転換が奨励されているものの、その面積は両方合わせておよそ10万haである。そんな中で飼料作物への転作が10万3千ha行われて転作面積の23%を占めており、転作作物の中での優等生となっている。しかしながら、牧草やトウモロコシ等の飼料作物は湿潤条件には弱く、高い収量が得られる作物とされているトウモロコシの根は特に水に弱く、排水条件の良い転換圃場でないと安定した飼料作物の栽培は難しい。現在、牧草、飼料作物合わせて約10万haの転換は、排水条件がかなり厳しいところまで作付けをしての値であり、水田に余剰があるからと言えどもそう簡単には飼料作物の作付けを増やすことは難しくなってきた。

表4 水田対策転作面積

(単位：ha、%)

水田対策	年度	転作面積	うち飼料作物	飼料作物の割合
稲作転換対策	昭和46	246,980	57,517	23.3
水田総合利用対策	52	192,306	54,759	28.5
水田利用再編対策第2期	56	588,105	172,251	29.3
水田農業確立対策	62	606,250	135,678	22.4
水田営農活性化対策	平成9	455,825	102,766	22.5

平成10年7月自給飼料課資料より抜粋

## (2) 湿性飼料作物

今日、わが国で生産される牧草飼料作物は、本来、西欧・アメリカ大陸等の寒冷地や乾燥地帯で栽培されていた作物である。これまでわが国の温暖・湿潤な気象に適合するよう品種改良が重ねられているが、やはり、夏期の高い気温で多収となる寒地型牧草や、湿潤な土地で旺盛に生育するトウモロコシの作出は難しい状況にある。

わが国のおかれているアジアモンスーン気候では、北海道を除けば、作物の生育に適した春から秋までの期間が温暖多雨条件であり、湿潤で良く育つ飼料作物が望まれる。しかしながら、ヒエや一部の暖地型牧草があるものの、栄養価や収量からは寒地型牧草やトウモロコシに迫る作物は見当たらない。

この温暖湿潤に適応して成育の旺盛な作物の筆頭は、これまで育種努力が積み重ねられてきた水稻であろう。水稻は長年の改良を加えられ、わが国では最も安定して多収生産ができる作物として定着している。これに着目してこれまでも超多収をねらうプロジェクト研究や、水田転換がスタートした当初において、稲の飼料利用が行われ、牛の飼料に利用できることは判っていた。そこで、草地試験場では、平成8年10月の組織改変に伴う研究基本計画策定に当たり、食用の米になる稲の飼料利用ということではなく、飼料に適するように改良される飼料専用品種「飼料イネ」をモンスーン気候に適した湿性飼料作物として位置付け、その生産利用技術の開発を進め、飼料イネ技術として確立を目指すこととした。(なお、この報告では、主食の米を生産する植物を“稲”または“水稻”、ホールクロップ利用の飼料用品種を飼料稲でなく“飼料イネ”、そして玄米を濃厚飼料として家畜に与える場合を“飼料米”と区別して表記する)

## (3) かつての緊急避難的な水稻の飼料化

昭和50年代、転作当初に行われた青刈り稲においては、畜産側の受け入れ体制や、稲作と畜産との連携が十分でないまま進められた感が強く、当時、草地試験場施設機械部で、筆者も参画して行った青刈り稲の飼料利用に関する調査研究の報告書にも、青刈り稲が牛の口にキチンと入っていないことを指摘している。その後、青刈りでなくて米が稔る時期まで育て、茎葉も加えたホールクロップでサイレージに調製して牛のエサにする技術へと進展し、昭和60年代には、特別転作作物にも指定されて、稲の飼料利用が奨励された。この時は畜産側の参画もあって、それなりに利用が行われたものの、利用される稲の品種はこれまでの食用にした稲の流用が多く、収量性などの問題があった。さらに大きな問題として、育苗・田植えなど生産コストの高い慣行の稲作技術がそのまま使われていたことから、特別助成金の付加された特別転換作物の指定期間が終わるに合わせて、利用は一気に下火となってしまった。

## (4) 飼料イネの収量

しかしながら、この頃、農林水産省の「超多収」プロジェクト研究や、公立農業試験場や畜産試験場において、稲の飼料利用に関する試験が行われ、その成果を見ると、収量・栄養価ともかなりの成績となっている(表5、表6)。例えば玄米の10a当たり収量が900kg近い成績や、また、TDNも60%を越す成績があり、この成績から牛が利用できるホールクロップに換算すると、10a当たり乾物収量1.6～1.8t、TDN50～60%の可能性があり、場合によっては乾物収量2tで、TDN65%の飼料イネも今後の技術開発研究次第で夢ではない。試験場レベルでなく実規模の生産技術として考えるならば、やや控えて10a収量15t、TDN55%なら普及段階の現場で十分達成可能であると思われること

表5 稲の生育段階別のDM収量(kg/10a)、TDN収量(kg/10a)

熟期	乾物収量	TDN	DCP	CP	CF	NFE
出穂期前	650	39.9- 48.1	4.1- 5.5	9.1- 9.4	1.1- 28.6	43.5- 50.0
出穂期	975	44.2- 54.8	4.7- 13.8	7.6- 18.8	9.8- 32.8	30.2- 44.8
乳熟期	978- 1025	35.9- 56.0	3.6- 9.7	6.8- 13.8	25.0- 33.4	36.0- 51.3
糊熟期	1100- 1350	49.0- 61.3	4.0- 4.6	6.1- 9.1	23.6- 28.4	45.2- 54.5
黄熟期	1170- 1619	51.0- 60.8	2.2- 4.5	5.4- 8.9	15.3- 24.2	55.5- 61.0
完熟期	1100	53.0- 59.8	1.8- 2.5	4.4- 7.3	23.1- 25.2	55.5- 59.5

草地試験場「飼料イネ」より抜粋

表6 育成系統の収量性検討結果(昭和57～平成4年)

	北海道農試	東北農試	北陸農試	農研センター	中国農試	四国農試	九州農試
昭和57	683 (永系77402)	697 (曲系1312)	671 (アキヒカリ)	658 (水原258)	789 (中国91)	677 (中国91)	837 (水原258)
昭和58	703 (空育118)	747 (奥羽316)	657 (アキヒカリ)	684 (水原258)	785 (中国91)	735 (中国91)	763 (水原258)
昭和59	818 (空育118)	772 (アキヒカリ)	835 (南京11)	646 (むさしこがね)	820 (アケノホシ)	735 (アケノホシ)	618 (IR36)
昭和60	740 (北海249)	762 (奥羽315)	729 (北陸129)	730 (水原258)	759 (アケノホシ)	741 (アケノホシ)	552 (水原258)
昭和61	777 (北海258)	821 (奥羽316)	857 (北陸129)	709 (水原258)	777 (アケノホシ)	767 (アケノホシ)	605 (裡里338)
昭和62	636 (北海258)	881 (奥羽316)	798 (北陸129)	817 (水原258)	754 (アケノホシ)	812 (アケノホシ)	657 (密陽25)
昭和63	699 (北海261)	896 (奥羽326)	827 (北陸129)	663 (関東146)	742 (アケノホシ)	755 (アケノホシ)	846 (西海183)
平成1	—	730 (奥羽331)	797 (F <sub>1</sub> )	817 (北陸143)	—	730 (アケノホシ)	810 (西海184)
平成2	—	857 (奥羽326)	775 (F <sub>1</sub> )	882 (タカナリ)	578 (F <sub>1</sub> )	661 (北陸147)	802 (西海184)
平成3	—	859 (奥羽326)	813 (F <sub>1</sub> )	796 (タカナリ)	850 (F <sub>1</sub> )	732 (関東147)	807 (西海184)
平成4	713 (札系9175)	824 (奥羽331)	825 (北陸147)	897 (タカナリ)	703 (アケノホシ)	809 (西海189)	869 (西海184)

表中の収量はプロジェクト推進会議資料(各年)で収量性を検討した中で高いものを抜粋して示した。

から、この値でコスト計算をしてみた。

### (5) 飼料イネのコスト

平成8年度の水稲生産費は、10a当たり約13万円となっている。このコストでの飼料生産では高いエサになってしまう。一方、トウモロコシの生産費は57,000円/10aであり、また冬作ではあるが麦の生産費は穀実の乾燥経費まで加えて、49,000円/10aである。現在、水稲の栽培において低コスト化を進める直播技術が盛んに開発されつつある。この栽培方式を取り入れ、穀実の脱穀や乾燥調製作業を行わないホールクロップ利用とすれば、トウモロコシや麦の生産費に近付けられる可能性がある。

例えば、飼料イネの生産費が、トウモロコシと麦の中間よりやや高い、55,000円/10aにすることが実現できれば、TDN当たりの生産費は、67円/kg(55,000円) / (1500kg×55%)となる。第1章に述べた輸入乾草のTDN当たりの価格は、平成8年度で87円/kgであり、飼料イネは輸入牧草よりTDNkg当たり20円も安いことになる。

今時、国産の農産物が海外の豊かな土地資源を背景とした大規模生産の農産物に価格で勝負できることはめずらしいが、粗飼料に関しては、国内産の方が安価である。ここに技術開発次第で飼料イネの可能性は十分高いとすることができる。

### (6) 飼料イネ生産で飼料輸入を減らし、自給率の向上を

わが国の自給率は、平成9年度においてエネルギーベースで42%、穀物自給率は30%台を切って29%の低率となっている。答申が出された食料・農業・農村基本問題調査会では、今日のような世界経済の枠の中で大きく動いている状況と、消費の好みを制限できないとの観点からか、今後の自給率の具体的な明示はないが、自給率の向上をしなければならないとしている。貿易が優先する世の中ではあるが、やはり、生活を営む地域、その地域において生産できる食料を第一義として生活を賄うことが自然の理にもかなっており、自給率向上にはなお一層の大きな努力をすべきと考える。

平成9年度の生産調整水田の面積は約80万haが計画されて、通年施工などで使えない水田を除いて、調整水田や自己保全管理水田など転作作物の栽培が無く、飼料イネが栽培できる水田が約23万haと計算できる。平成10年度は更に16万haの上積みとすることであり、転作が限界に近いことか

表7 平成9年度転作等面積

転作	面積ha	%	対策実施	面積ha	%
飼料作物	102,384	15.1	調整水田	58,693	8.6
麦	53,457	7.9	水田預託	8,674	1.3
大豆	47,233	6.9	多目的機能水田	4,553	0.7
野菜	130,151	19.1	自己保全管理	45,868	6.7
果樹	3,703	0.5	土地改良通年施工	6,736	1.0
その他	118,897	17.5	実質算入	99,812	14.7
転作合計	455,825	67.0	転作等実施面積	680,161	100.0

平成10年7月自給飼料課資料



ら、上積みの16万haの全てに飼料イネを作付けすると仮定すると、飼料イネの面積は合計39万haとなる。この面積からの飼料イネTDN生産量は322万t ( $39\text{万ha} \times 15\text{t/ha} \times 55\%$ )となる。これに牧草や、飼料作物畑さらに転作飼料作物、裏作牧草を含め約97万haから生産される自給飼料のTDN455万tを加えると、自給飼料合計のTDNは777万tに達する。現在我が国においては乳牛・肉用牛に給与される粗飼料のTDNは、輸入乾草(152万t)のTDN76万t (TDN50%とする)を加え585万tであるところから、輸入乾草を0にしてもなおTDN192万tを、牛が濃厚飼料として食べている輸入穀物に置き換えられる計算になる。丸めた数字で言えば、このTDN約200万tは、わが国の輸入濃厚飼料約2,000万t (TDN)の10%となり、結果として自給率の向上に十分寄与することとなる。

### 3) なぜ今再び飼料イネか

#### (1) 飼料イネは緊急避難ではない

飼料イネの話をするに「昔もやって駄目であった、なぜまた飼料イネなのか」との問いが返ってくる。すでに述べた様に、かつては稲(食用に最適の稲)を緊急避難的に牛のエサに廻したと思われる。これからやろうという飼料イネは、アジアモンスーン地帯に適合した一種の湿性飼料作物と位置付け、育種・栽培から、収穫・調製、牛に給与してミルクや肉の生産を確実に行うところまでの体系的な技術の確立および生産システムの確立に向けて本腰を入れようとの提案である。

#### (2) 飼料イネ成立条件・技術面

昔と比べて米、水田、農業、経済等々が変わってきており、飼料イネが成り立つ条件も揃ってきている。技術的な面では、まず育種技術の進歩とこれまでの稲育種の蓄積などにより、飼料適性のすぐれた飼料イネ開発が早いペースで進む可能性が十分ある。水稻の直播栽培技術は、低コスト稲作を目指して盛んに開発が進められ、地域に適應した様々な直播方式が提案されていることから、それが飼料イネに活用できる。また機械化作業では、飼料イネがロールベールラップ技術にピッタリ適應することである。またTMR(各種飼料原料を混合して牛に適した栄養分にした飼料)の調製と流通技術の発展で、飼料イネはいろいろな飼養段階の牛のエサに調合して利用できる見通しがあるなど、環境が整ってきたことも挙げられる。

#### (3) 飼料イネ成立条件・社会面

社会的な面では、飼料用として育成される飼料イネを、穀実(米)の完熟まで栽培して収穫しても、コシヒカリのような良食味の米になるとは考えにくい。すなわち飼料イネとしての品種には、これまで多収性や耐病性にすぐれた品種でも食味などに難があることから日の目を見なかった品種からの育成により、飯米とした場合に人の口には不味いが、牛のエサとしての収量性や栄養価など飼料イネとしては適した品種の開発が考えられよう。米が余剰で食味の悪い米が売れない時代に、飼料イネとして開発された稲からあえて米を生産しても買い手は見つからないであろう。

水田転作の観点からは、麦や大豆の生産において輸入価格に対抗できる生産コストまで下げて、作付け面積を増加させようとする目標は、まだ遠い道のりである。

また、水田機能活用の観点からは、これまでの水田基盤整備や水利システムへの投資を活かす道であると共に、水田機能の保全は、平成5年の米不足の経験、そして、モンスーン気候のわが国の自然環境保全としても重要視されている。

#### (4) 飼料イネ メリット・デメリット (草地試験場「飼料イネ」平成10年2月発行より)

##### メリット

###### 品種・栽培

- わが国における稲育種技術は強力であり、飼料適応品種の育成に可能性が高い。
- 種子自家採種、トウモロコシのように毎年種子を外国から購入する必要がない。
- 排水不良圃場で栽培可。
- 稲栽培技術の基礎があり、普及は容易。
- 省力的な直播栽培技術が開発されつつある。
- 飼料利用のため混植栽培など新しい生産向上栽培技術の可能性が高い。
- これまでに整備された水利等水田基盤整備の資産を活用して安定栽培が可能。
- トウモロコシのように干ばつ・湿害なし。

###### 作業

- 水稻の直播栽培作業技術が利用可能。
- 天候変化に対応し易いロールベール作業体系が可能。トウモロコシは不可。
- 小型作業体系で作業可能。トウモロコシは大型大馬力必要。

###### 調製・流通・給与

- ロールベールで流通させられる。
- サイレージ調製でアルコール発酵も若干あり、嗜好性が良い。
- 湛水で生長する飼料イネには硝酸態窒素が蓄積しないので牛が中毒する心配がない。

###### 生産組織

- 全国に数多くある水稻生産組織による生産が期待できる。
- 水稻の繁忙期とずらした飼料イネ生産で営農組織の通年活動への道ができる。
- 畜産農家との結びつきにより水田への畜産堆肥還元作業の請負も可能。

###### 畜産農家

- 飼料イネ流通技術が確立すれば輸入粗飼料のように庭先で容易に入手できる。
- 家畜ふん尿の還元基盤が水田に広がり、資源循環できる持続的な畜産となる。

###### 社会

- 環境保全的な水田景観保全農業が継続される。
- 利用されていない湿田など条件不利水田の利用で、輸入粗飼料の代替が可能。
- 稲作と畜産がつながった地域複合生産社会の形成。農村地域社会の活性化。

##### デメリット

###### 品種・栽培

- トウモロコシに並ぶ生産性の品種がまだ開発されていない。
- 超低コスト直播栽培技術がまだ確立されてない。
- 家畜ふん尿施用主体とする栽培技術の開発が必要。
- ミニマム防除栽培技術が必要である。

###### 作業

- 湿田で能率高く作業できるロールベール作業技術の開発が必要。

○ホールクロップの場合は水田農家所有のコンバインがそのまま利用できない。

#### 調製・流通・給与

○ロールベールラップサイロによる良質ホールクロップサイレージ調製がまだ未完成。

○ホールクロップサイレージとして蛋白が不足している。

○粗の消化性が良くない。

#### 生産組織

○輸入粗飼料に対抗できる価格で生産できる技術が必要。

○サイレージ調製・TMR飼料などの技術を修得しなければならない。

#### 畜産農家

○安定して継続的に入手できるか疑問（米に戻ってしまわないか）。

#### 研究・行政

○水稻の生産技術と飼料の生産技術が異なる専門分野として運営されている。

○水稻と飼料作物を扱う部門の連携努力が必要。

## 2. 飼料イネ技術開発の今後の方向

### 1) ホールクロップ利用のための飼料イネ開発

#### (1) 水稻の育種と飼料イネの育種

これまでの水稻の育種は、玄米の収量性はもちろんのこと耐病性・耐倒伏性、そして良食味が大きな目標となっていた。一方、ホールクロップとして利用する飼料イネの場合、穀実への養分移行の完了を待たず、作物の生育生涯で家畜が利用可能な養分の最も高い時期に収穫することになる。したがって、不稔で茎葉に多く養分を保持する品種も考えられるが、収量的には、穀実に養分が多く移行した後も茎葉の光成分が旺盛で、茎葉にも養分が残っているような飼料イネの開発が目標になろう。

#### (2) 牛の飼料としての飼料イネの目標

牛の飼料として望まれることは、乾物収量とTDN含量が共に高いすなわち栄養収量が高いこと、消化性が良いこと、そして牛の嗜好性が良いことである。乾物収量の目標はトウモロコシに並ぶ1.5～2.0トン/10aであり、玄米と茎葉の比が1：1の場合、玄米収量に換算すれば750～1,000kg/10a、現在の食用米の1.5～2倍の収量が必要となる。TDN含量もトウモロコシ並の55～65%と、一般牧草の50～55%より高いところをねらいたい。

消化性については、茎葉の消化に問題は少ないが、硬い殻の付いた粗の消化が問題となろう。収穫や調製時の機械的な力によって粗穀に傷が付いたり殻が剥ける性質であれば、消化性が改善されることから、損傷の容易な粗穀であること、傷つきやすい大粒であることなどが望まれる。さらに、サイレージ調製中に粗が発芽するような品種や調製技術も考えられる

牛の嗜好性もエサとして重要な要因であり、これまでの飼料イネサイレージ調製の試験結果では、ややアルコール発酵も加わって、嗜好性は高いとされている。また、養分として蛋白質の多いことも必要である。食用米では蛋白質含量が高いと食味が低下するといわれ、低蛋白の傾向であったことから、飼料イネでは食用とある意味で逆方向への育種の展開とも言えよう。

### (3) 飼料イネ栽培面からの適応品種

飼料イネ栽培面から育種へ望む事項としては、直播適応性すなわち安定出芽、耐倒伏性等に優れていることが挙げられよう。低コスト生産や、スムーズな収穫作業の面から特に必須の性質である。次に、飼料作物は原則として病害・虫害への防除剤散布を行わないことから、耐病性・耐虫性が強く求められる。なお、牧草や飼料作物栽培において、家畜ふん尿堆肥等による限界以上の多肥栽培を行うと、莖葉中の硝酸態窒素濃度が高くなり、それを食べた牛が硝酸塩中毒になる心配があるが、飼料イネの場合は水田で栽培する事から、土壌が還元状態のため硝酸態窒素が飼料イネに蓄積されない利点がある。

### (4) 収穫・調製面からの性質

収穫・調製面から見ると、最も重要な性質は多収条件でも倒伏しない品種であり、次にロールベールラップ収穫への適応性である。飼料イネは多収を目指して長大で茎が強い作物として開発されると考えられるが、ただし、茎を強くするとともに、成熟期の茎が葎や篠竹の様に硬くてはロールベールにできず、困る面もある。また、これまでの経験で飼料イネをロールベールにする時に、籾の脱粒の多い点が指摘されていることから、糊熟期～黄熟期において籾が脱粒し難い品種がほしい。そして、もみ殻の性状が機械的な作用で傷付き易いことなどが望まれる。

## 2) 飼料イネの新しい栽培技術

### (1) コシヒカリの栽培

水稻の栽培技術においては、均一栽培、斉一登熟が重要であった。特に食味を良く仕上げるには過熟を最も嫌い、出穂後の積算温度と積算日照時間で最適収穫時期が求められる技術もあり、そのための計測器も市販されているくらいである。揃って登熟するよう分けつも一定時期に限定し、他より遅い分けつ茎は無効分けつとして出穂させない肥培管理や水管理技術も確立している。

### (2) 飼料イネの栽培

それに対して飼料イネの栽培はやや異なる。味の問題は少なく、収量を第一義とすることから、熟度が斉一でなくて登熟にバラつきがあっても問題はなく、全体として収量が最も高い時期に収穫することとなるため、遅い分けつも大切に育てることになろう。また、食用では考えられなかった同一水田内に異なる品種を混合する栽培方法も行えるであろう。耐倒伏性の高い品種と草丈が高くて多収品種の混播や、害虫の忌避成分を出すような品種又は他の作物の混合栽培も考えられる。収穫時においてサイレージ調製に好ましい水分となるよう、熟期の違う品種を混ぜる方法や、食用への流用を心配する場合は、不味い米や着色米を混合栽培する方法もあろう。また、地域によっては刈り取った株から再生するひこばえを十分生育させて収穫する多回刈り栽培が可能であることから、1番刈り後の肥培管理技術の開発が必要である。

### 3) 流通を考えた飼料イネの収穫調製技術

#### (1) 飼料イネは流通受け渡しをする自給飼料

すでに述べた様に、自給飼料は畜産農家が自前で生産することが本来の建て前であったが、水田

地域が畜産農家から離れた条件が多いことと、現在の多頭化されて労力不足に悩んでいる畜産側の状況を考えた場合、飼料イネは、水田地域を管理する稲作側で生産し、畜産側へ運ぶシステムを新たに構築する必要があり、それに適した流通を考えた収穫調製技術を確立しなくてはならない。

## (2) 飼料イネ収穫作業

飼料イネの収穫作業としては、ロールベールラップサイレージ体系を目指して、すでに自脱型コンバインの刈取部や走行部を利用した自走式ロールベールの開発研究が進められている。この機械は5条刈り程度のやや大型の自脱型コンバインの脱穀装置を外し、そこにロールベール装置を装着した方式であり、湿田条件でもコンバインが刈取り作業できる条件ならば、収穫作業が可能であり、飼料イネ収穫条件の範囲を一気に広げる優れものと考えられる。このロールベールとセットでやはりクローラ型走行部を備えたベールラップの開発も考えられている。さらに、ロールベール装置を元のコンバインの脱穀装置と載せ替えて、コンバインとロールベールの両方に利用できる方式への発展も期待されており、稲作営農組織が飼料イネ生産に取り組む場合に、機械の汎用利用ができて都合のいいシステムとなろう。

飼料イネの収穫に従来使われている大型の牧草・飼料作物用作業機体系をそのまま持ち込むには圃場条件が限定されるが、埼玉県や群馬県のように稲の収穫時期が遅く、水田が十分硬く乾燥する条件では十分従来方式の牧草収穫作業機で収穫可能である。また、やや軟弱な条件に対しては、近年クローラ型トラクタやハーフトラック付きトラクタが普及しはじめており、このトラクタを使うことにより、従来型の牧草・飼料作物用フォレージハーベスタ体系や、ロールベール体系が可能となる。ただし、牧草収穫のように刈り落として、地干し乾燥で予乾した後で集草して拾い上げる体系では、草地においては牧草の刈取り跡が芝生のようにマット状であるのに対して、土が露出した水田表面の場合は、拾い上げロスが増加する心配がある。

## (3) 調製作業

ロールベールラップサイレージ方式は流通に適した調製方式であるが、他にも、畜産農家のサイロを活用する方式として、従来型のフォレージハーベスタによる細断収穫作業方式や、ロールベールした飼料イネをラップせずサイロまで迅速に運びロールベール解体機とカッターで細断してサイロに詰め込む方式も考えられよう。

飼料イネロールベールラップサイレージ調製については、茎葉のしなやかさが牧草よりやや少なく、ロールベール内の空気の排除が不十分になることや、発酵速度がやや遅いことなどから、より良質なサイレージ発酵のための添加剤利用技術や新しい生物系添加物の開発、あるいは、アルカリ処理として尿素添加で茎葉の消化性を向上しようとする技術など飼料イネ用の特徴ある調製技術の開発を進める必要がある。

## (4) 飼料イネTMR調製及びサイレージ調製技術

近年、TMRセンター事業が行われてTMR飼料流通の普及が始まっているが、自給飼料を混合したTMRセンターは少なく、粕類や濃厚飼料のみのいわゆるドライ飼料を混合して流通している場合がほとんどである。今後は、自給飼料のサイレージを加えたウエットTMR流通の発展が必要である。飼料イネサイレージに濃厚飼料等を混合して飼料イネTMRとして流通させる方式は、飼料イネが畜産農家でなく稲作側で生産されて流通されることから、付加価値を加えた流通として是非実現さ

せて行く必要がある。

飼料イネのホールクロップサイレージ調製において、珪酸が多くて硬い殻を被った粉をサイレージ発酵過程で消化できる状態にする技術についても困難が想定されるが、新しい乳酸菌添加などで挑戦する必要があるだろう

#### 4) 飼料イネを簡便に給与できるエサにする技術

##### (1) 食用稲による成分分析

かつて行われた水稻の飼料利用の時に、水稻について牛の飼料としての適性に関して幾つかの研究が行われたが、それらをレビューすると、食用に栽培した稲を分析してその栄養成分値が示され、栄養成分からすれば牛のエサになるという結果が多く見られた。また、分析から一步前進して消化試験による評価も一部行われたが、緬羊を使った消化試験が多く、牛を供試した試験は少ない。したがって、牛への飼料イネを給与する方法として、普及できるようなノウハウの確立には程遠い状況であった。

##### (2) 飼料イネ給与メニューの開発

今日求められているエサの給与技術は、飼料原料の成分だけでなく、どんな成分のエサに調合するかである。与える家畜の状態、すなわち成育ステージや、泌乳期か乾乳期か、さらに乳量レベルがどのくらいか等でエサの調合は異なってくる。新しく飼料イネをエサとして利用しようとする場合、家畜のそれぞれ条件にあった代表的な給与メニューが是非とも必要となろう。今後、普及が広まるTMR給与技術をターゲットとし、そこに組み込める飼料イネ利用TMR給与メニューの開発を進めなければならない。農家は更にそのメニューをベースとして個々の経営に合わせたオーダーメニューに発展することになるだろう。

#### 5) 水田を自給飼料生産基盤に組み入れる

##### (1) 自給飼料生産は資源循環

これまで飼料イネの生産と給与について述べたがもう一つ重要な点は、この飼料イネ給与によって副産物として排出される家畜ふん尿の還元利用である。これまで草地や飼料作物生産の畑では、ふん尿堆肥を肥料として還元して再生産を続ける資源循環サイクルを大切にされた経営が行われていた。水田における飼料イネ生産においても、飼料イネを食べて出る家畜ふん尿の堆肥を再び飼料イネ生産圃場へ戻して再生産を行うことが重要である。

##### (2) 家畜ふん尿堆肥利用システム

そのため飼料イネ栽培における環境保全に配慮した家畜ふん尿利用技術を確立しなければならない。飼料イネを流通させる自給飼料として扱うことを考えていることから、家畜ふん尿の堆肥もその流通システムにのせて確実に流通させる必要がある。

### 3. 飼料イネを中立ちとした畜産と稲作の融合

#### 1) 稲わら利用による畜産と稲作の結びつきは進んだか

##### (1) 稲わら収集利用と稲わら輸入

水稲作が機械化される以前、畜産の専門化が進み規模拡大が行われる以前、そして化学肥料が多種多様に潤沢となる前は、有畜複合農業が一般的であり、牛や馬は作業をする役畜であると共に貴重な堆肥の素を生産して供給してくれる家畜であった。

しかし、専門化や機械化・効率生産等の農業構造の変化につれて、畜産と稲作はしだいに離れて行き、最も極端な時期には、稲収穫後の水田で稲わらが焼却されて煙公害を巻き起こし、一方では、牛（主に肉用牛）の粗飼料・敷料として稲わらが外国から大量に輸入される状況に至った。今日では稲わらの焼却処分面積は減少してきているが、稲わらの輸入は相変わらず続いている。煙公害がクローズアップされた昭和50年代前半からすでに20余年を経過し、肉用牛飼養において稲わらと堆肥の交換事例が増加したものの、稲わら産出量のうち、家畜の飼料・敷料利用は2割弱（平成8年度196万t）に留まっており、一方で稲わらの輸入は平成9年度で26万8千tに達している。

##### (2) 稲わら利用の不振は構造的なもの？

稲わら収集利用の進まない理由として、コンバインで切断するからとか、畜産と稲作地帯が遠く離れているからとか、秋の雨の多い時期に刈り取る稲作技術に変化したからとか、様々な理由が言われている。それらに対応すべき結束機械付きコンバイン等のいろいろな方策も提案されてきているが、利用ははかばかしく進展せず、まだまだ稲わらによる畜産と稲作の結合は少ないと言わざるを得ない状況である。

このことは専門化による効率的な農業生産を目標とした近代農業の構造的な要因と考えられ、これを越える方策を見つけないければ稲わらの利用は前へ進まないと思われる。

それに加えてこんな事情もある。すなわち、近年、土地の伴わない畜産の規模拡大で家畜ふん尿問題は年々深刻化する状況が顕在化するなか、片や、米の生産調整で苦しんでいる稲作側からすれば、「この苦しい現状の上にさらに畜産側の汚い尻の始末まで持って来られたのではたまらない」とする感情も無視できない。

構造的に専門畜産、機械化効率稲作とキッチリ分けられ、その上に感情的なものまで加わった状況を、単に資源有効利用の理想論として稲わら利用を呼んで畜産と稲作の結合を企ろうとしても無理であろう。構造的・感情的要因を超え、畜産と稲作の中を取り持つには、何かが必要である。その役目を飼料イネに受け持たせてはどうだろうか。

表8 稲わらの利用と稲わら輸入 (千トン)

	飼料用	敷料用	焼却その他	輸入
昭和50年	1,948	1,291	3,733	0.7
55年	1,855	1,101	4,301	48.2
60年	2,152	1,144	5,753	87.0
平成2年	1,646	875	4,973	180.9
8年	1,305	655	6,192	220.4
9年	—	—	—	268.0

自給飼料課資料より抜粋

## 2) 飼料イネは畜産と稲作を結びつけられるか

### (1) 飼料イネと稲わら

飼料イネと稲わらはどこが違うか。両者の間には家畜にとってエサとしての栄養価の大小に大きな違いがあるが、他の面でのもっと大きな相異点として、一時は邪魔ものとして焼却されたが、今日の稲作技術では、稲わらはそれなりに畜産の世話にならなくても水田の有機物として還元利用されている。これに対し、一方の飼料イネは、それ自体が主産物であり、畜産側との流通が成立しない限り価値が発生しない点であろう。

### (2) 飼料イネの生産・調製・流通を稲作生産組織で

生産された飼料イネは、収穫・調製・貯蔵され、牛の口元まで運ばなければならない。しかし、畜産側の今日の経営状況・労力状況は、前に述べたように、飼料イネの生産に向ける余裕はほとんど無いと考えられる。したがって、飼料イネの生産は稲作側に期待するところが大きい。今日の稲作の作業状態を見ると、各地で稲作営農組織が確立し、組織設立当初は集団による共同作業であったものが、長年の経験を重ねて、作業者が専属化している事例が大変多くなっている。稲作組織における専属の場合、春の田植え時期と秋の収穫時期が極端に忙しく、他は暇で仕事の無い時期も多い。飼料イネ対応作業を暇な時期に組み込めば、ある程度の労働の平準化ができよう。こんな稲作営農組織によって飼料イネを栽培し、その収穫、サイレージ調製までも行い、畜産側の受け入れに応じて流通させる仕組みにできないものであろうか。もちろん畜産側から飼料イネを取りに出向く

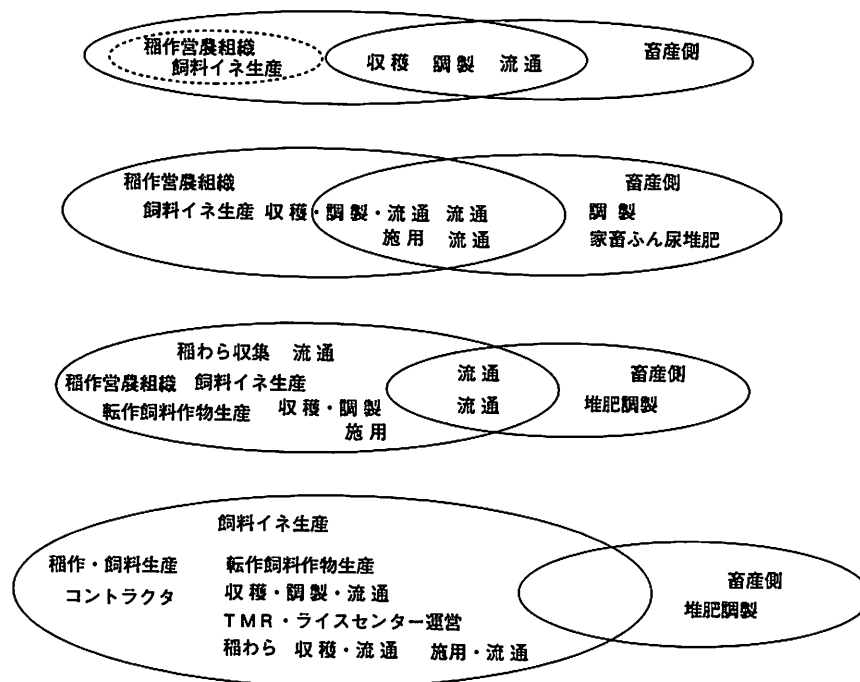


図1 稲作生産組織と畜産の結びつき



こともあろうが、多くは稲作営農組織が、調製した飼料イネを、畜産側の庭先まで流通させるシステムができれば、まず第1段の結びつきが発生する。

### (3) 飼料イネと堆肥の流通利用そして稲わら利用

ここで稲作農家の実際の声を記すと、「もし飼料イネを水田で生産して、それを畜産側で受け入れて牛乳や牛肉の生産が行われ、飼料イネ喰って出たふん尿なら、水田側へ受け入れられる。輸入飼料のふん尿ならまっぴらだ」となる。家畜ふん尿堆肥を飼料イネ生産の水田に還元利用するシステムの構築が第2段の結びつきである。

第1段、第2段の結びつきを足掛かりとして、次の段階は飼料イネから稲わらの収集利用、そして、一般稲作水田への堆肥の積極的な利用へと進んで行くことになる。稲わら活用システムへの発展が第3段の結合であろう。

### (4) 稲作営農組織＋飼料生産コントラクター

この様に第3段階まで進めば、「稲作営農組織」が「稲作・飼料イネ・堆肥利用組織」へと間口が広がり、田植えと稲刈り時期だけ多忙な営農組織から、次第に通年作業が確保できる組織へと発展することになる。そして、次の第4段では、畜産との結びつきが飼料イネとふん尿だけでなく、身近にある転換畑での牧草やトウモロコシの飼料生産へと仕事の範囲を広げることによって、稲作における受託作業組織の性格と、畜産における飼料生産のコントラクター的性格を組み合わせた営農組織が見えて来る。この水田活用稲作・飼料生産営農組織こそが、畜産と稲作を真に融合させる核であり、有機肥料を活用した地力の高い水田における良食味米の生産を主軸とし、排水条件の良い転換畑での牧草・飼料作物生産、そして、湿田等条件の劣る水田における飼料イネ生産と、圃場資源活用を一元的に進めることができる。

### (5) 地域における資源循環、および稲作と畜産の融合による農村社会の活性化

ここまで発展すれば、農村地域社会において、稲作・飼料生産・畜産を業種で分け隔てすることなく、畜舎施設における仕事と圃場まわりの仕事との役割分担によって地域農業生産活動を行っていると言えよう。地域の土地を美味しい米作りと共に飼料生産に活用する土地の有効利用と、家畜ふん尿堆肥の圃場還元による資源循環型農業によって、真の畜産と稲作の結びついた地域生産システムが確立されることになる。このことが新しい食料・農業・農村基本問題調査会の提言が強調する資源循環、持続的農業を実現することと考える。

そして、稲作と畜産の融合が農村社会の活性化につながるものと確信する。

佐藤 純一（草地試験場飼料生産利用部）

## 総合討論

あらかじめ配布した質問票により提出された質疑に対して各講師より回答を受けた後に、フリーディスカッションを行った。

(敬称略)

秋田 重誠先生

(質問)

- 飼料イネの育種目標として草型、草姿はどんなものがよいのか (東北農試・滝田)
- 西南暖地での多回刈り利用の場合のイネのバイオマスとしてのポテンシャルはどのくらいか (草地試・中嶋)
- 昼夜の温度較差が大きい方が多収となるとのことだが、夜温の高い暖地で多収性を狙うにはどのような方策・技術が必要か (国際農研セ・松井)
- 呼吸によるロスの少ない品種開発の可能性はあるか、あるとすればどのようなアプローチが考えられるか (農研セ・山田利)
- イネの収量の最大ポテンシャルはどのくらいか (農研セ・田)

(回答)

中生品種の収量はあまり変わってこない、バイオマスは多少は増える。したがってエサ米用の育種目標というのは、当然食用米とは変わってくる。それなりの対応が求められる。多回刈りをして、暖地で二期作をしているところだと、今日はIRRIから北海道までの例を示したが、ポテンシャルとしては2回を合計した収量になってくると思う。二期作と比べた有利性は多少あるかもしれない、エネルギー効率の良いところだけを使うということになると多少メリットがあるかもしれないが、それほど大きな差は出てこないと思う。

温度較差が大事だといったが、それを実際に制御する手だてがあるのか、というシビアな質問だが、呼吸のメカニズムについての研究は、それはまったく可能性のないことではないと思う。したがってそういうメカニズムが分かったときにどういう手だてで制御していけばいいかというアプローチによって、呼吸ロスの多少の軽減の可能性が描けるのではないか、そういうことで研究を行っている。そのひとつの例がAOXの話だ。

最大ポテンシャルについても同様で、温度の日較差のパラメータは今までのモデルに入っていなかった。入れたらモデルの精度が高まったという農環研の川嶋さんの結果があるわけで、これからは、呼吸であるかどうかははっきりしないが、また三枝先生の言われた窒素の利用の仕方かも知れないが、ただ温度に感受性の高いプロセスについてのパラメータを入れていかなければ、モデルとしての精度は上がっていかないと思っている。

収量限界の試算はいろんな人の例を示したが、これはまったくの夢である、空論である。私は実際に穫れている米作日本一や農林水産省で行われた研究の限界値が当面の現実的な収量限界ではなからうか、それを具体的な形で少しずつブレークスルーしていけるのか、科学的なベースを作っていかなければならないと思う。

## 三枝 正彦先生

## (質問)

- 曝気したスラリーを18t/10a・4年連続施用した結果、収量は地域の平均より多く、倒伏も比較的少なく品質も良かったが、イネは適正な吸収量の調整能力を持っているのか(群馬・金子)
- 根の活力を維持するためには、根のどのような性質をどのように維持することなのか(国際農研セ・松井)
- 中山間の水田では食用、平坦地大規模水田で飼料稲への利用が機械化等から適切と思うがどうか(草地試・中嶋)

## (回答)

スラリーの試験はしていないのでわからないが、18t/10aもやって正常な生育をしているとすれば、ある程度、脱窒で窒素が飛んでいると思う。この場合、窒素の吸収量や葉色がどの位かわからないが、倒伏も少なく、植え付け密度が低い方がよいということならば、この品種は窒素吸収による過繁茂が防げて結果的に収量も品質もよくなったのではないか。具体的な窒素分析のデータがないとはっきりしたことはいえない。水田の脱窒機能を利用して窒素をとばすこともあり、実際は投入したほどは吸っていないのではないか。

根の活力維持については、難しい問題だが、一般的には深耕して、今は12-13cmしか作土がないが、昔であれば20cm位、しかし今の技術で深耕ロータリなどを使えば簡単にいくはずだ。透水性の問題もあるが、ハロー田植えで荒起しにして空気を保つようにしたり、不耕起田植えで圃場の酸化状態を保つようにすると、イネといえども生育後期まで根が白く、地上部も枯れ上がらないで残るといわれている。特に最近、ハロー田植えのデータが沢山出されており、普通のイネより一週間以上熟期が伸びて、適期といわれている刈取りを1-2週間延ばすと1割位収量が上がるといわれている。これは登熟の時に根腐をおこさないような処理ができることが重要な意味である。冷害の例では根が伸びた方がよいという結果もあり、色んな面からの根の研究が必要であるが、現状ではできていない、今後根をどう見るかというのは重要である。

中山間地で食用、平場で飼料用ということだが、私は山の方にいるが、中山間地の米というのは、実際の流通の段階で買って頂けない。例えば、平成6年度は平均温度が2度上がって、上の方が平場より気温的には良い米が出来ているのに、売る段階では平場のまずい米の方が高く売れる、メッシュ気候がはっきりしているのにどうしてそうなるのか不思議だ。また、畜産団地はどちらかという山手の方に多くて、これとの最終的なリンクを考えると、堆肥・ふん尿はボリュームがあるのでそういうところで飼料米を作る方がよいと思う。いずれにしてもコスト的に難しい面がある。例えば堆肥を現場で買って1tで1万円なのでそれを投入して1万円に相当するものが穫れるかという、必ずしもそうではない。やはり畜産とのリンクを考えないと無理な面がある。正常な環境を維持しなければならない中山間地で、そういう犠牲を払って環境を守るといった国民的合意が達成できればいいなと思っている。「中山間地の米は美味しい」ということが魚沼のように定着すればよいが、なかなかそうはならない。平場では機械的には良い面があるが、農家の意識を変えなければならないと思う。農家は美味しい米・良い米を作りたいという意欲があるので、その良い土地を犠牲にしてまで飼料イネを作るかという、今の減反を見ても良い土地ではイネを作りたいと思っている。したがって農家は工夫して、枕地や三角田を休耕の対象にしたりしているので、作業性の良い所では良い米を作

りたいという農家の現状がある。したがって中山間地に飼料米を入れた方がよいと思っている。

#### 清野 裕科長

##### (質問)

- 通年無農薬湛水の場合の雑草防除はどうするのか (国際農研セ・松井)
- ふん尿を運んだ車でエサを持ち帰るシステムは問題ないか (技会・安東)

##### (回答)

一定の間隔で雑草防除はしておいた方がよい。また運搬システムは実際場面では何らかの工夫が必要であろうと思う。

#### 萱場 猛夫先生

##### (質問)

- 東北農試提供の超多収品種ふくひびきの評判はどうか (東北農試・滝田)
- 無施肥でTDN含量が最も高いが、これは後期追肥等でもホールクロップのTDN含量は上げられないということか (技会・安東)
- 飼料米の給与は生産費に占めるエサ代比率が低い肉用牛に給与した方がよいと思うがどうか (岐阜・山田)

##### (回答)

ふくひびきは現地で使っていると思うが実態を調べてみる。無肥料でTDN%が一番高くなっているデータがあるが、生長が悪いのでその分TDNの絶対収量にすれば無施肥が悪くなる。このデータはTDNの計算は成分から推定したTDNで、どの成分が変わったのかデータを持ってこなかったのが正確なことはいえない。施肥区は成長がよくなって高消化性の成分が高くなったためそのようになったと思う。

平田牧場でなぜ豚に給与しているかということだが、あの地域は水田が中心で、その後にプラスアルファで養豚が入っている、養豚は全県の4割を占めている、また元々豚を中心に飼育しているという状況で、豚の配合飼料として利用したのが実態だ。牛に使えばそのほうが良いと思っている。

#### 佐藤 純一部長

##### (質問)

- 収穫調製時の脱粒ロスカバーできる技術はないか (技会・安東)
- 稲作集団の保有の機械装備を活用した飼料イネ生産の制度を整えるべきだ (岐阜・須田)
- 中山間地域では肉用牛が多いので、粳米も給与技術確立も必要ではないか (岐阜・山田)
- 飼料用品種開発の目標を極大粒・多収にすると、脱ぶしやすく識別性もよいが、碎米が出やすいが問題はないか。また、ロールベールラップサイレージ利用と玄米利用ではどちらが主流になると思うか (東北農試・滝田)
- 生産費5.5万円を目標とした場合に想定される機械化栽培体系は (農研セ・佐々木)

##### (回答)

脱粒ロスについては、埼玉の事例ではモアコンディショナで乾燥促進のためロールで圧偏したので非常に多くなったが、普通にモアで刈ればあれほどではないと思う。今後ロスをなくす方向で進めるべきだ。飼料用イネは、ダイレクトで収穫できる、ある程度粒が出来るところまでいくと全体の水

分は70%を切るとそのまま立派なサイレージにできる技術になっていくと思う。フォーレジハーベスタであれば刈りながら細断する方式も考えられる。三重県で開発したコンバインでも未だ粃が少しこぼれるが、改良が進められている。

グレインの利用であるが、肉用牛では穀実も考えなければならない、ただ粃のままの状態ですフトグレインなどエサにする技術開発が必要だ。

今後はどちらが主流かは、今までの高能率稲作生産システムであれば稲わら利用はそのままである、今までどおりに作ってエサにするということなら、これは制度だけの問題である、私は飼料イネを核にして畜産と稲作が結びつくようなシステムにしたい。したがって玄米をエサにするときも、わらも確実にエサにするということを前提に置かなければ、こういう所で議論をしなくてもよいことになる。草地試としては、ホールクロップ利用とともに、グレイン利用でも確実に稲わらも利用する技術を開発していただきたいと思う。

大粒については、粒が大きいほど機械側からすると良いと思う。収穫時に粃に傷が付いた方が消化しやすい。粒が大きいほど機械的な傷が付きやすい、特別に圧偏などしなくてもそのままサイレージにしても消化がよいという技術が出来てくると思うので、粒の大きいのはよい。芒は問題だという話があるが、埼玉のはまさりは芒がなく毛もない品種であり、埼玉県では牛に良いということで奨励品種になっているようだ。

「生産費5.5万円」を打ち上げたが、根拠となる機械装備はどうかということだが、細かい計算はともかくとして、稲作の機械を使い直播にする、穂をそろえる必要はないので細かい水管理はせず、成り行き任せでよい、収穫はダイレクト収穫でロールに巻いてしまい、労働時間は10a当たり10時間以下でやってしまおうということである。

## フリーディスカッション

### 司会（権藤・農研セ）：

これからお互いのディスカッションに入りたい。まずお三方を中心とした論議は水田の生産力をいかに活用していくか、また、生産性の高い水田営農の定着が必要である。さらには国土の環境保全、水資源の涵養など多面的な機能を発揮している水田を守っていかなければならない、地球的に見ても農地は増えていかない、国内の農業生産を基本とする食料の安定供給などについて食料・農業・農村基本問題調査会の答申にも書かれている。そういう観点から、まず、物質生産、並びに水田の機能、環境保全も含めて、イネのポテンシャル、バイオマス生産について、生産環境の制御・推進についてご意見をいただきたい。

### 赤間・農研セ：

秋田先生のお話の中で、いかに大きなバイオマスを得るかということがベースになると感じた。その時に、色々な要因を組み合わせていくことになるだろう。そうすると、資質的に光合成生産能力の高い物をベースにして、どういう時期に温度較差が大きいのかの問題がある。私の考えでは、昔農研セで二期作を研究していたが、食用という制限された条件の中だったが、飼料イネ生産など拡大して考えると、5、6月、9、10月は温度較差が大きい、そういう条件で2度作るのも手と思う。品種も日本稲を使わなくても良いという点でも楽だと思うがどうだろうか。

**秋田：**

そのとおりだ。いろんなアプローチのしかたがあると思う。食用の粋をはずしてしまうということだから、先程から飼料米の形質というのは、先程佐藤さんがまとめておられたのでそのとおりと思う。その中で籾殻についてだが、イネの籾殻は非常に重い、小麦のチャフというのは非常に軽い、イネの籾殻の変異についての研究は、IRRIで随分研究したが、できるだけ薄い籾殻の米はないのか調べたがあまりない、やる気になれば問題はある、食べるという粋をはずしたら色々なアプローチがまだまだある。それがまた食用米の方にも返ってくると思う。基盤の広い研究になっていけば良いと思っている。

**仲谷・農研セ：**

今回のテーマを考えたのは、米があまっているからということが発端だった。その時に、こんな現象は世界的に極めて珍しい現象であろう。このような現象は日本と韓国ぐらいで、他の国は米を食べたい、もっと穫りたいというのがほとんどだろう。これは異常現象であろう。この反対側にあるのが肉を食べたいという現象であろう。米を畜産で濃厚飼料に使った時の優位性ももっと出されれば、イネ研究者も元気が出るのではないか。「もち豚」など良い話はないのか、畜産側からイネ屋にこういうことをやってもらうと有利になるのだがという要望があるのではないか。そんな話があると畜産屋とイネ屋の連携ができるのではないか。

**永西・畜試：**

このシンポジウムを聴いていて気になったことがある。イネの多収については育種から見ると子実の多収だが、畜産からは全体・バイオマスの多収ということになる、子実の多収だと短稈になり、籾・わら比が高くなる、澱粉の含量が多くなる、TDNの増加につながる。一方、ガサを穫ると言うことになれば栄養的には少なくなる。家畜への影響と言うことを考えると、多収の場合の子実割合の高いものというのは、胃の中で澱粉が消化するが、澱粉の消化性は品種によって異なる、澱粉の消化性が早いほど家畜にとって有利かということそうではない、悪い面もある。澱粉の面からの検討も必要である。また、乳牛と肉牛では反すう胃の中に状態を分けて考える必要がある。ガサを穫るという観点からは、茎葉の消化性を高めた育種が必要であろう。穂だけでなく全体的に消化の高いもの、胃の状態を配慮しながら品種を選定していくことが必要だ。家畜ふんへの籾の排出については、籾の澱粉含量は70%で、一般的にはその10-15%がふん中に排出される、したがって7%の排出、TDN比率の内もみとわらの比率を1：1とするとTDNで3.5%となる。したがって籾に比重をかけると籾の利用性を高めることが重要である。茎葉重視であると全体的に消化が高いということになるので、どちらの方向で多収を考えるのか重要であるのもっと整理しておく必要がある。家畜への影響については、鶏へ米を給与すると黄身が白くなる話もあるが、牛の肉質・乳質がかわってくるかということについては、今後調べていく必要がある。イネの品種開発では、澱粉の質と蛋白含量を高めることが必要だ。

**松葉・農研セ：**

TDNを55%から65%にするという話だが、その場合、成分で10%も上げる場合どういう成分が必要なのか、栽培技術によって変えられるのか、育種的に改良しないと不可能なのか整理してほしい。

**石田・草地試：**

どうしたら栄養価があがるかということだが、成分では籾と茎葉で半々だと思う。茎葉の消化率はケイ酸が多いのでその部分が牧草に比べて低いと思う。ケイ酸含量を減らせると、イネが病気になりやすいといわれるが、最低どの位のケイ酸含量があればよいのか。最近乳牛の能力が非常に上

がっている、TDN50%のエサというイタリアンライグラスの開花期と同程度であり、高泌乳牛ではイタリアンの配合割合は40%以下になってくる。ところがトウモロコシサイレージはTDNが65%であり6割配合しても可能である。地域によって要求されるエサは異なるが、都府県では濃厚飼料多給で高泌乳牛を維持しているのが現状であり輸入乾草の代わりに使用可能であるが、北海道の場合にはトウモロコシサイレージを多給し粗繊維を乾草で補給している。給与試験の結果ではもう少しTDN含量を上げて配合したいと思っている。

#### 山田・農研セ：

イネのアミノ酸含量の新聞報道について説明する。当所育種工学研究室でトリプトファンの生合成経路に係わる酵素の生成にかかわる遺伝子を改変した組換え体を作っており、現在30系統ほど作っている。そのカルス及び葉のトリプトファン含量を計測したところ、カルスで150倍、葉で最高100倍の組換え体を得ている。これは植物体の形態は正常である、ただ2・3問題がある、そのひとつは温室でカルスから細分化した個体から採種している段階であるが、種子稔性が低く30%位に下がる場合もある、これはトリプトファン含量が高いことによる因果関係らしい。したがってホールクロップで茎葉を含めた利用の場合は軽減されるが、子実利用の場合は稔性が低いので、ある程度トリプトファン含量を抑えてでも種子稔性をカバーすべきであろう。もう一つは、トリプトファン以外の関連化合物、特に芳香族化合物の生産がトリプトファン含量が高まるがゆえに高くなるという生理学的な面から避けがたいことがあり、この芳香族化合物の高まりが家畜に飼料として与えた場合に中毒にならないかチェックする必要がある。種子のトリプトファン含量についてはまだ確認していない。リジン含量の高いイネは、北興化学との共同研究での成果であるが、カルスで10倍程度、種子での含量は未調査である。リジン含量については諸外国でかなりの研究がされており、特許もあり、酵素生成にかかわる遺伝子はかなり沢山あるようで、今回はその内のひとつだけであるが、今後その他の遺伝子についても改変していき相加的な効果をねらうことも必要である。国際的にはリジン含量を高めるためトウモロコシ、アルファルファに適用しようという動きが高まっている。

#### 井邊・農研セ：

飼料イネの育種については来年度から本格的に取り組むことになるが、実は内に秘めたる材料も持っているが、公表は品種が出来てからと思っている。TDN含量ではなくトータルのバイオマスが高そうな物がありそうである。ただその姿は強稈でケイ酸含量が高いかもしれない。先程の話で、ある程度ケイ酸含量が高くても耐倒伏性があり、耐病害虫性が強い物との要望もあったようだがどうか、ケイ酸含量が高いと耐倒伏性、耐病性は高い傾向にある。トータルの生産量を上げるとTDNの含量は減るのではないかと、食味と収量との関係のようなものがあるのかどうか。

#### 秋田：

成分育種で蛋白、アミノ酸、窒素化合物を増やしていけば、当然バイオマスは減る。同じカロリーを使って、炭水化物であれば1gの発熱量は3,600cal、蛋白は5,000calであり、それだけカロリーが必要なのでバイオマスは減ってしまう。面積的にここでのTDNというのが単位土地面積当たりのエネルギーの固定量、エネルギー換算をして増えているかどうか、バイオマスというのは構成成分によってカロリーは大幅に変わる。本当に単位面積当たりの収量が上がってきたという例はお目にかかったことがない。個体ベースでは高いけれどもエサとして考えるとき、土地面積当たりのエネルギーの固定量から考えるとたいしたことはないということになるのではないかと。したがって遺伝子屋さんや生理屋、栽培屋がタイアップしてやらないと解けてこない。

**司会：**

飼料イネに話題が移ってきており、研究機関のみならず行政でも検討されているようなので現状を報告してほしい。

**安東・技会：**

省内でも飼料稲について関心が高まってきている。大臣官房技術調整室の音頭取りで省内の関係課である畜産局、農産園芸局の農産課、企画課、農林水産技術会議事務局、研究機関として農研セや草地試の専門の方が集まって勉強会的に、省内での問題点、取り組みの現状を整理している。現在、関係部局で対応を検討中である。

**司会：**

飼料イネについては各県でも関心が高まっているようなので報告をお願いします。

**増山・埼玉：**

飼料イネの栽培について除草剤の農薬登録がない、現場では県で開発したホールクロープ用品種のはまさりを使っているが除草剤問題は避けて通れない。

**松葉・農研セ：**

農薬検査所と植調が協議して、ようやく名称分類ではなく使用場面で対応するよう検討しつつあるが、飼料イネも稲なので、協議していけばかなり融通がきくようになるのではないかと。

**浦川・三重：**

先程紹介もあったが、軟弱圃場での収穫調製の機械作業体系の開発を進めており、進捗状況を報告したい。機械開発は10年前から取り組んでおり、現在メーカーがようやく動きだし、実用機に向けた一歩手前の試作機を開発中、データの収集中である。試験場レベルでは自脱型コンバインとホールクロープ用収穫機の汎用利用は十分可能であり場内で進めているが、実用レベルではコンバインのメーカーとロールベアラのメーカーが違うので、またコンバインには多くのセンサーが付いているので容易に積み替えが出来ない。ゆくゆくはそうなると思う。

**池田・農研セ：**

飼料イネをこれから開発して行く場合、有望なものもあるようだが、ホールクロープで利用するとき必ず子実が必要か。低緯度地方には自然状態では穂が出ないものもあり、それを使うとすれば栄養生長状態で刈り取ればよいのではないかと。F<sub>1</sub>ハイブリッドは不稔がでるが茎葉中心ならバイオマスもかなり高いので使えるのではないかと。また、穂がでなければ倒伏しないので非常によい。

**松葉・農研セ：**

飼料供給の場面では、年間稲だけを供給した方がよいのか、それとも大麦を裏作に入れて2毛作という場面はどうか。

**佐藤：**

茎葉だけではどうかということだが、牧草はそのようなものである。子実があるほうがTDNが多くなるからという理由でそういう話になっているだけで、茎だけでTDNが高ければ、茎だけで栄養収量として沢山穫れればそれで結構だと思う。輪作に麦が入った場合でも結構である。ただ、輪作はできるが現在は輸入した方が手っ取り早いからそうなっているだけだ、ようは一年を通じて水田を高度に利用してエサを作るというのが、安くできればエサとして利用できる。優位性から見るとホールクロープの方が安いということだ。輸入飼料、輸入乾草より安いことが何にも代え難い優位性だと思う。



秋田：

池田さんの意見は面白い。熱帯では穂の出ないイネを牛が食べている。日本でも冷害にかかったイネは稈の中にいっぱい澱粉を貯めている。あまりグレインにこだわる必要はない、栄養的に見れば、池田さんの発想が出てきてよい、嗜好性の問題は若干あるかもしれないが…。

司会：

おもしろい議論が出だしたところで時間が来てしまった。このテーマ、「水田の生産機能の最大活用による持続的作物生産」については、水田の生産機能を最大に活用しながら、当面、飼料イネなどを使って畜産にも利用しよう。そのことで畜産と水田が有機的に連携していけるのではないかと、この観点から、今年一年間、総合農業推進会議でも重要検討事項として取り組んでおり、現在、国の研究機関及び都道府県の研究機関においても水田の持続的生産と、イネについての研究のレビューもお願いしているところで、現在鋭意取りまとめ中である。今後とも国および都道府県合わせて色々と議論をしていく場が出てくると思う。本日は特に講師の先生方にはご講演頂いて、非常に貴重なご意見を頂き、それから出席の皆さん方からも色々なご意見を頂いた。これらの多岐にわたるご指摘により、問題点や今後の方向がかなり浮き彫りになったのではないと思う。これらを合わせて今年度末の推進会議で今後の研究方向について重点的に検討する予定である。この問題については、単に農業研究センターや国研だけで対応できる課題ではなく、都道府県の試験研究機関の皆さん方にも協力・連携をお願いし、さらには行政の方々とも十分連絡を取りながら、まさに全国縦断型の国家的プロジェクト研究、国家的プロジェクト問題として位置づける必要があると思われる。今後色々なご意見を頂いていきたいと思う。このシンポジウムの報告は推進会議の重要検討事項の報告と合わせて、資料としてもキチンとしていきたいと思っているので、また色々よろしく願いして、今回のシンポジウムを終了する。



## 総説誌「ファームシステム研究」について

1. 趣旨：多数分野の専門的成果を最大限に活用した新しい農業技術の総合的な展開に関連した内容を持ち、農業研究センターおよび農業関係試験研究機関の研究活動に基づくもので、総合研究の推進に有益と認められるものを収録する総説誌として刊行する。
2. 内容：総合研究に関連した、総説、シンポジウム論文、技術解説、海外事情、書評、その他編集委員会が認めたもの（投稿原稿の他に編集委員会が依頼する原稿もある）。  
総合農業試験研究推進会議の各部会における重要研究問題の検討結果などのように共通の認識として共有しておいた方がよいと判断される内容も含む。
3. 他の出版物との関係：総合研究の中で推進された研究結果の中で、専門の学会に発表できる個別の成果は、できる限り専門分野の学会誌に投稿する。対応する学会がないか複数の学会にまたがる研究、通常の学会の投稿規定では大部すぎるか分割して報告できないもの、はそれぞれの場所の研究報告に投稿する。農業研究センターおよび農業関係試験研究機関における総合研究の研究成果について、一般に活用しやすく集大成した論文となったものについては、これまでと同様「総合農業研究叢書」として刊行する（従来どおり、複数の著者の論文を編集した特集論文も可とする）。
4. 編集委員会：  
幹事編集委員：総合研究官、野菜研究官、研究情報部長、農業計画部長  
編集委員：各地域農試の総合研究部長

### 「ファームシステム研究」No.1 編集委員会

仲谷 紀男（総合研究官・編集委員長）	赤間 芳洋（総合研究官）
松尾 誠介（総合研究官）	榎藤 昭博（総合研究官）
石内 傳治（野菜研究官）	北村 實彬（研究情報部長）
原田 節也（農業計画部長）	
古川 嗣彦（北海道農業試験場総合研究部長）	
諸岡 慶昇（東北農業試験場総合研究部長）	
中島 寛爾（北陸農業試験場総合研究部長）	
小池 俊吉（中国農業試験場総合研究部長）	
岡崎絃一郎（四国農業試験場総合研究部長）	
上原 守一（九州農業試験場総合研究部長）	

## ファームシステム研究 No.1

平成11年3月25日 発行

発行：農林水産省 農業研究センター

住所：〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1

電話：0298(38)8981（情報資料課）

印刷：株式会社 高山

本誌に掲載された著作物を転載・複製・翻訳される場合は  
農業研究センターの許可を得てください



