

緒 言

1. 研究の背景と位置づけ

“One Kansas Farmer Feeds 101 People and You” と書かれた看板が、米国カンザス州内の道路の傍らに立っている (Piper 1999)。近代農業は、広大な面積を前提とした機械化や施設化、コムギ・トウモロコシなどの特定作物の採用や品種開発、化学肥料や農薬、灌漑水、化石エネルギーの投入などを通じて、大規模モノカルチャー（単一栽培）化を目指してきた。先進国が構築してきた近代農業方式の足跡は、作物の単収向上の面にもみることができる。トウモロコシやソルガムの単収をみると、1930年代と比較して1980年代には数倍のレベルに達した (Jordanら 1986)。

高い生産レベルを達成するために人々はさまざまな努力をしてきたが、一方で多くのものを失ってもきた。例えば、全米耕地の半分以上に当たる約9千万haで除草剤が使用されている (Pimentelら 1991) が、農薬を常用すると標的生物の耐性を推し進めるだけでなく、非標的生物の生存も脅かすことが知られている。一度耐性を獲得した標的生物を防除するために新たな農薬を開発することを含めて、次第に農薬の使用量が増大するという果てしない営みが強いられる。このような現象は“農薬トレッドミル (Pesticide treadmill)”とも呼ばれる (Piper 1999)。

20世紀農業に課せられた使命は、急増する人口に対して食料生産の増大をいかに図るかであった。第二次大戦後の発展途上国における深刻な食料事情と対照に、先進諸国では急速な生産量の伸びによって自国の需要量を上回り、余剰生産物の販路を強く国外に求めるようになってきた。このような中で、期待を一身に担わされた近代農業が飛躍的成長を続けていくには、応分の社会的コストを支払う必要があることに気づかされたのは最近であった。例えば、化学肥料や農薬の耕地生態系外への流出や自然生態系の攪乱が問題となり (西尾 2002, 小川 2000)、自然の土壌生成速度を超えた表土流失、地下帯水層の枯渇、動植物や微生物を含めた生物多様性の消滅 (Piper 1999) などが重要事項として人々に認識されるようになってきた。

これらの問題は、農業活動のもたらす影響が狭い範囲に留まらないことを示

している。いまや農業活動は、制御困難な耕地生態系の攪乱として周辺地域を巻き込み、グローバルな環境問題として一国あるいは国を越えて影響を及ぼす危険性の高い状況にあることが明らかになってきた。同時に農業活動由来のさまざまなインパクトを、最終的には排出元の農業セクターが甘受しなければならないことも憂慮される。地球温暖化はそのような一つである（坂井 2002、Lal 2003）。農業由来のインパクトは、関連する生態系にも多大な影響を及ぼす。しかし、これらの複雑な関係についての詳細は十分解明されているわけではない。環境問題のつねとして、事態の進行が当初は見逃してしまうほどに緩慢であることも危機意識の高揚を妨げている。

いずれの方式を採用する場合でも、人間が今後とも生存していくためには食料確保の問題を避けては通れない。64 億人以上に膨れ上がった世界人口とともに拡大する量的要求のほかに、発展途上国における植物性たんぱく質から動物性たんぱく質への変化という質的要求に例示されるように、食料に対する状況は複雑化している。そこで、現在および将来の農業セクターが強い意志をもってやり遂げなければならないのは、安全な食料を安定して供給するシステムを早急に整備することである。それには、投入資材やエネルギーの適正使用を前提として、農業活動がもたらす環境へのインパクト軽減を目指したシステムを提案することである。この場合、収量や収益性の向上、作業の効率化などの“狭義”の生産性に関心をもつだけでなく、“広義”の生産性や持続性にかかわる複数の構成要素を総合的に評価する姿勢およびそれを実現するための研究手法や技術開発などの努力を必要とする。広義の生産性には水系や土壌系、大気系へのインパクト、資源循環や安全性、持続性、価値観などが含まれる。資源循環や環境問題は農業活動のあり方に大きく影響する。とくに、農業方式に依存している土壌生態系は管理方式によっていかようにも変化するため、管理の是非は持続性を考える上で重要な鍵となる。

従来は生産される作物に対して利用可能な部分のみに価値が見出されてきたが、それ以外の部分にも異なる価値を見出すことができる。地球温暖化防止を例にすると、農業に対しても防止への要請は例外ではなく、耕地における炭素隔離（Carbon sequestration）が緊急の課題として認識されている（Uri 2001）。ここでは、森林における樹木と同様に、大気中の二酸化炭素を積極的に固定す

る機能をもつものとして耕地に存在するすべての植物を公平に扱うような姿勢が考えられる。

耕地生態系では、生物多様性が貧弱化しやすい。そして、耕地生態系における生物多様性を考えていく上で、持続性 (Sustainability) の概念はとくに重要である。例えば、耕地の中に草地環境を導入することによって、持続的農業としての多様性が増加する (Petr and Dlouhy 1992)。

人間は過去の歴史の中で、農業のための土地利用法を誤った (遠藤 1999)。1999年に60億人を超え、2050年には93億人に達すると推定される世界人口 (United Nations 2000) に対して、われわれはこれ以上貴重な耕地や資源の損失を避けなければならない。そのために、持続性を強く意識した生産方式の構築が不可欠である。森林や野草地といった自然生態系に近い系と耕地生態系が大きく異なるのは、後者が耕うんや除草などの人間の働きかけ (管理) によって自然の遷移が停められていることにある (田中 1972)。雑草の繁茂とは、遷移の段階が進んだことを意味しているともいえる。そのような中で、米国では Prairie model などの自然生態系を耕地生態系に部分的に導入しようとする大胆な試みが提案されている (Piper 1999, Petr and Dlouhy 1992)。

同一時期、同一圃場で2種類以上の作物を栽培する方式は複作 (Polyculture) と呼ばれ、これには間作 (Intercropping) や混作 (Mixing culture)、被覆栽培 (Cover cropping) などが含まれる (Piper 1999)。複作は古くから各地に在来していた方式であったが、欧米を中心に改めて注目され出した最新の研究対象でもある。複数種の作物を同時に栽培する複作においては、マメ科植物による固定窒素分の利用、対抗植物では農薬使用量の削減、さらには土壌伝染病の回避や作物による深耕などの効果が期待されている (小松崎 1999)。しかし、これらの方式は商品生産を目的とした近代農業方式が置き去ってきた存在でもある (Altieri and Nicholls 1999, Loomis and Conner 1995)。高い肥料レベルでは単作の方が複作より肥料利用効率が高くなるケースが多く (第1の理由)、複作によってたとえ生育や収量が改善されたとしても、作業の能率化を目指した機械化体系になじまない (第2の理由) と解釈される。一方、利用可能な資源量が強い制約となる場面でも複作が注目されており、欧米を中心に最近急速に研究が進展しているリビングマルチ (Living mulch) もこの範疇に入る (三

浦・渡邊 2002)。

ところで、耕地生態系において雑草は作物に渡るべき光や養分を奪う無用の存在として人間の管理（追放）対象になっているが、一方で種の構成が単純となり病虫害の発生を許容しているともいわれる (Stary and Pike 1999, 山岸 1995)。雑草管理は古くから重要な課題であり、少なくとも思考の上では作物の在圃中は雑草の存在を認めないという管理が実施されていた。しかし、最近では経済上あるいは作業上の妥協からこのような制約が緩やかとなるケースがある。一方で根絶とは異なる立場から、雑草と作物の競合を生じる期間のみ除草すればよいという考えがある。耕地における雑草群落は植生遷移の一段階であって、仮に人為が加えられなければ、生態系の許す範囲で雑草は存分に繁茂し、自然の遷移の方向へと急速に進んでいく。このような自然の方向に対して、耕地では耕うんという人為が加わるために、遷移の方向を目指していた雑草群落は引き戻され再度出発点に立たされる (宇田川 1972)。そのために雑草種の構成は耕うんの有無などで著しく異なってくる。雑草の存在は作物と雑草両方の生育収量だけでなく、土壌生物の種類や数などにも影響する。単純な競合関係から共生という新たな形態への転換がもし実現するならば、今後の農業が進むべき一つの方向として考えられる。

以上の観点から、本研究では耕地生態系における複作や雑草との共存の意味を調べることを意図した (原ら 2003, 坂井ら 2003)。ここでは、本来生産対象でない雑草を圃場から追放するのではなく、ある程度の存在を許容することによる正の効果を期待している。

種数を増やすことについては、形態や栽培期間の異なる植物種を同一の圃場に共存させることで光や養分などを有効に利用でき (Tilman ら 1996)、1種類の植物では吸収しきれなかった養分を時間差をつけて次作以降に伝達することで、結果として肥料成分の系外への流失を減少させるような効果が期待される (Agamathu and Broughton 1985)。一方で耕地には明確な目的があり、環境保全機能の優先にはおのずと限界がある。例えば、水田ではイネ単作が常識であり、間作や混作といった複作のような概念はほとんど見受けられない。いずれにしても、既往の研究ではほとんど関心をもたれていなかった分野であることは間違いない。

2. 研究の目的

本研究では、イネ単作を前提とした水田生態系に「複作」の概念を適用して、水田生態系を複雑化することがどのような影響をもたらすかを実験的に明らかにすることを目的とした。具体的には、水田群落構造の複雑化や高度化を目指して、垂直分布の住み分けを図り、イネと水面被覆植物（モデル植物としてホテイアオイを供試）による複作がもたらす効果を調べることにした。

3. 提案する方式の特徴と期待される成果

水田生態系の複雑化がもたらすメリットとして、①群落内における光資源利用率の向上につながる群落内の垂直住み分け(空間の有効利用)が可能となり、単位面積当たりの炭素固定量の増大につながる、②複雑な植物間の補償的作用によって肥料や農薬の系外への流失量の減少が図れる、③イネが吸収しきれなかった余剰の肥料を、水面被覆植物に吸収させそれを次作へ持越すことで肥料利用率の向上を期待する、④水面被覆植物の導入で、ほかの雑草の抑制が可能、⑤複雑化した植物相が耕地生態系にもたらす上記以外の効果などが考えられる。

一方で問題点として、①光や養分といった資源の競合が生じ、その結果相対的に生育力の弱い（と想定される）イネの収量が減少する、②繁殖力の旺盛な水面被覆植物の適正管理が実用場面で可能かどうか、③共存生態系における機械収穫法の開発（現在は無い）などが考えられた。

将来のために持続性を強く意識した新たな作物生産システムを提案するために、当面必要となる現象の把握や基礎データの蓄積を図ることがこの研究の直接のねらいである。一方で、このようにして得られたさまざまな成果を実用技術としてきちんと組み立て、それをどのような場面に適用するのかについても、現段階においてある程度想定しておく必要がある。この研究では、このことについてつぎのように考えている。すなわち、一連の研究の進展によって得られた成果をどのような場面に適用しようとするのかについては、さまざまなケースが想定されるが、当面はわが国で生産量調整のために実施されている「減反対象田」や「耕作放棄田」への適用がまず念頭に浮かぶ。これらの耕地を未耕作状態で放置しておくことは、資源管理や環境保全の観点からも大きな損失で

あり、従来からの食料生産機能だけでなく、地球環境保全や野生生物の生息場所の提供というような「広義の生産機能」を課した新たな耕地利用、あるいは作物生産システムへと位置づけていくことを提案したい。そして、生産レベルの高い良質耕地（水田）への適用は、つぎのステップで順次行っていくことを考えている。研究の進展にともなって予想できない問題が生じる可能性があるが、必ずクリアできるということを確認して、現段階では上記のようなシナリオを考えている。