

農業生態系における生物多様性

草地試験場 生態部 清水 矩 宏

はじめに

今21世紀の農業・農村の在り方が盛んに議論されているが、その技術的基調には環境と調和した持続的生産がうたわれている。しかし、その基軸になる価値体系については必ずしもコンセンサスが得られているわけではない。環境と調和した農業を評価するとき、生物多様性の概念が最も根幹の価値基準になると考えられるが、この概念は自然生態系においてはかなり認知されつつあるものの、農業生態系ではまだまだ未成熟である。生物多様性は、遺伝子、種、生物群集・生態系及び景観レベルにまたがる幅広い概念であるがために、まとまりを欠くきらいがあり、また、これらの農業生態系との関連は理解できても、農業生産との関連は濃淡があるために、生産第一主義から抜けきれない農業関係者の間では共通認識が形成され難い。しかし、生物多様性の保全は地球規模の目標であり、農業生態系もその聖域ではないことを考えると、農業生産との関わりにおいて生物多様性が如何に評価されるかを明らかにすべく早急な取り組みがもとめられている。

農業と生物多様性の関係についての論議や研究はまだ緒についたばかりであるが、従来農業研究は深く作物とそれを取り巻く自然環境や野生生物（最も身近なものとしては雑草や害虫）との関わりを追求してきたわけで、そこには生

物多様性の観点からみて見直すべきデータも多々ある。ここでは、水田生態系を中心にしたこれらデータを整理し、今後の展望を考える端緒にしていきたい。

1. 今、何故生物多様性か

まず、今農業と生物多様性について何故論議しなければならないようになったのか、その問題提起になったことがらを見てみよう。

地球上の生物多様性の保全と生物資源の持続的利用をめざす生物多様性条約が締結され、環境と調和した農業生産が世界の農業問題を考える際の大前提となっている。OECDの環境と農業の枠組みに関する論議では、ヨーロッパ諸国が農業を守る方策として生物多様性の保全を前面に打ち出し、農業生産過剰を抑制する方策や条件不利地域への定住確保方策として、野生生物及び希少在来畜種等の生物多様性の保全を目的にした直接所得補償を実施している。今後、国際社会の枠組みの中でわが国の農村・農業生態系を守っていくためには、日本農業の持つ生物多様性保全機能の論拠を明確にしておく必要がある。近い将来、わが国においてEUとも歩調をあわせるべく農林業の持つ環境便益の維持・増進を目的にした施策を展開する事態が到来した際には、理論的な面で貢献できると考えられる。

わが国の農業とそれを取り巻く環境も含めた農業生態系は、ここ50年の間に急速な変貌を遂げてきた。農薬・肥料の多投、機械化農法の展開、作付体系の変化等近代農法のあらゆるインパクトが農業生態系の特定種の減少や絶滅、植生の均一化・単純化、難防除雑草へのシフトといった構成種の偏り等、生物多様性に様々な悪影響を与えていることが指摘され、その克服が急務とされている。また、最近においては減反政策による休耕地や高齢化に伴う農耕地の放棄、放牧の放棄による草地の荒廃など、農業生態系維持の重要な要因であった「農耕攪乱」が中断されることによる生物多様性の変動も各地で見られている。

また、中山間問題や里山の保全についても生物多様性の観点から最も重視されなければならない。林-ため池-用水路-水田-畦がセットとなった里山の環境構造がもつ生物学的な意味や農業の環境構造と生物多様性保全機能の相互関係の解明が求められている。農業が生物相の保全や自然環境の保全に貢献しているという社会的機能の認識にたつて、その保全のコストを誰が担うかといったことを考えなければならない。

最近、わが国の農業生態系は外来生物の侵入という未知のバイオハザードに曝されている。管理し得る農耕地から自然生態系への拡散も懸念される状況にあり、農業サイドの責任において対処しなければならない状況にある。安定した生態系の外からの侵入生物によって一度攪乱された生態系を復元することはきわめて困難であるだけでなく、可能な場合においても莫大な経費を必要とする。

さらに、遺伝資源の保存においても、従来のジーンバンク方式の保全とは異なる方策が提起されている。すなわち、複数の生物種が共存す

る生態系においては、一つの生物種の遺伝的多様性の減退・減失によって、生息域を共有する他の生物種の多様性も加速度的に失われる。その結果、生態系を構成する生物種の維持が困難となり、生態系のバランスが崩れていく。そこで、生物種の多様性と種内の遺伝的多様性を保全し、それらの持続的な利用を図る生息域内(in situ)保全法の確立が求められている。

こうして見てみると、我々の周辺には様々な生物多様性に関連した問題、課題がひしめいていることに気づく。

2. 水田生態系の生物多様性とその変貌

水田生態系は、そこに生育する生物に対して空間的不均質性と時間的不均質性から成り立つ多様な生息環境(habitat)を提供している。空間的には、水田、水路、畦畔を含み、特に異なる水の深さの水辺空間を形成している。また、時間的には、水稻栽培のステージに応じて湛水期・非湛水期が変化をする。一方、水田生態系は農耕地としての攪乱を常に受けているという特徴がある。このような多様な環境インパクトがそこに生存する植物種に様々な適応を強いることになり、水田生態系全体として植物種の多様性を生み出していると考えられる。ここでは、水田生態系の特徴と生物多様性の関係を様々な観点から見てみよう。

1) 水田生態系の種多様性と「中程度攪乱仮説」

保全生態学的観点から種多様性に関する「中程度攪乱仮説」がある(鷲谷・矢原 1996)。すなわち、規模や頻度において中程度の攪乱のある生育場所で最も種多様性が高くなるという仮説である。すなわち、攪乱のほとんどない場所では、競争力の強い種が弱い種を圧倒して優占し多様性が低下する、一方、攪乱が大きい場

所では、攪乱に対する抵抗性が特に小さい種が絶滅することによって多様性が低下するというものである。これが水田生態系をはじめとする農耕地でも成立するのではないかと考えている。水田などの農耕地における攪乱は2,000年以上一定の範囲で行われ、そこには安定した植生が成立してきた。水田の生物なかんづく植物多様性はこの攪乱の継続の結果である。水田特有の定期的な管理（攪乱）としては、イネの生育にあわせた灌（湛）排水による乾湿程度の変動、施肥による肥育化、雑草防除のための中耕、冬期の一時的休耕あるいは耕作などが一年を単位として繰り返されてきた。その結果、水稻栽培との共存に適応すべく好窒素性、耐湿性をもった、さらに一年生で小型の擬態性をもった独特な雑草群落が形成されてきた。また、季節的に全く異なる植物群落が形成されることとなった。

このような伝統的農法による農耕地管理をトータルとして「中程度攪乱」として位置づけ、そこで育んできた多様性を基準にした場合、近年の集約的農業における管理は、機械化や農薬の施用といった攪乱あるいはストレスが強くなる方向に作用し、種多様性を低下させるものと考えられる。また、休耕や耕作放棄水田では従来からの管理（攪乱）がなくなることになり、水田が育んできた種多様性は消滅する方向に進むのではないかと（図-1）。このような種多様性に対する「中程度攪乱仮説」を念頭において、水田生態系の植物種の多様性とそれへの影響要因を考察していきたい。

2) 水田生態系の持つ植物多様性ポテンシャル

(1) 水田生態系が育んできた雑草

水田農業が培ってきた種多様性を考える場合、伝統的農業が培ってきた植物相を基準にするのが妥当と考えられる。幸運なことに、日本の雑

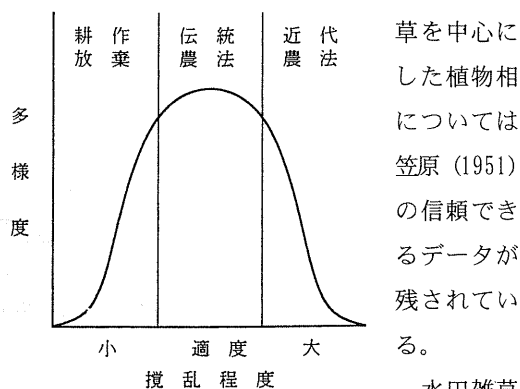


図-1 農耕地における攪乱と種多様性の関係

水田雑草は43科191種があげられているが、中国との共通種が約140種、東南アジアとのそれが76種を占め、これらの地域との関連が深い。これは稲作の起源・伝来と関係しており、史前帰化植物が二次的フロラを形成したものと考えられる。この時代の水田雑草としての新帰化植物は2種（オランダガラシ、ホテイアオイ）のみと極めて少ない。後述のように、水田生態系に侵入してきた帰化植物の問題はごく最近のことと言える。

一方、これら植物相の戦後の変貌を知るために、各地の標本に基づく記載のある植物誌から発生頻度を抽出した。そして、戦前と戦後のマクロな変動をとらえるために、両者の種ごとの発生量の相関を見たのが図-2である。戦前と戦後の発生頻度は正の相関を示し、雑草種の発生傾向は大きくは変化していないことが認められた。しかし、発生頻度が極端に小さい危険域にあるものが認められ（図-2の破線で囲った部分）、ヌマトラノオ、ムツオレグサ、ミゾユキノシタ、サジオモダカ、ヌカボタデ、ヒンジモ、コモチゼキシショウ、シロガヤ、サンショウモ、デンジソウなど、レッドデータブックの記載種も含まれている。これらの絶滅危急種の存在そのものをどのように考えるかが、生物多様性を考える端緒となろう。

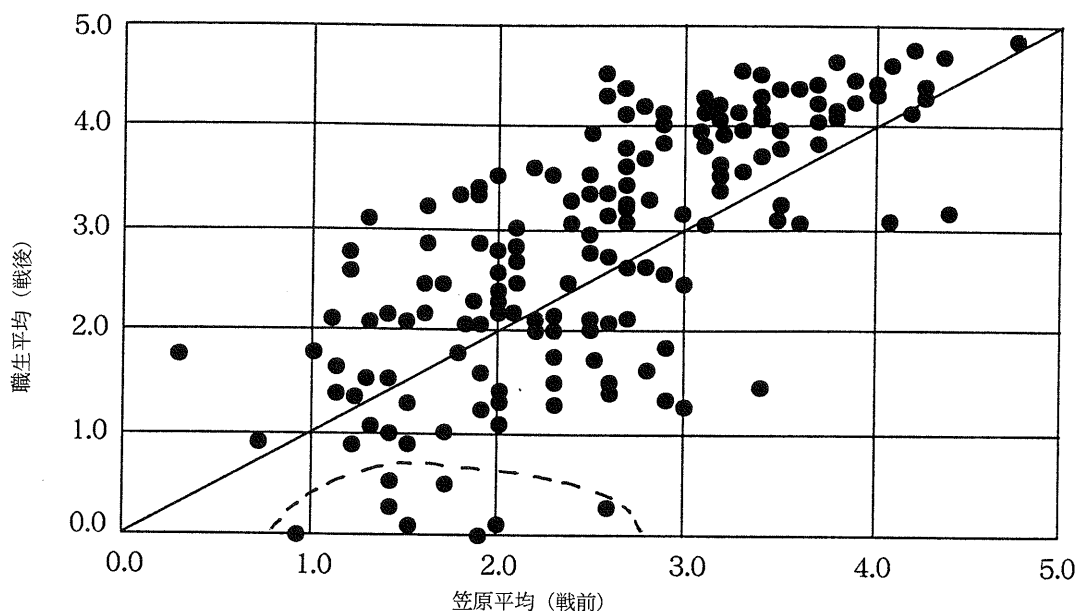


図-2 水田雑草の戦前と戦後の発生頻度の関係
発生頻度の評点：0＝無～5＝極多
(清水 1998)

(2) 畦畔

水田生態系の生態的立地の一つに畦畔がある。畦畔植生は、個々の規模は小さいが、長期にわたる火入れと草刈りで成立した半自然草地で、多様な生物のすみかとなっている。最近の日本では、農業経営上は畦畔管理は生産活動の一部に位置づけられるが、畦畔法面自体は、かつてのような飼料、推肥等の資材生産の利用が行われなくなった「利用放棄地」となってきた。水田畦畔の機能としては、第一に湛水維持（崩壊・浸食防止）にあるが、田園風景の欠かせない景観要素として地域景観形成機能も強く認識されている。その意味では畦畔問題は生物多様性の景観レベルに位置する。

水田畦畔の雑草群落の特徴は、地域に適応した混合群落からなり、人里に適応（地下茎が発達し、地上部草丈低い、葡萄しない）した植生である。特に、山間地の水田土手には豊富な野草が維持されており、畦畔が種多様性の保全に

寄与している。

(3) 水路とその周辺

水田地帯では縦横に水路が張り巡らされている。そこでは水深に適応した様々な生物が息をしていたが、ため池の消滅、近年の圃場整備により水路の構造がコンクリートの三面張りに変えられるに伴って、生物多様性は大きく減少した。

水路を中心とした水草の種多様性を知るために、日本の各地で水草の実態調査は行われているが、水田生態系の問題として捉えたものは少ない。榎本ら（1995, 1996）は岡山県南部の水草の分布と生育地の環境について詳細な報告をしている。岡山県南部1,768地点（1,031地点はため池、他は水路、河川、水田、湿地）の調査の結果、水草は29科106種が確認された。分布地点データとともにデータベース化されている。レッドデータブックの絶滅危惧種は21種記載され、その中で絶滅危惧水草は16種を数えた。こ

のことは絶滅危惧種が水草に多いということを実証している。

水田はwetlandとして機能し、湖沼・ため池・湿地の構成種が水田を利用している。水草はサイズの小さな植物や浮葉性植物が多いため、攪乱による競争には弱い。水田及びその周辺に生育する希少種の減少には、基盤整備、除草剤、水質汚濁などが複雑に絡み合って作用している。

(4) 休耕田・放棄田

日本の水田生態系では、耕作不利地の中山間地を中心とした放棄水田や減反政策の実施による休耕田が存在する。これらは水田とは異なった生態的立地を形成し、そこには新たな植生が出現する。放棄後の植生遷移は主として乾湿傾度によってススキを主体とする乾性のタイプと、ヨシを主体とする湿性のタイプの群落に二分されていく。放棄年数の経過にともないススキ、ヨシともに優先度が増加し、他種の侵入が著しく抑制されたが、これは両種ともにサイズが大型化するとともに、それらの未分解遺体の堆積量が増大したためである。このことは、先に述べた種多様性に関する「中程度攪乱仮説」を支持するものと考えられる。

また、休耕田・放棄田には様々な湿地の植生が回復することも知られている。さらに、青森県の干拓地においては、ヨシ原化するのを防ぐため排水・火入れ管理を継続していたところ、希少種オオセツカが棲息し始め湿原としての代替機能を提供していることが判明した。水田への復元のための管理が湿地の確保につながり、野生生物の繁殖地として機能している。これは、放棄田が適切な管理さえすれば野生生物の保護地としての機能を果たすことを証明したものと言えよう。そこで、地域における生物多様性の保全のためのサンクチュアリとして休耕田や放

棄田を活用することが考えられている。

3. 水田生態系への植物の適応とその環境保全機能の評価

1) 水田雑草の適応性

水田雑草の多様性は、水田生態系への適応性からも考察を加える必要がある。それは、水田でどのように生存しているか？、水田が生育の場をいかに与えているか？、水田にいかに適応しているか？、また、防除に対していかに対応してきたか？、などを明らかにすることである。従来の雑草学において明らかになってきた事例からひろってみる。

(1) 水田一年生雑草—ノビエ（タイヌビエ、ヒメタイヌビエ、イヌビエ）

江戸時代の農書でも稲作の最も有害な雑草であったが、現在でもその地位は変わらない。したがって、最もよく研究された雑草で、豊富なデータがある。その結果、ノビエは種によって生育地、出穂性などに適応的変異があることが明らかになっている。ノビエは稲作と共に渡来した随伴雑草であり、長い稲作の歴史の中で手取り除草（ヒエ抜き）という人為淘汰を受けることで、イネに対する擬態性を獲得した（タイヌビエ、ヒメタイヌビエ）。イヌビエは擬態性はなく、水田内には少なかったが、最近の水田の乾田化に伴って増加する傾向にある。

イネの栽培暦とマッチングするために、出穂性の地理的変異が認められる。特にタイヌビエには、系統の自生地（水稲栽培の作期）に平行した出穂期の地理的クラインが遺伝的にインプットされている。水田外を主な生育場所にしていたイヌビエにはそれはない。さらに、タイヌビエの水稲栽培への適応機構として、環境要因に対応した休眠・出芽特性の獲得があげ

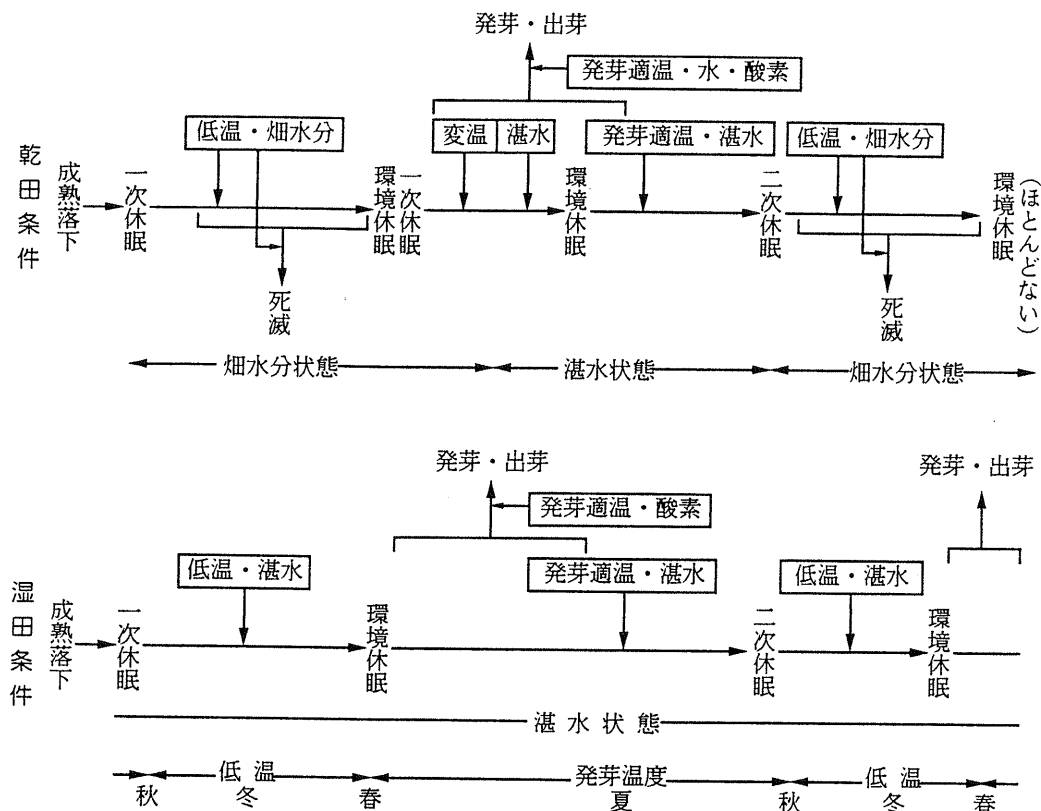


図-3 圃場におけるタイヌビエ種子の生存状況 (宮原 1972)

られる。水田雑草タイヌビエ種子の休眠性に関する生理生態学的研究から圃場におけるタイヌビエ種子の生存状態が、水田の管理様式に見事に適応したものになっていることが明らかになった(図-3, 宮原 1972)。土壤中における種子の休眠性の推移を環境条件との関係で見ると、成熟直後の種子は一次休眠の状態にあるが、これは晩秋から冬季・早春の低温、春季の変温及び稲作開始の湛水による低酸素分圧によって覚醒する。この休眠覚醒には低温期間の土壌水分も関係し、湛水土壤では覚醒が早くなる。二次休眠は発芽適温の湛水土壤中導入され、夏から秋にかけて二次休眠状態となる。二次休眠の覚醒は晩秋から早春の低温で起こるが、この場合湛水土壤中より畑水分土壤の方が覚醒が早い。また、休眠覚醒過程において種子の死滅

が起こるが、これは晩秋から早春の間が畑状態の乾田で著しく、湛水状態の湿田では起こらない。

このように、タイヌビエは擬態性の確保、出穂性の地理的クライン、種子の休眠性といった様々な適応性を獲得して、水田の栽培管理にマッチングした生存戦略を有している。

(2) 水田多年生雑草-クログワイ

広く土壤中に形成される塊茎を繁殖源とし、冬でも水のある比較的狭い範囲の常湿田に限定して生存している主要な水田多年生雑草である。クログワイは生育地や草型、塊茎の形成期、萌芽パターン、日長反応性などが異なる4群が存在しているが、特に推移の変化に適応した水田群とため池群の適応的分化が注目される。この両群は、水田生態系の各立地における水深の変

化に適応した分化をしていることから、水田構造の改変が直接多様性の破壊につながることを意味している（小林 1984）。

2) 植物多様性がもたらす環境保全機能の評価

生態系における種の多様性を評価するときに、種の豊富さが生態系の持つ機能に対して、どのようなプラス効果を及ぼすのかという視点で捉えることも一つの方法である。水田の浮遊性植物アゾラがチッソ固定により水稻の生育にプラスに働くことは周知の事実である（Moore (1969)）。さらに、最近の研究によって、水田における藻類（アオミドロ類）のCO₂固定能による炭素収支の改善が明らかにされ、環境保全機能として注目されている（清水 1998）。

4. 水田生態系の植物多様性に対するインパクト

1) 稲作技術の変化に伴う水田雑草の変化

(1) 農法の変化

伝統的農法から近代的農法への変化を植物多様性の面から再評価することが重要である。伝統的稲作農法では、移植－株元刈収穫様式がとられ、耕起→自給肥料施肥→代かき→手植→手取除草→手取収穫といった管理（攪乱）が、2,000年以上も周期的に実施されたことが生態系の安定性に寄与してきた。一方、近代に入る

と農具の発達があり、さらに、第2次大戦を境に農法が大きく変革した（表－1、伊藤 1987）。

(2) 農法の変化に伴う雑草分布の変化

まず、移植の早期化及び秋耕の減少によって、刈跡群落種であるマツバイ、ウリカワ、ホタルイ、ミズガヤツリの増加があげられる。次いで農業機械の普及や基盤整備による乾田化に適応したウリカワ、マツバイも増加している。機械利用による耕起法の変化によって、耕起による塊茎切断、傷付けによる塊茎の早期休眠覚醒がオモダカ、クログワイで生起している。また、耕起による不定芽数の増加がミズガヤツリで認められる。手取り除草の減少による機械的除草非耐性種としてミズガヤツリ、ホタルイ、フイなどの増加があげられる。

移植の早期化、早生品種の栽培等作期の変化が与えた影響も見逃せない。ヒメタイヌビエの場合、出穂期の変異が極晩生に限定されているため、作期と気温によって分布が規定される。移植時期が早期化し、品種が早生化して作期が早まると絶滅の危険性もある。また、ウキクサ類の場合、開花及び結実が9月以降の短日条件で進行するが、イネの作期が早まることで、落水が結実前に行われるようになって減少している。イヌホタルイも、早期栽培では水稻収穫後に株基部から再生し、年内に再度種子をつける。

普通期栽培ではこのようなことはない。

2) 水田及び周辺植物に対する除草剤の影響

近代農法になって水田生態系におけるイネ以外の植物に対して最も大きなインパクトを与えたのは除草剤であろう。

表－1 稲作技術の変化 (伊藤 1987)

	戦前の一般管理	現在の一般管理
耕 起	牛馬による反転耕（秋耕）	トラクター等によるロータリー耕（春耕）
地下水位	湿田が多い	乾田化
水稻品種	中・晩生（長稈・繁茂型）	早生（短稈・直立葉型）
移植方法	成苗の手植え	稚苗の田植機植え
移植時期	普通期（5～6月）	早期化（4～6月）
施 肥	少肥（推肥、速効性無機質）	多肥・分施（緩効性化成）
除草座業	田の草取り、中耕、ヒエ抜き	除草剤（年2回）の散布
刈取方法	手刈り	コンバイン、バインダー
稲 わ ら	推肥として利用	生わらのすき込み、または焼却
冬 作	麦類やナタネなど	特産地域残存

水田の強害雑草は除草剤の使用によって強害性は除去されてきたが、除草剤の作用の網をかいくぐって依然として種そのものは残存している。しかし、除草対象外の植物には目が行き届かず致命的な影響を与えてきた面は否めない。近年の雑草問題は、除草剤の使用によって多年生雑草が増加してきたことである。多年生雑草は単に生長抑制だけでは防除できず、栄養繁殖器官も制御が必要になってくる。さらに、生長期間が長いと除草剤の有効期間が長期にわたることが必要となるなど除草剤による防除が困難なためと考えられる。

一方、雑草の方からの反撃も最近目立ち始めている。それは、単一の除草剤を連用しているところでは除草剤抵抗性雑草の出現が顕著になってきたことである。除草剤感受性が高い種は次第に減少するとともに、抵抗性の種が増加してきている。特に、広範な種内変異により除草剤に対する抵抗性系統の出現が様々な雑草で見られるようになった。

3) 外来雑草の侵入・定着と水田生態系へのインパクト

貿易の世界的規模での拡大・自由化により侵入の機会が格段に増加している外来植物は、農地を中心として広範囲に拡散している。これらの中には遺伝的にも生態的にも未知の種が多量に含まれているが(清水 1996)、遺伝子分析によれば在来近縁種との交雑を生じているものも見出されており、農業生態系は未知のバイオハザードに曝されている。遺伝的バイオハザードの懸念される外来植物群は、①種が不特定で多種多様である、②遺伝的特性のほとんどが不明である、③成長及び繁殖様式が多様であるばかりでなく、多産性で可塑性に富む、また、原産地とは異なる特性を示すものが多い。といった

特徴があり、本来の水田生態系の多様性保全といった観点からは見逃すことのできない問題である。

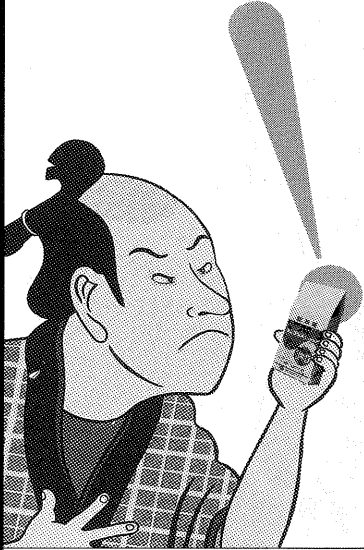
おわりに

水田における生物多様性の保全機能は、鳥類、淡水魚類、両生類、昆虫、底生動物など水田を棲家として利用しているものについてはかなり実態が明らかにされつつあるが、まだ全体としては緒についたばかりである。ここでは植物に関わる問題を中心に論じてみたが、水田の持続的生産と生物多様性の関係がまだよく見えてきたとは言いがたい。しかし、本稿では触れられなかったが、桐谷(1998)が提唱する害虫防除における総合的有害生物管理から総合的生物多様性管理への発想の転換などは大変示唆に富むものである。多岐多様な生物の相互関係を解明する中で見えてくるものと考えている。

引用文献

- 1) 榎本 敬(1995): 岡山県南部において絶滅が危惧される水草の種類と分布。倉敷自然史博物館研究報告10: 15-41。
- 2) 榎本 敬(1996): 岡山県南部における水草の分布と環境。倉敷自然史博物館研究報告11: 15-59。
- 3) 伊藤一幸(1987): 稲作技術の変遷と雑草の適応戦略。研究ジャーナル10(6): 16-22。
- 4) 笠原安夫(1951): 本邦雑草の種類及び地理的分布に関する研究。第4報 水田雑草の地理的分布と発生度。農学研究39: 143-154。
- 5) 桐谷圭治(1998): 総合的有害生物管理(IPM)から総合的生物多様性管理(IBM)へ。農林水産情報協会シンポジウム「水田と生

- 物多様性の保全」資料：45-54。
- 6) 小林央往(1984)：水田多年生雑草クログワイの生態と変異。雑草研究29：95-109。
- 7) 宮原益次(1972)：水田雑草タイヌビエ種子の休眠性に関する生理生態学的研究。農事試験報16：1-62。
- 8) Moore, A.W. (1969) : Azolla: Biology and agronomic significance. Bot. Rev. 35: 17-34。
- 9) 清水矩宏ら(1996)：外国からの濃厚飼料原体に侵入していた雑草種子の同定 1. 種類とバックグラウンド。雑草研究41(別1)：212-213。
- 10) 清水矩宏(1998)：水田生態系における植物の多様性とは何か。農業環境研究叢書10号：82-126。
- 11) 鷲谷いづみ・矢原徹一(1996)：保全生物学入門。pp.119-121. 文一総合出版。東京。



こりやい~や、軽くて楽だ!

省カタイプ・10アール当り

1キロ散布

初・中期一発処理除草剤

フジワラス® 1キロ粒剤



少量化で省力化。

フジワラス普及会
デュボン株式会社
ゼネカ株式会社
事務局
日本農業株式会社
東京都中央区日本橋1丁目2番5号

改訂新版

芝生の病虫害と雑草

細辻豊二・吉田正義・米山勝美・山下義幸／著
B6判 296頁 本体3,500円(税別)

芝生の病気、害虫、雑草の見分けかたから防除法までを解説した本書は、発刊以来好評を頂いていますが、今回病害虫を最新の知見で改訂し併せて防除薬剤も最新に改訂した。

全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6
Tel.03-3833-1821 Fax.03-3833-1665