

農 薬 と 生 態 系

桐 谷 圭 治*

は じ め に

戦後の世界的な農業生産の飛躍的増大に農薬が果たした役割は大きい。病害虫・雑草防除における農薬の効果はめざましいものであったため、それまで農業生産でかなりな比重をもっていた耕種的手段、天敵利用、抵抗性品種の育成などの防除技術は軽視され、農薬万能主義が風靡した。その結果、農地においては天敵や競争種の激減、絶滅にともなう潜在的害虫の害虫化、農薬に対する抵抗性の発達、農作物や農地土壌における農薬残留、また使用された農薬は各種の経路によって農地外の環境を汚染し、その結果野生動物の激減や生物相の攪乱、そして食品や母乳の農薬汚染などをもたらす結果となった。これらの問題については、わが国でも2,3の成書がでている^{1,2)}。

他方、問題を農生態系 (Agroecosystem) に限っても、農薬の使用によってもたらされた農生態系内の昆虫相の変化については、これまでに多くの報告がある³⁻¹⁰⁾。それにもかかわらず、これらの変化についての理論的な考察が不十分なまま、たんなる現象の記載に終わっている面が多い。もしこれらの変化がなんらかの一般性をもって予見できるならば、応用学的にも多大の意義があると思われる。他方、農薬が農生態系外で自然生態系に与える影響についても簡単にその問題点を指摘した。

1. 生態系と農業

自然の生態系は極相状態で最も多様性（種類数が多く、種あたりの個体数が均一化する）にとみ、かつ安定（構成種の密度の変動が小さい）している。また食物連鎖も網目状をなしている。熱帯降雨林で害虫の大発生がおこらないのは、この複雑な食物連鎖関係によると考えられている¹¹⁾。

Bey-Bienko¹²⁾ は、キルギスステップを開墾して麦畑にかえたときの昆虫相の変化を研究した。処女草原にい

た340種の昆虫は麦畑化によって142種に減少したが、単位面積当たりの個体数は逆に1.8倍に増加し、わずか19種の優占種が全個体群の94%を占めるという少数独占型の昆虫相にかわった。また Southwood¹³⁾ は、自然草地から過剰放牧草地に至る過程で種類の多様性は減少し、生息動物中の捕食性動物の割合が人為の強度とともに減少することを報告している。

高い生産性を追求する農業は、自然の生態系を極相からいっきょに遷移の初期段階にもどしその状態におしとどめようとする人為的営みにほかならない。高い生産性を維持するため、単一品種（遺伝的に等質な）を同時的に大面積栽培し、農薬や各種の耕種的手段の利用によって、作物以外のすべての生物を排除しようとする。その結果、食物連鎖関係も単純かつ短いものになる。また農生態系の構造も自然生態系が層状をなしているのに対し、作物だけの単層的構造になり気象条件などの外部要因の影響を受けやすい。作物の収穫などにより植生が非連続的に更新され、生物相の攪乱がしばしば大規模におこる。他方では施肥や灌漑によって短期間ではあるが栄養にとんだ豊富な食物が存在することになる¹⁴⁻¹⁶⁾。このような構造・機能の両面における農生態系の単純化と不安定化は、そのゆえに病害虫雑草の異常発生を招きやすい。また系そのものに内在する自然制御力がまったく欠けているか、非常に弱いため、これらの病害虫雑草の防除手段として農薬が導入されることになる。

2. *r* 戦略種と *K* 戦略種

MacArthur と Wilson¹⁷⁾ は、島嶼に侵入・定着・分布する生物相をとくにトリを材料に研究し、侵入定着の初期には内的自然増加率 (r =出生率-死亡率)が高い種が、後期には内的自然増加率が高い種よりも過密条件や種間競争に有利な性質をもった種 *K* 戦 (*K*-strategist) が *r* 戦略種におきかわるという仮説を提唱した。Odum¹⁴⁾ は、同じことが自然生態系の各遷移段階の生息者についても成立することをみた。この二つの対立概念は捕食性または寄生性動物について使用される generalist と

* Keizi KIRITANI, 高知県農林技術研究所 (高知県吾川郡伊野町)

specialist, また鱗翅目¹⁸⁾, や寄生性膜翅目¹⁹⁾について提唱された草原型と森林型という概念とも現象的に共通性が多い。

表 1 r 戦略種と K 戦略種の比較

	r 戦略種	K 戦略種
食性 (niche)	広い (generalist; 多食性)	狭い (specialist; 単食性)
大きさ	小さい	大きい
生活環	単純で短い	複雑で長い
移動性	高い	低い
産卵数	多い	少ない
生息場所 (habitat)	遷移の初期段階 (草原型)	遷移の極相段階 (森林型)

表 1 には r と K 戦略種の考えられる性質をまとめて示した。もちろん現実には K , r 戦略種とみなされる種でも、表 1 にあげたすべての性質をそなえているものではなく、その分類はあくまでも相対的なものである。農生態系においても永年作物から 1 年生作物、混作から大規模な単作という人為的干渉の強度に応じてその生息種にも K から r 戦略種への自然生態系とは逆の構成種の変化が期待される。農業の使用はこの傾向をより浮きぼりにした形でしめしてくれる。表 1 から典型的な害虫像 (r 戦略種) として、不安定かつ非連続的な生息場所に適応し、移動性、増殖力が大きく、多化性、多食性かつ小型の昆虫が浮かんでくる。MacArthur と Wilson¹⁷⁾ は r 戦略種がこみあい条件に対する耐性が K 戦略種にくらべ弱いと考えたが、昆虫ではバッタ、アブラムシやウンカ類のようにこみあい条件への適応が害虫としての性格を特徴づけていると思われる種類も少なくない。しかし上記の種類では多型現象により低密度では短翅、高密度では長翅型の出現によってこれをさげ移動する戦略をもっている。したがって、昆虫類についてはこみあい条件への耐性が弱いというより、高密度条件への適応戦略をもつか否かを r と K 戦略種の区別点の一つに数えたほうが合理的かも知れない。

3. 水田の害虫と天敵相の変化

内川 (1951) は当時水稻害虫として 210 種をあげ、約 30 種を重要害虫とした²⁰⁾。1940 年代後半からの農業万能時代に 1 化性のイナゴ類 (*Oxya* spp.) やイネクロカメムシ (*Scotinophara lurida*)、多化性ではあるが単食性で生息場所が水田内に限られているサンカメイガ (*Tryporyza incertulas*) などは激減した。多化性で、マコモなどでも成育しうるニカメイガ (*Chilo suppressalis*) も水稻の耕種・栽培条件の変化と機械化によって 1960 年

代より漸減の一途をたどっている²¹⁾。現在では重要害虫とみなされている種類は、それぞれの地域では数種類にかぎられおり、それらはウンカ・ヨコバイ類に代表されるような比較的小型で、移動性にとみ多化性かつ水稻以外で一部の世代を経過する、いわゆる水稻からの不完全独立型に属する種類である (表 2 参照)^{10, 21)}。同様な傾

表 2 水稻害虫の生活史からみたイネへの依存性による分類²¹⁾

種 名	化性	完全依存型	不完全依存型	不完全独立型
イネクロカメムシ	1 化		○	
イネカメムシ	1 化		○	
イナゴ類	1 化		○	
イネクビホソハムシ	1 化		○	
サンカメイガ	多化	○		
ニカメイガ	多化		○	
イチモンジセセリ	多化			○
ヒメトビウンカ	多化			○
ツマグロヨコバイ	多化			○
ミナミアオカメムシ	多化			○
イネハモグリバエ	多化			○
イネキモグリバエ	多化			○

向は水稻を加害するカメムシ類についてもみられる。高知県下についていえば、1950 年代までは主としてイネに依存する年 1 化性のイネクロカメムシ、イネカメムシ (*Lagynotomus elongatus*) などの茎葉部を加害し生育阻害をもたらす種類であった。殺虫剤によって減少した前 2 者にかわって重要性をもってきたのは、多食性ではあるがイネを好む多化性のミナミアオカメムシ (*Nezara viridula*)、クモヘリカメムシ (*Leptocorixa corbetti*) などで穂を吸汁加害するものになってきた。さらに生産調整による休耕田の出現によって元来水田雑草で成育していた多食性、多化性の吸穂型のナガカメムシ類、メクラカメムシ類が部分的に害虫相に加わりだした^{21, 22)}。

ニカメイガの幼虫寄生蜂相についても、発生回数の少ない (年 1~2 回) 単独寄生性 (*Solitary parasitism*) で、寄主が主としてニカメイガに限られているキバラアメバチ (*Temelucha biguttula*) (ヒメバチ科) やムナカタコマユバチ (*Chelonus munakatae*) (コマユバチ科) などから、現在は寄主範囲が広く、多寄生性 (*gregarious parasitism*) で多化性 (年 2~3 回) のメイチュウサムライコマユバチ (*Apanteles chilonis*) に全国的におき代わっている。この傾向は西日本では 1950 年代後半に、裏日本、関東、東北をふくむ東日本では 1960 年代前半におこっている (表 3)。この数年のおくれは水田での農業散布の強度が西日本のほうが高かったためと考えられる。図 1

表 3 殺虫剤散布によってニカメイガの幼虫寄生蜂相でメイチュウサムライコマユバチが優占種となった時期

場所(県)	時 期	報 告 者
福 岡	1955~57	行徳(1990) ²³⁾ ; 立石(1962) ²⁴⁾
栃 木	1964 ごろ	片山(1971) ²⁵⁾
福 井	1962	友永・今村(1966) ²⁶⁾
青 森	1963	土岐ら(1974) ²⁷⁾

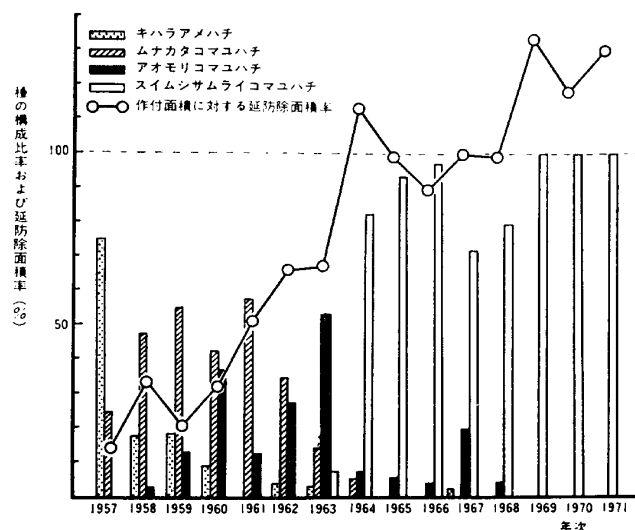


図 1 青森県におけるニカメイガ越冬幼虫の寄生蜂相の変化²⁷⁾

ズイムシサムライコマユバチはメイチュウサムライコマユバチの別名

には青森県での観測値を示した。Townes¹⁹⁾ は、ヒメバチ科は森林型、コマユバチ科は草原型と類別したが、ニカメイガ幼虫天敵相も森林型から草原型への変化が殺虫剤散布にともなっておこっているといえる。このことは天敵利用についても多くの示唆を与える。長期にわたって安定した水田生態系内では戦略種であるメイチュウサムライコマユバチはほとんど影をひそめてしまう(図1)。本種は殺虫剤が併用される条件下で生物的防除の手段となりうるのである。

図2では農薬無散布4年目の高知県伊野における水田でのクモ類の密度とコモリグモ (*Lycosa*) 類がそのなかで占める比率を、他の農薬無散布初年度のそれと比較した。無散布4年目の水田では、ウンカ・ヨコバイ類の specialist ともいえる大型のコモリグモ類が圧倒的な優占種であるが、農薬を使用しつづけてきた水田では、コモリグモ類に代わって、世代数も多く、かつ休閑田、畑地、水田の間を ballooning によって移動する小型の generalist, コサラグモ (*Micryphantidae*) 類がほとんど唯一の生息者である。

4. 平衡攪乱と害虫化

農薬の散布によって従来潜在的な害虫にすぎなかった種類が害虫化した事例は多い。1955年の時点でこれら man-made pest といわれる事例が50種にも達している³⁾。その原因として競争種の減少(サンカメイガの減

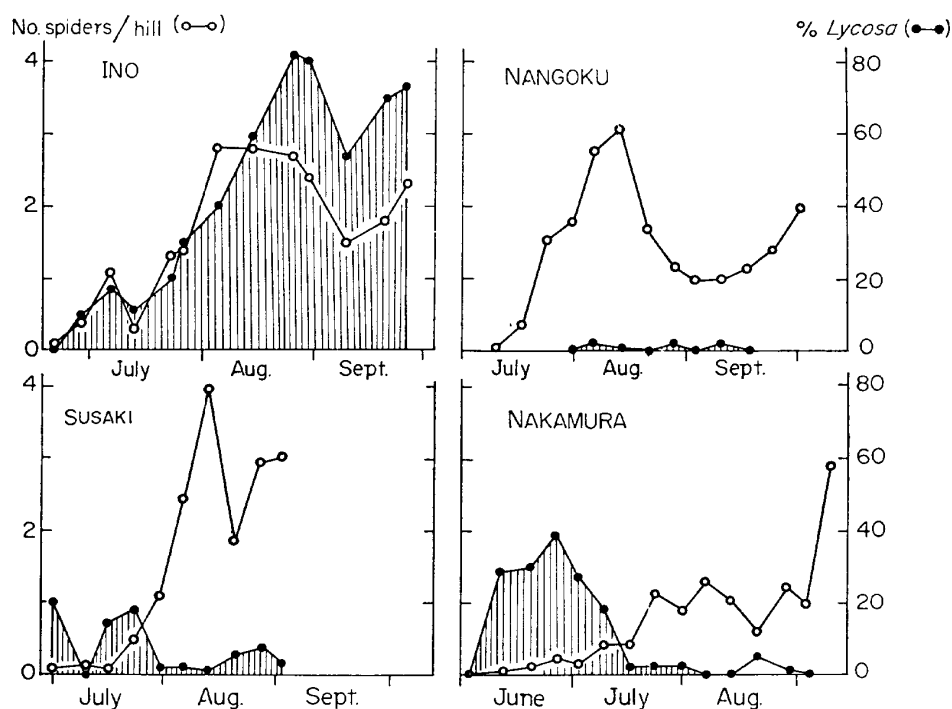


図 2 農薬無散布4年目(高知県伊野)と同初年度(南国, 須崎, 中村)における水田でのクモ類合計密度の変化とクモ相中のコモリグモ (*Lycosa*) 類の比率の変化

少とニカメイガの増加), 天敵類の減少が考えられる。ときには農薬が増殖や成育を直接刺激する hormoligosis²⁸⁾ の場合もある。戦後のハダニ類の増加の一因として DDT の生殖活動の刺激作用があげられることは衆知のことである²⁹⁾。

西日本におけるツマグロヨコバイ (*Nephotettix cincticeps*) の増加は、主としてパラチオン、BHC によるニカメイガの防除によってヨコバイの天敵であるクモ類の密度が激減したことがおもな原因である。天敵や種間競争の抑止 (条件づけ) 要因がなくなった場合、害虫の密度はそれ以前よりも大きな振幅をもって変動し、この系での唯一の密度制御 (依存) 要因は種内競争となり、ときには作物を食いつくすまで増加する。高密度に達した害虫による被害は農薬の散布によって一時的には被害の拡大を防止できる。しかし農薬によってもたらされた低密度は種内競争を緩和し、増殖率を高める結果、次世代には防除しなかった場合よりも高密度すなわち異常発生をしばしばもたらす。その結果は農薬散布がますます必要になり、次に述べる抵抗性の発達と相まって農薬と害虫の悪循環におちいる。

5. 害虫と天敵の薬剤抵抗性

これまで抵抗性の発達が報告された害虫は 224 種に達するのに対し³⁰⁾、天敵類については、実験室で選択したコマユバチ科の 2 種類をふくめ 9 種にすぎない。すなわち自然条件での事例は、カブリダニ類 5 種とテントウムシの一種、トゲハナバエの一種の 7 種にすぎない³¹⁾。カブリダニ類に抵抗性が発達しやすい理由は、他の一般の捕食性動物とちがって、食性がハダニ類に限られているため餌動物とつねに生息場所をともにしており移動性も少ない。ええ発育日数や産卵数もハダニと変わらないかときには優っており、ハダニが低密度でも生存でき、またいなくなった時期も一時的には花粉や蜜などの交替食餌で生存するという特性をもっているからである。草食性昆虫では、多食性の種類ほど、植物体中に含まれる各種の有毒物質を解毒分解する機能 (たとえば mixed-function oxidase の存在) を進化の過程で獲得しているため、農薬に対する抵抗性の発達も容易におこると考えられる³²⁾。鱗翅目幼虫の中腸組織のアルドリノエポキシダーゼの活性は単食性、少食性、多食性の順で高くなるという Krieger らの実験はこれを裏付けている³³⁾。

害虫と天敵で薬剤抵抗性の発達機構が異なるかどうかについては、現在なおその確証を欠いている。しかし、次に述べる多くの理由から、同一薬剤に対する害虫と天敵の感受性の違いを別にしても、天敵における薬剤抵抗

性の発達は害虫にくらべはるかに困難ないしは遅いことが考えられる。すなわち (1) 草食性昆虫とちがって進化の過程で食物中の有毒物質に遭遇する機会が少なかったため抵抗性発達の基礎となる解毒機構が十分発達していない。(2) 食物連鎖の上位の動物は下位の生物総量の 10% 程度しか利用しえないため、必然的に天敵類の個体群サイズは害虫のそれより小さくなる。その結果、遺伝子プールの変異性が小さく抵抗性発達の機会が少なくなる。(3) 寄生性天敵では農薬による選択は天敵の抵抗性とは無関係に寄主の段階でおこる。そのため寄生性天敵が抵抗性を発達さしうる確率は、寄主の抵抗性遺伝子頻度×寄生性天敵の抵抗性頻度となり実際上その発達はほとんど期待しえない³⁴⁾。(4) 天敵、なかでも寄生性天敵は成虫期に寄主とちがった生息場所にすむ場合が多いため寄主よりも薬剤による選択の機会が少ない。(5) 天敵とくに捕食性天敵は発育日数および成虫寿命の長いものが多く、害虫よりも発生回数の少ないものが多い。そのため抵抗性発達の速度は小さい。(6) 害虫に抵抗性が発達すると天敵に抵抗性が発達する以前に新しい殺虫剤に転換される。(7) 天敵は害虫の存在に依存しているため、天敵は殺虫剤の散布によって引き起こされた害虫 (餌) の低密度 (不足) 下での生存のための戦略が優占し、害虫に先行して抵抗性が発達することは自然選択の原理にも反する³⁵⁾。以上のうち最後の問題は将来なお検討を要するが、害虫にくらべ天敵類は抵抗性発達の可能性が各種の理由で少ないこと。すなわち不断に農薬の散布にさらされている農生態系では、一部の害虫は抵抗性の発達によって強度の農薬による選択圧にも耐えうるのに対し、天敵類はますます減少、絶滅の危険にさらされやすいことが推察できる。

6. 農生態系外への農薬の影響

わが国では BHC や DDT の塩素系農薬は 1971 年より全国的に使用が禁止され、一時全国を騒がした母乳や食品の農薬汚染も解決した感がある。しかし母乳中の BHC 残留が 1 ppb 程度にまで減少するには、なお 10 年以上を要するという推定もある³⁴⁾。高知県では、これら塩素系農薬の使用は 1969 年から自主規制をおこなっているが、使用中止後 5 年目の 1973 年においても県内の河川ならびに沖合 2 km の黒潮の影響をうけている海域でもなお 0.130~0.063 ppb の全 BHC が検出されている。しかも最も分解しやすいと信じられている γ 体 BHC が原体中の 13~15% を上まわる 30~35% を占めている (平野・片田未発表)³⁴⁾。しかもここに検出された BHC 濃度はこれまで DDT について行なわれた各

種の生物での実験からも海水および淡水の生物に影響を与えうるに十分な濃度である³⁴⁾。1975 年 5 月に高知県海岸に漂着死したハシボソミズナギドリの調査では、前年同期の個体に比べ筋肉中の全 BHC で 90 倍、DDT 5 倍、PCB 8 倍の残留量がみられたという報告³⁵⁾も、塩素系農薬による海域の汚染はなお軽視できないことを示している。

最近の知見では、DDT の大部分は分解されずに大気中に蒸発・転移するにすぎないと考えられだした^{36,37)}。DDT は DDE にかかわることにより揮発性も 8 倍になる³⁷⁾。大気中の DDT 収容力は 100 万トンに達するという³⁸⁾。もしこれらの難分解性物質の大部分が生物圏の循環圏に存在しているとすれば、これらの物質は分解または循環圏外（たとえば深海底）に流亡するまで何回も生物圏内をそのエネルギー流とともに再循環することになる。これは、今後に残された大きな問題である。

土壌中での農薬の半減期は表層部に比べ 10 倍にもなる³⁹⁾。残留性のないといわれているパラチオンも、散布後 16 年経過した土壌中で微量ながら残留しているのが認められている⁴⁰⁾。また 45% 乳剤を散布後 35 年経過した土壌の表層部 1 インチには 2.9% の濃度のパラチオ

ンが残留しており、この土壌ではバクテリアや糸状菌類の発育が阻害される⁴¹⁾。土壌生物相への農薬の影響は、農薬の毒性と残留性の積でまるという⁴²⁾。たとえば除草剤シマジンの残留期間は 0.5~1 年内外で比較的長い。土壌動物に対する毒性は低いため攪乱された動物相も数週間で回復する。他方毒性の強い殺線虫剤 D-D では土壌中での残留期間が数週間の短かさにかかわらず、動物相は 2~3 年間も影響をうける⁴²⁾。したがって使用した農薬がたとえ急速かつ完全に分解されるような物質であっても、生物相への影響はしばしば年単位に及び、とくに食うもの一食われるもの、寄生者-寄主のような相互作用システムの機能がそこなわれると、その回復にはより長時間を要すると考えられる。表 4 には、これまで報告された農薬の施用によって攪乱された生物相が回復に要する時間をまとめたものである。生物相ないしはシステムの回復には年単位を要し、その過程で害虫の異常発生や赤潮などの現象があらわれてくるのである。

農地から流亡した農薬が生物相に与える影響は非常に複雑である。列記してみると、(1) 農薬による生物の致死薬量の種間差は数万倍にも達するため、哺乳類にとって低毒性（いわゆる低毒性農薬）であっても他の生物

表 4 農薬の施用によって攪乱された生物相の回復に要する時間

農 薬	種 類	回 復 時 間	報 告 者***
水生生物相			
塩素系農薬	淡水プランクトン相	1 年以上	Bays (1971)
DDT	水生昆虫相	5~6 年	Keenleyside (1959)
DDT	水生昆虫相	2 年以内	Gorham (1961)
アルドリノ	水生昆虫相	1.5 年	Moye & Luckman (1964)
土壌生物相			
D・D*	トビムシ類	2 年以上	Edwards & Lofty (1969)
DDT	捕食性ダニ類	4 年以上	ditto
アルドリノ	総生体重	6 年	ditto
シマジン ²⁾	トビムシ類	5 カ月	Edwards <i>et al.</i> (1967)
地上生物相			
2・4・D**	タンポポ	6 年	Johson & Hansen (1969)
2・4・D**	ヨモギ	5 年以上	ditto
BHC	コモリグモ	7 年	桐谷 (1974)
BHC	ヨコバイ卵寄生蜂	4 年	Sasaba & Kiritani (1972)
殺 虫 剤	ワタの害虫の天敵相	2 年以上	Flaherty & Huffaker (未発表)
殺虫・殺ダニ剤	ハダニ-捕食性天敵	5 年以上	DeBach & Bartlett (1964)
殺虫・殺ダニ剤	ハダニ-捕食性ダニ	4 年	Hoyt (1969)
DDT	野生七面鳥	5 年	Clawson (1958)
TDE	カイツブリ	10 年以上	Herman <i>et al.</i> (1969)
ドリノ系殺虫剤	ハイタカ	4 年後も回復の兆なし	Fuchs <i>et al.</i> (1972)
ドリノ系殺虫剤	ノスリ	4 年後も回復の兆なし	ditto

* 殺線虫剤, ** 除草剤, *** 引用文献からは省略した

に低毒性であるという保証はまったくない。農薬と生物の種類を固定して考えても、農薬の剤型、溶媒、温度や水の pH、生物の発育段階や性によって毒性が大きくかわることも衆知の事実である^{2,43)}。(2) 超低濃度の農薬も生物的濃縮によって数万倍にも生物体内に濃縮される。塩素系農薬、重金属をふくむ農薬にこの危険性がとくに大きい。また水系では、水からの直接の吸着、鰓呼吸、食物連鎖の各種の経路によって、陸系より生物的濃縮がはるかに容易におこる。食物連鎖の上位の動物で、食性範囲の限られている肉食動物では生物的濃縮による直接のおよび慢性的中毒の危険性は無視できない^{1,2,34,44)}。(3) 致死薬量以下で各種の行動異常、プランクトンの光合成力の低下、代謝機能障害による鳥類の繁殖率の低下などがみられる。これらの sublethal effects は致死薬量の数千分の1でもおこることがあることに注意する必要がある^{1,2,34,45,46)}。(4) 農薬の代謝、分解物質の毒性、残留性が母化合物より強くかつ長くなることがしばしばある。たとえばディエルドリンがフォトディエルドリンに変わることによって半減期は5倍、毒性は20倍にも高くなる。またまれには製剤中の不純物、たとえば除草剤 2,4,5-T 中のポリ塩化ジベンゾ-P-ジオキシン (PCDD) のような物質が催奇性などのより高い生理活性を示す場合もある。近年の環境汚染が多くの化学物質の複合によっておこされているにもかかわらず、これら物質の複合汚染による影響の実態もその作用形式もわかっていないのが現状である。DDT, DDE (生体内ではふつう DDT は DDE に変わり、トリでは卵殻の薄化現象をおこす) と PCB の3種についてケイ藻の増殖に及ぼす影響をみた実験では、DDE は PCB の毒性の相乗的増加をもたらしたのに、DDT は逆に PCB の毒性を抑える働きをした。他方 DDT と DDE では作用は相互に独立的で前2者の組合せの場合にみられた干渉作用はみられなかった⁴⁷⁾。複合汚染が進んだ状況下では、個々の化合物、たとえば BHC, DDT, PCB などについて定められた残留許容量の値もほとんど意味をもたなくなる状況すら予想される。ヒトについては ADI (acceptable daily intake) (1日摂取許容量) が各農薬について定められているが、この ADI の設定には時間(寿命)ファクターが考慮されていないためかなり甘い値になっている可能性が多い³⁴⁾。現在の知識では安全性を確認するにはあまりにも不確定要素が多いことを指摘しておきたい。

生態系内の個々のシステムの行動は、それ自体が非常に複雑で予測が困難である。もっとも単純なツマグロヨコバイ-コモリグモ相互作用系について^{48,49)}、ヨコバイ

10%, クモ 50% を殺す殺虫剤(たとえば BHC)を毎週散布したと仮定したシミュレーションでは、両者の平衡密度は無散布状態ではヨコバイ 15.5 頭/m², クモ 18.5 頭/m² に対し、散布区ではヨコバイは2倍以上の40 頭, クモは逆に19分の1の1頭でシステムは安定してくる。いま仮に両者とも50%を殺す殺虫剤を使用しつづけたとすると、同率の死亡率にかかわらずヨコバイは3分の1(6頭/m²)に対しクモは19分の1(1頭/m²)に減少してしまう。同率の死亡でも捕食動物がより大きい影響を受ける結果、システム自体は不安定になり農薬散布をやめると一時的にヨコバイが異常な高密度に達することになる(桐谷・笹波未発表)。

結 論

これからの農業は、農生態系の多様性・安定性・生産性をいかに両立しかつ適正に管理するかが中心課題となろう。生産性向上のための手段の一つである農薬の使用は、この管理システムのなかで評価され適正に利用されなくてはならない。現在の単純な水田昆虫相では、コモリグモはその餌の80%をヨコバイに依存している。しかしヨコバイだけの単食では、クモは成体にまで成育できない。生態系が正常に機能するためには、種の多様性も必須条件なのである。肉食動物の減少は、逆に草食動物の異常な増加を招き、それが植生に影響を与え、その反作用が再び生態系内のそれぞれの栄養段階に及ぶ。この連鎖反応は、新たな平衡に達するまで続く。しかしその新しい平衡は死の世界という場合もありうるのである。

引 用 文 献

- 1) 湯嶋 健・桐谷圭治・金沢 純: “生態系と農薬”, 岩波書店, 東京, p. 214, 1973
- 2) 桐谷圭治・笹波隆文: “環境汚染と生物”, 生態学講座 1 (33), 共立出版 p. 66, 1972
- 3) W.E. Ripper: *Ann. Rev. Ent.* 1, 403 (1956)
- 4) 菅原寛夫: 日本農業技術懇談会年報 (S46 版), 19, (1971)
- 5) 小林 尚: バイオテク 2 (5), 401 (1971)
- 6) 大串龍一: “農薬なき農業は可能か”, 農山漁村文化協会, p. 244, 1972
- 7) R.F. Smith & R. van den Bosch: “Integrated Control,” ed. by W.W. Kilgore & R.L. Doutt, Academic Press, New York & London, p. 295, 1967
- 8) A.M. Massee: *Proc. Int. Cong. Ent.* 10th Montreal, 3, 163 (1956)
- 9) C.A. Edwards & A.R. Thompson: *Residue Rev.* 45, 1 (1973)
- 10) K. Kiritani: *Rev. Plant Prot. Res.* 5, 76 (1972)

- 11) A.D. Voute: *Arch. Neerl. de Zool.* **7**, 435 (1946)
- 12) G. Y. Bey-Bienko: *Rev. Entomol. URSS* **40**, 763 (1963)
- 13) T.R.E. Southwood: *Proc. Tall Timbers Conf. on Ecological Animal Control by Habitat Management*, p. 43 (1971)
- 14) E.P. Odum: *Science* **164**, 262 (1969)
- 15) T.R.E. Southwood & M.J. Way: "Concepts of Pest Management," ed. by R.L. Rabb & F.E. Guthrie, N.C. State Univ. Press, p. 6, 1970
- 16) 巖 俊一・桐谷圭治: "総合防除", 深谷昌次・桐谷圭治 編, 講談社, 東京, p. 29, 1973
- 17) R.H. MacArthur & E.O. Wilson: "The Theory of Island Biogeography," Princeton Univ. Press, p. 203, 1967
- 18) 日浦 勇: "海をわたる蝶", 蒼樹書房, 東京, p. 200, 1973
- 19) H. Townes: *Proc. Tall Timbers Conf. on Ecological Animal Control by Habitat Management*, 243 (197)
- 20) 内田俊郎 編: "害虫ポケットブック", 産業図書, 東京, p. 236, 1951
- 21) 桐谷圭治: "総合防除", 深谷昌次・桐谷圭治 編, 講談社, 東京, p. 310, 1973
- 22) 中筋房夫: 植物防疫 **27**, 372 (1973)
- 23) 行徳直己: 九病虫研会報 **6**, 1 (1960)
- 24) 立石 磐: 九病虫研会報 **8**, 26 (1962)
- 25) 片山栄助: 応動昆 **15**, 169 (1971)
- 26) 友永 富・今村和夫: 北陸病虫研会報 **14**, 66 (1966)
- 27) 土岐昭男・藤村建彦・藤田謙三: 青森農試研究報告 **19**, 51 (1974)
- 28) T.D. Luckey: *J. Eco. Ent.* **61**, 7 (1968)
- 29) V. Dittich, P. Streibert & P.A. Bathe: *Environ. Entomol.* **3**, 534 (1974)
- 30) A.W.A. Brown: "Insecticides in the Environment," ed. by R. White-Stevens, 1, Marcel Dekker, New York, p. 457, 1972
- 31) B.A. Croft & A.W.A. Brown: *Ann. Rev. Ent.* **20**, 285 (1975)
- 32) H.T. Gordon: *Ann. Rev. Ent.* **6**, 27 (1961)
- 33) R.I. Krieger, P.P. Feeny & C.F. Wilkinson: *Science* **172**, 579 (1971)
- 34) 桐谷圭治: 科学, **44**, 434 (1974)
- 35) 楠瀬 薫 他: 日本薬学学会中四国大会講演要旨
- 36) G.S. Hartley: *Adv. Chem. Serv.* **86**, 115 (1969)
- 37) C.A. Edwards: *Chem. & Ind.* **2**, March, 190 (1974)
- 38) G.M. Woodwell *et al.*: *Science* **174**, 1101 (1971)
- 39) C.A. Edwards: *Residue Rev.* **13**, 83 (1966)
- 40) D. Stewart, D. Chisholm & M. Ragab: *Nature* **229**, 47 (1971)
- 41) H.R. Wolfe *et al.*: *Bull. Env. Contami. & Toxicol.* **10**, 1 (1973)
- 42) C.A. Edwards & A.R. Thompson: *Residue Rev.* **45**, 1 (1973)
- 43) R.C. Muirhead-Thomson: "Pesticides and Freshwater Fauna," Academic Press, New York, p. 248, 1971
- 44) L.D. Newsom: *Ann. Rev. Ent.* **12**, 257 (1967)
- 45) O.B. Cope: *Ann. Rev. Ent.* **16**, 325 (1971)
- 46) F. Moriarty: "Pollutants and Animals," George Allen & Unwin Ltd. London, 138, 1974
- 47) J.L. Mosser *et al.*: *Bull. Environ. Contami. & Toxicol.* **12**, 665 (1974)
- 48) T. Sasaba: *Rev. Plant Prot. Res.* **7**, 81 (1974)
- 49) K. Kiritani & N. Kakiya: *Res. Popul. Ecol.* **17**, 29 (1975)