

提言

植物保護科学の展望
—農業生産の向上と生物多様性—



平成23年（2011年）9月26日

日本学術会議

農学委員会

植物保護科学分科会

この提言は、日本学術会議農学委員会植物保護科学分科会の審議結果をとりまとめ発表するものである。

日本学術会議農学委員会植物保護科学分科会委員

委員長	上野 民夫	(連携会員)	大日本除虫菊株式会社中央研究所顧問、 京都大学名誉教授
副委員長	白石 友紀	(連携会員)	岡山大学大学院自然科学研究科教授
幹事	上路 雅子	(連携会員)	(社) 日本植物防疫協会技術顧問
幹事	山根 久和	(特任連携会員)	東京大学生物生産工学研究センター教授
	磯貝 彰	(第二部会員)	奈良先端科学技術大学院大学学長
	上田 一郎	(連携会員)	北海道大学大学院農学研究院教授
	鎌田 博	(連携会員)	筑波大学大学院生命環境科学研究科教授
	後藤 千枝	(連携会員)	独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター主任研究員
	佐藤 文彦	(連携会員)	京都大学大学院生命科学研究科教授
	嶋田 透	(連携会員)	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
	鈴木 昭憲	(連携会員)	東京大学名誉教授
	柘植 尚志	(連携会員)	名古屋大学大学院生命農学研究科教授
	夏秋 啓子	(連携会員)	東京農業大学国際食料情報学部教授
	藤崎 憲治	(連携会員)	京都大学大学院農学研究科教授
	森田 弘彦	(連携会員)	秋田県立大学生物資源科学部 生物生産科学科教授
	山下 興亜	(連携会員)	中部大学学長
	佐合 隆一	(特任連携会員)	茨城大学農学部 フィールドサイエンス教育研究センター教授

提言及び参考資料の作成にあたり、以下の方々にご協力を頂きました。

柴田 明夫	丸紅研究所長
岩波 徹	果樹研究所
與後 靖洋	農業環境技術研究所
吉田 茂男	理化学研究所
田付 貞洋	連携会員、東京大学名誉教授
土佐 幸雄	神戸大学農学研究科
松田 一彦	近畿大学農学部
仲下 英雄	理化学研究所
門脇 辰彦	名古屋大学大学院生命農学研究科
大野 和朗	宮崎大学農学部

富永 達 京都大学大学院農学研究科
米山 弘一 宇都宮大学雑草科学研究センター
片木 敏行 住友化学(株)生物環境科学研究所

要 旨

1 作成の背景

人口増加に対する食料の安定供給のために食料生産の拡大は喫緊の課題であるが、水・陸域の環境保全と修復ならびに生物多様性の維持を勘案すると、世界における今後の耕地面積の拡大がそれほど期待できない。そのため、第一の緑の革命^{*1}が半矮性遺伝子を持つコムギやイネの高収量品種の普及によって前世紀後半の人口増加を支えたように、今後の人口増加に対しても革新的な農業技術の進展がもたらす第二の緑の革命^{*2}による増収に期待が寄せられている。人類の存続基盤を確保する持続的な農業生産を達成するには、生態系の破壊をもたらしてきた20世紀型の現代農業に反省を加えて検証し、自然と調和した新たな農業生産体系を確立する必要がある。そのなかにあつて、農産物の安定生産と安全な食料供給のための植物保護の科学的基盤を担保する植物保護科学の領域には、食料の飛躍的な収獲向上を期待する第二の緑の革命とともに多様な生物資源を維持できる人類と自然との共生のための学術基盤の構築が求められている。

2 現状および問題点

栽培植物を病原微生物、害虫および雑草などの有害生物から守らずに限られた農地で最大の生産を確保することはできない。現在の世界人口約69億人（うち約8億人が食料飢餓状態にある）の食料をまかなうには広大な農地を必要とするが、それにも限りがあるため、農業生産の増収を図るとともに有害生物の加害から栽培植物を保護し安定生産を確保することが必須である。さらに収穫後においても農産物を有害生物による被害から守らねばならない。

国連食料農業機構(FAO)が一昨年⁹に発表した討議資料では、2050年の世界人口は91億人に達すると推定されている。今後の途上国での食生活の向上を考慮すると30億トンの穀物が必要となる⁽⁹⁾。このためには、70%の食料増産が期待されているが、土壌劣化、水源の枯渇や気候変動など減収を誘発するマイナス要因がすでに指摘されている。生物多様性を保証しながら増産を達成するには、生態系への負荷を低減する新しい科学的農業技術を適切に利用しなければならない。

すなわち、将来の食料の安定供給を達成するには、世界における食料の分配システムの再編を達成することと、病害虫や雑草による被害や非生物学的ストレスによる減収を回避するために、遺伝子組換え植物の創出と導入を含めて、農業生産における高収量を保障できる植物保護技術を革新的に向上させる“第二の緑の革命”の推進が必須である。それには、病虫害に耐性を示す多収品種や乾燥、低温や塩害など環境ストレスに耐性を示す品種などの導入、有害生物の繁殖する原因を究明してそれを制御する生物学的防除法や低毒性で選択性を備えた殺虫剤、殺菌剤や除草剤の開発、植物生理を調節して作物の環境耐性や生産機能を増大させる植物化学調節剤などの研究をさらに環境負荷の低減に向けて展開する必要がある。

3 提言の内容

生物多様性による生態系サービス^{*13}を保ちながら持続的な農業体系を確立するために、自然生態系と農業生態系の共生を基盤とする新しい社会システムの創成が期待されている。自然生態系を開拓して生じた用地に、作物を栽培して成立した農業生態系は、現在では生物多様性を損傷するものと見なされがちである。しかしながら、例えば里山に見られるように、人類の生物としての基本的な営みの場として自然生態系と農業生態系の適切な共存関係が成立していれば、生物多様性の維持は可能なはずである。

人類の持続的な発展を期待するには、物質・エネルギー消費の志向から脱却して、価値観を変換して精神文化を高揚させて、環境が許容する範囲内で省資源を主体とする適正な生産、消費と循環を基盤とする生産体系の構築を促す必要がある。「農業生産の向上と生物多様性」に対する社会からの理解を得て具体的な行動を起こすための提案を列記する。

(1) 環境保全型の新しい植物保護技術の普及：

生物多様性に対する負の影響を低減させるには、我が国で創出された多系品種（マルチライン）^{*7}による収穫の安定化技術や総合的生物多様性管理（IBM）のような環境への負荷を最小にとどめる新しい植物保護技術を普及させることが重要である。

(2) 食料生産の向上と多様化：

生物多様性と遺伝子組換え技術は必ずしも相反するものではない。食料生産の向上と多様化のために、環境への影響を配慮した遺伝子組換え農作物の多様化が望まれる。

(3) 学術活動ならびに生涯教育・学習の充実：

人類が自然と調和して共存するには、生涯を通じて生態系サービスを十分に理解して、生物多様性の維持と回復に向けて自らのライフスタイルを制御できる能力を培わねばならない。

(4) 生物資源を基盤とするバイオマス生産システムの確立：

生物資源は太陽エネルギーを蓄積する再生可能な資源である。農産物の食用部以外の廃棄バイオマスを有効に利用して物質やエネルギー生産を推進する産業基盤を構築する必要がある。今後、環境負荷の低減を目指して化学工業製品の生産を考えると、食用植物の非可食部などの未利用生物資源を糖類その他の利用可能な工業原料に転換して、積極的に工業生産に活用する産業体系の構築が期待される。

(5) 生物多様性への社会科学の貢献：

国際的な合意に基づき、生態系サービスと生物多様性を維持して社会の将来を展望できる新しい経済論あるいは政策論が提供されているので、わが国においても人類が自然と共生する新しい社会の実現のために政策形成者、行政担当者、企業、市民と研究者の間で国民レベルでの議論が進展することを期待したい。

(6) 人口増加と食料の安定供給：

人口増加に対応できる食料の安定供給には、世界における食料の分配システムの再編を達成するとともに、森林の復元など生態系の修復により洪水・砂漠化を抑制して土壌を保全し、農業生態系と自然生態系の共生を図りながら農業生産の増収及びその安定性を向上させることが必要である。

目 次

1	はじめに	1
2	作成の背景－食料増産と植物保護－	2
3	植物保護の現状および問題点	3
(1)	植物保護科学とは	3
(2)	有害生物の制御と植物保護科学	4
(3)	現状および問題と植物保護科学の進展	5
①	有害生物の管理と農薬	6
②	有害生物の変遷	6
③	病害抵抗性品種の育成と新しい生物的防除	6
④	誘導抵抗性と病害防除	7
⑤	雑草防除と除草剤の効果	7
⑥	総合的有害生物管理 (IPM)	8
(4)	気候変化と植物保護	8
(5)	遺伝子組換え農作物と植物保護	9
4	農業と生物多様性	10
(1)	生物多様性条約と植物保護	10
(2)	土壌と水系の保全	11
(3)	総合的生物多様性管理 (IBM)	12
5	提言－植物保護科学の新しい展開－	12
(1)	植物保護科学の展望	13
(2)	新しい学術への期待	13
①	学術活動ならびに生涯教育・学習の充実	14
②	生物資源を基盤とするバイオマス生産システムの確立	14
③	生物多様性と社会科学	15
6.	むすび	16
<	用語の説明	19
<	参考文献	22
<	参考資料1 農学委員会植物保護科学分科会審議経過	24
<	参考資料2 農学委員会植物保護科学分科会主催・ 日本学術会議公開シンポジウム	25

1 はじめに

経済活動の拡大、人口の増加と生態系の破壊のなかで、人類の生存を支える基盤である資源・環境・食料・エネルギーといった問題が地球規模で危惧されている今日、従来の成長一辺倒の経済社会のあり方が問い直され、持続的・循環型社会の構築に向けて農業の多面的価値が再評価され、そして、農学には新しい展開が期待されている⁽¹⁾。

それにともなって、国土と自然の保全に農業の多面的機能を十分に発揮し、農業が持つ自然循環機能を維持あるいは増進することによって、農業の持続的な発展を目指す農林水産業の新しい展開を図る必要性が提唱されている。そのためには、今後の農林水産業をこのような方向へと導き、さらに発展させて、上記の役割を担いうる新たな教育と研究の展開が不可欠である。

また、従来の開発と大量消費を主体とする文明に代わって、資源と文明の持続性を担保しうる物質循環の技術体系の構築には、農業生産と自然生態系との調和のあり方、そのための社会モラルのあり方、それらに対応できる教育活動の構築と展開など、早急にクリアせねばならない課題が山積している。

そのなかにあって、農産物の安定生産と安定供給のための植物保護の科学的基盤を担保する植物保護科学の領域には、第一の緑の革命^{*1} がコムギとイネの高収量品種の普及によって前世紀後半の人口増加を支えたように、今世紀前半に予測される人口増加に備えて、第二の緑の革命^{*2} の革新的な農業技術を展開することによって食料の飛躍的な収穫向上が期待されている。それとともに、第二の緑の革命がもたらす可能性のあるリスク^{*3} を回避して、人類と自然との共生のために多様な生物資源を維持できる新しい植物保護への学術基盤の構築が求められている⁽²⁾。

農業生産における植物保護を学術活動の基盤とする研究者の集団である日本応用動物昆虫学会、日本植物病理学会、日本農薬学会、植物化学調節学会と日本雑草学会は、第1期(1950年)から第19期(2005年)までの50年間に及んで日本学術会議で植物防疫研究連絡委員会のもとに連携して、研究活動の深化を図るべく植物保護シンポジウムを開催して成果を公表してきた。先見性に富むこれらの活動成果の一部は成書として刊行されて、社会への研究成果の公開と提供に貢献してきた。しかしながら、第20期日本学術会議以降の機構改革と制度改正にともなって上記の活動は休止状態にあった。

一方、地球環境問題と持続的発展に関わる新しい農業生産のために、生物多様性^{*4} の維持に向けた植物保護体系の構築とその基盤となる農学の役割が再認識されている現在、植物保護を主題とする学術領域の研究者は以前にも増して互いに連携を強めており、新しい植物保護のあり方を総合的に検討して、共同して新しい研究活動を展開できる基盤の必要性を痛感していた。このような状況にあって、第21期日本学術会議は農学委員会に新たに植物保護科学分科会を発足させて、植物保護に関連する学術領域の研究活動の発展を図るに至った。新たに発足した植物保護科学分科会は、気候変動と農業科学⁽³⁾、稲作と植物保護⁽⁴⁾、食料生産と生物多様性などの喫緊の課題を取り上げてシンポジウムを開催し、食料の安定供給に対して今後の植物保護科学の果たす役割について議論を深

めて、新しい研究活動の展開を図ることにした。このような活動を継続的に発展させることによって、人類と自然の共生に適合した農産物の安定生産を図るための学術的基盤の確立を目指す。

2 作成の背景—食料増産と植物保護—

豪州およびロシアでの早魃(2007、2010)などによって2008年以降世界の穀物生産情勢は不安定で、穀物価格の高騰をきたしている。生産の場における不安定性の原因は、栽培植物品種の均一化と石油エネルギーの投入による機械化と省力化ならびに農業資材と工業製品への過度の依存による現代の農業システムが農業生態系の単純化をもたらして、気候変化や早魃などの自然条件の変化に柔軟に対応できていないことにある。

世界的には、増加する人口に対する食料の安定供給のために食料生産の拡大に期待が寄せられている。しかしながら、水・陸域の環境保全と修復ならびに生物多様性の維持を勘案すると、世界における今後の耕地面積の拡大がそれほど期待できない現状にあって、第二の緑の革命²⁾による増収に期待が寄せられているのが現状である。

一方、人口増加そのものおよび経済活動と人類活動の拡大がもたらした環境破壊と生物多様性⁴⁾の崩壊を検証するとき、人類生存の基盤である地球環境を保全して、持続的な文明へ移行することも急務である⁵⁾。人類の存続基盤を確保する持続的な農業生産を達成するには、生態系の破壊をもたらしてきた20世紀型の現代農業に反省を加えて検証し、自然と調和した新たな農業生産体系を確立する必要がある。

農業生態系における生物多様性に対する負の影響を低減させて環境に適応した秩序を創生するためには、自然環境の修復に貢献し、かつ生物多様性の維持を可能とする植物保護科学の研究を展開することが先決である。

この方面の学術を展開するに当たって、

- 1) 生物は環境への応答機構を備えた秩序あるシステムである。
- 2) 生態系は常に動的な平衡状態にあって、そのなかで進化を続けている。

との認識に立って、植物保護科学は「生物間の相互作用—競合と共生—のもとに“人類と生態系の正しい共存のあり方”すなわち“人類と自然との共生”を求める科学である」と自認している。

近年におけるバイオテクノロジーの進歩のなかで、すでに、植物保護科学は遺伝子組換え作物の誕生を含めて、多くの新しい植物保護手法を開発・蓄積しつつある。しかしながら、さらなる研究の進展には、統合生物学がもたらす成果を視点に入れて、大学、国・地方及び民間の研究機関が病害虫・雑草の発生动向や気候変化が農業生態系に及ぼす影響を調査し集積してきたデータをさらに完備して公開し、それに基づいて導かれるバイオインフォマティクス⁶⁾に関する知見を高度に利用することが必須である。

生物多様性の維持と農作物の安定生産の両立を達成するためには、総合的有害生物管理(IPM)や総合的生物多様性管理(IBM)を主体とする環境適合型の農業生産体系の定着を進める必要がある⁶⁾。なお、農作物の生産と供給に関しては、レギュラトリーサイエンス⁶⁾の観点にたつて、質的・量的に安全な食料を安定して提供することが目標とな

る⁷⁾。

3 植物保護の現状および問題点

自然生態系にもランクがあり、世界自然遺産である屋久島、白神山地や知床半島から人手の加わった奥山や植林地がある。里山は自然生態系と農業生態系の境界である。第10回締約国会議（COP10）では日本が提案した“SATOYAMA（里山）イニシアティブ”が、生物多様性および人間の福利のために人為的影響を受けた自然環境をより理解・支援する有用なツールとなるものとして、さらにラムサール条約の決議X.31「水田決議」の実施の推進が採択された⁸⁾。

一方、自然生態系と里山の景観の崩壊が進行している。これは伝統農業が農薬・肥料をはじめとする化学製品の導入による慣行農法へ転換され、それに河川・道路の整備、ゴルフ場や宅地の開発とともに石油に依存する日本人のライフスタイルの変換全体が複雑に絡み合った問題として把握できる。それに農業就労者の減少と高齢化と減反政策が拍車をかけて、農地は減少・荒廃して現状では奥山、里山、人里、住宅区という緩やかな遷移が認め難くなった。耕作放棄地の存在は病虫害や雑草の温床となり、農業生態系の適切な管理上大きな障害になっており、里山の管理と生物資源⁴⁾の確保からも適切な管理を施す必要がある。

(1) 植物保護とは

すべての生物は多様な環境、すなわち光・熱・湿度や大気などの無機的環境はもとより、生物環境における他の生物との相互作用（生物間の相互作用：防御と攻撃、寄生と共生）のもとに生息（棲息）している。すなわち、生物は環境に対して受容あるいは防御機構を進化させながら適応してきたといえる。そのなかで、生物は誕生、成長、生殖を通じて、自己増殖し、多様な環境の試練に適応して進化する能力も備えており、その結果として成立している動的な平衡状態が自然生態系である。そこには受容と排除の微妙なバランス調節による環境への適応がある。

ヒトは、食や資源の源を求めていくうえで、生物の活動エネルギーの源である植物を育て、それを守らねばならない使命を帯びている。人類の歴史を振り返ると、ヒトは衣食住に必要な生活物資を持続的に確保するために周りの自然生態系を開発しつつ、生物資源に改良を加えて農業生態系を構築してきた。したがって、伝統的な農業は自然と人為の複合的な共同作業の産物であり、わが国の里山にその典型を見ることができる。ここでは水田を中心とする水棲生物とともに病虫害と雑草の繁殖が可能な生物多様性が成立していた。（図1）

栽培植物は、人類が長い歴史の中で自然から選抜した植物に収穫性、食味、栄養価値、毒性防御物質の低減などに遺伝的な改良を加えて人為的に作出した植物で、防御機構に関与する二次代謝が抑制されている品種も多く、野生種に比べて病虫害の加害を受けやすい。

病害虫と雑草は農業生態系が進化と繁殖を助長した有害生物である。ここに対象となる栽培作物の生育に競合する有害生物を管理あるいは駆除するための植物保護技術が必要となる理由がある。明治以前の水田における米作の反収は、江戸時代と明治時代に 180kg/10 アールであったが、近代農法の導入・育成によって植物保護技術に改良が加えられて現在は 518kg/10 アールを確保している。しかし、増産と増収ならびに省力化を達成するために、肥料と農薬の投入、作業の機械化や水利・灌漑設備の整備をすすめるような人為が農業生態系に過重な負荷を与えてきた。その結果、農業生態系は大きく変貌して、それ自身が崩壊の危機にさらされている。その影響は、里山などの田園地帯だけでなく、水系を通して河川流域から沿岸海域の生態系にも及んでいる。

以下に、現行の農業における植物保護技術の現状を検証し、その功罪について検討を加えるとともに、導入されつつある新しい植物保護技術の可能性について言及する。

(2) 有害生物の制御と植物保護科学

栽培植物を病害、虫害および雑草害などから守らずに限られた農地で最大の生産を確保することはできない。現在の世界人口約 69 億人（うち約 8 億人が食料飢餓状態にある）の食料をまかなうには広大な農地を必要とするが、それにも限りがあるため、農業生産の増収を図るとともに有害生物の加害から栽培植物を保護し安定生産を確保することが必須である。さらに収穫後においても農産物を有害生物による被害から守らねばならない。したがって、食料の安定供給のために植物保護における学術を進展させ、その成果を反映させることが今後ますます重要になる。このような植物保護は植物病理学、応用昆虫学、雑草学、農薬科学、植物化学調節学をはじめ、育種学、植物栄養学、植物生理学や土壌学などを母体とする植物保護科学の学術活動によって培われてきた。

農作物を単一栽培すると、農業生産に好ましくない有害生物群が適応した人為的な農業生態系へと移行する。そこでは限定された生物種が活動することになる。その中で、高密度で棲息して栽培植物を食害することによって収穫に経済的被害をもたらすものを害虫と呼ぶ。天敵の棲息は害虫の密度低下に影響を与えるが、非選択的な殺虫剤の散布は害虫だけでなく天敵や受粉を助ける訪花昆虫などの密度をも減少させる。その場合、殺虫剤の散布は逆に害虫の密度を増加させかねない（誘導多発生）。また、訪花昆虫の密度減少は、作物や果樹の受粉率を低下させ、農業生産の減収をもたらす。さらに、作用機構の類似した殺虫剤の連用は害虫に対して薬剤抵抗性の発達を助長する。植物病害の大半は微生物やウイルスの寄生に起因するが、イネをはじめとする単一作物を連作すると病害微生物の密度が増大して、特定の病害が多発する。また、農地、庭園、公園や道路など、人為的環境には人類の生活上望まれない植物群が繁茂し始める。これを雑草と総称する。雑草は野生植物や外来植物が人類の活動域に適応した植物群である。

(3) 現状および問題と植物保護科学の進展

本節においては、新しい学術が社会に与える影響について検討を加えた内容の要約とこれまで植物保護科学分科会が中心になって企画した3回の“植物保護科学シンポジウム”において指摘された問題を紹介するとともに、最近の植物保護科学の進展についても言及する。

世界の現状における穀物生産は21億トンであるが、約8億人が食料飢餓状態にあると云われている。国連食糧農業機関（FAO）の一昨年の発表予測によると、2050年の世界人口は91億人に達する。今後の途上国での食生活の向上を考慮すると30億トンの穀物が必要となる⁽⁹⁾。この対応には、70%の食料増産が期待されているが、土壌劣化、水源の枯渇、リン資源の危機や気候変動などのマイナス要因がすでに指摘されている。また、IB03(Global Biodiversity Outlook 3)⁽⁶⁾が指摘する生物多様性へ負荷の低減を考慮に入れて増産を達成するには、化学肥料の過剰投与と農薬によるこれまでの化学的農業技術の適用に検討を加えながら生態系への負荷の低減を図らねばならない。

それを実現する方策として次のことが考えられる。一つの可能性は、文明国では食料の過剰供給が過剰摂取による成人病など種々の病気を誘発しているため、世界における食料の分配システムの再編を達成することにある。前世紀後半の“第一の緑の革命”は半矮性遺伝子を持つコムギやイネの高収量品種の普及と化学肥料や農薬の導入によって達成され、人口増加に農業生産の増大が対応できることを示した。したがって、現在の増加する人口を支えるもう一つの可能性は、新たな農業増産技術の導入による超効率的な食料増産体制の確立で、過度の農地拡大を抑制するとともに病害虫や雑草の加害や非生物的ストレスによる減収を回避するために、遺伝子組換え植物の創出と導入を含めて、農業生産における高収量を保証できる植物保護技術を革新的に向上させる“第二の緑の革命”の推進である。それには、病虫害に抵抗性を示す多収品種や乾燥、低温や塩害など環境ストレスに耐性を示す品種などの導入をはじめ、植物と有害生物間で作用する応答機構の考察や植物生理を調節して作物の生産機能を増大させる新しい研究とその成果の応用をさらに展開する必要がある。

① 有害生物の管理と農薬

日本で農薬が広く使われるようになってから約60年、当初は塩素系や有機水銀系の残留性の高い農薬や有機リン系の急性毒性の高い農薬があり、これらを第一世代、第二世代とすると、今は選択毒性と環境毒性に配慮した第三世代の農薬に入っている。その間、農業は飛躍的な増収、高品質化、省力化を達成したが、第一世代と第二世代の高い急性毒性と残留性が及ぼす人体毒性と自然破壊が社会的批判を浴び、その悪夢は未だに多くの人の脳裏を離れない。以後、有害生物に対して選択的に高い効力を示す農薬を求めて研究が進展し、現在では高活性で低残留性の農薬が開発され、製剤技術に改良を加えて効力の増強と低薬量化とともに環境毒性への影響を低減しているが、新しい学術成果の応用によってさらなる選択性の向上と環

境への影響の低下が望まれている。

農作物を栽培するには人手を加えなければならない。もし農薬を使用しないで作物を栽培したらどうなるか。その一例として日本植物防疫協会が行った1990年から2006年に及ぶ調査データによれば、病害虫・雑草による水稻の被害は平均減収率で24%に及ぶ。畑作物と果樹ではそれぞれ30%と60%以上である⁽¹⁰⁾。

農薬の開発と試験には膨大な経費と労力が要求される。そのリード化合物⁷⁾の発見と最適化はランダムスクリーニングから、作用機構・選択性機構の解明、物質の吸収と移行、ゲノム情報、薬剤抵抗性の発達機構の解明などから得られる科学的情報を総合して次第に生合理的な開発へと進化している。ヒト・作物と有害生物の間で選択性を発揮できるターゲットには、昆虫ホルモン、昆虫フェロモンと植物ホルモンなどの生理活性物質の応用や光合成、アミノ酸生合成およびキチン生合成の阻害などがあげられる。その成果は安全性の強化、野生生物への影響軽減、生態系の保全や回復に適用されるであろう。

② 有害生物の変遷

栽培時期、耕種方法、施肥方法や気候の変化などによって有害生物の種類や発生状況は大きな影響を受けるので、発生状況に対応した植物保護手段を講じることになる。水田における殺虫剤の導入結果の調査から、害虫の変遷と適用殺虫剤の導入とは密接な関係があることが判明しており、競合する害虫の密度が低下すればそれに代わって新しい害虫が繁殖することが判明している。例えば、かつてはメイチュウ、ウンカはイネの害虫の代表的存在であったが、殺虫効果の高い農薬の散布や栽培法の変遷によってこれらの密度が低下した反面、現在では斑点米の原因となるカメムシ類がイネの防除対象の最大害虫となっている⁽⁴⁾。これと同様の現象は病原菌や雑草の変遷にも認められる。有害生物の防除という人為に対して、多様な生物による反作用が常に農業生態系に変貌をもたらしている。

現状では、環境への影響を考慮して、特定の生物種に選択的に効果を示す多くの農薬が開発されている。けれども、医薬の抗生物質の連用によって耐性菌が登場するように、農業生態系においても殺虫剤、殺菌剤だけでなく除草剤の連用によって害虫、植物病原菌と雑草などの有害生物群は自らの変異によって薬剤（に対する）抵抗性を獲得する。この課題の解決に向けた薬剤の作用機構の研究を通じて、抵抗性の獲得には解毒・排除機構の獲得とともに受容体の変化も想定されている⁽⁴⁾。現状では交叉耐性⁸⁾を示さない作用機構の異なる薬剤の併用によって薬剤抵抗性の獲得を回避している。

③ 病害抵抗性品種の育成と新しい生物的防除

明治以後、育種研究者たちによって、植物病害に対する抵抗性品種の作出に努力が払われて、数多くの病害抵抗性を示す実用作物が農家で栽培されてきた。しかしながら、抵抗性品種の普及とともに、新しい病害の発生によ

り導入された抵抗性品種は罹病性品種へと変貌した。稲作を例にとると、イネいもち病では、育成された抵抗性品種が数年で罹病性品種に転落する“抵抗性の崩壊”が頻発した。現在コシヒカリ 1 品種が日本での水稻の全栽培面積の 40% 近くを占める。いもち病菌が保有する病原性とイネ品種の抵抗性の中で認められる菌の系統と品種との対応関係は遺伝子レベルで説明できる。それぞれのいもち病菌系統に対する抵抗性遺伝子を導入した多系品種（マルチライン）^{*9}を混植栽培することによって、多様な病原性遺伝子の菌系統の発生密度を低下させて、いもち病菌の繁殖を回避できる。このような原理に従って、多様ないもち病菌系統に抵抗性を示す「コシヒカリのマルチライン」の導入が可能になり、新潟県では平成 16 年に 28.5% であったいもち病発生面積を平成 17 年には 1.2% まで激減させることに成功し、またいもち病防除用薬剤使用量を軽減させた⁽⁴⁾。

薬剤抵抗性や病原性を示す菌系統の密度の変化に起因すると考えられる抵抗性の崩壊現象は、密度効果を応用したマルチラインの導入によって回避できる可能性が高いが、その永続的な利用には、当該地域での菌系統の発生状況を長期的に監視し、調査に基づくデータベースを構築して、効果的に対応できるマルチラインの組成をつねに検討しておく必要がある。

④ 誘導抵抗性と病害防除

植物ホルモンは発生・分化、生長、環境応答などで生体調節をつかさどるが、最近いくつかの植物ホルモンで受容体の構造が決定され、植物ホルモンの受容やシグナル伝達の分子機構の解明と理解が進みつつある。

植物ホルモン作用を利用した病害防除の一例として、植物が感染時に発現する誘導抵抗性^{*10}を薬剤の適用によって先導して、病害を免疫的に防除する手法が検討されている。その研究は、わが国においてすでに 1975 年に導入された抗いもち病剤の作用機構の研究が端緒となった。最近、サリチル酸をはじめとする植物ホルモンの働きが植物の誘導抵抗性に深く関わっていることが判明した。したがって、植物ホルモンのシグナル伝達機構を巧妙に調節することによって、病害に対する抵抗性反応を発動させて病害防除を達成できる可能性がある。この場合、栽培植物の病害抵抗性の発現が収穫量に及ぼす影響や毒性を示す防御物質を産生する可能性を注視する必要がある。

⑤ 雑草防除と除草剤の効果

雑草との競合による収穫量の低減の回避は、農業に過酷な労働を強いる最大の要因であった。近代科学農業における省力化は除草剤の導入と機械化によってもたらされた。一般に栽培作物と雑草の間で選択毒性を発揮する除草剤の開発は非常に難しいと考えられるが、わが国での除草剤による水田雑草防除技術の開発は、世界に例を見ない雑草防除の省力化を実現している。対象雑草に対して高

い選択的効果を示す薬剤を開発するとともに、製剤技術を駆使して創成された現在の混合剤では散布による環境および作業員への安全性も保障されている。その結果、特定の問題雑草や薬剤抵抗性雑草の優占化が防がれ、水稻栽培における最大の労働要因であった除草作業は、水田除草剤の導入によってほぼ必要でなくなったといえる状態にある⁽⁴⁾。水棲生物への影響については、さらなる追跡調査に検討を加えている段階にある。畑作では、マルチの普及や機械的除草作業に加えて除草剤が使用されているが、除草剤に抵抗性を示す雑草の発生と拡大の抑制は重要な検討事項である。

⑥ 総合的有害生物管理 (IPM: Integrated Pest Management)

環境に対する負荷の低減と耕作地の土壌保全のために有機農法^{*11} や自然農法が普及し始めている。有機農産物の生産量は我が国の全農産物約 3,000 万トンのうち 5 万トン未満 (0.16%) にすぎない。その理由は、有機農法や自然農法では、

- i) 現行の農法と比較して単位面積当たりの 6 割程度の収量で、同様の収量を得るためにはより多くの農地を必要とし、
- ii) 栽培できる作物品種も限られ、
- iii) 収穫作物には二次代謝の変化に由来する毒性物質が蓄積する可能性があるの
で、これらの農法だけでは現在と将来において食料の増産と安定供給を賄う
ことは困難であることにある⁽¹¹⁾。

そのような状況にあつて、現行の耕種的、生物的、化学的、物理的な防除法に適正品種、施肥量や減農薬を考慮に入れて互いに矛盾しないように組み合わせ、経済的被害を生じるレベル以下に病虫害や雑草の発生を低減させる総合的有害生物管理 (IPM) に期待が寄せられている⁽¹¹⁾。これを実施するには、病虫害の発生状況の把握に基づいて、総合的な対策を綿密に講じる必要がある。高度な防除指導を支援するための有害生物管理システムの構築が展開しており、IPM の普及と高度化のためには、植物保護に関わる研究者と技術者が総合的な見地にたつて参画して、農家とともに実践できるシステムを構築する必要がある。すなわち、従来は個別に行われていた分野別の業績と成果を今後は集積し相互に検討を加えて対策を講じ、総合的な見地から防除を図ることが重要になると考えられる。これからの農業生産において、植物病理、昆虫、雑草、農薬と植物生長調節剤などの研究者が共同して植物保護科学として総合的な学術活動を展開する理由はここにある。

(4) 気候変化と植物保護

地球の温暖化がすでに進行していることは、気候変動に関する政府間パネル (IPPC) の第 4 次報告書 (2007 年 2 月) が指摘していて、生物多様性の減少に影響を与える要因の一つである^(5, 12, 13)。このような状況下、地球温暖化が農業生態系に及ぼす影響について、植物保護科学連合を構成する 5 学会は協力して「気候変動と農業科学—植物保護を考える—」(2009 年 12 月、東京大学弥生講堂)

と題するシンポジウムを開催して、総合的な検討を加えた^③。

農学の立場に立てば、植物の機能強化によって温暖化ガスの主成分である CO₂ の固定能を向上させて、CO₂ サイクルの拡大を試みることも使命と考える。生物進化の過程で温暖化と寒冷化に順応してきた植物の能力の開発に期待が寄せられる。植物ホルモンによる環境応答機構と光合成機構に関与する酵素を増強することによって、温暖化に対しても農作物の成長を促進して短期間で CO₂ の固定能を向上させることも夢ではない。

しかし、温暖化によって農業生態系は栽培作物の種類とともに棲息する有害生物種の両面において大きな影響を受けるので、それに対する植物保護技術にも新たな対応が求められる。その影響の一つは、作物栽培可能地域のシフト、すなわち南限と北限の上昇ならびに高地への移行である。また、病害虫ならびに雑草も同様にシフトするが、それに加えて熱帯・亜熱帯から北上した外来生物が冬季低温日数などの越冬可能条件が満たされれば、帰化生物として定着することになる。その結果、農業生態系は新たな病害虫および雑草を含む農業生態系へと遷移する。対象作物の栽培時期と有害生物の繁殖時期や生長速度が微妙に影響しあうので、発生する有害生物種の変動によって生物種に選択的に作用する農薬の開発が難しくなる。すでに、新しい病害として、カンキツにグリーンング病がある。本病はカンキツに寄生するミカンキジラミがベクターとなって伝播する細菌の寄生によるもので、カンキツ樹を著しく衰弱させ、枯死させる^③。本病は、熱帯・亜熱帯地域に広く蔓延していたが、その病域は近年南西諸島で拡大しており、今後さらに北上することが危惧されている。

この例から明らかなように、温暖化に対処する植物保護技術の開発には、有害生物の発生状況と生態動向のモニタリングによる長年にわたるデータの蓄積が重要であることが判る。温暖化などの環境変動に対応するためには、IPM は戦術的レベルだけでは不十分で、戦略的なレベルとしても構築していく必要がある。

(5) 遺伝子組換え作物と植物保護

第一の緑の革命は、公的機関で開発された多収穫品種の世界的普及のもとに進展したが、第二の緑の革命は多国籍バイオ産業が遺伝子工学技術を独占して作出した遺伝子組換え作物が先導しており、世界的に均一な品種の普及が危惧される。農業生態学的により好ましい作物生産は公的研究機関が先導して地域に適合した遺伝子を導入した多様な作物を作出して、総合的有害生物管理 (IPM) の導入によって達成されることが望ましい。

遺伝子解読技術と遺伝子組換え技術の発展によって、病虫害・雑草害に関与する耐病性、抵抗性遺伝子や二次代謝による有用物質などの生合成に関与する遺伝子が特定されてきた。これらの有用遺伝子を植物に導入する形質転換技術を用いて、除草剤耐性遺伝子や殺虫性 Bt タンパク質^{*12}を発現させた除草剤耐性、さらに、害虫抵抗性のトウモロコシ、ダイズ、ワタ、ナタネなどが作出さ

れている。これらの遺伝子組換え作物は、防除に対する栽培経費の低減と省力化などにより、農家に高い栽培メリットを提供することから、海外では広く栽培される状況になった。

ウイルス病害の防除を目的としたウイルス耐性パパイヤやオレイン酸含有量を高めた栄養組成改良大豆もすでに開発されていて、さらに旱魃地や塩類蓄積地で栽培可能な環境ストレスに対応する遺伝子組換え作物の開発も進行中である。このような作物は栄養価の向上や増産に貢献する。しかしながら、遺伝子組換え作物の国内での普及には賛否両論があり、わが国での栽培には国民的同意は得られていない。世界的な普及の背景には、栽培効率と収量の向上による収益の増加とともに、除草剤耐性トウモロコシの栽培には除草剤の散布を必要とするものの、Bt タンパク質を導入した害虫耐性ワタでは殺虫剤使用の大幅な低減が認められることにある⁽¹⁴⁾。

一方、遺伝子組換え作物の大規模な栽培の結果、除草剤耐性の雑草や Bt タンパク質耐性の害虫の出現が認められ始めている。このような問題を回避するには、生態系における生物的反作用を想定し、遺伝子組換え作物の持続的な栽培にも輪作や混作などの耕種方法と総合的有害生物管理を含めた耕作システムの導入が必要であろう。

生物多様性と遺伝子組換え技術は必ずしも相反するものではない。多様な遺伝子組換え病虫害抵抗性作物の普及によって、農薬の使用量が低減されるなどの生物多様性の維持に正の効果がある。生物多様性条約に提唱されている遺伝子の多様性は、重要な生態系サービス^{*13}として遺伝子組換え技術によって今後は農業生態系における生物多様性の維持に適用されると期待できる。環境への適応、食料生産の向上と多様化のために、今後は遺伝子組換え農作物の多様化が望まれる。

4. 農業と生物多様性

(1) 生物多様性条約と植物保護

人類は自然からの恩恵を受けて、生物資源を利用して生存してきた。生態系が人類に与えている恩恵を生態系サービスと定義すれば、物質生産と消費に伴う経済活動だけでなく観光から文芸・芸術などの広範囲の文化活動がその中に包含される⁽¹⁵⁾。化石資源や天然資源に依存する商工業が発達した今日ばかりか、今後の社会においても生態系サービスなしには人類の持続的な活動は不可能である。生物多様性条約は、「現在及び将来の世代のために生物の多様性を保全し、さらに持続可能であるように利用することを決意した」国際協定である⁽¹⁶⁾。

水稻栽培がもたらしたわが国の水田を主体とする農業生態系では、人は自然と共生しながら農地と水系に生物多様性を維持してきた。けれども、第二次大戦後の食料増産計画は化学肥料の大量投入、農薬の散布、機械化・省力化による近代的な科学農法の導入により、生産性は向上したものの、化学肥料と農薬の拡散は農業生態系の破壊

にとどまらず、その影響は広く野生生物全般に影響を与えて、生態系サービスの顕著な低下を招いている。生物多様性の損失が継続している今日、生物多様性に対する負の影響を低減に向けて、農業生態系における植物保護のあり方に以下の検討を加えた。

(2) 土壌と水系の保全

生物の棲息基盤である土壌は、ミクロな視点から考察すれば、生物多様性が支配する生態系の典型的な一例である。土壌には爬虫類、両生類、鳥類、哺乳小動物、節足動物から環形動物、線虫、微生物、ウイルスが、互いに競合、捕食、寄生、共生といった複雑な生物間相互作用の中で生活を営んでいる。根粒バクテリアは窒素固定を行い、根圏には養分吸収を助ける菌根菌が共生している。また、一部は、根圏微生物や植物内生菌として植物の生育を促進し、また、環境耐性を高めている。小動物は動植物の遺体を分解する。また、植物を加害する小動物や病原性微生物も棲息する。土壌 1g 中には 1～10 億の微生物が存在し、一部は発酵産物や医用および農業用抗生物質の製造に利用されているが、今後も人類に有用物質を提供する多数の微生物が見出されるであろう。殆どの植物病原菌あるいは病原ウイルスは生活史の一部を土壌中で送り、土壌、大気あるいは水系を通じて感染を広げる。病原細菌は主として水系によって、病原菌胞子は風媒あるいは種子への付着と土壌進入によって感染し、訪花昆虫は食害によってウイルスなどの病原を伝播する。そのため、土壌と水系の保全は植物保護科学では最重要の課題である。植物病原ウイルスの研究は、近年のウイルス学を先導してきた。土壌感染によって Ti プラスミドを伝播する根頭がんしゅ病菌は遺伝子導入技術として今日生物の遺伝子組換え技術の基幹をなし、遺伝子組換え植物の作出に広く応用されている。このことを考えれば、植物保護科学における基礎研究が感染生理と新しい学術、さらには産業の展開に重要な役割を果たしていることが認識される。

植物寄生性線虫は、作物に直接的な被害を与えるものの他に病原菌やウイルスを伝播するものも存在し、その被害は甚大であるが、防除は容易ではない。その生活史において耐久性の高いシスト^{*14}を形成する種類は、連作障害の主要な要因をなす。多くの伝搬性の病原は農業生態系と自然生態系の間を直接あるいは中間宿主を介して生活環を全うする。このように、農業生態系と自然生態系の間で、病虫害は共生と寄生を繰り返す。一方、土壌の団粒構造はミミズなどの小動物の活動によって維持され、また小鳥は農業生態系と自然生態系を往来し、小動物や昆虫の捕食に大きな役割を演じている。したがって、農業生態系における生物多様性による生態系サービスを考慮しながら、持続的な農業体系を確立することがこれからの植物保護科学に与えられた最大の使命と考える。それには農業生態系の土壌と水系に棲息する生物の働きとその影響を総合的に考察して、農業生産との関わりを視点に入れた防除システムの構築に努力を払う必要がある。

COP10 の成果として、生物多様性の保全における水田農業の重要性が認識されたが、その背景には以下に述べる水田の畑作に対する持続的優位性が考慮されたものと考えられる⁽⁸⁾。例えば、畑地での窒素肥料の過剰施肥は水系の富栄養化の原因となるばかりで

なく、栽培植物の病害抵抗性の低下を助長する。欧州連合(EU)では硝酸塩指令により過剰施肥を制限している⁽⁶⁾。一方、水田では窒素の循環は窒素固定菌による空気中からの窒素の取り込みと有機質の微生物分解に始まり、脱窒による過剰窒素の空気中への放散に終わる循環経路が機能し、リンも水田における還元的環境により効率的に供給されるので、水系の汚染を緩和できる。また、水田には流亡・風亡(エロージョン)等の土壌侵食、旱魃等の気候変化、いや地や連作障害に対する優位性があげられる。大きな温室効果を示すメタンの発生も湛水と中干しによって軽減できる。

(3) 総合的生物多様性管理 (IBM: Integrated Biodiversity Management)

総合的有害生物管理(IPM)で述べたように、農業生産の実質的向上と生物多様性に対する負の効果の低減を両立させるには、有機農法や自然農法の収率増加と現行の農業システムが保有する特質を向上させるために、総合的な植物保護技術を導入して有害生物による加害を最小限に抑制して農業生産性の増大を図るのが現実的な方策と考えられる。農林水産省も、農業分野において地球温暖化防止や生物多様性保全に積極的に貢献するために、平成23年度から、減農薬や有機農業などの環境保全効果の高い営農活動に支援を開始している⁽¹⁷⁾。慣行農法^{*15}が示す生物多様性に対する負の効果を低減させるために具現化の一つとして試みられているのが総合的生物多様性管理(IBM)である。この新たな管理法は、総合的有害生物管理と生物多様性保全の2つの概念を結びつけたものであり、農業生態系における生物多様性の維持を究極の目的としたものである^(6,11)。

総合的有害生物管理(IPM)によって生物多様性を維持するには、慣行農法から総合的生物多様性管理(IBM)による新しい農法に移行する必要がある(図2)。すなわち、テナントウムシやハチ類、クモ類などの天敵類や、天敵でも害虫でもない“ただの虫”が棲息できるように農業生態系の生物多様性を保つことで、害虫の多発生を抑制しようという試みが展開されている。しかし、天敵や訪花昆虫の多くは、自然・農業生態系の区分とは関係なく往来して生存の場としているので、今後は植物保護の一環として地域に存在する各種農業生態系をパッケージにして、総合的な管理を目指すことになる。けれども、農業生態系は人為あるいは自然条件の変化に応じて大きく影響され、かつては有害生物とみなされた生物種に希少種あるいは絶滅種としてレッドデータブックに記載されているものもある。

5. 提言—植物保護科学の新しい展開—

(1) 植物保護科学の展望

植物保護科学の目的は、これまでは農産物の収穫を有害生物から守り、安定生産と安定供給を達成することにあった。わが国でも生物多様性条約が求める生物多様性の保存目標はまだ達成されていない。これからは農産物の増産を図るとともに生物多様性を維持できる農業生態系の構築を目指して研究を展開して、それらを新しい農業技術に組み込み、将来の世界人口を支えるために活用できる体系を具現しなければなら

い。農業生態系における生物多様性の損失を低減させる試みとして マルチラインの導入をはじめ総合的生物多様性管理(IBM)が進展しつつあるが、現実には慣行農法を総合的生物多様性管理へ移行するためには、公的な研究機関で作物種や地理的条件を加えたさらなる試行栽培に検討を加えて、その普及を具現化することになる(図2)。

栽培効率を重視するあまり作物品種の多様性が失われつつある今日、これからの作物育種に必要な病虫害抵抗性、多収性、高栄養価値に関係する遺伝子の多様性も失われつつある⁽²⁾。ジャガイモ疫病の蔓延(1849年、アイルランド)やトウモロコシごま葉枯病(ビクトリア病)(1968年、米国)に見られるように、単一品種の栽培と普及は大病害をもたらして飢饉を誘発する危険性がある。

規模の経済が働くアメリカやオーストラリアの大規模農業生態系と奥山、里山と人里が複雑にモザイクをなす農業生態系とは同一次元で論ずることはできない。伝統的に農業文化を重んじるヨーロッパでは環境保全型農業の推進が先行している。我が国をはじめとする東アジアにおいても、農村には多様な文化が温存されており、その保全と農業生産効率の向上は重要課題である。アジアモンスーン地帯では、水田を主体とする農業体系がそれぞれの国で独自の文化を育んできた。我が国で展開されてきた水田における植物保護技術は東アジアで先導的な役割を果たし、これらの地域における農産物の安定生産に貢献している。水田農業の重要性が認識された今日、アジア、アフリカ、南米などで水田地帯は拡大していくと考えられる。それにともなって我が国で創出された病害抵抗性マルチラインによる収穫の安定化技術や総合的生物多様性管理(IBM)による環境への負荷を低減させる栽培技術の普及がこれからますます重要となる。すなわち、我が国の植物保護における学術の発展が、将来の農産物の確保を達成するうえで、世界的使命を帯びているといえる。

水稻をはじめとする共通した生態的・文化的特質を備える東アジアの農業では、今後植物保護においても、日本のイニシアティブのもとに学術的連携をさらに深めて、新しい農業問題に対応できる体制を整備しておく必要がある。しかし、今日では灌漑水量の不足と気候変化に由来する病虫害の多様化や薬剤耐性有害生物の発生などの農業生態系に及ぼす影響が危惧されることから、病虫害、雑草害の発生状況に対する科学的情報の収集・共有と評価、防除方法に関する情報交換と技術の向上が重要となる。それには、アジアモンスーン地帯で水田耕作を営み米を主食とする近隣諸国の研究機関ならびに国際稲作研究所(IRRI:International Rice Research Institute)などの研究機関と連携して情報を交換し、上記の研究を国際的なネットワークで展開する植物保護情報管理システムを構築する必要がある。また、農業の国際分業化と物資の大量輸送にともなう外来有害生物の移動は国際的なネットワークによる監視体制を必要としている。

(2) 新しい学術への期待

以下に「農業生産の向上と生物多様性」に対する社会からの理解を得て具体的な行動を起こすための提案を列記する。

① 学術活動ならびに生涯教育・学習の充実

人口増加と人類活動の拡大がもたらした現在の資源・食料・環境問題の主因はエネルギーと物質消費の拡大にある。気候変化と温暖化がもたらす生物多様性の減少と化石資源と原子力に依存するエネルギー供給は密接に関係しており、生物多様性の遵守は人類にエネルギー消費をともなう物質文明からの脱却を迫っている。太陽エネルギーは生物の活動エネルギーの源であり、人類が必要とする生命活動エネルギーは食料によって供給される。

生物多様性に対する研究者の意識の向上と社会からの理解を得るために、植物保護科学分野の研究者は生産者と密接な交流を図りつつ、土壌学、栽培学、育種学など関連分野の研究者と連携して、自然との共生に適合した新しい農業生産体系を構築に努めることになる。その成果は消費者の生涯教育・学習に反映される。

人類が自然と調和して共存するには、生涯を通じて生態系サービス^{*13}と生物界における太陽エネルギーの挙動を十分に理解して、自らのライフスタイルを制御できる能力を培わねばならない。自然界の秩序は物理法則をもって説明されることが多いが、そこに棲息する生物は多様な依存関係によって生命活動を営んでいるので、まずは幼少期から小・中学校にはじまり高等教育に至る間に生物多様性に親しみ観察する能力を培うための教育システムを充実し、さらに生涯を通じて学習を続けることによってその能力を深めていくことが肝要である。この教育と学習の場として自然生態系と農業生態系におけるフィールド学習は、生態系サービスと生物多様性のさまざまな要素の関係を理解するとともに食料生産が生物多様性と深い関わりがあることを認識する上で大きな効果を発揮するであろう。

昨今、自然誌（史）博物館が創設され、生物多様性の生涯学習に効果を発揮している。また新潟県佐渡市におけるトキや兵庫県豊岡市におけるコウノトリの放鳥は生物多様性の復帰として国民的関心を呼んでいる。消費者と生産者と研究者が実際の農業生態系において共通の基盤に立って、農作物栽培と農産物生産の現状ならびに人類活動と生物多様性の関わりを観察し、これを体験によって理解して、科学的な思考と判断力に基づく環境保全に寄与する行動力を養うことに意義がある。したがって、体験学習を伴うアグリツーリズムは生態系サービスの実態的把握に加えて農業生態系と自然生態系の調和に関する国民的関心と同意を形成する上で重要なプロジェクトである。さらにアグリツーリズムが日本農業再生への引き金となる新しい農業政策への転換の原動力を提供することを期待している。

② 生物資源を基盤とするバイオマス生産システムの確立

これまで述べてきた植物保護科学は生物資源の確保ならびに安定供給と生物多様性の確保を主題としたが、ここでは生物資源を基盤とするバイオマス生産システムの確立に向けて、生物資源の変換研究に言及する。バイオマスは一部の素材を除いては研究・開発の対象とされず廃棄物として投棄されていた。これはバイオマスが

多成分から構成され、取り扱いが容易ではない、石油に比べて利用・運搬コストが高い、変換効率が低い、生産された製品の耐久性が低いなどの理由による。けれども、生態系サービスの一環として、莫大な量の太陽エネルギーが生物資源には固定されており、これらの循環的・持続的な有効利用は、森林資源が豊かなわが国における課題である⁽¹⁸⁾。

3月11日に東日本大震災により福島第一原子力発電所から大量の放射性物質が大気および海洋へ漏出したことから、原子力に依存する日本のエネルギー戦略は根本的に見直すべき状況にある。今後エネルギー政策がどのような方向に舵を切られるか現状では判定できないが、カーボン・ニュートラルなバイオエネルギーはその一端を担うことになるであろう。

農業は植物の力を借りるエネルギー蓄積型産業で、恒久的な太陽エネルギーを化学エネルギーに変換して蓄積し、それを人類活動のために安定して持続的に供給することを使命としている。しかし、食料の不足が危惧されている今日、食料のエネルギーへの転用は避けるべきである。ナタネ油や蠟は灯明として、木質部は製紙、繊維、建材として利用されてきたが、食料は人間の肉体と知能活動の原動力であるので、可食部は食料にそれ以外の廃棄される未利用非食用部分を物資生産とバイオ燃料への原料として転用すべきである。すでに稲わらや杉の間伐材などに由来するセルロース系農林廃棄バイオマスから燃料エタノールへの変換技術が確立されつつある⁽¹²⁾。

林産資源のセルロースは久しく製紙工業と繊維工業の原料として活用されてきたが、もう一方の最大成分のリグニンについて工業原料への有効な変換研究が学術的に進められているものの産業体系として確立していないのが現状である。カーボン・ニュートラルの観点から、石油の代替エネルギーとして、現在すでにサトウキビやトウモロコシなどの食用農作物を原料とする発酵アルコールが一部市場に供給されているが、食料とくに穀類などの主食農産物のエネルギー原料への転換は、食料供給の不安定化と高騰の原因となりつつある。これを回避するためには、農産物の食用部以外の廃棄バイオマスを有効に利用して物質生産を推進する産業基盤を構築する必要がある。今後、環境負荷の低減を目指して化学工業製品の生産を考えると、未利用生物資源を糖類その他の利用可能な工業原料に転換して、積極的に工業生産に活用する産業体系の構築が期待される。

③ 生物多様性と社会科学

自然生態系は太古から地球気候と連動して進化して、地球上の地域により変化するモザイク的な特性を培ってきた。人類は有史以降農業の始まりとともに自然生態系に農業生態系を組み込んで農産物を確保することによって繁栄してきた。したがって、地域の生態系に適応した多様な農業生態系が誕生して、多様な文化が形成されている。

しかしながら、人口増加と人類活動の増大に伴う経済規模の拡大による物資の大

量生産とエネルギー消費の拡大が気候変動をもたらし、森林開発による農地への転用と水系の汚染と富栄養化が、陸・水域生態系での生物の棲息地の劣化と喪失の主因となっている。生物多様性の維持は植物保護科学を含む生物学の研究者だけで達成できるものではない。生物多様性問題においても、現在進行する生物多様性の減少が生態系サービスを低減させ、如何に大きな影響を人類に及ぼすかを科学的な知見に基づいて定量的に明示して社会的合意を得る必要がある。

生物多様性の喪失の根本原因への経済学的考察が展開されている。生物多様性を遵守する観点から、生態系と生物多様性の経済学(TEEB:The Economics of Ecosystems & Biodiversity)の中間報告⁽¹⁹⁾は、経済成長率の指標として従来から用いられてきた国内総生産(GDP:Gross Domestic Product)には、自然の価値の査定が欠如しており、このことが生態系の劣化と生物多様性の損失の根本的な原因となっていることを指摘している。この中間報告は、持続可能な開発と生態系と生物多様性の保全を促進するために、健全な経済学に基づいた政策改革と環境影響評価を支えるものとして2008年5月のドイツ・ボンで開催された生物多様性条約第9回締約国会議(COP9)の閣僚級会議で公表された。TEEBはつづいて国際生物多様性年である2010年10月に統合報告書を名古屋で開催された生物多様性条約第10回締約国会議(COP10)において、自然の価値の経済的評価を経済的意思決定と政策決定に組み込むために市民、国および地方自治体の政策形成者、行政担当者、企業家と研究者のすべてに行動指針を提供している⁽²⁰⁾。したがって、TEEBが提示するような国際的な合意に基づく生態系サービスと生物多様性を維持して社会の将来を展望できる新しい経済論あるいは政策論が提供されているので、わが国においても人類が自然と共生する新しい社会の実現のために政策決定者、行政担当者、企業、市民と研究者の間で国民レベルでの議論が進展することを期待したい。

6 むすび

生物は本来環境の復元力を越えては環境を破壊することはない。すべての生物が営む活動の相互作用によって生態系は持続されている。生態系の持続性なしには人類は存続できない。異常な増殖と活動を続ける人類にとって地球はただ一つのよりどころであり、生物資源は太陽エネルギーを蓄積する再生可能な資源である。生態系において農業活動は人類の存続基盤であり、植物保護による生物資源の保全は、人類にとって永続的な活動命題である。

生態系の破壊と生物多様性の損失が生態系サービスに直接依存する自給農業、畜産、漁業、林業に携わる人々に貧困をもたらしている⁽⁵⁾。食料の不足と貧困が社会・政治的不安を煽り、人口を増加させる一つの要因と考えると、飢えと貧困の根絶により、教育の普及、健康管理の充実、平和の維持、食料の安定供給による平均寿命の延長を達成すれば、出産健康管理による家族計画が可能となり、人口増加の抑制につながるものと期待される⁽²¹⁾。森林の復元をはじめとする生態系の修復によって洪水・砂漠化を抑制し、食料生産の基盤である土壌を保全して、農業生態系を安定化させて食料の安定供給と

分配を達成する。われわれが食料の安定生産と安定供給のために学術活動を展開する理由はここにある。

人類の持続的な発展を期待するには、物質・エネルギーの大量消費の志向から脱却して、価値観を変換して精神文化を高揚させて、環境が許容する範囲内で省資源を主体とする適正な生産、消費と循環を主体とする生産体系の構築を促す必要がある（日本学術会議声明：人間としての自覚）に基づく「教育」と「環境」両問題の統合的解決を目指して-新しい価値観に支えられた明るい未来の基盤形成-（2000年6月）。そのためには、いまや人類は高い倫理的視点に立って生物多様性を遵守して、生態系と共生する持続的・循環型社会の構築に務めねばならない。自然生態系も農業生態系も永い歴史を通じて培われてきた社会的共通資本^{*16}である⁽²²⁾。生態系と共生する持続的・循環型社会は、自然と共生できる素質を備えるための学習と教育体系を構築することによって達成できると考える。そのシステムは、自然に親しむ幼少から生涯を通じての学習によって支えられる。

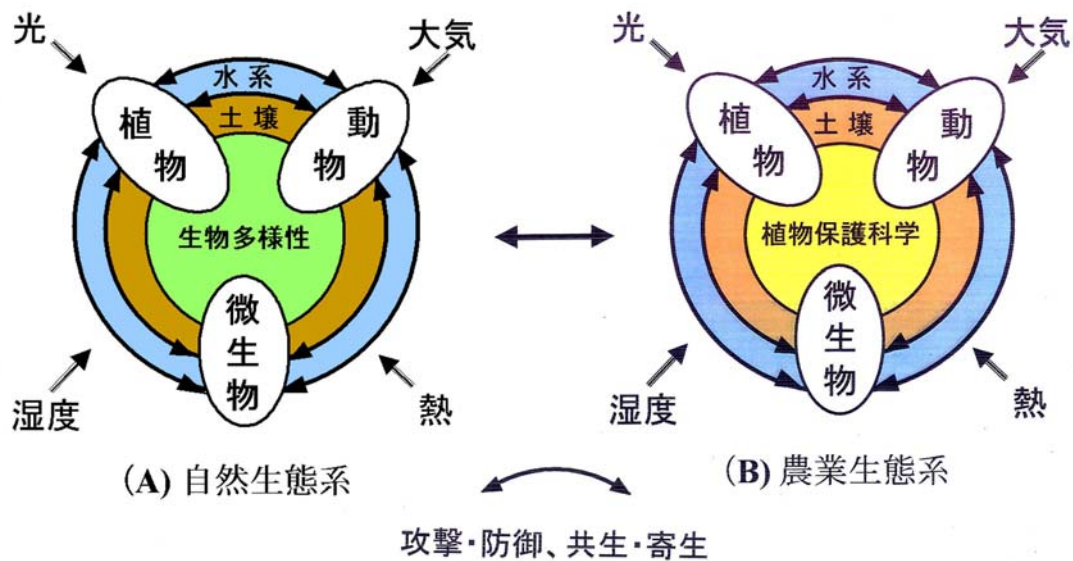


図1. 自然生態系と農業生態系

自然生態系は自然に生（棲）息する生物の相互作用によって成立するが、農業生態系では作物を有害動植物や微生物から植物保護科学によって人為的に保護する必要がある。

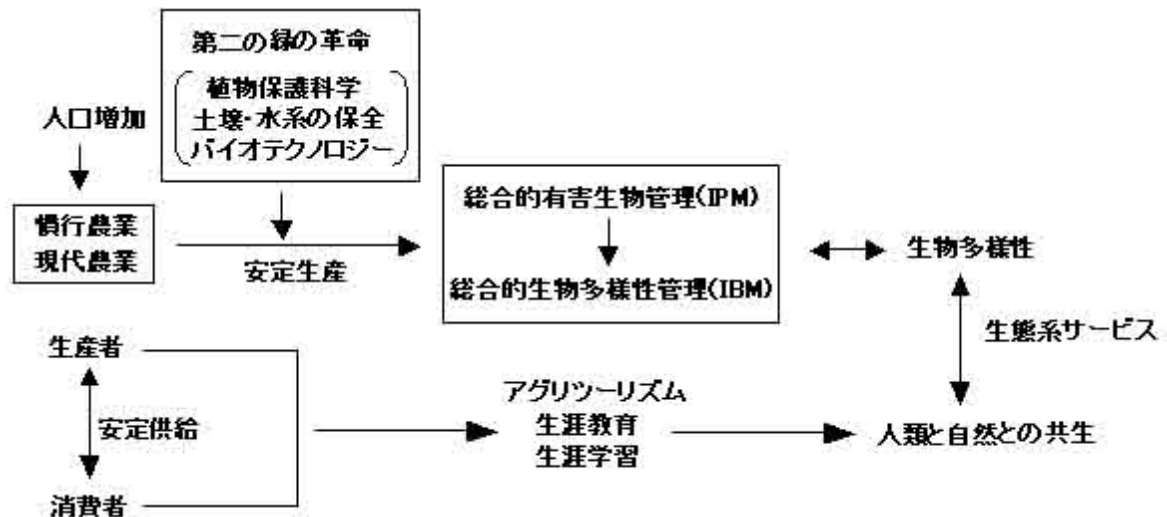


図2. 植物保護と社会

人類と自然との共生のために、農業は第二の緑の革命による安定供給を達成しながら、IPM から IBM などの植物保護手段を導入して環境への負荷を低減させるとともに、社会的同意のもとに生物多様性を維持できる栽培技術を普及させることが重要である。

<用語の説明>

*1 第一の緑の革命

前世紀後半の“第一の緑の革命”は半矮性遺伝子の導入によって国際トウモロコシ・コムギ改良センターで改良された高収量コムギ品種および国際稲作研究所（IRRI）で改良された短稈性のイネの高収量品種と化学肥料や農薬の普及によって達成され、人口増加に農業生産の増大が対応できることを示した。

*2 第二の緑の革命

第二の緑の革命では、遺伝子改変技術による病虫害耐性品種、高栄養品種やコムギやイネの光合成能を向上させた多収品種の作出と普及などの革新的な植物増産システムによって今世紀の人口増加に対応できると期待されている。

*3 リスク

リスクとは将来起こるかもしれない危険の可能性である。第一の緑の革命によってもたらされた新品種作物の栽培には十分な水と肥料や農薬の多投入が必要なので、リスクとして作物中の残留による健康への影響や水系の富栄養化と塩類集積などの環境への負の効果が現実に指摘された。その結果として、それを回避するために肥料や農薬の投入量を必要以下に低減させた低投入持続的農業が提唱された。第二の緑の革命では、導入遺伝子の生態系への拡散や作出作物へのアレルギーの可能性とその他の影響が危惧されている⁽²⁾。

*4 生物多様性と生物資源

生物多様性条約によれば、「“生物の多様性”にはすべての生物に対する“種内の多様性、種の多様性及び生態系の多様性”が含まれ、“生物資源”とは、現在利用されもしくは将来利用されるか、または人類にとって潜在的な価値を有する遺伝資源、生物またはその部分、個体群その他生態系の生物学的な構成要素を含む」と記載されている。

*5 バイオインフォマティクス

コンピュータを用いてゲノム構造と生物情報の関係を解明する分野で、植物生理の研究、農薬の開発、病虫害の同定とともに農作物の病虫害抵抗性遺伝子の確認や品種の改良・作出・管理や農業生態系での有害生物の発生予測などにも利用されている。

*6 レギュラトリーサイエンス

科学技術と人間との間を正しく調整するために、科学的根拠に基づいて将来にわたる影響を予測してリスクを評価・管理し、リスクを開示し、その結果を総合的に判断して行政に反映する科学の分野で、これからは生態系サービスへの影響も勘案する必要がある。

*7 リード化合物

対象生物に対して生理活性を示し、医農薬開発を先導する化学構造を保有する化合物。

*8 交叉耐性

ある薬剤に対して耐性が高まると、他の類似の薬剤に対しても耐性を示す現象。

*9 多系品種（マルチライン）

イネの持っているいもち病に対する抵抗性遺伝子といもち菌が持っているイネに対する病原性に関与する遺伝子との間に、1対1の対応関係（gene for gene）があり、また、いもち病抵抗性にはある特定のいもち病菌の系統（レース）に抵抗性を示す真性抵抗性と、多くの系統に対してある程度の抵抗性を示す圃場抵抗性とがある。真性抵抗性遺伝子として8つの遺伝子が明らかにされている。新潟県で平成17年から普及しているコシヒカリBLシリーズ(1~8号)は上に示したそれぞれのいもち病真性抵抗性遺伝子に対応したいもち病抵抗性品種である。このシリーズをマルチラインと呼び、このマルチラインは真性抵抗性のみが異なる品種群である。

*10 誘導抵抗性

植物は外敵に対して先天的（静的）防御機構と後天的（動的）防御機構を備えている。後者を誘導抵抗性と呼び、微生物などの感染によって感染部位に局所的あるいは全身症状として発現する。この現象にはサリチル酸やジャスモン酸などの植物ホルモンが関わる信号伝達経路が機能していると考えられている。感染前に全身的に誘導抵抗性を発現して病原菌の感染を予防する抵抗性誘導剤が開発されている。

*11 有機農法

有機農産物を生産する農法。多年生作物を生産する場合は3年以上、それ以外の作物では2年以上、化学合成された肥料や農薬を使用していない耕作地で収穫されたものを有機農産物と呼ぶ。ただし、有機JAS規格では一部農薬の使用が認められているので、有機農産物＝無農薬農産物ではない。

*12 殺虫性 Bt タンパク質

昆虫病原細菌（Bt: *Bacillus thuringiensis*）が産生するタンパクで、昆虫腸内の消化液で分解されると毒素になり、幼虫は卒倒病を起こして死ぬ。特定のグループの昆虫にのみ毒性を示し、人畜への安全性が確認されたタンパク質を生産するBt菌が微生物農薬として利用されている。また、Btタンパク合成遺伝子を導入することにより耐虫性を付与した遺伝子組換えトウモロコシ、ワタ、などが栽培されている。

*13 生態系サービス

生態系が人類に提供するあらゆる便益を意味し、資源供給サービス、調節サービス、文

化的サービス、基盤的サービスの4つのカテゴリーに分類される。「自然の恵み」と表現することもできる⁽¹⁵⁾。

***14 シスト**

線虫類の一部では、雌成虫は卵を宿したまま自身が卵を包む被囊となって土壤中で耐久性の球状休眠体すなわちシストを形成する。この状態で10年以上孵化せずに休眠し、宿主に遭遇すると覚醒して根から進入して増殖する。

***15 慣行農法**

各地域において、農薬、肥料の投入量や散布回数等に基づき相当数の生産者が実施している一般的な農法。

***16 社会的共通資本**

提唱者の宇沢弘文氏によれば、社会的共通資本は、一つの国ないし特定の地域に住むすべての人々が、豊かな経済生活を営み、すぐれた文化を展開し、人間的に魅力ある社会を持続的、安定的に維持することを可能にするような社会的装置を意味する。

<参考文献>

- (1) 日本学術会議答申「地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について」(平成13年11月)
- (2) 北林寿信: 農業生物多様性の喪失と第二の「緑の革命」—農業生態系の変化にこそ注意が必要だ、科学、2010年10月号、1016-1021
- (3) 植物保護シンポジウム実行委員会「気候変動と農業科学—植物保護を考える—」(2009年12月、東京大学弥生講堂)
- (4) 日本学術会議 公開シンポジウム「稲作と植物保護を展望する」(2010年11月8日、日本学術会議講堂)
- (5) 地球規模生物多様性概況第3版(Global Biodiversity Outlook 3)
- (6) 一谷多喜郎・中筋房夫著:「植物保護」(朝倉書店、2000年)
- (7) 金澤一郎、祖田 修、上野民夫、佐藤文彦、森口文雄、新山陽子、唐木英明:「食の安全を求めて—食と安全の科学—」学術会議叢書 16 (財団法人日本学術協力財団、2010年)
- (8) 天地恭子: 生物多様性条約の新たな展開—COP10の成果と今後の課題—、立法と調査(参議院ホームページ)、2010年12号、No. 311、51-56
- (9) <http://www.fao.org/wsfs/forum2050/wsfs-background-documents/issues-briefs/en/> “How to Feed the World in 2050”, 2.Outlook for food security towards 2050, pp4-15
- (10) 社団法人日本植物防疫協会:「病害虫と雑草による農作物の損失」(平成20年6月)、7-8
- (11) 佐久間正幸編:「植物を守る」(京都大学出版会、2008年)、315-363
- (12) 鷺谷いずみ: 気候変動対策と生物多様性、学術の動向、2010年3月号、日本学術会議、75-81
- (13) 松本忠夫: 生態科学から見た生物多様性問題、学術の動向、2010年3月号、日本学術会議、91-99
- (14) 日本学術会議・基礎生物委員会・統合生物委員会・農学委員会合同 植物科学分科会「提言: 我が国における遺伝子組換え植物研究とその実用化に関する現状と問題点」(平成22年7月1日)
- (15) 環境保全型農業直接支援対策の概要 (パンフレット)、農林水産省、平成23年
- (16) 日本学術会議・統合生物学委員会「提言: 生物多様性の保全と持続可能な利用—学術分野からの提言—」(平成22年2月25日)
- (17) 環境保全型農業直接支援対策実施要綱、平成23年4月1日 22 生産第10953号、農林水産事務次官依命通知
- (18) 日本学術会議第6部報告「生物資源とポスト石油化学—生物生産を基盤とする持続・循環型社会の形成をめざして」(平成12年7月17日)
- (19) 生態系と生物多様性の経済学 (TEEB: The Economics of Ecosystems &

Biodiversity)

- (20) Mainstreaming the Economics of Nature: A Synthesis of the Approach, Conclusions and Recommendations of TEEB (TEEB: The Economics of Ecosystems & Biodiversity)
- (21) レスター R. ブラウン: 食料不足で現代文明が減じる?、日経サイエンス 2009年8月号、68-76
- (22) 宇沢弘文: 「社会的共通資本としての生物多様性」、科学、2010年10月号、1002-1004

<参考資料 1> 農学委員会植物保護科学分科会審議経過

平成 22 年

5 月 24 日

植物保護科学分科会（第 1 回）

○2 名の特任連携会員を選考し、活動方針について植物保護に関わる研究の現状に総合的な検討を加えて、日本学術会議公開シンポジウム「稲作と植物保護を展望する」の開催（平成 22 年 11 月 8 日）を提案した。

11 月 8 日

植物保護科学分科会（第 2 回）

○来年度の植物保護分科会主催：日本学術会議公開シンポジウムの議題と報告（または提案）の作成について討議した。

平成 23 年

3 月 2 日-18 日

植物保護科学分科会メール会議

○植物保護分科会主催：日本学術会議公開シンポジウム「食料生産から生物多様性を考える」と次回植物保護科学分科会の開催（平成 23 年 7 月 15 日）を提案し承認された。

4 月 21 日-26 日

植物保護科学分科会メール会議

○植物保護科学分科会報告（または提案）「植物保護科学の展望－農業生産の向上と生物多様性－」を提案し承認された。

5 月 19 日

○植物保護科学分科会報告（または提案）「植物保護科学の展望－農業生産の向上と生物多様性－」を農学委員会に提出

7 月 15 日

植物保護科学分科会（第 3 回）

9 月 1 日

日本学術会議幹事会（第 133 回）

農学委員会植物保護科学分科会提言「植物保護科学の展望－農業生産の向上と生物多様性－」を承認

＜参考資料2＞農学委員会植物保護科学分科会主催・日本学術会議公開シンポジウム

公開シンポジウム「稲作と植物保護を展望する」

日 時：平成22年11月8日（月）13:00-17:30

場 所：日本学術会議講堂

プログラム

13:00-13:10 開会あいさつ

上野民夫（日本学術会議連携会員、京都大学名誉教授）

基調講演

13:10-13:50 植物保護とGMO

鎌田 博（日本学術会議連携会員、筑波大学大学院生命環境科学研究科教授）

シンポジウム話題提供

13:50-14:20 イネ害虫の変遷—ニカメイチュウを中心に—

田付貞洋（日本学術会議連携会員、東京大学名誉教授）

14:20-14:50 イネいもち病におけるboom-and-bust cycle とマルチライン

土佐幸雄（神戸大学大学院農学研究科教授）

14:50-15:20 水田雑草防除技術と優占雑草の変遷

佐合隆一（茨城大学大学院農学研究科教授）

竹下隆史（日本植物調節協会）

15:20-15:50 稲作用殺虫剤の現状と展望

松田一彦（近畿大学農学部教授）

15:50-16:20 植物ホルモンシグナルを利用した環境低負荷型病害防除の現状と可能性

仲下英雄（理化学研究所）

16:20-16:30 休憩

16:30-17:20 まとめと総合討論

上路雅子（日本学術会議連携会員、日本植物防疫協会技術顧問）

17:20-17:30 閉会挨拶

白石 友紀（日本学術会議連携会員、岡山大学大学院自然科学研究科教授）

公開シンポジウム「食料生産から生物多様性を考える」

日 時：平成23年7月15（金）13:00-17:30

場 所：名古屋大学野依記念学術交流館

プログラム

13:00-13:10 開会あいさつ

上野民夫（日本学術会議連携会員、京都大学名誉教授）

特別講演

13:10-13:50 世界におけるミツバチの現状と減少の原因

門脇辰彦（名古屋大学大学院生命農業研究科准教授）

講演1

13:50-14:20 途上国農業から見た生物多様性と私達の食卓

夏秋啓子（日本学術会議連携会員 東京農業大学 国際食料情報学部教授）

講演2

14:20-14:50 農家のための生物多様性、環境保全型害虫管理技術の展開

大野和朗（宮崎大学農学部食料生産科学科准教授）

講演3

15:00-15:30 作物の栽培と雑草の多様性

富永 達（京都大学大学院農学研究科教授）

講演4

15:30-16:00 根寄生雑草と食料生産-ストリゴラクトンから見た生物の機能 多様性と
その農業利用-

米山弘一（宇都宮大学雑草科学研究センター教授）

講演5

16:00-16:30 欧米における農薬の生態影響評価・最前線

片木敏行（住友化学(株)生物環境科学研究所）

総合討論

16:30-17:00

閉会あいさつ

白石友紀（日本学術会議連携会員、岡山大学大学院
自然科学研究科教授）