

有機農業研究者会議 2013 資料集

日 時： 2013 年 11 月 20 日(水) 10:15～17:15

場 所： 農林水産技術会議事務局筑波事務所 つくば農林ホール

主 催： 「有機農業研究者会議 2013」実行委員会

共 催： (独)農研機構・中央農業総合研究センター
有機農業参入促進協議会

後 援： 農林水産省

巻 頭 言

無限の宇宙にも、一定の周期や法則があるように、自然界にも光合成によって生まれた炭水化物（生き物のエネルギー源）が、多種多様な生き物と相互補完的に干渉、機能しながら循環していくという仕組みがある。

この仕組みを凝縮、短縮し圃場の中にそれを効率的に再現し、生産性、経済性、持続性を高め、農業を産業として成立、維持させることが、有機農業の基本的な考え方である。このことは農業の基本でもある。

土壌肥料学に基づいた養分供給管理、作物生理学に基づいた栽培管理、微生物や天敵による病害虫抑制、そして耕種的雑草防除。それぞれの部門を単独で管理するのではなく、一連の流れの中に連続して組み込んでいくことで、はじめて総合的な管理技術となる。

事実、連続した栽培管理の結果として優良な実績を持つ有機農家がいる。その先進農家のさまざまな事例を研究者が検証し、その成果を新たな技術として体系化し、それをまた現場に活用するという、農家と研究者のコラボレーション。すなわち「経験と勘」と「科学的検証」の融合、その情報の公開と共有の繰り返し、農業における技術と生産性の維持向上に繋がっていく。

有機農業の技術はその仕組みの起点を光合成に置くと分かりやすいが、その仕組みと循環を担保するのが圃場に生息する多種多様な生き物である。

本研究者会議を通して、多種多様な生き物に負荷を与える農薬使用は、むしろ無い方がよいという「現場の経験と勘」に対する、客観的かつ新しい視点での研究成果にも期待したい。

最後に、開催にあたってご尽力いただいた関係各位にこの場を借りてお礼を申し上げます。

2013年11月20日

「有機農業研究者会議 2013」実行委員会
委員長 山下 一穂

目次

有機農業は生物多様性に配慮した農業か

「ただの虫」を無視しない農業：総合的生物多様性管理（桐谷 圭治）.....9

農業における生物多様性の機能の活用（田中 幸一）.....18

農地の捕食者の多様性を維持する管理とその機能（馬場 友希）.....28

田畑の生きものを活用した栽培管理（実施事例）

兵庫県豊岡市におけるコウノトリ育む農法の取り組み（成田 市雄）.....37

北海道における施設有機ミニトマト栽培の取り組み（佐伯 昌彦）.....49

佐賀県における大規模有機ミカン作の取り組み（佐藤 睦）.....55

現場で利用できる有機農業技術の研究開発

植物共生微生物の群集構造解析による有機栽培作物の微生物特性の解明（池田 成志）.....63

天敵銀行でハウス栽培の害虫を防除（長坂 幸吉）.....76

山梨県における有機農業研究と圃場の生き物調査

（國友 義博・赤池 一彦・萩原 裕一・長坂 克彦・野沢 一孝）.....83

日 程

11月20日(水)

開会あいさつ

(10:15~10:30)

寺島 一男 ((独)農研機構・中央農業総合研究センター)

山下 一穂 (「有機農業研究者会議 2013」実行委員会)

佐々木 良治 (農林水産省農林水産技術会議事務局)

第1部 有機農業は生物多様性に配慮した農業か

(10:30~12:30)

座長 木嶋 利男 (有機農業参入促進協議会)

話題提供者 桐谷 圭治 ((独)農業環境技術研究所)

「「ただの虫」を無視しない農業：総合的生物多様性管理」

田中 幸一 ((独)農業環境技術研究所)

「農業における生物多様性の機能の活用」

馬場 友希 ((独)農業環境技術研究所)

「農地の捕食者の多様性を維持する管理とその機能」

休憩

(12:30~13:30)

第2部 田畑の生きものを活用した栽培管理(実施事例)

(13:30~15:00)

座長 鶴田 志郎 (有機農業参入促進協議会)

話題提供者

成田 市雄 (森津こうのとりのファーム)

「兵庫県豊岡市におけるコウノトリ育む農法の取り組み」

佐伯 昌彦 (株式会社 マルタ)

「北海道における施設有機ミニトマト栽培の取り組み」

佐藤 睦 (佐藤農場株式会社)

「佐賀県における大規模有機ミカン作の取り組み」

休憩

(15:00~15:15)

第3部 現場で利用できる有機農業技術の研究開発

(15:15~17:15)

座長 本多 健一郎 ((独)農研機構・中央農業総合研究センター)

話題提供者 池田 成志 ((独)農研機構・北海道農業研究センター)

「植物共生微生物の群集構造解析による有機栽培作物の微生物特性の解明」

長坂 幸吉 ((独)農研機構・中央農業総合研究センター)

「天敵銀行でハウス栽培の害虫を防除」

國友 義博 (山梨県総合農業技術センター)

「山梨県における有機農業研究と圃場の生き物調査」

第 1 部

有機農業は生物多様性に配慮した農業か

「ただの虫」を無視しない農業： 総合的生物多様性管理

桐谷 圭治

独立行政法人 農業環境技術研究所

序論

2000年の世界人口は60億、2050年に96億、2100年には109億に達する（国連世界人口白書2013）。さらに世界の栄養不足人口は8億7千万。そのうち5億6300万（65%）がアジアに住む（FAO 2010）。増加する人口を養うためには、食糧生産を2050年には2000年の1.55倍に増やす必要がある（農水省 2012）。イネは世界で1億5千万haに栽培され、生産量は4億8千万t（2013年度）、その90%はアジアがしめている。需要に対して生産量は大きな余裕がなく、5%の不足で価格は2倍になると言う。

2000年代の最初の10年間に、全世界で過度の放牧や森林の過剰伐採で40万km²（日本の全面積37万km²）以上減少した（FAO 2010）。さらに、窒素肥料や化学農薬の使用量の増加、淡水資源の枯渇、気候変動（1の上昇は7%のコメの減収をもたらす）などから、農業生産を抑制する要因は増加している。農地の増加が期待できない中で、激増する人口を養うためには、農業のSave and Grow（節約して増収する）（FAO 2011）を実現しなくてはならない。これがアジアモンスーン地帯の水田農業に課せられた責務である。

これまでの自然保護は、人手が加わっていない自然を守るため、その一部を切り離して囲い込むことであった。そのため農業は自然破壊の最たるものと位置づけられていた。事実、地球温暖化、酸性雨、有機塩素系物質の極地への転流など人間活動がもたらす環境変化が地球の隅々にまで及んでいる。したがって自然保護と農業の関係を敵対的に捉えるのではなく、両者の協調・共存を図りながら持続可能な農業を築いていく必要がある。農地での有害生物の管理（IPM: Integrated Pest Management）と自然保護（保全）の両立を図るものとして総合的生物多様性管理（IBM: Integrated Biodiversity Management）が提案された（桐谷 1998；Kiritani 2000）。これが生産と環境の保全の両立を目指すアジア型持続的農業の姿である（図1）。

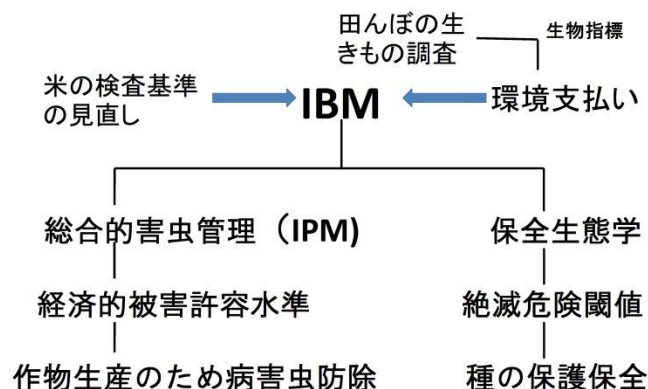


図1 IBMを支える学問分野と社会条件

生物多様性と「ただの虫」

1. 温故知新

「害虫の誕生」(瀬戸口 2009)によれば、日本最初の本格的な国語辞典「言海」(1889-91)では害虫という項目がないそうで、明治初期の新聞記事や公文書を見ても害虫という言葉はほとんど出てこないという。この言葉が項目として辞典に表れ出したのは20世紀になってからである。言い換えれば、かつては害虫も含めすべての虫は「ただの虫」であった。

第2次大戦で熱帯地方での作戦に不可欠であったのは、マラリア対策であった。このマラリアの蔓延予防に使われていた DDT などの殺虫剤が終戦と共に民需に解禁され、農業害虫の防除に利用された。田んぼに農薬を散布することを、農家は「消毒する」と言っていた。作物以外の生物は皆殺しの思想である。消毒というプラスのイメージが過剰な農薬散布を導いたことは間違いない。これらの殺虫剤は劇的な効果を示したので、害虫防除にかかわっていた研究者や技術者は、いずれ害虫がいなくなって、失業するのではないかと真剣に心配したものである。

DDT や BHC などの有機塩素系殺虫剤の特徴は(1)価格が安いこと、(2)広範囲の害虫に効果があること、(3)長期間の残効性があることであった。これらの長所は、逆に(1)農薬の乱用や過剰散布をもたらし、(2)害虫ばかりか天敵や「ただの虫」を殺したばかりか、(3)食品や環境の汚染をもたらした。その結果もたらされたものは、所謂 3R (Resistance 抵抗性、Resurgence 誘導異常発生、Residue 農薬残留)であった。抵抗性の発達は、散布濃度や回数の増加をもたらし、残効性も加わって、水田では天敵を含む多種類の水生昆虫を絶滅の危機に曝すことになった。対策として新しく開発された殺虫剤にも抵抗性が発達するという「農薬と害虫のいたちごっこ」をもたらした。

戦後、サンカメイガは BHC によって絶滅したが、代わって増加したのがニカメイガである(図2)。本種の増加は、戦後の化学肥料の民需転用による施肥量の増加、作期の乱れによる稲の栽培期間の延長などが考えられるが、殺虫剤による卵寄生蜂の寄生率の低下、また西日本ではサンカメイガとの競争圧の減少なども無視できない。

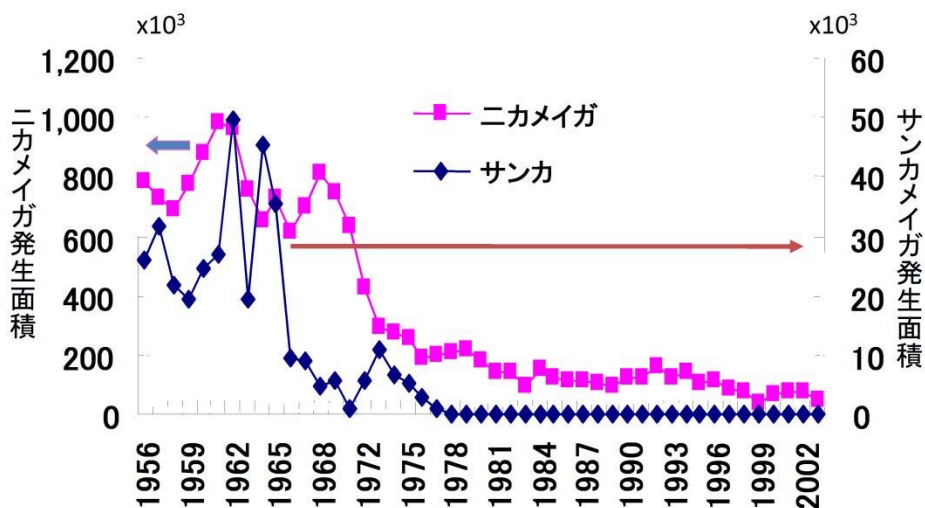


図2 サンカメイガとニカメイガの発生面積の年次変化。
左軸はニカメイガ、右軸はサンカメイガ

表 1 ニカメイガの減少をもたらした耕種的要因

要因	影響を受けた世代・発育段階	導入年
稲の早期栽培	越冬幼虫の発育不良	1955
穂重型から穂数型への転換	第 1、2 世代の幼虫生存率	1955
BHC 粒剤の使用	第 1、2 世代の幼虫生存率	1960
ハウス栽培への敷き藁利用	越冬幼虫の生存率	1960
中生稲の収穫の 2~3 週間の早期化	越冬幼虫の生存率	1960
ケイカル施用量が 2~3 倍	第 1、2 世代の幼虫生存率	1965
コンバイン収穫機と稲藁の焼却	越冬幼虫の生存率	1965
機械植えと農薬の苗箱施用	第 1 世代の幼虫生存率	1970

「コメー俵増産」運動に動員された一連の耕種技術が予想外のニカメイガの低密度化をもたらした（表 1）。なかでもイネの早植えが大きな影響を与えたことが、その導入が日本よりおくれた韓国、台湾、中国でも、減少が数年ないし 10 数年の相応の遅れで起こっていることから伺える。また発生がピークから最少になるまでに 12~14 年を要している（Kiritani 1990）。同様に、害虫から「ただの虫」への例では、導入天敵による侵入害虫の生物的防除がある。例えばオオミノガ、ルビーロウムシ、イセリアカイガラムシ、クリタマバチなどが有力な捕食性寄生バチの侵入や導入によって、「ただの虫」になっている。半世紀前にはごく普通にみられたヒトノミ、トコジラミなども人間の生活様式の変化によってその生息環境が不適になり、希少種になっている。これらの事実は、害虫も絶滅をもたらすことなく「ただの虫」の密度に下げうることを示している。

塩素系殺虫剤は、害虫ばかりでなく天敵も非選択的に殺すために、それまで天敵によって「ただの虫」ととどめられていた種が、天敵から解放されて高密度になり、害虫化する。この現象をリサージェンスまたは誘導異常発生という。ニカメイチュウの防除に著効を示した BHC は、クモ類にはそれ以上に高い毒性を示す。その結果ニカメイチュウの被害は軽減されたが、クモ類に抑えられていたツマグロヨコバイの激増を西日本各地でもたらした。小さいツマグロヨコバイを殺すには、ニカメイチュウの 4 倍、大型のコモリグモの 100 倍量の BHC が必要である。ツマグロヨコバイはイネのウイルス病、イネ萎縮病を媒介するため、関東以西ではニカメイガに代わる大害虫となった。殺虫剤によって生物多様性が壊され、温帯アジアではヨコバイが、熱帯アジアでは後述のウンカが、「ただの虫」から害虫化したのである。

1960 年代はハスモンヨトウが畑地でしばしば大発生していた。これは BHC によるニカメイガの防除が、水田に生息するコサラグモ類を殺した結果であることがわかった。休閑田や畦畔で越冬したコサラグモは、5 月末になると一斉に吐糸分散する。畑に定着した個体は、ハスモンヨトウの孵化幼虫集団を襲う。梅雨明けと共に畑地は高温乾燥条件になり好湿性のコサラグモは一斉に水田に移動する。クモから逃れたハスモンヨトウは、秋口に大発生をする。BHC によるニカメイガ防除が、図らずも畑地でのハスモンヨトウの大発生をもたらしていたのである。

アジアの熱帯圏では、1960 年代初めに国際イネ研究所（IRRI）が育成した高収量品種 IR8 が放出され、この種もみと化学肥料、殺虫剤がパッケージとして普及した。このいわゆる「緑の革命」は飛躍的な食料の増産（1965~2010 間に 2.9 倍で人口増加率を上回る）をもたらしたが、殺虫剤によって天敵相が破壊され、それまで温帯圏の日本と韓国以外では害虫として知られていなかったトビイロウンカの大発生をもたらした。その後いくつかのトビイロウンカ抵抗性品種が開発されたが、栽培開始後、数年でそれらの抵抗性品種を加害できるウンカ系統が出現し無効化した。

本種の大発生は 1970 年代、1990 年代にインドから韓国を含むアジア諸国で起こり「緑の革命」を脅かしている。さらに 2005 年になってハイブリッド米の普及により、セジロウンカ、ヒメトビウンカがこれに加わり、中国をはじめ熱帯アジア全域を脅かすに至った。ネオニコチノイド系の殺虫剤イミダクロプリドに対し、1990 年代初めに比べ 1000~2000 倍の抵抗性が発達したからである。これらのイネウンカ類は気流に乗って移動する。日本に飛来したヒメトビウンカは日本土着のフィプロニル抵抗性個体群と交雑し、両薬剤に抵抗性の個体群が九州では見られる。同時に西日本や韓国でのイネ縞葉枯病の発生を 2008~9 年にもたらした。またセジロウンカが媒介するイネのウイルス病(南方イネ黒条萎縮病)ももたらされている(寒川 2010、Bottrell & Schoenly 2012、NARO 2012、Islam et al.2013)。

2. 「ただの虫」の登場

「ただの虫」をインターネットで検索してみた。「ただの虫を無視しない農業」 桐谷 2004 を出版した年はわずか 500 件だったのが、7 年後の 2011 年には 1000 万件前後に増加し、急速に学問の分野でも認知されつつある。

桐谷が『婦人の友』誌 1972 年 2 月号に「総合防除とは害虫を「ただの虫」にすることである」と書いたのが「ただの虫」の初登場である。これに引き続いて、桐谷(1975)は日本農薬学会の設立記念号でこれからの農業は農地生態系の(生物)多様性・安定性・生産性をいかに両立・適正に管理するかが中心課題になると指摘している。食植性昆虫は 2 つの顔を持っている。トノサマバッタは、平時は「ただの虫」(孤独相)に過ぎないのが、大発生すると何千万の個体が群飛群生相をして農作物を食い荒らす。またどんな農薬にも不死身な昆虫も、一匹では「ただの虫」に過ぎない。「田んぼの生きもの全種リスト」(桐谷編 2010)によると、総数 5668 種のうち、水田生態系における昆虫・クモ類は、1867 種に上る。そのうち害虫は 177 種、益虫は 155 種で、差し引くと 1535 種、82.2%が「ただの虫」に入り圧倒的シェアをしめている。

アジアにおける水田を中心とした節足動物相(昆虫、クモ類を含む)の報告を表 2 に示した。調査方法や目的が異なるため相互の比較は困難であるが、全体を通じての結論は、ある地域を対象とした場合、約 600 種の存在が期待され、そのうち植食性は 30%、捕食性と寄生性をあわせた天敵は 50~60%、腐食性は 10~20%とみなせる。植食性のうちイネを加害する種は 1/3 の 10%、実害をもたらす害虫はさらに少なく 600 種のわずか 1%に過ぎない。

田んぼでクモ類の捕食活動を徹夜で観察すると、夕刻から捕食活動が盛んになり、コモリグモの食物メニューの 7、8 割をヨコバイが占めていた。コモリグモ孵化幼生にツマグロヨコバイを与えて飼育したが、成虫にまで発育しない。ところが水田にいるユスリカなどの「ただの虫」を餌に加えてやると成虫になる。また雌成虫も、ツマグロヨコバイだけでは、産卵数は少ないが、幼生と同様に混合餌を与えると産卵数は飛躍的に増える。天敵が有効に働くためには「ただの虫」をふくめた多様な昆虫相が餌として必要なのである。

表2 アジアの水田生態系の節足動物相

国名	報告者	総種数	植食性	捕食性	捕食寄生性	腐食性	注
バングラ ディシュ	Islam et al. 2003 Islam & Catling 2012 Catling 1980	355 612 369	35 43.5 20.3	33 26.6 12.3	32 29.9 24.6	- - 42.6	浮きイネ
インドネシ ア	寒川 2010 Settle et al. 1996	835 765	21 16.6	37 40	23 24.4	19 19	FAO、IPM project Java 中部
日本	小林ら 1973 桐谷編 2010	567 1867	47.4	18	26.6	7.9	水生昆虫は除く 害虫9.5%、天敵8.3% ただの虫82.2%
韓国	Bang et al. 2009	388					
ラオス	Rapusas et al. 2006	748	31.1	35.6	25.5	7.8	1995年に57圃場
フィリピン	Barrion et al. 1994	212 142	46.2	45.6	(寄生性 も含む)	8.1	IRRI圃場無処理区 IRRI圃場農薬散布区
スリランカ	Bembaradeniya et al. 2004	494	26.3	49.3	(寄生性 も含む)		
平均		612	31	28	26	16	

3. 総合防除と IPM

農薬一辺倒の病虫害防除は 3R などの弊害をもたらした。その反省として提示されたのが総合防除 (Integrated Control) で「あらゆる適切な技術を相互に矛盾しない形で使用し、経済的被害が生じるレベル以下に害虫個体群を減少させ、かつその低いレベルを維持する為の害虫個体群の管理システム」である。これは日本では 1960 年代後半から提唱されているが、広く受け入れられるようになったのは 1980 年代後半からである。総合防除では、害虫も天敵が生存するための必要条件であり、害虫を撲滅するのではなく「ただの虫」にすることによって「害虫との共存」をめざす。しかし初期には、まだ農薬などが環境に与える影響についての配慮は不十分で、定義に「農薬を含む各種防除手段による農地生態系内外への弊害を最小限に抑える」(桐谷・中筋 1972) を含める立場は見られなかった。総合防除は、やがて総合的害虫管理 (IPM: Integrated Pest Management) に引き継がれ、現在ではより広く総合的病虫害雑草管理あるいは総合的有害生物管理とよばれている。なお防除と管理の違いは、「防除」は主要害虫 キーペスト の密度を抑える一方的な作用の方向を示す言葉であるが、防除による環境影響も考えた農地生態系の最適化が「管理」の考えである。

IPM は 1950 年代末にカリフォルニア大学の人達が提案したのがその始まりである。後述のように、米国農業の経営規模は日本の 100 倍も大きく、その発想基盤が異なる点に留意する必要がある。したがって IPM では、経済的被害許容水準 (EIL)、要防除密度、重要害虫、費用 / 便益 比などの経済的概念がキーワードになっている。サンカメイガのように、害虫が IPM の過程で絶滅しても、害虫であるがために問題にしない。また害虫の少ない時期に害虫に代わって天敵の餌になるユスリカなどの「ただの虫」や水生昆虫の保護管理については積極的な保全努力は払われてこなかった。IPM も生産を最終目的とする農地生態系ではしばしば自然保護、保全と対立する。

これまでの IPM は、一作期、個人圃場単位が中心の「戦術的 IPM」で、50%減農薬のように数値目標がしばしば掲げられる。しかし IPM のもう一つの要素、すなわち広域かつ長期にわたって

害虫密度を経済的被害がもたらさない水準に保持・管理する「戦略的 IPM」の視点が希薄であった（表 3）。ここでは先に述べたニカメイガの非意図的 IPM の成功でみたように、効果が広域的かつ持続的な耕種条件や天敵が重視される。

1970 年頃から導入された減反政策で、イネの作付面積は 345 万 ha から 170 万 ha に半減している。かつて全国には 30 万近くあったため池が、1989 年には約 21 万に減少して、水生昆虫の生息場所の減少に追い打ちをかけている。減反と乾田化（1945 年頃は 1/3 が湿田）、灌漑システムの近代化がいかに水生生物の生存を脅かしているかは、この数値の推移からも想像できる。またコメ余りによる減反がもたらした休耕田は、カメムシ類の繁殖場所となり、その加害による斑点米はコメの品質低下をもたらし、農薬散布を不可欠にしている。

表 3 戦術的 IPM と戦略的 IPM 及び IBM との関係

	戦術的 IPM	戦略的 IPM	IBM
対象	現在の重要害虫(キーペスト)	潜在的害虫も含む害虫・天敵・ただの虫	絶滅危惧種を含むすべての生物
時空的単位	1 作期・個別圃場	長期・広域 時間的遅れも含む	長期・里地里山
個体群密度の閾値	経済的 economic 被害許容水準 (EIL)、要防除密度	生態/環境 Ecological/ Environmental 被害許容水準	生態/環境学的被害許容水準に加え、絶滅閾値の導入
目的	減農薬、被害防止(費用・便益比の重視)	「ただの虫」化する	大発生も絶滅もないただの虫の世界
主な防除・管理手段	農薬、物理的手段、品種	自然制御力の活用(耕種的手段と天敵)、フェロモン	左と同じ

4. 安心・安全な農業とは

世間では食品の安心・安全の声が高い。しかし安心・安全は消費者と生産者だけのものではない。農地にいる多くの生物たちにとっても安心・安全な環境であることが望ましい。絶滅の危険を伴う極端な低密度と同様に害虫の大発生は、昆虫にとっても異常なのである。もしわれわれが、害虫を含むすべての生物の密度を異常でない普通の範囲、「ただの虫」として管理できれば、使用する農薬も必要最小限になり、消費者、生産者、農地の生物にとっても安心・安全な環境が出現する。

自然保護の立場では、危急種や希少種の密度を絶滅閾値(密度)以上に高め維持することが要求される。しかしタガメの例でも分かるように、増えすぎると逆に害虫(養魚場の)になる。したがってその密度が被害許容水準を越えないように管理する必要もある。害虫についても同様である。このような管理法を IBM という(図 3)。ここでは生態系内のすべての生物との積極的な共存がそのキーワードである。

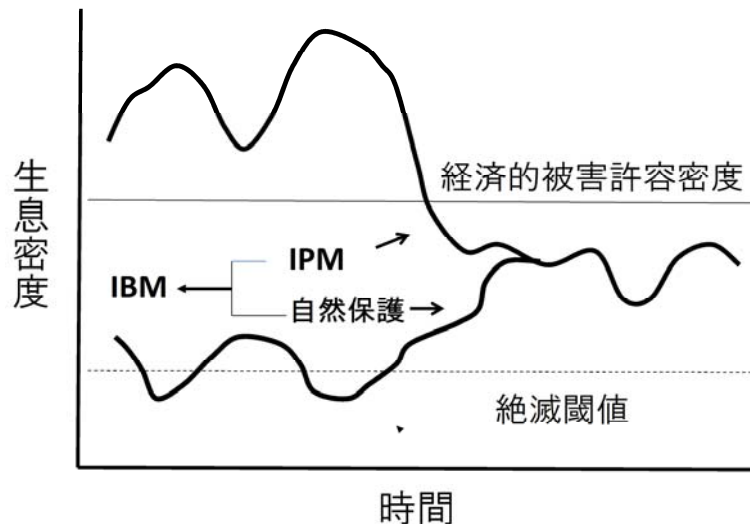


図3 生物の個体群密度を管理する場合の IPM、自然保護並びに IBM の関係
IBM は図の右の領域になる。

5. IBM の実行と今後の課題

(1) IBM の時間・空間的基準

日本国土の 4 割を占める里地・里山は、水田、林地、草地、畑作地、果樹園、ため池などの複数の生態系から構成され、適度な人為的攪乱によって形成・維持されているランドスケープである。ここには絶滅危惧種の 5 割が生息する。

田んぼの生きものも、水田以外の多様な生息場所をその生活環で利用している。攪乱の大きい田畑では、そこに住む生物は外部からの移入と移出を生活史の重要な行動的側面としてもっている。面積が小さいほど、周囲長は相対的に大きくなり、移出入の比重が大きくなる。それに伴い田畑の周囲の環境が大きい影響を与える。これは害虫にも天敵にも当てはまる。天敵は害虫の後から田畑に侵入する。大面積では両者の侵入の時間差と移動能力差によって、害虫の天敵からのエスケープがおこり、しばしば大発生がおこる。

欧米で農地の生物多様性が強調されるのは、大面積での作物の単一栽培条件からくる天敵などの多様性の貧困化である。いわば構造的な原因である。これに対し日本では小面積における化学肥料と農薬の多投による集約的栽培がもたらした生物多様性の崩壊で管理システムに根差している。

農地の所有面積の比較を日本、欧州、米国間ですると、それぞれ 2ha、40ha、200ha となり、オーストラリアやブラジルは日本の 1000 倍といわれている。いま仮に 200ha（一辺 1400m の正方形）を日本の農業地域にあてはめると、里地・里山のすべての要素がモザイク状にその区画内に見られる場合が少なくない。したがって生物多様性を国際間で比較議論する場合には、例えば面積の基準を 1km^2 （100ha）を単位として論じることで、米国などの 1、2 品目の単一大規模栽培と異なり、アジアの水田を中心とする里地・里山が IBM を実行する空間的国際基盤として説得力をもつ（図 4）。

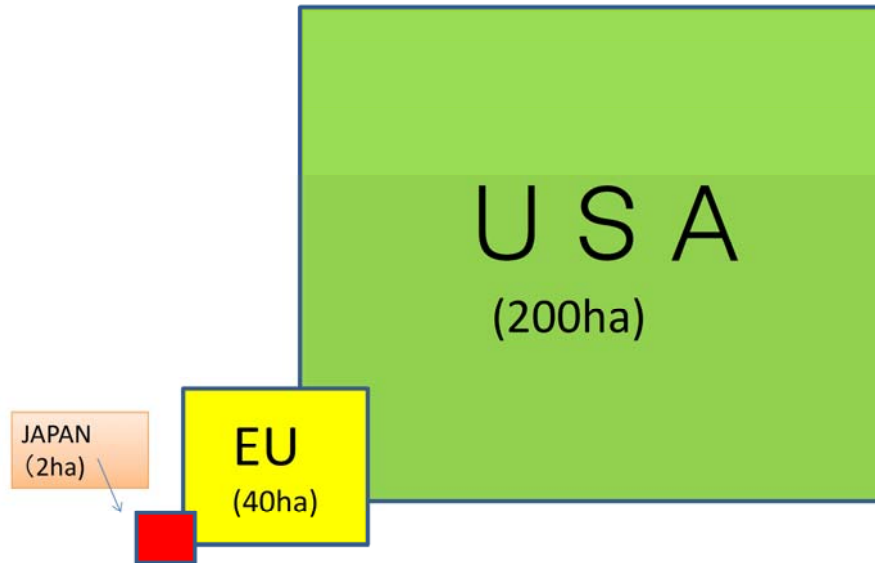


図4 農地の所有面積の欧米日間の比較

(2) IBM の基盤としての多様性・異質性の維持・管理

生物多様性の基礎となるものは、遺伝子、種、生態系の各レベルの多様性である。すなわち遺伝子レベルでは、品種、耐虫性・耐病性、作物の補償能力などが、種レベルでは、捕食者、捕食寄生者、花粉媒介虫、「ただの虫」の種数と個体数が、生態系レベルでは生物間の相互作用、土地利用の在り方、人為的攪乱の程度などが多様性を左右する。

水田は食料生産の場であるとともに、自然湿地の代替地である。系の持続性を重視し、収量第一主義をとらない。そのためには水田の内外に、種の生存に必要な生息場所のセットと補給源を移動可能範囲内に確保することも必要である。IBM の実行にはハードとソフトの両面がある。肥培管理や有害生物管理手段の適切な選択と適用が不可欠で、有機農業で開発された手法が柱となる場合も少なくない。耕種的手法を中心に土着天敵、抵抗性品種を利用する IPM を確立し、天敵や「ただの虫」に影響の少ない選択的農薬を必要最小限に使用する。また水生生物の生息・産卵場所としての水田雑草の役割を評価する必要がある。防除費用と増収効果の比較で設置されてきた経済的被害許容水準も、作物の補償能力ばかりか、「害虫なしには天敵なし」の認識に立って、「ただの虫」の密度も考慮して、より高い被害許容水準の設定努力が必要である。IBM の実行によって、すべての生物との共存が実現すれば、本当の意味での安心・安全かつ持続的な農業が成立する。

水田の用排水路はパイプライン化、コンクリの 3 面張り、排水路のコンクリ化も、直線化をさげ、屈曲や水深、幅の異なる部分を作って変化をつける工夫が必要となる。また魚類保護には、水路と田面の水位の大きな落差は避けなければならない。このようなハードの面の見直しと、耕起、中干し、湛水管理、施肥などのソフト面も見直し、改善する必要がある。これらを生態工学的に総合化するのも IBM の任務である。

(3) 社会的支援と総合化

水田生態系の IBM をすすめるためには、農家のみならず、一般市民の生物多様性への理解も欠かせない(図 1)。さらに政策的には多様性を高める行為に対して、直接支払いのような経済的支援も必要になる。そのためには、農家個人や NPO などの参加による「たんぼの生きもの調査」

を実施し、「生物指標マニュアル」（農水省 2012）などを利用して、田んぼの生物多様性を数値化し、環境支払いによる IBM の支援を図る必要もある。現在カメムシ防除のために殺虫剤散布を余儀なくされている地域も多いが、コメの品質基準を見直す事によって農薬散布も大幅に減少し、IBM に大きく貢献できる。また教育課程にも取り入れることによって、自然を見るまなざしを養う努力も必要である。序論でも述べたように、より少ない資源投資で食糧の増産を図るためには、科学的な根拠に基づいた IBM や有機農業の深化とともに、社会的な支援も不可欠である。総合的生物多様性管理の基礎はここにある。

参考文献

- Kiritani, K. (2000) Integrated biodiversity management in paddy fields: Shift of paradigm from IPM toward IBM. *IPM Review* 5:175-183.
- 桐谷圭治 (2004) 「ただの虫」を無視しない農業：生物多様性管理. 築地書館、東京、pp.192.

農業における生物多様性の機能の活用

田中 幸一

独立行政法人 農業環境技術研究所

はじめに

近年、地球上に生存する生物の中で、絶滅する種の数が増加して、生物多様性が失われており、生物多様性の保全は、21世紀の最重要課題の一つとして位置づけられている。では、なぜ生物多様性を保全する必要があるのか。それは、すべての生物（生命）には生存する権利がある、という倫理的な理由もあるが、生物多様性は私たちにとって価値があり、生物多様性や生態系から恩恵を受けているからである。農業もまた、生物多様性や生態系から恩恵を受けて成り立っている。したがって、農業においても、生物多様性を活用すべきであり、とくに有機農業など環境保全型農業（環境にやさしい農業）においては重要である。

本稿では、まず生物多様性の価値について簡単に説明し、次に農業における生物多様性とその活用について考えを述べ、さらに環境保全型農業の効果を表す生物多様性の指標となる生物とその活用について紹介する。

1. 生物多様性とその価値

現在、地球上の生物の種数は、正式に学名の付けられた記載種だけで約200万種、未発見・未記載種を含めると1000万種、3000万種などの見積りがされている。しかし、この100年ほどの間に、絶滅する種の数が増加している。地球規模の大量絶滅期は過去5回あり、5回目の絶滅期は中生代白亜紀の恐竜などが含まれるものとしてよく知られている。現在の絶滅速度は、それらの1000倍以上というものであり、深刻な問題となっている。そのような背景から、1992年にブラジルのリオデジャネイロで開催された国連環境開発会議（地球サミット）において生物多様性条約が採択された。生物多様性条約では、生物の多様性（biological diversity）を、「すべての生物の間の変異性をいうものとし、種内の多様性（遺伝子の多様性）、種間の多様性および生態系の多様性を含む」と定義している。つまり、さまざまな階層における生命の変異性（多様性）、ととらえることができる。

わが国においては、生物多様性という言葉は、2010年10月に名古屋で開催されたCOP10（生物多様性条約第10回締約国会議）をきっかけに、急速に普及したようだ。一方で、生物多様性とは何か、また何の役に立つのか、よく分からないという声も聞かれる。その原因として、上記のようなさまざまな階層における多様性を対象とすることと、生物多様性に関する価値や価値観が多様であることが考えられる。では、生物多様性には、どんな価値があり、何の役に立つのだろうか。

私たちは、生物や生態系からさまざまな恩恵を受けて生活している。そのような恩恵を生態系サービスと呼び、それに生物多様性が重要な役割を担っている（表 1）。食糧や衣料、医薬品などの多くを生物から得ており（供給サービス）、それらの遺伝資源の利益配分は COP10 での主要な議題の一つであった。また、気候調整、洪水制御、水の浄化など（調整サービス）の役割も果たしている。

表 1 生態系サービス（国連ミレニアムエコシステム評価，2005）

分 類	例
基盤サービス	栄養塩の循環、土壌形成、一次生産など
供給サービス	食糧、淡水、木材および繊維、燃料など
調整サービス	気候調整、洪水制御、疾病制御、水の浄化など
文化的サービス	審美的、精神的、教育的、レクリエーション的など

しかし、そのために何百万種もの生物が必要なのか、有用なものだけいけば良いのではないか、と思われるかもしれない。この疑問に対する答として、二つのヒントがある。一つは、生物の種を飛行機の翼などを留めるリベットに例える考え方である（リベット仮説という）。リベットは 1 本くらい抜けても、飛行に支障はないであろう。しかし、何本も抜け落ちたら、きわめて危険になる。自然界の種も 1 種くらい絶滅しても、人間や多くの生物にとっては、問題ないかもしれない。しかし、何種も絶滅すると、大きな問題が起こる可能性があり、そうなる前に絶滅を食い止める必要がある。もう一つのヒントは、潜在的利用価値という考え方である。私たちが利用している生物資源は、非常に限られている。たとえば、食糧の 90% はわずかに約 100 種の植物から得ているだけである。また、医薬品の約 40% は生物由来のものであるが、有効性が発見される生物は数多く眠っているであろう。しかし、有効性が見つかる前に絶滅した種や絶滅しつつある種も多数いるに違いない。

2. 生物多様性国家戦略

1992 年の地球サミットで生物多様性条約が採択され、わが国は翌年同条約を締結して発効した。同条約に基づいて、1995 年に生物多様性国家戦略が作られ、2002、2007、2010 年の改定を経て 2012 年に生物多様性国家戦略 2012-2020 が策定された。この中で、生物多様性を脅かす 3 つの危機として、第 1 の危機（人間活動や開発による危機）、第 2 の危機（自然に対する働きかけの縮小による危機）、第 3 の危機（人間により持ち込まれたものによる危機）があげられている。第 2 の危機の典型は、里山の荒廃による生物多様性の損失である。里山を形成する農地、薪炭林、草地、ため池などは、人間の活動により維持されてきたが、農業の近代化・後継者不足や生活スタイルの変化により、これらの管理がされなくなり、また農地自体も耕作放棄地が増えている。それに伴って、このような生息場所に依存する多数の生物が絶滅危惧種となっている。第 3 の危機は、外来生物の問題であり、また農薬などの化学物質も含まれる。これら 3 つの危機に

加えて、2007年版（第3次生物多様性国家戦略）では、地球温暖化による危機があげられ、最新版（2012年）では、さらに範囲を広げて「地球環境の変化による危機」としている。また、最新版は、COP10で採択された「愛知目標」達成のためのロードマップを示すとともに、東日本大震災を踏まえた今後の自然共生社会のあり方を示すことを目的として改定されたものである。

3. 農業に役立つ生物多様性

農業も生物多様性や生態系の恩恵を受けて成り立っている。農業は、植物（作物）や動物（家畜）を育てるものであるから、生物の恩恵そのものであるが、それら以外の生物からの恩恵も受けている。それでは、農業における生物多様性の働き（機能）は何か。まず、作物や家畜の品種の元となる遺伝資源（野生生物）があげられる。また、有機物の分解を行うミミズなどの土壌生物や微生物も重要な働きをしている。受粉を行うミツバチやマルハナバチなどの花粉媒介昆虫は、多くの果樹や果菜類が実るためには、なくてはならない生物である。さらに、寄生蜂やクモなどの天敵生物は、害虫を減らすのに役立つ。しかし、それにはそんなに多様な生物が必要なのか、少数の精鋭がいれば良いのではないか、そもそも農地にそんなに多様な生物がいるのか、という疑問がわくかもしれない。そこで、害虫防除に働く天敵を例として、その働きを紹介しよう。詳細は、田中（2003, 2009）や安田ら（2009）を参照されたい。

まず、農地の生物種数については、1950年代に徳島県の水田で調べられた例があり、昆虫とクモが450種以上も確認された（小林ら, 1973）。その中では、どんな種類が多かったであろうか。害虫などのように、植物を食べる種類（植食者）が多いと思われるかもしれない。しかし種数の内訳をみると、他の昆虫などを食べる種類（捕食者）と昆虫などに寄生する種類（寄生者：正確には捕食寄生者という）が多く、両者を合わせて全体の半数以上（55%）を占めた。そして、植食者が34%、土壌中や水中の有機物など腐食物を食べる種類（腐食者）が11%であった。同様の結果は、インドネシアの水田でも得られており、捕食者と寄生者を合わせて64%を占めた（Settle et al., 1996：詳細は後述）。これらの結果から、天敵となりうる生物が実に多種類生息していることが分かる。

これらの多様な生物は、それぞれが独立して生活しているわけではなく、互いにつながりをもって生きている。このようなつながり（生物間相互作用）をもつことによって、多様な生物の生存が可能になる。そこで、生物間相互作用を念頭において、害虫防除と生物多様性の関わりを考えてみる。生物多様性が害虫防除効果を高める仕組みとして、（1）多様な天敵の効果、（2）ただの虫の効果、（3）多様な植物の効果があげられる。

(1) 多様な天敵の効果

1 種類の作物にも多種類の害虫が加害する。そのため、それらの害虫を防除するためには、多種類の天敵が活躍する必要がある。たとえばキャベツには、コナガの幼虫、アオムシ（モンシロチョウの幼虫）、アブラムシ（モモアカアブラムシやダイコンアブラムシ）など多くの害虫が加害する。これらの害虫の天敵として、コナガには、寄生蜂（コナガサムライコマユバチやコナガチビヒメバチなど）や捕食者（クモ類やゴミムシ類など）が、モンシロチョウの幼虫には、別の

種類の寄生蜂（アオムシコマユバチなど）や捕食者（アシナガバチ類など）が、アブラムシには、アブラムシ専門の寄生蜂（アブラバチ類）や捕食者（ナナホシテントウなど捕食性のテントウムシ類やヒラタアブ類の幼虫、クサカゲロウ類の幼虫など）がいる。このように、害虫が異なれば天敵も異なるため、多種類の害虫を防ぐには多種類の天敵が必要になる。

さらに、異なる天敵は、害虫の異なるステージ（卵、幼虫、蛹など）を攻撃することによって、防除効果が高まる。たとえばコナガでは、卵に対してはメアカタマゴバチなど卵寄生蜂が寄生するが、当然すべての卵が寄生されるわけではないので、生き残った個体は孵化して幼虫となる。しかし、幼虫に対しては、クモ類やゴミムシ類などの捕食者が捕食したり、コナガサムライコマユバチなどの寄生蜂が寄生したりして、さらに個体数が減る。また、蛹に対しては、コナガチビヒメバチなどが寄生し、鳥などの捕食もあるであろう。さらに、成虫は、網を張るクモに捕えられ、カエルなどにも捕食される。コナガは、1匹の雌成虫が100個以上の卵を産み、これがほとんど生き残ったら大変なことになる。しかし、多数の天敵が活動する環境では、ほとんどの個体は天敵などによって死亡するため、そのようなことが起こらないのである。さらには、天敵同士が協力して防除効果を高める場合すらある。もっとも、天敵同士は、協力しようと意図しているわけではなく、見かけ上の協力である。詳しいことは、本研究者会議で馬場友希氏が紹介される。

しかし、うまく働く場合だけでなく、時には逆効果の場合もある。捕食者は、害虫だけでなく別の捕食者も食う（ギルド内捕食という）。そのため、高い害虫防除効果をもつ捕食者が他の捕食者に食われると、全体としての防除効果が下がってしまうことがある。生息する生物間の関係を詳しく調べることが重要である。

(2) ただの虫の効果

害虫は作物を植えた後にやって来て、しだいに個体数が増える（増殖する）ことが多い。いったん害虫が増えてしまうと、その後に天敵が来ても間に合わない。なぜかといういと、害虫となっている種類は、一般に増殖する速度が大きいからである。そうすると、天敵によって害虫を防ぐためには、害虫が増える前に天敵が増える必要がある。そのためには、天敵にとって害虫の替わりになる餌が重要であり、このような餌を代替餌と呼ぶ。代替餌として重要なのが、ただの虫（害虫でも益虫でもない虫）である。水田のユスリカや畑のトビムシなど腐食者がただの虫の代表である。これらは一般に早期に増え、これを餌として天敵が増えて害虫を迎え撃つと、防除効果を発揮することができる。

このような、ただの虫の効果を示そうとした研究が報告されている。セトルら（Settle et al. 1996）は、インドネシア・ジャワ島中部の水田地帯において、昆虫を中心とした群集を調査した。この地域は、農家や圃場によって、イネの作付時期が異なるため、地域内に色々な生育期のイネが存在する（水稲非同期栽培地域）。熱帯の非同期栽培地域では、天敵は周囲からの移入によって初期密度が高く、害虫の増殖を抑制することが知られている。彼らは、採集した700種以上の種を、植食者、腐食・プランクトン食者、捕食・寄生者というグループに分け、それらの発消長を調べた。前述したように、種数では捕食・寄生者が最も多く64%（捕食者が40%、寄生者が24%）を占めた。そして、重要な点はそれぞれのグループの発生時期であり、初めに腐食・プラ

ンクトン食者が増え、次にそれらを食べる捕食者が増え、害虫を含む植食者が増えるのはその後であった（図 1）。さらに、腐食・プランクトン食者の効果を確認するため、厩肥を付加する実験区を設けたところ、厩肥の付加によって、腐食・プランクトン食者が増え、さらに捕食者も増加したことから、腐食・プランクトン食者に依存して捕食者が増加することが示唆された。わが国の水田においても、ユスリカの個体数が多い水田では、クモなどの個体数が多い傾向があることが報告されている（日鷹, 1990; 村田, 1995）。

畑地においては、土壌に生息するトビムシやダニが代替餌として重要なことが示唆されている。ケンタッキーのキュウリ・カボチャ畑において、堆肥を施用することにより腐食者（トビムシ、ダニ）の密度は 3~4 倍に増加し、捕食者（ゴミムシ、コモリグモ）の密度も増加した（Haraj and Wise, 2002）。しかし、害虫（ハムシ、カメムシ）および果実収量への効果は、はっきりしなかった。また、マイアミのダイズ畑における堆肥と耕起の影響に関する圃場実験では、堆肥施用によって腐食者（主にトビムシ）および捕食者（クモ）の密度が増加し、ダイズ葉の食害面積が減少した（図 2）。しかし、害虫であるマメコガネ、インゲンテントウ、バッタの 1 種の密度には有意な効果がなく、食害面積減少のメカニズムは不明であった（Rypstra and Marshall, 2005）。

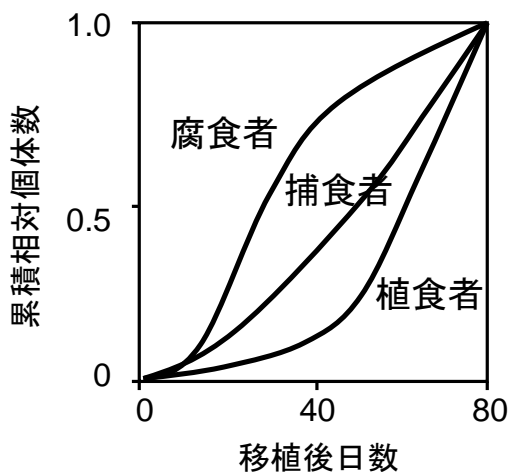


図 1 ジャワ島の水田における各グループの発生時期. Settle et al. (1996)を改変(田中, 2009)。

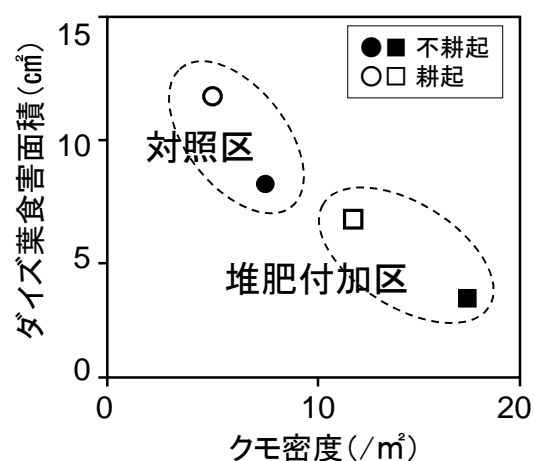


図 2 堆肥付加区と対照区におけるクモ密度とダイズ葉被害の関係. Rypstra and Marshall (2005)を改変(田中, 2009)。

これらの例をみると、堆肥など有機物を施用すると、腐食者や捕食者の増加に対しては明らかな効果があるが、それが害虫の増殖抑制や作物の被害軽減までは効果が及ばない、あるいは効果ははっきりしないようだ。この点を明らかにするためには、天敵密度が害虫抑制に効果があるレベルまで増加したか両者の関係を十分検討する必要がある。

(3) 多様な植物の効果

多様な植物の効果としては、一つの圃場の中に複数の作物を栽培する混作、あるいは圃場の外縁などに天敵の餌となる花蜜・花粉を供給する草花や代替餌を供給する植物を植えるなどの方法によって、害虫密度が下がったり天敵が増加したりする効果があげられる。

混作によって害虫密度が下がる事例のあることが知られていたが、リッシュラ（Risch et al., 1983）とアンドウ（Andow, 1991）は、多くの研究例をレビューし、農作物の単一栽培（monoculture）と複数種栽培（polyculture：複数種の作物の混作（intercropping）および雑草など作物以外の植物と一緒に栽培すること（weedy culture）を含む）とを比較してどちらで害虫の個体数が多くなるかを解析した。それぞれ、198種および287種の害虫のうち、50%あまりの害虫種は複数種栽培の方が個体数が少なくなったのに対し、逆に複数種栽培で個体数が多くなった種は約20%であった（残りの約30%は違いがない、または両方の場合があった）。これらの結果は、農業生態系のようなきわめて単純な生態系では、作物や植物の多様性が高い方が害虫個体群を抑制することを示唆している。

圃場の外縁などに植物を植えて天敵を増やす技術は、とくに西ヨーロッパで開発が進んでいる。これは、天敵の生存や繁殖、行動などを高めるように生息環境を変える生息場所管理（Landis et al., 2000）の一つであり、土着天敵を保護することによって害虫を防除することを目指す保全的生物的防除（conservation biological control）のための技術である。具体的な例として、畑の外縁に牧草や植物を植えることによって天敵の住み場所を提供する、花蜜や花粉の豊富な草花を植えることによって寄生蜂や捕食者（ヒラタアブ、ヒメハナカメムシなど）に花蜜・花粉を供給して天敵の個体数が増え産卵数も増す、天敵の餌になる昆虫（その畑の害虫にはならない）が増える植物を植えることによって天敵が増える、畑の中に雑草を植えた土手（ビートルバンク, beetle bank）を作りゴミムシなど徘徊性捕食者の越冬場所を供給する、など色々な技術が開発されている。わが国においては、生息場所管理の研究や技術開発は始まったばかりであるが、ナス畑の外縁にソルゴーやオクラを植える方法（インセクターリープラント）、ダイズの畝間にオオムギを植える方法（リビングマルチ）などが開発され実用化されつつある（大野, 2009; 小野・城所, 2009）。どちらも作物の害虫とはならない種類のアブラムシなど代替餌を供給して、それによって増えた天敵がナスやダイズの害虫を防ぐ効果が示されている。ハウスでバンカープラント（天敵銀行）を用いて天敵を増やす方法については、本研究者会議で長坂幸吉氏が詳しく紹介される。

4. 環境保全型農業の効果を表す指標生物

前述のように農業生態系にも、多種の生物が生息する。しかし、農業の近代化は化学物質など環境に負荷を与えるため、里山における農業の衰退とともに、環境や生物多様性に負の影響を及ぼす。環境負荷を軽減するため環境に配慮した農業は、環境保全型農業と呼ばれ、その推進が図られている。

このような農業は、農業生態系に生息する生物や生物多様性を保全する効果があると考えられる。しかし、その効果を定量的に評価した研究はほとんどなかった。第3次生物多様性国家戦略（2007年）の中には、農林水産関連施策を効果的に推進するうえで生物多様性指標の開発が必要

であることや、農林水産業が生物多様性に果たす役割を解明し、国民的・国際的な理解を深めることを推進することが明記されている。同年に策定された農林水産省生物多様性戦略の中にも、同様のことが記されている。このような背景を受けて、2008～2011年度に、農林水産省委託プロジェクト研究「農業に有用な生物多様性の指標及び評価手法の開発」が実施された。終了時には、プロジェクトの成果として、「農業に有用な生物多様性の指標生物調査・評価マニュアル 調査法・評価法」および「同 資料」（農林水産省農林水産技術会議事務局ら、2012a,b）が刊行された（図3）。以下に、プロジェクトおよびマニュアルの概要を紹介する。詳細は、マニュアルを参照されたい（PDF版を農業環境技術研究所のホームページ <http://www.niaes.affrc.go.jp/techdoc/shihyo/> からダウンロードできる）。

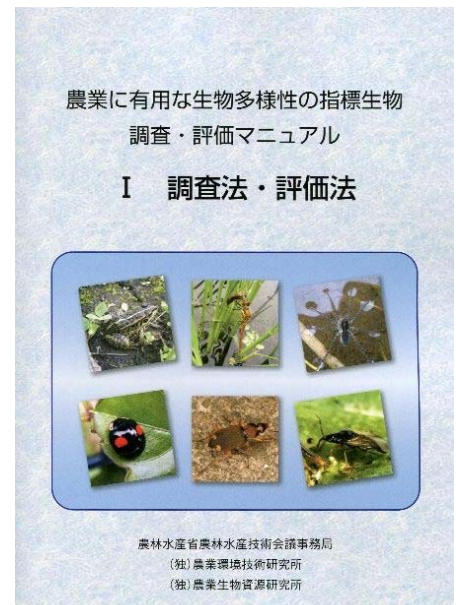


図3 「マニュアル」 の表紙。

(1) プロジェクトの目的と実施方法

このプロジェクトの目的は、環境保全型農業など生物多様性を重視した農業が、生物多様性の保全・向上に及ぼす効果を、科学的根拠に基づいて現場レベルで評価できるような指標生物とその評価法を開発することである。指標として選ぶ対象生物は、主に農業に有用な生物であり、とくに農業害虫の天敵となる昆虫類やクモ類などの捕食者と捕食寄生者とした。その理由は、このグループが農業生態系の中で特に種数が多いこと、また食物網の中で中位の栄養段階にあるため、その多様性は、餌となる昆虫など下位の栄養段階や脊椎動物など上位の捕食者の多様性を反映すると考えられることである。さらに、害虫の増殖を抑制するこれらのグループは、環境保全型農業を行ううえで有用であることである。

プロジェクトの研究期間は4年間であり、初めの2年間で指標生物の候補を選び、次の2年間で調査法・評価法を開発して最終的な指標を選抜した。指標の候補を選ぶための基本的な方法は、環境保全型農法を行っている圃場と一般的な管理（慣行農法）を行っている圃場において生物を調査し、環境保全型農法圃場で有意に個体数の多い生物を候補とする、というものである。後半の2年間には、調査対象を指標生物候補に絞り、指標として妥当であるか検証するとともに、簡便な調査法および客観的評価法を開発した。参画した機関は、多数の公立農業試験研究機関および一部の国立独立行政法人、大学であり、全国各地の水田および基幹となる果樹や野菜など（カンキツ、リンゴ、ナシ、モモ、チャ、キャベツ、ナス、ネギ、ダイズ）の圃場において、調査・解析を行った。

(2) 指標生物と評価手法の開発

最終的な指標生物は、作目ごと、地域ごとに選定された（表2）。指標生物の多くは、個別の種ではなく、複数の種を含むグループ（たとえばテントウムシ類など）とした。個別の種とすると、専門家でないと同定が困難であったり、種を分けるのに多くの労力が必要となることから、

現場で識別しやすい指標とするためである。水田および果樹・野菜などの圃場それぞれにおいて、全国的に共通性の高い指標生物と地域ごとに共通する生物があることが分かった。水田においては、全国共通の指標生物として、アシナガグモ類とコモリグモ類が選定された。これら2群のクモ類は、水田で個体数が多く、またイネ害虫の天敵としてよく知られている。一方、果樹・野菜などの圃場における全国共通の指標生物は、ゴミムシ類等とクモ類であった。これら2群は、果樹園や野菜畑で多く見られ、また色々な種類の餌を捕獲する広食性あるいはジェネラリストの捕食者であるため、全国的に共通性の高い指標生物として有効であると考えられる。

対象となる地域で評価を行う際には、全国共通の指標生物とその地域の指標生物を合わせて用いて、各指標生物で決められた調査法に従って調査を行う。調査が終わったら、結果をもとに評価を行う。評価は、指標生物の個体数に基づいて点数（スコアと呼ぶ）を付けて行う。具体的な調査法・評価法については、マニュアルを参照されたい。

表2 地域および作目別の指標生物（農林水産省農林水産技術会議事務局ら，2012a）

作目	全国共通	北日本	関東	中部
水田	アシナガグモ類、 コモリグモ類	トンボ類、 カエル類、 水生コウチュウ・水 生カメムシ類	トンボ類、 カエル類、 水生コウチュウ・水 生カメムシ類	トンボ類、 カエル類、 水生コウチュウ類
果樹・ 野菜 など	ゴミムシ類等、 クモ類	寄生蜂類、 テントウムシ類、 ヒラタアブ類、 アリ類、 カブリダニ類	寄生蜂類、 捕食性カメムシ 類、 カブリダニ類	寄生蜂類、 テントウムシ類、 捕食性カメムシ類、 アリ類、 カブリダニ類、 ハサミムシ類

作目	近畿	中国・四国	九州
水田	トンボ類、 カエル類、 水生コウチュウ類	カエル類、 水生コウチュウ・水 生カメムシ類	トンボ類、 水生コウチュウ類
果樹・ 野菜 など	寄生蜂類、 捕食性カメムシ類	寄生蜂類、 テントウムシ類、 ハネカクシ類、 アリ類、 カブリダニ類	テントウムシ類、 捕食性カメムシ 類、 ハネカクシ類、 アリ類

(3) 今後の課題

指標生物および調査法・評価法の開発は、全国の多数の地点で調査した結果に基づいて行った。しかしながら、それぞれの作目については、必ずしも調査地点は多くない。調査が実施されていない都道府県や地域において、指標生物および評価法が適用できるか検証することが今後の課題である。また、同じ都道府県内であっても、地域によって気象条件が異なる。生物の個体数は、そのような気象条件や圃場周辺の環境の影響を受け、また年次変動もある。それらの影響を明らかにすることも課題である。このような理由から、作成したマニュアルは、標準的なものとして活用することが望ましい。各地域において、指標生物や評価法を確立するためには、マニュアルに基づいて調査を行い、各地域に適した手法に改良することが重要である。さらに、これから調査されたデータを集積し、解析することによって、マニュアル自体も改訂することが期待される。

もう一つの課題は、開発された指標生物および調査法・評価法を活用することである。マニュアルを利用することによって、環境保全型農業の取り組みの効果を評価することができる。その評価結果の具体的な活用例として、次のようなものが考えられる。環境保全型農業に意欲的に取り組んでいる農家にとっては、その取り組みによって生物にとっての生息環境がどの程度改善されたのか知りたいであろう。本評価法により取り組み程度を客観的に評価し、その効果を実感できるため、一層の取り組みを行う励みになると考えられる。集落など地域として取り組んでいる場合にも同様の活用ができるが、それに加えて、地域ブランドとして農産物の販売戦略に活用することも期待される。すなわち、指標生物による科学的裏付けがされることで、取り組みに対する信頼性が増し、販売促進につながることを期待される。さらに将来的には、IPM（総合的病害虫・雑草管理）の環境保全に対する効果を評価する、あるいは効果を向上するのに用いることが期待される。IPMを効果的に実施するためには、土着天敵を活用することが重要であり、指標生物を調査することによって、土着天敵が温存されているかの目安を得ることができる。

おわりに

本稿では、おもに農業における生物多様性とその活用の可能性について考えた。生物多様性を活用するためには、農地やその周辺において、どのくらい生物多様性が維持されているか知る必要があり、それを表す指標生物とそれをういた評価法を紹介した。これらの指標生物やその評価法を活用することによって、環境保全型農業の効果的な普及・促進およびそのための農業技術の開発・改善につながることを期待される。

さて、本研究者会議第1部の標題は、「有機農業は生物多様性に配慮した農業か」である。指標として選ばれた生物は、慣行圃場に比べて環境保全型農業圃場で個体数が明らかに多かったものである。とくに水田では、調査された環境保全型農業圃場の中に有機圃場が多く含まれていた。さまざまな指標生物が選ばれたことは、有機農業がこれらの生物に対してプラスの効果があることを示している。しかし、有機農業にもさまざまなやり方があり、生物に対する効果は一様ではない。したがって、有機農業は「平均的には」、生物（あるいは生物多様性）に配慮した農業である、と言えるであろう。

参考文献

- Andow, D.A. (1991). Vegetational diversity and arthropod population response. *Annu. Rev. Entomol.* 36: 561-86.
- Haraj, J. and Wise, D.H. (2002) Impact of a detrital subsidy on trophic cascades in a terrestrial grazing food web. *Ecology* 83: 3141-3151.
- 日鷹一雅 (1990) 粗放的でも集約的でもない農法を求めて：自然農法稲作と慣行集約的農法稲作における生物社会の構造と機能の比較から。『自然・有機農法と害虫』（中筋房夫編），pp.10-265, 冬樹社.
- 小林尚・野口義弘・日和田太郎・金山喜久正・丸岡範夫 (1973) 水田の節足動物相ならびにこれに及ぼす殺虫剤散布の影響 1. 水田の節足動物相概観. *昆虫* 41: 359-373.
- 国連ミレニアムエコシステム評価 (2005) 生態系サービスと人類の将来 (横浜国立大学 21 世紀 COE 翻訳委員会翻訳 (2007)). オーム社.
- 村田浩平 (1995) 環境保全型水田におけるクモと被食者に関する研究 . 栽培管理が発生消長に与える影響. *Acta Arachnol.* 44: 83-96.
- 農林水産省農林水産技術会議事務局・(独)農業環境技術研究所・(独)農業生物資源研究所 (2012a) 農業に有用な生物多様性の指標生物調査・評価マニュアル. 調査法・評価法.
- 農林水産省農林水産技術会議事務局・(独)農業環境技術研究所・(独)農業生物資源研究所 (2012b) 農業に有用な生物多様性の指標生物調査・評価マニュアル. 資料.
- 大野和朗 (2009) 土着天敵を利用した総合的害虫管理. 『生物間相互作用と害虫管理』（安田弘法ら編），pp. 163-184, 京都大学学術出版会.
- 小野亨・城所隆 (2009) 生息場所管理による土着天敵の利用とダイズ害虫管理. 『生物間相互作用と害虫管理』（安田弘法ら編），pp. 201-222, 京都大学学術出版会.
- Risch, S.J., Andow, D. and Altieri, M.A. (1983) Agroecosystem diversity and pest control: data, tentative conclusions, and new research directions. *Environ. Entomol.* 12: 625-29.
- Rypstra, A.L. and Marshall, S.D. (2005) Augmentation of soil detritus affects the spider community and herbivory in a soybean agroecosystem. *Entomol. Exp. Appl.* 116: 149-157.
- Settle, W.H. et al. (1996) Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecology* 77: 1975-1988.
- 田中幸一 (2003) 天敵の保護・増強による水稻害虫管理の可能性. *植物防疫* 57: 520-523.
- 田中幸一 (2009) 生物多様性と害虫管理. 『生物間相互作用と害虫管理』（安田弘法ら編），pp. 225-243, 京都大学学術出版会.
- 安田弘法・城所隆・田中幸一 (2009) 序論：新たな害虫管理に向けて. 『生物間相互作用と害虫管理』（安田弘法ら編），pp. 1-16, 京都大学学術出版会.

農地の捕食者の多様性を維持する 管理とその機能

馬場 友希

独立行政法人 農業環境技術研究所

はじめに

近年、農地生態系は作物生産の場としてのみならず、生物の棲み場所を提供する「生物多様性保全の場」としても重要視されている。こうした生物多様性への関心の高まりを受け、農薬などの化学薬品の使用を減らし、農地における生き物へ与える影響を軽減するような環境保全型農業への転換が推進されている。一方、環境保全型農法における化学薬品の減少は害虫密度を増やすという負の側面ももつが、同時に農地にする捕食性生物も維持されるため、これらの天敵機能を活用することが注目を集めている。特にカエルやクモを中心とする広食性捕食者(以下、捕食者)は様々な生き物を食べるため、害虫不在時において高密度に維持されれば、害虫の多発生を抑えることができる(桐谷 2004)。ではこれらの捕食者の密度や多様性を高く保ち、その害虫防除機能を最大限に発揮させるためにはどうすればよいのだろうか?本講演では、農地における捕食者の密度・多様性がどのように維持されているか、そして捕食者の維持が害虫防除にどう役立つかについて、これまでの研究や現在私達が取り組んでいる研究を紹介する。

1. 捕食者に影響を及ぼす要因

農地に生息する捕食者の個体数や多様性を決定する要因として、ここでは(1)圃場内の環境に影響を及ぼす農法、さらに(2)圃場内の潜在的な捕食者相の供給源となる周辺景観について紹介する(図1)。

(1) 農法の効果

圃場内の環境を改変する農法や管理法は、直接的な影響や餌資源を介した間接的な影響を通して捕食者の密度や多様性に影響を及ぼす。例えば、殺虫剤などの化学薬品による初期害虫防除は、薬剤による直接的な死亡率の上昇や餌生物の減少によりクモ類などの捕食者密度を著しく低下させることが知られる(小山 2005)。また、減農薬・無農薬に代表される有機農法や環境保全型農法は、捕食者を含む様々な生物の密度や多様性を改善することが、様々なタイプの農地で報告されている(Hole et al. 2005)。一方、化学薬品の使用量以外にも、耕起や代かきによる農地の攪乱は捕食者密度に負の影響を及ぼすことが知られる(耕起の影響: Ishijima et al. 2006)。こうし

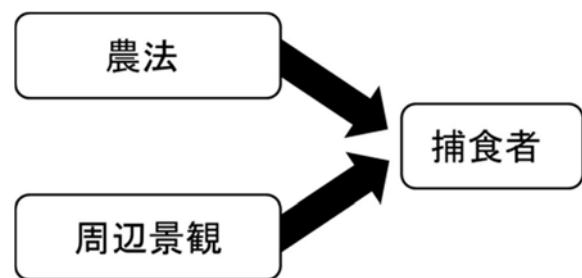


図1. 捕食者に影響を及ぼす要因

た種々の管理の組み合わせは農家によって異なるため、同じ環境保全型の農地であっても捕食者の密度や多様性に著しい差が生じうる。捕食者の密度を高めるのに有効な管理法は、少なくとも水田においてはまだ明らかにされていない(田中 2003)。そのため、捕食者の密度や多様性を高く保つ管理法を確立するには、慣行農法と有機農法という比較のみならず、農法を構成する個々の管理法が生物にどのような影響を与えるのかを評価する必要がある。

(2) 周辺景観の効果

農地は耕起や収穫など農業活動による強い攪乱の影響を受ける。そのため、農地に生息する生物は圃場内の環境だけでは生活史を全うできず、生息場所として周囲の環境にも強く依存している (Bianchi et al. 2006)。農地の周辺にみられる林や川、草地など個々の異質な生態系は景観要素と呼ばれており、それらの構成や配置を総称して景観構造と呼ぶ。近年、地理情報システム (Geographic Information System) の発達に伴い景観構造の定量化が可能となり、欧米諸国では景観構造と農地の生物の関係を明らかにする研究が精力的になされている。例えば、Schmidtらは、ドイツのコムギ畑を対象に景観構造と有機農法が圃場に生息するクモ類に与える影響を解析し、周辺の非農耕地の比率が高くなるほど圃場内のクモの密度や多様性が高まることを明らかにしている (Schmidt et al. 2005, 2008)。

農地の景観構造は、圃場に生息する生物の密度や多様性に影響を及ぼすだけでなく、農法が生物に与える効果をも改変する。Concepciónらは欧州の農地を対象に、化学肥料の投入を減らした粗放的な管理が行われている農地と、集約的な管理が行われている農地との間で様々な生物の種数を比較した。その結果、1)粗放的な管理を行う農地の方が集約的な管理を行う農地よりも鳥や植物、クモ類やハチ類の種数が増加すること、2)さらに粗放的な農法による生物へのプラスの効果は周辺の景観の複雑さ (ここでは非農耕地の割合などを意味する)によって変化することが明らかにされた (Concepción et al. 2012)。このことから、環境保全型農法によって生物の多様性を高く保つためには、圃場内の管理だけでなく、例えば景観の単純化を防ぐなど周辺環境の管理も必要と考えられる。

(3) 水田を対象とした研究例

欧米では農法や景観構造といった異なる空間スケールの影響に関する研究が盛んであるが、国内における実証例は乏しい (Amano et al. 2011)。こうした背景から、私達は、栃木県塩谷町の特裁水田 (殺虫剤の使用無し)、慣行水田 (殺虫剤の使用有り) を対象に、カエルやクモなどの捕食者の個体数を調べ、農法と周辺景観が捕食者密度に与える影響を明らかにした。解析の結果、景観や農法が捕食者の個体数に与える影響は、捕食者の種類によって異なることが分かった (図2、馬場ら、未発表)。例えば、トウキョウダルマガエルは特裁水田や周囲に森林が少ない水田ほど個体数が多かったのに対し、アカガエルでは農法の効果はなく、周囲の森林面積が多い水田ほど個体数が増加することが分かった。この違いは種間の生息地利用の違いを反映していると考えられる。一方、コモリグモ類やアシナガグモ類などのクモ類の個体数は、特裁農法と周囲の森林面積からプラスの影響を受けることが分かった。周囲の森林がクモ類の密度を増加させる仕組みとして、森林がクモの供給源として機能しているか、あるいは餌生物の供給源として機能してい

る可能性が考えられた。この仕組みについて現在、調査中であるが、クモ類の重要な餌資源であるユスリカ類も周囲に森林が多い水田ほど個体数が増加するなど、興味深い結果が得られている。

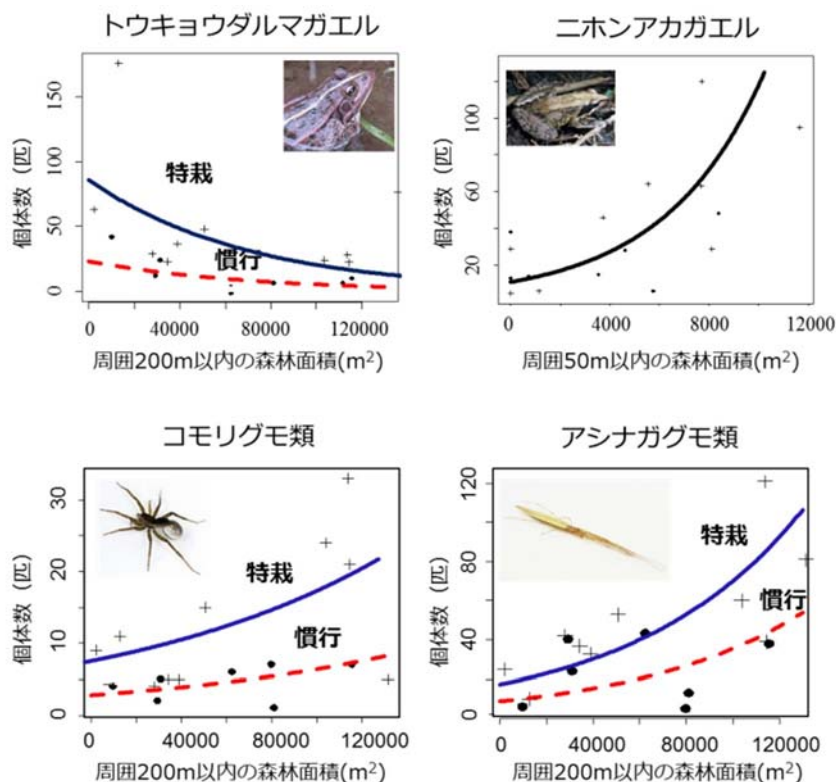


図2. 捕食者の個体数と景観・農法との関係. (馬場ら 未発表)

2. 捕食者が害虫抑制に果たす役割

(1) 捕食者による害虫抑制の仕組み

捕食者が害虫を抑制する仕組みとして、数の反応や機能の反応が重要である。数の反応とは害虫の密度変化に対する天敵の密度変化を、機能の反応とは、害虫の密度変化に伴う天敵一個体あたりの害虫捕食数の変化を指し、これらをかけあわせることで害虫密度の変化に対する天敵による害虫の捕食数の変化を知ることができる。一方、捕食者が害虫を抑える仕組みは「食う 食われる」の関係だけでなく、捕食者の存在が害虫の採餌活動を抑制することで、作物への食害を軽減するという、形質介在効果の存在も指摘されている (Schmitz 1997)。そのため、捕食者の機能を活用した害虫の防除法を考える際には、捕食 - 被食関係のみならず、捕食者に対する害虫側の反応を理解する事も大切である。

農地では多種多様な捕食者が生息するため、捕食者の多様性を高めることが害虫抑制にどのように貢献するかに関心がもたれる。この問いは、種多様性 - 生態系機能の観点から精力的に研究がなされており、それらの研究成果によると、捕食者の多様性の増加は害虫抑制効果を強めたり、逆に弱めるなど、その効果は状況依存的であることが示唆されている (詳しくは安田(2008)を参

照)。ここでは、捕食者の多様性の増加が害虫への抑制効果を高める仕組みとして「補完作用」と「協調的相互作用」の2つを紹介する。「補完作用」とは捕食特性が異なる複数の捕食者により、集団全体での餌利用が拡大する効果である。Finke と Snyder は、操作実験により、捕食者の種数の増加とともにアブラムシの抑制効果が強まることを明らかにした (Finke and Snyder 2008)。この害虫抑制効果が増強する仕組みとして、天敵種ごとに餌の探索する植物上の部位が異なることなど、ニッチの違いが重要だと考えられた。一方、「協調的相互作用」とは天敵間に正の相互作用が生じることで、捕食者の餌利用の効率が単独の場合に比べて増加する作用のことである。Losey と Denno は、ゴミムシとテントウムシの二種の捕食者の存在下においてアブラムシの防除効果が増強されることを明らかにした (Losey and Denno 1998)。ゴミムシは地表徘徊性であるため、通常植物上のアブラムシを捕食する事はできない。しかし、テントウムシが共存する条件下では、アブラムシが捕食回避のため地上に落下するため、結果としてゴミムシによるアブラムシの捕食が可能になると解釈される。つまり、捕食者に対する害虫の反応が重要だと考えられる。

(2) 水田生態系における広食性捕食者の役割

水田においてクモ類の天敵機能を明らかにした実証例をいくつか紹介する。有名な例として、60 - 70 年代に実施された高知県農林技術研究所のグループによるツマグロヨコバイの個体群動態に関する研究が挙げられる。桐谷らはイネの害虫であるツマグロヨコバイを対象に繁殖や生存に関わる様々なパラメーターを明らかにし、生命表に基づく変動主要因分析によって害虫の個体群動態に影響する要因を明らかにした (Kiritani et al. 1970)。その結果、クモ類の捕食がツマグロヨコバイの密度制御要因の一つであることが示唆された。また、直接観察法に基づく食性分析によりツマグロヨコバイの個体数変動におけるクモの捕食の役割を評価したところ、キクヅキコモリグモやセスジアカムネグモ等が重要な捕食者であることが明らかにされた (Kiritani et al. 1972)。

上記の研究は個体群生態学の手法を基調とした研究であるが、景観生態学や分子生態学など、新たな方法論をとり入れた研究も実施されている。高田らは、地域レベルで環境保全型農業に取り組む宮城県の大崎市にて、斑点米カメムシとして問題視されるアカスジカスミカメ (以下、アカスジ) を対象に、害虫密度に影響を与える要因を明らかにした。その方法とは、数十枚の有機水田を対象に、害虫と捕食者の個体数や環境要因を調べ、それらの関係性を統計モデルにより検討するものである。解析の結果、アカスジの個体数は、アシナガグモ類とアゴブトグモの密度から負の影響を受けることが明らかとなった (Takada et al. 2012)。このクモ類によるアカスジの捕食を確かめるため、小林らは分子マーカーを用いた食性分析によりクモによるアカスジの捕食率を推定した (Kobayashi et al. 2011)。その結果、野外条件下において、アシナガグモ類やアゴブトグモはアカスジをある程度の割合で捕食していることが明らかとなった。また、高田らはこの捕食率のデータをさらに解析することで、地上徘徊性のコモリグモ類によるアカスジの捕食率が、アシナガグモの密度と共に高まることも明らかにした (Takada et al. 2013)。アカスジは稲穂より下に移動することがほとんどないため、通常であればコモリグモ類との間に補食被食関係

が生じるとは考えにくい。そのため、おそらくアシナガグモ類の網がアカスジを落下させることで、コモリグモ類による捕食圧が高まったと解釈される。これは一方のクモ類の網がもう一方のクモ類による害虫への捕食圧を高めるという協調的相互作用を示唆するものであり、興味深い結果である。

おわりに

本講演では、農地において捕食者の多様性が維持される仕組みと害虫抑制に果たす役割について紹介した。日本の農地、特に水田においては捕食者の維持機構や捕食者の害虫制御の仕組みに関する研究例が少なく、捕食者の多様性や機能を安定的に保つ管理法が確立されていないのが現状である。これらの仕組みに関してより多くの知見が蓄積される必要がある。また本講演ではあまり触れなかったが、害虫以外の昆虫類（「ただの虫」）も、害虫不在時に捕食者を支える餌資源として、その個体群維持に重要な役割を担っている（桐谷 2004）。そのため、捕食者の動態を理解するには、捕食者と害虫のみの関係ではなく、餌昆虫も含めた包括的な生物間の関係を明らかにする必要がある。

引用文献

- Amano T, Kusumoto Y, Okamura H, Baba YG, Hamasaki K, Tanaka K, Yamamoto S 2011. A macro-scale perspective on within-farm management: how climate and topography alter the effect of farming practices. *Ecology Letters*, 14: 1263-1272.
- Bianchi FJJA, Booij A, Tscharntke T 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 273: 1715-1727.
- Concepción ED, Diaz M, Kleijn D, Báldi Andras, Batáry P, Clough Y, Gabriel D, Herzog F, Holzschuh A, Knop E, Marshall EJP, Tscharntke T, Verhulst 2012. Interactive effects of landscape context constrain the effectiveness of local agri-environmental management. *Journal of Applied Ecology*, 49: 695-705.
- Finke DL, Snyder WE. 2008. Niche partitioning increases resource exploitation by diverse communities. *Science*, 321: 1488-1490.
- Hole DG, Perkins AJ, Wilson JD, Alexander IH, Grice PV, Evans AD 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation*, 122: 113-130.
- 桐谷圭治 2004. 『「ただの虫」を無視しない農業』築地書館. 192 pp.
- Kiritani K., Hokyō, N., Sasaba, T. and Nakasuji, F. 1970. Studies on population dynamics of the green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps* UHLER: regulatory mechanism of the population density. *Researches on Population Ecology*, 12: 137-153.

- Kiritani K., Kawahara, S., Sasaba T. and Nakasuji F. 1972. Quantitative evaluation of predation by spiders on the green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps* uhler, by a sight-count method. *Researches on Population Ecology*, 8: 187-200.
- Ishijima C, Motobayashi T, Nakai M, Kunimi Y. 2006 Impacts of tillage practices on hoppers and predatory wolf spiders (Araneae: Lycosidae) in rice paddies. *Applied Entomology and Zoology*, 39: 155-162.
- Kobayashi T, Takada M, Takagi S, Yoshioka A, Washitani I, 2011. Spider predation on a mirid pest in Japanese rice fields. *Basic and Applied Ecology*, 12: 532-539.
- Losey JE and Denno RF 1998. Positive predator-predator interactions: Enhanced predation rates and synergistic suppression of aphid populations. *Ecology*, 79: 2143-2152.
- 小山淳・城所隆・小野亨 2005. 水田の捕食性天敵類に与える農薬の影響. 宮城古川農試報, 5: 31-41.
- Schmitz OJ, 1997. Direct and indirect effects of predation and predation risk in old-field interaction webs. *American Naturalist*, 151. 327-342.
- Schmidt MH, Tscharntke T, 2005. Landscape context of sheet web spider (Araneae: Linyphiidae) abundance in cereal fields. *Journal of Biogeography*, 32: 467-473.
- Schmidt MH, Thies C, Nentwig W, Tscharntke T, 2008. Contrasting responses of arable spiders to the landscape matrix at different spatial scales. *Journal of Biogeography*, 35:157-166.
- Takada MB, Yoshioka A, Takagi S, Iwabuchi S, Washitani I 2012. Multiple spatial scale factors affecting mirid bug abundance and damage level in organic rice paddies. *Biological Control*, 60:169-174.
- Takada MB, Kobayashi T, Yoshioka A, Takagi S, Washitani I 2013. Facilitation of ground-dwelling wolf spider predation on mirid bugs by horizontal webs built by *Tetragnatha* spiders in organic paddy fields. *Journal of Arachnology*, 41:31-35.
- 田中幸一 2003. 天敵の保護・増強による水稲害虫管理の可能性. 植物防疫 57:520-523.
- 安田弘法・梶田幸江・滝澤匡 2008. 捕食者 - 餌系の種間相互作用. 『生物間相互作用と害虫管理』(安田弘法・城所隆・田中幸一 編) pp.19-43, 京都大学学術出版会.

MEMO

第 2 部

田畑の生きものを活用した栽培管理 (実施事例)

兵庫県豊岡市における コウノトリ育む農法の取り組み

成田 市雄

森津こうのとりのりファーム

主な活動

大規模有機稲作農家のグループ「豊岡エコファーマーズ」の一員として、「コウノトリ育むお米部会」の結成に関わる。

「コウノトリ育むお米部会豊岡北部支部」副支部長として、「こうのとりのり育む農法」現地研修会でのほ場提供、自らの無農薬栽培体験を活かした冬期湛水、早期湛水、中干延期など適切な技術指導で会員のレベルアップを図っている。

兵庫県但馬県民局認定の「コウノトリ育む農法」アドバイザーとして、農業者だけでなく、教育現場においても育む農法の伝道者として活躍している。

集落の有志とともに「森津こうのとりのりファーム」を結成し、集落ぐるみで取り組む無農薬栽培の技術普及に努めている。

1. これからは有機の時代だ！

私は、豊岡市森津で11haの稲作と作業受託をしている専業農家である。平成13年当時、但馬北部地域の大規模稲作農家で組織していた稲作研究会のリーダーから「これからは有機の時代だから、有機栽培について勉強しませんか」と呼びかけがあり、翌年、地域も年齢も経営も異なる個性豊かな5人が普及センターの支援のもとで発酵鶏糞を使って、減農薬栽培を始めた。折しも豊岡市では、コウノトリと共生する町づくりが提唱され、コウノトリのエサ場となるピオトープが拠点的に作られた（「表1 コウノトリ育む農法の取り組み」参照）。

そこで、平成15年には環境に配慮した農業生産に向けエコファーマーを申請し、それを機に「豊岡エコファーマーズ」を結成した。5人のエネルギーが一つとなり、生き物が豊かなコウノトリ育む農法の確立に向けて動き出した。

平成17年には、無農薬栽培に挑戦した。民間稲作研究所の稲葉先生の指導を仰ぎながら手探りの状態で始めた。当初は、冬期に田んぼの水管理ができず、苗は稚苗で田植え時に米糠ペレットを播く程度であった。田植え後の深水も苗が短くてできず、田んぼはコナギだらけとなった。そんなある日、子供連れで試験ほの草を取る普及員の話聞き、その姿を思い、このままではいけないと気を引き締めた。

2. コウノトリが安心して餌をついばむ田んぼを取り戻そう！

(1) 地域の営農団体と連携して生き物育む技術を模索

当地域では、平成 17 年にコウノトリの自然放鳥に向け、コウノトリが住める環境を早急に整備することが求められていた。そのため、豊岡エコファーマーズでは、先行して取り組んでいたコウノトリの郷営農組合や市内の法人組織、営農団体と連携しながら、地域全体で取り組める水稲の減農薬栽培をテーマにして、冬期湛水、早期湛水でとろとろ層づくり、中干延期をしながら、毎年、少しずつではあるが、農薬を削減してきた。使用農薬はすべて人、生き物にやさしい普通物、魚毒性 A 類のみであり、平成 14 年当初、農薬使用 9 成分からスタートして、平成 16 年に 4 成分に、平成 17 年には 3 成分に削減した。必要不可欠と思ってきた農薬を減らしても収量を確保することができた。冬期・早期湛水、田植え直後からの深水管理、EM 糖蜜活性液の散布などの技術の組み合わせによって総合的に抑草できる自信ができた。平成 18 年には、試験に取り組んできた 10 団体が参加して J A に「コウノトリ育むお米部会」が誕生し、コウノトリ育む農法のさらなる発展と普及に乗り出した。

(2) 大規模稲作農家に合った無農薬栽培技術

無農薬栽培を始めた当初は、米糠ペレットを田植え直後に背負動噴で散布していた。反当 80kg を散布するのは、労力的にきつく、田植えの受託作業が込んでくると、適期に散布できないことが多くなった。そこで、大型稲作農家に合った無農薬栽培技術の確立に向け、豊岡エコファーマーズで取り組んだ。平成 17 年、福岡県八女の山下さんから提案いただいた、抑草資材、EM 糖蜜活性液の 3 回散布に取り組んで、米糠ペレット以上の抑草効果を得た。EM 糖蜜活性液の効果は、散布後に水面が濁ることから光合成細菌によるものと思われた。当初は、省力化をねらい、各ほ場に水槽を設置して、EM 糖蜜活性液を水口から流し込んだが、思うように拡散せず、現在では動力散布に切り替えている。

(3) 地域への面的広がり

コウノトリ育むお米部会が誕生した平成 18 年頃、森津集落で育む農法に取り組んでいたのは 2 人であった。ある日、無農薬ほ場に目印の白旗を掲げていたところ、小学校 5 年生の女の子から、「おっちゃんがいくら無農薬でお米を作っても隣で農薬をふってたらが意味ない」と言われ、私はハッとさせられた。

育む農法は地域全体で取り組まなければ意味がないと改めて考えるようになった。そこで、集落内の農家に育む農法の大切さを説明して協力を呼びかけた。平成 20 年度、県の環境創造型農業推進事業の取り組みを機に、コウノトリ育む農法生産者 9 名で森津こうのとりファームを結成し、無農薬栽培技術の研鑽に努めている。現在では、集落の 19ha の水稲のうち、10.2ha で無農薬栽培している。平成 21 年、農薬散布したほ場ではカメムシによる 2 等米が発生したが、無農薬ほ場ではすべて 1 等米となり、目に見えた成果がでた。

しかし、課題もでてきた。現在、育む農法では、早期湛水前、収穫前後、秋にほ場を干すだけで、湛水期間が長く、施用した有機物が土壌中に分解されずに残ってきている。そのため、稲の生育

量をコントロールすることが難しくなった。有機物の投入年数に応じて施用量を減肥することが必要となっている。

3. コウノトリが教えてくれた自然の摂理に感謝

私の田んぼは、今年、長いほ場で無農薬栽培 9 年目となる。化学肥料、農薬をできるだけ使わないように努めてきたほ場では、トトロ層のイトミミズなど、生き物がしだいに増え、それを食べるツバメが集まることが多くなった。田んぼに生き物が増えていくに従い、病害虫の発生が抑えられることが実感されてきた。コウノトリを食物連鎖の頂点に病害虫などさまざまな生き物が上手にバランスをとる不思議な世界が見えてきた。



現地巡回研修で育む農法を研鑽

農薬の削減、化学肥料不使用、冬期・早期湛水、中干し延期などにより田んぼが生き物を育むゆりかごとなった。田んぼは濁った状態となって、草が生えなくなった。無農薬栽培は 3 年も経てば、雑草が増え、作れなくなると聞いてきたが、私の田んぼでは、全体にだんだん草が少なくなっている。

コウノトリ育む農法は、コウノトリの餌場をつくるなど生物多様性を保持しながら、稲作を行うところに農法成功の秘訣がある。取り組む農家は、生物多様性への理解をさらに深めたい。

4. コウノトリ育む農法における減農薬栽培

JAたじまコウノトリ育むお米部会では、コウノトリとも共生できる地域社会を創造するため、有機肥料に化学合成した農薬は使用しない無農薬栽培のコウノトリ育む農法を基本に取り組みを進めてきた。平成 15 年に取り組みを開始した当初は無農薬栽培だけであったが、農法を担う大規模農家から無農薬栽培のみで大面積を栽培することはできないとの意見から減農薬栽培の導入がなされた。

コウノトリ育む農法では、早期湛水、深水管理、中干し延期などの栽培要件に加え、「ひょうご安心ブランド」などのブランド認証を要件としている。「ひょうご安心ブランド」の特徴は、農薬を使用した場合は、生産者集団による残留農薬の自主検査、また、県の残留農薬のモニタリング検査で安全性を確認している。さらに、感受性が高い子供や抵抗力の弱いお年寄りに配慮し、国基準の 10 倍の安全基準を設けている。コウノトリ育む農法の安全性を担保する根幹となっている。

平成 24 年度、豊岡市ではコウノトリ育む農法 252ha の内、減農薬タイプが 201ha と 80% を占める。減農薬栽培は、無農薬栽培に普通物で魚毒性 A 類の箱施用剤、除草剤 1 剤または 2 剤の 3 成分ないしは 4 成分の使用が認められている。現在、箱施用剤はネオニコチノイド系のスタークルを使用しているが、私たち担い手農家や集落営農組織では、無農薬と減農薬栽培を田んぼの条

件に応じて使い分けており、安全安心を高めるため、無農薬栽培への移行に努めている。平坦部では、田植え直後のイネミズゾウムシ、ドロオイムシの目立った被害はなくなり、減農薬栽培での箱施用剤の使用中止やほ場周辺部のみの限定使用に取り組んでいる。また、初中期の除草剤で抑草できなかった場合は機械除草を組み合わせ、化学合成資材（バサグラン）の使用を抑えている。

平成 24 年晩秋、兵庫県農政環境部の西村主任環境創造型農業専門員から部会で検討していただきたいこととして、ネオニコチノイド系農薬の取り扱いについて「育む農法の原点に帰って考えてほしい」と提案があった。早速、部会で真摯に取り組む姿勢を反省し対応策を検討した。部会員も J A にも思いはすぐに通じ、平成 25 年度産の栽培暦は既に部会員に配布され農薬も配達済みであったが、J A は農薬の回収にも応じ、平成 25 年度産から使用を自粛する事となった。

部会では、直面した対応として、山間地域でイネミズゾウムシの被害の多い地域については、虫の進入を防ぐ畔シートの設置を呼びかけると同時に、長期的には、アマガエルがイネミズゾウムシの最大の天敵であることを周知徹底して、地域全体で豊かな生態系を維持できるように啓発活動を進めていこうとしている。

コウノトリも棲める地域づくりを実践している私達が、危険性が認識され、ヨーロッパですでに規制されている農薬を、自分たちの都合で使うことは許されない。国の規制がないから・・・と甘いことを言わず「自分たちができることはすぐに実行する」という行動力は、「育む農法」をはじめて身についた能力である。

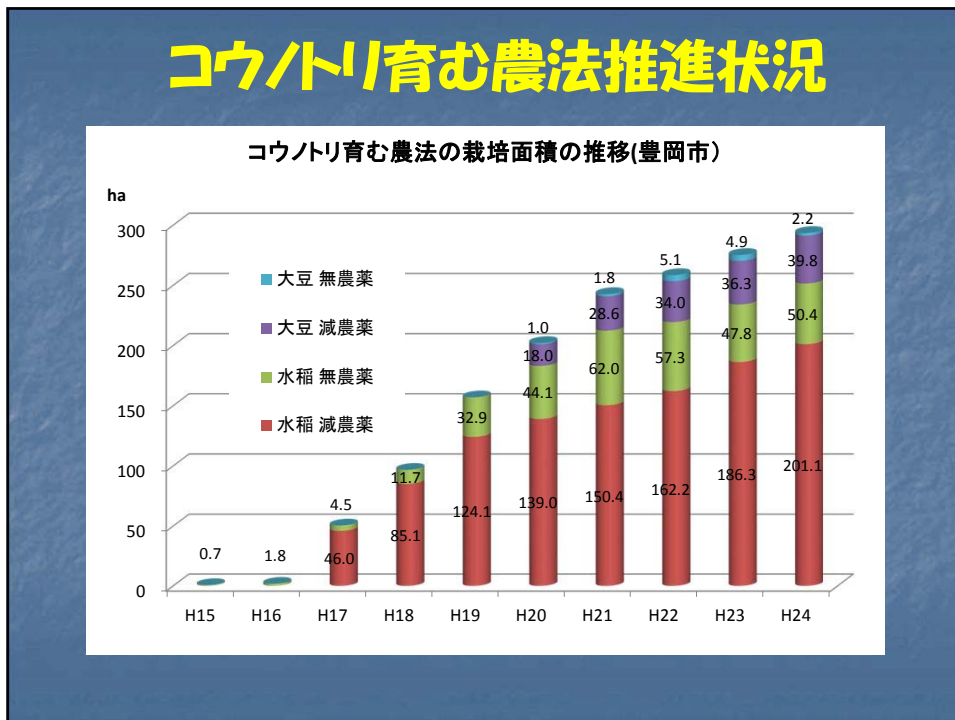
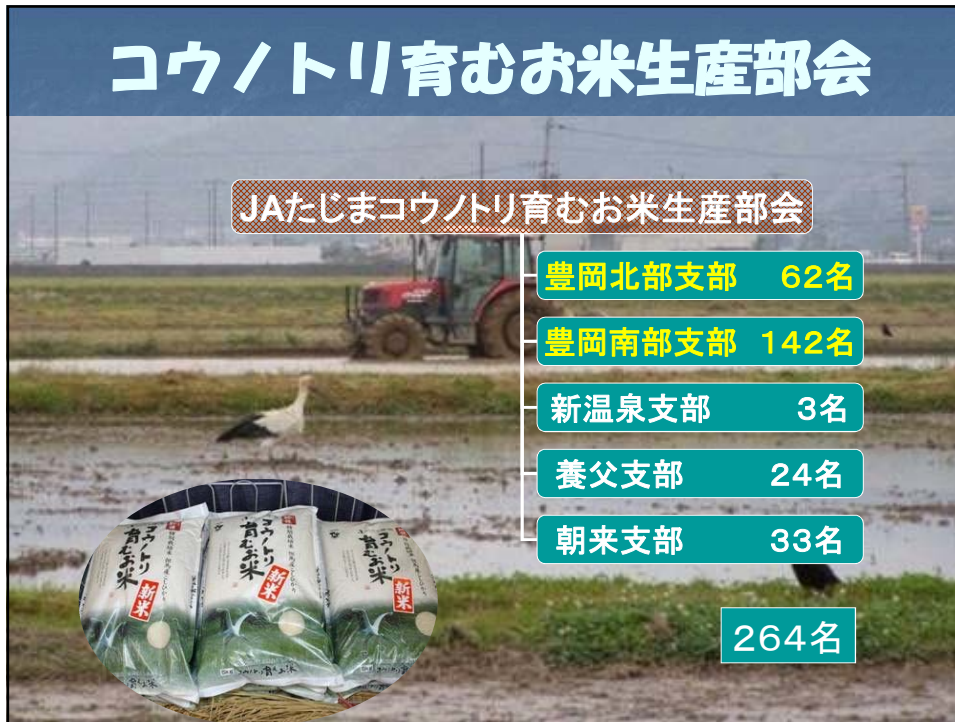
5. 我が子へ、孫へ

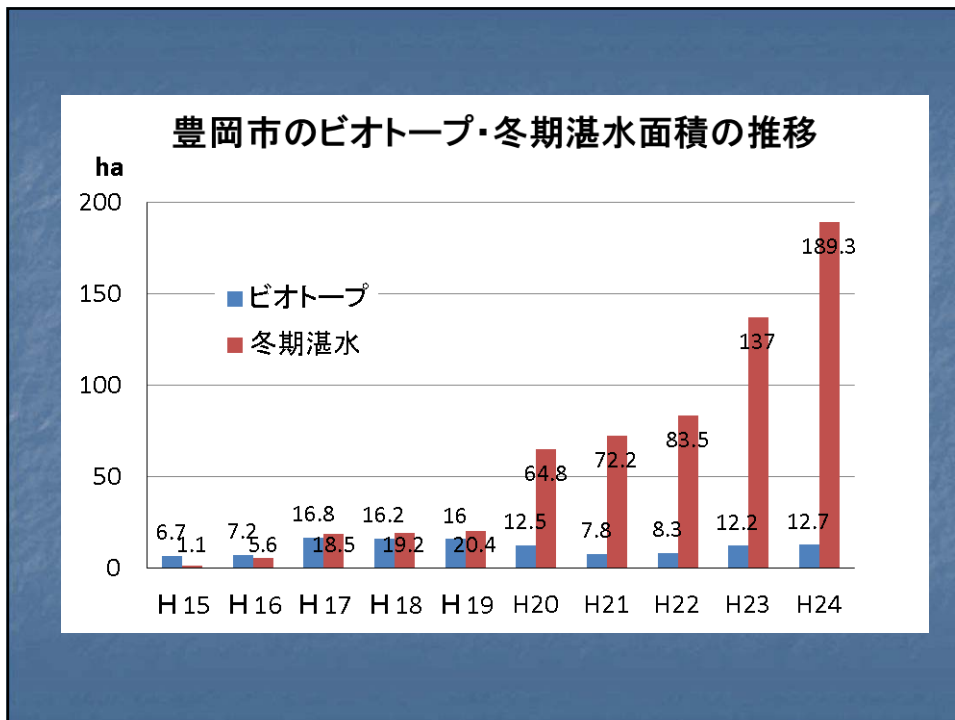
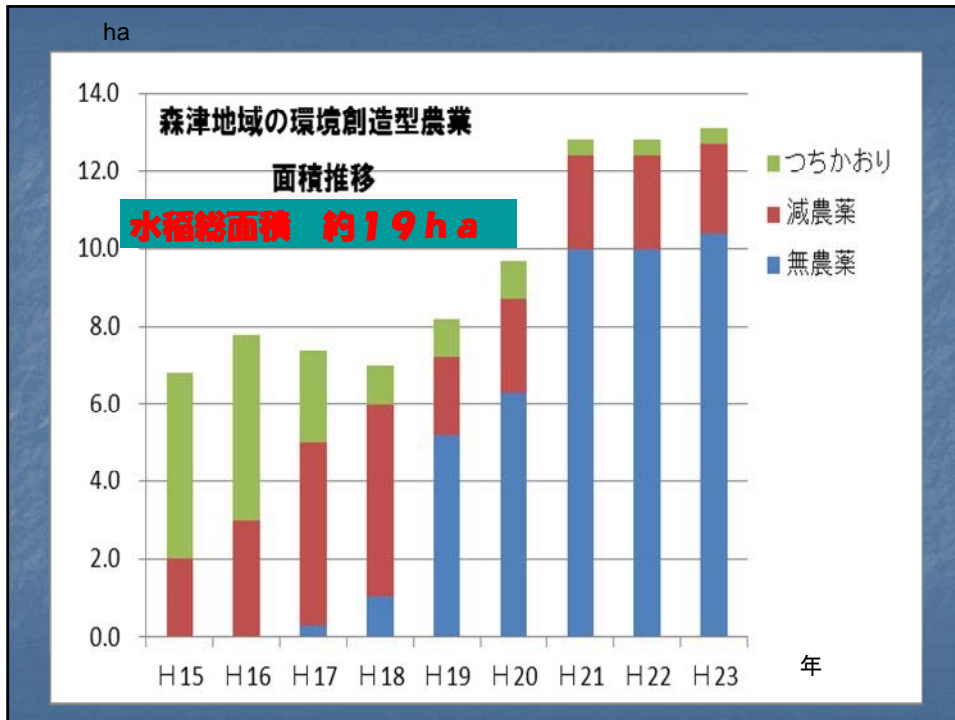
以前の私は、美味しいお米を作り、消費者に喜んでもらうことが一番と考えていた。しかし、コウノトリ育む農法に出会い、自然の摂理を実感したり、多くの人との出会いを通じて、考え方や行動が変わってきた。私は現在、経営水田の全てを無農薬タイプに切り替えていく目標に向かって取り組んでいる。それは、平成 17 年のある研修会で「無農薬の玄米を食べて前立腺ガンを治した」という体験談を伺い、頭を殴られたような強い衝撃を受けたことがきっかけである。稲作農家の使命は、美味しいお米の提供だけではなく、命を支える安全な食べ物を提供することだと悟った。我が子にも孫にも、胸を張って豊かな環境と本物の食べ物を継承していけたら最高である。

表1 コウノトリ育む農法の取り組み

年度	コウノトリ育む農法の取り組み経過
H4 ~ H13	<ul style="list-style-type: none"> ・豊岡市三江地区でコウノトリの郷公園構想が計画され、三江地区で環境創造型農業推進事業（H4～5）に取り組む。H6～7年、再生紙マルチ移植栽培実施、H7年合鴨稲作開始、H8年「豊岡あいがも稲作研究会」結成。 ・H11年コウノトリの郷公園開園。 ・H13年兵庫県が「ひょうご安心ブランド農産物認証制度」を創設。
H14	<ul style="list-style-type: none"> ・三江地区祥雲寺集落が中心となり、コウノトリの郷営農組合設立。減農薬無化学肥料栽培試験開始。
H15	<ul style="list-style-type: none"> ・コウノトリの郷営農組合と豊岡エコファーマーズが栽培期間中化学農薬化学肥料不使用試験開始（コウノトリ育む農法無農薬タイプ0.7ha）。
H16	<ul style="list-style-type: none"> ・減農薬タイプの普及版栽培指針ができる（化学肥料不使用、農薬使用4成分）。 ・コウノトリの郷営農組合、兵庫県豊岡農業改良普及センター、旧豊岡市、JAたじまで暦を統一し、地元の量販店で販売開始。
H17	<ul style="list-style-type: none"> ・兵庫県・豊岡市（H17.4に1市5町合併して誕生）・JAたじまの実務者協議を定例化し、「コウノトリ育む農法」の定義と要件を定める。 ・県・市主催第3回「コウノトリ未来国際かいぎ」で「コウノトリ育む農法」を発表（減農薬タイプ農薬使用3成分）。 ・H15から3年間の実証結果を検証し、無農薬タイプの栽培指針を作成。
H18	<ul style="list-style-type: none"> ・豊岡市全域の取り組み団体と個人が参加した「コウノトリ育むお米生産部会」（事務局：JAたじま）を設立。コウノトリ育むお米の生産・流通・販売体制を整備する。 ・酒米の「五百万石」、「フクノハナ」で無農薬タイプ栽培開始。 ・3名の生産者で「こうのとりの大豆グループ」を結成。
H19	<ul style="list-style-type: none"> ・水稻 菜種（ヘアリーベッチ等緑肥作物）大豆 育む農法無農薬タイプの輪作体系検討開始。
H20	<ul style="list-style-type: none"> ・豊岡農業普及センターがコウノトリ育む農法アドバイザー養成講座を開設（第1期12名）。 ・3法人9戸で「コウノトリ大豆組合」を設立。 ・JAたじま営農センター単位で支部を設立（北部支部、南部支部）。
H21	<ul style="list-style-type: none"> ・コウノトリ育むアドバイザー養成講座開設（第2期18名）。 ・コウノトリ大豆の要件を設定。
H22	<ul style="list-style-type: none"> ・JAたじまコウノトリ大豆生産部会設立。

年度	コウノトリ育む農法の取り組み経過
H24	<ul style="list-style-type: none"> ・コウノトリ育むアドバイザー研究会結成（30名）。 ・県・市・JAで一斉生きもの調査の日（6月26日：ケロケロの日）設定。 ・栽培履歴に生きもの調査を記載。 ・コウノトリ育むお米の栽培面積 無農薬タイプ 65.6ha、減農薬タイプ 272.7ha、コウノトリ大豆無農薬タイプ 2.2ha、減農薬タイプ 54.1ha 計 394.6ha
H25	<ul style="list-style-type: none"> ・ネオニコ系農薬（スタークル）の使用自粛。





輪作体系（畑地転換）

大豆後は、抑草
効果に優れ無
農薬タイプに移
行しやすい



育む農法
水稻

菜種

米・菜種・大豆の
輪作で2年3毛作



大豆後の冬期湛水田
は落ちた大豆があるの
で、鳥類が多く飛来

大豆



・菜種栽培後は、排水が
よくなり大豆に適する。
・トノサマガエル（ヒキガエル）の越冬
地になる

コウノトリ育む農法アドバイザー



農法の課題について意見交換

農法のリーダーとして
現場の課題検討
新規栽培者への指導
広く農法をPR



農法の説明をするアドバイザー
（ICEBA2010にて）

道の駅、量販店で生産者が販促



生産者と関係機関でコウノトリ育むお米の試食とアンケートを実施



生産者がコウノトリ育むお米を消費者に直接PR

アドバイザーが食農教育



育む農法アドバイザー(28名)は小学校と連携して地域の子供たちに水稲栽培、生きもの調査を体験する場を提供し、食農教育を行なっている。

実需者・消費者団体と交流



酒屋、生協職員と生産者、関係機関
がともに田植えて豊作を祈る



生協組合員家族とコウノトリ育む農
法水田の生きもの調査で交流

無農薬タイプの抑草技術カアップ



強害雑草コナギをテーマに研修



アドバイザー研究会(28名)で耕耘
研修

生産者が生きもの調査



毎年6月26日ケロケロの日として生産者が一斉に生きもの調査



コウノトリ大豆部会会員での生きもの調査

国際交流でコウノトリ育む 農法をPR



第1回生物の多様性を育む農業国際会議でアドバイザーが紹介(10年)



JICA草の根事業で中国浙江省庵東鎮で農法を通じた環境協力(10~12年)

北海道における 施設有機ミニトマト栽培の取り組み

佐伯 昌彦

株式会社 マルタ

1. はじめに

有機農業を始めたきっかけは作物の持つ生産力の可能性を引き出したいとの思いからであった。

作物を連作し続けると収量や品質が低下し、病害虫の防除も農薬耐性が出て次から次へと新剤を投入する農業に疑問を感じたのと、本来作物が健康に育つというのはどういうことなのかという素朴な疑問があり、それを実現するための一つの手法として有機農業に取り組んだ。



2. 佐伯農園の経営概要

当農園のある北海道洞爺湖町は、標高 250m (洞爺高台地区)、年間平均気温 6.5、年間降水量 870mm と、温暖で湿度が高く、降雪量が多い地域である。土質は、有珠系火山灰性土である。

耕地面積は 10.5ha、ハウス面積は 2,550 坪である。栽培品目は、水田 (50a)、セロリ (150a)、ミニトマト (38a)、トマト (18a)、イチゴ (15a)、サクランボ (80a) で、その他約 20 種類 (30a) を栽培している。残りは休耕地である。

労働力は、私と妻、長男、次女で 3.5 人、常雇用 1 人 (男性)、季節雇用 3 人 (女性)、パートは延 300 人である。

消費者にも農業の現場を理解してもらうために、観光農園や体験学習もやっている。



2013 年夏 (8 月 13 日撮影)



セロリ栽培



シソ栽培



小学生の体験学習



3. ミニトマト有機栽培概要

一般に有機栽培は、

収量・品質が安定しないため、高単価で販売しないといけない

美味しく、機能性も高い

栽培方法のマニュアル化ができない

変わり者が撰択する経営

と考えられている場合が多く、その品質を評価しつつも、農業経営を考慮しないライフスタイル（生き方）としての農業形態と受け止められている。

しかし当農園では、健全な土づくりと健全な根づくりを心がけ、安定した収量・品質を目標に、農業経営として成り立つ栽培を実施している。

(1) 土づくり

前年の秋(12月上旬)に、自家堆肥 10aあたり 2t を施用し、耕起後、十分に灌水(1月下旬)をしている。

(2) 育苗培土

山土(20m³)、自家堆肥(10m³)、ピートモス(10m³)、モグラ堆肥(20袋)、サンゴ要源(8袋)、米ぬか(10袋)、苦土タンカル(10袋)を、使用する前年の8月から9月に混合・熟成させてから使用している。

(3) 育苗

三つ子の魂百までと言われるように、トマトの体質も育苗期にほぼ決まると考えている。

播種日は、加温型育苗が12月25日、無加温型育苗が2月25日である。発芽温度は、20以上には上げないように心がけている。

品種は、CF千果を使用し、4寸鉢に移植する。



(4) 施肥・追肥

10aあたりモグラ堆肥(32袋)、米ぬか(8袋)およびサンゴ要源、苦土炭カルは適宜施用するようにしている。しかし最近、pHが安定してきたので苦土炭カルは施用していない。

加温型苗では、お盆前に通路に10aあたりモグラ堆肥7袋を追肥し、直後に灌水している。



モグラ堆肥(東海マルタ製)

(5) 定植

加温育苗では2月25日、無加温では4月25日に定植する。条間は1~1.5m、株間は36cm。

定植時、植穴にアルム顆粒を入れている。マルチは赤外線マルチ使用している。



側枝を取りすぎない栽培管理

(6) 交配

マルハナバチを利用。その際、寒冷紗の被覆が必要である。

(7) 栽培管理

加温型苗も無加温型苗も3段目の開花までは、トンネル内で這わせる。その後支柱立てと誘引を実施する。

加温型苗は、後半まで草勢を維持するために、9~10段の花房は摘除する。

加温型苗、無加温型苗とも、7~8 段目以降は根の活性のために、側枝を取りすぎないようにしている。とくに近年の暑さ対策として、側枝を活用して日焼け果を防ぐようにしている。

(8) 誘引

支柱の横棧（誘引のひもを縛る 19 ミリの鉄管）を U ターンさせる形で行っている。タイミングが「大事！」で、遅れるとジャングルに、早すぎると茎が折れてしまい、散々な結果になる。

(9) 灌水

灌水は、定植直後は多頻度に行い（有機栽培では必須）、収穫中も絞り過ぎないようにして、少量多灌水を心がけることが大切である。

(10) 病虫害対策

病気

CF 千果にしてから葉カビはほとんど心配ない。秋口にうどんこ病が発生する場合があるが、草勢維持のために追肥と通路灌水並びに葉面散布（アルム純 EX1000 倍）する。土壤病害は今のところ出ていない。

害虫

当農園では、アブラムシ、スリップス、オンシツコナジラミが主に発生する。寒冷紗の利用によってある程度飛来を防げるが完全ではなく、粘着テープも併用している。しかし、最近は粘着テープをしなくても虫による被害は少なくなっている。

(11) 収量

2009 年に比べ、10 年から 12 年までの収量は安定している（図 1）。

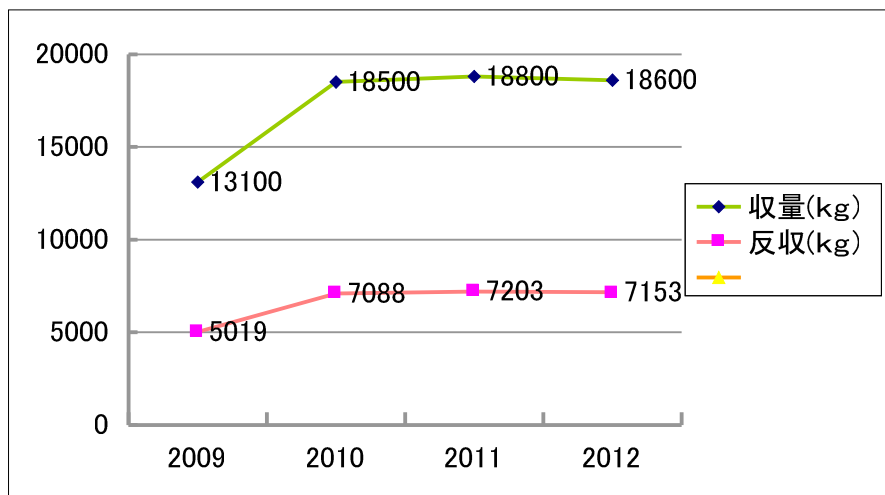


図 1 収量の推移

2009 年以前は後半の草勢が維持できなかったため、収量が少なかった。2010 年以降、収量がアップした要因として、葉かび抵抗性の品種の導入と有機環境の継続により根張りが良くなったこと、収穫終了期まで草勢が維持され、最後まで小粒化しなくなったこと、が考えられる。

また、アブラムシやオンシツコナジラミの被害がほとんどなくなり製品率が上がったことも一因と考えられる。

(12) 販売

有機 JAS 認証を取得し、その販売先は、イオン、オイシックス、パルシステム、東都生協他である。

出荷体制は、佐伯農園で選別し、農協で分荷・輸送・代金決済を行う。株式会社マルタにて、企画提案、生産管理報告、代金決済行い、各販売先との関係を強化している。

出荷形態は、3kg バラ（2L~S）と 150g パック（2L~S）。キズ等の規格外は直売所に出荷する。

希望単価は、3kg バラが kg あたり 700 円、150g パックが 1 パック 120 円である。

4. 有機栽培をして思うこと

有機栽培をして、良かった点は、

連作をしても土壌病害が出ていない。持続した栽培が可能

どのような年でも収量・品質が安定（2010 年は猛暑、2011 年は春の不順、2012 年は夏が長いなど、年によって気象条件が大きく変化）

販売先との契約がしやすい

観光農園としても魅力がある

大変な点は、

雑草対策

転換時に病害虫(葉カビ、アブラムシ)

使用資材の有機 JAS 認証適合性評価

有機 JAS 認証審査の際の書類管理

である。

農業経営は生産力と販売力によって成立する。生産力を高度に維持していく一つの手法として有機農業は有効な手段と考えられる。作物に共生しながら作物の生育を促進したり、病害虫を抑制したりするエンドファイトの機能も明らかになりつつある。有機農業の可能性についてはやっとな大きな扉が開き始めたと感じている。

農業者の立場としては、作物の地上部から地下部まで良く観察することがまずは大事であり、生産の手法が適切かどうかを判断するには作物の生育状況がすべてを物語る。

有機農業を始めるにあたっては転換期間中の収量低下や病害中被害のリスクをどう乗り越えるかが課題であるが、あらかじめそれを織り込んだ経営計画を立てることが大事である。有機栽培の多くの優良事例も整ってきたので、その事例に謙虚に学び、愚直に実践し、無駄な時間を費やさないようにすることも大切と考える。ただ失敗には多くの気付きがあるので、失敗も無駄にしないことが大事である。

5. 株式会社マルタの紹介

1975年、熊本県葦北郡田浦町にて設立。北海道から沖縄までの生産者のネットワーク組織で、株主はすべて生産者である。

株式会社マルタの組織概要は図2のとおりである。理念として、持続可能な農業の推進、広義の意味での有機農業の推進を掲げ、主に生産者への販売支援をしている。2012年度の販売高は65億円である。

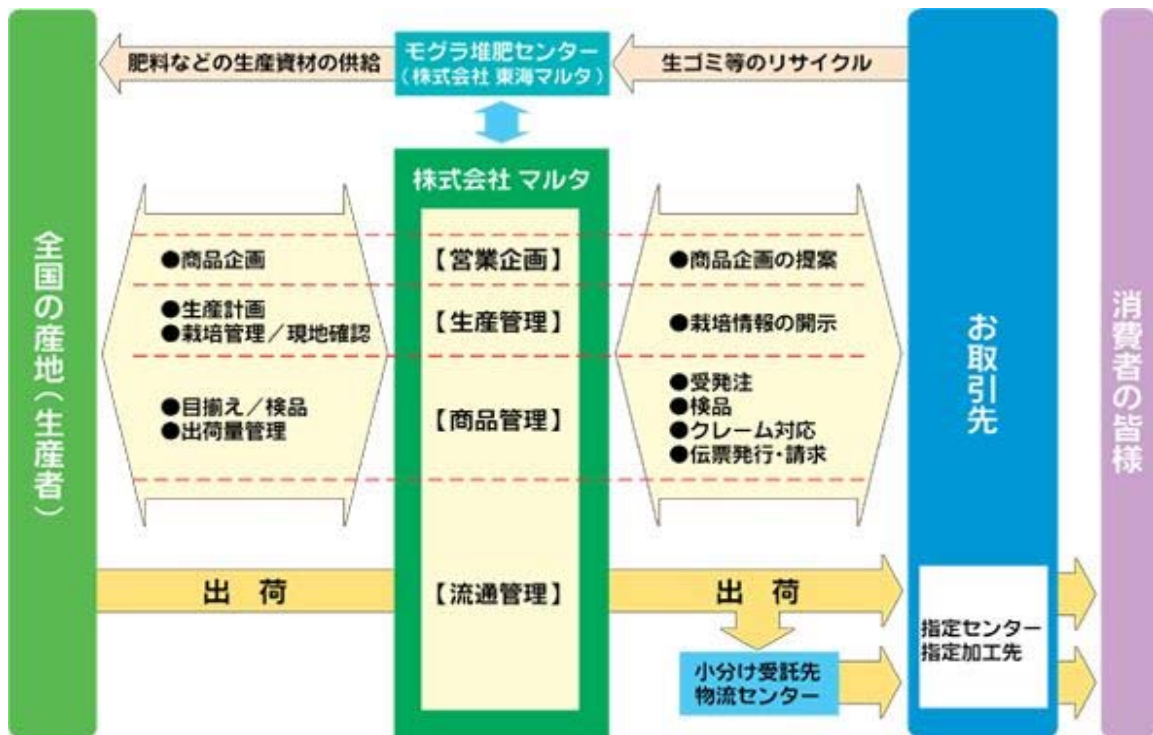


図2 (株)マルタの組織概要

佐賀県における 大規模有機ミカン作の取り組み

佐藤 睦

佐藤農場株式会社

1. 経営概要

当農場の柑橘園地は、日本三大稲荷の一つ祐徳稲荷神社のある鹿島市の有明海を見下ろす丘陵地に分布する。1968年からミカン栽培を始め、1984年まで慣行栽培であったが、「まずは生産者が健康で、消費者に安全安心な農産物を食してもらおう」ことを理念に掲げ、年12回の農薬散布を年3回に減らした減農薬栽培に移行し、さらに1987年から全圃場5haのうちの3haで無農薬、無化学肥料の取組を開始した。2001年に有機JAS認定制度の開始と同時に全柑橘園7.6haの認定を受けた。



写真1 園地再生で温州ミカンが復活

当時、ミカン価格低迷のため周辺で荒廃園が多く、これらの園地9haを借り受け(写真1)、現在、柑橘

園は22haと拡大し(温州18.5ha、中晩柑(不知火、甘夏、清見、ハッサクなど)3.5ha)、全てで有機栽培を行っている。

労働力は夫婦2人と15名の雇用(うち12名正社員)で、夫婦以外の平均年齢は33歳と若い。

栽培面積22haのうち有機JAS認定園は19ha、生産量は24年産が約250t(青果190t、加工60t)、販売額約5,000万円(加工品を含む)である。一般には有機農産物であることが価格に反映されない中で、毎年200円/kg程度の単価で契約販売ができています。

これまで有機農業の大規模化は困難とされてきたが、隔年交互結実方式による効率的な栽培方法を確立すると共に、長年の努力で販路を拡大し、我が国最大規模の有機柑橘経営に発展している。

2. 温州ミカンの栽培概要

園地は標高60~350m、傾斜7~20度、日当たりは全園で良好である。品種構成は極早生10.0ha、早生3.5ha、中生2.0ha、普通3.0haで、栽植距離は2.5m×2.5mが基本である。全収穫量の7割が青果向けで、病害虫被害による外観不良果の3割は加工向けである。

3. 栽植・整枝・剪定

栽培の多い極早生品種は、安定して連年結実する特性があるので、水平以下の枝は全て切る方式で対応している。これにより 3S 未満の商品価値のない果実が結実する無駄な枝が剪除され、S 以上の果実が着果する枝に重点的に肥料養分を集中でき、施肥量を慣行栽培の 1/3～1/5 まで少なくしている。

一方、早生、中生の品種は隔年結果しやすく、収量の年次間差が大きいので、2009 年から園地の隔年交互結実方式を導入した。この栽培法では果実の大部分が 2S～M に揃うので、摘果が不要である。さらに果実糖度が連年結実栽培に比べ 1～2 度も高まり、また果実外観がきれいになるなど多くのメリットがある。この技術により大規模化が可能になった。また、園地の隔年交互結実栽培では、遊休年には親指大の枝を全て剪除するので除葉率は 70～80%にも達するが、これにより枯枝が全て剪除され、次の結実年には黒点病被害が大幅に低下する。さらに、そうか病の罹病葉梢、カイガラムシ寄生の枝や葉梢、ミカンハダニが寄生した葉の大部分が剪除され、これら病害虫による被害が激減することも、この栽培法の特徴である。

4. 土づくり・施肥対策

イネ科のフルーツグラスの草生栽培を全園で行い、その根による土壌物理性の改善を図ると共に、年に 2 回の草刈りを行って腐植の供給源にしている。

苗木に対しては、400 kg/10a の山土を樹冠下に半径 20cm、厚さ 20cm になるように客土している（長崎県諫早市より多孔質玄武岩系安山岩を年間約 60 t、4,000 円/t で購入）。成木に対しても幹の周りの土壌が流亡しているような場合には、同様の客土を行う。これによってミネラルが補給され、表層の土壌流亡対策にもなっている。苗木に対する客土は最低 5 年間は継続している（写真 2）。これらの取組により、土壌中に保水能の高い有機物の層が形成され、降雨の多少に左右されない高品質果実の生産ができ、また細根量が増加するので、慣行栽培で問題になっている日焼け果の発生が少ない。また、法面ではチガヤを伸び放題にしており、それを刈り取って株元に敷いている。

施肥は養鶏専門農協の発酵鶏糞堆肥（窒素成分 2.4%）を春肥（2～4 月）として、1 回当たり 1 t/10a を施している。数年前から草生栽培による緑肥効果と発酵鶏糞堆肥の施用で地力窒素が高まったため（葉色で判断）、これ



写真 2 株元への客土によるミネラル補給（上）と敷きワラによる有機物施用（下）

らの施用は年によっては行わず、代わりにコンブ溶液 2,000 ㍓/10a 及びカツオエキス 2,000 ㍓/10a を 2～5 月にそれぞれ 1 回土壌に施用している。また、多孔質玄武岩系安山岩を通してミネラルが豊富になった井戸水を 4～10 月にかけて毎月 1 回、平均 300 ㍓/10a を葉面散布している。隔年交互結実の遊休年でも、結実年の場合ほどではないが、それぞれの樹の状態に応じた施肥を行う。これらの経費は総額で 8,000 円/10a 程度である。

他に有機物の補給として、地域の農家から稲わら、麦わらを購入し、200kg/10a 程を施用している。

5. 結実・果実管理・隔年結果対策極

早生品種は連年結実させ、早生・中生・普通品種は園地毎の隔年結実栽培である。おいしくて消費者に好まれる S サイズのミカンを作ることを目指した結実管理をしており、摘果が不要なので大部分が 3S～M サイズにおさまっている。

6. 圃場・雑草管理対策

全園でフルーツグラスの種子を 11 月に播種し、草生栽培をしているが、草を大事にし、なるべく刈らないことを基本としている（写真 3）。春先には 20cm 程度の高さになり、その後どんどん伸びてくるが、4～6 月はそのまま伸び放題の状態にし、棒で倒していくだけにし、これにより夏草が生えにくくなる。8 月下旬に第 1 回目の草刈を行い、うまくいけばその後は草刈りをしない。以前は年 5～6 回の草刈りが必要だったが、今は草を利用した抑草対策がうまくいき、多くても 3 回で済ませている。



写真 3 フルーツグラスの草生栽培



写真 4 地葉面に有機物の層が形成される

7. 病虫害対策

ミカン園の中に桜、カリン、ビワ、ヤマモモ、ツバキ、トチノキを混植し、生態系の多様化を図っている。この結果、園内にはコガネムシ目 27 科、カメムシ目 18 科、多くのクモ類等が確認されており、特にテントウムシやクモ類等の天敵が多く生息している。このため、害虫が多発することは少ないが、ゴマダラカミキリムシは見つけ次第補殺し（10a を 1 日で回るのに 2 人は必要）、カイガラムシも寄生している枝を見つければ年間を通して剪除している。ミカンハダニは

天敵が多いため、過去 25 年間ほとんど発生したことがなく、マシン油乳剤の散布は不要である。果実に寄生したカイガラムシ類は選果時に手で取り除いている。カイガラムシは未熟な堆肥を施すと発生が多くなるようである。ミカンサビダニはとても小さいので見つけにくく、毎年どこかの園で発生し問題になるが、ひどいわけではない。

カメムシ対策としてニームを散布している。竹酢とニームを混ぜることで忌避効果が高まるのではないかとみている。カメムシには園内の 1~3 本に集中して加害させ、その他の樹への加害を少なくしている。10 月以降の果実成熟期に加害するカメムシ類の対策として、除草しないで雑草にカメムシ類を定着させておくことが最も効果的だとみている。なお、これらのカメムシに対するニーム液散布の効果は低い。一方、草生栽培のためカタツムリ類の発生が多く、収穫期に果実を食害するので困っている。特に被害が激しい園は 2 カ所なので、これらの園地に限って除草の回数を多くしている。

黒点病対策は伝染源である枯枝の除去を年間を通じ徹底している。時間と暇があれば枯枝を落としているという感じである。そうか病とかいよう病は、窒素過多にならない施肥管理で対処し、罹病葉梢の剪除を徹底している。また灰色かび病対策として、ミネラルの葉面散布の際に花弁を水圧で落とすと共に、枝を揺すり花弁除去を徹底している。収穫後問題になる果実腐敗対策は、果実の傷が原因なので収穫時や選果時の果実の丁寧な取扱いを徹底している。

以上の対策で、量販店での販売時に外観の悪さについてクレームがつくことはない。なお、日焼け果対策としてミネラル水散布時に、にがり を 10,000 倍になるように加用しており、日焼け果の発生は周辺の慣行栽培園に比べ極端に少ない。

8. 流通加工・販売状況

全収穫量の 7 割が青果向け、病虫害被害による外観不良果の 3 割は加工向けである。生食用ミカンの販売先は有機食品店が 7 割、宅配 2 割、直売 1 割である。なお、光センサー選果機を使い糖度 15 度以上を「昭和みかん」、13 度以上を「特上みかん」と銘打ったギフト商材として選別販売している（写真 5）。

消費者ニーズに対応し、有機栽培ミカンの加工品を商品化しており、自社加工場が 2012 年 1 月に稼働している。温州ミカンストレートジュースを 1 本 200



写真 5 非破壊糖酸度測定器による選別

円/180ml で年間 35,000 本程販売したり、夏季限定商材として 7~8 月に「シャーベットみかん」を販売しているほか、飲むみかん酢 & 青みかん酢を開発・販売している。これら加工品はアトピー性皮膚炎治療施設でも購入され、口コミで広がり化学物質過敏症の方も顧客になっている（写真 6）。



写真6 ジュース、マーマレード加工品

2010年には第16回環境保全型農業推進コンクールで大賞の農林水産大臣賞を、2011年には第8回野菜ソムリエサミットみかん購入評価部門で大賞を受賞し、このことも販売の追い風になっている。このような営業努力や加工品の販売により顧客を獲得し、有機栽培が理解されることで「さとうのみかん」ブランドが確立し、青果の価格は取組を始めた頃の2.5倍の価格200円/kgで契約販売ができるようになっている。

（本文は、2013年3月発行『有機栽培技術の手引〔果樹・茶編〕』（一般財団法人日本土壌協会）143～146ページに掲載されたものに加筆したものである）

MEMO

第3部

現場で利用できる 有機農業技術の研究開発

植物共生微生物の群集構造解析による 有機栽培作物の微生物特性の解明

池田 成志

(独)農研機構 北海道農業研究センター

緒言

共生 (Symbiosis) とは、広義には「利害関係に関係なく、複数種の生物が同所的に関係している状態」と定義され、狭義には「2種の生物間で相利共生的関係にある状態」と定義される。ここでは、病原微生物による寄生も共生の一部であるとした Anton De Bary に従い、広義の共生という立場で議論させてもらいたい (Wilkinson, 2001)。植物共生科学は植物と共生微生物 (群) の相互作用の解明を目的とする基礎科学であるが、当該分野の近年の進歩は著しく、それらの成果は従来の農業研究の概念や方法論等に大きな影響を与え、植物 (農産物) を中心に考えられてきた農業の技術開発や研究のスタイルを今後大きく変える可能性がある。

本稿では、始めに農業分野における有用微生物研究の経緯と現状、植物共生の生態学的意義について簡単に解説する。続いて当該研究分野における最近のトピックスと、それらの新知見からの従来の農業技術の再考と今後の新たな農業技術の展開等の可能性について私見を紹介したい。次に、微生物群集生態学と共生微生物の群集構造解析の重要性について筆者の研究結果も交えて説明する。最後に現在の共生微生物研究の問題点と共生科学的視点からの有機栽培を含めた農業生産における研究や技術開発についての今後の展望を私見として示したい。

有用微生物研究の経緯と現状

植物生育促進や病害防除等の有用機能を持つ微生物の探索・分離は実験的には比較的容易に行われ得る。したがって、初期の農業微生物研究では、それら有用微生物の圃場への定着や有用機能の発現を期待した農業資材の投入等による土壌微生物相の改変等に重点を置いた研究が多くなされた。例えば、耕作土壌層へのキチンの投入によりキチン分解性微生物を増殖し、キチンを細胞壁に持つ土壌病原微生物を防除しようとするような試験が多数試みられた (Rodriguez-Kabana and Morgan-Jones, 1987)。このような研究は実験室や温室レベルでは有用効果が確認される場合もあったが、圃場レベルで必要とされる有用微生物の接種源や資材の投入量・コスト等の負担が大きいこと、効果が不安定なこと等の理由から殆どの研究は実用化が困難であった。次に、土壌中での有用微生物の安定的な環境として根圏が注目され、根圏微生物群の中からの有用微生物の選抜が多数試みられた (Bloemberg and Lugtenberg, 2001)。残念ながら、これらの研究においても圃場レベルで安定的に利用可能な微生物資材や微生物農薬等の研究開発は困難であった。

一方、近年の環境微生物学の技術的進展とともに農耕地を含む多くの環境中には無数の微生物群が存在していることが明らかにされ、有用微生物の農業利用が難しい原因として有用微生物と環境中の微生物群との間の生態的な競合が注目された。このような背景から、無数の環境微生物との競合を避けて有用微生物の植物への確実な定着と機能発現が期待される微生物群として、植物組織内に内生するエンドファイトの利用に注目が集まった（Rosenblueth and Martínez-Romero, 2006）。このように、長い研究の歴史の中から根圏やエンドファイトのような共生微生物の重要性がクローズアップされ、それら有用微生物の機能が農業生産性に大きな影響を与え得ることが多くの基礎科学的研究において示唆されている。

上記のような有用微生物群の研究は、従来の化学肥料や化学農薬の多投入による資源浪費型農業から持続的農業生産に移行するための次世代農業生産技術の創出にもつながるとも期待される。微生物に対しては生産者から研究者まで多くの農業関係者の期待は大変大きいものがあり、膨大な基礎科学的知見の蓄積もある。しかし残念ながら、農業現場での有用微生物（機能）の利用は遅々としているのが現状である。今日に至っても農業現場での有用微生物（機能）の活用例は少なく、実用化されているものについても化学農薬や化学肥料と比べて有用効果が不安定なことが多い。

植物共生の生態学的意義

現代微生物学では、乳酸菌等のヒト共生細菌が栄養分の吸収促進や生理活性物質の生産、様々な病気の発生の抑制等を通してヒトの健康維持に重要であることは既に広く知られている。アメリカでは Human Microbiome Project（HMP）と呼ばれるヒトに共生する微生物相の全容解明が国家プロジェクトとして進められ（<http://commonfund.nih.gov/hmp/>）ている。これまでに 600 種以上のヒト共生細菌のゲノム解析や 7000 万配列以上の 16SrRNA 遺伝子の解析、それらに対応するメタゲノム解析等が進められ、これらのデータ解析からヒトや動物の健康維持における共生微生物の重要性の詳細が解明されつつある（Proctor, 2011）。一方、植物共生微生物については、後述するような技術的な問題もあり HMP のような網羅的な研究は非常に遅れているが、共生微生物に関する重要性自体は植物科学においても広く認識され、主として農業利用を目的とした微生物資材や微生物農薬等の研究として長い歴史がある。

植物における共生微生物の存在意義を大きく要約すると以下の 3 点になる。1 番目は、土壌からの養分吸収のための共生微生物の重要性である。数億年前に植物が水域から離れて乾燥した陸地に進出した時点では、植物が利用しやすい形の土壌は地球上には無かったと考えられており、陸生植物が土壌から養分を吸収するためには微生物との共生が必須だったと思われる（Redecker et al., 2000）。2 番目は、植物を健康にする機能である。共生微生物は酵素や植物ホルモン等の生理活性物質の生産を行い、植物の代謝制御を通じた生育促進や物理・化学的な各種ストレスの緩和等の有用機能を持っている（Kim et al., 2011）。3 番目は、植物の病害を防除・軽減する機能である（染谷 and 阿久津, 2005）。このように多様な微生物との共生は宿主生物に機能的多様性を付

与することになる。したがって、HMP で試みられているように、共生系に關与する微生物群の系統的・機能的な多様性の解明は共生科学の基盤的情報として非常に重要であると考えられ、植物共生系においても「Plant Microbiome Project」のような研究を今後展開する必要がある。特に、化学肥料や化学農薬に依存しない有機農業においては、圃場に存在する有用微生物群の機能が養分吸収や病害防除において重要な役割を果たしているであろうと予想され、植物共生は有機農業の科学的解明において最も重要な部分の1つであると思われる。

有用微生物の機能解析

有用微生物群がもつ植物生育促進や病害防除等の有用機能については詳しく調べられている（Şahin et al., 2005）。特に、植物生育促進細菌（Plant growth-promoting bacteria, PGPB）は機能解析や植物との相互作用の解析が実験的に容易であることから、非常に詳しく調べられている。主要な有用機能としては、窒素固定能、難溶性リン酸溶解能、シデロフォア生産能、インドール酢酸（indole-3-acetic acid（IAA））生産能、1-aminocyclopropane-1-carboxylate（ACC）deaminase 生産能、そして病原微生物への拮抗能等（Quecine et al., 2012）がある。窒素固定能、難溶性リン酸溶解能そしてシデロフォア生産能は、植物の窒素、リン酸そして鉄の養分吸収促進にそれぞれ関わる機能である。IAA 生産能と ACC deaminase 酵素生産能は、植物ホルモンを制御し、植物の健康維持に関わる機能である。植物ホルモン IAA には、植物生育促進作用がある。植物が生産するエチレンは、ストレス条件下で植物の生長を抑制するが、微生物が生産する ACC deaminase 酵素は、植物のエチレン合成を阻害することにより植物生育促進作用を持つ。これらに加えて、近年の研究から、根圏のベータプロテオバクテリアに属する PGPB 群、特に *Variovorax* 属等の Comamonadaceae 科に属する細菌群が根圏において有機態の硫黄化合物からの脱スルホン化を促進し、植物への硫黄吸収に非常に重要な役割を持つことが明らかにされている（Kertesz and Fellows, 2007）。上述したような特定の有用機能に注目した有用微生物の選抜等の研究も数多く行われているが、このような選抜を得た有用微生物が必ずしも実用性が高いという保証もないのが現状である。例えば、IAA 生産能は多くの有用微生物の植物生育促進効果において重要だと考えられているが、IAA 生産量と生育促進効果の間に直線的な関係性は認められず、単純に IAA 生産量が生育促進微生物の選抜のための指標にはならない。これは、植物生育促進微生物は上述の主要な有用機能を複数持つ場合が多く（Quecine et al., 2012）、植物生育促進効果の原因を一つに絞ることが難しいことに起因しているのかもしれない。また、植物への感染後、有用微生物の持つ機能がどのような場所と時期に発現するのかというような情報も重要であるように思われるが、このような視点からの研究報告は大変少ない。

一方、細菌であれば比較的容易にゲノムが決定できる時代になり、このようなゲノム解析により植物生育促進に関わる既知の遺伝子（窒素固定や植物ホルモン合成など）の網羅的解析などが大変容易に行えるようになった。ただし、今までに知られていない未知の生育促進因子を発見することはゲノム解析でも意外と難しい（Okubo, et al., 2012）。たとえば、生育促進効果を持つ菌

と持たない近縁株のゲノムの遺伝子レパトリーを比べれば、数百個の生育促進に関わる可能性がある遺伝子の候補リストがえられるが、これらの中から生育促進効果に本当に重要な遺伝子を特定することは大変手間のかかる作業である。より本質的な理由としては、大部分の環境微生物が難培養性であるということが微生物学の常識となりつつある状況の中で、分離培養された微生物（群）が本当に研究する価値があるのかという大きな疑問も存在する。限られた予算、時間、労力等の制限要因を考えると、農学的に重要と思われる菌株の選抜やゲノム解析後の情報抽出が容易な実験デザインの工夫等が必要であろう。

植物共生分野の細菌ゲノム解析による重要な発見の 1 つは、主に根圏等に生息する植物共生細菌がフィトクロム等の光受容体を持っていたことであろう (Davis et al., 1999)。このような事実は、根圏に共生する細菌群にとっての光環境の重要性を示唆しているように思われる。根圏の光環境という視点を考えると、植物の茎が光ファイバーになっており、葉で受けた近赤外領域の光が根端まで伝わっているという事実が大変大きな生態学的重要性を持つように思われる。即ち、共生微生物や土壌微生物と植物との相互作用における光環境は地上部のみならず、根圏のような地下部においても重要なのではないかというような推察も可能である。さらに言えば、波長の長い光ほど物質への透過力があるため、土壌中にも光の世界が存在すると考えるべきである。(Rottwinkel et al., 2010)。海洋微生物が光を利用して海面からの水深を測定して海中を移動しているように、波長の比較的長い光を感受できる土壌中の（微）生物群は光受容体を使って地表からの深度も認識しているというような可能性も考えられる。土壌中の光環境というものを想定すれば、不耕起は地表を有機物で覆い土壌への光を遮蔽する栽培法というような見方も可能なように思われる。このようにゲノム解析は根圏微生物と光環境というような、既知の知識からのボトムアップ型研究では到達し難い概念へのブレークスルーをもたらす可能性がある。今後の共生微生物のゲノム解析 (25) や、難培養性微生物も含めた植物共生系のメタゲノム解析により植物共生系の系統的かつ機能的多様性の解明が大きく進むと期待される。

有用微生物の探索・選抜

これまでの研究において、糸状菌類では *Tricoderima* 属や菌根菌類、細菌類では *Bacillus* 属、*Pseudomonas* 属、*Streptomyces* 属等、多数の有用微生物が知られている (Berg, 2009)。これらの既知の有用微生物群は基礎研究的には植物の生育促進や病害防除等の効果が確認されている。しかしながら、実際の農業現場でこれらの有用微生物の機能を発現させることは容易ではない。考えられる大きな原因の 1 つとしては従来の研究においては、そもそも研究対象としてきた微生物群が実際の農業現場には生態的に適していない菌群だった可能性がある。筆者らのグループにより調査したところ、2009 年以降で報告されている PGPB の分離論文では有用微生物のほとんどが *Pseudomonas* 属や *Bacillus* 属等の既知の有用微生物群であり、属レベル以上で新規な PGPB の報告例は殆どなかった。一方、それらとは対照的に、筆者らが最近検討したテンサイからの有用共生細菌の探索研究では、従来の研究にはあまり使われていなかった低栄養性の培地を利用して数

百株をランダムに分離し、系統情報を持つ 16S rRNA 遺伝子配列を決定して、配列データを種レベルでクラスタリングして約 50 個の OTU (Operational Taxonomic Unit) を選抜し、各 OTU を代表する菌株について接種試験を行った。その結果、科レベルでの新規の菌群を含む多数の有用微生物を比較的容易に特定することに成功している。

非常に高い効率で新規の生育促進微生物の分離に成功した理由としては、多様な菌群の培養を可能にする低栄養培地の利用や、遺伝子配列情報を活用した効率的なスクリーニング等の工夫によると筆者は考えている。特に、労力やコストを大幅に低減することにより、遺伝子配列情報を活用した数千菌株レベルの大規模スクリーニングも比較的容易に個人レベルで実施可能な実験のストリームラインを構築できたことが実験科学的には大変重要である。従来と同様な研究例では、多くても数百菌株程度の分離微生物数であり、それらからの菌株の選抜も客観的な基準はなく、網羅的でもなかった。興味深いことに、上記で得られた菌群には窒素固定、硫黄代謝、C1 化合物代謝等の物質代謝に関係の深い菌群や、多様な化合物について高い代謝能を持つアルファ綱とベータ綱に属するプロテオバクテリアが多数分離された。テンサイはバイオマスが非常に大きくなるエネルギー作物であり、我々の実験結果は微生物による物質循環の促進が高いバイオマス生産を支えていることを示唆しているのかもしれない。また、以上のような結果は、植物共生系にはこれまで研究対象とされていない未知の有用微生物が多数存在している可能性を示しており、有用微生物についての探索や選抜手順の見直し、系統的・機能的多様性評価についての再検討等の余地は大きいように思われる。

植物の有用微生物制御系

近年の植物共生科学研究の中で最も特筆すべき発見は、マメ科植物は病原微生物を認識する場合とは異なる特別な情報伝達システムを使って有用微生物群と相互作用していることが報告されたことである。しかも、この有用微生物制御系は細菌と糸状菌という生物学的に全く異なる 2 種類の有用微生物群の共生を同一のシステムで制御することや (Oka-Kira and Kawaguchi, 2006)、地上部と地下部の間での情報伝達を通して地上部組織（おそらく葉組織）が地下の根における有用微生物の感染を制御していること等も明らかにされた。さらに、この有用微生物制御系の非常に重要な特徴は、植物による土壌の窒素濃度のセンシング系とリンクしていることである。即ち、例えば過剰施肥などにより植物が一定濃度以上の土壌窒素を感知すると、当該情報が上述の微生物制御系の途中から入力され、有用微生物の感染が抑制されることになる。少なくとも菌根共生する非マメ科作物は上述の有用微生物制御系に関与する遺伝子群を有しており (Gutjahr et al., 2008)、同様の有用微生物制御系が幅広い植物種に存在することが推察される。これらの知見から、圃場に施用する肥料や堆肥等の農業資材は根圏等の微生物に直接的に大きな影響を及ぼすだけでなく、上述のような植物による土壌中の肥料濃度のセンシング系を通して共生微生物にも強い影響を与えること、さらに、それらの影響は根圏などの地下組織だけではなく、葉や茎、果実等の地上部組織の共生系全体にも大きな影響を与え得ることが推察された。実際に、筆者らも後

述するように窒素の過剰施肥により植物の全組織に共生する微生物の多様性が劇的に変化することを確認している。以上から、共生微生物だけではなく植物と病原微生物との相互作用も影響を受ける可能性があることは容易に想像され、化学農薬を使わない有機農業のような生産現場においては有用微生物との共生を促進し、植物自体の病害への抵抗性を高めるためには低投入を基本にした土づくりが重要なことを示しているように思われる。

農業微生物研究における光環境の重要性

根粒菌の感染を制御する物質として光質が重要であることが報告され (Suzuki et al., 2011)、共生系と光環境のリンクが明らかになった。即ち、根粒菌の感染は植物がフィトクロム B を通じて受容する光の R/FR (赤色/遠赤色) 比が高いとジャスモン酸の生合成系の活性化を通して根粒菌の感染が促進される。逆に R/FR 比が低いとジャスモン酸の生合成系が止まって根粒菌の感染が阻害され、同時に避陰反応 (徒長反応) が活性化され、植物の細胞分裂や細胞伸長に關与する各種植物ホルモンが生合成される。結果として R/FR 比の高い光を求めて植物が徒長する。光量ではなく、光質が共生系を制御するための情報として重要であることが明らかとなったのである。R/FR 比は重要な環境情報としフィトクロム B を通じて植物体内の多様な生理反応とリンクしていることが知られており、重要なものだけでも病虫害抵抗反応や植物体内の物質循環制御等に影響することが分かっている。

上述のようなシステムの中で農学的に重要な点は、R/FR 比により制御を受けるジャスモン酸の生合成系は植物の生育促進効果を有する多くの他の植物ホルモン (ジベレリン・サイトカイニン・オーキシン等) の生合成系と拮抗するということである。これらの事実は、植物科学的には、病虫害抵抗性の強化とバイオマスの増加の 2 つを同時に大きく進めることが難しいことを示唆しており、このような二者択一的な植物の生理反応は「植物のジレンマ」と言われている (Ballaré, 2010)。

大変興味深いことに、多くの共生微生物はサイトカイニンやオーキシン等の植物に対して生育促進効果のある植物ホルモンを生合成する能力を持っている。即ち、植物自身はそれらのホルモンを合成できない光条件であっても共生微生物から植物ホルモンを受け取ることは可能である。さらに、最近の研究から生育促進効果だけでなく、共生微生物の感染により植物の病害抵抗性が誘導・強化されることも多数報告されている (Kim et al., 2011)。これらの知見をまとめると、植物は有用微生物との共生を通してバイオマスの増加と病虫害抵抗性の強化の両立を可能にし得る。このような推察は、「なぜ、微生物が高いコストを払って植物ホルモンの生合成を行うのか」という謎に対する一つの生態学的あるいは進化生物学的な意義付けとなり得るように思われる。また、R/FR 比の高い光には、植物体内の炭素や窒素の物質循環パターンに影響して、果菜類のような農産物の糖分や窒素分等の品質に影響を与えることも報告されており (秋草ら, 2007)、R/FR 比を通じた農業環境の制御は多面的な有用効果が期待される重要な農業の「ツボ」の 1 つのように思われる。また、上述のような知見は、農業現場において植物や微生物の有用機能を十分に引き出すためには現在の慣行栽培ではあまり注意を払われていない畝の方向や株間の距離等につい

でも丁寧に検討して適正な光環境を確保する必要があることを示唆している。実際に、関東地域の有機稲作では慣行栽培よりも株間を広く取る疎植が栽培技術として定着しており、イネや共生微生物が持つ有用機能を上手に活用していると思われる。

植物共生微生物の群集構造解析

植物組織には根粒菌や菌根菌のような有名な有用微生物だけが共生するのではなく、植物組織にはエピファイト（植物の表面に生息する微生物）やエンドファイト（植物の内部に生息する微生物）と呼ばれる多様な微生物群が生息する。これらの共生微生物群の一部は植物の生育促進や病害防除のための有用微生物として長年にわたり行われてきた。しかしながら、現在の環境微生物学的な知見から考えると、無数の微生物群が生息している農業環境の中から生態的あるいは農学的に重要な微生物群だけが従来の研究において選抜され、解析されてきたという保証はない。現実的に考えるならば、多様な微生物群が生息する農業環境中から農作物の栽培に都合の良い有用微生物だけが古典的な分離培養法で運よく選抜できていた、と考えることはあまりにも楽天的すぎるであろう。土壌・気象条件の多様性、植物種の多様性、栽培法等がどのように微生物の多様性に及ぼすのか等の基盤的情報が全くない中で、農業生産に都合の良い有用微生物の探索や選抜、効果的な利用を検討することは大変無謀なことのようと思われる。即ち、農業微生物研究の前提として、まず農耕地生態系の微生物群に関する生態学的研究、特に多様な環境条件下における群集レベルでの系統的・機能的多様性を調べるのが最重要であるように思われる。中でも、共生系は植物の生育促進や病害防除等の農業の生産性に直結する有用効果を持つ微生物群を多く含む可能性が高いと思われるため、主要な作物における共生微生物群集の網羅的解明が急がれる（Ikeda et al., 2010）。

上記のような背景の中、筆者のグループは植物組織からの細菌細胞濃縮法を開発し、この手法の活用により植物共生系について微生物群集レベルでの多様性解析や動態解析、さらに機能性解明を加速させ得るメタゲノム解析を技術的に可能とした（Ikeda et al., 2009）。このような手法を活用して共生微生物の植物種や植物組織に対する特異性、各種栽培環境における定着性を評価することが可能となり、有用微生物の効率的な探索や選抜、効果的な利用法の開発等が進むと期待される。

実際に、細菌濃縮法を利用してダイズの共生細菌群集への窒素施肥の影響評価を行った結果、予想通り過剰施肥は地下部だけではなく、葉や茎などの地上部組織の共生微生物相全体にも大きな影響を与えることが明らかとなった（Ikeda et al., 2010）。特に、植物への生育促進効果や病害防除効果を持つことが知られている、*Methylobacterium* 属や *Sphingomonas* 属等のアルファプロテオバクテリアが窒素施肥に反応して大きく減少していた。これらの結果は、根粒菌や菌根菌の感染を制御するための有用微生物制御系が、過剰施肥条件下で根粒菌だけでなく植物の地上部組織に共生している他のアルファプロテオバクテリアにも大きな影響を与えていることを示唆しているように思われる。このような共生系の多様性の大きな変化が過剰施肥による病害の助長の一因

となっている可能性も考えられる。一方、上述の窒素過剰施肥のダイズとは対照的に、低窒素条件や有機栽培条件の共生微生物相の解析においては、アルファプロテオバクテリア、特に系統的に根粒菌群として知られている *Rhizobium* 属等のグループが慣行栽培よりも有機栽培作物において優占化する傾向が幾つかの作物において観察された。根粒菌の仲間の多くはイネのような幅広い非マメ科作物に対する生育促進効果を持つことが知られており、適切な栽培条件を構築すれば、それらの有用微生物群の割合を増加させることも可能ではないかと考えられる。これらの知見を活用すれば、土壌の低栄養状態もしくは有機物を主体とした土壌管理に適応した植物共生微生物群というものが特定できる可能性もある。

以上のように、肥料や農業資材の圃場への投与は作物の地下部組織だけでなく、地上部組織の微生物相にも大きな影響を与えることから、群集構造解析を通じた施肥管理等の地上部の病害や農産物の貯蔵性等の品質への共生微生物の影響評価は今後の研究における重要な視点だと考えられる。共生微生物の多様性が植物への養分吸収や病原微生物の感染に大きな影響を与えることは想像に難くない。有機農業のような低投入性や持続性を指向する農業生産では、目には見えない微生物を意識して、上述してきたような光や肥料等の栽培管理を行い、作物の生育にプラスになる共生微生物相の形成を促進することが重要なように思われる。

減肥・減農薬だけではない共生微生物の重要性

微生物は多様な化学成分に対する高い代謝能力を持つことから、農産物や加工食品の原材料に含まれる共生微生物が食品の風味や食味等にも多大な影響を与えることがあっても不思議ではない。実際に、共生微生物が農産物の重要な風味の形成に関わっているという研究報告例も多い。直感的な例としては、ワイン等の発酵食品の場合は材料に含まれている共生微生物が品質に直接的な影響を与える場合等が考えられる。実際に、幾つかのワインの芳香成分は共生微生物に由来しており、分離培養された共生微生物が試験管中でワインの香りを生産することが報告されている (Verginer et al., 2010)。ダイズにおいて過剰な窒素施肥に敏感に反応した *Methylobacterium* 属細菌についても、イチゴの重要な芳香成分の生合成系に関与していることが報告されている (Zabetakis, 1997)。一方、これらの有用共生微生物群とは逆に、収穫後の農産物の病害や腐敗、悪臭や加工食品の変質の原因となる有害な多くの共生微生物群の存在も食品微生物分野では良く知られている事実である (Lopez-Velasco et al., 2011)。圃場での栽培管理が共生微生物の影響を通して収穫後の農産物の貯蔵性や品質に大きな影響を与える可能性があることから、栽培現場だけではなく収穫後のフードチェーン等を含めた一次産業全体を意識した栽培管理技術の再考をすることが有益であるように思われる。パスツールにより証明されたように一般的な腐敗現象は微生物が原因であるので、適切に栽培された有機農産物が腐敗し難いというような現象は共生微生物相の多様性や有用機能の解明から容易に説明できる可能性がある。

栽培管理による共生微生物制御

化石燃料の枯渇や地球温暖化、環境汚染等の諸問題から、微生物資材や微生物農薬が減肥料・減農薬を可能にする持続的農業生産技術として期待されている。これら有用微生物群の殆どは実験室などの制御環境下で植物に接種すると有用効果を示すものの、圃場などの農業現場では効果の発現が大変不安定であることが多く、有用微生物発見の研究報告は多いものの、それら有用微生物の農業現場での利用は殆どない。このような微生物資材や微生物農薬の効果の不安定性の要因は、これまで不明であった。しかしながら、本稿で紹介したような施肥や光等の環境条件と共生微生物相との関係を慎重に検討することにより、圃場等の実際の農業現場においても有用微生物の効果的な利用が今後は期待できるかもしれない。筆者は、上述のような植物の有用微生物制御系と共存できるような栽培技術が、共生微生物の有用機能と施肥等の両方の効果を相加的あるいは相乗的に生かせる次世代型の持続的農業生産システムの構築につながると考えている。即ち、農業環境に存在する（微）生物資源の有用機能の恩恵を環境サービスとして受けることにより、農産物の収量や品質を犠牲にすることなく、合理的な減農薬や減化学肥料を進めることが可能になるかもしれないと考えている。複雑な生態系の影響を強く受ける（有機）農業の特性解明や、持続的農業生産技術を科学的に発展させていくためには、植物病理学、土壤微生物学、植物栄養学、肥料科学、光生物学等の幅広い分野にわたる学際的研究が必要だと思われる。

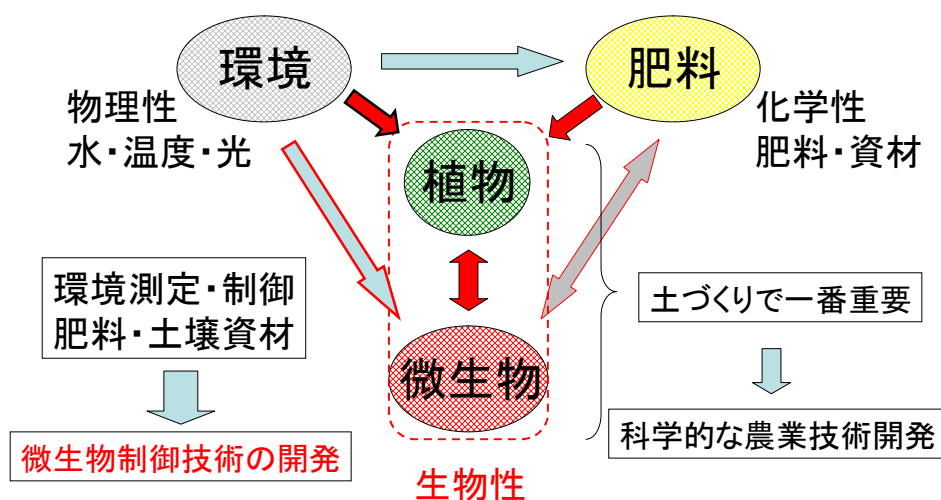
フェノミクス研究

上述のような多様な環境因子による栽培試験への攪乱の影響は農業微生物研究だけの問題ではなく、通常の農薬、肥料、育種等のための農学研究分野全体にわたる栽培試験においても圃場での植物表現型を如何に評価するかが長年の大きな問題になっている。植物遺伝育種学分野では植物の表現型は植物ゲノムに由来するいわゆる遺伝効果と栽培環境に由来する環境効果の2つの要因により規定されている。このような事実は概念的には昔からある教科書レベルの話であるが、これら2つの効果の中身について科学的解明が進み始めたのはごく最近になってからである。植物の遺伝効果については遺伝育種研究等で多数の総説等が発表されているのでそれらを参照して戴きたい。本稿では共生微生物にも大きな影響を与える環境効果の分析に関する研究の状況を少し紹介しておきたい。

環境効果は物理的、化学的、生物的に多様な環境因子からなり（図1）、要因自体が植物ゲノムのように単一ではないことから、ごく最近まで遺伝効果で説明のつかない表現型の変動は一括して未知の環境効果として処理され、ブラックボックス扱われることが多かった。これは、環境効果には多様な因子が関係しており、それらについて栽培期間を通して経時的かつ網羅的にデータ収集することが非常に困難であったからである。しかしながら、このような状況は生物の表現型を自動的・総合的に評価することを目的とする Phenomics と呼ばれる研究分野の進展により大きく変わろうとしている。Plant Phenomics の分野では、実験室や温室内での表現型の自動測定、

野外環境における物理・化学環境データの自動収集などの技術開発が急速に進められ、表現型に対する環境効果の具体的な中身の解明が可能となりつつある (Houle, et al., 2010)。特に、農研機構の平藤雅之氏らのグループが開発したフィールドサーバーによる圃場での多様な物理的・化学的環境の測定の自動化は、「圃場のバラツキ」をより定量的に評価し、従来は困難であった圃場試験の結果に対する環境効果の適切な評価を大幅に容易にする可能性がある (Lee et al., 2010)。さらに、このような環境情報を蓄積することにより、作物や有用微生物の機能を最大限に引き出すための物理的・化学的環境条件の解明も可能になるだろうと思われる。このような技術を微生物分析技術と組み合わせて利用することにより、現状では大変困難な慣行栽培と有機栽培というような栽培法が大きく異なる農法の間と比較解析もある程度容易になる可能性がある。植物フェノミクスは今までにない概念や技術革新により、植物科学のみならず、共生科学、食品科学、食品微生物学、環境科学等の幅広い研究分野に今後大きな影響を与えることが予想される注目すべき研究分野の1つであるように思われる。

農業(研究)における複雑性



共生系の制御を通した農業の科学化を目指す

図1. 農業研究の複雑性を示す概念図

植物共生微生物研究の問題点

本稿で紹介したような細菌類の研究については、ラボから野外環境までの幅広い範囲で生態的な解析が自由にできる環境が整いつつある。しかしながら、農耕地の微生物群として細菌類と同様に非常に重要な糸状菌類の生態学的研究は国内では秋田県立大の古屋教授のグループ等で根圏の共生糸状菌類の多様性解析が若干進められているが、細菌類との比較において色々な理由によ

り大変遅れている。植物病害の大部分は糸状菌類病であることを考えると共生糸状菌類の群集構造解析は病害の防除・軽減に有効な環境制御や栽培条件等の解明のために大変重要であり、当該研究分野の進展に期待したい。

また、土壌においては線虫や原生生物群も捕食や相互作用を通して細菌類や糸状菌類の密度や機能性に大きな影響を与えていると予想されるが、これらの微生物群に関する生態学的研究も停滞している。土壌中の真核微生物に関する多様性解析における大きな問題の1つは、「バラツキ」が大変大きい点である。これは、本質的に土壌という空間自体が大変バラツキの大きい環境であることと、これらの微生物群は形態的にもバラツキが非常に大きいことから、分子生態学的な多様性解析のための最初の一步であるサンプリングや DNA 抽出法すら普遍的な方法の確立が困難なことにある。このように、現状では真核微生物の多様性解析は洗練された分子生物学的手法の開発の恩恵をそのまま受けることができない大変厳しい状況ではあるが、当該分野におけるブレークスルーにつながる今後の技術開発が強く望まれる。

終わりに

微生物分野における群集構造解析は、微生物群集の各種環境要因への応答や群集レベルでの生物間相互作用等の解明を可能にする比較的新しい研究分野である（Ikeda et al., 2010）。このような解析手法の導入により、現実の農業環境において、どのような環境因子が、どのような微生物群の消長に強い影響を及ぼすか、というような従来の農業微生物研究では不可能な解析が可能になった。上述のような問題点はあるものの、植物フェノミクス、多様な環境情報の収集のためのセンシング技術、植物共生科学等の知見や技術を活用した統合的解析により、物理的・化学的環境制御を通じた農業環境における有用微生物（群）の生態工学的な利用技術の開発も期待できる時代になった。本稿で紹介したような知見を活用することにより農耕地生態系の微生物相を改善し、環境微生物の有用機能を環境サービスとして最大限に活用することが、化学物質の投入を最小限にした持続的農業生産活動の基本の1つとなるのではないだろうか。

筆者は、植物や微生物の生態を理解し、それらを上手に利用した栽培・育種技術を思案していくことが言葉遊びではない本質的なスマートアグリカルチャーにつながると考える。これは、「大切なものは、目にみえない」という狐の言葉のとおり、微生物や光のような「目に見えないもの」（栽培環境）をもっと意識することが王子のバラ栽培と同様に現代農業においても非常に大切なように思われるからである。本稿で紹介したような新たな視点からの研究は有機栽培における多くの疑問点を解決し、現代農業の常識を新たに再考するための糸口になる可能性がある。自身を含めた多くの研究者がマンネリズムに陥りやすい「慣行」から少し距離をとり、歴史ある日本の有機農業の科学的解明から従来の常識を越えた新たな農業技術や農学研究の展開への扉が開かれることを期待したい。

謝辞

本稿をまとめるにあたり、茨城大学名誉教授の中島紀一先生、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の本多健一郎博士、農業・食品産業技術総合研究機構・北海道農業研究センターの平藤雅之博士の3氏から大変貴重なご助言を頂いた。この場をかりて深甚の感謝の意を表します。本研究は農林水産省委託プロジェクト研究「気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のための技術開発」、科研費基盤研究A「植物共生微生物のメタゲノム解析による物質循環機能の解明」(23248052)、科研費基盤研究C「根粒根圏土壤微生物の群集構造解析によるマメ科作物の連作障害発生機構の解明」(22580074)、及び科研費挑戦的萌芽研究「植物共生微生物群集構造解析のための光センシング技術の開発」(25660207)の成果である。

文献

- 秋草文, 土屋広司, 永田照喜治: 特開 2007-282544
- Ballaré, C. L.: *Trends Plant Sci*, **16**, 249 (2010)
- Brg, G.: *Appl Environ Microbiol*, **84**, 11 (2009)
- Bloemberg, G.V. and B.J.J. Lugtenberg: *Curr Opin Plant Biol*, **4**, 343 (2001)
- Davis, S. J., A. V. Vener, and R. D. Vierstra: *Science*, **286**, 2517 (1999)
- Gutjahr, C., M. Banba, V. Croset, K. An, A. Miyao, G. An, H. Hirochika, H. Imaizumi-Anraku, and U. Paszkowska: *The Plant Cell*, **20**, 2989 (2008)
- Houle, D., D.R. Govindaraju and S. Omholt: *Nature Rev Gen*, **11**, 855 (2010)
- Ikeda, S., T. Kaneko, T. Okubo, L. E. E. Rallos, S. Eda, H. Mitsui, S. Sato, Y. Nakamura, S. Tabata, K. Minamisawa: *Microb Ecol*, **58**, 703 (2009)
- Ikeda, S., T. Okubo, T. Kaneko, S. Inaba, T. Maekawa, S. Eda, S. Sato, S. Tabata, H. Mitsui and K. Minamisawa: *ISME J*, **4**, 315 (2010)
- Kertesz, M. A., E. Fellows and A. Schmalenberger: *Adv Appl Microbiol*, **62**, 235 (2007)
- Kim, Y. C., J. Leveau, B. B. McSpadden Gardener, E. A. Pierson, L. S. Person III and C. ?M. Ryu: *Appl Environ Microbiol*, **77**, 1548 (2011)
- Lee, W.S., V. Alchanatis, C. Yang, M. Hirafuji, D. Moshou and C. Li: *Comput Electron Agric*, **74**, 2 (2010)
- Lopez-Velasco, G., G. E. Welbaum, R. R. Boyer, S. P. Mane and M. A. Ponder: *J Appl Microbiol*, **110**, 1203 (2011)
- Oka-Kira, E. and M. Kawaguchi: *Curr Opin Plant Biol*, **9**, 496 (2006)
- Okubo, T., T. Tsukui, H. Maita, S. Okamoto, K. Oshima, T. Fujisawa, A. Saito, H. Futamata, R. Hattori, Y. Shimomura, S. Haruta, S. Morimoto, Y. Wang, Y. Sakai, M. Hattori, S. Aizawa, K. V. Nagashima, S. Masuda, T. Hattori, A. Yamashita, Z. Bao, M. Hayatsu, H. Kajiya-Kanegae, I. Yoshinaga, K. Sakamoto, K. Toyota, M. Nakao, M. Kohara, M. Anda, R. Niwa, P. Jung-Hwan, R. Sameshima-Saito, S. Tokuda,

- S. Yamamoto, S. Yamamoto, T. Yokoyama, T. Akutsu, Y. Nakamura, Y. Nakahira-Yanaka, Y. Takada Hoshino, H. Hirakawa, H. Mitsui, K. Terasawa, M. Itakura, S. Sato, W. Ikeda-Ohtsubo, N. Sakakura, E. Kaminuma and K. Minamisawa: *Microbes Environ*, **27**, 306 (2012)
- Proctor, L. M. : *Cell Host and Microbe*, **10**, 287 (2011)
- Quecine, M. C., W. L. Araújo, P. B. Rossetto, A. Ferreira, S. Tsui, P. T. Lacava, M. Mondin, J.L. Azevedo and A. A. Pizzirani-Kleiner: *Appl Environ Microbiol*, **78**, 7511 (2012)
- Redecker, D., R. Kodner and L. E. Graham: *Science*, **289**:1920 (2000)
- Rodriguez-Kabana, R. and G. Morgan-Jones: *Plant Soil*, **100**, 237 (1987)
- Rosenblueth, M. and E. Martínez-Romero: *MPMI*, **19**, 872 (2006)
- Rottwinkel, G., I. Oberpichler and T. Lamparter: *J Bacteriol*, **192**, 5124 (2010)
- Şahin, F., R. Çakmakçı and F. Kantar: *Plant Soil*, **265**, 123 (2004)
- 染谷信孝 and 阿久津克己 : *化学と生物*, **43**, 321 (2005)
- Suzuki, A., L. Suriyagoda, T. Shigeyama, A. Tominaga, M. Sasaki, Y. Hiratsuka, A. Yoshinaga, S. Arima, S. Agarie, T. Sakai, S. Inada, Y. Jikumaru, Y. Kamiya, T. Uchiumi, M. Abe, M. Hashiguchi, R. Akashi, S. Sato, T. Kaneko, S. Tabata, and A. M. Hirsch: *Proc Natl Acad Sci U S A*, **108**, 16837 (2011)
- Verginer, M., E. Leitner, and G. Berg: *J Agri. Food Chem*, **58**, 8344 (2010)
- Wilkinson, D. M.: *Nature*, **412**, 485 (2001)
- Zabetakis, I.: *Plant Cell Tissue Organ Cult*, **50**, 179 (1997)
- Sakai, M. and M. Ikenaga (2013) *J Microbiol Methods*, **92**, 281.
- Stevenson, B.S., S.A. Eichorst, J.T. Wertz, T.M. Schmidt and J.A. Breznak (2004) *Appl Environ Microbiol*, **70**, 4748.
- Suzuki, A., L. Suriyagoda, T. Shigeyama, A. Tominaga, M. Sasaki, Y. Hiratsuka, A. Yoshinaga, S. Arima, S. Agarie, T. Sakai, S. Inada, Y. Jikumaru, Y. Kamiya, T. Uchiumi, M. Abe, M. Hashiguchi, R. Akashi, S. Sato, T. Kaneko, S. Tabata, and A. M. Hirsch (2011) *Proc Natl Acad Sci U S A*, **108**, 16837.
- Verginer, M., E. Leitner and G. Berg (2010) *J Agri. Food Chem*, **58**, 8344.
- Ward, M.W., R. Weller and M.M. Bateson (1990) *Nature*, **345**:63-65.
- Zabetakis, I. (1997) *Plant Cell Tissue Organ Cult*, **50**, 179.
- Zengler, K., G. Toledo, M. Rappe, J. Elkins, E.J. Mathur, J.M. Short and M. Keller (2002) *PNAS*, **99**, 15681.

天敵銀行でハウス栽培の害虫を防除

長坂 幸吉

(独)農研機構 中央農業総合研究センター

はじめに

ハウス栽培の野菜においては様々な害虫が発生する。しかし、ハウスという半閉鎖環境では土着天敵が入りにくい。害虫が多くなった後になってやっと天敵が入ってくるのがほとんどである。これでは、害虫の被害を抑えられない。こうした状況においては、天敵の人為的な導入が有効な対応策の一つである。ところが、天敵の放飼はタイミングが難しく、放飼が早すぎると餌となる害虫が少なくて天敵が定着せず、逆に、放飼が遅れると、増えてしまった害虫を抑えるのに時間がかかり、被害が拡大してしまう。

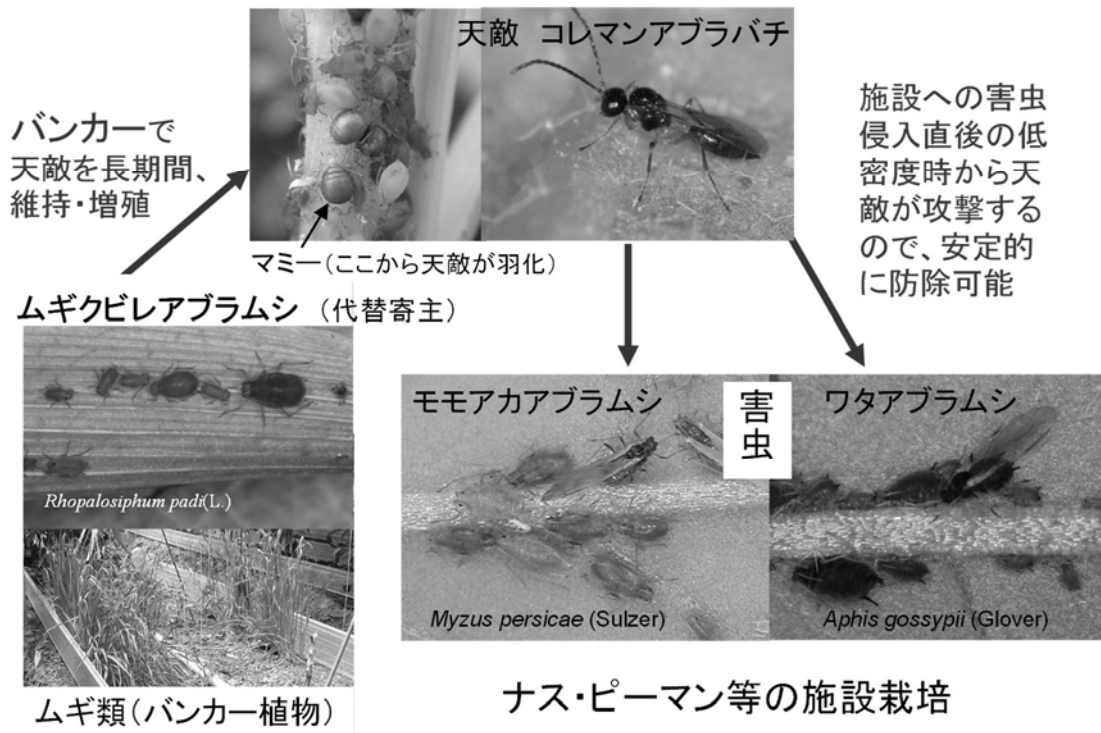
この問題を解決するのが「天敵銀行」である。害虫ではない餌をハウス内に用意することによって、あらかじめ天敵をハウス内に定着させておき、そこから継続的に天敵を放飼する方法である。英語では、Banker plant system と呼ばれる。害虫の発生前、あるいは作物の生育初期に、天敵の代替餌（代替寄主）とそれを養う植物（バンカー植物）をセットにしてハウスに導入し、そこに天敵を放飼する。これがバンカー（天敵銀行）となる。このバンカーで天敵を長期間維持することにより、常にハウス内で天敵が害虫の侵入を待ち構える状態にして、害虫が低密度のうちに退治しようという作戦である。この天敵銀行を利用した害虫防除法は「バンカー法」と呼ばれている。

バンカー法は、1990年代に主に果菜類のハウス栽培におけるアブラムシ対策としてヨーロッパで研究がなされ、日本でも2000年代に実用化研究が実施されてきた（長坂・大矢、2003；長坂ら、2010）。そして、天敵コレマンアブラバチを用いたバンカー法のノウハウは、「バンカー法技術マニュアル」（長坂、2005）として公開されている。現在では、この方法以外にも、別の害虫への対策として他の天敵を用いるバンカー法の研究も進められている。

このバンカー法は、もちろん有機栽培でも活用可能である。ハウスにおける有機栽培では、いったん害虫が侵入してしまうと、農薬のような即効的な防除手段に頼ることができないため、大きな被害につながってしまう。従って、有機栽培でこそバンカー法のような待ち伏せ型の防除手段が必要であると考えられる。そこで、野菜の有機栽培をおこなうハウスにおいて、アブラムシ類への対策としてこのバンカー法の活用を試みた。ここでご紹介する事例は茨城県小美玉市（2008-2012年）、および京都府美山町（現南丹市）（2001-2005年）の生産者の協力を得て実施したものである。なお、後者は近畿中国四国農業研究センター野菜部（現在、綾部研究拠点）において

実施した地域先導技術総合研究「中山間水田における害虫総合防除等による高品位野菜生産システムの確立」（H13-H17年度）の成果の一部である（萩森、2006；尾島ら、2007）。

コレマンアブラバチを用いたバンカー法



1. シュンギク有機栽培ハウスにおけるバンカー法活用事例

葉菜類では、葉そのものが商品なので、害虫による食害や害虫そのものの残留が商品価値を直接的に損なってしまう。害虫はアブラムシ類に限らず、ヨトウムシ類やハモグリバエ類など多岐にわたるため、化学合成農薬を使用せずに出荷可能なレベルの商品を生産するには、多くの時期において物理的に害虫の侵入を阻止するような手段を用いざるを得ない。しかし、そのような手段は同時に天敵の侵入も阻害する。そこで、開口部に防虫ネットを被覆したハウスにおいて、天敵を活用して栽培することが一つの方法と考えられる。茨城県内でシュンギクを生産するハウス（有機 JAS 認定、10 棟、面積各約 3a、無加温、側窓に 1mm 目合いの防虫ネット使用）において、コレマンアブラバチを用いたバンカー法によるアブラムシ類防除の可能性を検討した。

2008 年から 2009 年にかけて、シュンギク（9 月定植で翌春まで収穫）上の害虫を調査したところ、主要な害虫はアブラムシ類、ハスモンヨトウ、ハモグリバエ類であった。アブラムシの種類は、モモアカアブラムシとワタアブラムシであった。これらのアブラムシ類に対して、コレマンアブラバチを用いたバンカー法を実施した。具体的には、10 月はじめにハウス側窓下にオオムギを播種し、中旬にムギクビレアブラムシを着生させ、その後、2 回コレマンアブラバチを放飼した。その結果、アブラムシの発生したシュンギク茎葉（出荷部分）の割合は、8 棟のハウスで

は数%以下に抑えられた。2棟のハウスでは、モモアカアブラムシが発生した茎葉の割合が2月に20~30%程度にまで増加したものの、アブラバチ類による寄生が認められ、それ以上の被害の拡大を防ぐことができた。

これらのハウス群では、毎年、秋と春にはアブラムシ類の多発で苦慮していたとのことであった。この年においても、アブラムシ類の発生が認められており、バンカー法を活用しない場合には、相当の被害が予想された。上記の良好な結果を受け、この農場では、この年以降、バンカー法を継続して実施している。

これまでナス科果菜類の促成栽培など冬季の加温ハウスでのバンカー法成功事例が報告されている(長坂ら、2010)が、冬季の無加温のハウスにおいても、コレマンアブラバチを用いたバンカー法が機能することを、この事例は示している。また同時に、葉菜類という害虫許容密度の低い品目においても実用性のあることを示している。

2. エンサイ有機栽培ハウスにおけるバンカー法活用事例

エンサイ(空芯菜)は、シュンギクと同様に茎葉部分が商品となる葉菜類である。夏季を中心に栽培するため、害虫が発生し始めるとその増殖が早く、被害を食い止めるのが難しい。茨城県内でエンサイを生産するハウス(有機JAS認定、3棟、面積各約3a、側窓に1mm目合の防虫ネット使用、5月定植で9月まで収穫)において、2009年から2012年に害虫の発生状況を調査するとともに、天敵利用による虫害軽減の可能性を検討した。主要な害虫は、アブラムシ類とハダニ類、ハスモンヨトウであった。

2009年と2010年には、モモアカアブラムシを中心としたアブラムシ類が定植直後から発生し、6月には90%以上の茎葉で認められ、出荷を停止せざるを得なかった。天敵コレマンアブラバチを用いたバンカー法を実施したものの、アブラムシ類の増殖に天敵の効果が追いつかない状況であった。これに対して、アブラバチ類の追加放飼や微生物殺虫剤の散布を行うことで、7月以降のアブラムシ類の発生は低い水準に抑えられた。2011年以降は、バンカー法を実施するだけでなく、他のハウス(前項のシュンギクハウスなど)のバンカー上で増殖した天敵アブラバチをハウス内に持ち込み、初期の天敵密度を高めた。その結果、アブラムシ類が高密度となることなく、実質的な被害を生じないまま、作を終えることができた。

ただし、チューリップヒゲナガアブラムシあるいはジャガイモヒゲナガアブラムシが発生する場合があった。これらのアブラムシにはコレマンアブラバチが寄生できないため、ハウス全体に広がり、生産停止に追い込まれることがあった。これには微生物殺虫剤により対処し、クロヘリヒメテントウやヒメカメノコテントウ等の土着天敵の働きも加わり、生産を再開することができた。

ハダニ類の発生は6月から始まり、7月のピーク時には80%(2009年)程度の茎葉で発生がみられ、一時期生産停止となった。これに対しては、ハダニ発生を確認した直後からチリカブリダ

ニを放飼することで、8月以降の発生茎葉率を10%以下に抑えることができた。翌年以降には、より早い時期にチリカブリダニあるいはミヤコカブリダニを放飼することにより、ハダニ類の発生ピーク時のレベルを40%程度（2011年）にまで低下させることができた。

一方、ハスモンヨトウは8月以降に発生し、2009年には相当の被害を受けるハウスがあった。2010年以降はフェロモントラップによるモニタリング結果をもとにBT剤の散布を行い、被害を防いでいる。

このように、害虫の増殖の盛んな夏季においても葉菜類のハウス栽培で天敵の活用による害虫管理が可能である。

3. コマツナ、ナバナ有機栽培ハウスにおけるダイコンアブラバチを用いた

バンカー法試験事例

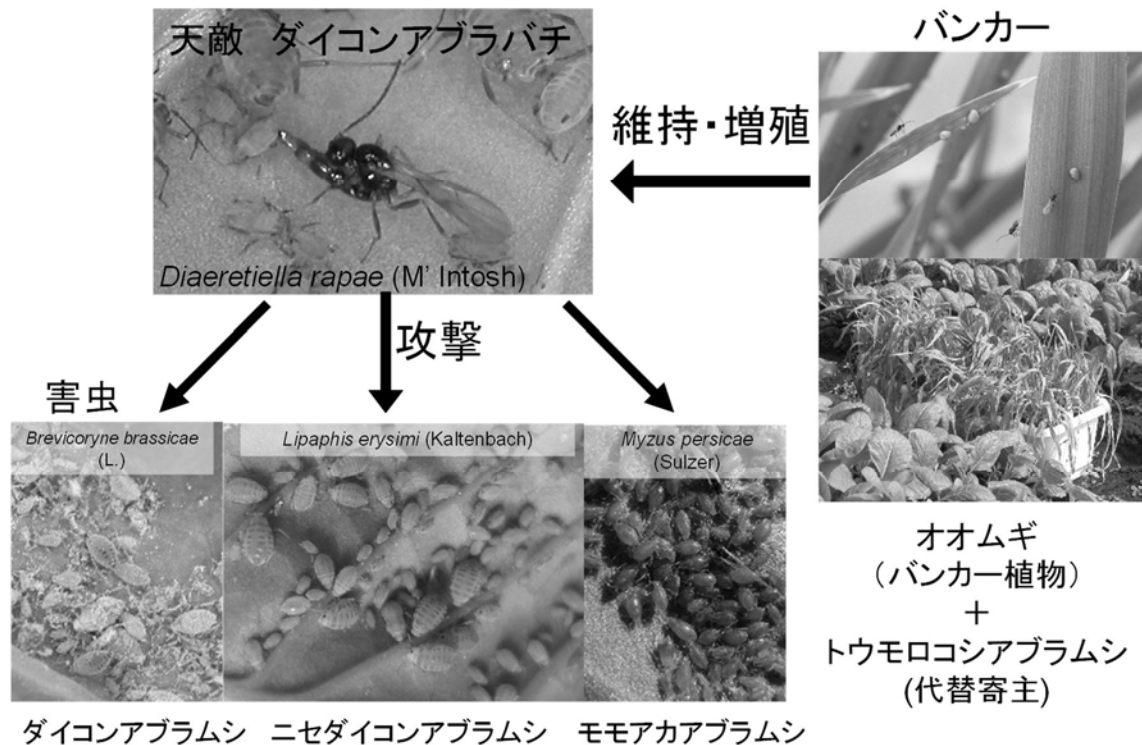
コマツナなどアブラナ科葉菜類のハウス栽培で問題となるアブラムシ類には、ニセダイコンアブラムシ、モモアカアブラムシ、ダイコンアブラムシの3種がある。化学合成農薬を使用できない栽培法では、これらの中でもニセダイコンアブラムシの発生が多くなる。しかし、前述のコレマンアブラバチはニセダイコンアブラムシには寄生しないため、従来のバンカー法では防除できない。そこで、アブラナ科野菜で発生する3種のアブラムシ全てに対して寄生性の高い天敵ダイコンアブラバチを用いたバンカー法によるアブラムシ防除を検討した。このダイコンアブラバチは国内で普通に見られる土着種である。

ダイコンアブラバチは、アブラナ科植物を加害しないトウモロコシアブラムシにも寄生できるので、オオムギに着生させたトウモロコシアブラムシを代替寄主としたバンカー法が可能と考えられる（巽ら、2003）。このダイコンアブラバチを用いたバンカー法を、コマツナあるいはナバナを生産するハウスで試みた。

京都府内でコマツナを周年栽培しているハウス（有機JAS認証、4棟、面積各約2a、側窓に1mm目合の防虫ネット使用）で2001～2002年に害虫の発生状況を調査したところ、春と秋にニセダイコンアブラムシを中心に、ピーク時には10%以上の株（最大40%程度の株）にアブラムシ類の発生が見られた。そこで、2003～2004年にダイコンアブラバチを用いたバンカー法を2棟のハウスで試みた。残り2棟のハウスは対照とした。このバンカー法では、あらかじめ、プランター植えのオオムギにトウモロコシアブラムシを着生させ、網掛けをした上でダイコンアブラバチを放飼し、定着させた。ハウス内でのコマツナ播種後にこのプランターを1aあたり1～2個設置し、作毎に取り替えた。なお、このプランターからは2～3週間にわたり約500頭のダイコンアブラバチが羽化したと推定された。

バンカー法を実施したハウスでは、アブラムシ類の付着した株の割合が年平均で0.6%程度と、大幅に低下した。ここではアブラムシ類が僅かに見られることはあったが、収穫物（葉）への残留が問題となるような高密度に達することはなかった。

ダイコンアブラバチを用いたバンカー法



一方、茨城県内でナバナを生産するハウス（有機JAS認証、3棟、面積各約3a、側窓に1mm目合の防虫ネット使用）では、9月に定植した後、翌年1月の収穫終了までの間、毎年アブラムシ類が問題となっていた。ナバナはコマツナよりも作期が長いため、バンカー法も長期間継続する必要がある。そこで、ハウスの側窓下にオオムギを直播きし、ある程度大きくなったところで、トウモロコシアブラムシを着生させ、そこにダイコンアブラバチを放飼した。2008年の結果では、うまく抑えて被害の無いハウスが2棟、アブラムシの発生株率が40%以上となるほどに増殖したハウスが1棟であった。それでも収穫部分への実質的な被害（アブラムシの残留）はわずかであったことから、実用性の期待できる方法と考えられた。

ただし、天敵ダイコンアブラバチと代替寄主トウモロコシアブラムシは市販されていないため、その実際的な利用法について、さらなる検討を続けているところである。

これらアブラナ科野菜では、害虫はアブラムシ類以外にも多く存在する。例えば、先に述べたコマツナ周年栽培の場合、春から秋にかけてはキスジノミハムシ、秋にはダイコンサルハムシ、冬にはヤサイゾウムシが発生し、一年を通して害虫の食害に悩まされていた。これらに対する有効な天敵は見つかっていないため、対応策として、物理的な防除法を採用した。キスジノミハムシとダイコンサルハムシについては、ハウス周りのアブラナ科雑草が発生源または待避場所と考えられたので、これを無くすために、ハウス周囲に防草シートを敷設した。冬期のヤサイゾウムシに対しては、簡易なトラップを考案し、捕殺を試みた。これらの対策により、当初年平均60%程度だった食害葉の割合は40%程度に減少し、アブラムシ対策を加えて出荷量を約1.7倍に増加さ

せることができた（長坂、2009）。これは収量増加の効果だけではなく、収穫・調整の際に被害のない株を選び分けるための作業時間を大幅に減少させる効果もあり、栽培面積の拡大を可能にした（尾島ら、2007）。

おわりに

上述のハウス野菜以外にも、現在、レタス（秋～春）、ミニトマト（春～秋）などの有機栽培ハウスにおいて天敵利用を試みている。レタスでは、モモアカアブラムシの他に、ジャガイモヒゲナガアブラムシ、チューリップヒゲナガアブラムシ、台湾ヒゲナガアブラムシも問題となる。ミニトマトでは、ワタアブラムシはバンカー法で解決できるが、チューリップヒゲナガアブラムシには苦慮している。同時にコナジラミ類、ハモグリバエ類、トマトサビダニにも対処していく必要がある。

「天敵銀行」ということで、アブラムシ類に対するバンカー法を中心に述べてきた。上述のように、一部のアブラムシに対しては非常に有効な手段である。しかし、ハウスでの野菜の有機栽培で発生するアブラムシ類のすべてに対応することはできない状況である。これに対して、土着のアブラバチ類（ダイコンアブラバチの他にも、ナケルクロアブラバチ、ギフアブラバチ）を利用したバンカー法の研究を進めているところである。

一方、野菜のハウス栽培で問題となる害虫はアブラムシ類だけではない。どの品目にしても、化学合成農薬を使用しない場合に発生する多様な害虫を総合的に管理する必要がある。こうした状況は私たち研究者にとっては未経験の部分が多い。また、害虫密度をどの程度以下に管理するのかを含め、技術の実用性は、結局は経営的な見地から評価する必要がある。従って、実際の生産圃場において事例を蓄積しつつ、生産者の皆さんと一緒に実用的な方法を考えていくことが大切であると認識している。

参考文献

- 尾島一史・長坂幸吉・萩森学・安部順一郎・田中和夫（2007）：雨よけハウスを利用したコマツナ無農薬周年栽培を安定化させる技術体系の導入効果と課題．有機農業研究年報 7：171-184.
- 巽えり子・新井絵美・長坂幸吉・高田肇（2004）：ハウス栽培コマツナにおけるアブラムシの生物的防除の可能性．I．アブラムシとその天敵昆虫の発生消長並びに天敵昆虫放飼による防除効果．京都府立大学学術報告 人間環境学・農学 55：87-100.
- 長坂幸吉・大矢慎吾（2003）：バンカー植物の活用 - アブラバチ類 - ．植物防疫 57：505-509.
- 長坂幸吉（2005）：バンカー法技術マニュアル http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/010770.html （2013年10月15日現在）
- 長坂幸吉（2009）：施設ナス、ピーマンでのバンカー法の実例．農業総覧防除・資材編追録 14(10)：982の6-13.

- 長坂幸吉・安部順一郎・尾島一史・田中和夫（2009）：中山間雨よけハウスでのコマツナ周年無農薬栽培における虫害軽減対策．植物防疫 63：418-422．
- 長坂幸吉・高橋尚之・岡林俊宏・安部順一郎・大矢慎吾（2010）：日本の促成栽培施設におけるアブラムシ対策としてのバンカー法の実用化．中央農業総合研究センター研究報告 15：1-50．
（<http://narc.naro.affrc.go.jp/chousei/shiryou/kankou/houkoku/hokoku-15-1.pdf>）
- 萩森学（編）（2006）：地域先導技術総合研究「中山間水田における害虫総合防除等による高品位野菜生産システムの確立」研究成果報告書．近畿中国農業研究センター

山梨県における有機農業研究と 圃場の生き物調査

國友 義博・赤池 一彦・萩原 裕一・長坂 克彦・野沢 一孝

山梨県総合農業技術センター

はじめに

有機農業は、農業の持つ自然循環機能を生かし、農業生産による環境への負荷を低減するとともに、ほ場内や周辺における生物多様性を維持しながら、自然生態系を利用した生産方法として、理解が深まりつつある。

さらに、消費者の農産物に対する食の安全・安心への意識が高まり、有機農業を実践する生産者が年々増加している。

しかしながら、有機農業は自然生態系を利用した生産方法であることから、試験研究機関による取り組みは少なく、生産者とのつながりもほとんどなかった。

一方、山梨県では、平成6年に「山梨県環境保全型農業基本方針」を策定し、国による「有機農業の推進に関する法律」（平成18年12月施行）及び「有機農業の推進に関する基本的な方針」（平成19年4月策定）を受けて、「山梨県有機農業推進計画」を平成21年3月に策定し、山梨県における有機農業の推進を図っている。

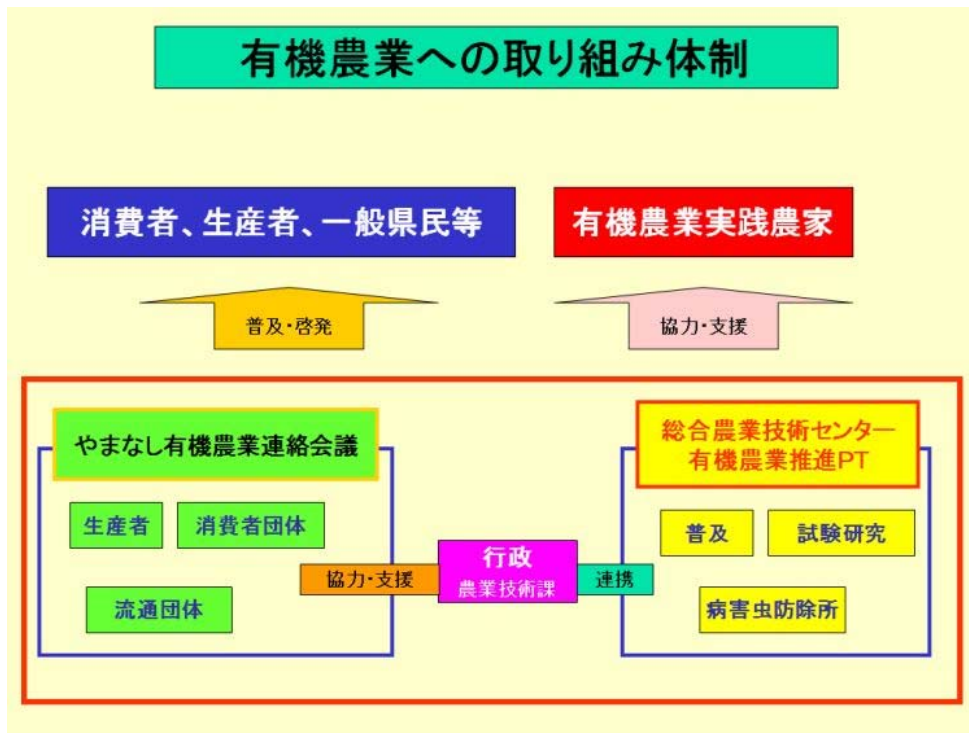
山梨県の八ヶ岳南麓に位置する峡北地域では、高標高地で冷涼な自然条件を生かし、数十年前から野菜を中心とした、有機農業が営まれている。

さらに、有機農業を実践する農家が長年にわたる経験と、地域に適応した栽培方法により生産が安定し、また、販売方法も独自に拡大するなど、経営が安定している。

しかしながら、試験研究や普及機関による有機農業の作付け体系や栽培管理、植生管理などの実態調査は行われていなかった。

そこで、山梨県総合農業技術センターでは、「有機農業推進プロジェクトチーム」（平成19年5月設置）を中心に、有機農業に関する現地での実態調査を行うとともに、有機農業技術の体系化と普及、消費者への理解など、試験研究と普及が一体となり、有機農業の推進に取り組んでいる。

また、生産者や消費者へ有機農業を普及・啓発するために設立された、生産者、消費者、流通団体等からなる「やまなし有機農業連絡会議」（平成20年6月設立）の活動に対し、協力・支援し、相互に連携しながら有機農業の普及・啓発を図っている。



1. 山梨県における有機農業に関する取り組み

(1) 試験研究による取り組み

平成 21 年まで

- ・ 平坦地と高冷地で有機栽培が可能な露地野菜の品目と作付時期
- ・ バンカープランツを用いたキャベツの虫害軽減策
- ・ 有機物施用土壌の適正な養分管理技術
- ・ 混作や間作を利用したキャベツ、ブロッコリーの有機栽培
- ・ 野生種エンバクすき込みによる秋どりダイコンの有機栽培



春キャベツ+タマネギ+白クローバー



秋ブロッコリー+ネギ+白クローバー

平成 22 年から 24 年

- ・ 夏秋キュウリの有機栽培適品種の選定
- ・ 夏秋キュウリを対象に、ニガウリとの混作や畦間の早生被覆による生育、病虫害、収量等への影響
- ・ 夏秋トマトの有機栽培適品種の選定
- ・ 夏秋トマトを対象に、ハーブやマリーゴールドなど忌避植物との混植による生育、病虫害、収量等への影響
- ・ 地力窒素に着目し、有機農業に適した施肥診断法の検討

平成 25 年以降

「果菜・葉菜類の有機栽培におけるマメ科緑肥の利用技術」

- ・ マメ科緑肥の利用技術の確立
- ・ 緑肥利用ほ場における土着昆虫類等の発生と動向の解明

(2) 普及機関等による取り組み

有機栽培ほ場における実態調査と害虫・天敵昆虫の発生活長調査



有機栽培ほ場



天敵等調査

有機農業技術普及実証

やまなし有機農業連絡会議への活動支援、有機農業の普及・啓発

「会員交流会」（平成 21 年 2 月 8 日）

「オーガニックミーティング '09」（平成 21 年 12 月 3 日）（山梨県と共催）

「オーガニックフェスタ 2010」（平成 22 年 10 月 23 日）

「第 2 回オーガニックフェスタ 2011」（平成 23 年 10 月 16 日）

「第 3 回オーガニックフェスタ 2012」（平成 24 年 10 月 28 日）



会員交流会



オーガニックミーティング '09

(3) 行政機関による取り組み（山梨県農政部主催）

有機農業推進シンポジウム（平成 21 年 3 月 24 日）

オーガニックミーティング '09（平成 21 年 12 月 3 日）

（やまなし有機農業連絡会議と共催）

有機農業推進大会（平成 22 年 12 月 24 日）

有機農業推進大会（平成 24 年 2 月 23 日）

やまなし発！有機の郷推進交流大会（平成 24 年 10 月 17 日～18 日）

2. ほ場の生き物調査

「やまなし有機農業連絡会議」では、平成 21 年から有機栽培ほ場での「畑の生き物調査」を実施している。

山梨県総合農業技術センターでは、現地の有機栽培ほ場で、作付・栽培状況、植生管理等の実態調査をする中で、病害虫の発生状況や天敵昆虫などの有用動物が確認され（未発表）、それらの情報を生産者に提供してきた。

このような活動を通じて、生産者の間では、有機栽培ほ場での有用な動物、あるいは植物などへの関心が高まり、生産者自らが病害虫や天敵を観察するなど、有機農業を行う上で重要な自然循環機能への関心へとつながり、「畑の生き物調査」が実施されることとなった。

「畑の生き物調査」では、有機栽培実践農家が自身の畑で自ら調査を行い、有機農業に関わる昆虫や植物などのデータを収集した（未発表）。これらを「やまなし有機農業連絡会議」が主催する「生き物調査報告会」や「オーガニックフェスタ」などで紹介し、有機栽培実践農家が生産者や消費者に、有機農業と生き物との関わりについて PR を行っている。



畑の生き物調査



オーガニックフェスタ 2010 畑の生き物調査ブース

これらの成果として、有機農業における自然循環機能や生物多様性を理解するため、「畑の生き物調査」の小冊子や、有機農業を実践している生産者や有機農業を目指す新規就農者等が「畑の生き物調査」に取り組めるよう、「生き物調査ハンドブック」を作成し、畑の生き物観察会等で利用している。

また、野菜だけでなく果樹園での「畑の生き物調査」にも取り組んでいる。

一方、普及機関に所属する普及指導員等には、有機農業を普及・啓発するため、有機農業実践農家から有機栽培ほ場での植生管理、病虫害、天敵など自然循環機能や生物多様性について学ぶ機会を与えていただいている。

さらに、「畑の生き物調査」を通じて、普及指導員等が有機農業の意義を理解するとともに、有機栽培実践農家との交流が深まってきている。



普及指導員等による調査研究

おわりに

有機農業の推進に関する法律(第二条)で、「有機農業」とは、化学的に合成された肥料及び農薬を使用しないこと並びに遺伝子組換え技術を利用しないことを基本とした農業(抜粋)、と定義されているが、それに加えて、基本となる技術としては、適期適作、混作・間作・輪作、土づくりや有機物の施用があげられる。

さらに、ほ場内外の雑草を含めた植生管理や動物、昆虫、微生物などの生物多様性を高め、自然循環機能を生かした農業が有機農業であるといえる。

今後引き続き、有機農業の実態調査を実施するとともに、得られた成果は有機農業実践農家のほか、新規就農者、消費者等にも提供し、有機農業の普及・啓発に努めたい。

また、ほ場の生き物調査を通じて、生物多様性や自然循環機能など、有機農業が持つ特性について、さらに解明していく必要がある。

参考文献

赤池一彦・窪田 哲(2002)「山梨県総合農業試験場研究報告」第11号 p35-44

赤池一彦・平林正光・窪田 哲(2004)「山梨県総合農業試験場研究報告」第14号 p1-10

赤池一彦(2004)「農業および園芸」第79巻第4号 p467-472

赤池一彦・千野正章・對木啓介・宮川芳樹・竹丘 守(2009)「山梨県総合農業技術センター研究報告」第3号 p1-7

赤池一彦・千野正章(2011)「山梨県総合農業技術センター研究報告」第4号 p25-32

赤池一彦・小澤明子・千野正章(2011)「有機農業研究」第3巻第1号 p34-43

赤池一彦(2012)「農業および園芸」第87巻第1号 p16-22

五味亜矢子・小菅惟夫・加藤成二・千野浩二(2003)「山梨県総合農業試験場研究報告」第13号 p20-29

石川寛人・對木啓介・平林正光・赤池一彦(2011)「山梨県総合農業技術センター研究報告」第4号 p17-23

國友義博・赤池一彦・長坂克彦・石川寛人(2010)「有機農業研究」第2巻第2号 p65-70

山梨県総合農業技術センターホームページ

<http://www.pref.yamanashi.jp/sounou-gjt/index.html>

MEMO

本資料の複製、転載および引用は、必ず原著者の了承を得た上で行ってください。

2013年11月20日発行

有機農業研究者会議 2013 資料集

「有機農業研究者会議 2013」実行委員会事務局

〒390-1401 長野県松本市波田 5632

Tel/FAX : 0263-92-6622

Email : office@yuki-hajimeru.net

