

## 連載 日本の農薬産業技術史(5)

## —農薬のルーツと歴史、過去・現在・未来—

独立行政法人 国立科学博物館  
産業技術史資料情報センター 元主任調査員

大田 博樹 (おおた ひろき)

## はじめに

これまでに1990年までの農薬の歴史について4回にわたって述べてきたが、この間に3回のパラダイムシフトと言える大きな進歩と変革が起こった。ここでは、1990年以降、現在に至るまでの20年強について述べる。この時期には規制強化がさらに続く中で新規な作用機構を有する多くの超高性能薬剤が登場した。これが4回目のパラダイムシフトである。まず本稿で概観と殺虫剤について述べ、次いで同様の重要な進歩があった殺菌剤と除草剤については次回に述べる。農薬の高性能化は実際には1980年代から始まっているが、新規作用機構を有する薬剤が相次いで登場した1990年代以降に便宜上区切って述べる。

## V 成熟期から縮小の時代にもかかわらず超高性能農薬の出現が続く (1990年から現在まで)

### 1 概観

日本経済は1991年(平成3年)にバブル景気が崩壊し、その後いざなぎ景気と言われる好循環があったが、景気回復の実感は乏しく、2008年(平成20年)の9月に起こったリーマンショックにより再び景気が悪化し現在に至っている。失われた20年とも言われるほどに長期にわたる不景気が続いている。

農業環境はその間も低迷した。1991年(平成3年)には牛肉、オレンジの輸入が自由化されるなどにより、国内農業はますます弱体化した。食料の自給率は年々低下し、1965年(昭和40年)にカロリーベースで73%、生産額ベースで86%であったのが、2011年(平成23年)にはそれぞれ39%、66%まで低下した。ただ、自給率を考えるとときには品目別に見る必要がある。数量ベースでの品目別の自給率(2011年)を見てみると以下のようになる。ここで肉類、鶏卵、牛乳乳製品については飼料自給率を考慮していない数字であるがこれを見る限り

では、小麦、豆類を除けば自給率でおおむね50%を超えていることがわかる(表-1)。

また、絶対的な食料消費量も低下した。とくにコメは、一人当たり消費量のピークが1962年(昭和37年)に118.3 kg/人・年であったのが、2011年(平成23年)には57.8 kg/人・年まで低下した。農業就業人口は、ピークの1960年(昭和35年)に1,454万人だったが、2012年(平成24年)には251万人にまで減少し、平均年齢も65.9歳と高齢化した。

農業産業も農業環境に連動して停滞、減少の時期に入る。前回に図-1(植物防疫68:629.)で示したように出荷金額は1996年(平成8年)の4,455億円をピークに減少が続き、2011年(平成23年)には3,552億円と2割減少した。一方で食品の最終消費者である国民の食生活に対する安全、安心の関心が高まり、その対応として消費者保護の観点から「食品安全基本法」が2003年(平成15年)に制定され、これに合わせて食品衛生法も改正された。

このような状況下で新農薬の開発のハードルはますます高くなり、成功確率が年々低くなった。このリスクを避けるために、海外においては大型の合併が進み、現在

表-1 品目別自給率(数量ベース)

コメ	96%
小麦	11
いも類	76
豆類	9
野菜	71
果実	38
肉類	54
牛	43
豚	52
鶏	66
鶏卵	95
牛乳乳製品	65
魚介類	52

では探索段階から新農薬を開発している企業はほぼ5社に集約された。その余波は日本にも波及し、いくつかの企業が農業事業をあきらめて事業売却が進んだが、現在でも12社が研究開発に注力している。長期にわたり培ってきた技術基盤が日本企業に根付いていることの証であろう。

## 2 法規制の動き

1990年（平成2年）に「ゴルフ場で使用される農薬による水質汚濁の防止に係る暫定指導指針」が環境省によって作られた。ゴルフ場で使用される農薬に対する規制が後手に回っていたため、マスメディアでとりあげられ社会問題となっていたが、この規制により農薬の適正使用が図られた。以降、環境省はゴルフ場の排水口から出る排水の農薬濃度の測定を毎年継続して行ってきた。1990年（平成2年）の調査は、1,455のゴルフ場から46,000検体を測定したが、指針値を超過したものは10件（0.02%）であった。その後も年間10万検体を超えるサンプルの測定が実施されているが、基準値を超えたものは数件（全体の0.002%程度）にとどまり、2001年以降は基準値を超えたケースはゼロであった。

2000年（平成12年）に「有機農産物の日本農林規格（JAS）」が農林水産省によって定められた。これは化学肥料や合成農薬を使用せずに生態系を保全させながら農産物を生産しようという社会的な流れの中で、有機栽培という定義があいまいなために市場で混乱が起こっていたことによる。この規格では化学的に合成された肥料、農薬を使用しないこと、遺伝子組み換え作物を使用しないこと等が厳密に定められている。ただ、現状では国内で収穫された有機農産物は、2010年（平成22年）時点で全生産量の0.23%と少ない量にとどまっている。

最後に、厚生労働省が2006年（平成18年）に導入した「ポジティブリスト制度」について述べる。これは食品（農作物、加工食品、肉類、卵、乳製品、魚介類等すべての食品）中に残留する農薬、飼料添加物、動物薬（合わせて農薬等という）について、原則すべての農薬について残留基準値（一律基準値を含む）を設定して、食品中に基準値を超えて残留するときは販売、流通等を禁止する、というものである。これ以前は「ネガティブリスト制度」となっていて、原則規制がない状態で、規制する農薬のみをリスト化して、その農薬を規制するというものであった。このため、輸入農産物については海外で使用されている農薬が日本では残留基準が設定されていないケースがあり、そういうものには規制ができない状態にあった。この制度によって、残留基準が設定されていない農薬については「人の健康を損なうおそれ

ない量」として一律基準値0.01ppm（1億分の1）が設定されることとなり原則すべての農薬が規制できるようになった。ただ、この残留基準値、特に一律基準値は安全の基準というよりは、規制の目安（農薬が適正に使用されているかどうか）と考えるべきであろう。

我々が日常口にしていて食品中の農薬残留の実態はどうなっているのだろうか。ここでは厚生省が地方公共団体、検疫所における検査結果を集計して公表している概要を表-2に紹介する。結論は農薬が検出された割合、基準値を超えた割合いずれも極めて低い結果であった。農薬の適正使用の指導の効果が表れていると言える。

## 3 超高性能農薬の登場

日本で登録されている農薬（2012年6月時点）のうち、日本企業が開発した剤（無機化合物、生物農薬、補助剤等一般的な低分子化合物は除く）を見ると以下のようなる。

- 殺虫剤：登録122剤のうち日本発54剤（44.3%）
- 殺菌剤：登録98剤のうち日本発43剤（43.9%）
- 除草剤：登録138剤のうち日本発51剤（44.0%）
- 植物成長調整剤：登録25剤のうち日本発11剤（41.5%）
- 合計：登録383剤のうち日本発159剤（41.5%）

実に4割強の農薬は日本で創製され開発されたものであった。欧米の大企業は合従連衡を繰り返してきた結果その規模は日本企業に比べ圧倒的に大きく、研究開発投資の金額も巨大となっている。それに比べ規模の小さい日本企業は効率のよい新剤の創成能力を発揮して、世界商品に育ったもの、あるいは科学技術的に独創的な価値のある薬剤を数多く見いだしてきた。

### （1）殺虫剤

#### 1) ネオニコチノイド系殺虫剤の登場

日本特殊農薬（現バイエルクロップサイエンス）の利

表-2 食品中の農薬残留の実態

	農産物	加工食品
検査数	3,455,719	463,330
農薬検出数	9,804 (0.28%)	954 (0.21%)
内国産品	2,314 (0.36%)	29 (0.27%)
内輸入品	7,490 (0.27%)	925 (0.20%)
基準値を超えた数	417 (0.012%)	84 (0.03%)
内国産品	21 (0.003%)	0 (0%)
内輸入品	396 (0.014%)	84 (0.03%)

厚生労働省「食品中の残留農薬検査結果の公表について（平成17～18年度）」平成24年10月29日公表。

<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/zanryu2/121029-1.html>

部はイミダクロプリド (アドマイヤー) を発明し、1992年 (平成4年) に農薬登録を取得した。その作用機構が天然殺虫成分のニコチンと類似していることからネオニコチノイド系と呼ばれる。この剤は世界で1,000億円を売り上げるといふ殺虫剤市場のトップに躍り出た。半翅目、鞘翅目、一部の鱗翅目、双翅目、アザミウマ目、シロアリ等広範な害虫に対して、既存剤の1/5から1/10という低濃度でかつ即効的に効果を発揮する。これをきっかけにしてその後2002年 (平成14年) までの間にそれぞれ特徴がある以下の7薬剤が追随した各社によって集中的に開発された。

アセタミプリド (モスピラン 日本曹達 1995)  
 ニテンピラム (ベストガード 武田薬品 1995)  
 チアメトキサム (アクタラ チバガイギー 2000)  
 チアクロプリド (バリアード 日本バイエル 2001)  
 クロチアニジン (ダントツ 武田薬品 2001)  
 ジノテフラン (スタークル 三井化学 2002)

なお2000年以降になってこの系統の殺虫剤が、程度の差はあるがミツバチに対する影響が大きいということが欧米において問題視されている。科学的に因果関係が証明されているわけではないが予防安全の原則で一部の剤の使用が制限されている。今後のモニタリングなど科学的な検証が望まれる。

## 2) 昆虫生育制御剤の発展

この時代になると昆虫生育制御剤 (Insect Growth Regulator IGR) と称されるものが盛んに研究され、多数の化合物が実用化された。IGRは昆虫に特有の生理すなわち表皮クチクラ層の成分であるキチン質の生合成の阻害、あるいは脱皮、変態の機能をかく乱して殺虫効果を発揮する。種特異的に働くので哺乳動物に対する安全性が高いという特徴を有する。

ブプロフェジン (アブロード) は日本農薬が1983年 (昭和58年) に市場に投入した国産第一号のIGRである。ウンカ類、ヨコバイ類、コナジラミ類の半翅目害虫に効果が優れている。特に幼虫に対してはLC<sub>50</sub>レベルで1ppm以下という低濃度で殺虫効果を示す。

ベンゾイルフェニルウレア (BPU) 系化合物のジフルベンズロン (デミリン) がデュファールによって1981年 (昭和56年) に市販されたのち、各社が注目してこの系統に参入した。石原産業は1988年 (昭和63年) にクロルフルアズロン (アタブロン) を登録した。昆虫の表皮クチクラ層の成分であるキチンの生合成を阻害し、脱皮が妨げられることで効果を発揮する。

日本化薬と三共 (現三井化学アグロ、以下同) は共同開発で、1999年 (平成11年) にクロマフェノジド (マ

トリック) を市販した。この剤は脱皮変態を誘導するホルモンであるエクダイソンをモデルとしている。幼虫が摂食すると、数時間で摂食行動を停止して脱皮を促進する結果、殺虫効果を発揮する。

住友化学は1995年 (平成7年) にピリプロキシフェン (ラノー) を開発、市販した。この剤は昆虫幼若ホルモン (Juvenile Hormone JH) と同様の活性すなわち変態を抑制して殺虫活性を発揮する。

## 3) 高性能殺ダニ剤の登場

この時代に化学構造的にも作用機構の上からも新規な殺ダニ剤が多数登場した。ヘキシチアゾクス (ニッソラン) が日本曹達によって1985年 (昭和60年) に開発されて以来現在に至るまでに15剤が農薬登録を取得した。そのうち10剤は国内メーカーの発明、開発によるものである。

ミルベメクチン (ミルベノック、コロマイト) は三共によって、北海道の土壌から分離された放線菌の産生する抗生物質であり、1990年 (平成2年) に市販された。幅広いハダニ種に高い活性を示し、既存剤との交差抵抗性も認められない。

この時期にミトコンドリア電子伝達系複合体I阻害剤 (METI) に分類される殺ダニ剤が多数開発された。日産化学は1991年 (平成3年) にピリダベン (サンマイト) を、日本農薬は同年にフェンピロキシメート (ダニトロン) を開発、市販した。その後、1993年 (平成5年) に三菱化学は、テブフェンピラド (ピラニカ) を、さらに宇部興産/三共は1995年 (平成7年) にピリミジフェン (マイトクリーン) を発明、市販した。ちょうど前述のヘキシチアゾクスが全盛期を迎えた1980年代後半以降にこれらの高性能剤がとってかわるよう登場したこととなる。これらの剤は1990年代前半に爆発的に普及し、殺ダニ剤市場の半分を占めるに至った。いずれも低薬量で効果を示すと同時に、即効性があり、ハダニのすべての生育ステージに効くという特徴を有する。

八洲化学はエトキサゾール (バロック) を発明、1998年 (平成10年) に農薬登録を取得した。殺卵活性、若虫に対する活性は驚異的に強く、ppbレベルで活性を示し、ヘキシチアゾクスなどの既存剤の100倍程度の強さに達する。

大塚化学 (現OATアグリオ、以下同) はベンゾイルアセトニトリル系の全く新しい骨格の殺ダニ剤シフルメトフェン (ダニサラバ) を発明し、2007年 (平成19年) に登録を受け市販を開始した。

日産化学はアクリロニトリル骨格を有する殺ダニ剤シエノピラフェン (スターマイト) を発明、2008年 (平

成20年)に農薬登録を取得した。シエノピラフェンは各種ハダニ類に殺卵活性が強く、既存剤との交差抵抗性も示さない。

日本農薬は、強い殺ダニ活性を有するピフルブミドを2012年(平成24年)の学会で報告している。現在開発中でまだ市販されていない。

約120億円強の国内殺ダニ剤の市場はいまやこれらの高性能剤でシェアを分け合っているのが現状である。抵抗性との戦いが宿命としてあるため継続的に新規剤が求められており、さらなる発展が期待される。

#### 4) 新規作用機構を有する超高性能殺虫剤の登場

住友化学は鱗翅目害虫、アザミウマ類に効果の高いピリダリル(プレオ)を発明し、2004年(平成16年)に農薬登録を取得した。既存の有機リン剤、合成ピレスロイド、IGR剤に抵抗性を獲得した害虫にも効果が高い。

石原産業はフロニカミド(ウララ)を開発し、2006年(平成18年)に国内登録を取得した。果樹、蔬菜のアブラムシ類、アザミウマ類に選択的に効果を示し、植物体内への浸透移行性がある。

日本農薬は2007年(平成19年)に、全く新しい作用

特性を有するフルベンジアミド(フェニックス)を開発、市販した。この剤は果樹のハマキムシ類、蔬菜のヨトウムシ、コナガ等の鱗翅目害虫の専用剤として注目されている。効果は食毒として作用し、残効性も長い。フルベンジアミドの登場は世界の農薬メーカーを刺激し、各社が開発に注力している分野であり、今後の展開が期待される。

メタフルミゾン(アクセル)は日本農薬が開発、2009年(平成21年)に登録を取得した殺虫剤である。野菜、茶の鱗翅目害虫に効果が高い。

また、日本農薬はピリフルキナゾン(コルト)を発明、2010年(平成22年)に登録を取得した。この剤は果樹、蔬菜のアブラムシ類、カメムシ、アザミウマ類、カイガラムシ類に効果が高い。摂食、吸汁ができなくなり、即効的に葉から落下するという昆虫行動制御剤(Insect Behavior Regulator, IBR)の範疇に入る薬剤である。

以上述べてきたように、この時代は、高性能かつ哺乳動物に対する安全性と環境への影響が少ない日本発の薬剤が多数登場した。

## 農薬と食の安全・信頼

梅津 憲治 著

—Q&Aから農薬と食の安全性を科学的に考える—

A5判 本文282頁、価格2,800円(税別)



本書は農薬が有する多面的な側面のうち、主に「人の健康とのかかわり」に焦点を当て、農薬や残留農薬の人の健康に対する影響について科学的に分かりやすく解説しています。著者が取り組んできた農薬に関する講演や講義で、実際に一般消費者や学生から寄せられた農薬の安全性に対する素朴な質問と著者の答え(Q&A)を各章のはじめに置き、それに関連する本文を読み進めていただけるように構成してあります。農薬はどのような安全性試験を経て農薬登録され、適正使用されているのかなどの基本的な内容から、残留農薬のヒトに対する健康影響やリスクコミュニケーションの取り組みまでを詳述。農薬の研究開発から試験研究機関、技術普及、流通・卸、農業生産法人など植物防疫の関係者にとって必携の一冊です。

一般社団法人 日本植物防疫協会 支援事業部 出版担当

〒114-0015 東京都北区中里2-28-10

TEL 03-5980-2183, FAX 03-5980-6753

e-mail: order@jppa.or.jp

振替00110-7-177867番