農 薬 と 生 物 環 境

細 辻 豊 二*

1. は じ め に

この表題はいろいろの意味にとれるが、ここでは農薬が生物環境で、どのような異なった反応を示し、それが新農薬開発に役立つかを述べたい。

農薬を施用するときは、必ず寄主体と有害生物とが存在し、それが図1のように環境に取り囲まれている。ところでこの環境には流動性があるから、たえず寄主体と有害生物の適合環境のどちらかに動いている。また寄主体も有害生物も生物であるから、個体変異がそれに作用する。このように図1は一見非常に単純のようにみえるが、その実きわめて複雑なものである。これらに農薬が作用するからその都度結果も異なるだろうし、またこれらを考慮せずに、農薬の効果や薬害の判定はできない。

2. 環 境 の 要 因

このような複雑な環境は、数多くの要因で構成されているが、農薬施用の場合の最低必須要因はつぎの項目であろう。

(1) 気象条件 普通、気象条件としては温度、湿度、日照、雨量、降雨状態、風向、風速(風力)、夜露などが考えられる。それらのうち、温度、湿度、日照は寄主体および有害生物に、日照、雨量、降雨状態、風向、風速(風力)は農薬に対して、とくに考慮されるべき要因であろう。ところで夜露はしばしば軽視されがちだが、夜露は寄主体、有害生物(とくに病原菌)、農薬の3者ともに強く作用するものである。農薬についていうと、粉剤などは夜露によって、その効力は強化され、また逆に薬害の原因ともなる。その他夜露による影響は数多くある。

(2) 土壌条件 土壌の性質が寄主体に影響し、それが間接的に一般有害生物や農薬に影響するのは当然である。ところで、土壌有害生物を対象とする土壌薬剤**は土壌条件が最も重要な要因になる。土壌条件としては、土壌型、土性、土壌温度、水分、透水性、硬度、地下水

位、酸度、肥料成分などがあげられるが、これらのうち、水分、透水性、硬度などは、寄主体や有害生物のいる深度とともに、農薬の効果や薬害に強く影響をおよぼすにかかわらず、軽視されている。

(3) 農薬施用の前後関係 農薬を施用すると、その薬剤がどのような薬剤であろうとも、寄主体と有害生物になんらかの影響をおよぼす。図2は経験と理論より、薬害に関しての前後農薬の散布間隔期間を図示したものである。これはその1例であるが、今後効果および薬害を判定する場合には、絶えずこの前後関係を検討して、正確な判断をすべきである。

(4) 寄主体の状態と耕種条件

(5) 有害生物の状態と系統など

(4),(5)は個体変異も含めて、当然農薬施用の場合に考慮すべきことである。

(6) 寄主体および有害生物の生育ならびに発芽(ふ化)条件 対象とする寄主体および有害生物の生育や発芽(ふ化)の最適条件と、それらの上下限を知ることは、環境がどちらの適合環境に流動しているかを知る基本線である。このことは農薬の効果や薬害の判定の基礎になり、また農薬施用の三原則***のうち、適期を決定するものである。ところで、このような研究は、作物、病原菌、害虫については割合に進んでいるが、雑草については荒井ら¹⁻⁴⁾の優れた文献はあるが、前者にくらべて遅れている。このことは除草剤が、殺虫、殺菌剤に比較して未知の分野が多いことを示し、今後の除草剤の開発の可能性も高いと思われる。

以上述べた要因は、表1の薬害調査項目にほとんど含

** 土壌薬剤とは土壌中の有害生物を駆除する薬剤で、広義では除草剤も含まれる。地上部の有害生物でもそのライフサイクルの中で土壌生活を経るものも多く、その時に駆除する考えは古くからあるが、試験方法が難しいためにあまり進歩しなかった。最も未知の分野が多く、将来性のある農薬と考える。

*** 農薬施用の三原則とは適期、適剤、適量をいい、農薬の三適ともいう。

* Toyoji HOSOTSUJI, 理化学研究所(埼玉県和光市広沢)

図1 環境相関図

図2 薬害散布間隔図

図中の数字は散布間隔の日数を示す(三共農薬手帳原図)

まれている。しかしこれが薬害を生じてから検討されるのでは遅いのであって、つねにこれらの要因を検討することが、農薬の効果および薬害を正しく判定することである。

表1 薬害調査項目

(1) 散布場所	(2) 薬害発生場所	(3) 薬剤名と使用濃度
(4) 散布者	(5) 散布月日	(6) 散布時およびその前後の気象状態
(7) 散布機具名	(8) 散布前後の農薬施用状況	(9) 耕種条件
(10) 現在の薬害の状態	(11) 現在の有害生物の状態	(12) 発見の月日
(13) その時の症状と経過	(14) 土壌条件	(15) 農薬の攪拌の実施
(16) 散布機具類の洗浄	(17) 他植物の状態	(18) その他

3. 環境の分析

農薬施用に際し、前記の環境の要因をおおの分析する必要のあることはもちろんであるが、この分析の過程における生物学的な観察がしばしば新農薬開発の糸口になる。古い例としては、ボルドー液の発見などもこれにはいる。水田で用いられている水面施用剤の発見も、筆者らが粉剤を施用した場合、ほとんど粉剤が飛散するの

に十分効果を発揮すること、そのときの有害生物（この場合はニカメイチュウ）が水面近くに生そくしているなどの観察からなされた。ごく最近の珍しい例としては、現在の優秀なダニ剤シトラゾン、その前身をシトラジンといったが、これは非常にダニには有効であるが、浅田氏(日曹)がきわめてするどい観察力で、寄主体にわずかな異常を生じることを観察し、それから改良して、現在のシトラゾンを完成した。このような観察力による開発の糸口になった例は、他にも多くある。

つぎに最近人畜に対する作用を研究するのは必須になったが、その他、土壌有用菌や天敵など有用生物に対する作用を分析することも重要である。海外にサンプルを送付すると、必ずこの点を問いてくる。日本では有害生物の適用範囲拡大には努力を払うが、このような点は相変わらず遅れている。

また環境の分析に当然推計学の利用も考えられるが、筆者の経験によると、これにたよるとしばしば失敗を招いた。このことは、専門でない筆者らが、誤って利用したこともあるかもしれないが、むしろ農薬施用にはあまりにも要因が多すぎるため、一般推計学だけでは不十分のためではなかろうか。しかしいまでも筆者は、設計のときだけはこの推計学の原理を取り入れている。

4. 人工環境

環境の分析を裏付けるためには、どうしても人工環境が必要だが、この人工環境が新農薬開発の最も重要な手段にもなる。環境を構成しているのは、図1にも示したように、つぎの3要素からなりたっている。そのおののについて述べる。

(1) 寄主体 主として作物・果樹であるが、これをいつでも適品種、適量得ることである。これには設備と相当な高等栽培技術が要求される。それに農薬の研究には、施用時に最も有害生物に侵されやすい前処理が必要である。普通必要量の倍量を育成し、個体間の差異を少なくする。

(2) 有害生物 量産と農薬施用後の育成(予後)が問題になる。量産は殺生菌(Perthophyte)や腐生菌(Saprophyte)では割合に容易だが、絶対的寄生菌(Obligate parasite)、害虫、雑草では困難な場合が多い。これについていろいろの研究がなされているが、つぎの稲作主要病害虫の人工環境の発見は、新農薬開発に著しく貢献した。

① いもち病の接種法 ポット稲にいもち病を接種する方法は、戦前よりいろいろ試みられたが、十分でなかった。これについて筆者らは、昭和25年ごろより研究

を開始し、当時物質不足の時代で、多くの苦難はあったが、昭和 27 年に一応、ほぼ完全に近い接種箱を完成した。現在は図 3 のような近代的なもの（シンプトロン）もあるが、その原理は当時のものを発展させたものである（現在はこのシンプトロンは別な用途にも利用されている）。

もう一つ野外において、接種する方法も発見された。これはいねを密植させる方法で、温室のベットではときどき利用されたこともあるが、図 4 のように陸苗代を作って、いもち病を発生させる方法である。この両者は一長一短はあるが、そのいずれも、いもち病薬剤の研究を著しく促進している。

図 3 近代的接種箱（シンプトロン）（日曹）

図 4 いもち病接種用陸苗代（クミアイ化学工業）

② ニカメイチュウイネ芽ばえ飼育法 佐藤氏（武田薬工）はいネ芽ばえによるニカメイチュウの量産的な飼育法を発見した⁵⁾。この発見は実に素晴らしいもので、これによってニカメイチュウ農薬の開発は急速に進んだ。これが現在ニカメイチュウが、稲作主要害虫から脱落しようとしている遠因になっていると筆者は信じている。図 5 は筆者らの研究室で行なっている飼育状況であるが^{6,7)}、その原理も佐藤氏の発見によるものである。

このほか、これに類する発見は数多くあるが、失敗し

図 5 ニカメイチュウ芽ばえ飼育（理研）

た例も多い。筆者は数年前、広面積の雑草園を計画し、純粋育成した雑草種子を、絶えず入手できるよう試みたが、これは作物を栽培する以上にむずかしく、時間と経費の点で放棄せざるをえなくなった。これは前ページにも書いたが、雑草のこの方面の研究が遅れていることも一因であり、今後除草剤を開発するためには、どうしても解決せねばならない問題であろう。われわれはとかく有害生物の基礎的な研究が不足がちになるが、これが新農薬開発に著しく関与することを、あらためて認識せねばならない。

(3) 農薬 新農薬の合成または製剤化は化学者が担当するが、その評価を生物研究者が、普通、人工環境下で決定する。ここに人工環境の重要な意義がある。これにいかんが努力が払われたか、2,3 の未発表の事例を示そう。

① ターンテーブル 農薬を施用する場合、普通ターンテーブルが使用される。図 6 は市販のものであるが、これは戦前からあるものを簡素化したもので、およそ人工環境は考慮されていない。図 7 の日曹式ターンテーブルは、人工環境をとりいれた、従来のものとは基本的に異なる新型のものである。これは 3 室からなり、散布室、人口環境室、接種室がある。入口より搬入されたポットは、散布室の特殊ノズルにて、きわめて正確に薬剤が散布され、人口環境室を回転する。人口環境室には一定温度と湿度の一定方向の微風が流れる。その間に自然乾燥もする。また上部には、蛍光灯の照明設備もある。すべてこれらは自動的におこなわれるもので、人員の節約はもちろん、従来の不自然な移動や、非能率的な動作は改良された。これは当時新農薬開発のために、非常な威力を発揮したが、現在はさらにこれを改良した 2 号機がある。なお接種室と霧雨ノズルは、別の目的に使用するものである。

② 降雨・送風装置 降雨装置を持っている研究所は

図6 市販ターンテーブル(理研)

図7 日曹式ターンテーブル1号機
上実物(一部未完), 下設計図

多いが、詳細な検討がなされて設置されたかどうか疑問も多い。また送風装置を持っているところは少ない。雨や風が農薬の効果や被害に著しく影響することはすでに述べたが、十数年前、数少ない文献⁹⁾などを参考にし、実際の降雨ごとのカメラなどの測定で、雨滴の粒径と落下速度を算出し表2のような基準を作った。降雨状態の呼称は気象学的には一部あるが⁹⁾、常識的なものに従った。雨量はこの設備ができてから、測定したものである。風速(風力)は現在気象庁が17階級にわけているが、表3のように単純化した。そして図8のような設計図を完成した。この測定および設計には、筆者らと赤羽氏(現サンエー社長)らが、約1年かかって完成した。塔の高さを8mにしたのは、8m以上になれば落下速度が一定になるためである。この塔の特長は金網層で、いろいろの金網を代えることで、粒径を調節し、自然落下させることである。風速は吸気孔に取り付けたダンパーの開閉で加減できるようにした。実際に完成すると、

表2 降雨状態と雨滴

降雨状態	粒径(mm)	落下速度(cm/sec)	雨量(mm/min)
霧雨	<0.5	50~400	<1
細並雨	0.5~1.0	400	1
並雨	1.0~2.0	400~650	10
強雨	2.0~4.0	650	11~12
豪雨	4.0~7.0	700~800	>12

表3 風速と状態

風速(m/sec)	状態
8	小樹がゆれる
6	小枝が大きくゆれる
3	葉や小枝がたえず動く
1	葉が軽くさやぐ
0.5	煙が軽くなびく

図8 人工降雨・送風装置

雨量が実測と相当異なったが、粒径と落下速度についてはほぼ目的を達している。

この装置は主として農薬の製剤化の比較に用いたが、増量剤によって、農薬の流亡に相当差があることがわかった。当時これで選別されたものは、同一有効成分であっても、品質が優秀であると使用者側より歓迎された。

最近あまり同一有効成分の製品間で、差があることを聞かなくなったが、このような研究が、なおざりにされているのではなかろうか。われわれは戦後間もなく、日本が輸入農薬万能の時代に、相手国の農薬の製剤が日本の自然環境下でいかに合わなかったかを経験している。いまは輸出の時代に代わったが、同じようなことを相手国も感じてはならないだろうか。筆者はいまでも農薬製剤化がいかに重要であるかを痛感している。

またこの装置によって、降雨による農薬の流亡は、雨量とともに、雨滴の落下衝撃もきわめて重要な要因であることも知った。現在この装置が使用されているか、改良されたかどうかは知らないが、現在の発達した技術により、さらに自然に近い降雨、送風装置によって、農薬の残留測定や安全使用基準にも活用されることを望みたい。

(4) 農薬開発の実例 除草剤を除いて、日本で発見された国際的な農薬は、スミチオン、トップジン、ブラエス、カスミン、パダンなどであろう。筆者は幸いにもこのうち二つに関係した。その一つのトップジンを発見した研究所は、すでにここで例証としてあげたシンブトロンや日曹式ターンテーブルを有しているところで、高度の優れた人材と設備を持っている。生物環境についても、以前から重点を置いており、農薬面では日本で最初のファイトトロンを創設している。また一方すでに述べたように日曹式ターンテーブルの2号機をつくるなど、つねに斬新な開発に向って進んでいる。トップジンは、このような環境のもとに、従来とは異なる新しい試験方法で発見されたものである。もう一つのブラエスの発見については、すでに報告¹⁰⁾があるように、たまたまいもち病の接種(箱)の成功とこの選別試験とが合致したところに、発見の基因の一つがある。カスミンも陸苗代のいもち病の接種法の完成によって発見されたと聞いているし、パダンは当然佐藤氏のニカメイチュウイネ芽ばえ飼育法が寄与したであろう。スミチオンの発見については、詳しくは知らないが、バイエルと同じ人工環境下の試験方法では発見されなかったであろう。このように考えると、超一流の国際的農薬は、いずれも人工環境下における新しい試験法とともに誕生している。すなわち、きわめて優秀な新化学物質が、新しい試験方法と合

致したときに生まれている。換言すれば、「新しい試験方法の発見は、新農薬の発見に等しい」という格言は至言で、新化学物質と試験法が相乗的に作用したところに国際的な真の農薬ができています。最近も相変わらず、旧態依然の試験方法で僥倖を狙っているものもあるときくが、これはたとえ発見されても、農薬界を混乱させるだけのものだ。

5. 人工環境の特例

筆者の経験より、つぎの3項目は現在どうしても、人工環境下では解決できないと思う。

図9 理研採土器 H-3 型
上実物、下設計図

(1) 土壤薬剤 土壤薬剤の試験方法は数多くあり、筆者も数種提案したが^{11,12)}、そのいずれも基本的な土壤構造を破壊する欠点がある。そこで人工環境下での土壤薬剤の試験は、ただ土壤を媒体としたのにすぎず、自然環境下での結果との相関はきわめて低い。最近筆者が提唱した理研採土器 H-3 型(図9)を用いた試験方法は、この点を改良し、やがて人工環境下での試験を可能にするであろう。この試験方法の詳細については別途文献を参照されたい¹³⁾。筆者は現在土壤薬剤の研究に専念しているが、77 ページ脚注にも書いたように、試験方法はむずかしく、これを解決したものが、国際的にも待望されている新土壤薬剤の開発の糸口をつかんだものといえよう。

(2) 植物成長調整剤 これは薬剤の性質にもよるだろうが、筆者の経験では、バイオアッセイはできても、人工環境下では十分な結果を得られない。これは人工環境と自然環境との差に最も敏感なようで、自然環境下の地域別大面積の試験をしないと、真の結果はわからないだろう。

(3) 薬害 この試験も人工環境下では無理だが、どうしても行なわざるをえないものである。昔は軟弱な寄主体を用いて、薬剤処理(普通は適用濃度の倍量)後は過湿または強風下に置き試験した。しかし現在では、これではまったく不十分になった。プラスチックは筆者も試験したが、素晴らしい薬剤で、ここ当分はこのような薬剤は出ないと思うが、残念なことに未知の薬害のために消え去った。もし事前にこの薬害がわかっていたら、最も有力なもち病薬剤になっていただろう。このように人工環境下における薬害の研究は、きわめて重要な、しかも急がれるべきことでありながら、なんら系統的な研究がなされておらないのは残念なことである。

6. 将来の環境

これは研究テーマに関係することであり、各人、各研究所、各会社で異なり、秘密にされている。人畜の将来の環境、寄主体の変化、有害生物の変化と抵抗性または耐性、農薬の将来型など多方面にわたり検討し、決定すべきである。これとは別に、新農薬が開発されたら、その新農薬の将来性についても、詳細な検討を開始すべきである。筆者が一昨年米国に行ったとき、ベンレート[®]の耐性の有無をベンレートの発見とともに熱心に検討しており、将来性について討議していた。これなども、日本においても見習うべきだと思う。

7. その他の環境

よい新農薬の開発は、以上述べた環境だけでも無理である。政策、世論、食糧事情が開発を促進し、また遅延させることは周知のことである。ところで、指導者の判断によって、せっかくの好機も失した例もある。たとえば BT 剤は、すでに十数年前日本で試験し、多くの事実を発見した。しかし当時、環境がこれを受け入れなかった。現在 BT 剤はブームのようにになっているが、先駆者グループはなんら先行していない。

このほか、化学者と生物研究者のコミュニケーション、共同研究者とのチームワークなども重要なことで、トップジンの発見などは、その技術的な優秀さはもちろんのこと、各指導者を中心にして実によく調和のとれたことも成功に導いた原因であろう。

8. おわりに

以上述べたほかに、新農薬開発には研究者の精神的な環境も重要なことである。研究者自身はもちろんのこと、指導者もよく心して、よい精神的な環境を醸し出すことこそ、真の新農薬の発見につながるであろう。

筆者はここに、農薬と生物環境を、主として筆者の経験からいろいろと述べてきた。そしてまだまだ未知の分野があることを発見したことは、今後も理想的な新農薬が開発されることを示唆する。本文がこれに少しでも寄与するところがあれば幸いである。

おわりに当たり、快く写真や資料などを提供してくださった各社に対して、深甚の謝意を表したい。

参考文献

- 1) 荒井正雄: 関東東山農業試験場研究報告, **19** (1961)
- 2) 荒井正雄・千坂英雄・植木邦和: 日本作物学会記事 **30**, 39 (1961)
- 3) Robert, N. Andersen: "Germination and Establishment of Weeds for Experimental Purposes," Weed Science Society of America (1968)
- 4) 細辻豊二: 未発表
- 5) 佐藤安夫: 応動昆 **8**, 6 (1964)
- 6) 細辻豊二・内海恭一・広瀬正宣: 理研報告 **50**, 58 (1974)
- 7) 内海恭一: 理研報告 **50**, 70 (1974)
- 8) 三原義秋: 農技研報告 A No. 1 (1951)
- 9) 正野重方: "気象学総論", 地人書館, 1975
- 10) 見里朝正: 農薬生産技術 **30**, 1 (1973)
- 11) 細辻豊二: 日農研報告, No. 3 (1962)
- 12) 赤井重恭・桂 埸一編: "植物病学実験ノート", 養賢堂 (1974)
- 13) 細辻豊二: 芝草研究, **4**, 2 (1975)