

農薬の環境動態試験の現状

社団法人日本植物防疫協会研究所 たか
高
ふじ
藤 はし
橋
た
田 よし
義
とし
俊 ゆき
行
かず
一
社団法人日本植物防疫協会試験事業部

はじめに

農薬の環境動態の把握は、それによる環境負荷を知るための基礎として不可欠な課題であり、欧米では80年代後半から大きな進展が見られているが、我が国においてはこれまで断片的な知見の集積にとどまり、その全体的な解明は比較的最近になって進められるようになってきた。一般に圃場に投下された農薬成分は、その多くが分解等によってやがて消失すると考えられるが、その一部は拡散や移動によって水系等に到達し汚染原因となる可能性がある (LEONARD, 1990)。農薬の圃場外環境への拡散・移動経路は様々であるが、本稿では現在最も社会的関心が高い水系への混入に係わる主要な経路として、散布時の「ドリフト」、散布後の「地表流出」および「地下浸透」の三つの経路 (図-1) をとりあげ、主としてフィールドレベルでの調査法について紹介する。

I ドリフト

ドリフトとは農薬散布時に発生する漂流飛散のことで、散布粒子の舞い上がりが風によって飛散することによってもたらされる。古くは粉剤で問題となり、ドリフトしにくいDL粉剤への切替対応がすすめられたが、液剤 (乳剤や水和剤) が主流になるに従い、液剤散布時のドリフトに関心が高まっている。畑作主体の欧米におい

ては農薬の拡散経路としてドリフトが最も重視されており、研究蓄積も豊富である。とりわけよく知られているのがドイツ連邦農林生物研究センター (BBA) のGANZELMEIERらが1995年に公表した調査結果で、多くのフィールド試験結果をもとに作物タイプ別に圃場からの距離別に最大ドリフト率を算定している。この調査結果はEUにおける表層水評価の基礎となっている。米国でも同じ頃SDTF (Spray Drift Task Force) によって調査検討がすすめられ、シミュレーションモデルが策定されている。

我が国における液剤のドリフト調査もおおむねこれらと同じ方法で取り組まれている。すなわち、ガラスシャーレやろ紙をサンプラーとし、主風向の風下側に圃場末端からの距離別 (1, 3, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30, 50 m など) に配置して散布農薬成分をトラップして分析するものである (図-2)。この調査では、サンプリングのために遮蔽物のない広い区域が必要となる。水系への直接的な混入量の把握を目的とする場合には通常サンプラーを地上に置くが、目的によっては空中でのトラップが試みられる場合もある。農薬の代わりに色素を用いる方法もあり、蛍光色素と蛍光分光光度計を用いた測定法は比較的感度がよい。サンプラーとして感水紙を用いる方法 (和田ら, 1997) もあり、分析操作が不要ことから簡易的な評価を目的とする場合に適しているが、定量評価には向かない。

液剤のドリフトにはいくつかの要因が関与するが、噴霧粒子径と風が最も影響する。噴霧粒子径を左右するのは主として散布機と散布ノズルであるが、実圃場における風の状態は様々であることから、野外でのドリフト調

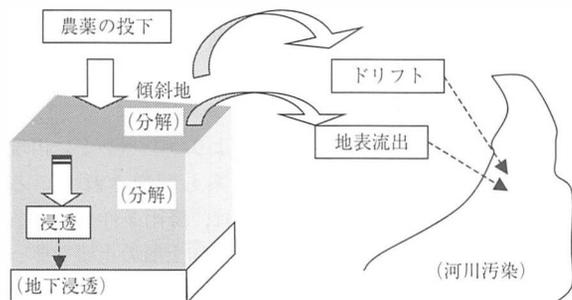


図-1 投下農薬の拡散・移動

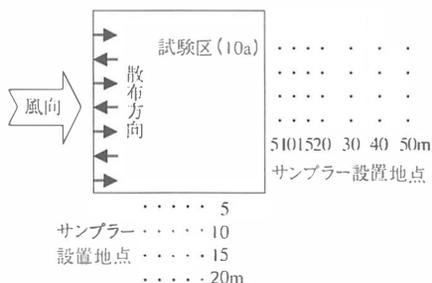


図-2 ドリフト調査試験区の概要

Field Test Methods on Environmental Fate of Agrochemicals. By Yoshiyuki TAKAHASHI and Toshikazu FUJITA (キーワード: 農薬, 環境動態, 試験法, ドリフト, 地表流出, 地下浸透)

査は多くの事例を重ねる必要がある。このため、風洞内に散布ノズルをセットし、一定の風速条件下において潜在的なドリフト性を測定する方法も行われている。風洞試験において空中でのトラップが必要となる場合には、サンプラーとして風の流れを妨げない紐やネット状の素材が用いられることもある。

散布機別では、スピードスプレーのように強い送風によって薬液を飛ばしながら散布するものでは、送風によるドリフトに自然風による影響が加わるため、ドリフトはどうしても大きくなる。

これらの調査を踏まえ、欧米においてはドリフトを低減するノズルや散布機が開発されてきているが、我が国でも最近同様の動きが見られるようになってきている。

II 畑地での挙動と流出

1 地表流出

欧米に比べて降水量が多く急峻な地理的条件にある我が国では、エロージョン対策の分野で畑地からの水や土壌の流出についての知見は多かったが、農薬成分の流出程度に関する調査は極めて限られていた。このため1995年頃から当時の環境庁の委託調査としていくつかの試験機関が連携して取り組まれてきた。

(1) 自然降雨による圃場試験

圃場における地表流出は希にしか発生しないため、発生しやすい圃場を選定しても、散布後にタイミングよく必要とする降雨（強度と時間）が得られるとは限らないことに加え、流出水をどのように捕集するかなど難しい課題がある。海外では地表流出水をオートサンプラーによって長期間連続捕集する調査も試みられており、そのような方法が理想的ではあるが、現実にはなかなか難しい。そこで、多くは地表流出の発生しやすい傾斜圃場において傾斜の方向に沿って畝を立てて作物を栽培し、まとまった降雨が見込まれる日の直前に農薬を散布する、という方法が用いられている。ここでは筆者が行った方法を紹介する。

表流水は図-3に示すような方法で採取した。1995年に黒ボク土の圃場（茨城県牛久市、傾斜角度5~6°）は自然降雨では表流水は得られなかった。1996年は7月の梅雨の時期と9月の台風通過時に実施した。その結果、梅雨ではほとんど発生が認められず、台風通過時の30 mm/hr前後の降雨で約1.7 l/m²の表流水が観察された（TAKAHASHI et al., 2000 a）。このときの農薬（3種類）の流出率は、投下量に対して0.01~0.05%程度であった。また、1997年に同様の試験を宮崎県の灰色低地土の圃場でも実施したが、多量の降雨が連続する期間

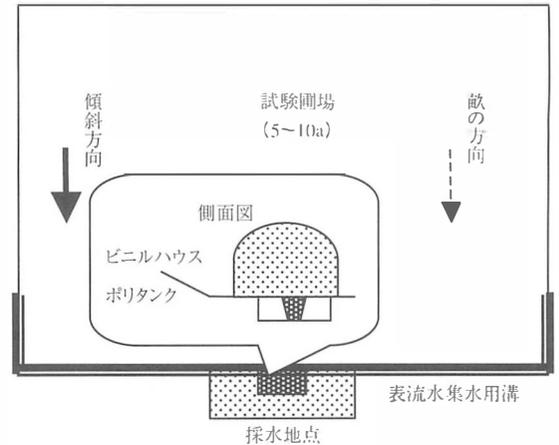


図-3 傾斜圃場における表流水の採取法の概略

に表流水が発生しやすい圃場では、5~7月に計13回の表流水の発生が観察された（TAKAHASHI et al., 2002）。

しかし、これまでの調査結果では、畑地からの地表流出は一般に発生頻度、地域ともかなり限定的であり、農薬の流出割合は概して小さいと考えられている（藤田, 1998）。

(2) 人工降雨による圃場試験

自然降雨による表流水の発生が不確実であることから、圃場にスプリンクラーを設置して散水（降雨）する人工降雨試験も実施されている（TAKAHASHI et al., 1999）。この試験では、キャベツを栽培している約700 m²の圃場の中に460 m²をカバーするように16基のスプリンクラーを設置した。しかし、スプリンクラーは水滴が大きいためやや特殊な降雨条件となるほか、設置に莫大なコストを要するので、一般的な方法ではない。

このほか、検討の初期においては10 m²前後の試験区でジョロを用いた人工降雨試験も行われているが、いずれの方法とも自然降雨を良好に再現することが課題である。

(3) 屋内小規模試験

野外での困難な地表流出試験をよりコンパクトに再現するため、屋内での小規模試験系も開発されている（TAKAHASHI et al., 2000 b）。これは、降雨条件や圃場条件を制御しやすくするため、圃場の作土層の土壌をそっくり大型のコンテナ（0.7 m²: 幅0.76 m, 長さ0.93 m, 深さ0.20 m）に詰め込んで小さな「圃場」（試験区）を作成し、この試験区に傾斜をつけて人工降雨装置の下に設置して人工降雨を与え、表流水を発生させるものである（図-4）。

圃場の作土層（表層約20~30 cm位まで）は、ロー

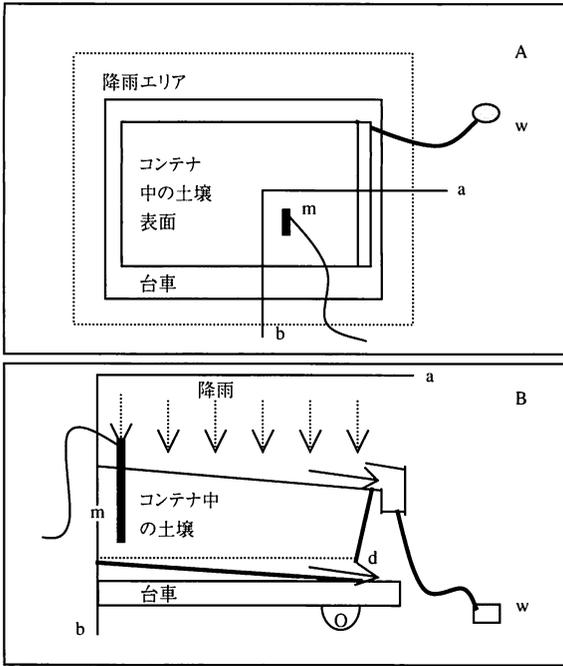


図-4 人工降雨による小規模地表流出試験系の概略
 A：俯瞰図，B：側面・断面図，a～b：切断ライン，
 d：浸透水，m：pFセンサー，w：採水器。

タリー等による耕起によってほぼ均一と考えられることから、ライシメータのような土層の作成やエイジング等を必要としない。また、供試した人工降雨装置はできるだけ自然降雨に類似するように工夫した。

この試験系によって圃場試験で得られた降雨条件を人工的に再現すると、圃場試験で得られた表流水と単位面積当たり同程度の水量の表流水を得ることができ、表流水中の農薬濃度もほぼ同程度であり、自然降雨による圃場試験の結果を再現することが可能であった(表-1)(TAKAHASHI et al., 2000 b)。このことから、本法は圃場での現象を解析、検証するのにも有効であると考えられる。

2 地下浸透

筆者らは、散布された農薬がどのような割合で作物と土壌表面に分布するのかの一例を明らかにした(TAKAHASHI et al., 1999)。散布によって直接的に、あるいは降雨等による作物からの wash-off によって土壌表面に到達した農薬は、土壌に吸着されやがて分解されるが、一部は土壌中に浸透移行していくものと考えられ、その程度は土壌や農薬の種類さらに降雨等の気象条件によって左右されるものと考えられる。

この農薬成分の地下浸透の程度を把握するための手法としては、これまでライシメータ試験等が考えられてき

表-1 屋内小規模試験系による圃場試験結果の再現 (TAKAHASHI et al., 2000 b)

試験法 (降雨方法)	面積 (m ²)	表流量 (l/m ²)	水中濃度 (ppm)		
			TPN	ダイア ジノン	ジメト エート
圃場試験 (自然降雨)	840	0.35	0.005	0.001	0.002
		0.63	0.018	0.002	0.003
		0.71	0.008	0.001	0.002
		1.69*	0.011	0.002	0.003
屋内試験 (人工降雨)	0.7	0.42	0.009	0.007	0.008
		0.65	0.010	0.005	0.002
		0.83	0.008	0.004	0.001
		1.91*	0.008	0.005	0.003

* 表流水を総計した場合の流出水量と水中濃度。

た。欧州では、実圃場の土壌層を立方体状にそっくり掘り上げてライシメータとして使用する方法もあるが、極めて大がかりなものとなる。このため我が国では、実圃場において地下浸透を把握するより簡便な方法として、ポラスカップ法 (SUZUKI, 2000)、パンライシメータ法 (山本・金子, 2000) および土壌コア試験 (荻山ら, 2002) 等が試みられている。これらの方法は、浸透水を調査するものと土壌中での農薬の移動を調査するものと大別される。

筆者らは、これらの手法の比較検討を行ったが、ポラスカップ法やパンライシメータ法のように所定深度における浸透水だけを捕集する試験では、農薬の移動性の把握にはやや不十分な場合があると考えている。これに対し、筆者らが試みた米国の野外消失試験に準じた土壌コア試験 (直径 5 cm, 深さ 0.5~1 m) では、深度別に土壌分析することで農薬成分の鉛直方向への移動性を把握するとともに分解消失に関する知見を得ることが可能であり、さらに深度層の土壌水を遠心分離によって抽出し分析することで地下水汚染のポテンシャルも推察可能と考えられた。本法を用いたこれまでの検討結果では、土壌で検出されなければ土壌水にも検出されず、浸透水にも検出されないことが明らかとなっているため、本法はサンプリング時のコンタミネーションに注意し、適切な日数間隔でサンプリングを行えば、かなり正確に農薬の実圃場中での挙動が把握できるものと考えられる。また、本法は PRIZM 等の土壌シミュレーションモデルの検証としても利用可能と考えられる。

しかしどの試験法にも一長一短があるため、目的や簡便性等を考慮して適切な方法を選択することが肝要であろう。なお、これまでの調査結果では、一般的な黒ボク土壌では作土層に深に浸透移行するケースはほとんど認

められていない。

III 水田圃場からの流出

1 田面水における消長と流出

水田圃場は湛水という特殊な条件にありしかも排水路等によって水系に直接つながっているため、農薬の流出がより強く懸念されている。

水稻などの栽培期間における水田は、表面が水で覆われ、農薬は主にこの水を媒介にして水田外へ流出する。田面水の流出は、降雨によるオーバーフローや掛け流しおよび強制落水等によって発生する。このため、農薬の田面水中での消長を把握することが、水系汚染のポテンシャルを把握するための基本となる。農薬の田面水中での消長は、現在農薬登録のガイドラインとして水田用ライシメータを用いた水質汚濁性試験が定められている。このほか、実水田圃場を用いてその田面水を調査する試験も各地で数多く実施されている。

2 水田における地下浸透

一般に水田の作土層の下には耕盤層が存在し、これによって長期間の湛水が維持されているが、田面水の一部はこの耕盤層よりも深部へ浸透するため、農薬成分も同様に浸透移行する可能性が指摘されている。また、暗渠の埋設された水田では、浸透水の一部は暗渠排水によって地表水に還元される(中村, 1999)。

田面水とともに浸透移行する農薬成分を把握するための試験法としては、水田ライシメータを用いた浸透水調査(中村, 1999)と実圃場を用いた水田土壌コア試験(図-5)がある。前者は上記水質汚濁性試験の一環としてとらえることができるが、後者は如地での土壌コア試験を応用したもので、部分的に田面水を排水したのちに採土管で注意深く土壌コアを採取する方法である。

筆者らが実施したこれまでの水田土壌コア試験の結果では、供試した複数の農薬はいずれも耕盤層の下層の土

壌および土壌水からは検出されないうちに消失した。このことから、基盤整備され耕盤層がしっかりした標準的な水田圃場においては、農薬は耕盤層を通して下層に移動することは極めて少ないものと推察している。

おわりに

以上、主要な経路に関する調査法について概略を紹介したが、これら以外にも大気中での濃度推移を調査する方法、実水田からの水尻排出量を直接把握する方法といった野外での様々な環境動態調査法がある。さらに現在、水田の畦畔浸透調査の試みも始められている。これらの調査は、農薬の環境動態を把握するために重要であるが、気象や地理的な条件ばかりでなく栽培管理条件にも大きく影響を受けるため、より規模の小さいモデル的な試験で動態予測を行うことが試みられつつある。本文で紹介した風洞試験や小規模地表流出試験のほかに、地下浸透に関しては土壌カラム試験の利用も検討されている。

さらに、環境中での挙動と農薬の基礎的な特性が明確に相関づけられれば、いくつかの特性パラメータから一定のシナリオに基づいて環境動態を予測評価することができるはずである。とりわけ農薬登録においては試験コストの観点からもこのような予測評価が有効であるため、欧米では早くからシミュレーションモデルの検討がすすめられてきた。我が国でもいくつかの試みが行われているが、全体としてまだ緒についたばかりである。これを推進するうえでは、一定の手法に基づくより多くの実環境中での農薬挙動に関するデータが必要なことは当然として、我が国の気象、土壌特性、河川といった環境条件や農業・栽培形態にも踏み込んだデータベースが必要になってくるものと考えられる。

引用文献

- 1) 藤田俊一(1998): 農薬環境科学研究 6: 77~89.
- 2) GANZELMEIER, I. H. et al. (1995): Studies on the spray drift of plant protection products. Results of a test program carried out throughout the Federal Republic of Germany, BBA, Berlin. 111 pp.
- 3) LEONARD, R. A. et al. (1990): "Pesticides in the Soil Environment: Processes, Impacts & Modeling," ed. By H. H. CHENG, SSA Book Series No. 2, Soil Science Society America, Madison, pp. 303~349.
- 4) 中村幸二(1999): 農薬環境科学研究 7: 1~10.
- 5) 荻山和裕ら(2002): 農薬誌 27: 24~30.
- 6) TAKAHASHI, Y. et al. (1999): J. Pesticide Sci. 24: 255~261.
- 7) ——— et al. (2000 a): ibid. 25: 140~143.
- 8) ——— et al. (2000 b): ibid. 25: 217~222.
- 9) ——— et al. (2002): ibid. (投稿中).
- 10) SUZUKI, S. (2000): ibid. 25: 1~9.
- 11) 山本幸洋・金子文宣(2000): 農薬誌 25: 207~211.
- 12) 和田 豊ら(1997): 関東病虫研報 45: 315~317.



図-5 水田土壌コア採取風景