

# 水系における農薬検出と流出制御

豊橋技術科学大学 <sup>いの</sup>井 <sup>うえ</sup>上 <sup>たか</sup>隆 <sup>のぶ</sup>信

## はじめに

農薬が散布された農地に留まって分解を受けて無害化され、環境中に流出しないのであれば環境への影響はないが、一部が水系に流出することが知られている。一方、河川や湖沼などの水環境中における生態系保全の重要性も指摘され、水産動植物への影響の観点からも農薬登録時に審査が行われている。これらのことから、農耕地に散布された農薬の環境水中への流出経路や、環境水中の濃度レベルを明らかにすることが重要になってきている。このような状況のもと、農林水産省のプロジェクト研究「農林水産生態系における有害化学物質の総合管理技術の開発」(2002～07年度)の中課題「農業生態系における化学物質のリスク評価」の一課題として「農薬の環境中での動態及び濃度予測手法の開発」を岩手県農業研究センター、長野県農業総合試験場、愛知県農業総合試験場と共同で実施している。研究成果については、順次論文などとして報告していく予定であるが、ここではその背景についても触れながら、農薬の水系への流出と制御について述べる。

## I プロジェクト研究の背景

河川や湖沼における農薬の測定は、ゴルフ場農薬の流出が問題になったところから、大学、国や県の研究機関などで、特に水田施用農薬について多数実施されてきている(日本環境毒性学会, 2006)。一方、経営耕地面積で見ると、2005年の農業センサスでは、表-1に示したように水田が200万haで全経営耕地面積345万haの半分以上を占めているものの、イネを作った田は149万haとなり水田の比率が50%以下になる。また、環境省ではPRTR(化学物質排出量届け出制度)において、指定されている354の化学物質について排出量を推計している。農薬については農地等への散布を排出とみなし、田、畑、家庭等に分類して推計されている。この推計は指定された物質が対象で、すべての農薬について推計されているわけではなく、また、キシレンなどの農薬への添加物で指定された化学物質も含まれていることに注意

する必要があるが、主要な農薬には含まれているためおおよその傾向を把握できる。2005年の結果をもとにして登録農薬のみを抽出し、散布先別の散布量を図-1に示したが、畑での散布量が圧倒的に多い。表-2にはPRTR結果と経営耕地面積から単位面積当たりの散布量について示したが、果樹園や畑では田の約10倍となっている。

PRTRでは散布量を排出量とみなしているが、実際の農地では分解や土壌中への吸着などにより散布された農薬のすべてが農地外に流出するわけではない。また、農薬の物性によって大気中や水系へ移行する比率が決ま

表-1 2005年農林業センサス経営耕地面積(単位:万ha)

経営耕地面積	345
田	200
イネを作った田	149
イネ以外だけを作った田	37
何も作らなかった田	14
畑	122
何も作らなかった畑	6
樹園地(果樹園)	22

農林水産省ホームページより。

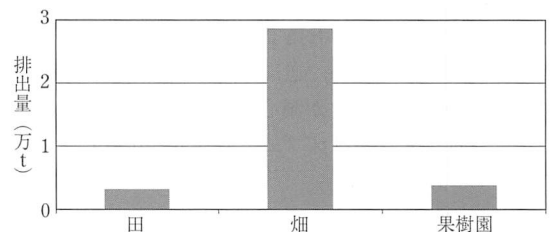


図-1 PRTRによる農薬の排出量(農薬原体のみ)

表-2 単位面積当たりの農薬排出量 (PRTRより算出。単位:g/a)

田	16
(イネを作った田)	(22)
畑	234
果樹園(果樹園)	174

る。我が国で使用されている農薬は土壌くん蒸剤を除いて揮発性は低く、水系に移行する比率の高い農薬が多いと考えられる。このため、水田に加えて散布量の多い果樹園や畑から水環境中への流出負荷量が、実際の程度であるかを把握することが必要になる。後述するが、水の移動に伴い農薬が水系に流出するため平地より傾斜地でより多く水系に流出すると考えられることから、傾斜地で栽培され農薬を多く散布する作物の代表として、果樹(リンゴ)と茶を選定し、流出負荷量を把握することを目的として研究を行っている。

また、多くの場所で多くの農薬を対象にして流出負荷量の実態調査を行うことは現実的には不可能であることから、これらの調査結果をもとに、対象としている流域で農薬の散布量と散布日がわかれば、河川水中の濃度変化が再現可能なモデルの開発も目的としている。このモデル開発では農薬の流出経路を推定することも行っており、これらの結果から農薬流出負荷の制御方法についても有力な情報を得ることが可能になると考えている。

II 水系における農薬の検出例

水系での農薬の濃度については、多数の研究が実施されている。その一例として、3種類の除草剤の濃度変化を図-2に示す。1993年と古いデータではあるが、最初に代掻き時に散布するオキサジアゾンがピークになり、その後初期除草剤のエスプロカルブ、中期除草剤のシメトリンのピークへと移っていく。他の多くの研究例でも明らかなように、散布時期に河川水中の農薬濃度もピークになる。図-3には、霞ヶ浦で月1回測定した濃度の平均値を示す。濃度レベルは河川に比べて低くなるが、湖心では濃度が高く検出される農薬の種類が河川とは異なる。河川の流入口の湾奥で高いメフェナセットは湖心では検出されなくなり、逆に湾奥でメフェナセットより濃度の低いシメトリンが湖心では高くなっている。IBPやイソプロチオランはメフェナセットと比較して、湾奥

から湖心にかけて濃度の減少があまり見られない。このように水環境中での分解性も、環境水中の農薬濃度には影響している。

III 農薬の流出過程

農薬の流出過程を知ることは、環境中の農薬濃度を予測したり、農薬の流出を制御するためには重要である。

散布された農薬は一部は揮散するが、残りは圃場内で一部が水に溶解し、他は土壌に吸着して存在している。環境中へ流出する場合は農薬が単独で土壌中を移動するとは考えられず、必ず水の移動に伴って移動する。水に溶けている農薬は、水が河川へ流出した場合には水とともに流出する。雨のときなどは土壌が河川へ流出することで、吸着した農薬も流出する。溶存態、懸濁態のいずれにしても、農薬は水の移動に伴い圃場外の水系へと流出すると考えられる。このため、農薬がどれだけ環境中に流出するかを明らかにするには、まず、農地から水がどのように環境中へ流出しているかを明らかにする必要がある。この場合、湛水されている水田と畑地や樹園地とでは、水の流出過程が異なることは容易に想像できる。

図-4は、今回のプロジェクト研究で作成した農薬流出モデルの畑地や、樹園地での水と農薬の移動を模式的に示したものである。まず、水は降水や散水によりインプットされる。このうち一部は蒸発散により大気に移行する。その他の水分は、表面流出として圃場外へ流出するものと地下浸透するものに分かれる。地下浸透した水も一部は河川に流出している。この水の動きに対して、散布された農薬の一部は作物上に留まり、他は土壌表面に到達する。茶園では、下の土が見えないような密生している状態であるので、作物上に留まる比率が高いと想定される。作物上の農薬は散水や降雨、あるいは風によ

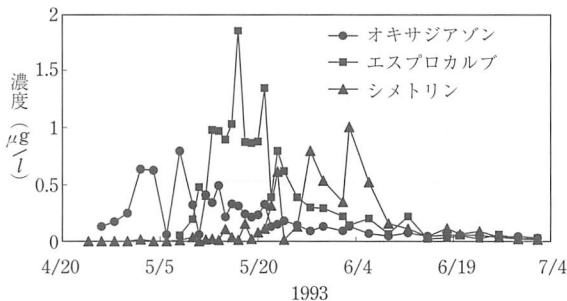


図-2 除草剤の濃度変化

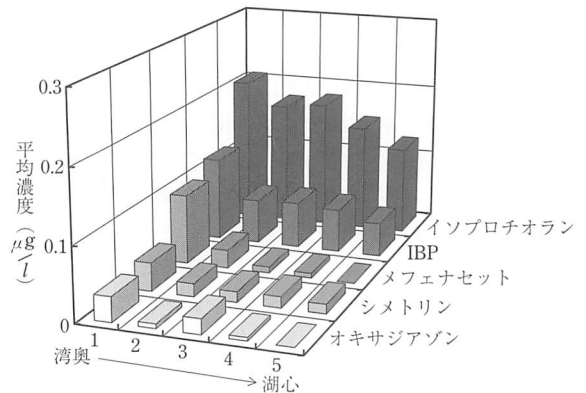


図-3 霞ヶ浦高浜入りから湖心までの農薬濃度変化 (1995)

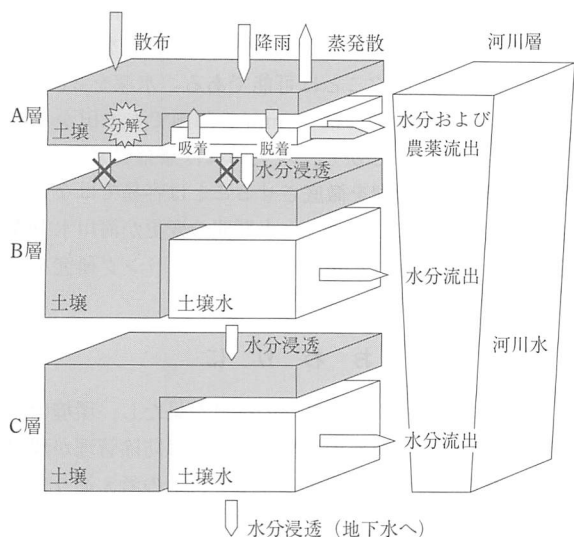


図-4 畑地の水と農薬の移動模式図

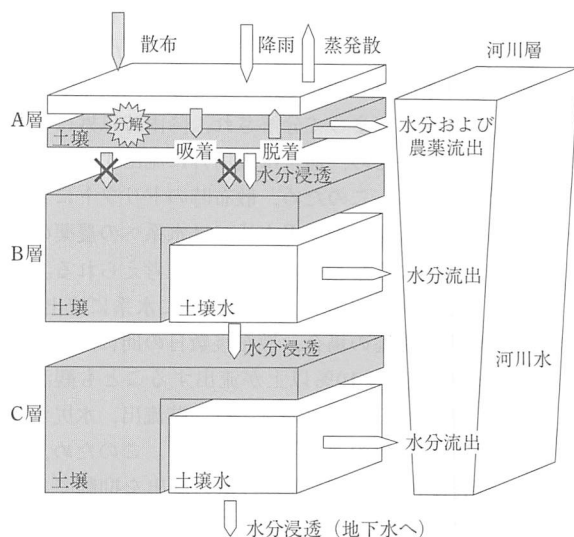


図-5 水田の水と農薬の移動模式図

っても土壤表面に到達する。土壤表面上の農薬の一部は、土壤水に溶解して土壤中に留まる。このような状態で存在する農薬は、散水や降雨によって土壤表面の水分が増すと水に溶解するものが多くなる。農薬を含んだ土壤水分の一部は地下へと鉛直方向へ移動するが、移動する過程で農薬を含んでいない土壤の間を通過し、このときに水中から土壤中へ農薬が移行するため、地下深くの土壤水からは農薬が検出されない。図-4に示した模式図ではB層に水は浸透するが、農薬は浸透しないとしている。雨が降り続けると地下へ移動するばかりではなく、土壤表面を傾斜面にそって移動する水も多くなる。この水は圃場外へと流出し、やがて河川へと移動する。この過程では、水は土壤との接触することがあまりないため、水に溶解している農薬はそのまま系外へ流出していく。また、強い降雨時には河川水が茶色く濁るように土壤も流出する。土壤中に農薬が吸着していれば、土壤とともに農薬も移動することになる。この場合、河川水中では土壤（懸濁物質）に比べて圧倒的に水の比率が高く、流出した農薬の大部分は河川水中へと溶解するため、懸濁物質に吸着した農薬の比率は低くなる。

水田の模式図を図-5に示す。水田の場合は畑地と異なり、表面に水が存在している。このため散布された農薬は水面に到達し、一部が溶解し一部が土壤に吸着する。土壤中に存在する農薬と水中に存在する農薬の比は、農薬の物性にもよるが、同じ物性であれば土壤と水の存在比にも依存し、水の比率が高い場合は農薬が水中に存在する比率が高くなる。畑地と水田を比べると畑地

では土壤が圧倒的に多く、その中に土壤水として少量の水分が存在する。それに対して水田では湛水されているため、水の比率が高く水中に存在する農薬の比率が高くなっている。この農薬を含んだ水は、畦流出、水尻からの流出、降雨時流出等によって容易に水田外へ流出することになる。このため、畑地に散布された農薬と比べても水系へ流出する比率が高くなる。また、畑地と同様に水は地下浸透もするが、地下では水に比べて土壤の比率が高いため、水中から土壤中へ農薬が移行し、地下水では農薬はほとんど検出されなくなる（永淵ら，2001）。

農薬流出モデルではこのような流出過程を数式で表し、流域の農薬散布日と散布量がわかれば河川水中の濃度変化を予測できるモデルを水田と畑地で構築し、調査対象の水田、果樹、茶園から流出した農薬濃度の変化を再現できるようになっている。

#### IV 農薬の流出制御

現在の農業において、一部では無農薬栽培も実施されているが、安定した農業生産を維持するためには農薬は不可欠である。また、農薬は目的があって散布するものであるから、いくら環境への負荷が小さいからといっても効果を発揮しないような農薬では意味がない。予防目的で過剰な散布がなされている場合は適正な使用に改めることは言うまでもないことであるが、圃場外へ流出する農薬を抑制することが重要になる。まず、畑地であるが、長野県のリンゴや愛知県の花壇が多く存在する流域での河川調査結果から、樹園地や茶園からは傾斜地の流

出しやすい流域であったにもかかわらず、散布後の降雨時の短期間にかなり低い濃度で検出されるだけであった。樹園地や茶園での散布量は多いものの、散布された農薬は土壌表面に留まって分解され、降雨時以外には水の移動量が小さいため、通常は圃場外に流出する量は少ないと考えられる。このため、散布時のドリフトにさえ注意していれば、通常の使用方法では水系への農薬の流出は問題になるようなレベルではないと考えられる。

一方、水田に散布された農薬は容易に水系に流出し、水溶解度が高い農薬の場合、散布後数日の間に降雨があった場合は散布量の10%以上が流出することも観測されている。水田から田面水の流出は、畦流出、水尻からの流出、降雨時流出の三つと考えられる。このため、散布後10日程度の期間のこれらの水の流出を抑制できれば水系へ流出する農薬を減少させることができる。水尻からの流出については、散布後に田面水の農薬濃度は指数的に減少することが知られており、止水期間を長くすればそれだけ水系への流出負荷量を減少させることができる。農林水産省では止水期間を3日から1週間程度にするように指導を始めているが、これが徹底されれば河川水中の農薬濃度の観測値は低下するものと考えられる。また、かけ流し灌漑水田においても流出口の変更や休耕田を活用することで農薬流出負荷量を抑制できる

(沼辺ら, 2007)。降雨時流出に関しても、降雨前には水の補給を止めて水深を浅くするなどの水管理を徹底させることによって防ぐことは可能である。水深を2 cm 減少させれば、理論的には20 mm の降雨でも水田からの流出は生じない。しかし、現実的には兼業農家が多く、個々の農家で水管理を徹底させることは容易ではないのも事実である。このため、止水期間の変更が河川水中濃度へどの程度寄与したか含めて、モニタリング研究を続けていく必要がある。

## おわりに

圃場内ではしっかりと防除の役目を果たし、環境中へ流出しないような農薬の開発、あるいは防除管理が理想的ではある。しかし、現実となると机上の考え通りになることはなく、どうしても農薬は環境中へ流出する。このため、水田から流出した水が直接河川に流出する前に、農薬濃度を低下させる流出抑制手法を開発し導入することも考慮すべき時期に来ているのではないかと考えている。

## 引用文献

- 1) 永淵 修ら (2001): 水環境学会誌 24: 325 ~ 330.
- 2) 日本環境毒性学会監修 (2006): 化学物質の生態リスク評価と規制—農薬編—, アイシービー, 東京, p. 29 ~ 76.
- 3) 沼辺明博ら (2007): 水環境学会誌 30: 651 ~ 656.

## 新しく登録された農薬 (20.1.1 ~ 1.31)

掲載は、種類名、登録番号：商品名（製造者又は輸入者）登録年月日、有効成分：含有量、対象作物：対象病害虫：使用時期等。ただし、除草剤・植物成長調整剤については、適用作物、適用雑草等を記載。（登録番号：22095 ~ 22098）下線付きは新規成分。

### 〔殺虫殺菌剤〕

- エトフェンプロックス・銅粉剤  
22096: Z ボルドートレボン粉剤 DL (日本農薬) 08/01/23  
エトフェンプロックス: 0.50%, 銅: 6.8%  
だいち: 紫斑病, マメシクイガ, カメモシ類: 収穫 14 日前まで

### 〔殺菌剤〕

- フルオピコリド・プロバモカルブ塩酸塩水和剤  
22098: リライアブルフロアブル (バイエルクroppサイエンス) 08/01/24  
フルオピコリド: 5.5%, プロバモカルブ塩酸塩: 55.5%  
ばれいしょ: 疫病: 収穫 7 日前まで

### 〔除草剤〕

- オリザリン水和剤  
22095: サーフラン SC: (ユーピーエルジャパン) 08/01/23  
オリザリン: 40.0%  
日本芝 (生産圃場, ゴルフ場): 一年生雑草
- カフェンストロール水和剤  
22097: ラボストフロアブル (エス・ディー・エス バイオテック) 08/01/23  
カフェンストロール: 40.0%  
日本芝: 一年生イネ科雑草