

土壌情報と数理モデルを利用した河川における農薬濃度の推定

Prediction of Paddy Pesticide Behavior in River Basin using Soil Information and Simulation Model

稲生圭哉*
Keiya Inao

1. はじめに

農耕地などで使用される農薬成分の大部分は土壤に達し、土壤中を移動・拡散しながらしだいに分解するが、その一部が水系などへ移行し、飲料水源の汚染や生態系へ悪影響を及ぼしているのではないかと懸念が強まっている。このような農薬の影響を評価するためには、「農薬の毒性」と「人や生態系を構成する生物が暴露する農薬濃度」の両者を把握する必要がある。河川水中での農薬濃度を把握する手法として、水質モニタリングが一般的に行われているが、かなりの費用、時間、労力を要し、得られた結果は特定の農薬使用および環境条件でのデータでしかなく、農薬の環境動態およびそれを支配する要因を把握することは困難である。

このような問題に対応するため、欧米では1980年頃より農薬の物理化学性、土壤の特性、気象要因などを用いて農耕地（普通畑、樹園地など）における農薬の挙動を予測する数理モデルの開発研究が進められてきた。しかし、欧米では農耕地に占める水田の割合が小さいため、水田における農薬の挙動を予測する数理モデルの開発研究は非常に少ない。水田では水稻栽培に代表されるように期間の大半を湛水状態にし、水田排水が農業排水路を経由して河川に流入する。このため、水田は畑地に比べて農薬が表面流出しやすい状況にあり、水稻を主要作物とするわが国を含めたアジア諸国では、水田からの農薬流出量を予測する数理モデルの必要性は高い。本稿では、筆者らが開発した水田で使用する農薬を対象とした濃度予測モデル（PADDY、PADDY-Large）について紹介する。

2. 水田における農薬の挙動予測モデル (PADDY)

水田で使用する農薬の河川における濃度予測では、水田一筆内での濃度予測が基本となる。図1に水田における水の移動や農薬の挙動を示す。水稻用除草剤などの農薬製剤（粒剤など）を水田に湛水散布すると、製剤から農薬の有効成分が田面水に徐々に溶出する。溶出した農薬の大部分は土壤表層へ吸着し、時間の経過とともに分解していくが、その一部が水尻排水

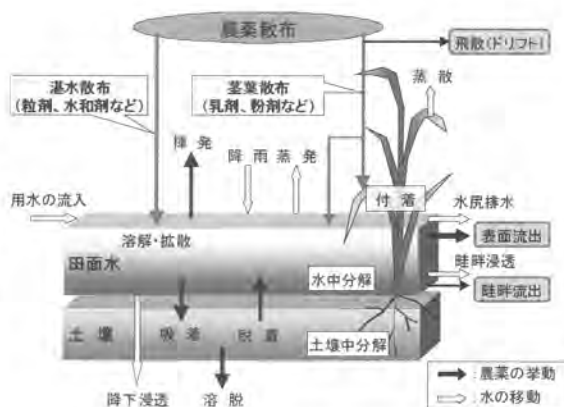


図1. PADDYモデルで考慮する水田における水収支と農薬の挙動

*農業環境インベントリーセンター

Natural Resources Inventory Center

インベントリー, 第9号, p34-37 (2011).

に伴う流出、田面水の降下浸透に伴う土壌下層への移動、大気への揮発により圃場外へ移行する。PADDY モデルは、このような挙動要因を用いて水田における農薬の収支を数式（微分方程式）で表現し、田面水と土壌中の農薬濃度をコンピュータ上で計算するプログラムである（Inao and Kitamura, 1999; Inao et al., 2001; 稻生, 2004）。

モデル計算に必要な入力データを表 1 に示

す。農薬の物理化学性のうち、土壌吸着性（土壌吸着係数）や土壌中での分解性（分解半減期）は、土壌の種類により大きく異なる。多くの農薬は非イオン性で水に溶けにくい性質を持つため、農薬の土壌への吸着は土壌有機物への疎水結合が主体である（鋤塚・山本, 1998）。一般に、土壌中の有機炭素量が多いほど農薬の土壌吸着量が多くなる傾向を示すことから、農薬の挙動を予測する際うえで有機炭素量は重要なパラメータとなっている。

開発した PADDY モデルの検証を行うため、約 8 a の水田圃場において農薬濃度の推移をモニタリングした（Inao and Kitamura, 1999）。田植え 10 日後に中期除草剤のマメット SM 粒剤（シメトリン 1.5%、モリネート 8% および MCPB エチル 0.8%）を 3 kg/10a で湛水散布し、経時的に田面水および土壌を採取し農薬濃度を測定した。また、試験期間中の田面水深、用水量、排水量、減水深および蒸発量を測定した。水田におけるシメトリンの実測濃度を図 2 に示す。田面水中の濃度は、散布 6 時間後に最高濃度に達した後急速に減少したが、散布 1 週間後には減少が緩やかになった。土壌中の濃度は、0~2 cm の土壌層では散布 3 日後に最高濃度に達し、その後徐々に減少した。一方、2~4 cm の土壌層では散布後徐々に上昇し、30 日後には 0~2 cm の土壌層における濃度と同程度になった。図 2 に示すように、開発した PADDY モデルは、圃場試験で得られた田面水および土壌中での実測濃度の消長を再現することができた。

表 1. PADDYモデルで使用する入力データ

項目	パラメータ
農薬データ	
使用条件	製剤の種類、使用量、散布方法など
物理化学性	分子量、水溶解度、蒸気圧 ヘンリー定数、土壌吸着係数 水中および土壌中での分解半減期
環境データ	
圃場条件	面積、田面水深、用水量、排水量など
気象条件	気温、降水量、日射量など
土壌条件	有機炭素含有率、仮比重、孔隙率など
栽培管理条件	水管理（止水期間、かけ流しの有無）など

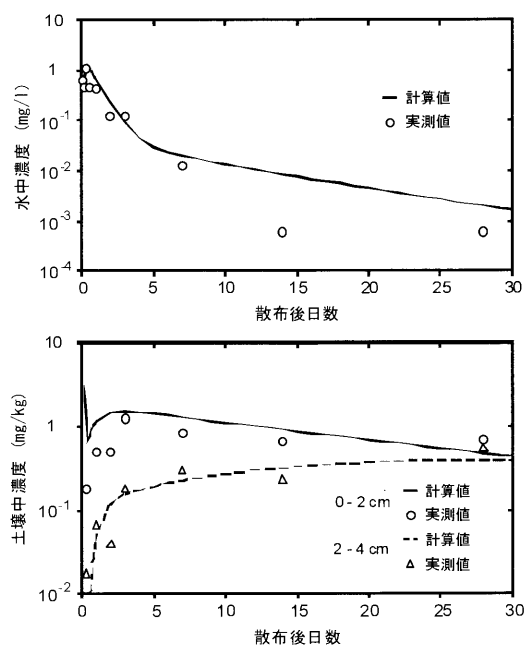


図 2. 水田における除草剤シメトリンの PADDY モデルによる計算値と実測値の比較
上段：田面水中濃度、下段：土壌中濃度

3. 河川における農薬の挙動予測モデル (PADDY-Large モデル)

1) 幹線排水路（支流域）における濃度予測

水田で使用された農薬の幹線排水路および河川における濃度を予測するため、河川流域に分布する水田を農業水利の観点から「耕区」、「農区」、「地区」、「広域」の 4 つのレベルに分類した標準シナリオを設定した（図 3）。「耕区」は畦畔で囲まれた水田一筆を表し、圃場整備後の標準的な面積は 30 a である。一般的な「農区」は、20 筆程度の耕区と支線排水路で構成され、農道で囲まれている（面積 6 ha）。「地区」は、幹線排水路（小河川）に沿って多

くの農区が集まったもので、その面積は圃場の立地条件によりさまざまである。「広域」は、地区からの農業排水が流入する比較的大きな河川流域を表す。PADDY-Large モデルでは、耕区からの水尻排水、農区内の支線排水路、地区内の幹線排水路、河川本川の順に農薬の濃度変化を計算する (Inao et al., 2003 ; 稲生, 2004)。

開発したモデルの検証を行うため、茨城県南部の水稲栽培地域 (作付面積 55 ha) を流れる幹線排水路において、水稲用除草剤のモニタリングをから 4~8 月にかけて実施した。調査地域では 4 月下旬~5 月上旬に田植えが行われていたが、除草剤は 5 月上旬に検出されはじめ、5 月中旬にピークに達した後急速に減少し、7 月下旬には検出されなくなった。モニタリング結果による実測値と、開発したモデルによる計算値を比較したところ、図 4 に示すように PADDY-Large モデルは幹線排水路における農薬の濃度レベルおよび検出期間を精度よく予測することができた (Inao et al., 2003)。

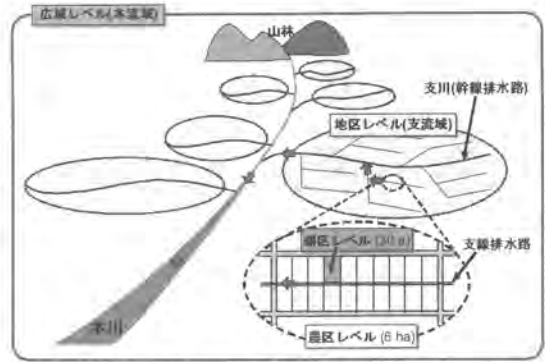


図3. PADDY-Largeモデルで考慮する農薬の移動経路

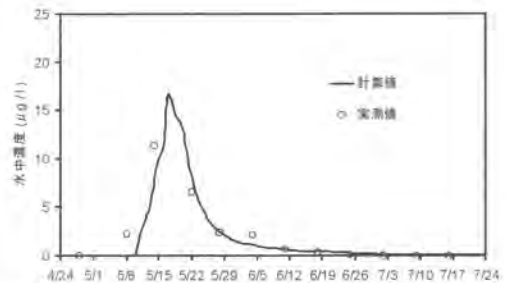


図4. 茨城県南部の幹線排水路における除草剤メフェナセットの実測濃度と PADDY-Large モデルによる計算値との比較 (1997 年)

2) 河川本流域における濃度予測

支流域に比べて広大な面積を持つ河川本流域における農薬濃度を予測するためには、流域内で大きく変動するさまざまな特性 (土地利用、土壌の特性など) をモデル計算に適切に反映させる必要がある。近年、地理情報システム (GIS) の技術が飛躍的に進歩し、土地利用や河川の河道など複雑な地理情報を容易に取り扱えるようになってきた。これに伴い、わが国でも流域レベルでの化学物質の濃度を予測する際に、GIS とリンクさせた数理モデルの開発が進められている (鈴木ら, 2005 ; 石川・東海, 2006)。

前述の PADDY-Large モデルに河川流域内の地理情報を反映させるため、国土数値情報などを用いて、流域特性 (小流域界、水田の位置・面積、河川流路の位置・延長など) を GIS により解析した。また、デジタル土壌図 (農環研, 2009) を用いて流域内の水田土壌を分類ごとに抽出し、土壌情報データベースにより各水田土壌の特性 (全炭素含量、仮比重など) をモデルに反映させた。一例として、図 5 に茨城県南部の桜川流域 (流域内の約 3 割が水田) における水田土壌の全炭素含量の分布を示す。

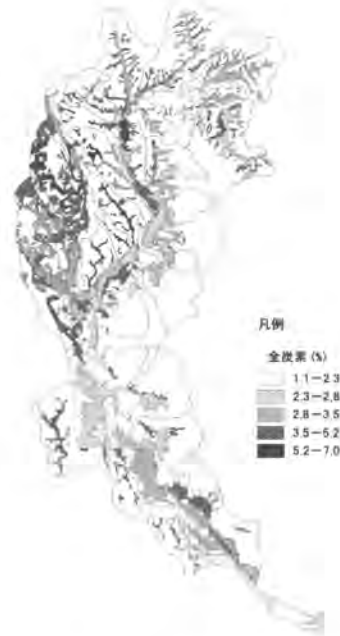


図5. 桜川流域における水田土壌の全炭素 (%) の分布

桜川流域の水田において田植え後に使用される除草剤メフェナセットを対象とし、流域内での使用量や使用時期を考慮することにより、開発したモデルで河川水中濃度を計算した。桜川中流域（君島橋）における河川水中濃度の実測値と比べると、図 6 に示すように開発したモデルは一定期間内の検出濃度の変化を精度良く再現することができた（稲生ら，2008）。

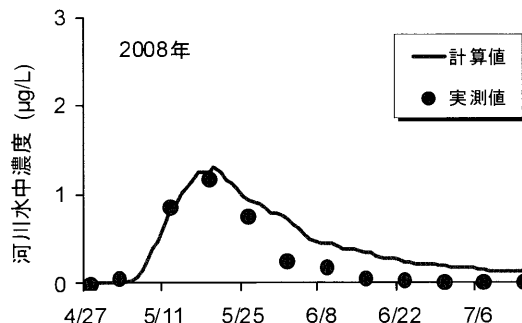


図6. 桜川における除草剤メフェナセットの実測濃度とPADDY-Largeモデルによる計算値との比較

4. おわりに

水田が多く分布する地域を流れる河川では、様々な水稲用農薬が使用時期に合わせて検出されている。本稿で紹介した PADDY-Large モデルは、河川における農薬の濃度を予測できることが示されたことから、生産現場における水稲用農薬の適切なリスク管理を行うため、地域特性を考慮した農薬濃度の推定に活用できるものと考えられる。なお、河川における農薬濃度を精度良く予測するためには、農薬の挙動に大きく影響を及ぼす流域内の農耕地土壌情報が不可欠である。今後、このような予測モデルで活用しやすい土壌特性に関するデータベースが整備されることを期待する。

引用文献

- 1) Inao, K. and Kitamura, Y. (1999): Pesticide Paddy Field Model (PADDY) for Predicting Pesticide Concentrations in Water and Soil in Paddy Fields. *Pestic. Sci.* 55, 38-46.
- 2) Inao, K. et al. (2001): Prediction of Pesticide Behavior in Paddy Field by Water Balance on the Water Management Using Pesticide Paddy Field Model (PADDY). *J. Pesticide Sci.* 26, 229-235.
- 3) Inao, K. et al. (2003): Landscape-Scale Simulation of Pesticide Behavior in River Basin due to Runoff from Paddy Fields Using Pesticide Paddy Field Model (PADDY). *J. Pesticide Sci.* 28, 24-32.
- 4) 稲生圭哉 (2004): 水田環境における農薬の挙動予測モデルの開発と有効性の検証. *農環研報* 23, 27-76.
- 5) 稲生圭哉ら (2008): 河川流域における農薬および代謝分解物の挙動予測モデル (改良型 PADDY-Large) の開発—霞ヶ浦に流入する桜川流域への適用—. *日本農薬学会第33回大会講演要旨集*, p105.
- 6) 石川百合子・東海明宏 (2006): 河川流域における化学物質リスク評価のための産総研—水系暴露解析モデルの開発 *水環境学会誌* 29, 797-807.
- 7) 鍬塚昭三・山本広基 (1998) 土と農薬, pp.84-97、(社)日本植物防疫協会
- 8) 農環研 (2009) 土壌情報閲覧システム、農業環境技術研究所、http://agrimesh.dc.affrc.go.jp/soil_db/
- 9) 鈴木規之ら (2005): 全国河川の稼働構造データに基づく化学物質の GIS 河川動態モデル (G-CIEMS)の開発と空間分布評価の試み. *環境化学* 15, 385-395.

問い合わせ先

農業環境インベントリセンター 稲生圭哉
 電話：029-838-8235 e-mail：keinao@affrc.go.jp