学会賞受賞論文

(論文賞)

平成26年度論文賞対象論文[#]の概要とその研究背景

近藤 圭¹, Julien BOULANGE², Thai KHANH PHONG³,
平松和昭⁴, 井上 剛⁵, 渡邊裕純^{2,*}

¹ 一般財団法人残留農薬研究所

² 東京農工大学

³ クイーンズランド大学

⁴ 九州大学

⁵ 福岡県南広域水道企業団

(2014年6月16日受理)

Research background and summary of “Award in 2014 for Excellent Publication in the Journal of Pesticide Science”

Kei KONDO,¹ Julien BOULANGE,² Thai Khanh PHONG,³
Kazuaki HIRAMASTU,⁴ Tsuyoshi INOUE⁵ and Hirozumi WATANABE²

¹ The Institute of Environmental Toxicology (IET), 4321 Uchimoriya-machi, Joso-shi, Ibaraki 303-0043, Japan

² Tokyo University of Agriculture and Technology, 3-5-8 Saiwaicho, Fuchu, Tokyo 183-8509, Japan

³ University of Queensland, 39 Kessels Road, Coopers Plains, Queensland 4108, Australia

⁴ Kyushu University, 6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka 812-8581, Japan

⁵ Water Supply Authority of Southern Fukuoka Prefecture, 55 Shirakuchi, Araki-machi, Kurume, Fukuoka 830-0062, Japan

Keywords: process-based model, herbicide runoff, uncertainty, variability, paddy water management, Monte Carlo simulation.

はじめに

水稻栽培をはじめとする水田耕作では、湛水状態で圃場管理を行うことから、水田に散布された農薬が降雨や水管理による表面排水を介して系外に流出しやすいという特性を有している。このため我が国において、公共水域でのモニタリ

ングにより検出される農薬の多くが水稻用農薬である。一方水田からの農薬の系外流出を防止するための水管理手法は、環境省より公表されており¹⁾、7日間の止水期間の履行や適切な排水口高さを維持することにより、農薬の流出量は削減可能であることが試験水田における実施結果からもわかっている²⁾。しかしながら我が国における稲作地域の気象特性や栽培方法は多様であり、上述の水管理手法が農薬流出防止対策として十分であるかは明らかにされていない。

近年、数理モデルを用いた水田環境中における農薬の動態評価は欧米をはじめとする諸外国で導入されており³⁾、我が国においても数理モデルの開発およびその検証が行われている^{4,5)}。これまでの数理モデルの利用においては、実験値や

[#] Probabilistic assessment of herbicide runoff from Japanese rice paddies: The effects of local meteorological conditions and site-specific water management. *J. Pestic. Sci.* 37, 312–322 (2012).

* 〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8

E-mail: pochi@cc.tuat.ac.jp

© 日本農薬学会

文献値などを入力データとして用い、実測値をどの程度予測できているかを評価する、所謂決定論的手法がほとんどであった。一方で、知識の不完全性に起因する不確実性や実環境中データ自身に内在する変動性を考慮したより高次の評価においては、モンテカルロシミュレーション等を用いた確率論的手法が有効であり、数理モデルと併用することで農薬の暴露リスクの大きさや特性を明らかにすることが可能である⁶⁻⁸⁾。

本研究では、農薬動態予測モデルであるPCPF-1モデル⁵⁾にモンテカルロ手法を導入し(PCPF-MCSモデル)、我が国における主要な稲作地域の気象データを用いた水管理シナリオ分析により農薬流出量を試算することで、地域特性に由来する不確実性や変動性を比較検証し、その影響要因の評価を行うことを目的とした。

1. PCPF-MCSモデルにおける水管理シナリオ解析手法の概要

PCPF-MCSモデルでは水管理シナリオにもとづき水田における水収支が計算され、農薬散布日、日降下浸透量、止水期間、灌漑水深、湛水深、水面と排水口高さとの差である余剰貯留水深(EWSD)の計6つの入力パラメーターにより制御される。解析するシナリオには、間断灌漑およびかけ流し灌漑の2通りを考慮し、EWSDが正の値であれば間断灌漑シナリオとなり、負の値であればかけ流し灌漑シナリオとなる。前者において農薬流出は、降雨による排水のみで起こり、後者では降雨による排水に加え、負のEWSDより計算された日排水によって農薬の流出が起こる設定とした。供試農薬は水稲用除草剤メフエナセットを選択し、その物理化学的パラメーターおよび土壌のパラメーターは検証済みデータを用いた⁵⁾。水管理シナリオにもとづき計算された水収支、田面水および表層土壌中の物質収支と連立して解くことにより、農薬散布後30日間における積算農薬流出量が出力値として算定され、モンテカルロシミュレーションによる解析に供した。

2. 地域の気象特性が農薬流出に及ぼす影響

環境省によって公表されている標準的な水管理手法¹⁾による農薬流出抑制効果を検証するため、札幌、仙台、つくば、彦根、福岡の5地域における2000年から2009年までの5月の気象データを用いてPCPF-MCSによる解析を行った。本解析では止水期間を7日間とし、止水後は5cm湛水を維持する間断灌漑シナリオ(灌漑水深5cm)とした。日降下浸透量を様分布で与え、EWSDを0cmから3cmに変化させてモンテカルロシミュレーションを行ったところ、積算農薬流出量は2cm以上の日降雨の頻度が高い南西部の地域ほど高くなる傾向を示した。EWSDを0cmから3cmに設定した場合の積算農薬流出量の50パーセンタイル値における

抑制割合は、札幌、仙台、つくば、彦根、福岡でそれぞれ、100%、90%、85%、92%、76%であり、対象地域において7日間の止水および適切な排水口高さの維持により、農薬の流出を削減することが可能であることが確認された。一方でワーストケースを想定した積算農薬流出量の95パーセンタイル値では、2cm降雨の頻度の高い南西部においてEWSDを3cmに設定した場合でも耕作期間中に多量の農薬が流出する可能性が示唆された。

3. 地域の水管理を考慮した農薬流出に関する水管理評価

前章で得られた結果を踏まえ、より詳細な地域の気象特性および水管理条件をシミュレーションに反映させ、これらの要因が農薬流出に及ぼす影響を、つくばおよび福岡において比較検証した。はじめに、茨城県桜川流域(つくば)および福岡県筑後川流域(筑後)に位置する移植後2週間以内の水田地帯において、湛水深およびEWSDの計測をそれぞれ行った。その結果、湛水深が3cm未満の割合はつくばが全体の13%であったのに対し、スクミリンゴ貝による苗の食害防止のため、湛水深を深くできない筑後では47%と浅水管理の傾向を示した。一方でEWSDは両地域において±1cm程度に集中しており、大きな差は認められなかった。

これらの実測値は適合度検定によって統計的な分布に変換し、農薬散布日は稲作暦から正規分布を仮定しパラメーターを推定した。その他のパラメーターについても、文献値の参照や経験的な方法によって分布を決定し、2000年から2009年の各年においてモンテカルロシミュレーションを行った。計算結果より10年間の積算農薬流出量の傾向を頻度分布で表すと、つくばが筑後に対してより強い正の歪度を示しており、分布の中央値は間断灌漑の場合で3.15%となり、間断灌漑の履行により降雨による農薬の流出は抑制可能である結果が示された。一方筑後では、つくばの約7倍の12.91%を中央値としたより正規性のある分布となり、間断灌漑を履行した場合でも降雨により多量の農薬が流出する結果となった。またかけ流し灌漑においては、つくばと筑後において上述と類似の傾向が認められ、ワーストケースでは40~50%の農薬が流出する可能性が示唆された。年ごとの解析結果より、両地域において間断灌漑における農薬流出の傾向は各年の降雨の変動性に対応しており、つくばにおいては10年間のうち4年間で積算農薬流出量の中央値が0%であった。筑後においては10年間のうち5年間で積算農薬流出量の中央値が10%を超えており、間断灌漑を行った場合でも20~30%の農薬が流出する可能性が示唆され、つくばにおいてかけ流し灌漑を行った場合の流出量に相当した。

水管理に係るパラメーターが農薬流出に及ぼす影響を、重回帰分析を用いた感度解析によって定量的に評価した。EWSDは間断灌漑、かけ流し灌漑いずれのシナリオにおい

ても強い負の相関を示し、適切な排水口の管理は降雨や過剰な灌漑による農薬流出の防止に有効であることが示唆された。止水期間はその期間が長いほど、その後のかけ流し灌漑を行う場合、農薬の流出量が削減される結果が示された。一方間断灌漑においては、灌漑を開始するタイミングなど気象状況に合わせた水管理の履行が農薬流出低減に大きく影響していることが示唆された。

おわりに

本研究では、水田農薬動態予測モデルにモンテカルロ手法を応用したPCPF-MCSモデルによって、地域の気象条件と水管理が水田における農薬流出に及ぼす影響を確率論にもとづき試算した。その結果、農薬流出の傾向は地域によって大きく異なり、より降雨の影響が強い西日本では、農薬流出防止のための水管理のみでは低減効果に限界があることが示唆された。気象条件や防除管理等の地域特性に由来する不確実性・変動性は農薬の環境中での暴露評価において重要な要因であり、農薬リスク管理においてはリスクの地域差に対する公平な評価および積極的な支援・対策が求められる。本研究で示されたモデル解析手法が今後水質や生態影響に係るリスク評価等の意思決定の場へ応用されることが期待される。

謝辞

本研究の成果を公表するにあたり、多くの方々のご指導・ご協力を賜りました。ここに厚く御礼申し上げます。最後に、この度は日本農薬学会論文賞という大変栄誉ある賞を賜り、ご推薦いただきました諸先生方に深く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 農薬の流出防止技術の紹介 <https://www.env.go.jp/water/dojo/noyaku/sppt.html> (accessed Aug. 2, 2014)
- 2) T. K. Phong, H. Watanabe, T. Q. Hien, S. H. Vu, T. Tanaka, D. T. T. Nhung and T. Motobayashi: *J. Pestic. Sci.* **33**, 159–165 (2008).
- 3) E. Capri and D. G. Karpouzas: "Pesticide Risk Assessment in Rice Paddies: Theory and Practice," Elsevier, Amsterdam, 2008.
- 4) K. Inao and Y. Kitamura: *Pestic. Sci.* **55**, 38–46 (1999).
- 5) H. Watanabe, K. Takagi and H. S. Vu: *Pest Manag. Sci.* **62**, 20–29 (2006).
- 6) W. Warren-Hicks, J. P. Carbone and P. L. Havens: *Environ. Toxicol. Chem.* **21**, 1570–1577 (2002).
- 7) I. G. Dubus and C. D. Brown: *J. Environ. Qual.* **31**, 227–240 (2002).
- 8) I. G. Dubus and P. H. M. Janssen: *Environ. Toxicol. Chem.* **22**, 3081–3087 (2003).

略歴

近藤 圭 (こんどう けい)

生年月日：1987年6月

学歴等：東京農工大学・大学院農学府，修士（農学）

現所属：一般財団法人残留農薬研究所・化学部，研究員補

研究テーマ：農薬の環境動態試験に係る調査・研究

Boulange Julien

生年月日：1984年10月

学歴等：東京農工大学・連合農学研究科，博士（農学）

現所属：東京農工大学・大学院農学府，産官学特別研究員

研究テーマ：農薬の環境動態のモデル化

Thai Khanh Phong

生年月日：1978年1月

学歴等：東京農工大学・連合農学研究科，博士（農学）

現所属：オーストラリア・クイーンズランド大学・環境毒性

研究センター（Entox），研究員

研究テーマ：化学物質の環境動態研究

平松和昭（ひらまつ かずあき）

生年月日：1958年2月

学歴等：九州大学・大学院農学研究科，農学博士

現所属：九州大学・大学院農学研究科・環境農学部門，教授

研究テーマ：流域圏水環境統合管理手法の開発

井上 剛（いのうえ つよし）

生年月日：1962年10月

学歴等：鹿児島大学大学院水産学研究科（水産学修士）

現所属：福岡県南広域水道企業団・施設部水質センター

研究テーマ：浄水処理における化学物質等の低減

渡邊裕純（わたなべ ひろずみ）

生年月日：1961年12月

学歴等：カリフォルニア大学デービス校・大学院・生物農業工学科，PhD

現所属：東京農工大学・大学院農学府・国際環境農学部門，教授

研究テーマ：農薬の環境動態のモニタリングとモデル化