

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580352

研究課題名(和文) 流域圏水・物質循環モデルを用いた水稲用農薬の動態評価システムの開発

研究課題名(英文) Development of an assessment system for fate and transport of rice pesticide based on a basin scale water and material cycle simulation model

研究代表者

渡邊 裕純 (Watanabe, Hirozumi)

東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：80323757

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、農薬の環境影響評価や登録規制に用いる水稲用農薬の流域スケール動態評価システムの開発・検証である。

平成24年度および平成25年度に行った研究では、まず流域スケールでの水稲用農薬の動態予測モデルシステム(PCPF-1@SWAT)の構築を行った。米国農務省で開発された流域スケール物質循環モデルに代表者が開発した農薬動態予測モデルを移植し、水田を含む集水域に適用可能なモデルを構築した。茨城県桜川流域でのモニタリング調査データを用い検証を行った。次にカリフォルニアの水田環境現地調査を行い、カリフォルニア水田シナリオでの農薬動態予測を行った。

研究成果の概要(英文)：The main objective of this study is to develop and validate the basin scale simulation model to simulate and evaluate the behavior of rice pesticides in the watershed containing paddy rice field in order to be used in the environmental impact assessment and registration/regulations of pesticides. In studies performed in 2012 fiscal year and the 2013 fiscal year, the construction of the model system for simulating pesticide behavior in rice paddy for the basin scale (PCPF-1@SWAT) was first carried out. A basin scale material circulation model (SWAT model) developed by the United States, Department of Agriculture, Agricultural Research Service were used as a base model to plug in the pesticide fate and transport model (PCPF-1), previously developed by the principal investigator. The new model (PCPF-1@SWAT) was first verified using a monitoring survey data in Ibaraki Prefecture, Sakuragawa basin and then with the data set obtained in the Sacramento River basin in California.

研究分野：農薬動態

キーワード：水田 農薬 流域スケール モデル 農薬動態 シミュレーション

1. Q1 研究開始当初の背景

農薬は、現代農業の持続的生産にとって重要な資材であるが、人的健康を含む生態系への影響の低減が課題である。欧米では、農薬の環境リスク評価・管理において、それぞれのガイドラインに基づき先進的な予測モデルによる評価や生態影響評価や研究が盛んになってきた(Watanabe ら 2007)。しかし、アジア圏では農薬の環境影響の評価や修復に関する手法やツールの整備が遅れている。Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

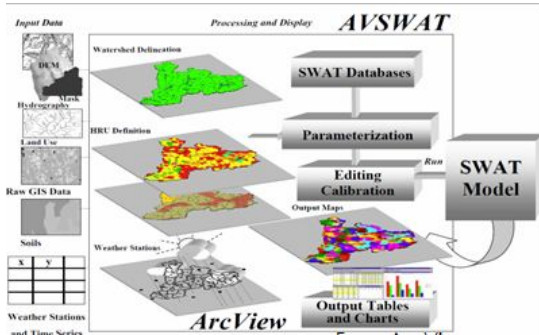


図1 .SWAT モデル(Arc View インターフェイス, SWAT 2000 Users Guide)

モデル(Neitsch et al., 2005)は、米国・テキサス A&M 大学及びアメリカ農務省農業研究局(USDA-ARS)らによって開発された流域圏水・物質循環モデル(図1)で、環境負荷物質の動態評価に世界各国で使用されてきた。また近年カリフォルニア州の畑地農薬の動態予測にも使用された(Luo et al., 2008)。

一方日本では、水田環境における農薬動態のモデル化や予測評価手法は他国に比べ先進的であるが、SWAT のような国際的に評価が高い流域管理モデルによる環境影響評価の研究例は少ない。日本のように畑地と水田が混在する農地にかかる集水域(図2)においては、農薬による環境負荷の管理や削減のための適切なツールや評価手法の確立が必要であり、SWAT モデルの水田への適用は水田農薬動態モデルの組み込み等の改良が必要である。

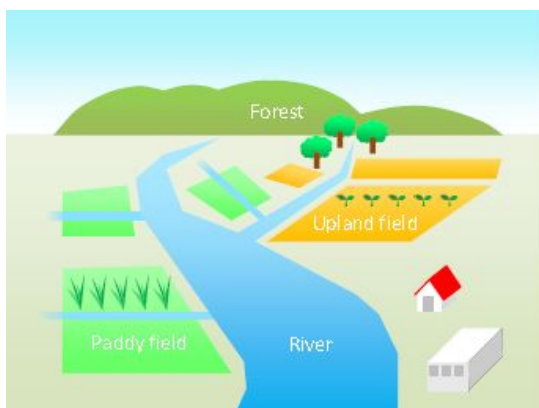


図2 . 水田を含む集水域

2. 研究の目的

本研究の目的は、農薬の環境影響評価や登録規制に用いる水稲用農薬の流域スケール動態評価システムの開発・検証である。

3. 研究の方法

水稲用農薬の流域スケール動態評価システムに用いる新規モデルを開発し、国内既発表データによる検証を行った。次にカリフォルニア水田環境でのモデルの検証・評価を行った。

(1). 流域スケールでの水稲用農薬の動態予測モデルの構築:

本研究では、水稲用農薬の動態予測モデルの基礎的モデルとして、圃場スケールの農薬動態予測モデルを PCPF-1 モデルを用いた。PCPF-1 モデルは、Watanabe and Takagi (2000a, 2000b) により開発された水稲用農薬の水田環境中動態予測モデルである(図3)。本モデルは、水田環境中の田面水中と土壌表層 1 cmの土壌中の農薬濃度の時間推移を計算するモデルであり、水田環境中の降雨、蒸発散、灌漑、排水、浸透による水収支を考慮し、農薬の水溶解度、分解、吸着などの物理化学特性のデータを基に、田面水および土壌表層での農薬に関する物質収支式を数値解析手法により解き、農薬濃度を予測する。

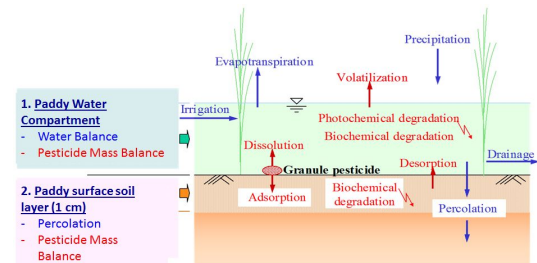


図3 . 水田農薬動態予測モデル PCPF-1 (Watanabe ら, 2006)

PCPF-1 モデルの流域スケールモデルとしての応用として本研究では、まず、アメリカ農務省農業研究局(USDA-ARS)と協力しながら上述の SWAT モデル(図1)に水田農薬動態モデル PCPF を組み込む作業を行った。次に集水域用 PCPF モデルを基に、農薬の地下浸透、排水路ネットワークにおける農薬の移動、消長を考慮する流域スケールのモデルの構築を行った。

(2). カリフォルニア水田環境でのモデルの検証・評価および適用:

サクラメント川流域での水稲用農薬の動態シミュレーションに必要なモデル入力データを現地調査により収集し、次に除草剤(モリネート, チオベンカルブ)を対象とし、サクラメント川流域のカルーサ集水域排水河川のモニタリング地点でのデータを用い、開発した PCPF-1@SWAT モデルによるカリフォルニアでの農薬管理シナリオにおける水稲用農薬の動態のモデル化を行った。

4. 研究成果

(1). 流域スケールでの水稲用農薬の動態予測モデルの構築:

図4に構築した流域スケールでの水稲用農薬の動態予測モデル PCPF-1@SWAT の構造を示す。SWAT モデルには本来窪地等に存在する湛水地や池などに適用する「ポットホール」というサブモデルがあり、水田に適用可能であったが、その形状が円錐形を基本としていたため、計算精度が問題であった。既往研究を基にポットホールサブモデルを水田に適応した長方形の形状とし、水田水収支が精度よく計算可能な、田面水位の管理式を適用した。次にポットホールサブモデル内にPCPF-1モデルを移植した(図4)。PCPF-1モデルは本来ビジュアルベーシックでプログラムされていたもので、SWATの言語であるFortranでプログラムを組みなおして移植を行った。集水域における農薬動態のモデル化においては、水田群に施用される農薬の散布日と散布量の分布を適用することで、農薬散布日程と農薬流出の関係を考慮した。これにより、集水域に存在する水田をすくむ、畑地、森林や市街地などの土地利用に適応し、水田で使用された農薬の動態、その環境への流出が計算可能となった。

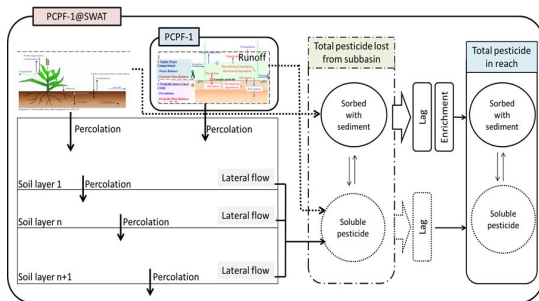


図4. 畑地 水田統合型新規農薬動態予測モデル PCPF-1@SWAT, (Boulange ら, 2014)

(2). 畑地 水田統合型新規農薬動態予測モデル PCPF-1@SWAT の検証:

次に新規構築した畑地 水田統合型新規農薬動態予測モデル PCPF-1@SWAT の検証を茨城県桜川流域の農薬動態に関する既発表データ (Iwasaki ら, 2012) により行った。桜川下流域のモニタリング地点での水稲用除草剤メフェナセットの2008年度の検出データを基に検証を行った。

まず検証流域の地形データ(国土交通省, 国土数値情報ダウンロードサービス), 土壌データ(農業環境技術研究所, 土壌情報閲覧システム), 土地利用データ(国土交通省, 国土数値情報ダウンロードサービス)をSWATモデル入力用データベースとして構築した(図5)。桜川流域は、森林32.5%, 水田27.8%,

畑地17.0%からなる集水域である。次に、現地気象データをアメダスデータベース、桜川河川流量を国土交通省データより入手した。

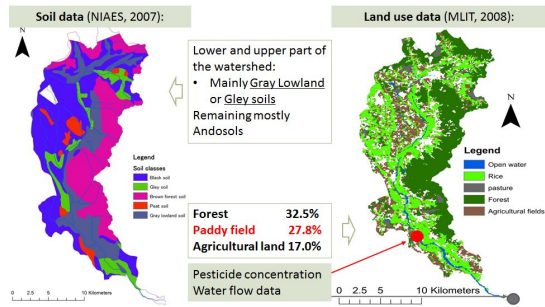


図5. 茨城県桜川流域の土壌データ(左)および土地利用データ(右)(Boulange ら, 2014)

検証農薬メフェナセットの施用量, 施用時期, 農薬動態パラメータは, Iwasaki ら (2012) の手法およびデータを使用した。

図6に2008年度の茨城県桜川流域の下流流量観測地点における河川流量の実測値およびPCPF-1@SWATモデルの予測値を示す。モデルは桜川の河川流量について実測値を精度よく再現することが可能である。刈取り以降の非湛水の水田(乾田)の影響を受けた小さい基底流が再現され、水田に入水が始まり、湛水田からの降雨に伴う越流の影響でピー

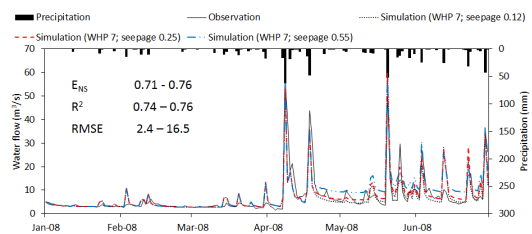


図6. 茨城県桜川流域の下流流量観測地点における河川流量の実測値(実線)および予測値(点線)(Boulange ら, 2014)

クが上下する流量の変化を高精度で予測した。

PCPF-1@SWATモデルによる水稲用除草剤メフェナセットの農薬動態予測において、まず田面水中および土壌表層中の農薬濃度の再現を、基本モデルであるPCPF-1モデルの出力値と比較し、PCPF-1@SWATとPCPF-1モデルの出力値に大差がないことを確認した。図7に下流農薬濃度観測地点における河川中農薬濃度の実測値およびPCPF-1@SWATによる予測値を示す。河川中の農薬濃度は5月初旬に上昇が始まり、中旬にピークに達したその後5月下旬まで顕著な濃度で検出された。PCPF-1@SWATはピーク濃度を最大2倍以上過剰評価したものの、基本的な河川中の農薬動態を精度よく再現することができた。

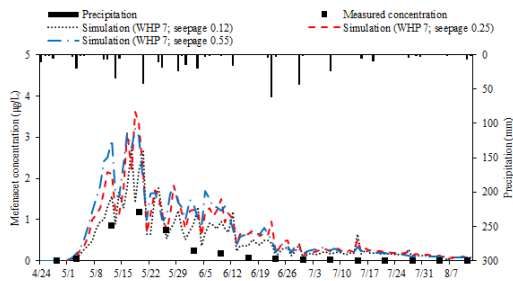


図 7. 茨城県桜川流域の下流農業濃度観測地点における河川中農業濃度の実測値() および予測値(点線)(Boulangue ら 2014)。

(3) . カリフォルニア水田環境でのモデルの検証・評価および適用:

本研究では、開発された畑地 水田統合型新規農業動態予測モデル PCPF-1@SWAT の応用研究として、水稲用農薬の動態シミュレーションを行った。まずサクラメント川流域の水田地帯を含む集水域において適用する集水域を下部カルサ排水路(河川幅約 20m, 全長約 100km) にかかる集水域に設定した。カリフォルニア大学及びカリフォルニア環境局・農薬規制部(CalEPA・DPR)の協力



図 8. 下部カルサ排水路集水域での水田調査(Watanabe ら, 2014)。

を経て、水稲用農薬の動態シミュレーションに必要な;作付け管理,圃場管理,農薬使用,流域水文に関するデータを取得し,更に現地調査によりサクラメント川流域の水田水収支データを定量しモデル入力データを整備した(図8)。

次に、標高データ,河川ネットワークデータ,土地利用,および土壌データをカリフォルニア州の関連機関より入手した。本研究では、データ収集が限定的であったため、評価対象集水域を下部カルサ排水路集水域(図9)とし,同集水域の農薬動態モデル化のフレームワークと位置付け作業を行った。モデル調整にかかるシミュレーション期間を 2000 年 2001 年とし,モデル評価を対象としたシミュレーションを 2002 年度データにより行った。

図 10 に下部カルサ排水路集水域の排水路

末端で観測された除草剤モリネートの実測値()及び PCPF-1@SWAT モデルシミュレーションによる予測値(赤線)を示した。降雨はグラフ上部に示す。モデル化対象集水域は地形が平坦であり,各地区の農業用水路網

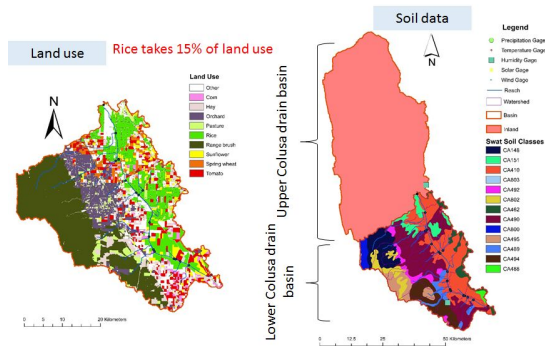


図 9. 下部カルサ排水路集水域の土地利用図(左)土壌データ図(右:ピンク下部は下部カルサ排水路集水域)(Watanabe ら, 2014)。

間での送水・配水,循環など水利条件が複雑で同時の現況を正確に把握することが困難であったため,排水路流量の再現の精度が低かった。除草剤の排水路中の濃度予測に関しては,カリフォルニア州農薬規制局の農薬使用データベースを反映して,排水路中の除草剤濃度において,その最高濃度および検出状況の再現は良好な精度でシミュレーションすることができた。

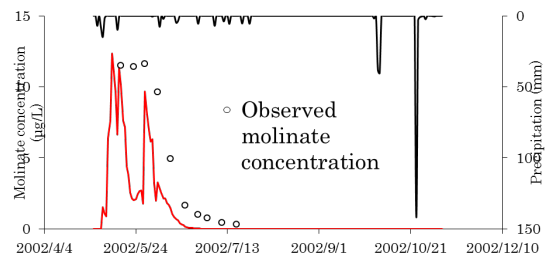


図 10. 下部カルサ排水路集水域の排水路末端での除草剤モリネートの実測値()及びモデル予測値(赤線),降雨(グラフ上部)(Watanabe ら, 2014)。

まとめおよび今後の展望:

本研究では、農薬の環境影響評価や登録規制に用いる水稲用農薬の流域スケール動態評価システムとして,畑地 水田統合型新規農業動態予測モデル PCPF-1@SWAT の構築を行い,日本および米国の水田を含む集水域でのシミュレーションによりその検証及び評価を行った。

畑地 水田統合型新規農業動態予測モデル PCPF-1@SWAT は,水稲用農薬の動態の河川中濃度を精度よく再現することができた。

これにより、アジアモンスーン地域、さらには欧米諸国での畑地と水田が混在する農地にかかる集水域)において、農薬による環境負荷の管理や削減のための適切なツールや評価手法の確立が可能となった。

平成 26 年 11 月 18-21 日に TUAT-MARCO Joint International Workshop on Rice Paddy Module Development in SWAT 2014 - Development of a tool for sustainable rice production in Asia and world - と題して東京農工大学にて国際ワークショップを海外研究協力者の所属(米国農務省農業研究サービス)の協賛で開催した。ここでは、本研究の成果と共に、これらの成果を基にした新たな水田モジュールを米国農務省農業研究サービスで開発された SWAT モデルに再構築することが合意された。これにより、水稲用農薬のモデル化の精度の向上と、水田を含む集水域での環境影響評価が全世界的に発展することが期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 6 件)

Junghun Ok, Sok Pisith, Hirozumi Watanabe, Dang Quoc Thuyet, Julien Boulange, Kazuhiro Takagi. (2015) Effect of Rice Husk Gasification Residue Application on Herbicide Behavior in Micro Paddy Lysimeter. Bull Environ Contam Toxicol. DOI 10.1007/s00128-015-1515-7 (査読有)

Julien Boulange, Hirozumi Watanabe*, Keiya Inao, Takashi Iwafune Minghua Zhang, Yuzhou Luo, Jeff Arnold. Development and validation of a basin scale model PCPF-1@SWAT for simulating fate and transport of rice pesticides. Journal of Hydrology 517, 146-156 (2014) DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.05.013 (査読有)

Dang Quoc Thuyet, Hirozumi Watanabe*, Takashi Motobayashi, Junghun Ok. Behavior of nursery-box-applied fipronil and its sulfone metabolite in rice paddy fields, Agriculture, Ecosystems and Environment 179, 69-77 (2013). (査読有)

加藤亮, 渡邊裕純, Julien Boulange, 江口定夫, 坂口敦, 宗村広昭 (2013): SWAT モデルの水田を含む流域への適用の問題点と改善に向けて, 農業農村工学会誌, 81(12), 983-987. (査読無)

Boulange, J., Kondo, K., Phong, T. K., and Watanabe, H.* (2012) Analysis of parameter uncertainty and sensitivity in PCPF-1 modeling for predicting concentrations of rice herbicides, J. Pestic. Sci. 37(4), 323-332, DOI: 10.1584/jpestics.D12-036 (査読有)

Kondo, K., Boulange, J., Phong, T. K.,

Hiramatsu, K., Inoue T. and Watanabe, H.* (2012) Probabilistic assessment of herbicide runoff from Japanese rice paddies: the effects of local meteorological conditions and site specific water managements, J. Pestic. Sci. 37(4), 312-322, DOI: 10.1584/jpestics.D11-058. (査読有)

[学会発表](計 16 件)

Boulange Julien, Watanabe Hirozumi SWAT coding for rice paddy module. TUAT-MARCO Joint International Workshop on Rice Paddy Module Development in SWAT 2014 - Development of a tool for sustainable rice production in Asia and world - 18-21 November, 2014, Tokyo University of Agriculture and Technology (TUAT), Fuchu, Tokyo, Japan.

Hirozumi Watanabe, Boulange Julien, SWAT rice paddy modeling in Japan: Current progress and future needs. TUAT-MARCO Joint International Workshop on Rice Paddy Module Development in SWAT 2014 - Development of a tool for sustainable rice production in Asia and world - 18-21 November, 2014, Tokyo University of Agriculture and Technology (TUAT), Fuchu, Tokyo, Japan.

Julien Boulange, Hirozumi Watanabe, Minghua Zhang, Yuzhou Luo and Jeff Arnold, Framework development of rice pesticide modeling in the Colusa Drain Basin, 13th IUPAC International Congress of Pesticide Chemistry, Aug. 10-14, 2014 San Francisco, California USA, (Invited speech and abstract No. 505)

Julien BOULANGÉ, Dang Quoc THUYET, Hirozumi WATANABE, Validation of a model for predicting the behavior of Nursery-Box-applied pesticides (PCPF-NB) in paddy environment, 日本農薬学会第 39 回大会, 講演要旨集 p.162, 3 月 13-15 日 (2014) 京都大学、京都府・京都市。

渡邊裕純, 農薬による水環境負荷軽減のための水管理方法とモデルシミュレーション, 第 31 回農薬環境科学研究会シンポジウム, 農薬環境科学研究第 21 号 15-21, 11 月 21-22 日 (2013). (招待講演)、エクシブ琵琶湖、滋賀県・米原市。

Julien Boulange, Hirozumi Watanabe, Minghua Zhang, Yuzhou Luo, Jeff Arnold, Improved PCPF-1@SWAT model for watershed simulation of pesticide fate and transport, 農業農村工学会平成 25 年度大会講演要旨集 558-559, 9 月 3-5(2013) 東京農業大学、東京都・世田谷区。

Julien Boulange, Hirozumi Watanabe, Keiya Inao, Takashi Iwafune, Minghua Zhang,

Yuzhou Luo, Jeff Arnold. Application of the PCPF-1@SWAT model in the Sakura River basin in Japan and Colusa Drain basin in California, USA. 2013 International SWAT Conference & Workshops - Toulouse, France, July 17-19, 2013

Julien Boulange, Hirozumi Watanabe, Keiya Inao, Takashi Iwafune, Minghua Zhang, Yuzhou Luo, Jeff Arnold. Development of a rice pesticide fate and transport model, the PCPF-1@SWAT model, and its validation using mefenacet in the Sakura River watershed, Ibaraki, Japan. 3rd SWAT Conference & Workshop in South East and East Asia (SWAT SEEA III) . June 17-21 2013, Bogor, Indonesia

Hirozumi Watanabe, Julien Boulange, Sadao Eguchi, Tasuku Kato , Atsushi Sakaguchi and Philip W. Gassman. Rice Paddy Module Development in SWAT. Handout, Plenary Session. 3rd SWAT Conference & Workshop in South East and East Asia (SWAT SEEA III) . June 17-21 2013, Bogor, Indonesia

Junghun Ok, Hoang Thu Trang, Hirozumi Watanabe, Dang Quoc Thuyet, Julien Boulange1, Satoru Ishihara , Takashi Iwafune and Yasuo Kitamura . Temperature dependency in degradation and adsorption for butachlor and pyrazosulfuron-ethyl in paddy water and soil. 日本農薬学会第38回大会, 講演要旨集 p.138, 3月16日(2013)(講演要旨)筑波大学、茨城県・つくば市。

Julien Boulange, Hirozumi Watanabe, Minghua Zhang, Yuzhou Luo, Jeff Arnold . Watershed scale modeling of rice pesticides in Colusa Drain Basin in California by PCPF-1@SWAT - Preliminary simulation . 日本農薬学会第38回大会, 講演要旨集 p.141, 3月16日(2013)(講演要旨)筑波大学、茨城県・つくば市。

渡邊裕純・Julien Boulange・Minghua Zhang, Yuzhou Luo, Jeff Arnold, 稲生圭哉・岩船敬・加藤亮・五味高志。農薬の流域動態解明のための SWAT モデル - 流域スケール農薬動態予測モデル PCPF-1@SWAT の開発 -、第30回土・水研究会資料 pp.19-24 平成25年2月20日, (2013)(招待講演)(独)農業環境技術研究所、茨城県・つくば市。

Julien Boulange, 渡邊裕純, 稲生圭哉, 岩船敬 . 流域スケール農薬動態モデル PCPF-1@SWAT の開発. 農薬環境科学研究第20号、第30回農薬環境科学研究会シンポジウム講演集 日本農薬学会10月18-19日(2012). 埼玉県・熊谷市。J. Ok., N. H. Doan, H. Watanabe, D. Q. Thuyet, J. E.S. Boulange. Fate of butachlor and pyrazosulfuron-ethyl in rice paddies

under spring and summer crop seasons. In: Proceedings of 4th International Symposium on Pesticides and Environmental Safety, Sep. 15-20 2012, Beijing, P.R. China. (Poster presentation and abstract No. 4th ISPEs-III-5-006)

J. E.S. Boulange, H. Watanabe. PCPF-1 model uncertainty and sensitivity analysis and their influence on the coupled PCPF-1@SWAT model. In: Proceedings of 4th International Symposium on Pesticides and Environmental Safety, Sep. 15-20 2012, Beijing, P.R. China. (Poster presentation and abstract No. 4th ISPEs-III-2-009)

Boulange J. E.S., Watanabe, H., Inao, K., Iwafune, T., Zhang, M., Luo., Y., Arnold., J. G. Development and validation of a watershed scale pesticide fate and transport model by coupling SWAT and PCPF-1 models. In: Proceedings of 4th International Symposium on Pesticides and Environmental Safety, Sep. 15-20 2012, Beijing, P.R. China. (Invited speech and abstract No. 4th ISPEs-III-2-010)

〔その他〕

ホームページ等

東京農工大学農薬動態学研究室 HP

<http://www.tuat.ac.jp/~pochi/>

農業環境技術研究所 HP

http://www.niaes.affrc.go.jp/marco/index_j.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡邊 裕純 (WATANABE HIROZUMI)

東京農工大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号：80323757

(2) 研究分担者

加藤 亮 (KATO TASUKU)

東京農工大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号：10302332

五味 高志 (GOMI TAKASHI)

東京農工大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号：30378921

(3) 連携研究者

斎藤 広隆 (SAITOU HIROTAKA)

東京農工大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号：70447514

稲生 圭哉 (INAO KEIYA)

農業環境技術研究所・環境インベントリーセンター・主任研究員

研究者番号：70391208