

平成 29 年 6 月 22 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26870837

研究課題名(和文)人工社会を組み込んだ水文流出モデルによる水田減少に伴う栄養塩流出変動リスク評価

研究課題名(英文) Risk Assessment of nutrient flux caused by decrease of paddy field using hydrological model coupled with socioeconomic model

研究代表者

清水 裕太(Shimizu, Yuta)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・西日本農業研究センター・生産環境研究領域・契約研究員

研究者番号：50625829

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、耕作放棄に伴う水田面積減少による流域スケールでの栄養塩流出量変動のリスク評価を目的とした。水田の耕作放棄により最大流量、土砂流出量、懸濁態窒素およびリン流出量は増加する傾向を示した。放棄前の水田が湿田であった方が乾田よりも水、物質流出量が多く、また、傾斜地上の放棄水田の方がより多い結果であった。土地利用変化の傾向から近い将来の耕作放棄地の増加は必至であり、中山間地域の耕作放棄を防ぐことが重要である。

研究成果の概要(英文)：The objective of this research was to assess the risk of changes in nutrient flux at a watershed scale due to decrease of paddy field caused by abandonment. A result of decline of paddy field indicated increase of maximum runoff, sediment yield, particulate nitrogen flux, and phosphorus flux. Former condition of abandoned field could affect the increasing magnitude of both water yield and material fluxes; wet type field was greater than dry type field and a field on steep slope was greater than flat. Increasing abandoned field is unavoidable for the near future based on the trend of estimated land-use changing patterns. Therefore, it is important to prevent further abandon of cultivated paddy field, especially for hilly mountainous regions.

研究分野：水文学

キーワード：マルチエージェントモデル 水文流出モデル 土地利用変化 耕作放棄 栄養塩 流域

## 1. 研究開始当初の背景

我が国の主幹農業である水稲は、米の生産調整による転作をはじめ、宅地造成、耕作放棄等により約 50 年間で全面積の約 25 %が改廃された。今後は農家の高齢化による労働力減少で、作業条件が良い水田(低地)では集約的な輪作体系が拡大し、条件不利地(中山間地)では荒地化が加速し、水田の変化に伴う窒素やリンの栄養塩動態の変化が予想される。水田や転換畑での栄養塩動態の研究は、農学の土壤肥料学分野を中心に行われ解明されてきた。しかしながら、耕作放棄によって荒地となった放棄田の動態は未解明のため、流域スケールでの影響を正確に評価できない。

一方で、流域スケールでの栄養塩流出の評価には、空間的な不均一性や詳細なプロセスを考慮できる分布型水文流出モデルによる解析が進められている。特に農業流域に特化したモデルとして米国農務省が開発した Soil and Water Assessment Tool (SWAT) モデルが世界的に適用されている。申請者らは、この SWAT モデルを我が国の流域の栄養塩流出推定に適用できることを確認し、そして、気候変動が農業流域からの栄養塩流出に及ぼす影響として、降雨強度の増大と湯水期の拡大による流出パターンの変化を同モデルを用いて明らかにした。また、流域内の土地利用変動の及ぼす影響について、水田が他土地利用へ転換された場合に、土砂、窒素、リンの流出量が増大する可能性があることを同モデルを用いて明らかにした。しかしながら、SWAT モデルを含む現在の水文流出モデルによる解析のほとんどは、土地利用データが作成された年から次の作成年まで静的に固定された土地利用を用いた推定であるため、時間変化と共に変化する土地利用を考慮できる水文流出モデルの開発が世界的に求められている。

これまで様々な土地利用変動予測法が開発されたが、その一つとして、マルチエージェントシミュレーション(MAS)が注目されている。MASは複雑系解析のアルゴリズムの一種で、主体性を持ち自律的に行動するエージェントと呼ばれる要素を複数共存させることで巨視的挙動をシミュレートするものである。これは従来の手法ではモデル化が困難であった集落の農業構造や土地利用の予測において高い優位性があり、土地利用変動を連続的にシームレスな推定を可能とするものである。

## 2. 研究の目的

本研究では、耕作放棄に伴う水田面積減少による流域スケールでの栄養塩流出量変動のリスク評価を目的とした。農地面積の減少率が高い広島県東部を流れる一級河川芦田川水系高屋川の上流に位置する谷尻川流域(2.6km<sup>2</sup>)および同芦田川水系山田川流域(5.3km<sup>2</sup>)を対象とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 水田の荒地化に伴う栄養塩動態・収支観測

所属機関内試験圃場にある、長期間使用されていない水田ライシメータにおいて、水流出量および栄養塩濃度を定期的に測定した。放棄田の地形(急傾斜、緩傾斜、低地)を考慮して、土壌および地下水面の異なる3区画(全層多腐植質多湿黒ボク土、細粒黄色土、灰色低地土)において2反復の観測を実施した。また、放棄後数年~数十年が経過した水田のパラメータを導出するため、谷尻川流域を対象に詳細な現地調査を行い、現在(放棄後)および過去(放棄前)の土地利用を用いた推定結果からパラメータを決定した。

### (2) MASモデルの構築と解析

エージェントの主体は個人農家とし、農家は、労働可能時間、土地条件、機械所有等から集落内の行動範囲を規定し、損益評価から次年度の水田を「維持(借入・貸出を含む)」、「転換(田畑輪換・宅地)」、「休耕・放棄」を決定するようにした。基本的にMASとセルラ・オートマトンを組み合わせた、二次元方向の土地利用変動推定方法を適用し、地域スケールへのスケールアップ法を取り入れた。過去の既存土地利用データとの検証を行いモデルを調整した。

### (3) 栄養塩流出量の計算と変動リスク評価

(2)で出力した土地利用データをSWATモデルへ入力し、対象流域からの栄養塩流出量を見積り、リスク評価を行った。

## 4. 研究成果

水田の耕作放棄に伴う水文プロセスの変化について、異なる種類の土壌が充填された水田ライシメータを用いた観測の結果、耕作が維持されている水田と比べて、耕作放棄された水田では20mm程度以下の降雨時には、地表からの浸透が増え、直接流出は抑えられたが、それ以上の降雨時には地表流が卓越し、それに伴って土壌侵食が生じた。水田が耕作放棄された場合、作物が植えられることによる土壌侵食抵抗係数は若干増加したが、侵食対策管理に関する係数は低下した。放棄後経過時間に応じて水・栄養塩流出量は変化し、特に放棄前の水田が乾田か湿田かの違いにより大きく異なることが明らかとなった。さらに水田の耕作放棄の進行による土壌の物理性の変化や木本類の侵入により、最終的に流域末端への流出に影響を及ぼす可能性が示された。

SWATモデルを用いた水田土地利用変化のシナリオ解析結果は、流域内の農地が全て耕作放棄された場合、最大流量は増加した。耕作水田では湛水している灌漑期の流出量が耕作放棄水田よりも多いことがあった。土砂流出量も増加し、特に傾斜地に位置する水田

が耕作放棄される方が畑地の場合と比べて土砂流出量および懸濁態窒素・リン流出量が増加する結果が示された。畦塗りや締固めなどの畦畔管理が放棄されることによって、畦畔のり面強度が低下することや、土壌が湿潤状態の時に豪雨が到来した場合、畦畔が低く貯留能力が少ない放棄田ではピーク流量が多くなることが既往研究で明らかになっており、これらはモデル解析結果の傾向と合致する。このため、耕作放棄により地表は草本類または木本類に覆われる一方で田面には亀裂が生じ、畦畔は損耗し、棚田等の石垣が崩壊することで物質流出量が増加したと考えられた。SWAT モデルではこれらの効果を直接的にパラメータ化できていないが、これは、木本植物の侵入・定着が顕著にみられない放棄直後の数年間において生じ得る現象であり、近い将来の“新たな”耕作放棄地の増加は必至であることから、それらが大規模な土砂災害のトリガーとなり得ることが示唆された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計8件)

望月 秀俊, 藤本 寛, 清水 裕太, 高橋 英博, 松森 堅治 (2016) 岡山県南部地域の乾田直播少量播種栽培における貫入式土壌硬度計による苗立ち予測法の開発. 土壌の物理性. 133:11-18. (査読有)

Saito M., S. Onodera, K. Okubo, S. Takagi, Y. Maruyama, G. Jin, and Y. Shimizu (2015) Effects of physical and morphometric factors on nutrient removal properties in agricultural ponds. Water Science and Technology. 72(12):2187-2193. (査読有)

清水 裕太, 小野寺 真一 (2015) 水文流出モデルを用いた流域からのリン流出量推定の現状と課題. 地球環境. 20(1):111-116. (査読有)

Shimizu Y., S. Onodera, H. Takahashi, and K. Matsumori (2015) Impact analysis of the decline of agricultural land-use on flood risk and material flux in hilly and mountainous watersheds. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences. 370:39-44. (査読有)

Jin G., Y. Shimizu, S. Onodera, M. Saito, K. Matsumori (2015) Evaluation of drought impact on groundwater recharge rate using SWAT and Hydrus models on an agricultural island in western Japan. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences

371:143-148. (査読有)

Shimizu Y., S. Onodera, G. Jin, M. Saito (2015) Estimation of long-term nutrient loadings into a hyper eutrophic artificial lake in a lowland catchment, western Japan. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences. 368:337-342. (査読有)

清水 裕太, 小野寺 真一, 松森 堅治 (2014) 水文流出モデルを用いた流域からの窒素流出量推定:現状と課題-. 日本水文学会誌. 44(4):207-223. (査読有)

大西 晃輝, 小野寺 真一, 齋藤 光代, 清水 裕太, 吉川 昌志 (2014) 大量施肥農業流域における不圧地下水での溶存 N<sub>2</sub>O の空間分布特性. 陸水学雑誌. 75(1): 1-11. (査読有)

〔学会発表〕(計33件)

Shimizu Y., S. Onodera, and K. Matsumori. Modeling the effect of abandonment process of cultivated land on water quantity and quality using SWAT in a hilly watersheds of western Japan. American Geophysical Union 2016 Fall Meeting. 2016.12.15 San Francisco (U.S.A.).

Cendon D.I., S.I. Hankin, C.E. Hughes, K. Meredith, M. Peterson, L. Scheiber, and Y. Shimizu. A Nine-year Record of Groundwater Environmental Tracer Variations in a Weathered Sandstone Plateau Aquifer. American Geophysical Union 2016 Fall Meeting. 2016.12.15 San Francisco (U.S.A.).

Bai J., S. Onodera, G. Jin, M. Saito, Y. Shimizu, and K. Matsumori. Effect of groundwater recycle system on nitrate load distribution in an agricultural island, Japan. American Geophysical Union 2016 Fall Meeting. 2016.12.15 San Francisco (U.S.A.).

清水 裕太, 小野寺 真一, 金 広哲, 齋藤 光代. SWAT を用いた児島湖への栄養塩負荷量の長期変動解析. 生物地球化学研究会 2016 岡山セッション. 2016.11.20 岡山大学 (岡山県・岡山市)

Yoshikawa S., K. Kohyama, Y. Shimizu, S. Yada, K. Asada, S. Itahashi, Y. Nakajima, and S. Eguchi. Swat applications to assessing effects of different fertilization on water quality in an agricultural watershed. The 16<sup>th</sup> World Lake

Conference. 2016.11.9 Kuta (Indonesia)

清水 裕太, 松森 堅治, 小野寺 真一. 流域スケールでの水・土砂流出に及ぼす耕作放棄地の影響評価. 2016 年度日本水文科学学会学術大会. 2016.10.15 法政大学 (東京都・千代田区)

Admajaya F.T., Y. Shimizu, G. Jin, and S. Onodera. A SWAT Model Analysis for The Ota River Water Discharge. 2016 年度日本水文科学学会学術大会. 2016.10.15 法政大学 (東京都・千代田区)

白 佳卉, 小野寺 真一, 金 広哲, 齋藤 光代, 清水 裕太, 松森 堅治. 農業の盛んな島での地下水再利用システムの適用とその硝酸態窒素流出に及ぼす影響について. 2016 年度日本水文科学学会学術大会. 2016.10.15 法政大学 (東京都・千代田区)

清水 裕太, 松森 堅治, 小野寺 真一. 耕作放棄地が卓越する中山間地流域からの水・土砂流出量の推定. 日本土壌肥料学会 2016 年度佐賀大会. 2016.9.21 佐賀大学 (佐賀県・佐賀市)

松森 堅治, 清水 裕太, 望月 秀俊. 土地利用情報を用いた樹園地を含む流域の河川水質予測. 日本土壌肥料学会 2016 年度佐賀大会. 2016.9.21 佐賀大学 (佐賀県・佐賀市)

清水 裕太, 松森 堅治. 瀬戸内海沿岸域における管理放棄農業流域からの物質流出量の推定. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会. 2016.5.26 幕張メッセ (千葉県千葉市)

吉川 省子, 神山 和則, 清水 裕太, 江口 定夫. SWAT を用いた、茨城県流域における施肥改善による栄養塩負荷低減効果の予測. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会. 2016.5.26 幕張メッセ (千葉県千葉市)

Shimizu Y., S. Onodera, and K. Matsumori. Estimation of sediment and nutrient discharges from suburban agricultural catchment in western Japan, using SWAT. International SWAT-Asia Conference IV (SWAT-Asia IV). 2015.10.21 農林水産技術会議事務局つくば農林ホール (茨城県つくば市)

清水 裕太, 笠原 賢明, 望月 秀俊, 松森 堅治, 奥野 林太郎. 地下水位制御システム設置梓園場におけるダイズ・コムギ作付け時の硝酸流出特性. 2015 年度日本水文科学学会学術大会. 2015.10.9 産業技術総合研究所 (茨城県つくば市)

清水 裕太, 笠原 賢明, 松森 堅治, 望月 秀俊, 竹田 博之, 石川 直幸, 奥野 林太郎. 地下水位制御システム設置梓園場における設定地下水位と窒素流出量の関係. 日本土壌肥料学会 2015 年度京都大会. 2015.9.9 京都大学 (京都府京都市)

笠原 賢明, 清水 裕太, 松森 堅治, 望月 秀俊, 竹田 博之, 石川 直幸, 奥野 林太郎. 地下水位制御システム設置梓園場におけるダイズとコムギ作期間中の水収支. 日本土壌肥料学会 2015 年度京都大会. 2015.9.9 京都大学 (京都府京都市)

松森 堅治, 清水 裕太, 望月 秀俊. 土地利用数値情報を用いた河川水質予測. 日本土壌肥料学会 2015 年度京都大会. 2015.9.9 京都大学 (京都府京都市)

清水 裕太, 小野寺 真一, 大西 晃輝, 齋藤 光代. 流域からの窒素輸送に及ぼす農業用堰の影響. 瀬戸内海研究フォーラム in 奈良. 2015.9.3 奈良県文化会館 (奈良県奈良市)

白 佳卉, 小野寺 真一, 清水 裕太, 齋藤 光代, 金 広哲. 九州別府湾流域における窒素負荷量の長期変化について 窒素負荷モデル解析による. 瀬戸内海研究フォーラム in 奈良. 2015.9.3 奈良県文化会館 (奈良県奈良市)

Jin G., S. Onodera, M. Saito, A. Hayakawa, Y. Shimizu, T. Sato, D. Aritomi, A. Amano, Y. Ota, and S. Tatsuaki. Comparative research of lake eutrophication history by long core samples collecting from two typical Japanese reclaimed lakes. XIX International Union for Quaternary Research Congress. 2015.8.2 名古屋国際会議場 (愛知県名古屋市)

① Shimizu Y., S. Onodera, G. Jin, and M. Saito. Estimation of sediment and nutrient fluxes into a coastal lake for a 100-year using SWAT model. XIX International Union for Quaternary Research Congress. 2015.7.31 名古屋国際会議場 (愛知県名古屋市)

② Shimizu Y., S. Onodera, H. Takahashi, and K. Matsumori. Impact analysis of the decline in agricultural land-use on flood risk and material flux in hilly and mountainous watersheds. XXVI General Assembly in The International Union of Geodesy and Geophysics. 2015.6.23 Prague (Czech Rep.)

⑳ 清水 裕太, 小野寺 真一, 松森 堅治. 中山間地流域における物質輸送に及ぼす耕作放棄地の影響評価. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会. 2015.5.24 幕張メッセ (千葉県千葉市)

㉑ Shimizu Y. A short review of climate change effect on groundwater quality. International Workshop and Training course on Groundwater and Environmental Change (G@GPS, INQUA). 2014.12.08 Leizhou (China)

㉒ Shimizu Y., K. Matsumori, M. Shimura, S.Watanabe, H. Mochizuki, G. Ishioka, and Y. Kasahara. An assessment of impact of ammonia volatilization on the water environment from intensive poultry farming in western Japan. 9<sup>th</sup> IWA International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries. 2014.11.25 ザクラウンパレス新阪急高知 (高知県・高知市)

㉓ Shimizu Y., and S. Onodera. Effects of flow regime shift on nutrient discharge from a suburban watershed into the Seto inland sea. 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-. 2014.11.19 東京農工大学 (東京都・府中市)

㉔ Jin G., Y. Shimizu, S. Onodera, M. Saito, and K. Matsumori. The estimation of water balance and groundwater recharge situation in Ikuchi Island by SWAT and Hydrus Model. 2014 年度日本水文科学会学術大会. 2014.10.4 広島大学 (広島県・東広島市)

㉕ 小野寺 真一, 齋藤 光代, 清水 裕太, 松森 堅治, 高橋 英博, 金 广哲, 谷口 智雅. 流域スケールでの地下水および窒素の再利用に関する研究. 2014 年度日本水文科学会学術大会. 2014.10.4 広島大学 (広島県・東広島市)

㉖ 清水 裕太, 笠原 賢明, 松森 堅治, 望月 秀俊, 竹田 博之, 石川 直幸, 奥野 林太郎. 地下水位制御システム設置枠圃場におけるダイズ・コムギ作付時の窒素流出特性. 日本土壌肥料学会 2014 年度東京大会. 2014.09.09 東京農工大学 (東京都・小金井市)

㉗ 笠原 賢明, 清水 裕太, 松森 堅治, 望月 秀俊, 竹田 博之, 奥野 林太郎.

地下水位制御システム設置枠圃場におけるダイズ作付け期間中の水収支. 日本土壌肥料学会 2014 年度東京大会. 2014.09.09 東京農工大学 (東京都・小金井市)

㉘ 松森 堅治, 清水 裕太, 笠原 賢明. 大規模圃場整備地区における地下水位制御システム暗渠排水の硝酸態窒素濃度. 日本土壌肥料学会 2014 年度東京大会. 2014.09.09 東京農工大学 (東京都・小金井市)

㉙ Shimizu Y., S. Onodera, G. Jin, and M. Saito. Estimation of long term nutrient loadings into a hypereutrophic artificial lake in a lowland catchment, western Japan. The 3<sup>rd</sup> Remote Sensing and Hydrology Symposium and the 3<sup>rd</sup> International Conference of GIS/RS in Hydrology, Water Resources and Environment. 2014.8.24 Guangzhou (China)

㉚ 清水 裕太, 小野寺 真一, 松森 堅治. 郊外流域における SWAT モデルを用いた時間単位での窒素輸送量の推定. 日本地球惑星科学連合 2014 年大会. 2014.4.30 パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市)

〔図書〕(計 2 件)

Shimizu Y., S. Onodera, and K. Matsumori (2016) The Challenges of Agro-Environmental Research in Monsoon Asia (Yagi K., Kuo G.(Eds)) Estimation of Nutrient Fluxes from Suburban Watersheds in Japan using the SWAT Model: Current Issues and Future Directions. NIAES Series 6. 227-236. (査読有)

清水 裕太, 小野寺 真一 (2016) 土地利用でみるアジアの都市化と自然環境 (山下 亜紀郎 編著) 第 9 章「窒素フローモデルを用いた地下への窒素負荷量の推定」筑波大学出版会. 133-156. (査読有)

〔その他〕

日本水文科学会平成 28 年日本水文科学会学術大会優秀発表賞 (学会発表) . 2016.10.15

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

清水 裕太 (SHIMIZU, Yuta)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・西日本農業研究センター生産環境研究領域・契約研究員

研究者番号 : 5 0 6 2 5 8 2 9