

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07644

研究課題名(和文) 水田土壌の保全および汚濁負荷抑制に向けた水田土壌の再懸濁過程の解明

研究課題名(英文) Sediment resuspension mechanism of rice paddy soil for reducing the pollutant runoff from paddy fields

研究代表者

松井 宏之 (MATSUI, Hiroyuki)

宇都宮大学・農学部・教授

研究者番号：30292577

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)：本研究では、雨滴、風を外力とした水田土壌の再懸濁および再懸濁に伴う懸濁物質の挙動について検討するとともに、水田からの懸濁物質の流出を抑制する方策について検討した。主な結果は、次のようにまとめることができる。(1) 田面水の水深が浅いときは、雨滴が水面に衝突することで土壌が再懸濁する。(2) 畦畔付近では、降雨時に田面水が懸濁しやすい。(3) 溝畔を無植生にすると降雨時の懸濁物質流出量が増加する。(4) 水田水尻からの流出水量を抑制することで懸濁物質流出量も軽減することができる。

研究成果の概要(英文)：I investigated sediment resuspension of rice paddy soil driven by raindrops and wind as external force, suspended sediment movement, and measures to reduce suspended sediment runoff from paddy fields. The following conclusions are obtained. (1) When the paddy water depth is shallow during rain events, paddy soil is resuspended by the impact that raindrops collide with the water surface. (2) Paddy field water near levees tends to be suspended during rain events. (3) The amount of suspended sediment runoff on the non-vegetated levees is more than that on the vegetated levees. (4) The runoff mitigation efforts on the paddy fields results in a reduction of suspended sediment runoff.

研究分野：水質環境工学，流域工学

キーワード：水田 雨滴侵食 土壌保全 流出軽減策 水環境保全

1. 研究開始当初の背景

水田は、土壌面が平坦であることに加え、作物(水稲)が湛水栽培されることから、土壌流亡が生じにくい土地利用と考えられている。その上、水田内では灌漑水中の懸濁物質が沈降除去されることから、積極的な土壌侵食防止機能、いわば沈砂池的機能を指摘する報告も少なくない。

上記の土壌侵食防止機能を定量的に評価するために、水田において懸濁物質の流入量、流出量を作期を通じて連続観測した研究は極めて限られている。各地の農業試験場での調査結果を整理した報告では、水田からの懸濁物質の年間差引流出負荷量(流出-流入)は-110 kg/ha~4,200 kg/haと幅のある値となるものの、多くの圃場で排出負荷量の方が多かったことが示されている。水田での懸濁物質の収支については、上述した土壌侵食防止機能が期待される一方で、代かき時の「代かき濁水」問題が広く認識されるように、その収支に関して十分に検討されてきたとは言いがたい状況にある。

こうしたなか、研究代表者は、沖縄県石垣島、栃木県宇都宮の実際に営農が行われている水田群を対象として、水田から排出される懸濁物質(主に土壌)を観測し、二期作の行われている石垣島では7,130 kg/ha、一期作の宇都宮では1,540 kg/haの懸濁物質が排出されていることを明らかにした。また、石垣島の水田における降雨時の収支分析から、流入水に含まれる粗粒画分の懸濁物質は沈降し、細粒画分の懸濁物質(土壌)が水田内で再懸濁(生産)され、流出していることを示した。

しかしながら、先行研究は収支の把握に重点を置いた内容であり、水田に流入した懸濁物質の挙動および水田内での懸濁物質(土壌)の再懸濁過程を明らかにするには到っていない。

2. 研究の目的

代かき・田植えなどの農作業に起因する田面水の懸濁を除くと、水田土壌を再懸濁させる外力として、人為的攪乱である農作業、自然現象に起因する雨滴、風、水流が考えられる。本研究では、雨滴、風を外力とした水田土壌の再懸濁および再懸濁に伴う懸濁物質の挙動について検討するとともに、水田からの懸濁物質の流出を抑制する方策について検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 営農水田における現地観測

宮城県名取市の水田群を対象とし、2015年および2016年の灌漑期の間、水田群への流入部および流出部に濁度計および水位計を設置し、懸濁物質流入量および懸濁物質流出量の連続観測を行った。連続観測と並行して、適時、現地で採水を行い、懸濁物質の粒度分布の空間的变化を把握した。

(2) 雨滴による田面水の懸濁(室内実験)

流出孔を設けた田面再現容器に水田土壌20g、蒸留水を入れ、攪拌機を使用し200rpmで2分攪拌した後に1日静置する。その後、容器の上方4.8mに設置した雨滴落下装置により、いくつかの降雨条件を設定して雨滴を落下させ、流出孔から田面水を採取してSS濃度、粒度分布を測定し、比較する。供試土壌は、秋田県大潟村、栃木県真岡市、栃木県宇都宮市の水田土壌とした。

(3) 雨滴による田面水の懸濁(野外観測)

栃木県宇都宮市の営農水田一筆の一角に、濁度計、水位計、雨量計を設置した。濁度計は塩ビ管内に固定し、2016年には畦畔から1mの植生内1箇所、2017年には畦畔から1mおよび2.5mの植生内2箇所に、田面数mm上にほぼ水平に設置した。

(4) 溝畔からの懸濁物質の流出

宇都宮大学内の水田圃場に勾配30°、45°の水田法面を造成し、それぞれの法面に水平投影面が幅40cm、奥行き70cmの試験区を4つずつ設けた。試験区は、植生条件を未管理の雑草区、管理した雑草区、芝生を植えた芝生区、裸地区として、勾配2条件、植生4条件の合計8区画とした。追加的に、背後の水田のない試験区を設定し、背後の水田の有無の影響についても検討した。

(5) 風による田面水の懸濁

簡易的な風洞を設け、その中に水田模型を設置し、風が田面水の懸濁に当たる影響について検討した。具体的には、風により生じる補償流が土壌を再懸濁させ、田面水が懸濁することを想定した。

(6) 懸濁物質の流出を抑制する方策

現地観測において、水の流出量が少なくなると懸濁物質流出量が抑制される傾向にあった。この結果に基づき、田面水流出量の抑制方策を検討するとともに、水尻付近での流速の抑制策について検討した。

4. 研究成果

(1) 営農水田における現地観測

連続観測に基づいた収支観測の結果から、代かき田植期には一定量の懸濁物質の流入があり、灌漑期全体として収支が均衡する可能性があることが示唆された。また、粒度分析の結果から、流入水中に含まれる懸濁物質の粒度分布と流出水に含まれる懸濁物質の粒度分布にはあまり変化が見られなかった。

(2) 雨滴による田面水の懸濁(室内実験)

雨滴を落下させる試験区と落下させない対照区を比較することで、雨滴による田面水の懸濁を検討した。

真岡市、大潟村の水田土壌を用いた実験では水深を2cm、4.5cm、7cmとした。その結果、

大潟村，真岡市の水田ともに水深が深くなるほど，田面水が懸濁する傾向が確認された。水深 7cm において懸濁物質濃度が最大となった理由としては，水中に浮遊し，粘土が付着した懸濁物質に対して，雨滴落下の衝撃が伝播すると粘土粒子が浮遊した懸濁物質から離脱し，水を懸濁させていることが視認された。このことから，代かきなど田面を攪乱した後の降雨による田面水の懸濁には，田面の土壤だけでなく，浮遊している懸濁物質も寄与していることが示唆された。また，真岡市と大潟村の実験結果を比較すると，大潟村の水田土壤を用いたときに水が懸濁しやすいことが分かった。この結果は，水田土壤の土性は均一ではなく，土壤により懸濁のしやすさが異なることが示唆された。

宇都宮市の水田土壤を用いた実験では，湛水深が 3cm 以上の時は，田面水からの再懸濁がほとんどないことが確認された。そこで，水深を 1.9cm，2.3cm，2.7cm として降雨による再懸濁を検討した。その結果，湛水深が小さいほど，土壤が再懸濁し，田面水が懸濁しやすいことが確認された。土壤と浮遊した懸濁物質の粒度分布を比較したところ，浮遊する懸濁物質の粒度分布の方が小さかった。これは，攪拌後の静置により形成された湛水クラスタが雨滴による衝撃により壊れ，細粒分が多く再懸濁したため，と考えられた。

(3) 雨滴による田面水の懸濁 (野外観測)

一般的に強い雨とされる降雨強度 20 ~ 30mm/h に相当する 2.5mm/5min 以上の降雨強度を含む降雨イベントでは湛水深が概ね 5cm 以上にもかかわらず，田面水の懸濁が確認された。こうした状況での懸濁物質の供給源として，田面土壤ではなく，植生にカバーされていない水田畦畔や畦畔と田面水の水際に形成される浅水部分における雨滴浸食の可能性が考えられた。畦畔から 1m 離れた位置と 2.5m 離れた位置を比較すると，畦畔に近い方が降雨時に懸濁しやすい傾向があることが確認された。こうして再懸濁した土壤が水尻から排出されることで，降雨時における水田排水の懸濁化の一因となっていることが考えられた。

(4) 溝畔からの懸濁物質の流出

試験区の勾配の影響を比較するために，同一の地表面条件で懸濁物質量の大きさを比較すると，勾配が大きくなるほど懸濁物質流出量が多いことがわかった。これは流出水量が大きくなることが一因として考えられた。次に，地表面の条件で比較すると，裸地区では懸濁物質流出量が多く，その他の植生区 (雑草管理区，雑草未管理区，(芝生区)) では大きな差が認められなかった。この原因としては，溝畔が植生に被覆されることにより，雨滴の衝突エネルギーを軽減するとともに，斜面の粗度を上げ，流速を緩和していることが考えられた。また，USLE との比較により，背後に

湛水された水田がある水田法面では法面の土壤水分が湿潤な状態にあり，懸濁物質流出量が多くなる傾向があることが示唆された。そこで，背後に水田のない条件を想定した試験区を設け実験を行ったものの，表面に自然繁殖したコケ類により土壤が被覆され，その効果の検証には至らなかった。その一方で，斜面がコケ類に被覆されることによる土壤侵食の抑制が確認された。

(5) 風による田面水の懸濁

簡易風洞の観察により，表層では風送方向に渦を伴った風送流，低層では風送方向と逆方向に補償流が生じ，水田模型内に大きな流れが発生することを確認できた。こうして発生した補償流により，水田模型内の土塊が上流方向に移動することを確認した。しかしながら，濁度の変化はあまり大きくなかったことから，補償流による田面水の懸濁は限定的であることが考えられた。このことから，風による田面水の懸濁は，強風が吹いて生じる風波が畦畔に当たることにより，畦畔を侵食しているためと予想された。

(6) 懸濁物質の流出を抑制する方策

栃木県内で多く見られる畦畔底部に塩ビパイプを埋設し，これに同じく塩ビ製のエルボーを取り付けた簡易落水工に着目した。この簡易落水工の排水特性を検討したところ，普及している落水マスと比較して田面水の流出を抑制していることが分かった。このことから，簡易落水工により水田からの懸濁物質の流出が抑制されていることが示唆された。また，水尻付近に流れを妨げるように苗マットを置くことにより流速を抑えることができ，水田からの懸濁物質の流出を抑制できる可能性があることが考えられた。

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 2 件)

Kazutoshi Osawa, Yui Nonaka, Taku Nishimura, Keitaro Tanoi, Hiroyuki Matsui, Masaru Mizoguchi, Takahiro Tatsuno: Quantification of dissolved and particulate radiocesium fluxes in two rivers draining the main radioactive pollution plume in Fukushima, Japan (2013–2016), *Anthropocene* (査読あり), 22, 40-50, 2018, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2018.04.003>

須永 吉昭, 松井 宏之, 大澤 和敏: 水田排水に含まれる懸濁物質の粒度分布の経時変化に関する考察, *農業農村工学会論文集* (査読あり), 305, II_113-II_119, 2017, DOI: https://doi.org/10.11408/jssidre.85.II_113

[学会発表](計 6 件)

木下 拓也, 松井 宏之, 大澤 和敏, 杉崎芽依: 温度および蒸発量が湛水土壤の硝酸態窒素除去に与える影響, 農業農村工学会水文水環境研究部会, 2017

雨澤 毅明, 松井 宏之, 杉崎 芽依, 大澤 和敏: 熱対流が淡水土壤の硝酸態窒素除去機能に及ぼす影響, 農業農村工学会全国大会講演会, 2017

須永 吉昭, 大澤 和敏, 松井 宏之: 水田用排水に含まれる懸濁物質の粒度分布の経時変化, 農業農村工学会全国大会講演会, 2016

野村 美喜, 須永 吉昭, 大澤 和敏, 松井 宏之: 水田法面からの懸濁物質の流出に関する基礎的研究, 農業農村工学会全国大会講演会, 2016

須永 吉昭, 松井 宏之, 大澤 和敏: 降雨による田面水の懸濁に関する現地観測, 農業農村工学会関東支部大会講演会, 2015

諸岡 峻一, 松本 祐介, 松井 宏之: 雨滴による水田土壤の再懸濁に関する研究(2), 農業農村工学会全国大会講演会, 2015

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)
なし

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松井 宏之 (MATSUI, Hiroyuki)

宇都宮大学・農学部・教授

研究者番号: 30292577

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし