

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450354

研究課題名(和文) 不耕起栽培や堆肥施用による環境保全型農業の物質循環評価および流域物質動態解析

研究課題名(英文) No-tillage and manure effects on soil erosion, carbon and nitrogen dynamics on farmlands and watersheds

研究代表者

大澤 和敏 (Osawa, Kazutoshi)

宇都宮大学・農学部・准教授

研究者番号：30376941

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、過剰な土壌流出によってサンゴ等の生態系への影響が深刻な沖縄地方を対象として、不耕起栽培や堆肥の施用に伴う土壌・栄養塩・有機炭素流亡に着目した物質動態を現地観測、モデル化、そして数値シミュレーションによって定量的に評価した。農地における現地観測の結果、土壌・栄養塩・有機炭素流亡は農地の管理方法によって顕著に異なることが分かった。河川における観測を実施した結果、農地主体の流域では土壌・栄養塩・有機炭素の流出が顕著であった。流域スケールにおけるモデルを用いた解析の結果、不耕起栽培等の営農的対策が流出量削減のために有用であることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Excess soil and nutrients yields transport toward the coastal zones and deposition on corals are one of the major environmental problems in Okinawa, Japan, in which agricultural area is the major source of sediment yield. In this study, no-tillage and manure effects on soil erosion, carbon and nitrogen dynamics on farmlands and watershed are analyzed in agricultural farmland and watersheds in Yaeyama region. Observed results support the combination of no-tillage and manure application farming is one of the best management practices for reducing sediment and nitrogen runoff and for storage of organic carbon in soil. Sediment, nutrients, and organic carbon runoff amount at Todoroki River watershed (agricultural watershed) was the largest in three representative watersheds. Simulated sediment, nutrients, and organic carbon runoff using the WEPP model and SWAT model were clarified the positive effect of no-tillage farming and adding residue mulch.

研究分野：流域物質循環学，農地工学

キーワード：土壌環境保全 土壌侵食 窒素循環 炭素循環 不耕起栽培 堆肥

1. 研究開始当初の背景

近年、流域における健全な水・物質循環の重要性が認識され、そのような中で育まれる人間生活や生態系の保全への関心が高まっている。この典型的な例として、沖縄復帰後の開発に伴う赤土問題が挙げられる。沖縄では、微細土砂や栄養塩の流出が海域における富栄養化の主要因となり、サンゴ礁生態系をはじめとした沖縄地方独自の自然形態を破壊する要因として問題視されている。特に、農地では大規模な農地開発とともに、近代的な農業経営が導入されたため、侵食による土壌や土壌に含まれる栄養塩・有機物の流亡が顕著になった。その結果、土壌における炭素貯留機能を著しく低下させ、それが侵食をよりいっそう増大させている要因となっている。

現在でも農地は経常的な負荷物質の発生源であり、近い将来規制対象にする方針にある。規制の方法としては、植生帯、不耕起栽培、マルチングなど何らかの負荷物質流出防止対策を講じることを義務付けることが検討されている。そのためには、農地スケールおよび流域スケールを視野に入れた土砂・栄養塩・有機物(炭素)の動態の現状を時間・空間的に捉え、さらに負荷流出抑制対策の効果について予測する必要がある。以上の課題の一部は、筆者が研究分担を務めた科学研究費補助金 基盤研究(S)「流域圏の土砂・栄養塩動態の解明および統合管理技術の開発 - 亜熱帯流域を対象として -」(研究代表者: 池田駿介)や筆者が研究代表を務めている日本学術振興会学術研究助成基金助成金 若手研究(B)「農地における炭素動態に基づいた土壌劣化評価および流域物質動態解析」において実施された。その結果、不耕起栽培が土壌侵食の抑制および有機炭素流亡の軽減に著しい効果があることが分かった。その結果を活用し、現在、「石西礁湖サンゴ礁基金」の助成を受け、不耕起栽培の促進事業が地域住民を主体として展開されている(<http://www.strata.jp/sangokikin/report120223.html>)。一方、沖縄地方では、牛や豚の畜産業が盛んで家畜糞を原料とした堆肥生産が行われているが、高価なためサトウキビ等の露地作物には用いられていない。将来的には、不耕起栽培へ転換する農家への支援策として、堆肥の配布が検討されている。しかし、農地における不耕起栽培と堆肥などの有機物の投入が、土壌侵食抑制、栄養塩流亡軽減、炭素貯留、そして収量に対してどの程度寄与するかどうかの定量的な検討はなされておらず、研究の更なる展開が必要とされている。

農地土壌における栄養塩・炭素循環では、作物残渣や堆肥等の有機物が土壌中に蓄積され、土壌微生物の無機化作用によって可給態栄養塩に分解されつつ温室効果ガス(CO₂, CH₄, N₂O)が大気へ放出される。それと同時に降雨に伴う土壌侵食や地下浸透によって

農地外へ流出する。Blanchart et al.(2006)によると、近代的な機械化された農業を実施している畑地における炭素収支は、土壌侵食による炭素流亡量が増大するため作土層の有機物貯留量が著しく減少することが報告されており、その流出を軽減させる方法を策定する必要がある。例えば、不耕起栽培や堆肥等の有機資材の施用が考えられる。不耕起栽培は、土壌侵食を顕著に軽減する効果があることが筆者らの研究成果によって示されていることから、栄養塩、有機炭素流亡も大幅に削減され、作土層の有機物貯留量が増大することが予想される。また、有機資材の施用によっても、有機物貯留量が増大するとともに、土壌の透水性等が改善され土壌侵食の抑制が予想される。その結果、水系環境への負荷軽減とともにカーボンシンクとしての機能も増大することが期待できる。

2. 研究の目的

本研究課題では、過剰な土壌流亡によってサンゴ等の生態系劣化が深刻な問題となっている亜熱帯島嶼地域を対象として、土壌・栄養塩・有機炭素流亡に着目した物質動態を現地観測、モデル化、そして数値シミュレーションによって定量的に評価することを目的とする。具体的には、(a)土壌・栄養塩・有機炭素流亡と土壌栄養塩・有機炭素含有量の関係の評価、(b)流域における土砂・栄養塩・炭素動態の算定、(c)圃場スケールおよび流域スケールの土砂・栄養塩・炭素動態モデルの開発、(d)流域における合理的な低負荷・低炭素排出型営農シナリオ解析、という4つの具体的な目標を掲げ以下の研究を遂行する(図1)。

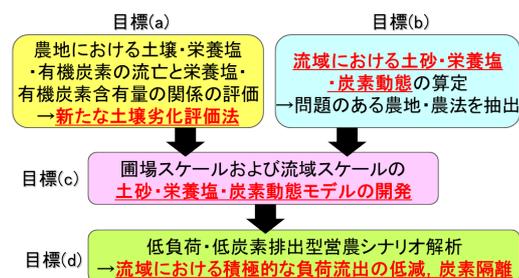


図1 研究計画・方法の概要

3. 研究の方法

目標(a)に関して、対象地を沖縄県石垣島に設定し、実際に営農活動がなされている農地において、土壌・栄養塩・有機炭素流亡の比較試験を行い、土地利用や農地の管理方法の違いに伴う物質動態の違いを比較する。特に、堆肥等の有機資材投入や不耕起栽培の条件を入れて試験を行う。それと同時に各試験区における土壌中の栄養塩・有機炭素含有量および温室効果ガス放出量を測定し、それらと土壌侵食に伴う栄養塩・有機炭素流亡量の関係を定式化し、新たな土壌劣化評価法として提案する。さらに、作物の収量、作物残渣・

施肥による炭素投入量を実測または各種資料等より把握し、圃場スケールにおける栄養塩・炭素収支として整理する。これらより、土地利用別、営農方法別の土砂・栄養塩・炭素動態の違いを定量的かつ系統的に評価することができる。

目標(b)に関して、対象流域を沖縄県石垣島轟川流域(農地主体の流域)、西表島後良川流域(森林のみの流域)、名蔵川流域(農地と森林が混在した流域)とする。これらの流域における物質動態を現地観測によって流域物質収支として整理し、それらを比較することによって、流域スケールでとらえた場合の物質動態に関する問題点の抽出や適切な対策項目や対策場所などの評価を行う。

目標(c)に関して、目標(a)、(b)の結果を基礎データとして、土壌・栄養塩・有機炭素流亡を組み込んだ物質動態モデルの構築を行う。土壌・有機炭素流亡に関するサブモデルは、筆者がモデルの適用および改良を実施している侵食・土砂流出モデルであるWEPP(Water Erosion Prediction Project)を援用する。栄養塩流亡に関するサブモデルは、筆者がモデルの適用および改良を実施しているSWAT(Soil and Water Assessment Tool)を援用する。圃場スケールの過程を水路、河川、貯水池を含んだ形で流域スケールへ拡張し、流域における土砂・栄養塩・炭素動態モデルとする。

目標(d)に関して、目標(a)の圃場試験で得られた土地利用別、営農方法別の物質動態の違いをもとに、物質流亡量や収量、そして土壌中の炭素貯留量の程度により数段階のシナリオを作成し、それらを目標(c)で得られたモデルに組み込み、数値シミュレーションによって農地および流域における土砂・栄養塩・炭素動態を評価し、合理的な低負荷・低炭素排出型の農地および流域管理を提案する。

4. 研究成果

(1) 土壌・栄養塩・有機炭素流亡の比較試験

沖縄県におけるサトウキビ圃場を対象地とした土壌侵食と窒素流亡・有機炭素流亡に関する現地試験を主に行った。設置した4つの試験区は夏植え栽培・化学肥料施用区(夏化区)、夏植え栽培・堆肥施用区(夏堆区)、株出し栽培・化学肥料施用区(株化区)、株出し栽培・堆肥施用区(株堆区)とした。なお、夏植え栽培は慣行耕起法、株出し栽培は不耕起栽培法である。各試験区で水位、濁度の連続観測、降雨時に表流水および浸透水の採水を行い、土壌や窒素の流亡量などを算出した。

表面流発生時の土砂流出量は、夏堆区の方が著しく大きく、総量で株堆区と比較して約36倍大きかった。表流水に含まれる窒素の流出をみると、硝酸態窒素成分の全窒素に占める割合は夏堆区で21%~79%、株堆区で5%~10%であった。また、夏堆区における全窒素の表流出量は株堆区より総量で約1.6倍大き

く、夏堆区の硝酸態窒素の表流出量は株堆区より総量で約5.7倍大きかった。硝酸態窒素の浸透量は、夏堆区 夏化区 株化区>株堆区の順であり、株出し栽培区は夏植え栽培の20%程度であった。株出し栽培区が小さかった要因として、株出し栽培区がサトウキビの成長期であったために、窒素吸収が活発であったことが考えられる。また、夏植え栽培区は作物被覆が小さかったため地温が高く、堆肥等の有機物の分解が促進され、無機化が活発だったことも予想される。窒素浸透量と窒素表流量の全窒素を比較すると、夏堆区では窒素浸透量は窒素表流量の約5.8倍、株堆区では約1.4倍であり、硝酸態窒素を比較すると、夏堆区では約21.7倍、株堆区では約17.8倍であり、浸透による窒素流亡が顕著であった(図2)。全窒素の浸透量の窒素投入量(施肥量)に対する割合は、夏化区23%、夏堆区11%、株化区5%、株堆区1%であった。以上の結果より、土壌侵食抑制や窒素保持には不耕起栽培と堆肥投入が有効であることが分かった。

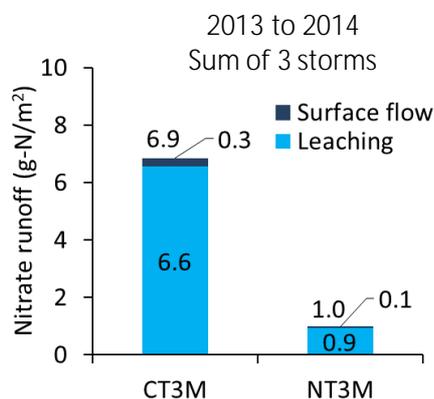


図2 サトウキビ圃場における硝酸態窒素の流出量(CT3M:夏植え栽培・堆肥施用区, NT3M:株出し栽培・堆肥施用区)

一方、TOC流出量は、株出し栽培区の方が小さかった。株出し栽培区は夏植え栽培に比べ、TOCで約40%となり、流出抑制効果が高かった(図3)。

さらに、雨水の浸入を促進する畝間の溝切りと溝への有機物の挿入に着目し、それらが

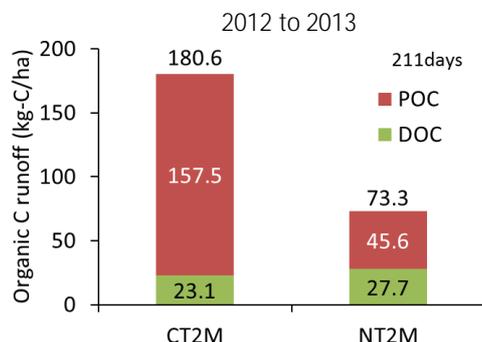


図3 サトウキビ圃場における有機炭素の流出量(CT2M:夏植え栽培・堆肥施用区, NT2M:株出し栽培・堆肥施用区)

表流水の流出量及び土砂流出量へ与える影響を明らかにする圃場試験を実施した。その結果、サトウキビの残渣による地表面被覆がある状態の休閑期において、溝切りによって表面流出は抑制できたが、土壌のかく乱を伴ったために土砂流出は増大した。サトウキビの植え付け時期を含む栽培期において、溝切りと有機物の挿入は表面流出の抑制に加え、不耕起栽培ほどではないが土砂流出も抑制できた(図4)。

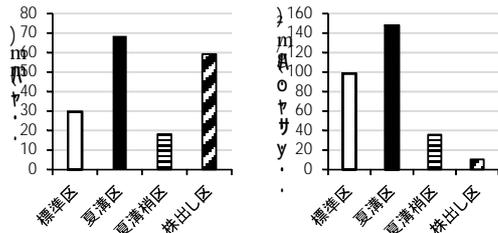


図4 畝間の溝切りと溝への有機物の挿入が表流水の流出量及び土砂流出量へ与える影響(夏溝区:溝切りのみ,夏溝梢区:溝切りと有機物の挿入,株出し区:不耕起栽培)

(2) 土壌の剥離・堆積に関する室内実験

畑地で流路となるリルにおける土砂の堆積, 侵食, そして再懸濁に関する室内実験を実施した。設定した土中の水理条件として, 流水が下方浸透する排水状態と地表面から地中水が浸み出る浸出状態に分けて実験を行った。その結果, リル内での土砂の堆積は, 排水状態で顕著であった。一方, リル内での侵食は浸出状態で顕著であった(図5)。さらに, いったん堆積した土粒子の再懸濁は, 堆積量に比例して増大する傾向にあった。

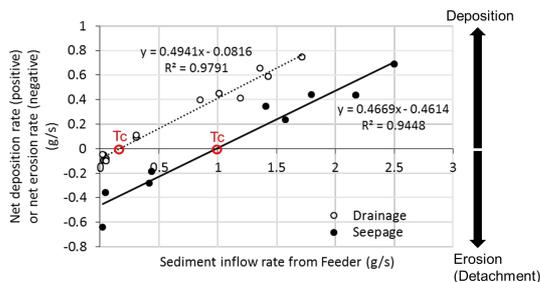


図5 リルにおける土砂の剥離と再懸濁

(3) 流域における物質動態

3 流域における単位面積当たりの総土砂流出量は, 農地流域, 森林流域, 混合流域の順に大きかった(図6)。混合流域の値が森林流域の値より小さかった要因として, 平均勾配や降雨量に対する流量の割合(流出率)の相違が考えられる。

3 流域における単位面積当たりの総栄養塩流出量は, 全体的に農地流域, 混合流域, 森林流域の順に大きく, 土砂流出と異なり無降雨時においても流出が顕著であった(図7)。NO₃-N(硝酸態窒素)および PO₄-P(リン酸態リン)は, 農地流域では著しく大きく, 次の

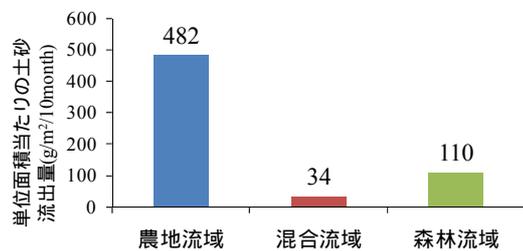


図6 単位面積当たりの土砂流出量

で混合流域, 森林流域の順となった。特に, 農地を含む2流域では無降雨時の流出が相対的に大きいことがわかり, 肥料由来の栄養塩が浸出したと考えられる。これらの結果より, 栄養塩流出は, 土砂流出と比較して土地利用形態に大きく依存していることが分かった。

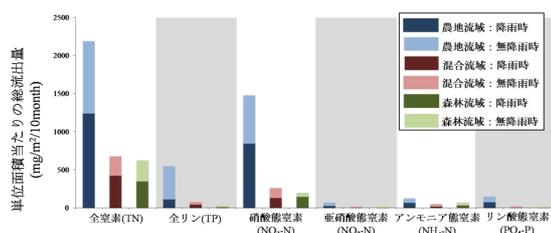


図7 単位面積当たりの栄養塩流出量

(4) 土砂・栄養塩・有機炭素動態の数値シミュレーション

流域における物質動態解析について, 沖縄県やパラオ共和国における流域を対象として WEPP モデルや SWAT モデルによる数値シミュレーションを実施した。WEPP モデルを石垣島全域に適用した結果, 土砂流出抑制対策の優先流域を特定でき, 土壌侵食が顕著な地域から優先的に対策することが効果的であることが分かった(図8)。また, 石垣島名蔵川

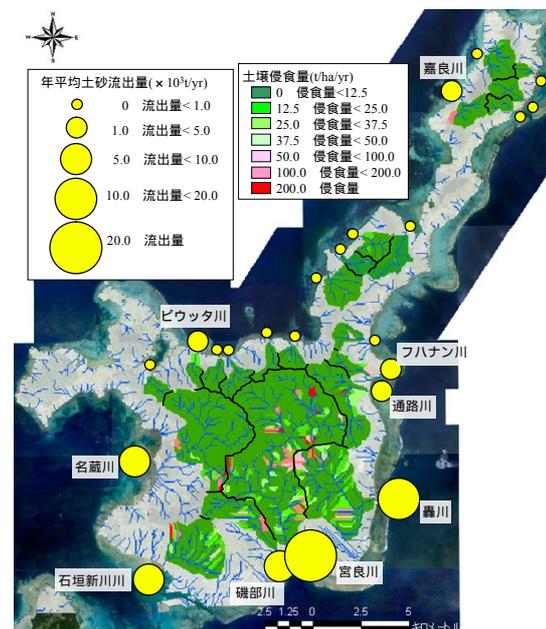


図8 WEPP による石垣島全域における土壌侵食・土砂流出量の解析結果

流域において SWAT を適用した結果、水、土砂、栄養塩の動態を再現可能であり、観測値に対する適合性も概ね良好であることがわかった。また、減肥対策の数値シミュレーションを実施した結果、河川水における栄養塩の削減効果は小さいことがわかった（図 9）。

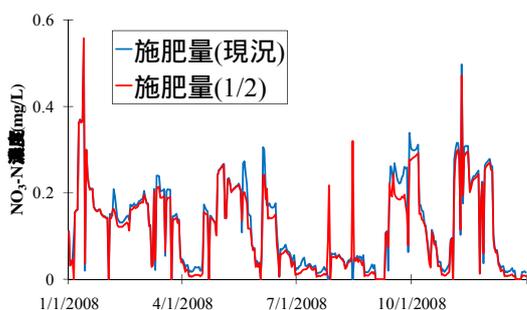


図 9 SWAT による減肥対策の数値シミュレーション結果（石垣島名蔵川）

WEPP モデルを用い、石垣島轟川における現況および流域内におけるサトウキビ夏植え栽培を株出し栽培に、パインアップル栽培を減耕起かつマルチングを実施する営農方法に変更した場合を想定し、浮遊土砂(SS)、有機炭素(POC)流出量を算出した結果、浮遊土砂流出量、有機炭素流出量は現況よりそれぞれ 62%、63%減少することが予想された（図 10）。

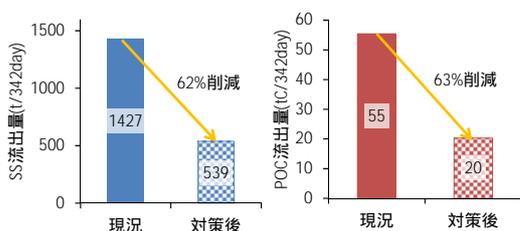


図 10 WEPP による保全対策に伴うの浮遊土砂および有機炭素流出の抑制効果（石垣島轟川流域）

以上の成果より、過剰な土壌流亡によってサンゴ等の生態系劣化が深刻な問題となっている亜熱帯島嶼地域を対象として、土壌・栄養塩・有機炭素流亡に着目した物質動態を現地観測、モデル化、そして数値シミュレーションによって定量的に評価することができた。

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 8 件)

- (1) Hiroyuki MATSUI, Kazutoshi Osawa: Calibration effects of the net longwave radiation equation in Penman-type methods at Tateno, Japan, Hydrological Research Letters, 査読有,

9, 113-117, 2015.

DOI: 10.3178/hrll.9.113

- (2) Yudi Chadirin, Satyanto K. Saptomo, Budi I. Setiawan, Kazutoshi Osawa, Dian Novarina: CO2 Emission from Bare Peat Land Using Continues Measurement, Advances in Environmental Biology, 査読有, 9, 180-183, 2015.

<http://www.aensiweb.net/AENSIWEB/aeb/aeb/2015/November/180-183.pdf>

- (3) 乃田啓吾, 飯田晶子, 渡部哲史, 大澤和敏, 沖一雄: パラオ共和国バベルダブ島における土地資源利用効率の検討, 応用水文, 査読有, 28, 31-40, 2015.

- (4) 松井宏之, 大澤和敏: BSRN データを用いた下向き長波放射量推定式の検証, 土木学会論文集 B1(水工学), 査読有, 70(4), 1_337-1_342, 2014.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejhe/70/4/70_57/_pdf

- (5) 工藤将志, 大澤和敏, 松井宏之, 菅和利, 佐藤航太郎, 池田駿介: パラオ共和国での造成地を含む小流域における土砂流出の現地観測および GeoWEPP の適用, 土木学会論文集 B1(水工学), 査読有, 70(4), 1_943-1_948, 2014.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejhe/70/4/70_158/_pdf

- (6) 佐藤紀男, 星野幸一, 大澤和敏, 平井英明: 代かき・移植期に猪苗代湖に流入する排水路に流出した水田土壌の性質, 日本土壌肥料学雑誌, 査読有, 84(6), 473-477, 2013.

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009766903>

- (7) 逢沢峰昭, 乾友恵, 平井英明, 大澤和敏, 池田純子, 大久保達弘: 北関東の中山間地域の農用林における落葉および落葉堆肥生産と水田施用の有効性, 森林立地, 査読有, 55(2), 119-126, 2013.

http://ci.nii.ac.jp/els/110009804565.pdf?id=ART0010304705&type=pdf&lang=en&host=cinii&order_no=&ppv_type=0&lang_sw=&no=1464527405&cp=

- (8) 大澤和敏, 酒井一人, 池田駿介: WEPP モデルによる土壌侵食・土砂流出解析, 農業農村工学会誌, 査読有, 81(12), 13-16, 2013.

〔学会発表〕(計 13 件)

- (1) 工藤将志: パラオ共和国での造成地を含む小流域における土砂流出の現地観測および GeoWEPP の適用, 第 58 回水工学講演会, 2014 年 03 月 05 日, 神戸大学(兵庫県・神戸市).

- (2) 松井宏之: BSRN データを用いた下向き長波放射量推定式の検証, 第 58 回水工学講演会, 2014 年 03 月 04 日, 神戸大学(兵庫県・神戸市).

- (3) Kazutoshi Osawa: Field Monitoring and

- Application of WEPP Model for Sediment and Radiocesium Movements in Fukushima, ASA, CSSA and SSSA 2013 International Annual Meetings, 2013 年 11 月 04 日, Tampa(USA).
- (4) 大澤和敏: 福島県飯館村の河川における放射性物質流出の現地観測, 2013 年度土壌物理学大会, 2013 年 10 月 26 日, 福島大学(福島県・福島市).
- (5) 工藤将志: パラオ共和国での造成地を含む流域における GeoWEPP による土砂流出解析, 平成 25 年度農業農村工学会大会講演会, 2013 年 09 月 04 日, 東京農業大学(東京都・世田谷区).
- (6) 大澤和敏: 沖縄地方での農地および流域における土砂・有機炭素流亡, 平成 25 年度農業農村工学会大会講演会, 2013 年 09 月 03 日, 東京農業大学(東京都・世田谷区).
- (7) 成尾和浩: ソルガム残渣マルチと最小耕起が土壌侵食とキマメの生育に及ぼす影響, 平成 26 年度農業農村工学会大会講演会, 2014 年 08 月 27 日, 新潟コンベンションセンター 朱鷺メッセ(新潟県・新潟市).
- (8) 辰野宇大: GeoWEPP を利用した福島県飯館村における放射性セシウムの動態評価, 平成 26 年度農業農村工学会大会講演会, 2014 年 08 月 27 日, 新潟コンベンションセンター 朱鷺メッセ(新潟県・新潟市).
- (9) 鈴木 匠: 湛水下の水田土壌のせん断応力に関する基礎的研究, 平成 26 年度農業農村工学会大会講演会, 2014 年 08 月 27 日, 新潟コンベンションセンター 朱鷺メッセ(新潟県・新潟市).
- (10) 須永 吉昭: 雨滴による水田土壌の再懸濁に関する研究, 平成 26 年度農業農村工学会大会講演会, 2014 年 08 月 27 日, 新潟コンベンションセンター 朱鷺メッセ(新潟県・新潟市).
- (11) Kazutoshi Osawa: No-tillage and manure effects on soil erosion, carbon and nitrogen dynamics in sugarcane field in Okinawa, Japan, ASA, CSSA and SSSA 2014 International Annual Meetings, 2014 年 11 月 02 日, Long Beach (USA).
- (12) 大澤和敏: パラオ共和国における土砂流出を考慮した土地開発の検討, 平成 27 年度農業農村工学会大会講演会, 2015 年 09 月 02 日, 岡山大学(岡山県・岡山市).
- (13) Kazutoshi Osawa: Laboratory experiments for sediment deposition and detachment in a rill under different vertical hydraulic gradient conditions, ASA, CSSA and SSSA 2015 International Annual Meetings, 2015 年 11 月 18 日, Minneapolis(USA).

〔図書〕(計 1 件)

- (1) 池田駿介, 菅和利, 岡本峰雄, 戸田祐嗣, 大澤和敏, 赤松良久, 惠小百合, 大久保あかね: 近代科学社, 環境保全・再生のための土砂栄養塩類動態の制御, 2014 年, p.235.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大澤 和敏 (Kazutoshi Osawa)
宇都宮大学・農学部・准教授
研究者番号: 30376941

(2) 研究分担者

松井 宏之 (Hiroyuki Matsui)
宇都宮大学・農学部・教授
研究者番号: 30292577