

平成 30 年 5 月 30 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07679

研究課題名(和文) 傾斜農地における降雨流出のマルチモード画像情報に基づく計測システムの開発

研究課題名(英文) Multi-mode measurements of surface runoff from sloping farmland

研究代表者

芝山 道郎 (SHIBAYAMA, Michio)

鹿児島大学・農水産獣医学域農学系・教授

研究者番号：10354060

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：近年わが国では、多発する突発的な強雨により農地で表面流出と呼ばれる雨水が土壌表面を流下する現象が頻発している。農耕地ではこの表面流出水が地表面を侵食し、土壌に含まれる肥料成分や重金属が流域水系に流出し、富栄養化をはじめ環境汚染の一因となっている。環境影響の評価には表面流出水の正確な流出量の把握が求められるため、本課題では非接触的な手法として、デジタルカメラで撮影した動画等の解析や光学センサによって表面流出速度、流出率やさらに濁度をフィールド計測する手法を開発した。

研究成果の概要(英文)：In recent years, the increased incidence of sudden heavy rains in Japan has enhanced the occurrences of surface runoff from sloping farmlands. These runoff events negatively affect the ecosystems due to leaching of fertilizer components and/or heavy metals into local watersheds. Water-level meters installed at the bottom edge of sloping farmlands have been conventionally used for measuring the extent of surface runoff. However, data provided by this equipment are unreliable because of the direct contact of sensors with various objects, such as pile-ups of crop residues and/or soil particles. To avoid this disadvantage, we herein propose a novel method that uses automatically captured time-lapse images of surface runoff.

研究分野：農業リモートセンシング

キーワード：表面流出 傾斜畑 画像計測

1. 研究開始当初の背景

(1) わが国は、4割を超える農耕地が斜度 8° 以上の傾斜地に分布する上に年間平均降水量が1500mmに達する多雨地帯に位置する。さらに近年、短時間に激しい降雨が各地で多発する傾向が見られ、それに露地野菜の団地化と単作化の流れが重なり、農耕地では表面流出および土壌侵食を生じる危険性が一層高まっている。このような土壌侵食で流出するリン(P)は、河川の汚濁や湖沼などの閉鎖系水域の富栄養化の大きな原因の一つに挙げられている。そのため閉鎖性水域の流域を対象とし、農地からの負荷物質流出実態を明らかにした上で、効果的な負荷流出防止策の立案を支援するツールの開発が望まれる。

(2) 実農地における負荷物質流出実態を明らかにするためにはモニタリングが有効であるが、労力やコスト面の問題から広域には行われておらず、実際の農耕地で不時の豪雨時にその流出の実態が直接観察されることは極めてまれである。その結果、降雨量と強度、土壌の種類や地形、作物種や栽培法に応じて非常に多くの実地計測が必要とされる一方、信頼に足る流出データの取得が迅速に進まない現状がある。

(3) このような不足するモニタリングデータを補完する点では、土地利用、営農管理といった農業活動に関わる要素と、地形、土壌の性質などのGISデータ、降雨形態すなわち一定の期間内の総降水量ならびに降雨量の時間的推移のパターンや単位時間当たり最大降雨量などの自然条件を用いて、流域からの負荷物質流出量を予測する広域モデルの適用性の検討が進められている。しかしながら、こうした広域モデルで採用されている圃場レベルの降雨に対する流出モデルは、我が国の土壌のうち畑地に主要な黒ボク土に対する適用性が低いことが明らかにされつつある。それは黒ボク土のもつ物理的性質が、こうしたモデルが開発された米国では一般的でないこと、そのため、モデルパラメータの策定にあたっては黒ボク土の特性がほとんど、あるいはまったく考慮されていないことに起因する。このことから、こうしたモデルを我が国の流域、特に黒ボク土を主体とする地域に適用する場合には、黒ボク土における降雨-流出を妥当に計算するために、降雨-流出の実測値との比較によるキャリブレーションによるパラメータの調整や、必要に応じてモデルの改良が行われる必要がある。

2. 研究の目的

(1) 黒ボク土圃場に設置する観測システムに新たに自動画像撮影(動画および静止画)を付加し、改良・拡充することで、画像データに基づいた定量的な降雨-流出関係を把握する手法を確立しようとするものである。ここで改良された観測システムと解析手法は、今後、多様な農耕地に適用され、

降雨-流出実態を定量的に把握するモニタリングシステムの一つとして普及することが期待される。

(2) 広域モデルの予測精度向上にも重要な情報を提供することが期待される。すなわち、圃場レベルでの降雨-流出の実測値を蓄積することは、広域モデルに実装される降雨-流出モデルにおいて、黒ボク土農地に対して設定されるパラメータの取るべき範囲に一定の指針を与えることが期待される。さらに、このことにより、我が国に多い黒ボク土主体流域に適用される広域モデルの中においても農地からの流出計算の精度の向上、ひいては対象とする地域全体から閉鎖性水域に流出する環境負荷物質の予測精度を向上させることに寄与する。

3. 研究の方法

- (1) 実地観測を支援するための傾斜農地流出水の総合計測システムの開発をめざした。
- (2) 非接触的な手法として、デジタルカメラで撮影した動画等の解析によって斜面流出速度および瞬間流出率の計測法を開発した。
- (3) 流出速度の非接触計測装置として、流出を自動的に動画撮影するシステム：自動撮影装置「流出検知ドップラセンサ付カメラ」を鹿児島大学構内で試験した。本装置は、表面流出が実際に生じたことを検出後、動画撮影を開始するため、メモリ資源を節約し、解析に必要なデータのみを効率的に取得できる。構内に斜面長10m、幅2.5m、傾斜度 5° の枠圃場を二連造成し、梅雨期より晩秋まで上記のシステムを設置して観測するとともに、現場の降雨量ならびに表面流出量をパーシャルフリュームで実測した。
- (4) 流出水の流出速度を斜面下端で面的に計測する手法として、斜面にあらかじめ散布したパーライト粒(白色で軽比重の土壌改良資材で流去水に浮いて移動)の速度を斜面の位置ごとに計測する方法と画像処理アルゴリズムを開発した。
- (5) パーシャルフリューム流量計の指示値が流出土壌の堆積などにより不確かになる現象を、現場に設置した自作のインターバルカメラで観測し、その画像群を解析した。
- (6) サンプル流出水の濁度を簡易・迅速に測定するための光学センサを用いて、SS濃度に換算するための校正方法を検討するとともに、流出水中の粒子粒径分布、リン濃度などの物理化学的特性を実測した。

4. 研究成果

(1) つくば市内の人工傾斜畑施設で撮影された流出のインターバル画像を詳細に検討し、狭幅取水口手前で滞留する水塊の体積とその経時的変動を画像から推定した。滞留水体積は降雨強度に応じて増減していた。大きな流出においては、流出ピーク時とその10分前の滞留水体積の差分は、同時間帯の実測流出量を超えることもあった。真の流

出量は実測流出量と滞留水体積増加分の和になるとの仮説的モデルに基づき、流出ピーク時 10 分間の実測降雨量と流出量および推定滞留水体積の差分とから推算した表面流出率は 12~59%だった。これは同施設で過去に別法（全幅取水）で観測されたデータのレンジとほぼ一致していた。以上から、圃場全幅から取水することが技術的に困難で、狭い取水口での流量観測とせざるを得ない現場での流量計観測値と画像による滞留水計測とを総合的に組み合わせることで、瞬間的な流出量をよりの確に把握できることが示された（論文、学会発表）。

(2) 鹿大構内の人工傾斜畑で撮影された流出の動画から、流水とともに移動する浮遊物を捉えてその移動方向と速度を市販の PIV ソフトウェアにより計測できることを示した。PIV 解析では機械的に移動する浮遊物のベクトルを算出するが、明らかに不自然な値（ノイズ）を除去して一定時間内の面的平均流速を合理的に推定する方法を提示した。この時、目視および手動による流速計測結果と比較した。またマニング式と地形勾配および類似施設で計測された等価粗度係数の文献値とから、動画推定ならびに実測流量それぞれに基づく推定水深を相互に比較検討した。浮遊物の移動を捉える動画推定では、水底との摩擦などの影響で実際の流速よりやや過小評価になりやすいことがわかった。しかし推定した流速の時間変動は実測雨量および実測流出量の変動パターンと類似しており、流速から表面流出量の変動を把握する可能性が示唆された（論文、学会発表）。

(3) あらかじめ圃場にパーライトを散布しておくことで、白色・軽量のパーライト粒が流出水に運ばれる様子が動画カメラで明瞭に撮影されることがわかった。偶然に検出される浮遊物などに依存する前述の方法より確実性に優れている。さらに人工知能モジュールソフトウェアの OPEN CV を利用して、この粒子を動画像から抽出し、移動速度・方向を算出する専用プログラムを開発した。前述の市販 PIV よりも目的と機能を絞ることができ、コストと解析時間の大幅な短縮が可能になった。

(4) パーシャルフリュームの水位を計測するためのフロート式水位計の指示値は増水時にはほぼ正確だが、減水時には水位計測槽とパーシャルフリューム間の通水口に土砂が堆積して排水を阻害するため、流量を過大評価することが明らかになった（学会発表）。パーシャルフリュームの内部を定点カメラで撮影し、この画像から通過水の水位を計測することにより、減水時時的確な流量推定ができることを示した。パーシャルフリュームを用いた簡易連続計測データのゼロレベルの変動や、降雨終了後の残留水位検出に起因する流量計測値の品質劣

化対策に資すると考えられ、これまでの遠隔地での無人・長期観測システムの弱点を補うだろう（学会発表）。

(5) 鹿大構内の傾斜畑施設で流出発生時に採取された間歇サンプル流出水について、実験室に持ち帰り光学濁度計で計測した濁度と吸引ろ過・乾燥法により測定した懸濁物質（SS）濃度とを比較し校正した。導入した光学濁度計は圃場流出に伴う高濃度の SS にも対応可能で採水現場での迅速な SS 測定が可能と考えられた。ただし圃場表土の粒径分布、あるいは実物懸濁液からあらかじめ校正式を作成、または修正する方法については検討中である。またリンの定量分析データと組み合わせた負荷物質の流出量とその時間変動について少数ではあるが実測データが得られた。今回解析された事例では流出のごく初期に大部分のリンが流出していたことがわかった。

(6) 課題として、画像等による流出量推定と流出モデルおよび SS 濃度計測手法の統合化が残されている。また多くの観測画像と実測値のデータセットを活用して AI 手法等による自動分析・推定システムの開発が必要と考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

綽 宏二郎、芝山道郎、坂西研二、神田英司、板橋 直、阿部 薫、木村昭彦、2017、画像情報に基づく傾斜農地からの降雨流出量計測の試み - インターバル撮影画像による滞留水の定量化 -、システム農学、査読有、33、pp.11-21

綽 宏二郎、芝山道郎、神田英司、板橋 直、坂西研二、阿部 薫、木村昭彦、2016、傾斜畑における降雨に伴う表面流出の画像計測法 - 流出動画自動撮影装置を用いた表面流出の観測 -、システム農学、査読有、32、pp.81-89

〔学会発表〕(計 4 件)

横山明良、荒木祐和、坂西研二、芝山道郎、神田英司、阿部 薫、木村昭彦、2017、傾斜畑における降雨に伴う表面流出の画像計測法 - 土壌堆積に起因する水位計観測値増分のカメラ画像による評価 -、システム農学会 2017年度秋季大会

坂西研二、荒木祐和、横山明良、芝山道郎、神田英司、阿部 薫、木村昭彦、2017、傾斜畑末端パーシャルフリューム内の土壌堆積による水位増分と流出量の関係、2017年度土壤物理学大会

坂西研二、綽 宏二郎、芝山道郎、神田英司、板橋 直、阿部 薫、木村昭彦、2016、インターバル撮影画像を用いた傾斜畑末端の流出滞留水定量化の試み、2016年度土壤物理学大会

綽 宏二郎、板橋 直、坂西研二、阿部 薫、

木村昭彦、神田英司、芝山道郎、2015、傾斜畑における降雨に伴う表面流出の画像計測法～画像による流出量推定の試み～、システム農学会 2015 年度春季大会

6. 研究組織

(1) 研究代表者

芝山 道郎 (SHIBAYAMA, Michio)
国立大学法人鹿児島大学・農水獣医学域農学系・教授
研究者番号：10354060

(2) 研究分担者

阿部 薫 (ABE, Kaoru)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・物質循環研究領域・領域長
研究者番号：70355551

板橋 直 (ITAHASHI, Sunao)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・物質循環研究領域・主任研究員
研究者番号：80354009

神田 英司 (KANDA, Eiji)
国立大学法人鹿児島大学・農水獣医学域農学系・准教授
研究者番号：90355272

(3) 研究協力者

坂西 研二 (BANZAI, Kenji)
元 独立行政法人農業環境技術研究所・物質循環研究領域・専門員
研究者番号：90370296