

論文の内容の要旨

生物・環境工学 専攻

平成 13 年度博士課程 進学

氏名 大澤和敏

指導教官名 田中忠次

論文題目 農業流域における土壌侵食に伴う土砂流出過程に関する研究

沖縄県では、近年、赤土流出が顕著になり、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。営農地域を対象とした赤土流出規制について検討するためには、集水域内の土砂の動態（侵食、運搬、堆積）の現状を時間・空間的に捉え、さらに防止対策の効果について予測する必要がある。しかし、これまで、農地における侵食とそれを含む集水域での土砂流出を同時にとらえた観測事例は非常に少ない。農業流域での土砂の動態を時間・空間的に捉えるためには、土砂生産源となる農地における侵食量観測および複数の集水域における多点観測が必要である。さらに、観測点での集水域が小さくなることから、これまでよりはるかに短い時間間隔での測定が必要となる。また、各種開発事業に伴う事前および事後評価や適切な営農管理計画を講じるために、赤土流出予測解析モデルが強く求められている。

そこで、本研究では農業流域において現地観測を行い、圃場における土壌侵食および流域内における土砂動態特性を把握することを第 1 の目的とした。具体的には、十分短い間隔で測定された土砂流出量の経時変化を農地、沈砂池、集水域、そして流域全体において把握した。第 2 の目的として、赤土流出の予測性について検討することを目的とした。具体的には、既往のモデルである、USLE (Universal Soil Loss Equation) および WEPP (Water Erosion Prediction Project) を適用し、それらの予測精度およびモデルの適用性を検討した。そして、現地観測から得られた土壌侵食および土砂流出特性や既往のモデルの適用から得られた知見に基づいて、赤土流出予測解析のための新たな侵食-土砂流出モデルを提案し評価した。以下に各章でのまとめを記す。

第2章

沖縄県における現地観測を実施し、圃場における土壌侵食および流域内における土砂動態を把握し、それらの特性について考察した。現地観測では、観測時間を可能な限り短くとり、既往の研究では把握することが難しかった侵食量および浮遊土砂流出量の経時変化を計測することができた。

圃場における侵食量の観測結果から次のことが明らかになった。

- ・ 作物の生長および栽培方法の影響：圃場における侵食量は、作物による被覆や残渣による地表面の被覆によって大きく変化する傾向にあった。被覆率が大きくなるほど侵食量は減少し、植え付け前の被覆率が 0%の時では、浮遊土砂濃度のピーク値が最大 $8\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ であったのに対し、被覆率が 90%以上の時では、十分大きな降雨規模に対しても $1\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下であった。また、サトウキビの株出し栽培の方が春植え栽培よりも侵食量は小さかった。このような差が生じた原因として、地表面の残渣による被覆が主な要因として考えられる。
- ・ 管理作業（耕起）の影響：耕起に伴い侵食量は大きく増大した。これは、残渣の鋤き込みに伴う地表面の被覆率の減少が大きな要因となっていると考えられる。
- ・ 雨滴侵食と流水による侵食：流水の粒径組成の経時変化を調べたことによって、圃場から流出した土砂は雨滴侵食の割合が大きく、流水による土粒子の剥離の割合は小さいと判断することができた。それは、粒径組成および浮遊土砂濃度の変化が、流量の経時変化よりも降水量の経時変化とよく対応していることから推察された。

流域内における土砂流出の観測結果から次のことが明らかになった。

- ・ 浮遊土砂流出量の季節的变化：流域末端において約 2 年間の長期連続観測を行ったことによって、流域内における作物の生長や土地利用の変化に伴って浮遊土砂流出量の変動することを捉えた。
- ・ 流量と浮遊土砂濃度の経時変化：沈砂池を通過することによって、ピーク値の低下およびピーク部分の時間的遅れが確認された。この特徴は沈砂池の構造的な特徴に起因すると考えられる。また、降雨イベント毎にそれらの傾向が異なることもわかった。
- ・ 浮遊土砂流出量と流量の関係（LQ 関係）：LQ 関係はべき乗の関数（LQ 式）で回帰可能であり、 b 値を一定とした場合、受食性の高い土地利用割合の増大に伴い a 値は増大し、沈砂池を通過することによって a 値は減少する傾向にある。
- ・ 沈砂池における堆砂：沈砂池および降雨イベントによって堆砂量や堆砂率が異なることを確認した。降雨イベント毎で堆砂率を比較すると、その低下率は、小規模の沈砂池の方が大きかった。
- ・ 土砂収支：各集水域における浮遊土砂流出は土地利用、流下途中の沈砂池の構造およびその配置、そして降雨イベントによって、その大小関係が異なる傾向にあった。

第3章

第3章では、第2章で得られた観測値を用いて、最も適用頻度の高い USLE と未だ沖縄地方（日本）への適用が行われていない WEPP の適用と評価を行った。適用は圃場スケールでの土壌侵食および流域スケールでの土砂流出に対して行った。

USLE は本来、圃場における年間侵食量の算定に用いられるが、本研究では降雨イベント単位

での適用を試みた。そのためモデルにおける係数を時変化させて用いた。その結果、耕起直後の降雨イベントを除いた大部分のイベントにおいて、観測された侵食量と非常に高い適合性が確認できた。しかし、USLEは耕起による土壌の攪乱を計算値に反映することが困難であることがわかった。

WEPPは沖縄地方における適用例が無く、種々の入力データは実測値またはWEPPの推奨値を用いて適用した。圃場への適用の結果、全般的に侵食量の適合性が高いことが確認できた。また、流量の適合性も概ね良好であることがわかった。しかし、大きな降水量が長時間継続するイベントでは侵食量を過大評価する傾向を示した。これは、WEPPの降雨-流出過程の経時変化の再現方法に問題があることがわかった。

WEPPの流域規模での適用の結果、圃場における土壌侵食に加え、水路や沈砂池における土砂動態を表現することができるので、流域全体における土砂動態を把握することが可能となった。集水域毎に観測値と比較した結果、計算値は概ね一致した。また、流域末端における流出土砂量も十分な精度で予測できた。しかしながら、沈砂池における堆砂量の精度は低かった。

第4章

第4章では、第2章で得られた圃場における土壌侵食および流域内における土砂動態特性と第3章における既往のモデルの検証から得られた知見をもとに、沖縄地方における赤土流出解析手法となり得る新たな侵食-土砂流出モデルの提案を目的とした。提案したモデルは特徴の異なる2種類のモデル(集中型概念的モデル、分布型物理的モデル)である。

集中型概念的モデルの構築のために、代表的な負荷流出算定式であるLQ式に着目し、3つの改良(問題(1):平水時の過大評価,問題(2):ファーストフラッシュの表現,問題(3):LQ関係におけるヒステリシスの表現)を行い、いずれの場合にもそれぞれの問題点を改善することが確認できた。次に、前述の3つの改良点を含んだ形で集中型概念的モデルの構築を行った。問題(1)に対して流出成分を2つに分離できるようにし、基底流出タンクでは一定濃度の濁水が流出するとした。問題(2)に対して雨滴による土粒子の分散機構を加えた。問題(3)に対して直接流出タンク内における土砂の貯留量を考え、タンク内における浮遊土粒子の量を調節する機構を設けた。そして、降水量から算出された流量を用い、土砂流出過程に適用した結果、適用期間を通して浮遊土砂濃度の経時変化をほぼ正確に再現できることを確認した。

集中型概念的モデルはモデルの構造上、圃場における土壌侵食や流域内における土砂動態を把握することはできない。また、集中型概念的モデルでは同定すべきパラメータを有し、そのパラメータを定量化するためには多くの観測データを有する。そこで、分布型物理的モデルの構築を行った。圃場における土壌侵食過程のモデル化に際して、圃場における作物の生長や土壌の変動はWEPPにおける機構およびパラメータを用いた。沖縄地方への適用のための特徴的な機構として、圃場において生産される土砂の粒径組成を考慮することによって、微細粒子まで含めた土砂流出を表現した。また、生産された土砂の運搬過程では、粒子法を用いて土砂流出量の経時変化まで表現可能なモデルとした。また、水路および沈砂池における土砂流出過程を、現段階では単純ではあるがモデル化し、流域スケールまで拡張可能なモデルとした。

圃場における土壌侵食過程の計算の結果、誤差の比較的大きい部分があったが、本研究の目的に即した土壌侵食特性の表現が可能となった。一方、観測を行った沈砂池に対して、構築したモデルを適用した結果、沈砂池の構造的な特徴が比較的単純な沈砂池では、土砂動態がほぼ正確に把

握できることがわかった。しかしながら、植生などを有する比較的複雑な沈砂池では、流出土砂量を過大評価する傾向にあり、改良の必要性があることがわかった。

これらの圃場、水路、そして沈砂池の機構を組み合わせることによって、流域スケールの分布型物理的モデルとして適用が可能となり、沖縄地方における赤土流出予測解析のための有力な手法となり得る。