

審査の結果の要旨

ムガル ハビブ ウルラッハマン

論文提出者氏名 MUGHAL HABIB-UR-REHMAN

この半世紀のうちに、土壌侵食と下流域へのその輸送に関する様々なモデルが提案されているが、河川流域単位で侵食から輸送までの種々のプロセスを適切に表現するまでには至っていない。本研究では、種々の既往モデルの難点を改善して、地域あるいは河川流域スケールで物理的な根拠を持つ土壌侵食と土砂輸送に関するプロセス・モデルを構築することを目的としており、8章で構成されている。

第1章では、土壌侵食／輸送モデルの必要性、侵食の支配要因、モデル開発の現状の要約が議論された後、研究の目的と論文の構成が示されている。

第2章では、関連する既往の研究成果が極めて広範かつ詳細にレビューされている。既往モデルについては、経験モデルとプロセス・モデルに分類し、それぞれのカテゴリーに分類された個々のモデルの特徴と問題点がよく整理され、本研究におけるモデル構築の方向性を決める基礎となっている。

第3章では、タイ・チャオプラヤ川流域で実務的に流送土砂量が観測されている14観測点（流域内に貯水池が無いもの：9、有るもの：5）が解析の対象とされ、それぞれの流域について1kmGTOPO30・DEMによる流路網と地形勾配、土地利用と土壌タイプがGISとして整備されている。流域特性、降雨量、河川流量等との関係を調べた結果、主要な知見として、貯水池によって流送土砂の約70%がトラップされていること、年流送土砂量の90%が、貯水池の無い河川では2～5の強雨イベントで発生し、それが有る河川では1～2の強雨イベントで発生していること、を見出している。

第4章では、既存のUSLE (Universal Soil Loss Equation) モデルをチャオプラヤ川支流メタン川流域に適用し、土壌侵食推定値と観測流送土砂量の関係、土壌侵食の空間分布と時間変動等が検討されている。主要な知見として、モデルによる侵食量の推定値は流域出口で観測される流送土砂量よりはるかに大きいこと、流域年侵食量の90%が、時間的には合計20日の強雨で、空間的には流域の約27%の侵食を受けやすい土地利用区分（侵食発生源）で、それぞれ発生していること、を指摘している。3章で得られた知見も含め、本研究における新たなモデル構築の戦略として、次の3点が上げられている：①侵食発生源区域だけを土壌侵食モデルの対象とする。②侵食発生源区域に対しては空間的に高解像度で、その他の土地利用に対しては低解像度でモデル化する。③第一次近似として、地表流成分だけを土壌侵食モデルと土砂輸送モデル双方に適用する。

第5章では、本研究で提案される土壌侵食／土砂輸送プロセス・モデルの構成とその妥当性の小区域における検証について述べられている。土壌侵食過程としては、樹幹通過雨滴と樹葉落下雨滴とによる土壌剥離ならびに地表流による剥離が取り上げられ、それぞれについて剥離を生じさせるエネルギーなどの物理量によって構成される既往のモデルが採用されている。

地表流と土砂輸送過程については、キネマティック・ウェーブ型のモデル化がなされており、土砂輸送については場の条件に応じた 5 種類のモデル式が用意されている。流域場は正方形グリッドで構成され、流れの方向はグリッドの最急降下方向に決められる。このモデルを英国の土壤浸食試験区画 (22.5mX40m) および日本の穂高土砂流出観測所 (流域面積: 6.5km²) に適用し、観測降雨に対する計算流出土砂量と観測流出土砂量がかなり良い一致を示すことが確かめられている。

第 6 章では、前章で構築されたモデルをよりスケールの大きい河川流域や地域レベルに適用するための課題が検討されている。一つの課題は、実際の山腹斜面等ではシート・エロージョンの形だけでなくリル侵食やガリー侵食が発達するが、これについては、既往のモデルにおいて考慮されていないことである。ここでは、グリッド当たりのリルとガリーが集積した流路を等価水路と定義して導入し、等価水路幅をそのグリッドへの流入水量、粗度係数およびグリッド・サイズの間数で与える。この等価水路の導入により、土砂の輸送効率が上がり、ハイドログラフ、土砂流出グラフとも波形がシャープになる。もう一つの大きな課題は、グリッド・スケールと平均化の問題である。グリッド・サイズの変化に伴う地形勾配と土地利用の平均化がモデル出力に与える影響が検討され、勾配の平均化が土壤浸食/土砂輸送に極めて大きな効果を与えることが明らかにされる。しかし、一般に広く利用可能な DEM は 1 km 等とグリッド・サイズが大きいので、勾配が緩く計算されるために土壤浸食量、土砂輸送量とも低く見積もられる。この難点を解決するため、細密数値地形データが整備されている千葉県一の宮川流域において、勾配のダウン・スケーリングにフラクタル理論の適用の可能性が検討され、フラクタル・モデルに基づいてスケーリングされた勾配を使用することによってこの問題点がかなり改善されることを示している。

第 7 章では、タイ・チャオプラヤ川流域の 6 河川およびパキスタン・インダス川流域の 2 河川 (流域面積: 5 0 0 km² ~ 1 0 0, 0 0 0 km² オーダ) において、構築されたモデルの適用性が検討されている。チャオプラヤ、インダスいずれにおいても、一つの河川でモデル・パラメータの調整が行われ、他の河川流域にそのパラメータを適用して得られた計算値と観測流送土砂量あるいは試験区画における土壤浸食観測値とを比較しながら、モデルの妥当性の検討が河川流域毎に詳細になされている。チャオプラヤ支流の一部では、調整されたパラメータの適用性が悪いことなどが指摘されているが、全体として、再現性が極めて高いことを示している。インダス川流域については、モデルで計算される流送土砂量が観測値より小さくなっている。これは、本モデルでは考慮されていない融雪や氷河等の効果であろうと推察されている。

第 8 章には、本論文の結論とともに今後の研究の発展方向が議論されている。

以上、本研究は、土壤浸食/土砂輸送現象の諸過程に対して可能な限り物理的なモデル化を図りながら、規模の大きな河川流域に適用できるプロセス・モデルを新たに構築した。この土壤浸食/土砂輸送モデルは、現時点では世界的にも最先端のモデルと評価でき、応用水文学、水資源工学の発展に資するところ大である。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。