

氏名	WANG JIE (王 潔)
博士の専攻分野の名称	博士 (工学)
学位記番号	医工博甲第275号
学位授与年月日	平成25年9月26日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
専攻名	環境社会創生工学専攻
学位論文題目	DEVELOPMENT OF A FRAMEWORK FOR QUANTITATIVE ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL CHANGES ON STREAMFLOW AND SEDIMENT FLOW (河川流量及び土砂流出に関する環境変化の定量的評価手法の開発)
論文審査委員	主査 准教授 石 平 博 教授 末 次 忠 司 教授 坂 本 康 教授 風 間 ふたば 准教授 市 川 温 准教授 西 田 継

学位論文内容の要旨

河川流域における環境変化の中でも、土地利用／土地被覆の変化と気候変動は、流域の水文状態に影響を与える最も重要な要因である。しかしながら、異なるスケールにおける水文過程、地表面熱収支、地表面粗度に対する土地利用／土地被覆の影響を明らかにすることは、単純な作業ではなく、それを一般化し証明することは非常に複雑な過程を伴う。特に、現在及び将来における河川流量や土砂流出に対する土地利用／土地被覆変化や気候変動の影響を定量的に評価することは複雑かつ困難な課題であり、そのためには自然環境的な要素だけでなく、人為的な流域環境の改変などを含む様々な側面について考慮しなければならない。

本論文の目的は、環境変化が河川流量及び土砂流出量に及ぼす影響を定量的に評価するための技術的な枠組みを提示することである。具体的な手法の開発に際しては、以下4つの項目について検討を行い、その対象流域はベトナム紅河の支川(Da川流域)とする。

1. 植被の時間変化の影響を考慮した流量－浮遊砂濃度関係式の開発

流量－浮遊砂濃度関係式(Sediment Rating Curve, 以下 SRC)は、河川流域内のある特定

の地点における流量と浮遊砂濃度の関係を記述するものである。しかしながら、対数変換した変数(流量と浮遊砂濃度)の回帰分析の結果として得られる SRC を用いて河川流量から土砂流出量を推定した場合、過少評価となる傾向があるとともに、従来の SRC では流域における植被の季節・年々変動の効果を考慮できないという問題点も指摘されている。その一方で、衛星観測から得られる正規化植生指標(NDVI)は、流域における植被状態の把握・分析に広く用いられており、現在では長期間かつ広範囲をカバーするデータセットも利用可能になっている。そこで、本研究では流域における植被変化の検出に月単位の NDVI データを使用するとともに、得られた植被情報と浮遊砂濃度、流量データを組み合わせることで、植被変化の影響を考慮した新たな SRC の開発を行った。従来型の SRC と本研究で開発した新たな SRC を比較した結果、植被の影響を考慮した SRC は、Da 川における浮遊砂濃度をより良い精度で評価・推定する能力を有していることが確認された。さらに、本研究で開発した SRC をアジア地域の他の河川流域にも適用し、妥当な推定結果が得られることを確認した。開発した新たな SRC は、土壌保全と持続的な環境管理のための基礎となる土砂流出量、河川流量及び植被の関連性を表現し得る簡便なモデルとして、様々な用途・地域への適用が期待される。

2. 気候変動・人間活動が流量・土砂流出に及ぼす影響の分離・定量化手法の開発

過去の河川流量と土砂流出量の変化に対する気候変動と人間活動の寄与の程度・割合を定量的に評価することは、今後の土壌保全や河川環境保護のための科学的な基礎知見を与えるという意味において非常に重要な課題である。本検討では、まず Pettitt の時系列変異点解析、分布型水文モデルによる降雨一流出解析、植生変化の効果と取り入れた SRC を組み合わせることで、変異年の以前・以後における河川流量・土砂流出量の変化に占める気候変動と人間活動それぞれの寄与を分離・抽出する方法を確立した。また、この手法を Da 川流域に適用し、1993 年頃を境として河川流量・土砂流出の傾向が変化したこと、その流量変化に占める人間活動の影響は 50%以上であること、人間活動の影響が Hoa Binh 貯水池への流入水量及び土砂供給量の変化に対する主要因であることなどを明らかにした。

3. 植被変化が土砂流出に及ぼす影響の評価を目的とした SRC と植生モデルの結合

土砂流出量変化に対する植被変化の影響をより詳細に評価するために、先に開発した SRC をベースとして、過去と将来にわたる植被変化の影響を考慮できる改良型 SRC を開発した。また、この改良型 SRC を用いて衛星観測値から抽出した過去の実績植被変化と、植生モデル(Biome-BGC)により再現された潜在植生状態をもとに、人為的な影響を受けた植被変化が土砂流出量に及ぼす影響を評価した。その結果、人間活動の結果として生じた植被変化により、Da 川 Laichau 地点(1994～2004 年)の土砂流出量は 13.7%増加し、このよ

うな植被変化が人間活動の土砂流出増加に及ぼす影響に対する主要な因子であることを明らかにした。

4. 気候変動・土地被覆変化シナリオのもとでの河川流量・土砂流出量変化の将来予測

上記で開発した手法をもとに、今後起こり得る気候条件の変化や土地被覆変化などの流域改変が、河川流量・土砂流出量に及ぼす影響に関するシナリオ解析を行った。具体的には、まず過去の土地利用変化実績と土地利用変化モデル(LCM)をもとに作成した「土地被覆変化シナリオ」と IPCC 第 4 次評価レポートに基づく GCM 出力のダウンスケーリング結果から「気候変動シナリオ」を作成した。これらのシナリオに加え、将来の土地被覆シナリオと植生モデル(Biome-BGC)を用いて植被状況に関する将来予測も行い、それらの情報を統合的に利用することで、Da 川流域における河川流量・土砂流出量の将来予測を行った。その結果、河川流量については 20%弱の増加、土砂流出については約 30%程度の増加が生ずる可能性があることが示された。

本論文では、過去・将来における河川流量と土砂流出量に関する環境変化を定量に評価する総合的な解析の枠組みを開発し、その有用性・適用性を Da 川流域での検討を通じて示すことができた。本研究で開発した解析手法は、分布型水文モデル、植生モデル、土地利用変化モデルなどの数値モデルと種々の衛星観測情報を SRC と統合的に利用している点が大きな特徴である。アジア域の多くの河川流域において、温暖化に伴う気候変動や人間活動の影響による流域水環境の変化に対する懸念が高まる中、その影響を定量的に評価・予測できる本手法は、アジアの発展途上国への適用を通じて、当該地域における適切な流域管理の実現に貢献することが期待される。

論文審査結果の要旨

論文公聴会は、審査委員のほか、約 30 名の研究者、学生が出席して行われた。40 分のプレゼンテーションでは、研究内容を良く整理し、オリジナリティーを分かりやすく説明した。質疑は、主として植被変化の効果を導入した流量－浮遊土砂濃度関係式(SRC)や土地利用変化モデルに関する部分に関して行われた。これに引き続く論文審査委員会における審査では、以下のような点が新たな研究成果であり、これらは当該分野において学術的に高く評価できる功績であると結論した。

- ・衛星観測から得られる流域の植被変化情報と浮遊砂濃度、流量データを組み合わせることとで、植被変化の影響を考慮した新たな SRC を開発した。
- ・Pettitt の時系列変異点解析、分布型水文モデルによる降雨－流出解析、植生変化の効果

と取り入れた SRC を組み合わせることで、河川流量・土砂流出量の変化に占める気候変動と人間活動それぞれの寄与を分離・抽出する方法を確立した。また、この手法を用いて、Da 川における流量変化に占める人間活動の影響は 50%以上であることを明らかにした。

- ・過去と将来にわたる植被変化の影響を考慮できる改良型 SRC を開発するとともに、これを用いて衛星観測値から抽出した過去の実績植被変化と、植生モデルを用いて再現された潜在植生状態をもとに、人為的な影響による植被変化が土砂流出量に及ぼす影響を評価した。
- ・将来起こり得る土地被覆変化と気候変動に関するシナリオをもとに、Da 川流域における河川流量・土砂流出量の将来予測を行い、流量については 20%弱、土砂流出については約 30%程度増加する可能性があることを示した。
- ・上記の検討により、過去・将来における河川流量と土砂流出量に関する環境変化を定量に評価する総合的な解析の枠組みを開発し、その有用性・適用性を示した。

以上に基づき、同審査委員は全員一致で、本論文が博士論文として十分な水準にあると判断した。

最終試験では、開発した推定手法と既往の研究事例との比較(方法の特徴や優位性)について、質疑が行われた。審査委員からの主な質問、コメントは以下の通りである。

- ・様々な検討を行い優れた成果を挙げていることは理解できたが、研究の全体像をさらに分かり易く示す工夫が必要と思われる。
- ・本研究で開発した土砂流出推定法と従来法(特に、SWAT のような分布型水・物質輸送モデル)との比較に際しては、計算条件等について注意を払う必要がある。
- ・将来予測において、土砂流出の変化率の方が流量の変化率よりも大きくなる理由について、より詳細な説明が必要である。
- ・人為影響の無い状態での NDVI と LAI の相関についての確認(植生モデルによる植被パラメータの再現性の検証)も必要なのではないか？
- ・正規化した NDVI、LAI を用いる部分は、オリジナルのアイデアなのか？また、流量－浮遊土砂濃度関係式(SRC)に植被パラメータを導入した際の基本的な考え方(定式化の方法など)についても、より詳細な説明が望まれる。
- ・今回開発した手法は、どのような条件のもとでの利用に適しているのか？SRC 作成過程で利用する浮遊土砂濃度データの量・質が推定精度に及ぼす影響についても検討する必要がある。また、それらの検討を通じて、この手法の妥当性や適用限界を明確にすることが望まれる。

審査中、上記の質問、コメントに対しては的確に回答しており、質疑を通じて水文モデル、数値シミュレーション、衛星データの利用など関連する研究領域について深い知識を持っていることが確認された。以上のことから、本審査委員会は申請者が博士（工学）の学位に相応しい科学的・技術的な思考能力、理解力、コミュニケーション能力を備えているものと判断した。