

学 位 論 文 題 名

Distributed model for catchment-scale of runoff and sediment transport

(流出および土砂輸送の流域スケール分布モデルに関する研究)

学位論文内容の要旨

Risk assessment and water resources management are required to get a reliable estimation such as rainfall runoff, flood discharge and depth, flood volume, eroded soil, sediment transport, as well as, erosion and sedimentation in channel and floodplain which are not only at the sub - catchment scale during the rainfall events, but also the catchment - scale. As such, a distributed model considering sub - catchment hillslope erosion, mountainous stream, tributary, main - channel and floodplain is needed to assist the prediction of the consequences of flow and sediment characteristics. In this study, a catchment - scale, distributed model considering hillslope runoff and channel flow for each sub - catchment with soil eroded, sediment transport, floodplain sediment deposition and riverbank erosion is developed.

The extreme flood events of the selected eight river catchments in Hokkaido Island were used to calibrate and validate the proposed numerical model. The ϵ (Nash and Sutcliffe efficiency) and R^2 (Coefficient of determination) have been used as the main criteria to judge whether the data fitted between measurements and simulation. It was found that these two values for calibration period were greater than 0.85 and 0.90, indicating well fit between measured data and this proposed model. The simulated suspended sediment was also comparable well with measured data. For the suspended load and bedload, they were increased to 8.0% and 2.0% as judging by consideration of floodplain sediment deposition and riverbank erosion.

In addition, the proposed model was exploited to simulate different scenarios of channelized, and land use change problems. The results indicate that extension length and varied slope of channel has a significant impact on regional flood, but no significant effect on sediment yield of catchments in Hokkaido Island, particularly in a small - scale catchment. The magnitudes of the flood peak decreased between 0.5-14.0%, and sediment yields decreased between 0.4 - 5.3 %. In contrast, land use change has no significant effect on flood peak in large - scale catchment. The decreasing/increasing of $\pm 10.0\%$ land cover coefficients flood peak changed between $\pm 1.2\%$ for a large - scale catchment, but flood peak changed up to $\pm 10.0\%$ for a small - scale catchment. However, the eroded soil from hillslope was decreased/increased between - 2.5 to 7.1% when land cover coefficients were decreased.

A coupled one - and two - dimensional floodplain wetland model was specially developed for Kushiro Wetland floodplain. The results indicated that good agreement

between simulated and measured flow discharge was achieved. The values of ε and R^2 for Hirosato and Iwaboki gauge stations were greater than 0.80. It was found that sediment from mountainous river and hillslope is also an important component to impact on drying processes of Kushiro Wetland floodplain areas for a long - term scale.

The results from this study indicate that within minimal information and input data required for parameters estimation, calibration and validation, good performance of flood hydrograph, floodplain sediment deposition and sediment yield is obtained by using the proposed model. The model will assist the prediction of the local disaster and the consequences of river catchment environmental triggers. Thus, it is considered to be a valuable contribution to model the runoff, erosion, flow and sediment transport as a catchment scale within the framework of an advanced hydrological modeling system.

The report is completed in form of 7 chapters.

Chapter 1 is an introduction, which the objective and scope of this research is presented.

In Chapter 2 a literature review of the hillslope and channel processes and process models is presented. The chapter includes a critical review of some examples of current hillslope runoff, soil erosion and channel sediment routing models.

The third chapter describes the governing equations of hillslope and channel sub - components. This is followed by a description of numerical procedures and incorporation of initial and boundary conditions.

Chapters 4 and 5 describe applications of the developed model with several problems whereby it is demonstrated that the proposed model has a significant improve in the simplicity and accuracy.

In Chapter 6 the applications of the coupled one - and two - dimensional model for floodplain wetland are presented.

The final chapter provides a summary of the achievements of the research and highlights the capabilities and limitations of the new model. Recommends for further research are also outlined.

学位論文審査の要旨

主 査	助教授	清 水 康 行
副 査	教 授	藤 田 睦 博
副 査	教 授	佐 伯 浩
副 査	教 授	長谷川 和 義

学 位 論 文 題 名

Distributed model for catchment-scale of runoff and sediment transport

(流出および土砂輸送の流域スケール分布モデルに関する研究)

本研究では、小流域毎の分布型流出モデルに加え、斜面の土砂侵食、河道の流れと流砂・河床河岸変動モデル、氾濫原の流水の氾濫や土砂堆積をも考慮した流域スケールの分布型流出モデルの開発を行ったものである。本モデルの有効性の検証は、北海道内の代表的な8つの河川流域における過去の主要出水を用いて行われている。モデルの性能は、計算値と観測値の一致具合を表す指標として ϵ (Nash 効率) と R^2 (決定係数) を用いて行われ、すべての流域において ϵ と R^2 値はそれぞれ 0.85 および 0.95 以上であることが確認されている。これによって、本モデルは北海道の過去の主要出水時の水理特性をほぼ正確に再現していることが示されている。流砂量の計算結果も観測値とほぼ一致していることが示された。このモデルを用いて流域内の氾濫原への土砂堆積および河岸侵食の浮遊砂および掃流砂への影響を調べた結果、その度合いは浮遊砂と掃流砂で8.0%および2.0%の増加傾向が認められた。

本モデルは流域内の土地利用形態の変化や河川改修の影響を検討するのに極めて有効であるため、本モデルを用いて河道の直線化や土地利用変化に対するいくつかのシナリオを作成し、このシナリオ別に数値シミュレーションを行った。河道延長を伸ばし、勾配をゆるくした河川改修以前の自然状態の蛇行河川を模擬したシミュレーション結果によれば、河川勾配の影響は出水時の洪水ピーク流量に大きく影響を及ぼしたものの土砂輸送量に関しては顕著な影響は見られなかった。河川勾配の影響は小規模流域ほど顕著に現れた。勾配を減少させた場合、洪水ピーク流量は約 5.8~20.7%の低減が見られたが、土砂量輸送量の低減は 0.4~5.3%程度であった。一方、土地利用の変化を考慮したシミュレーション結果によると、現実的な範囲での土地利用形態の変化では洪水のピーク流量にそれほど影響を及ぼさないというのが確認された。例えば、流域斜面の斜面被覆係数を $\pm 10.0\%$ 程度変化させた場合、洪水ピー

ク流量の増減は、大流域では約 $\pm 1.2\%$ 、小さい流域は $\pm 10.0\%$ 程度であった。この時の流域斜面での土砂生産量は約 $-2.5 \sim 7.1\%$ 程度の増減が確認された。

本モデルを北海道内の諸河川に適用するに際して問題となったのは釧路湿原のような広大な低平地に洪水流が氾濫するような地形における計算である。そこで、このような地形的条件でも計算可能な、1・2次元混合型氾濫モデルの構築を行った。これは、小出水時や氾濫前では河道のみの1次元モデルとし、氾濫後は氾濫原を2次元で扱うというモデルである。このモデルを用いて釧路湿原の氾濫シミュレーションを行った結果、流量の計算値は観測値とほぼ一致する結果が得られ、広里および岩保木観測所におけるの ϵ と R^2 値は0.8以上であった。釧路湿原のシミュレーション結果によれば、上流域の山間部河川や斜面から流出される土砂は、下流の湿原に堆積し、長期的には湿原の乾燥化に影響を及ぼすことが予測された。

本研究は、流域内で得られる最小限の水文・地形情報から、流域内の任意の地点における流量ハイドログラフ、各支川の任意の地点における土砂輸送量、氾濫原の土砂堆積および土砂収支などを、工学的に十分な精度で再現・予測可能な数値計算モデルの提案を行ったものである。これは、流域スケールの単に水理・水文学的分布モデルへのアプローチということだけでなく、流出、侵食、水流および土砂輸送など様々な地域防災、流域環境要因を予測できる、極めて先駆的なモデルとなっている。

本論文は、全7章で構成されている。

第1章では、序論であり、研究の目的および範囲を述べている。

第2章では、流域斜面モデルや河道流出過程モデルなどに関する既往文献の検討を行っている。特に、斜面流出モデル、侵食モデルおよび河道追跡モデルについてはいくつかの問題点も指摘した。

第3章では、斜面流出および河道水理、土砂輸送、河床変動などに関する支配方程式を提示し、数値計算法および初期条件、境界条件などの解説を行った。

第4および5章では、本モデルを用いていくつかの特徴的な事例に適用し、モデルの性能の向上を図るとともに、その結果有用性が確められた。

第6章では、流水の1・2次元混合型数値モデルを構築し湿原での氾濫計算が行われている。

第7章では、本研究で得られたモデルの適用性および適用限界などについて考察し、今後の研究課題をまとめている。

これを要するに、著者のこれまでの数値計算と室内実験により得られた研究結果は、河川工学に大きく寄与するところがあり、著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認められる。