

第II部門 河川水溶存シリカ濃度に基づく雨水流動過程の分析

京都大学工学部	学生会員	○西端亮裕	京都大学大学院工学研究科	正会員	市川 温
京都大学大学院工学研究科	正会員	萬 和明	京都大学大学院地球環境学	正会員	田中智大
京都大学大学院工学研究科	正会員	Kim Sunmin	京都大学大学院工学研究科	正会員	立川康人

1 研究の背景および目的 近年、ゲリラ豪雨の多発や大型台風の上陸など、降雨を伴う自然災害が後を絶たない。大きな降雨が発生すると、それに伴い河川の氾濫などの災害が起こり得る。対策として河川流量を正確に計算することが求められ、そのために雨水流動過程のメカニズムを追求することが本研究の目的である。そこで対象流域の水のみを追跡するのではなく、水に溶解している物質も同時に追跡することを試みた。溶解している物質としては、土壌水や地下水には溶出しているが雨水にはほとんど含まれていないシリカに着目した。

2 河川水溶存シリカ濃度の測定 河川水溶存シリカ濃度を測定する対象地域は賀茂川及び高野川とした。測定地点は、両河川が合流する直前の各河川最下流点とし、それぞれでシリカ濃度を測定した。本研究の計算で利用するデータは、台風10号による出水が発生した2019年8月15日9時から同年8月17日9時までの48時間分とした。

3 溶存シリカ流出過程のモデル化

3.1 モデル化の枠組み 既存の降雨流出モデルにシリカ流出過程をモデル化したものを組み込むことで、流量とシリカ濃度を同時に計算する。用いた降雨流出モデルでは、地形データを利用してモデル上に斜面素辺の集合として地形を再現した。各斜面素辺においてキネマティックウェーブモデルを基にして流量およびシリカ濃度を計算する。本研究では、立川¹⁾が作成した、中間流と地表面流を同時に考え、さらに不飽和流も考慮しているものを用いる。

3.2 溶存シリカ流出過程の基礎式 溶存シリカ流出過程のモデル化において、Hornberger²⁾が考案した、表土層における雨水流のシリカ濃度の時間変化を表した式を利用した。ただしこの式は地中流のみに対するものであり、表面流のことは考えられていない。そこで中間流-地表面流統合型キネマティックウェーブモデルと合致するように修正したものが(1)式である。 c は

表土層における雨水流のシリカ濃度、 t は時間、 V は表面流を含むすべての水の体積、 $c_{in,i}$ ($i=1,2,\dots,n$)は斜面上端に流入する水のシリカ濃度、 $Q_{in,i}$ ($i=1,2,\dots,n$)は斜面上端の雨水流入量、 Q_{out} は斜面下端の雨水流出量、 α はシリカ溶出定数、 c_{max} は土壌水に溶解しうるシリカの最大濃度、 V_{ss} は地中流の水の体積を表す。これが溶存シリカ濃度を求める基礎式である。この式をルンゲクッタ法で数値的に解くことで溶存シリカ濃度を求める。

$$\frac{dc}{dt} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^n (c_{in,i} \cdot Q_{in,i}) - \frac{Q_{out}}{V} \cdot c + \alpha(c_{max} - c) \frac{V_{ss}}{V} - \frac{c}{V} \frac{dV}{dt} \quad (1)$$

4 降雨流出とそれに伴う溶存シリカ流出の計算

4.1 計算に必要なデータの収集と処理 計算に用いた地理データは、土地利用データ³⁾と、水文補正標高データ、表面流向データ、上流集水ピクセル数データ⁴⁾である。これらを、本研究で対象としている、賀茂川と高野川の合流地点より上流側の流域をすべて含むように北緯35度から35.2度、東経135.7度から135.87度で切り出した。これらのデータを利用して地形をモデル化し、各斜面素辺の土地利用区分を都市部と山間部に分類した。主な違いとして、都市部には表土層がなく、山間部には表土層があるとした。

また、雨量と河川水位のデータは京都府のホームページから入手したものを利用した。雨量は京都府河川防災情報⁵⁾に記載されているものを利用した。河川水位は荒神橋地点で計測されている。荒神橋における水位と流量に関する資料を別途京都府より入手し、対象期間の水位から河川流量を推定した。荒神橋の流量は賀茂川と高野川の流量の和と等しいと仮定した。

4.2 降雨流出計算 対象期間の流量計算を賀茂川と高野川の最下流点で行い、それらの和を荒神橋での観測結果と比較すると、図1のようになった。”Simulated”は賀茂川と高野川の計算流量の和、”Observed”は荒神

橋地点の推定流量、"Rainfall"は降雨量を表す。この図より、降雨流出計算はおおよそ正しくできているといえる。

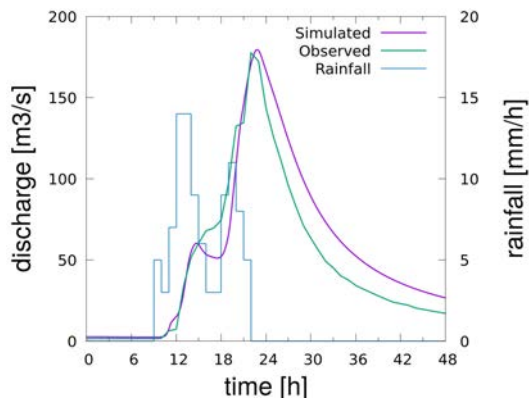


図1 荒神橋地点での推定流量と計算流量の比較

4.3 溶存シリカ濃度の計算 作成したモデルを用いて溶存シリカ濃度の計算を行ったところ、図2のような結果が得られた。この図において表されるシリカ濃度について、"Simulated(Kamo River)"は賀茂川の計算結果、"Observed (Kamo River)"は賀茂川の測定結果、"Simulated (Takano River)"は高野川の計算結果、"Observed (Takano River)"は高野川の測定結果である。また、"Rainfall"は降雨量を表す。

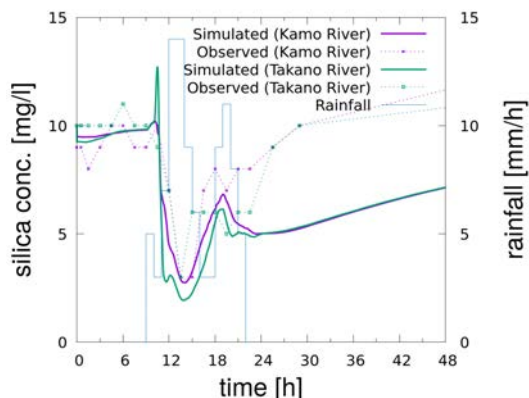


図2 賀茂川および高野川の最下地点でのシリカ濃度の測定値と計算値の比較

5 溶存シリカ濃度の計算結果に関する考察 計算結果、測定結果ともに降雨開始以降、15時間経過後までシリカ濃度は急激に減少する。そして15時間経過後から18時間経過後まで増加する。つまりこの部分はシリカ濃度を正しく追跡できたとしてよい。しかし降雨開始直後は、計算結果のみ濃度が瞬間的に増加して

いる。また、降雨終了直前においても、計算結果のみ減少している。このように計算結果と測定結果が一致しない部分の原因について考察する。

降雨開始直後にこのような計算結果を示すことは、このモデルの河道におけるシリカの扱い方が原因であると考えられる。本研究では河道において、シリカが河道最上流から最下流まで瞬時に移動するとして計算している。こうした現象は現実には起こりえないため、河道におけるシリカ流動の計算方法を修正する必要がある。また、降雨終了後にこのような計算結果を示すことは、地下水の影響を考慮していないことと、完全混合モデルを用いたことが不適であったことの二点が原因として考えられる。表土層のみを考え地下水を無視した場合、流量はおおよそ正確に計算できたがシリカ濃度は正確に計算できなかったことについて、地下水の流出によりシリカ濃度が変化した可能性が考えられる。また、計算において完全混合モデルを用いることが不適である可能性が考えられるため、完全混合モデルではなく押し出し流モデルを用いる必要があると考えられる。

6 結論 本研究で作成したモデルでは、河川水溶存シリカ濃度をおおよそ正確に追跡できた部分と、追跡できなかった部分があった。モデル改善のために、河道におけるシリカ流動の計算方法を修正することや、押し出し流モデルを用いて計算すること、地下水流出をモデル化することなどが今後の課題として考えられる。

参考文献

- 1) 椎葉充晴, 立川康人, 市川温: 水文学・水工計画学, 京都大学学術出版会, p.7, pp.15-18, 2013.
- 2) George M. Hornberger, Todd M. Scanlon and Jeff P. Raftery: Modelling transport of dissolved silica in a forested headwater catchment: the effect of hydrological and chemical time scales on hysteresis in the concentration-discharge relationship, pp.2033-2034, 2001.
- 3) 国土交通省国土政策局: 国土数値情報ダウンロードサービス, <<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>>, (参照 2019/12/9)
- 4) Dai YAMAZAKI's website: J-FlwDir - Japan Flow Direction Map / 日本域表面流向マップ, <<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/JapanDir/index.html>>, (参照 2019/12/9)
- 5) 京都府: 京都府河川防災情報 雨量状況図, <<http://chisuibousai.pref.kyoto.jp/main.html?fnm=openMap&no=1&no2=0>>, (参照 2019/12/11)