

高濃度濁水が地下水位に及ぼす影響：集中型水循環モデルと粒子フィルタを用いて

Impacts of high-turbidity water on groundwater level using water balance model and particle filter

○藤原洋一・高瀬恵次・長野峻介・一恩英二・大谷健人

○ Y. Fujihara, K. Takase, S. Chono, E. Ichion, and K. Otani

1. はじめに 石川県手取川(809km²)では、2015年に上流で崩壊土量130万m³という大規模斜面崩壊が発生し、浮遊土砂濃度1,000mg/Lを超える高濃度濁水が2年以上継続して、扇状地の地下水位の異常低下などが生じた。筆者らは現地調査によって、濁水発生後に水田と河川からの浸透量が、36~61%減少したことを明らかにした¹⁾。つまり、大量の土砂の一部が水田や河道内に貯留され、扇状地の地下水環境(浸透量)に影響を与え、地下水位の異常低下を引き起こしたと考えられる。水田や河川での浸透量調査は、地下水環境への影響評価に必要不可欠であるが、これらの水文調査には多大な労力を必要とすることから高頻度に行うことは難しい。そこで、本研究では、集中型水循環モデルとデータ同化手法(粒子フィルタ)を利用して、時々刻々変化する浸透量の逐次推定を試みた。

2. 扇状地内の地下水位変化 手取川流域は、約9割を山地が占めるが、下流部には典型的な扇状地が形成されている。2002年~2018年までの観測井戸(10地点)の水位データを入手、整理した。具体的には、濁水発生前の平年水位を求め、各年毎に平年水位からの差を調べることによって経年変化を調べた。その結果、濁水発生1年後である2016年も地下水位が低下した状態が継続していたことが分かった。さらに、濁水発生2年後である2017年には、地下水位は回復傾向に向かい、2018年にはほとんどの地域で濁水発生前の水位まで回復したことが確認された。

3. 水循環モデルの構築 手取川扇状地を対象として、地表帯領域・中間帯領域・地下水帯領域の3領域で構成される集中定数型・三段タンク水収支モデルを構築した。水収支モデル(Fig.1)では、雨雪判別式から降雪と判断された際には、融雪目的の揚水が生じるように計算しており、扇状地内の人為的な水利用(農業用水の取水など)も考慮されている。本モデルには、各領域タンクからの流出や浸透に関わるパラメータ、河川からの伏流に関わるパラメータなどがあり、物理的に決定できない23個のパラメータについては、大域的探索法の一つである進化戦略(ES)によって同定した。そして、濁水発生前の2013~2014年における地下水位の再現性を確認したところ、相対誤差で約5%となっており、本モデルで扇状地の地下水位を計算できることが示された。しかしながら、濁水発生後の2015年以降については、計算値が過大推定となっており(Fig.2)、この過大推定の要因は水田からの浸透量と河川伏流量が減少したことによると考えられた。

4. 粒子フィルタ (particle filter ; PF) の適用

4.1 粒子フィルタ 水循環モデルの浸透量と伏流量のパラメータの変化を逐次推定できれば、浸透量の時系列変化を把握できる。ここで、このパラメータ(状態)の推定に粒子フィルタを適用する。粒子フィルタはベイズ理論を応用したモンテカルロ法的状態修正法であ

石川県立大学生物資源環境学部 *Ishikawa Pref. Univ., Faculty of Bioresources and Environmental Sciences*

キーワード：濁水、水循環モデル、粒子フィルタ、地下水、水田

り、観測値 y_t が得られた後の状態量 x_t の事後分布 $p(x_t|y_t)$ を多数のサンプル（粒子）で近似し状態修正を行う。粒子フィルタは、非線形モデルにも直接適用できることから、実時間洪水予測²⁾などに数多く適用されている。本研究では以下の手順によって適用した。

1. 水田浸透量と河川伏流量の2個のパラメータを逐次推定の対象とする。これに、4個の貯留高（水田、その他、中間帯、地下水帯）を加えたものを一つの粒子とする。さらに、各パラメータの値に正規乱数を加えて、1000個の初期粒子を生成する。

2. 各粒子で地下水位を計算（予測）する。また、各粒子には正規乱数でシステム誤差（各パラメータの探索範囲の4%）を加える。

3. 観測地下水位（日単位）を用いて各粒子の尤度を計算する。観測誤差は観測地下水位の15%とした。さらに、各粒子の尤度を正規化して、各粒子の重みを求める。

4. 重みに比例する割合で、1000個の粒子のリサンプリングを行う。t=t+1とし、2に戻る。

4.2 適用結果 粒子フィルタを適用した結果を Fig.2 に示す。まず、過大推定が見られた2015年以降についても、観測値地下水位と計算地下水位はほぼ合致しており、粒子フィルタによって状態（パラメータ）の修正がうまく行われていることが分かる（Fig.2の上段）。さらに、水田浸透量と河川伏流量の2個のパラメータの時系列変化を見ると、濁水が発生した2015年5月以降に急激にパラメータの値が小さくなっていることが分かる（Fig.2の下段）。2016年は一時的にパラメータの値が大きくなる時期も見られるが、値が小さい状態が続いている。2017年になると5月あたりからパラメータの値が大きくなり始め、12月にはほぼ濁水前の大きさに戻っていることが分かる。なお、2015～2016年では浸透量が26～54%に減少、2017年では浸透量が52～54%に減少となっていた。

実測浸透量との整合性、水田浸透量と河川伏流量の切り分けの妥当性、粒子フィルタの超パラメータの設定方法、など検討すべき課題は多いが、粒子フィルタを用いることによって濁水が地下水位に及ぼした影響を定量的に評価できると考えられた。

引用文献 1) 田中健二・瀬川学・藤原洋一・高瀬恵次・丸山利輔・長野峻介：高濃度濁水が扇状地の水田浸透量・河川伏流量に及ぼす影響—手取川流域の大規模土砂崩壊を事例として—、農業農村工学会論文集、306、I_47-I_54、2018 2) 工藤亮治・近森秀高・永井明博：粒子フィルタを用いた河川流域における実時間洪水予測、農業農村工学会論文集、259、17-25、2009

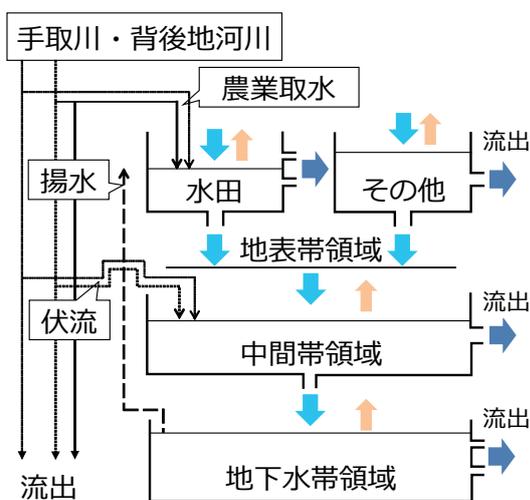


Fig.1 Water balance model

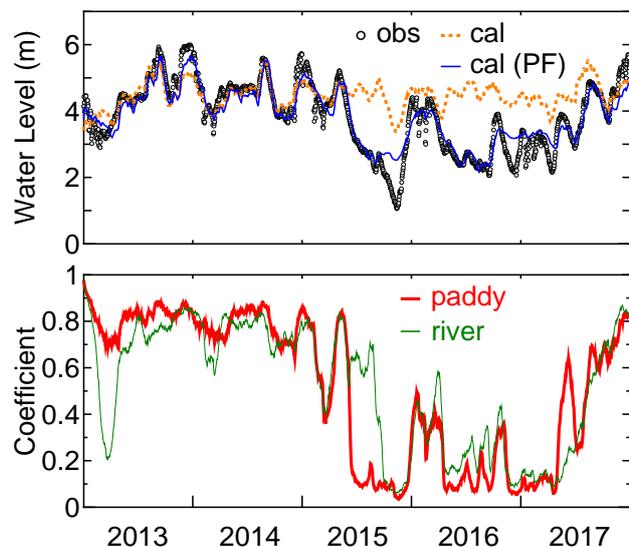


Fig.2 Application of particle filter