

粒子フィルタを用いた地下水涵養量の時系列推定：高濃度濁水が地下水環境に与えた影響を事例として

Time series estimation of groundwater recharge using particle filter

-A case study of the impacts of high-turbidity water on groundwater environment-

○大谷健人\*・藤原洋一\*\*・高瀬恵次\*\*・長野峻介\*\*・一恩英二\*\*

○Kento Otani, Yoichi Fujihara, Keiji Takase, Shunsuke Chono, Eiji Ichion

**1.はじめに** 2015年に石川県手取川上流域において、崩壊土砂量130万 $m^3$ という大規模な斜面崩壊が発生した。この土砂が手取川に流入し、浮遊土砂濃度1,000mg/Lを超える高濃度濁水が長期間継続した。さらに、濁水発生と同時期に扇状地の地下水位が急激に低下した。濁水が地下水環境に与えた影響を解明するために実測調査を実施したが、これらの調査は多大な労力が必要であり、高頻度を実施することが困難である。そのため、断続的なデータしか得られず地下水位がいつどのように回復したかを明らかにすることができない。そこで、集中型水循環モデルとデータ同化手法(粒子フィルタ)を用いて、水田浸透量および河川伏流量の時系列変化を推定することを試みた。

**2.研究方法 2.1 水循環モデル** 地下水位変動を再現するために、集中定数型水循環モデル<sup>1)</sup>を用いた。このモデルは、手取川扇状地を対象領域として、地表帯・中間帯・地下水帯の3領域で構成されている。各タンクからの流出や浸透に関わる、物理的に決定できない23個のパラメータについては、進化戦略(ES)<sup>2)</sup>によって同定した。地下水位の再現性を確認したところ、濁水前2013~2014年においては、相対誤差が1.1%と精度よく地下水位を再現できていた。しかし、濁水後2015~2019年においては、相対誤差が29.4%と実測地下水位に比べ過大推定となった(Fig.1)。

**2.2 粒子フィルタ(Particle Filter:PF)の適用** 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り、確率分布を独立な実現値とみなせる多数のサンプル(粒子)で近似し状態修正を行う。濁水前の地下水位変動を上手く再現できていることから、浸透量と伏流量のパラメータ(影響係数)変化を逐次推定できれば、浸透量の時系列変化を推定できる。この影響係数の逐次推定に、データ同化手法として粒子フィルタを適用する。影響係数は0~1の範囲で値をとり、濁水前の浸透量・伏流量に乘じることで、濁水後の浸透量・伏流量を求めることができる。影響係数が1に近い場合は、濁水前とほぼ変化がないことを意味する。0に近い場合には、濁水前に比べて大きく減少したことを意味する。本研究では以下の手順で適用した。

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1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、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

\*石川県立大学大学院生物資源環境学研究科 Graduate School of Bioresources and Environmental Sciences, Ishikawa Prefectural University, \*\*石川県立大学生物資源環境学部 Faculty of Bioresources and Environmental Sciences, Ishikawa Prefectural University.

キーワード：粒子フィルタ, 水循環モデル, 濁水, 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. 重みに応じて、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。

**3.研究結果** 粒子フィルタを適用したところ、濁水後の平均相対誤差は 5.6%と精度よく地下水位を再現できており、粒子フィルタによる状態修正が上手くいったことが分かった(Fig.1)。Fig.2 は、水田浸透量と河川伏流量のパラメータである影響係数の時系列変化を示している。水田・河川の影響係数の年平均を求めたところ、2014 年 75 %・73 %、2015 年 30 %・39 %、2016 年 16 %・21 %と徐々に低下している。この影響係数を基に、河川伏流量および水田浸透量の時系列変化（日単位）を求めた。河川伏流量は実測値と計算値の変動がおおよそ一致しているものの、実測値に比べ過小推定している結果となった (Fig.3)。水田浸透量は実測値と計算値の変動が異なるだけでなく、実測値に比べ過大推定している結果となった (Fig.4)。

**4.結論** 手取川扇状地を対象とした水循環モデルに、粒子フィルタを適用した。実測値と計算値が整合するようなモデル構造の修正が必要であるが、地下水位の再現精度を向上させることができた。そして、実測調査では断続的なデータしか得られないのに対し、モデルに粒子フィルタを適用して影響係数を逐次推定することで、濁水後の地下水涵養量の変化を連続的に評価できることが明らかとなった。

**引用文献** 1) 高瀬恵次・藤原洋一(2020)：集中定数型水循環モデルによる手取川扇状地の水収支解析と高濃度濁水が地下水位に及ぼす影響評価，応用水文，32，56-64 2)藤原洋一・田中丸治哉，畑武志，多田明夫(2003)：進化戦略による流出モデル定数の最適同定，農業土木論文集，227，119-129

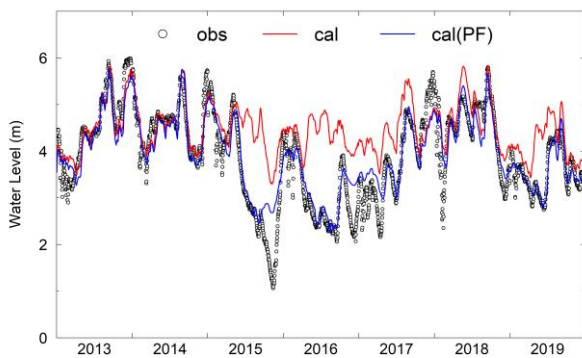


Fig.1 Groundwater Level

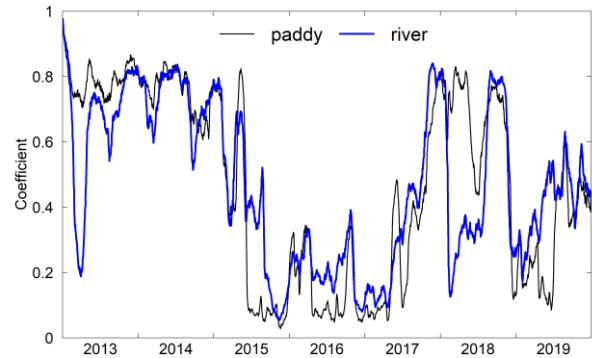


Fig.2 Influence Coefficient

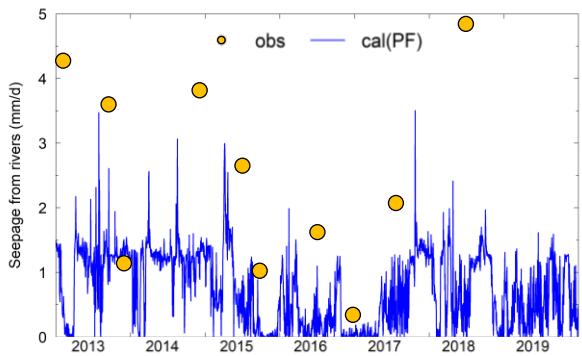


Fig.3 Seepage from rivers

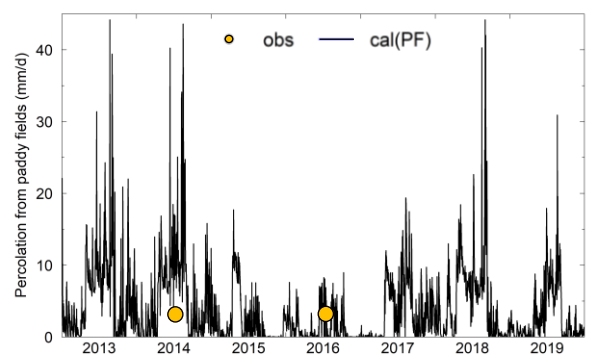


Fig.4 Percolation from paddy fields