

ガウス過程回帰による手取川扇状地の地下水位変動解析と異常検知 Groundwater level fluctuation analysis and anomaly detection in Tedoru River alluvial fan by Gaussian process regression

○長野 峻介*, 竹田 富美*, 藤原 洋一*, 一恩 英二*

○CHONO Shunsuke*, TAKEDA Fumi*, FUJIHARA Yoichi*, and ICHION Eiji*

1. はじめに

地下水は、様々な用途に利用される重要な地域資源の一つである。石川県の手取川扇状地では毎年約 10,000 万 m^3 の地下水が揚水されており、用途別にみると工業用が全揚水量の 56.7% を占めており、次いで水道用が 29.4%、消雪用が 6.8% となっている。ただし、地下水位は様々な要因により常に変動しており、変動する要因としては、降水の地下浸透や河川からの伏流による涵養量の変化、気圧変化などの自然現象と、農業や工業、消雪用に人為的な揚水などが挙げられる。これら以外にも様々な要因が複雑に絡み合い、周期的、変則的な変動が混在する状態で地下水位は変動している。そのため、通常の変動や変動要因が明らかな変動と、それらとは異なる特異的な変動を判別することは極めて困難である。本稿では、地域の水資源利用に影響を与える特異的な地下水位変動を、機械学習による異常検知手法を用いて検出することを目的として、ガウス過程回帰により地下水位変動をモデル化し、手取川扇状地での地下水位変動について分析を行う。また、不均衡データの処理手法である SMOTER を用いて、台風や豪雨時などの地下水位変動の学習データを増やしモデルの予測精度の改善を図った。

2. 手取川扇状地での地下水位観測

手取川扇状地で石川県が管理する観測井 8 か所を対象とする。特に能美市北市（手取川左岸側）と白山市安吉（手取川右岸側）では 2015 年に地下水位の著しい低下が観測された。図 1 に能美市北市での 2002 年から 2015 年までの各年の地下水位変動を示す。2015 年の地下水位は、5 月から 6 月にかけて急激に低下し、それ以降も緩やかに低下が続いた。この地下水位の大規模低下により、地下水を水源とする能美市の工業用の揚水に支障が生ずる状況となった。この際、手取川源流域で発生した大規模斜面崩壊により流入した土砂によって、2015 年 5 月以降に長期間にわたって手取川では高濃度の濁水が発生しており、河床や水田に沈殿した土砂により地下水涵養が阻害されたと考えられる。

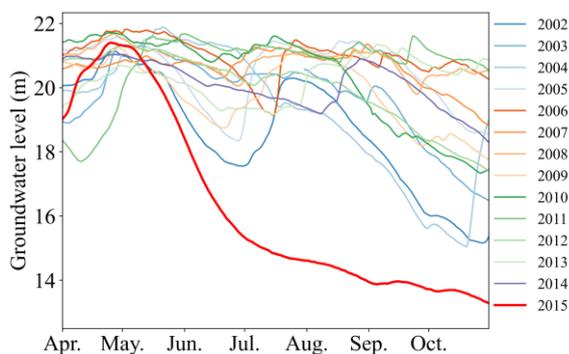


図 1 地下水位観測値（能美市北市）

3. ガウス過程回帰モデルによる異常検知

異常検知手法とは、大多数のデータの中から期待される振る舞いが異なるデータを抽出する解析技術である。本研究では、観測データの学習から予測モデルを作成することで異常検知を

*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：地下水，機械学習，異常検知

行う応答異常検知の一種であるガウス過程回帰を用いた解析を行う。

ガウス過程回帰では、データ D をもとにモデルを学習させ、目的変数を再現する回帰曲線が生成される。生成の際に学習データ D の再現度の高い曲線が高い確率で、再現度の低い曲線は低い確率で生成されることで、目的変数の予測値の確立分布が正規分布するモデルとなる。つまり、目的変数の応答曲面 $y = f(x)$ の確率分布 $p(y|x,D)$ が、正規分布（平均 $\mu_y(x)$ 、分散 $\sigma_y^2(x)$ ）として求められる。

$$p(y|x,D,\sigma^2) = \mathcal{N}\left(y \mid \mu_y(x), \sigma_y^2(x)\right) \quad (1)$$

平均 $\mu_y(x)$ と分散 $\sigma_y^2(x)$ はカーネル関数 K で規定される。

$$\mu_y(x) = k^\top(K + \sigma^2 I_N)^{-1}y_N \quad (2)$$

$$\sigma_y^2(x) = \sigma^2 + K_0 - k^\top(K + \sigma^2 I_N)^{-1}k \quad (3)$$

カーネル関数とは、入力される説明変数 x と x' がどのくらい似ているかを表す関数であり、似ているほど応答曲面の値 $f(x)$ と $f(x')$ は強く相関する。

ガウス過程回帰モデルの目的変数は地下水位の日変化量（m/day）とした。説明変数は日毎の手取川の中島・鶴来観測地点での平均流量（m³/s）、地下水位（m）、金沢での気象観測値（日降水量（mm/day）、最大1時間降水量（mm/h）、平均気温（°C）、最高気温（°C）、最低気温（°C）、平均気圧（hPa）、平均風速（m/s）、日照時間（h））とし、さらに、これらの移動期間平均値（2, 3, 7, 14 日）を説明変数に加えた。2002 年から 2014 年の 13 年分の説明変数と目的変数の観測データを学習させたモデルを、地下水位低下が発生した 2015 年以降に適用し、地下水位変化量の予測値（確率分布）と実測値との標準化残差を解析した。ただし、各年において降雪期を除いて学習・適用期間とした。

また、降水量データは無降水日や少雨が多数を占める不均衡データであるため、SMOTER を用いて学習データの前処理を行った。SMOTER により、降水量についての多数クラスのサンプルをランダムに減らすアンダーサンプリングと、少数クラスのサンプル間に内挿することによってオーバーサンプリングを行った。

4. 解析結果と考察

ガウス過程回帰モデルにより解析した 2015 年の北市における地下水位変化量の予測分布に対する実測値の標準化残差を図 2 に示す。SMOTER で処理した学習データを用いたモデルと未処理の学習データを用いたモデルでの解析結果を示す。

濁水発生直後の大規模な地下水位低下が発生した際、2015 年 5 月から 7 月まで地下水位変化量の標準化残差がマイナス側へ長期に変動することが確認された。この濁水の影響と

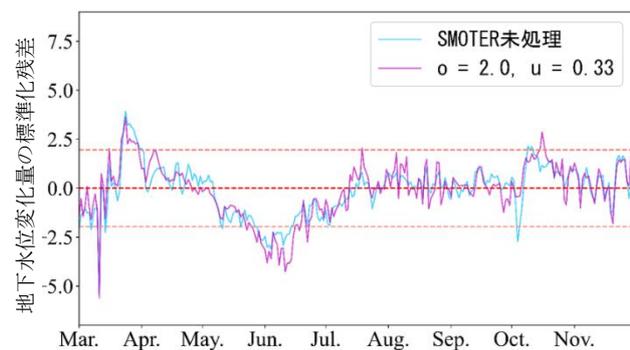


図 2 2015 年の解析結果

考えられる地下水位変化量の標準化残差の特異的な変動は 2015 年から 2017 年まで複数回確認され、濁水による地下水位への影響は 2017 年まで継続したと考えられる。