

# 機械学習による茨城県久慈川の塩水遡上の影響要因の評価

茨城大学大学院 学生会員 ○オウス謙治 茨城大学 中村陵祐  
 茨城大学大学院 Guangyao Zhao 正会員 藤田昌史

## 1. はじめに

気候変動によって引き起こされる海面上昇は、さまざまな影響を及ぼすが、河川下流域では、河川流量が低下する時期に潮位が増すと塩水が遡上し、生活、農業、工業用水の取水に影響することが知られている。

茨城県北部を流れる久慈川（一級河川）は、日立市の水道給水量の約 80 %を担う重要な水源となっている。取水口は河口から 4.2 km 上流に位置するが、過去には塩水遡上により取水停止が生じている。また、昭和 62 年から令和元年までに合計 16 回の濁水が確認されている。塩水遡上には、河川の流量や流速、潮汐、風向風速等の要因が複合的に関係するが、塩水先端部は濁筋を遡上することから、河床地形も大いに影響すると考えられる。これまでに、様々な塩水遡上のモデルが開発されているが、詳細な河床地形を考慮した研究は限られている。

そこで本研究では、久慈川の下流域を対象として、機械学習モデルを用いて気象・水文データと河床地形データを用いて、河口から約 3 km 上流の右岸側と左岸側の河床付近の塩分の予測を行った。また、塩水遡上の影響要因を解析し、塩水遡上の予測における河床地形の重要性を検討した。

## 2. 方法

気象・水文データは、降水量・気温・風向・風速・現地気圧・海面気圧・水温・潮汐・水位 1（河口より約 4km 上流）・水位 2（河口付近）とした。これらの特徴量から、機械学習を用いて、河口から約 3 km 上流の左岸側と右岸側の河床付近の塩分を予測した。水位 1 は塩分を予測する地点から 1km 上流の水位であるのに対し、水位 2 は河口付近の潮汐の影響を受ける水位である。これらのデータは、2022 年 6 月 15 日～2022 年 12 月 31 日の 1 時間ごとの時系列データ（4790 データ）を使用した。

河床地形データは、2021 年 11 月と 2022 年 2 月に観測した 2 つの X 座標、Y 座標、Z 座標 17900 データを用いた。2 つの X 座標と Y 座標をそろえて Z 座標の値を補間し、主成分分析をして第 1 主成分（6 データ）を使用した。11 月の河床地形は、台風等により年間で最も出水イベントが多い時期の直後のものであるのに対し、2 月の河床地形は、年間で最も降水量が少なく、流量が安定している時期のものである。機械学習は 6 つのモデル（AdaBoost, RF, LGBM, XGBoost, GBDT, DT）を用いた。機械学習の正確率は  $R^2$  で評価し、影響要因の評価には、機械学習をするうえで予測値に対する特徴量の重要度を示す Shapley Additive Explanations（SHAP）を用いた。

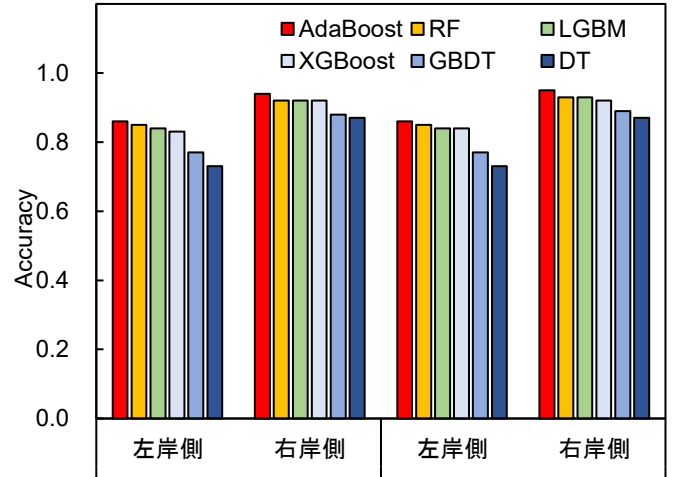


図-1 機械学習の予測精度

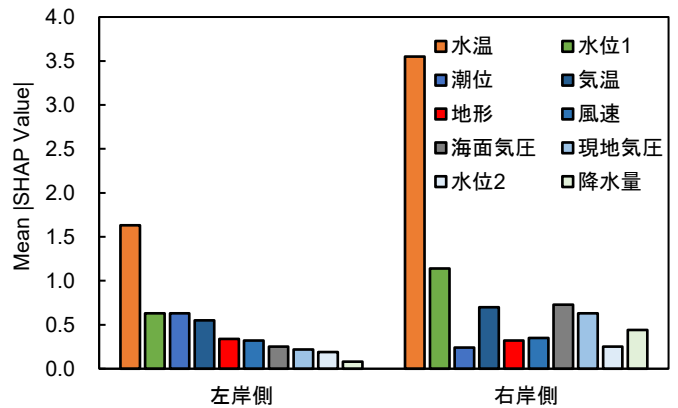


図-2 各特徴の SHAP 値 (AdaBoost, 河床地形データあり)

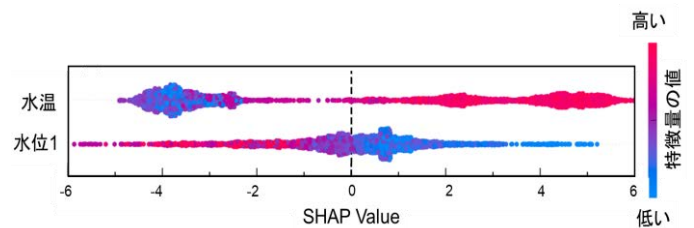


図-3 水温・水位 1 と SHAP 値との関係 (AdaBoost 河床地形データあり)

## 3. 結果・考察

河床地形データの入力の有無によらず、機械学習 6 モデルのなかでは AdaBoost の正確率が最も高い結果となった（図-1）。河床地形データなしの  $R^2$  は左岸側で最大 0.86、右岸側で最大 0.94 であったのに対し、河床地形データありの  $R^2$  は左岸側で最大 0.86、右岸側で最大 0.95 であった。また、河床地形ありの  $R^2$  は、AdaBoost, XGBoost, RF に

において、河床地形なしと比較して 0.01 高くなった。以上のことから、機械学習で河床地形を考慮した方が、塩分の予測精度が上がる事が示された。

最も R<sup>2</sup>が高い AdaBoost における河床地形データありの SHAP は、左岸側では水温が 1.63、水位 1 が 0.63、潮位が 0.63 になったのに対し、右岸側では水温が 3.55、水位 1 が 1.14、海面気圧が 0.73 となった (図-2)。いずれも水温と水位 2 の特徴量が重要であることが示された。また、水温が高いほど塩分も高く予測されていることが分かる (図-3)。水の運動は密度の分布によって決まり、水温が高いほど水の密度は小さくなる。したがって、水温が高くなると淡水の密度が下がるため、下方に密度の大きい塩水が潜り込みやすくなり塩水くさびが発生すると考えられている<sup>1)</sup>。また、水位 1 が低くなるほど塩分が高く予測されている。塩水遡上は、河川の水位が低下することで起こりやすくなるが<sup>2)</sup>、機械学習においても同様の現象が再現されていると言える。

河床地形の重要度(河床地形の SHAP 値/総 SHAP 値)は、左岸側では 7.0%、右岸側では 3.5%であった(図-2)。左岸側は右岸側よりも河床標高が高いため、相対的に塩水が遡上しにくい<sup>3)</sup>。言い換えると、塩水遡上を予測するうえで、河床地形が重要になる。そのため、機械学習においても河床地形の重要度に 2 倍の違いが見られたと考えられる。気象・水文データは 1 時間ごとに与えたのに対し、河床地形データは 1 カ月ごとに与えたが、河床地形が重要な役割を果たすことがわかった。

右岸側と比較して正確率が低かった左岸側において、10 psu 以上の塩分を対象として機械学習を行った。その結果、前述と同様に機械学習 6 モデルのなかでは AdaBoost の正確率が最も高い結果となった(図-4)。R<sup>2</sup>は最大 0.99 であり、前述した全ての塩分の予測結果と比較して、各モデルにおいて約 0.1 高くなった。高塩分における予測は、各特徴量と塩分のばらつきが小さいため予測しやすいと考えられる。

SHAP は、水位 2 が 1.02、潮位が 0.67、風速が 0.3 となった(図-5)。高塩分における予測の特徴量の重要度は、全ての塩分の予測結果と異なり、水位 2 と潮位の特徴量が重要であることが示された。また、水位 2 と潮位が高いほど塩分も高く予測されていることが分かる(図-6)。水位 2 は河口付近の潮汐の影響を受ける水位であり、塩水遡上は、満潮の時に起こりやすいことが知られている。機械学習においてもこのような現象が再現されていると言える<sup>4)</sup>。

全ての塩分における予測では、水温や水位 1 等の河川の特徴量が重要であったのに対し、高塩分における予測では、水位 2 や潮位等の海側の特徴量が重要であった。つまり、塩分を予測するうえでは、河川の特徴量が重要になるが、特に高塩分の場合には海側の特徴量が重要になることが示された。

4. まとめ

塩水遡上を予測するうえでは、水温と河川の水位(予測

地点の上流側)が高く寄与すること、塩分を予測する地点によっては河床地形が重要になることが明らかとなった。また、高塩分を予測するうえでは、海側の特徴(潮位、河口付近の水位)が高く寄与することが明らかになった。

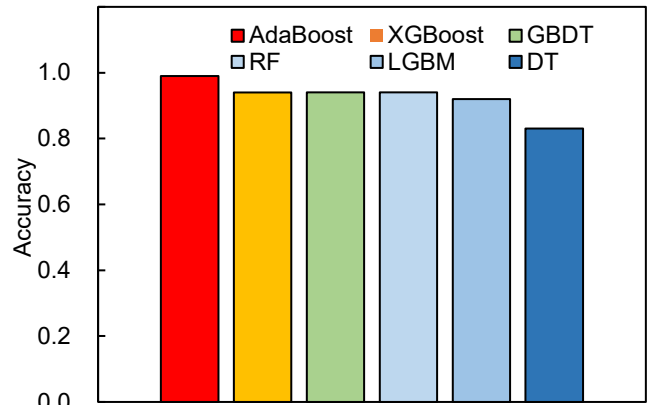


図-4 左岸側における高塩分の機械学習の予測精度 (河床地形データなし)

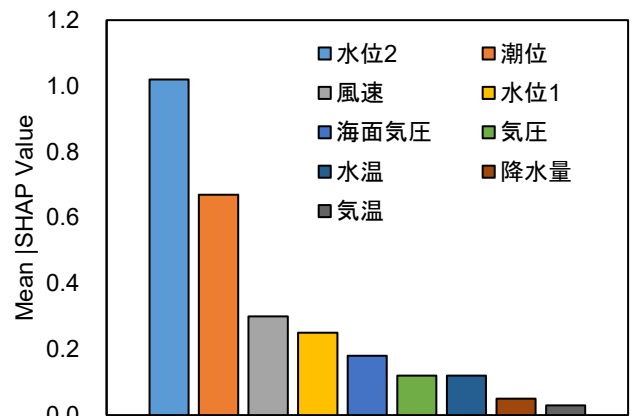


図-5 左岸側における各特徴量の SHAP の値 (AdaBoost, 河床地形データなし)

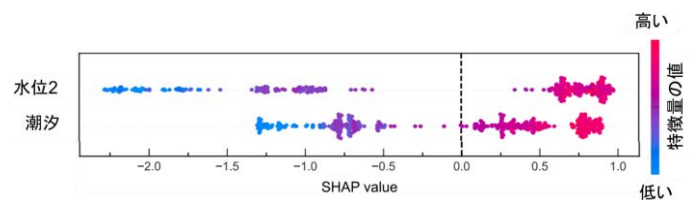


図-6 水位2・潮位と SHAP 値との関係 (AdaBoost 河床地形データなし)

参考文献

- 1) 笹川幸寛, 手計太一: 富山県西内川感潮域において塩水楔先端部に発生する逆流現象, 土木学会論文集G (環境), 71(5), I\_103-I\_110, 2015.
- 2) 杉原幸樹, 新日竜一: 天塩川水系におけるヤマトシジミ生息環境の変化要因とその適応策の検討, 土木学会論文集B1 (水工学), 73(4), I\_1135-I\_1140, 2017.
- 3) 稲川翔太, 新谷哲也, 横山勝英: 都市中小感潮域の水質・流動に対する広域的な塩水遡上の影響解析, 土木学会論文集B1 (水工学), 77(2), I\_1111-I\_1116, 2021.
- 4) 金子裕, Nerizza OLAP, 梅田勲雄太, 横山勝英: 荒川河口域・隅田川の塩水遡上が平常時の水文派に与える影響, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 75(2), I\_205-I\_210, 2019.