

深層学習を用いた気候変動が河川水温に及ぼす影響に関する基礎的検討

山口大学 学生会員 ○福丸大智
山口大学 非会員 滝山路人
山口大学 学生会員 宮平秀明
山口大学教授 正会員 赤松良久

1. はじめに

今日、気候変動に伴う河川水温の上昇が水質や生態系に大きな変化をもたらすことが懸念される。気候変動が水質や生態系に及ぼす影響を流域内で網羅的に評価するためにも、d4PDFに代表される将来気候シミュレーションから得られる将来気温に基づいて河川水温を評価する必要がある。近年、大きな注目を集めている深層学習は、地形や河道断面などの複雑な入力データなしに複数の出力を同時に得られるため、将来気温のみに基づく流域一貫の水温予測が可能である。

本研究では、気候変動が河川水温に及ぼす影響を評価することを目的に、深層学習を用いて気温に基づく流域一貫の水温予測モデルを開発し、d4PDFの将来気温を用いて河川水温予測を実施した。

2. 方法

(1) 対象流域

本研究では島根県の高津川流域(流域面積:1090km², 一級水系)を対象にした(図-1)。高津川流域では、流域を網羅するように13地点(St.1~St.13)で水温ロガーを設置し、15分間隔で河川水温の連続観測を実施しており、水温予測はこの13地点で実施した。

(2) 検討方法

深層学習を用いた水温予測モデルには、時系列データの処理能力に優れたLSTMを用いた(図-2)。過去7日分の流域内多地点における気温を入力し、流域多地点における水温を出力する構造とした。使用データに関して、水温は水温ロガー設置点(St.1~St.13)で観測された水温時別値を用いた。気温について、現況気温は農研機構メッシュデータの水温ロガー設置地点における気温時別値を用いた。将来気温は、日本周辺領域において20kmメッシュの高解像度大気モデルを使用

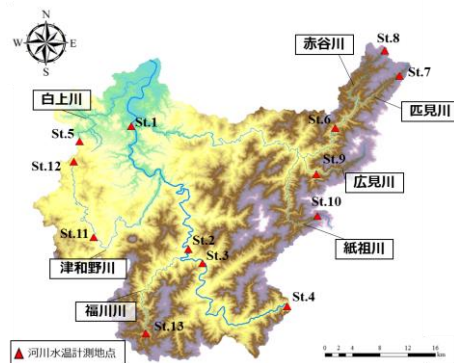


図-1 高津川流域と水温観測地点

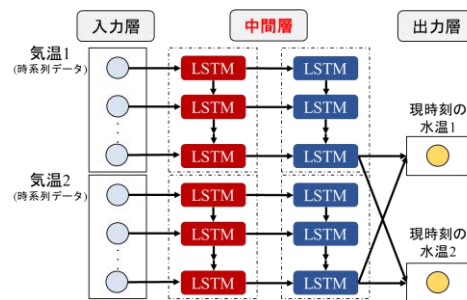


図-2 深層学習モデルの概念図

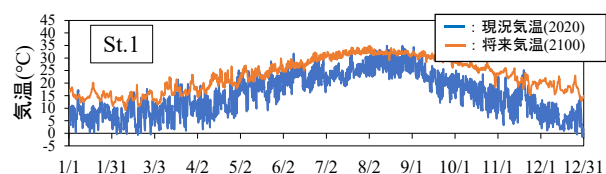


図-3 本川最下流(St.1)の現況気温と将来気温の比較

したアンサンブル気候予測データベース(d4PDF)の将来4度昇温実験によるものを用いた。なお、d4PDFの気温は20kmメッシュ中央の値であり、水温ロガー設置点と標高差が生じていたため、断熱減率(-0.65°C/100m)に標高差を乗じた補正気温値を足し合わせることで将来予測気温データを補正した。入出力データ間の関係性を学習するための学習期間は2017年5月30日~2018年6月26日とした。検証は、深層学習モデルの精度評価とd4PDFの将来気温に基づく河川水温の将来予測に大きく分かれる。深層学習モデルの精

度評価は現在気候(2020/1/1~2020/12/31)における水温予測を実施し、1年間を通して精度を検討した。河川水温の将来予測は、d4PDFの将来(2100/1/1~2100/12/31)の気温を用いて水温予測をした。そして、図-3に示すような気温上昇に伴い、想定される水温の変化を検討した。

3. 結果と考察

(1) 深層学習モデルの精度評価

水温予測モデルの時系列全体における再現性を定量的に評価するために、現在気候(2020/1/1~2020/12/31)の予測水温を基に、Nash-Sutcliffe係数(以下、Nash係数と表記)を全地点で算出した。なお、Nash係数は0.7以上で時系列全体における再現性が良好と判断され、1.0で予測値と実測値の完全一致を表す。図-4に各地点におけるNash係数を示す。Nash係数は、流域内の全地点で0.85を上回り、水温波形の時系列全体における再現性は極めて高いことが明らかになった。Nash係数が最も高かった本川上流のSt.4における現況の実測水温と予測水温の比較結果を図-5に示す。この結果より、河川水温が出水の影響も受ける7月から9月の夏季は若干精度が低下するものの、年間を通して評価すると実測水温を良好に捉えている。以上の結果から、深層学習を用いた水温予測モデルは流域一貫して高精度に水温を予測可能であることが示された。

(2) 河川水温の将来予測

図-6に、現在気候下(2020/1/1~2020/12/31)の水温実測値と深層学習モデルによる将来気候下(2100/1/1~2100/12/31)の予測水温の比較を示す。将来気候下においては、年間を通して顕著な河川水温の上昇が確認された。地点間で水温上昇幅を比較すると、St.4やSt.6における水温上昇幅は特に春季から夏季にかけては若干小さくなっている。これは、いずれの地点も標高の高い山地や源流部付近に位置しており、夏季は地下水の流入によって水温が冷却されることから、気温の上昇が水温の上昇に及ぼす影響が相対的に小さいことが考えられる。一方で、津和野川の比較的標高が低い地域に位置しているSt.11は上述のSt.4やSt.6に比べると夏季においても水温の上昇が顕著である。このことより、標高などの地形特性により、気温上昇が水温に与える影響が大きく異なる可能性が示された。しかし

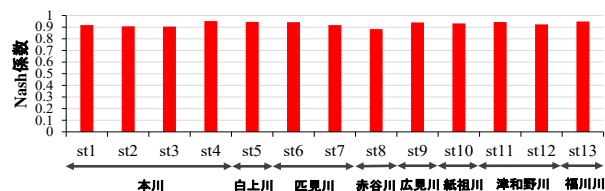


図-4 各水温観測地点におけるNash係数

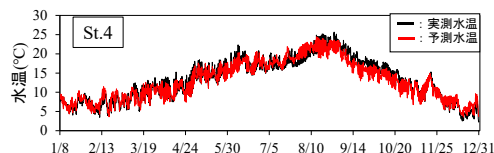


図-5 St.4における現況水温の実測値と予測値の比較

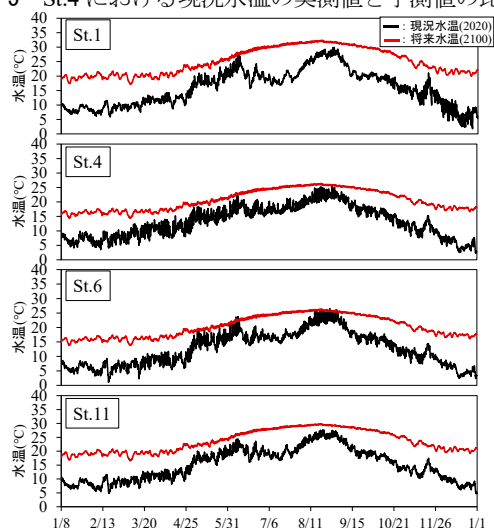


図-6 現況水温と将来水温の比較

ながら、冬季の水温上昇幅に着目すると特にSt.1では10°C程度と過大評価している。これは、図-3から分かるように、冬季における将来気温の上昇が大幅であり、水温変動がそれに対応しているためである。これについて、d4PDFデータに含まれるバイアスも踏まえたうえで、補正したデータによる検討が今後必要である。

4. まとめ

本研究では、気候変動が河川水温に及ぼす影響を流域一貫して評価することを目的に、深層学習を用いて気温に基づく水温予測モデルを開発し、d4PDFの将来気温を用いて河川水温予測を実施した。その結果、開発した水温予測モデルは流域一貫して高精度であり、再現性が高かった。d4PDFの将来気温に基づく河川水温の将来予測より、流域全体で気温上昇に伴う河川水温の上昇は顕著であり、さらには水温の上昇幅は地点により異なり、地形特性による影響を強く受ける可能性が示された。今後は、d4PDFデータに含まれるバイアスも考慮した検討を実施し、報告する予定である。