

1. はじめに

気候変動に伴う河川水温の上昇は、水質や河川生態系に大きな影響を及ぼす。したがって、流域システムの河川水温を高精度に予測することは極めて重要である。近年用いられる水温予測手法として、データ駆動型の深層学習モデルと物理法則に基づく物理モデルの2つが挙げられる。しかし、河川水温の将来予測に対する各種モデルの有用性と課題は解明されていない。

本研究では、島根県の高津川を対象に、深層学習を用いた河川水温予測モデルと、分布型流出モデルをベースとした水温予測モデルの両者を構築し、精度比較を実施した。そのうえで、d4PDFの2°C上昇、4°C上昇実験下における河川水温の将来予測を実施し、各種モデルの有用性と課題を明らかにした。

2. 方法

(1) 対象流域

本研究では、島根県の高津川(流域面積：1090km²、一級水系)を対象とした(図-1)。なお、高津川にはダム等の水温変動に影響を及ぼし得る構造物は存在しない。高津川では、流域網羅的な河川水温の連続観測を2016年7月以降に実施しており、後述の計算期間内で欠損がなかった17地点のデータを検証に用いた。

(2) モデルの概要

本研究では、深層学習モデルと物理モデルの2つを開発した。まず、深層学習モデルは、流域内多地点における過去7日分の気温・雨量を時系列で入力し、現時刻の水温を予測するLSTMモデルである(図-2)。一方、物理モデルは、降雨流出氾濫(RRI)モデルに準3次元地下水流動モデルおよび河川の熱収支式を組み込んだものである(図-3)。本モデルは、斜面・河道セルで流域を分割するとともに、地下水モデルを解くための地下セルを定義した。また、各セル間での水・熱のやり取りも考慮した。

(3) 物理モデルと深層学習モデルの精度比較

2020年の1年間において、深層学習モデルと物理モ

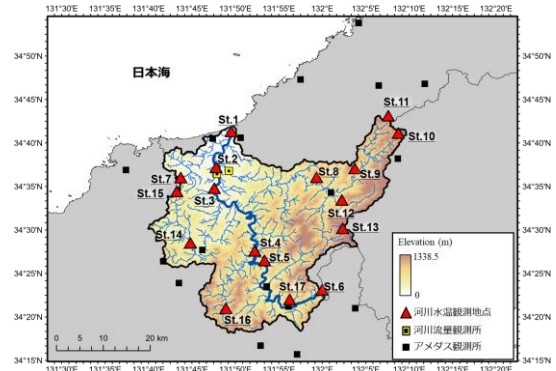


図-1 高津川流域

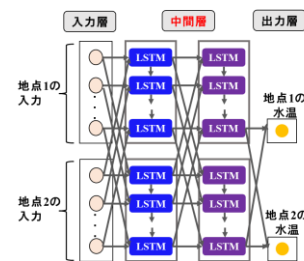


図-2 深層学習モデルの概念図

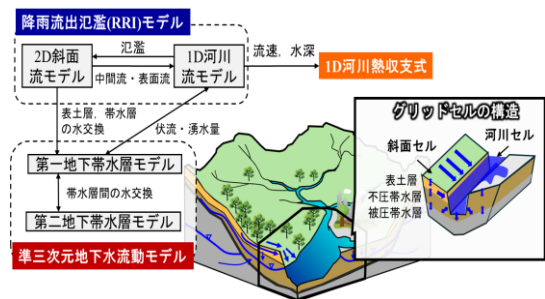


図-3 物理モデルの概念図

デルの精度比較を実施した。まず、入力データについて、各種モデルで共通して必要な雨量・気温は、雨量は気象庁の解析雨量、気温は農研機構メッシュの農業気象データを用いた。なお、深層学習は2017/5/27～2019/5/22において上記の入力データと水温の関係性を学習することで構築した。物理モデルに関して、気温と雨量以外に必要な風速、蒸気圧は、図-1に位置を示すAMeDASのデータを用いた。また、物理モデルでは雲量も必要だが、2020年の観測データが得られなかったため、AMeDAS気象観測所で観測された天気から推定した。物理モデルの地形は、日本域表面

流向マップ(j-FlwDir)から約 30m 解像度のデータを取得し、150m にスケールアップした。道断面は、河口から 14.2km の直轄区間では 2020 年の航空レーザー測深結果を、それ以外はベース状の断面を仮定した。

(4) 河川水温の将来予測

河川水温の将来予測には、d4PDF の 2°C 上昇、4°C 上昇実験の気温、雨量に対してバイアス補正を施したものを用いた。なお、将来期間は 2008~2010 年を基準に全球平均気温が 2°C あるいは 4°C 上昇した期間である。気温以外の気象要素は、2008~2010 年のもを用いた。また、将来予測水温との比較として現況期間の 2008~2010 年を対象とした解析も実施した。

3. 結果と考察

(1) 物理モデルと深層学習モデルの精度比較

図-4 に、本川下流の St.2 において各種モデルを比較したものを示す。まず、物理モデルは 1 月や 3 月に実測値の変動を捉えきれずに過大評価する時系列がいくつか存在したが、深層学習モデルは 1~4 月全体で実測値を高精度に予測した。一方で、7 月中旬から 8 月は、深層学習モデルは河川水温が緩やかに上昇して最高水温を迎える時期に 5.0°C 程度過大評価したのに対し、物理モデルは実測値を高精度に予測した。これは、深層学習モデルが最高水温付近のデータを十分に学習できなかったためである。

(2) 河川水温の将来予測

図-5 に、St.2 において各種モデルで現況水温と将来予測の結果を比較したものを示す。まず、時期全体としては両モデルの現況・将来予測結果に大きな差が生じていないことが分かる。ただし、7~9 月の水温波形に着目すると、深層学習モデルの将来予測値は、特に 4°C 上昇実験で現況予測との差が物理モデルより小さく、30°C 付近で頭打ちになる傾向が確認された。これは、深層学習モデルが 30°C 以上の水温帯をほとんど学習していなかったためである。夏季(6-8 月)において、河川流量の将来変化が気温と水温の将来変化量の関係に及ぼす影響を各種モデルで比較した散布図を図-5 に示す。なお、ここでの河川流量は物理モデルの予測結果を用いている。物理モデルは河川流量の将来変化倍率が 1 付近の値をとる場合においては、気温と水温の将来変化量がほぼ同等の値を取っているが、0.5~0.8 付近の場合は、気温の将来変化量が 4.0~5.0°C であるのに対し、河川水温の将来変化量は 5.0~

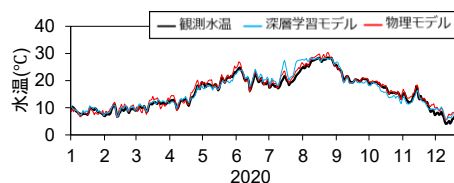


図-4 St.2 における各種モデルの精度比較結果

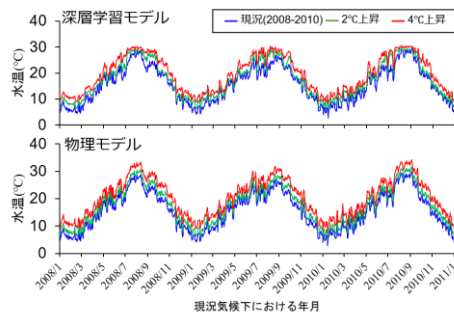


図-5 St.2 における各種モデルの将来予測結果

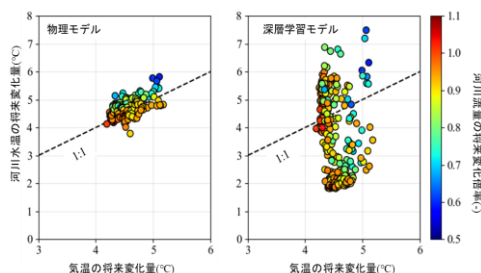


図-6 St.2 における夏季(6~8 月)の日平均気温、日平均流量および日平均水温の将来変化の関係

6.0°C と高くなっていることが分かる。これは、熱容量の減少によって、河川水温が上昇しやすくなるという物理プロセスを反映したものである。一方、深層学習モデルは、河川流量の将来変化倍率によらず、気温に対する水温の将来変化量は大きくばらいており、物理的に妥当性が低いことが考えられた。

4. まとめ

本研究では、深層学習モデルと物理モデルの精度比較を高津川流域で実施するとともに、d4PDF から得られる 2°C 上昇、4°C 上昇実験の気温、雨量を各種水温予測モデルに入力することで、河川水温の将来予測も実施した。その結果、精度比較は期間全体ではモデル間の顕著な精度の差は認められなかったが、夏季の最高水温付近の時期は物理モデルが高精度だった。将来予測では、夏季の気温が 30°C 以上と高温になる時期では深層学習モデルの予測水温が頭打ちになる傾向や、河川流量の将来変化が水温上昇に与える影響が夏季において物理的に整合性の低い結果になり、深層学習モデルに課題が生じることが明らかになった。

参考文献

1) 高橋&入江：土木学会論文集 B1(水工学), Vol.77, No.2, pp.98-110, 2021.