

LSTM を用いた降雨流出モデリングにおける学習過程の考察

熊本大学自然科学教育部 学生会員 横尾 和樹

熊本大学 くまもと水環境・減災研究教研究センター 正会員 石田 桂

熊本大学工学部 学生会員 永里 昶義

1. 序論

近年、深層学習手法は画像処理や自然言語処理などの分野で国際的に多大な成功を収めており、水文学においても様々な事例で適応され始めている¹⁾。国内でも令和2年7月豪雨災害をはじめとする洪水災害が頻発し、洪水の被害の軽減や対策が急務であることから、降雨流出解析においても深層学習手法が取り入れ始めている。しかしながら、降雨流出モデルなどのLSTM²⁾の適応について物理的なモデルを構築する際の入力データと対象データの関係性についての考察はほとんど行われていない。そこで本研究では、LSTMを用いた降雨流出モデリングにおける入力データをどのように出力に反映させているのかを詳細に調査する。

2. 適用

まず、本研究では寒冷地を対象にLSTMを用いた日単位の降雨流出モデルを構築する。入力には日単位の降水量や気温の気象データを用い、任意の地点における日平均河川流量を出力とする。深層学習手法ではLSTMの学習過程には重みとバイアスの初期値に起因するランダム性があるため、学習結果に差が生じるため、学習を100回行った。Early stoppingが作用した時点で学習を止め、過学習が始まる直前の学習結果を採用し、検証期間で最も精度が高いものをモデルとして用いた。本研究では、この訓練されたモデルに各入力データ（降水量、気温データ）を擬似的な値に置き換え入力し、気温のみによる流量推定と気温と降水量による流量推定の2つの数値実験を行った。以上の数値実験からLSTMが入力データをどのように出力に反映しているのか調査する。

3. 対象地・データ

降水量データは、Asian Precipitation — Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources (APHRODITE)³⁾から石狩川の流域平均日降水量を求めた。気温データは、気象庁のアメダス⁴⁾から石狩川流域内の全観測点の日平均気温を取得し用いた。流量データは、時間流量を国土交通省の水文水質データベース⁵⁾から取得し、石狩川流域下流に位置する石狩大橋観測点の日平均流量を用いた。また、各種ハイパーパラメータは表1に示す。本研究の対象期間は、1998年から2015年とし、訓練期間(1998年~2009年)・検証期間(2010年~2012年)・テスト期間(2013年~2015年)の3つの期間に分割した。

本研究では、対象地を石狩川流域とする。石狩川は

表 1. 各種ハイパーパラメータ

ハイパーパラメータ	値・手法
IDL (入力データの長さ)	365
HSL (Hidden Size Layer)	50
エポック数	3000
バッチサイズ	256
Patience	30
Loss function	MSE
勾配降下法の最適化アルゴリズム	Adam
バッチ要素抽出方法	shuffle

北海道中央部の大雪山系石狩岳を水源とし、大小70の河川が合流しながら石狩平野を流下し、日本海に流れ込む石狩川水系本流の1級河川である。流路長は268km、流域面積は14,330km²の全国有数の規模を誇る。石狩川流域では、冬の降雪が数ヶ月遅れで春先(およそ3月~5月)に流出し、この期間の流量が大幅に増加する。

4. 結果

4.1 気温のみによる推定流量

気温と降水量を入力し訓練されたモデルに、降水量を0、気温を変更しながら入力し、流量を出力した。図1は気温の入力データの気温を訓練期間の平均気温としたときの気温と流量のグラフを示している。入力データ(気温と降水量データ)は0から1の範囲で正規化後の値を用いて議論を行う。訓練期間では、気温が0.2~0.9であり、1年間の1日の平均気温の形状は365日の波長、振幅0.35の正弦曲線と類似している。実際にこの気温を用い流量を出力したところ、降水量は0であるにも関わらず、訓練期間の平均気温を用いた場合と同等の流量を生成している。推定された流量は、特定の気温の変化に応じて変化する。特に与えられた気温が約0.3から0.5に上昇する間、再現流量は急速に増加する。また、ピーク値は534m³/sであり、気温が下がるにつれて徐々に減少していく。訓練期間の平均流量のピークは大きなピークを除くと約1,100m³/sに達するため、訓練されたモデルに気温のみを入力とすることで、融雪期間中の流量を約半分生成することが示された。

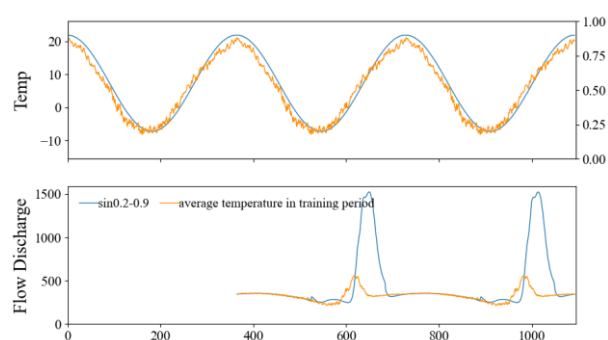


図. 1 気温のみによる推定流量

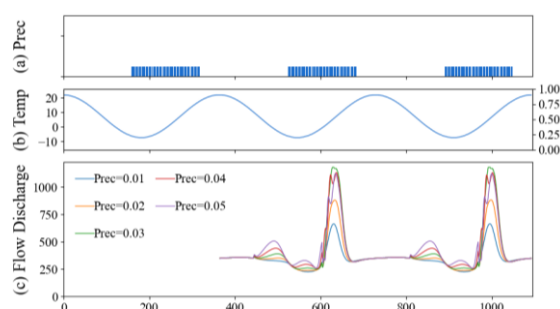


図. 2 気温と降水量による推定流量

4. 2 気温と降水量による推定流量

4.1 より、図 1 の正弦曲線を気温の仮想時系列として使用し、次の出力を行った。

気温の入力として振幅 0.35 の正弦曲線を用いる。降水量を 160 日～320 日の範囲で、一定量 (0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05 の 5 つの場合) でそれぞれ入力し、流量を比較した。図 2 より、気温に加えて降水量を入力として使用すると積雪期間中にのみ降水量を与えたのにも関わらず、積雪期間に加えて融雪期間の流量も増加している。また、与えられた降水量が訓練期間中の平均降水量とほぼ同等である 0.03 の場合、融雪期間中の推定流量のピーク値は $1,184.6 \text{ km}^3$ であった。前述の通り、訓練期間中の 1 日の平均流量は観測データの大きなピークを除いて約 $1,100 \text{ m}^3/\text{s}$ に達する。降水量を一定期間 0.03 で入力すると、ピーク値は観測値に近い値をとる。一方、推定流量は降水量が多いほど積雪期間中に増加することが一般的に考えられるが、融雪期間中のピーク流量は、正規化された降水量が 0.01 から 0.03 に増加するに連れて徐々に増加する。ピーク流量はそれぞれ $663.1 \text{ m}^3/\text{s}$, $881.3 \text{ m}^3/\text{s}$, $1,184.6 \text{ m}^3/\text{s}$ であるが、降水量が 0.03 から 0.04 に増加すると、融雪期間中の流量が $55.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 減少する。融雪期間中の流量もピーク値はほぼ同じであるが、降水量が 0.04 から 0.05 から増加すると流量は減少する。降水量を入力した期間は積雪期間であり、積雪期間中の観測平均降水量は 0.033 から 0.043 の範囲である。積雪期間中の降水量の増加による推定流量の変化は与え

られた降水量が観測降水量の範囲内にあるにも関わらず、非現実的である。

5. 考察

降水量が 0 の時に推定された流量と訓練期間中の平均観測流量 (図 1) を比較すると、それらにある程度の類似性が見られる。降水量が 0 の時の推定流量の変動は小さいが、訓練されたモデルから季節を読み取り、気温だけでなく降水量による流量の変動も季節の変化から読み取り推定流量を生成していることが示唆された。

一方、図 2 にあるように訓練されたモデルに対して積雪期間中に観測される降水量を観測値の範囲内として入力したが、融雪期間中の流量を適切に再現できていない。また、実際には積雪期間中の降水量が多くなるほど融雪期間の流量が増加する。しかしながら、降水量が 0.03 (3.03mm) 以上になると融雪期間中の推定流量が減少していたため、単純な物理的関係を再現していないと推察される。

本来、従来の機械学習と同様に深層学習手法は入力データと対象データの間の関係を深く学習できる可能性がある。しかしながら、深層学習手法はブラックボックスモデルであり、全ての入力データを純粋な数値として認識するため、深層学習手法は物理プロセスを考慮しているわけではない。十分に訓練したモデルを用い、テスト期間に高い精度を示したとしても、深層学習手法が与えられた入力データと対象データ間の物理的関係性を学習していないことが示された。

5. 結論

この研究では、深層学習手法の 1 つである LSTM を使用し、寒冷地で降雨流出モデルを実装した。本研究で用いたモデルは高い精度を誇るが、数値実験の結果は、訓練されたモデルが入力データと対象データの間の物理的関係を適切に学習できないことを明確に示した。従って、特定の入力データと対象データの間の予期しない関係を学習する可能性を加味した上で、深層学習手法を慎重に使用する必要がある。

6. 参考文献

- 1) Kratzert, F., Klotz, D., Brenner, C., Schulz, K., & Herrnegger, M.: Rainfall-runoff modelling using long short-term memory (LSTM) networks. Hydrol. Earth Syst. Sci, 22.11: 6005-6022., 2018
- 2) LSTM-PyTorch master documentation
<https://pytorch.org/docs/master/generated/torch.nn.LSTM.html>
- 3) APHRODITE: Asian Precipitation—Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources
- 4) Amedas from Japan Meteorological Agency
(<https://www.jma.go.jp/jp/amedas>)
- 5) Water Information System from the ministry of land, infrastructure, transport, and tourism