

## 物理モデルとAIのハイブリッドによるダム流入量予測の高精度化

山梨大学 学生会員 ○三浦 奈都

山梨大学 正会員 宮本 崇

八千代エンジニアリング株式会社 正会員 天方 匡純, 安野 貴人, 石井 明

## 1. はじめに

防災上重要であるダムの高水予測には、物理モデルの他に近年は深層学習に代表される統計モデルも活用されている。本稿では統計モデルによる降水予測に対して降雨の地下浸透と流出を模擬した物理モデルを組み合わせることによる予測精度向上を図った結果を報告する。

## 2. 手法

深層学習モデルは5層の結合層から成るNNモデルで、フレームワークはKerasを使用した(図1)。著者らがこれまでに構築したベイズ深層学習を用いたダム流入量予測モデルは、降雨量を直接モデルの入力とするものだった。本稿では物理モデルの一種であるタンクモデルから計算される流出量を深層学習モデルの入力とすることにより、降雨の地下浸透と流出を陽に表現したモデル設計を行った。ここでの流出量は、表面雨量指数から深層浸透を除いた各タンクの合計値を用いた(図2)。

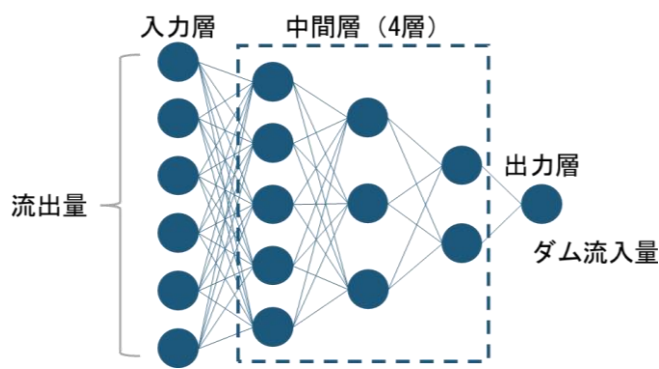


図1. NNのネットワーク構成イメージ

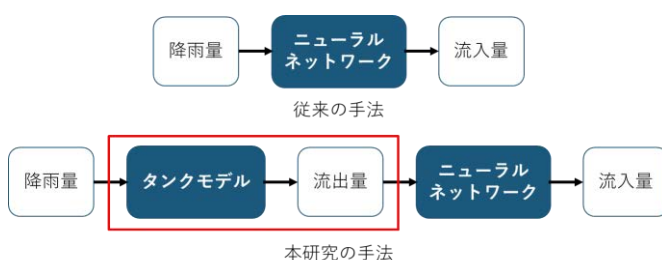


図2. 手法の比較

## 3. 解析結果

## 3.1. 表面雨量指数導入の効果

提案手法を用いた1~6時間先の予測結果を図3に示す。図3は各条件での予測を10回ずつ試行した結果の平均値の図である。図中の灰色の棒グラフは既往手法における入力値である降水短時間予報の空間平均値を表し、青色の棒グラフは、提案手法における入力値である表面雨量指数の空間平均値を示している。実線と色塗り部はベイズニューラルネットワークによる予測値の平均値と $\pm 2\sigma$ 区間を表し、赤色のグラフは本研究手法による予測結果、灰色のグラフは既往手法による予測結果である。また黒丸は流入量の実績値を示している。物理モデルを導入した際は既往のモデルと比較して予測の幅が大幅に縮小し、6時間先の予測においても、予測幅の中心近くに実績値を捉えることが出来た。また、洪水後に流量が低減していく過程の表現精度も既往のモデルと比較すると改善し、自然なものになった。

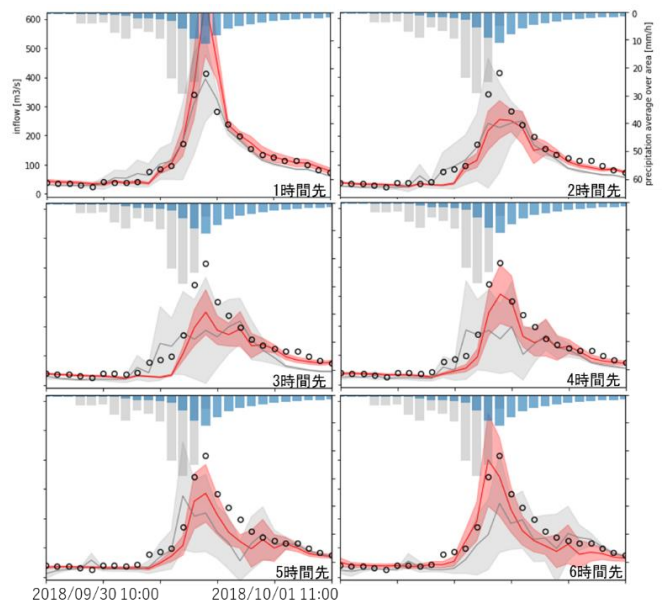


図3. 物理量による性能の変化

一方で、提案手法による1時間先の予測結果は10回行った試行の全てで過大評価となるなど、1時間

キーワード：ダム流入量予測, 人工知能, ベイジアンニューラルネットワーク, タンクモデル

連絡先：山梨県甲府市武田 4-3-11 山梨大学 三浦奈都 g21tc011@yamanashi.ac.jp

先から3時間先の結果は既往モデルと比較したときに精度が低下する結果となった。これは、1時間先等の比較的短いリードタイムでの流入量は、地下浸透よりも地表面を直接流下して川に流れ込んだ降雨の影響を強く受けていると考えられ、モデルの入力に用いた表面雨量指数にはこの情報が含まれていないためと考えられる。

### 3.2. 予測精度の定量的評価

提案手法の予測精度を定量的に評価するために、相関係数、MSE、標準偏差の分布の3種の指標を用い、各指標値に関して分析を行った(表1)。各指標は、図2の範囲の各時刻における平均予測値と流入量の実績値を用いて算出した。相関係数は値が大きいほど、MSEは値が小さいほど精度が高いことを示している。6時間先予測においては表中の2種の指標の両方において提案手法が上回る結果となった。相関係数を比較すると、3時間より長いリードタイムでの予測は顕著に精度が向上していることが分かる。加えて、MSEで比較した際も4時間より長いリードタイムでの予測は精度が向上している。また標準偏差の分布から、6時間先予測結果のばらつきも減少し、標準偏差自体も小さくなっていることが分かる(図4)。なお、図4の箱ひげ図には外れ値は表示していない。

### 4. 結論

ダム流入量の予測を行うニューラルネットワークに対してタンクモデルからの流出量である表面雨量指数を入力値に用いることで、誤差が減少し、6時間先の予測性能が向上する結果を得ることができた。従来のモデルでは、降雨が浸透・流出し、河川の流下する一連の過程を全てニューラルネットワークが表現していたが、本研究のモデルでは浸透・流出過程をタンクモデルにより表現している点に差異がある。本稿における検討結果からは、浸透・流出過程は物理モデルによって陽に表現する方が、ダム流入量予測においては適していることが示唆され

る。また予測精度の評価からは、提案手法は3~4時間以上のリードタイムでの予測において精度向上に繋がることが示された。

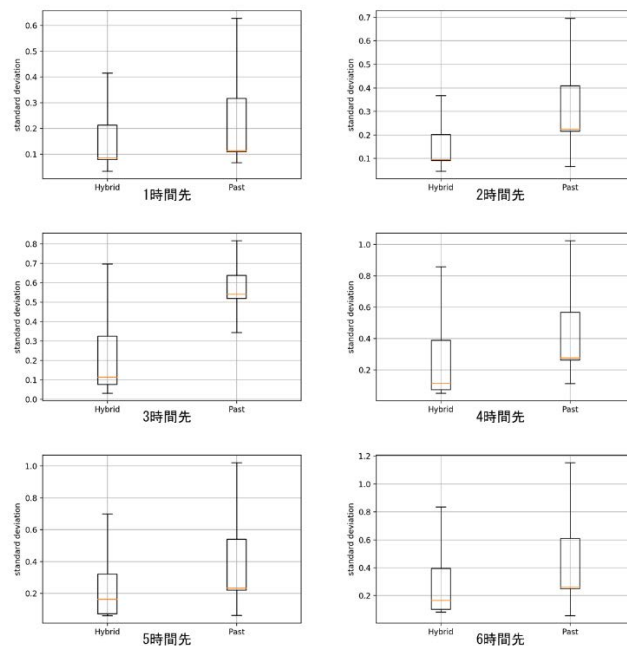


図4. 標準偏差の分布

今後は短時間先の予測にも適したモデルを作成するために、降雨と表面雨量指数の両情報を入力として用いるモデルの検討を行うことを計画している。また、本研究で雨水の浸透・流出の表現に用いたタンクモデルは気象庁に倣った一律のパラメタを利用したが、パラメタ最適化やより精細なモデル導入の余地があるため、それらの適用による一層の精度向上を図る予定である。

### 参考文献

- 1) 三浦奈都, 宮本崇, 天方匡純, 安野貴人, 石井明: ベイズ深層学習を用いた予報雨量の不確実性を考慮したダム流入量の確率的予測, AI・データサイエンス論文集, 2. J2, pp.933-943, 2021.
- 2) 気象庁予報部予報課気象防災推進室 洪水情報係長太田琢磨: 土壌雨量指数・表面雨量指数・流域雨量指数の概要と基準の設定方法について, 2018.

表1. 各評価指標を用いた際の精度

| 評価指標 | 1時間先   |      | 2時間先   |       | 3時間先   |        | 4時間先   |        | 5時間先   |        | 6時間先  |        |
|------|--------|------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
|      | Hyb    | Past | Hyb    | Past  | Hyb    | Past   | Hyb    | Past   | Hyb    | Past   | Hyb   | Past   |
| 相関係数 | 0.96   | 0.98 | 0.95   | 0.93  | 0.94   | 0.81   | 0.96   | 0.79   | 0.98   | 0.79   | 0.95  | 0.87   |
| MSE  | 101379 | 2160 | 149787 | 95268 | 296123 | 216784 | 154292 | 293036 | 230974 | 258777 | 46635 | 353186 |