

# 深層学習による数値気象モデル予測結果補正手法の改良とその豪雨緩和効果予測への活用へ向けた検討

松田 聖矢<sup>†</sup> 倉上 健<sup>‡</sup> 相馬 一義<sup>†</sup> 鈴木 善晴<sup>#</sup> 西山 浩司<sup>§</sup>  
 山梨大学<sup>†</sup> 日本工営株式会社<sup>‡</sup> 法政大学<sup>#</sup> 九州大学<sup>§</sup>

## 1. はじめに

近年、日本において短時間での非常に強い降水の回数が増加している。それに伴い土砂災害や洪水の被害も報告されており、その被害軽減は喫緊の課題である。それに対し、内閣府はムーンショット目標 8 として、クラウドシーディング等の人為的操作によりハザードとなる豪雨を緩和する検討を開始している[1]。

しかし、人為的操作による豪雨緩和を行う際には、想定外の被害が操作の副作用として発生しないことが求められ、数値気象モデルにより高い信頼性で効果を予測することが求められる。

以上を踏まえて本研究では、倉上ら[2, 3]が開発した深層学習による数値気象モデル予測結果補正手法を、データ拡張に注目して改良する[4]。さらに、豪雨緩和効果予測への活用を目指した手法改良の方策について検討する。

## 2. 使用するデータと深層学習手法

本研究では、詳細な都市活動を考慮した気象シミュレーションが可能な数値気象モデル CReSiBUCver2.4.4 [5, 6]による予測結果を深層学習の入力データとして用いる。前日 21JST を初期時刻と設定した 36 時間の予測を、2001 年の夏季（8 月 1 日～8 月 31 日）及び 2011 年夏季（8 月 1 日～9 月 7 日）について、空間解像度 2km で、鉛直解像度 68 層（平均 200m 間隔、最下層 30m）で毎日シミュレーションを行った。結果の内、地上付近での降水量、鉛直風速、水平風速について、1 時間ごとの出力データを用いる[4]。

本研究では、深層学習手法として畳み込みニューラルネットワークの一種である U-Net を用いる。U-Net は、従来の畳み込みニューラルネットワークと異なり、全結合層を持たず、畳み込み層、プーリング層、ショートカット接続で構成されており、ショートカット接続により入力画

像が持つ位置情報を逆畳み込み層に加えて学習を行う。本研究では教師データとして気象庁解析雨量の連続的な降水強度分布を用いる。そのため、損失関数として二乗誤差和を用いて回帰問題に適用可能とした U-Net [3]を用いる。

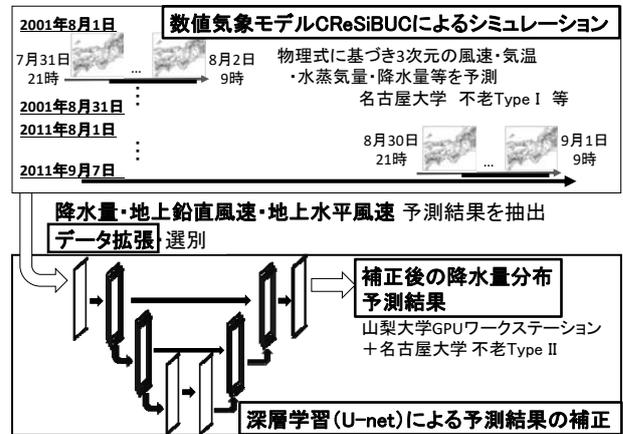


図 1 深層学習による数値気象モデル予測結果補正手法の概要

## 3. データ拡張手法

データ拡張手法として倉上ら（2020）[1]は、数値気象モデル予測結果と気象庁解析雨量 1 組の検討範囲（160×160 セル；空間解像度 2km）に対して、ウィンドウサイズ 40×40 セル（空間解像度 2km）を設定し 8 セルずつ動かしながら切り出し入力データを作成した。切り出す際にウィンドウを動かしたセル数を以降ストライドと呼ぶ。この手法は、入力画像の切り出し枚数を増やすことができるため、学習を行う際により多くの画像を用いることができる。一方で、学習で用いるデータに重複が生じるため、学習に悪影響を与える可能性がある。そこで本研究では、先行研究の手法であるストライド 8 に加えて、ストライドを拡大した 20 セルと 40 セルを設定し、ストライドを変更した際の補正結果への影響について検討を行う。

また、本研究ではエポック数（一連の画像を学習させる回数）を検証過程（パラメータ調整）における降水量分布を用いた定性的評価に

Improvement of Numerical Weather Model Prediction Result Correction Method Using Deep Learning and its Application to

Prediction of Heavy Rainfall Mitigation Effects

<sup>†</sup>University of Yamanashi, <sup>‡</sup>Nippon Koei Co., Ltd.,

<sup>#</sup>Hosei University, <sup>§</sup>Kyushu University

よって設定する。スライド 8 ではエポック数 500, スライド 20 ではエポック数を 1500, スライド 40 ではエポック数を 2500 に設定し計算を行う。

#### 4. 定量的評価で用いる手法

定量的評価では降水あり無しについて閾値を設けてカテゴリー分類表（混同行列；表 1）を作成して評価する。分類表では, FO（降水あり的中）, FX（空振り）, XO（見逃し）, XX（降水事象無し）の 4 つに分類される。本研究では, 以下の計算式を用いてデータ全体に対する予測精度（ACC, 正解率）, XX を考慮に入れないときの予測精度（CSI）, 捕捉率の高さ（POD）, 空振りの多さ（FAR）をカテゴリー分類表の 4 要素を用いて算出する。

$$\begin{aligned} \text{ACC} &= (\text{FO} + \text{XX}) / (\text{FO} + \text{FX} + \text{XO} + \text{XX}) & (1) \\ \text{CSI} &= \text{FO} / (\text{FO} + \text{FX} + \text{XO}) & (2) \\ \text{FAR} &= \text{FX} / (\text{FO} + \text{FX}) & (3) \\ \text{POD} &= \text{FO} / (\text{FO} + \text{XO}) & (4) \end{aligned}$$

表 1 定量的評価における分類表[4]

		解析雨量	
		降水あり	降水なし
補正後	降水あり	FO	FX
	降水なし	XO	XX

#### 5. 補正手法の適用と結果

本研究では, 学習過程において 2001 年 8 月 1 日~2011 年 8 月 31 日と 2011 年 8 月 1 日~2011 年 8 月 19 日, 検証過程（パラメータ調整）において 2011 年の 8 月 20 日, 8 月 25 日, 9 月 1 日の 3 日間, 推論過程において検証過程を除いた 2011 年 8 月 20 日~2011 年 9 月 7 日のデータを用いる。

推論過程に使用した画像全体で平均した POD (5 mm/hr) について, スライド 40 では 0.337 とスライド 8 での 0.251, スライド 20 での 0.213 及び補正前の 0.210 と比較して数値が上昇した。また, CSI (5 mm/hr) においてもスライド 40 では 0.223 とスライド 8 での 0.192, スライド 20 での 0.160, 及び補正前の 0.210 と比較して数値が上昇した。一方で ACC と FAR は各スライドでの大きな変化は見られなかった。

#### 6. まとめと豪雨緩和効果予測への活用へ向けた検討

本研究では, 深層学習を用いた数値気象モデ

ル予測結果補正手法にデータ拡張が与える影響について, スライドの大きさを変えた評価を行った。スライドを大きくすることにより, 台風に伴う豪雨について捕捉率（POD）が上昇し降水をより捉えられる可能性があることが示唆された。一方で ACC と FAR については大きな変化は見られなかった。

豪雨緩和において台風に伴う豪雨は重要な対象の一つであるが, 今後は前線に伴う豪雨, 局地的大雨等についてもターゲットとする必要がある。そのため今後は, 地形情報や水蒸気量等を入力データとして加えることにより, 補正手法の更なる信頼性向上を図る必要がある。

#### 【謝辞】

本研究は, JST【ムーンショット型研究開発事業】 Grant 番号【JPMJMS2283】, 科研費 基盤研究 (B) 19H02246, 20H02258, 19H01378, 名古屋大学 HPC 計算科学連携研究プロジェクト, 「富岳」機動的課題（課題番号: hp210291）の支援を受け実施されました。また, 本研究の 2~5 節は松田ら[4]による解析に基づいております。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- [1]内閣府: ムーンショット目標 8 ホームページ, <https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/sub8.html>, 2023 年 11 月 5 日閲覧。
- [2] 倉上健, 相馬一義, 他 4 名: 深層学習を用いた降水短期予測における数値気象モデル出力補正手法の構築, 土木学会論文集 G (環境), Vol.75, No.5, I\_33-I\_39, 2019.
- [3] 倉上健, 相馬一義, 他 4 名: ショートカット接続を含む深層学習による数値気象モデル降水量予測補正の検討, 土木学会論文集 G (環境), Vol.76, No.5, I\_471-I\_478, 2020.
- [4] 松田聖矢, 倉上健, 相馬一義, 他 6 名: 深層学習を用いた短期降水予測補正手法におけるデータ拡張の影響評価, 第 31 回地球環境シンポジウム講演集, in press.
- [5] K. Souma, 他 10 名: A comparison between the effects of artificial land cover and anthropogenic heat on a localized heavy rain event in 2008 in Zoshigaya, Tokyo, Japan, Journal of Geophysical Research, 118, pp.11,600-11,610, doi:10.1002/jgrd.50850, 2013.
- [6] K. Souma, 他 3 名: Use of ensemble simulations to evaluate the urban effect on a localized heavy rainfall event in Tokyo, Japan, Journal of Hydro-environment Research, 7 (4), pp.228-235, doi:10.1016/j.jher.2013.05.001, 2013.