

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02246

研究課題名（和文）数値気象モデルと深層学習を融合した豪雨予測手法の構築

研究課題名（英文）Development of a heavy rainfall prediction method combining numerical weather prediction models and deep learning methods

研究代表者

相馬 一義（Souma, Kazuyoshi）

山梨大学・大学院総合研究部・准教授

研究者番号：40452320

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、数値気象モデル（物理式に基づき3次元の気温や風速等をコンピュータで予測するプログラム）による予測結果を深層学習（人間の神経細胞を模した人工知能）で補正して降水強度分布を出力する手法を開発した。深層学習として手法の一種であるU-Net（画像分析等で用いられる視神経を模した高度な人工知能）を導入し検討を行った。加えて、深層学習手法へ数値気象モデル出力を入力する際のデータ拡張手法（データ不足を補うために水増しを行う手法）についても改良を進めた。その結果、数値気象モデル予測とU-Netを導入した補正手法を組み合わせることで、減災で重要となる強雨域の予測を改善できる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

数時間から1日程度先までの降水量を予測するためには、数値気象モデル（物理式に基づき3次元の気温や風速等をコンピュータで予測するプログラム）による予測が重要となる。本研究で開発した手法を用いることで、数値気象モデルのみでは降水の予測には至らない豪雨でも、降水の原因となる上昇気流や水平風速の予測結果を深層学習（人間の神経細胞を模した人工知能）へ入力して自動的に降水量予測結果を補正できる。それによって定量的な豪雨予測の信頼性が向上し、土砂・浸水危険度予測の信頼性向上とその早期避難への活用が期待でき、災害に強い都市づくりに貢献できると期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a method to correct the prediction results from a numerical weather model (a computer program to predict the three-dimensional temperature and wind speed, etc.), based on physical equations) using deep learning (artificial intelligence that imitates human neurons). The U-Net (an advanced artificial intelligence that imitates the optic nerve used in image analysis), a type of deep learning method, was introduced. In addition, we improved the data expansion method (a method to augment data to compensate for data shortage) when inputting numerical weather model output to the deep learning method. The results suggest that the combination of numerical weather model prediction and correction methods using U-Net can improve the prediction of heavy rainfall areas, which is important for disaster adaptation.

研究分野：水工学

キーワード：深層学習 機械学習 数値気象モデル 降雨予測

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年日本では、台風や積乱雲が長時間継続し線状に連なる線状降水帯による集中豪雨等、豪雨による被害が顕著であり、安全・安心な社会を目指すうえでその対策が急務となっている。2019年10月に発生した台風19号では、10月12日から13日にかけて台風本体の発達した雨雲や周辺の湿った空気の影響で豪雨が継続した結果、浸水・土砂災害により死者・行方不明者が88名(10月24~26日の大雨と合わせると101名;2020年2月12日現在)<sup>1)</sup>に達するなど多くの人的被害が生じた。

それに対し気象庁では豪雨の早期予測へ向け、2018年6月から降水短時間予報についてそれまでの6時間先から15時間先まで予報時間を延長するなど、多くの取り組みを開始している。そのような降水予測結果を定量的に活用して土砂・浸水危険度予測の信頼性を向上し、早期の避難に活用する必要がある。しかし、降水短時間予報の基となる数値気象モデルとその初期値の改善について、多くの研究が精力的に進められているが、予測結果を定量的に活用する上ではいまだ誤差が大きい。

一方、近年ビッグデータ処理等の分野で発展の目覚ましい深層学習の技術が、流量予測<sup>2)</sup>、気候予測ダウンスケーリング<sup>3)</sup>等に活用されつつある。降水短期予報でも深層学習活用の試みはいくつか行われている(例えば<sup>4),5)</sup>)<sup>4)</sup>が、その多くは観測データそのものを深層学習の入力データとしており、予測可能な時間が非常に短い欠点があった。数値気象予測モデルアウトプットの補正(ガイダンスと呼ばれる<sup>6)</sup>)に深層学習を導入することにより、その欠点を克服できる可能性がある。例えば気象庁の府県天気予報では、数値気象モデル予測結果を図示し予報官等が目で見ながら降水強度予測結果を補正して降水確率等を予測している。その人間の目で見ながら判断を、画像認識で多く用いられる深層畳み込みニューラルネットワークで自動化し、定量的に降水強度と結びつけることで、数値気象モデル予測結果を補正できる可能性が期待される。

### 2. 研究の目的

以上を踏まえて数値気象モデルによる数時間から1日半先予測結果を入力し、深層畳み込みニューラルネットワーク(視神経を模したニューラルネットワーク)を用いて降水量分布を補正する豪雨予測手法を構築・改良する。

### 3. 研究の方法

#### ・数値気象モデルによる予測実験

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 (Souma et al.<sup>7),8)</sup>; ver1.0 は Moteki et al.<sup>9)</sup>, Ikebuchi et al.<sup>10)</sup>) 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 図-1 に示す領域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)で繰り返しシミュレーションを行った<sup>11)</sup>。シミュレーション結果の内、本研究では地上降水強度・地上鉛直風速・地上水平風速(南北・東西)を用いる。入力データとして地上鉛直風速出力を使用する理由は以下の通りである。降水発生には大気下層の水蒸気を含んだ空気が上昇気流によって持ち上げられることが必要であり、また降水発生後には降水の蒸発で冷やされた空気による下降流が発生する。そのため、数値気象モデルで降水発生に至らない、あるいは降水が観測値よりも早い時間に予測されている場合でも、鉛直風速から降水発生シグナルが抽出できる可能性がある<sup>12)</sup>。地上水平風速(東西・南北)については、数値気象モデルで予測された降水強度について地形性の降水を過大評価する傾向の改善につながることを期待して導入した。



図-1 数値気象モデルの計算領域。  
倉上ら<sup>12)</sup>図-2を改良。

#### ・深層学習による数値気象モデル予測補正手法構築と U-Net を導入した改良(倉上ら<sup>12),13)</sup>)

本研究では、数値気象モデルの降水強度と地上鉛直風速の予測結果を入力データとして深層学習手法による補正を行い、同一時刻・同一セルの降水強度分布を出力する。数値気象モデルの予測については2001年の夏季(8月1日~8月31日)について行った結果を用いる。

まず、同様の深層畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network (CNN); LeCun et al.<sup>14)</sup>他)を用いて補正手法を構築した(補正手法1;図-2)。畳み込みニューラルネットワークは人間の視神経を模して、パターンを認識するフィルタとして機能する畳み込み層と、パター

のずれを吸収する役割を持つプーリング層を組み合わせる構成される。畳み込みニューラルネットワークは画像のような2次元データに適しており、各セルの情報を学習させる際に、周辺のセルの情報を考慮した学習が可能なネットワーク構造である。

本研究では入力層（ノード数  $40 \times 40$ ）と出力層（ノード数 1600）、中間層として、2層の畳み込み層とプーリング層、1層の全結合層（ノード数 100）からなる畳み込みニューラルネットワークを構築した。第一層目の畳み込み層ではフィルタ数を 10 とし、フィルタサイズは  $10 \times 10$  とした。第二層目の畳み込み層ではフィルタ数を 5 とし、フィルタサイズは  $5 \times 5$  とした。各プーリング層には、プーリングサイズ  $2 \times 2$  の max プーリングを用いた。本研究で設定する問題は連続的な入力データ（数値気象モデルによって予測された変数）を連続的な出力データ（気象庁解析雨量による降水量分布）へ変換する回帰問題に分類されるため、損失関数としては二乗誤差和を用いる。また、本研究では出力層の活性化関数として Rectified Linear Unit（ReLU：正規化線形関数）を採用した。

さらに本研究では、画像セグメンテーションにおける複数のショートカット接続を持つ深層畳み込みニューラルネットワーク（U-Net; Ronneberger et al.<sup>15)</sup>他）の適用例を参考にし、図-3 のように U-Net を構築した（補正手法 2）。U-Net は、畳み込みニューラルネットワークの一種であり、画像に対してピクセル単位でクラス分類を行う画像セグメンテーションと呼ばれる精緻な画像認識技術に用いられる。U-Net は畳み込み演算を行う層であるエンコーダ部と、逆畳み込み演算を行う層であるデコーダ部に分かれ、エンコーダの各層での出力をデコーダの対応する各層に連結する複数のショートカット接続を含む。U-Net はエンコーダとデコーダを経由して平滑化された情報と同時に、ショートカット接続によりエンコーダの途中から空間解像度の高い情報を伝達した学習が可能となる。

エンコーダ部（畳み込み層）は 10 層、デコーダ部（逆畳み込み層）は 10 層で、ショートカット接続により、エンコーダ部 3 層目とデコーダ部 8 層目、エンコーダ部 6 層目とデコーダ部 5 層目、エンコーダ部 9 層目とデコーダ部 2 層目を連結させた。全てのフィルタ数は 20 とし、フィルタサイズは  $3 \times 3$  とし、重みの初期値には He の正規分布を用いた。また、バッチサイズを 128 としたミニバッチ法によりエポック数 500 で学習を行った。

補正手法 1・2 とともに学習過程の平均・標準偏差を用いて入力・教師データを標準化し、出力値について教師データの平均値・標準偏差を用いて降水量に変換する後処理を行った。損失関数としては二乗誤差和を用い、畳み込み層、逆畳み込み層の活性化関数は恒等写像を用いる。学習手法には学習率 0.001 で Adam<sup>16)</sup>を用いた。詳細な計算設定は倉上ら<sup>13)</sup>と同様である。

・U-Net を導入した補正手法のさらなる改良（松田ら<sup>17)</sup>）

本研究では、数値気象モデルの降水強度と地上鉛直風速のみならず、地上水平風速についても入力するように補正手法を拡張した。また、学習・検証に用いる数値気象予報モデルについて、データセットについて、2001 年の夏季（8 月 1 日～8 月 31 日）に加えて 2011 年夏季（8 月 1 日～9 月 7 日）も活用するよう拡張した。

データ拡張手法として倉上ら<sup>12), 13)</sup>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（ $160 \times 160$  セル；空間解像度 2km）に対して、ウィンドウサイズ  $40 \times 40$  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

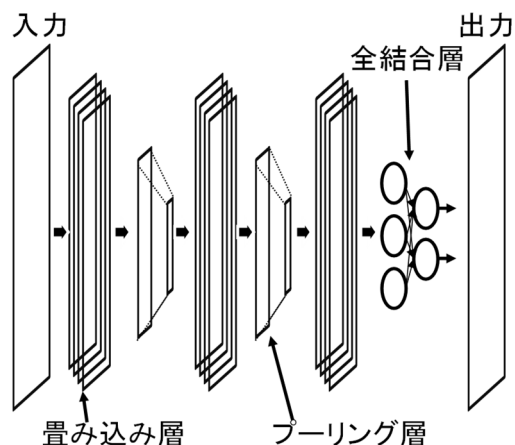


図-2 深層畳み込みニューラルネットワーク（CNN）の構造（補正手法 1）。倉上ら<sup>12)</sup> 図-1 を引用。

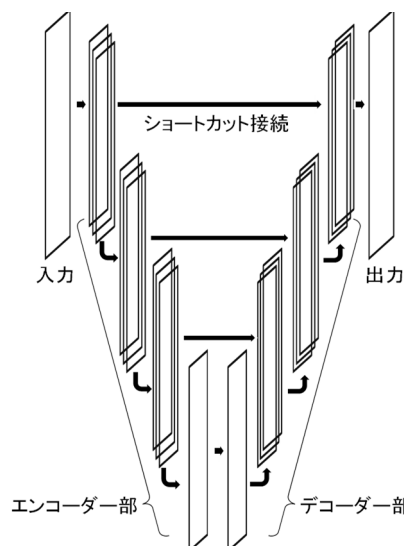


図-3 ショートカット接続を持つ深層畳み込みニューラルネットワーク（U-Net）の構造（補正手法 2）。倉上ら<sup>13)</sup> 図-2 を引用。

データ拡張で  
平行移動する際の  
ストライド

U-Net への入力：  
 $40 \times 40$  セル

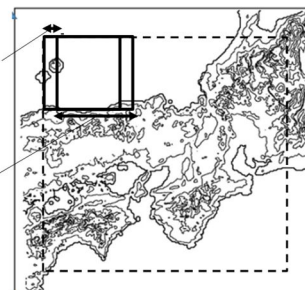


図-4 データ拡張で変更するストライドの概要（松田ら<sup>17)</sup>に基づく）。

呼ぶ(図-4)。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、先行研究と同様にストライド8(補正手法3)に加えて、ストライドを40セルに拡大し(補正手法4)、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よって設定する。ストライド8ではエポック数500、ストライド40ではエポック数を2500に設定し計算を行う。

#### 4. 研究成果

・深層学習による数値気象モデル予測補正手法構築とU-Netを導入した改良(倉上<sup>12)</sup>、<sup>13)</sup>)

補正手法1について、2001年8月22~31日の気象モデル予測結果を入力データとした学習を行った。次に、構築した深層学習手法へ推論・検証用データ(2001年8月1~21日)を入力し、深層学習手法による補正前後の降水量2次元分布について、気象庁解析雨量と比較した。比較に際しては、1mm/hr及び5mm/hrを閾値としたCritical Success Index(CSI)(降水有の的中セル数/観測・予測とも降水無しセルを除いた総セル数;スレトスコアとも呼ばれる)を算出した。

数値気象モデルによる降水量予測結果と気象庁解析雨量との比較によって得られた推論・検証用データ全体に対する平均CSIは1mm/hr及び5mm/hrに対しそれぞれ0.19,0.03となった。それに対し、手法1で補正された降水量分布と気象庁解析雨量とを比較した平均CSIは1mm/hr及び5mm/hrに対しそれぞれ0.30,0.04となった。手法2で補正された降水量分布と気象庁解析雨量とを比較した平均CSIは1mm/hr及び5mm/hrに対しそれぞれ0.34,0.05となり、補正手法2でより大きな改善が見られる。

深層学習手法による補正前後でCSIが大きく改善した事例として、台風11号に伴う降水が見られた2001年8月21日1時が抽出された。この事例について画像毎のCSIを算出したところ、閾値1mm/hrに対して数値気象モデル予測結果で0.14、補正手法1で0.88、補正手法2で0.87となった。閾値5mm/hrに対しては数値気象モデル予測結果で0.08、補正手法1で0.36、補正手法2で0.41となった。特に閾値5mm/hrについて補正手法2で大きくCSIが向上しており、強い降水域をより適切に表現可能となったと考えられる。

・U-Netを導入した補正手法のさらなる改良(松田<sup>17)</sup>)

さらに、U-Netへ数値気象モデル出力を入力する際のデータ拡張手法について検討した。これまでの手法では境界付近を除いた数値気象モデル出力(160セル×160セル)について40セル×40セルに分割し、ストライドを8セルとして平行移動するデータ拡張を適用していた。このストライドを20セル、40セルと変化させた実験を行った。

本研究における学習過程では、2001年8月1日~31日と2011年8月1日~19日の数値気象モデル計算結果を用いる。検証(ハイパーパラメータ調整)過程では、2011年8月20日、8月25日、9月1日の3日間、推論過程では、検証過程で使用した日を除いた2011年8月20日~2011年9月7日の計算結果を用いる。評価に際しては、CSIに加えてProbability of Detection(POD;観測・予測とも降水有のセル数/観測で降水有のセル数;捕捉率とも呼ばれる)・False Alarm Rate(FAR;観測で降水無・予測で降水有のセル数/予測で降水有のセル数;空振り率とも呼ばれる)についても算出した。

推論過程について、特に台風による降水が見られた期間(2011年9月2日~2011年9月7日)における全画像を平均した評価指標の値を検討する。POD(1mm/hr)において、補正手法4(ストライド40)では0.944と補正手法3(ストライド8)での0.815及び補正前の0.412と比較して数値が大きく上昇した。POD(5mm/hr)においても、補正手法4では0.337と補正手法3での0.251及び補正前の0.210と比較して数値が上昇した。また、CSI(1mm/hr)においても補正手法4では0.664と補正手法3の0.610及び補正前の0.412と比較して数値が上昇し、CSI(5mm/hr)においても補正手法4では0.223と、補正手法3の0.192及び補正前の0.210と比較して数値が上昇した。

以上より、ストライドを大きくすることによって強い降水域(5mm/hr)の範囲が拡大し、CSI、PODが向上したと考えられ、台風による降水に対しては補正手法4で最も観測値に近い結果が得られた。

#### ・結論

本研究では、数値気象モデルによる予測結果を入力して同一時刻の降水強度分布を出力する手法を開発し、さらにショートカット接続を含む深層学習手法(U-Net)を導入し検討を行った。開発した手法の模式図を図-5に示す。

深層学習手法をU-Netに変更した補正手法2では、深層畳み込みニューラルネットワークを使用した補正手法1と比較して特に台風に伴う降水事例のような、空間スケールの大きい(一つの降水域が直径数十km程度の範囲)降水では、補正によって周囲よりも降水強度が大きな領域(5mm/hr,10mm/hr以上)を表現可能になり、CSIを用いた定量的な検討でもそれが示された。

さらに本研究では、深層学習を用いた短期降水予測補正手法にデータ拡張が与える影響について、異なるストライドの大きさを定量的評価を行った（補正手法3・4）。その結果ストライドを大きくした補正手法4において、台風による降水事例では1 mm/hr, 5 mm/hr 共にCSIが上昇した。このことにより、ストライドを大きくすることによって、数値気象モデル出力結果では捉えることが難しかった降水を捉えられる可能性があることが示唆された。

このことから、補正手法4を用いることで、減災で重要となる強雨域の予測を改善できる可能性が示唆された。一方で、短時間強雨等の降水事例に対しては更なる改善の必要があると考えられる。今後は、入力データ、ネットワーク構造及び計算設定について検討を深め、短期降水予測補正手法の更なる信頼性向上を図る必要がある。

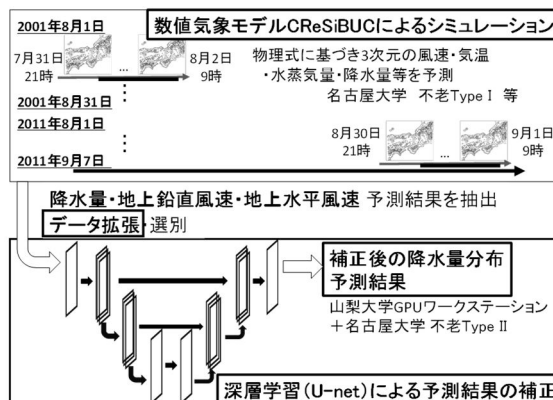


図-5 本研究で構築した深層学習による数値気象モデル予測結果補正手法。

## 参考文献

- 1) 内閣府: 令和元年台風第 19 号等に係る被害状況等について(令和 2 年 2 月 12 日 9:00 現在), 2020 年 3 月 22 日閲覧.
- 2) 一言正之, 櫻庭雅明, 清雄一: 深層学習を用いた河川水位予測手法の開発, 土木学会論文集 B1 (水工学), 72 (4), pp. I\_187-I\_192, 2016.
- 3) 板谷知明, 芳村圭: 深層学習を用いた水文気象場のダウンスケーリング手法の開発, 土木学会論文集 B1 (水工学), 74 (4), pp. I\_151-I\_156, 2018.
- 4) 鈴木紹晟, キムスンミン, 立川康人, 市川温, 萬和明: 豪雨の発生予測に対する畳み込みニューラルネットワークの応用, 土木学会論文集 B1 (水工学), 74 (5), pp. I\_295-I\_300, 2018.
- 5) Shi, X., Chen, Z., Wang, H., Yeung, D.-Y., Wong, W., Woo, W.: Convolutional LSTM Network: A Machine Learning Approach for Precipitation Nowcasting, Proceedings of the 28th International Conference on Neural Information Processing Systems, 1, pp.802-810, 2015.
- 6) 瀬上哲秀: 第 1 章 数値予報アプリケーション, 日本気象予報士会 平成 29 年度「気象技能 Web 講習」資料, 2018 年 6 月 20 日閲覧.
- 7) Souma, K., et al.: 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.
- 8) Souma, K., et al.: 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.
- 9) Moteki, Q., et al.: Estimation for Effects of Existence of Urban on Development of Cumulonimbus Clouds Using Atmosphere-Land Coupled Model of CReSiBUC, Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, No.48 C, pp.197-208, 2005.
- 10) Ikebuchi, S., Tanaka, K., Ito, Y., Moteki, Q., Souma, K., Yorozu, K.: Investigation of the effects of urban heating on the heavy rainfall event by a cloud resolving model CReSiBUC Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, No.50 C, pp.105-111, 2007.
- 11) 高山拓哉, 相馬一義, 末次忠司: 雲解像気象モデルを用いた都市発展が京阪神地方の気温に与える影響評価, 水文・水資源学会 2016 年度研究発表会要旨集, pp.110-111, 2016.
- 12) 倉上健, 相馬一義, 宮本崇, 古屋貴彦, 馬籠純, 石平博: 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.
- 13) 倉上健, 相馬一義, 宮本崇, 古屋貴彦, 馬籠純, 石平博: 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.
- 14) LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., and Haffner, P.: Gradient-based learning applied to document recognition, Proceedings of the IEEE, 86 (11), pp.2278-2324, 1998.
- 15) Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T.: U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation, arXiv:1505.04597, 2015.
- 16) Kingma, D. P., Ba, J. L.: Adam: A Method for Stochastic Optimization, Proceedings of the 3rd International Conference on Learning Representations (ICLR), arXiv:1412.6980v9, 2015.
- 17) 松田聖矢, 倉上健, 相馬一義, 他: 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, 印刷中.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 相馬一義, 小林勇太, 武藤慎一, 石平博, 馬籠純, 吉田純司	4. 巻 29
2. 論文標題 山梨県の農地における浸透特性の計測と維持管理が与える影響に関する基礎的検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第29回地球環境シンポジウム講演集	6. 最初と最後の頁 77-80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 宮本崇	4. 巻 2
2. 論文標題 物理的方法論とデータ科学の統合による科学パラダイムの深化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 140-151
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/jsceiii.2.J2_140	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 三浦奈都, 宮本崇, 天方匡純, 安野貴人, 石井明	4. 巻 2
2. 論文標題 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	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 933-943
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/jsceiii.2.J2_933	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 倉上健, 相馬一義, 宮本崇, 古屋貴彦, 馬籠純, 石平博	4. 巻 76 (5)
2. 論文標題 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	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集G (環境)	6. 最初と最後の頁 I_471-I_478
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 野依亮介, 相馬一義, 高山拓哉, 馬籠純, 石平博, 田中賢治	4. 巻 76 (5)
2. 論文標題 気象予測への活用に向けた日本全域の人工排熱量分布推定に関する検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集G (環境)	6. 最初と最後の頁 I_81-I_88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takahiko Furuya, Xu Hang, Ryutarou Ohbuchi, Jinliang Yao	4. 巻 8
2. 論文標題 Convolution on Rotation-invariant and Multi-scale Feature Graph for 3D Point Set Segmentation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 140250-140260
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2020.3012613	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Takahiko Furuya, Ryutarou Ohbuchi	4. 巻 138
2. 論文標題 Transcoding across 3D shape representations for unsupervised learning of 3D shape feature	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Pattern Recognition Letters	6. 最初と最後の頁 146-154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.patrec.2020.07.012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 宮本 崇, 浅川 匡, 久保 久彦, 野村 泰稔, 宮森 保紀	4. 巻 1巻 J1号
2. 論文標題 防災応用の観点からの機械学習の研究動向	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 242-251
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/jsceiii.1.J1_242	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 宮本 崇	4. 巻 1巻 J1号
2. 論文標題 パターン認識と法則発見のデータサイエンス	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 270-277
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/jsceiii.1.J1_270	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 倉上健, 相馬一義, 宮本崇, 古屋貴彦, 馬籠純, 石平博	4. 巻 75 (5)
2. 論文標題 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	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集G (環境)	6. 最初と最後の頁 I_33-I_39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takahiko Furuya, Ryutarou Ohbuchi	4. 巻 Vol.78
2. 論文標題 Feature set aggregator: unsupervised representation learning of sets for their comparison	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Multimedia Tools and Applications	6. 最初と最後の頁 35157-35178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11042-019-08078-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 上西 和樹, 古屋 貴彦, 大淵 竜太郎	4. 巻 Vol.60, No.7
2. 論文標題 敵対的生成ネットワークを用いた3次元点群形状特徴量の教師なし学習	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 1315-1324
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -



1. 著者名 J.M.M.U. Jayapadma, K. Souma, H. Ishidaira, J. Magome, T.N. Wickramaarachchi	4. 巻 386
2. 論文標題 Projection of climate change effects on flood inundation in the Gin River basin, Sri Lanka	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proceedings of IAHS	6. 最初と最後の頁 33-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/piabs-386-33-2024	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 J.M.M.U. Jayapadma, K. Souma, H. Ishidaira, J. Magome, T.N. Wickramaarachchi	4. 巻 17
2. 論文標題 The Effect of Incorporation of Embankment Information for Flood Simulation of the Gin River, Sri Lanka	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Disaster Research	6. 最初と最後の頁 475-486
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jdr.2022.p0475	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 J.M.M.U. Jayapadma, K. Souma, H. Ishidaira, J. Magome, T.N. Wickramaarachchi	4. 巻 -
2. 論文標題 IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON FLOODS IN GIN RIVER BASIN, SRI LANKA	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 19th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS 2022)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/9789811275449_0021	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 J.M.M.U. Jayapadma, T.N. Wickramaarachchi, G.H.A.C. Silva, H. Ishidaira, J. Magome, K. Souma	4. 巻 -
2. 論文標題 IMPACT OF LAND USE CHANGE ON FLOOD PEAK DISCHARGES AND RUNOFF VOLUMES AT THE CATCHMENT SCALE	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 18th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS 2021)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/9789811260100_0027	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Furuya Takahiko, Ohbuchi Ryutarou	4. 巻 10
2. 論文標題 DeepDiffusion: Unsupervised Learning of Retrieval-Adapted Representations via Diffusion-Based Ranking on Latent Feature Manifold	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 116287-116301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2022.3218909	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Furuya Takahiko, Liu Wujie, Ohbuchi Ryutarou, Kuang Zhenzhong	4. 巻 39
2. 論文標題 Hyperplane patch mixing-and-folding decoder and weighted chamfer distance loss for 3D point set reconstruction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Visual Computer	6. 最初と最後の頁 5167-5184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00371-022-02652-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計21件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 平野英孝, 相馬一義, 宮本崇, 石平博, 馬籠純, 黒田晴, 倉上健
2. 発表標題 富士川周辺地域における深層学習を活用した土砂災害危険度現況推定手法の構築とその評価
3. 学会等名 水文・水資源学会 / 日本水文科学会2021年度研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuuki Myo, Kazuyoshi Souma, Hiroshi Ishidaira, Jun Magome, Kosei Yamaguchi, Kenji Tanaka
2. 発表標題 Development of a Detailed Land Surface State Estimation Method for Weather Prediction
3. 学会等名 18th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名	J.M.M.U. Jayapadma, T.N. Wickramarachchi, G.H.A.C. Silva, H. Ishidaira, J. Magome, and K. Souma
2. 発表標題	IMPACT OF LAND USE CHANGE ON FLOOD PEAK DISCHARGES AND RUNOFF VOLUMES AT THE CATCHMENT SCALE
3. 学会等名	18th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS 2021) (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	刈込喜大, 大淵竜太郎, 古屋貴彦
2. 発表標題	自己注意機構を用いた3次元点群形状の解析
3. 学会等名	画像の認識・理解シンポジウム (MIRU) 2021
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	和智知幸, 西川哲平, 古屋貴彦, 大淵竜太郎
2. 発表標題	向きずれの反復最小化による3次元形状向き合わせ
3. 学会等名	第23回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU 2020)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	倉上健, 相馬一義, 宮本崇, 古屋貴彦, 馬籠純, 石平博
2. 発表標題	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
3. 学会等名	第28回地球環境シンポジウム
4. 発表年	2020年

1. 発表者名 野依亮介, 相馬一義, 高山拓哉, 馬籠純, 石平博, 田中賢治
2. 発表標題 気象予測への活用に向けた日本全域の人工排熱量分布推定に関する検討
3. 学会等名 第28回地球環境シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 名生有希, 相馬一義
2. 発表標題 気象予測への活用に向けた詳細な地表面状態量予測手法の構築に関する検討
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 倉上健
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第27回地球環境シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 相馬一義
2. 発表標題 気象予測への活用に向けた日本全域の人工排熱量分布推定に関する検討
3. 学会等名 第27回地球環境シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeru Kurakami
2. 発表標題 A Deep-Learning Method to Correct the Output of a Numerical Weather Prediction Model Used for Short-Term Precipitation Forecast
3. 学会等名 the 7th SURF Workshop on River Basin Environment and Management (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 相馬一義
2. 発表標題 富士川周辺地域における素因と誘因を考慮した機械学習による土砂災害危険度推定
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 倉上健
2. 発表標題 短期気象予測における降水量ガイダンスへの深層学習の活用に関する検討
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青木 祐樹, 古屋 貴彦, 大淵 竜太郎
2. 発表標題 特徴からの形状再構成で教師なし学習する3次元形状特徴量
3. 学会等名 第25回画像センシングシンポジウム (SSI 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村松 恭平, 古屋 貴彦, 大淵 竜太郎
2. 発表標題 3次元点群のためのmixupデータ拡張を用いた形状識別DNNの効果的学習
3. 学会等名 第25回画像センシングシンポジウム (SSII 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J.M.M.U. Jayapadma, K. Souma, H. Ishidaira, J. Magome, T.N. Wickramaarachchi
2. 発表標題 Impact of Climate Change on Flood Peak Discharges and Inundated Area in the Gin River Basin, Sri Lanka
3. 学会等名 19th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平野 英孝, 相馬 一義, 宮本 崇, 石平 博, 馬籠 純, 黒田 晴, 倉上 健
2. 発表標題 富士川周辺地域における素因と誘因を考慮した土砂災害危険度現況推定手法の構築
3. 学会等名 第3回 AI・データサイエンスシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 J.M.M.U. Jayapadma, Kazuyoshi Souma, Hiroshi Ishidaira, Jun Magome, and T.N. Wickramaarachchi
2. 発表標題 Projection of climate change effects on flood inundation in the Gin River basin, Sri Lanka
3. 学会等名 The 9th International Conference on Flood Management (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松本楓土, 田中杜, 相馬一義, 花土弘, 川村誠治, 金丸佳矢, 山口弘誠, 村瀬公崇, 中川勝広
2. 発表標題 地デジ放送波を用いた神戸市における晴天日の水蒸気量変動推定に関する検討
3. 学会等名 第31回地球環境シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松田聖矢, 倉上健, 相馬一義, 蘇田憲司, 小島光平, 小畑宏夢, 宮本崇, 馬籠純, 石平博
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第31回地球環境シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野村俊介, 平野英孝, 相馬一義, 宮本崇, 石平博, 馬籠純, 倉上健
2. 発表標題 素因と誘因を考慮した土砂災害危険度現況推定の2022年台風15号への適用
3. 学会等名 第31回地球環境シンポジウム
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究紹介ホームページ(相馬)  <a href="https://www.ccn.yamanashi.ac.jp/~ksohma/">https://www.ccn.yamanashi.ac.jp/~ksohma/</a></p>
--

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	石平 博  (Ishidaira Hiroshi)  (80293439)	山梨大学・大学院総合研究部・教授    (13501)	
研究分担者	馬籠 純  (Magome Jun)  (70377597)	山梨大学・大学院総合研究部・准教授    (13501)	
研究分担者	宮本 崇  (Miyamoto Takashi)  (30637989)	山梨大学・大学院総合研究部・准教授    (13501)	
研究分担者	古屋 貴彦  (Furuya Takahiko)  (00770835)	山梨大学・大学院総合研究部・助教    (13501)	

## 7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

## 8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
スリランカ	University of Ruhuna		
インドネシア	Brawijaya University	Sultan Agung Islamic University	