

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18903

研究課題名（和文）人工知能の深層学習による短期降雨予測への挑戦

研究課題名（英文）Deep Learning of Artificial Neural Network for Short-term Rainfall Forecasting

研究代表者

Kim Sunmin (Kim, Sunmin)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：10546013

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、人工神経回路網(ANN)の深層学習(Deep Learning)アルゴリズムを活用して気温、気圧、水蒸気量などの気象因子情報を縮約し、その特徴を結びつけることにより、都市地域を対象として数時間先の降雨予測が可能な新たな概念の短期降雨予測モデルを作成した。画像処理の分野で高い成果を出しているCNNおよびConvEDアルゴリズムを利用し、アメダスの地点雨量とひまわり衛星観測情報を活用して30分先を目標とした短期降雨予測モデルの開発と実験を行なった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は「ANNの深層学習のアルゴリズムは、物理モデルの代わりとして定量的な答えを精度よく出せるのか」の疑問に答えを探すために、そして「ANNの深層学習を物理モデルの代わりとして活用するためにはどのような構造や学習アルゴリズムが必要なのか」を一步早く調べてその知識を活用するために企画された。特に、理学・工学の中で最も難しいテーマの一つである短時間降雨予測を対象にCNNとConvEDアルゴリズムを活用して実験を行い、深層学習のアルゴリズムは複雑な自然現象を表現することが十分可能であることを確認した。深層学習のアルゴリズムを活用して、新たな概念の予測モデルを作成することができた。

研究成果の概要（英文）：This study investigated the applicability of convolutional neural network (CNN) and convolutional encoder-decoder network (ConvED) to develop a new concept of rainfall forecasting model. CNN and ConvED are well known machine learning algorithm that is specialized in image recognition.

In this study, three-dimensional spatiotemporal data was created with the time series of multiple atmospheric variables from Amedas point gauged data and Himawari satellite observation data. This three-dimensional data array (time-space-variable) is treated as an image with multiple color channels, and it is utilized into CNN and ConvED algorithms to predict rainfall occurrence and rainfall amount in 30 min lead-time.

研究分野：水工学

キーワード：降雨予測 深層学習 CNN

1. 研究開始当初の背景

新たな深層学習アルゴリズムとアップグレードされた計算機能力、さらに蓄積された情報・データにより、2010年代に入って ANN は新たな展開を作っている。ANN の深層学習アルゴリズムは、複数の隠れ層を学習可能にすることのみならず、関連性がありゆる様々な入力情報を与えればその中で必要な情報だけ取り上げてその特徴を圧縮した上で出力との最適な関連性を結びつくものである。しかし、ANN が音声や映像認識などの「定性的」分類の答えではなく、工学の計算結果に当てはまる「定量的」答えを精度よく出せるのかはまだ明らかになっていない。

このような現状から、本研究は「ANN の深層学習のアルゴリズムは、物理モデルの代わりとして定量的な答えを精度よく出せるのか」の疑問に答えを探すために、そして「ANN の深層学習を物理モデルの代わりとして活用するためにはどのような構造や学習アルゴリズムが必要なのか」を一步早く調べてその知識を活用するために企画された。

2. 研究の目的

本研究では、理学・工学の中で最も難しいテーマの一つである短時間降雨予測を対象に ANN の様々なアルゴリズムをテストして、ANN の深層学習原理をより深く把握することにより ANN の計算分野での活用性を広げることが目的である。ANN の深層学習のアルゴリズムを有効活用すれば、今までの ANN で実現できなかったより複雑な自然現象を表現することが十分可能になる。そしてその原理をより深く理解し、工学の計算分野で最適な活用案を探せば、今までなかった新たな概念の物理モデルの作成まで導くかもしれない。

具体的には、人工神経回路網(Artificial Neural Network; ANN)の深層学習(Deep Learning)アルゴリズムを活用して気温、気圧、水蒸気量などの気象因子情報を縮約し、その特徴を結びつけることにより、都市地域を対象として数時間先の降雨予測が可能な新たな概念の短期降雨予測モデルを作成する。また、深層学習を活用したモデルの作成に止まらず、様々な形の深層学習構造と入力の組み合わせを用いて学習アルゴリズムの特徴を調べることにより、定量的な値として出力が要求される工学計算分野での ANN の活用性を広げる。

3. 研究の方法

本研究では、画像処理の分野で高い成果を出している CNN を利用する。気象モデルの出力や気象観測の多くが 3次元あるいは 2次元の配列情報であることから、気象データを利用する上で、CNN の利用が効果的だと考えられる。特に、降水量を含む複数の気象変数を入力として短時間内の予測を行い、降雨の新規発生や消滅などの挙動を予測できるかを検証するとともに、降水量以外の変数が予測に与える影響を分析する。ここでは、気象データに対する CNN の応用として、画像認識を基にした特定の観測地点での降雨発生予測を行った。また、CNN の層構造を応用した Convolutional Encoder-Decoder Network(以下、ConvED と記す)と呼ばれるモデルを利用して、画像生成を基にした降雨分布の直接的な予測にも挑戦している。

CNN は画像処理で利用されるアルゴリズムであり、対象とするデータは RGB などの信号値である。一方、水文気象データは値自体が物理的意味を持つデータであり、CNN を応用するにあたってその適用性を十分に検討する必要がある。降雨発生予測においては複数のデータ形式と観測情報を入力値として扱い、結果を比較することで CNN の適用性を検討する。また、降雨分布予測においては、従来的な利用用途とは異なる将来の変数分布の予測に ConvED が適用可能であるかを検討する。

4. 研究成果

複数の気象変数の同時観測が存在することから、図1で示しているように、アメダス気象観測情報とひまわり8号衛星画像を入力データに利用した。ここで、アメダスによる観測は単一の数値、ひまわりによる観測は2次元データであることから、任意の配列データを作成することで、CNNの利用を可能にした。まず、アメダスの地点観測を配列データとして活用し、CNNを直接適用した(実験1)。そしてアメダスの地点観測を空間情報として加工してひまわり8号衛星画像と共にCNNへ適用した(実験2)。これらは定性的な降雨予測であるが、最後に出力データにも2次元配列を設定することで、降雨分布を直接予測する定量的な予測にも挑戦した(実験3)。実験の対象地域は、京都市、大阪市、東京市を設定した。

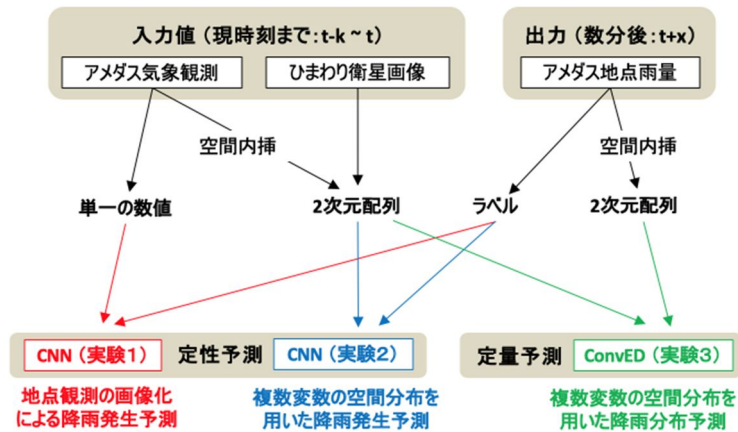


図1. 短時間降雨予測のために本研究で行なった実験の流れ

実験1では、アメダスによる地点観測から作成した疑似的な画像データを入力データとして、CNNによる降雨発生予測を行った。実験1で開発したモデルの概念を図2で示している。基本的なニューラルネットワークなどの他のモデルの予測結果と比較したところ、CNNを利用した予測では、予測が外れた誤警報の回数は増えるものの、より多くの降雨を捉える予測となっていることを確認した。また、入力データの降雨状況から予測結果を分析したところ、現時刻で降雨が存在しない、降雨発生時の予測は難しいと判明した。京都、大阪、東京の3地点を対象とした予測結果を比較したところ、全ての地点で降水量の情報が予測に対して強い影響を持っていたが、予測対象地点によっては他の変数が予測に効果を示していた。

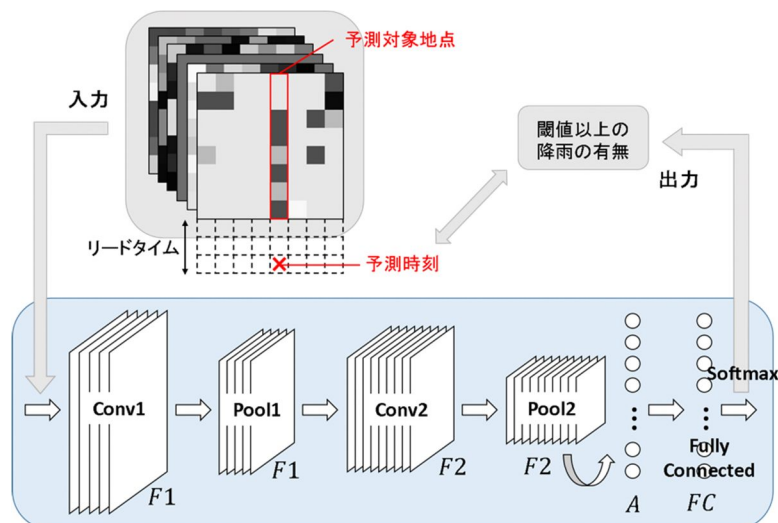


図2. 実験1と2で活用したCNNモデルと入力データの作成概念

実験 2 では、予測精度の向上を目的に実験 1 のモデルを用いて、各変数の空間分布を入力データとして、CNN による降雨発生予測を行った。地上だけでなく大気上空の状態を考慮するため、ひまわり 8 号による衛星画像も入力データとして利用し、特定の気象変数の季節影響も考慮して、数分間の観測情報から作成した差分値も入力データに利用した。観測情報をそのまま利用した場合と比較した結果、差分値の利用は予測に大きな効果を示さず、CNN の特徴抽出は観測値の季節変化にも対応可能であることが示唆された。また、入力データの値の範囲や画像認識との違いを考慮して構造の異なる CNN も予測に利用したが、画像認識に利用される既存の CNN が、降雨発生予測に対して十分な予測精度を持っていることを確認した。衛星観測の情報が予測に効果を示しており、水蒸気バンドや現業での利用用途の多いバンドが予測に対して十分な影響を持っていることを確認した。複数の基準から予測精度の良いモデルを取り上げて予測結果を分析した結果、衛星観測をはじめとした適切な変数を入力データに利用すれば、誤警報の少ない汎用的な予測を行うことができると判明した。

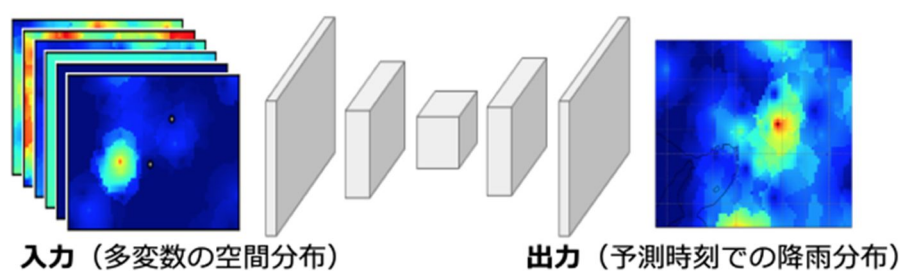


図 3 . 実験 3 で活用したモデルの概念

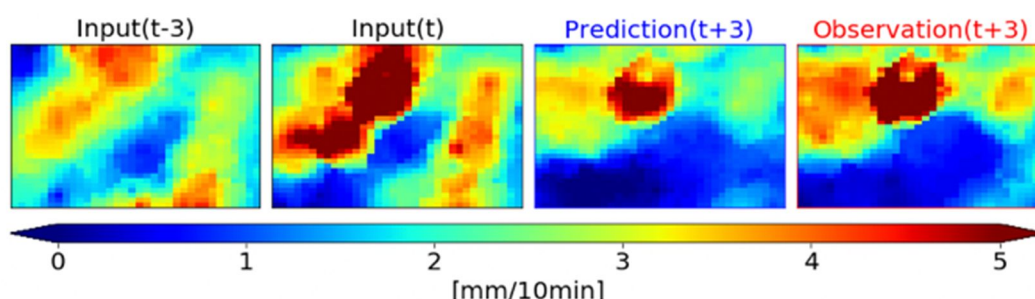


図 4 . 実験 3 で得られた予測結果と観測との比較

実験 3 では、実験 2 で活用したデータを利用して、Convolutional Encoder-Decoder Network (ConvED) と呼ばれるモデルを用いて数十分後の降雨分布の直接的な予測に挑戦した。ConvED が一般的に利用される画像生成同様に、深い層構造による特徴抽出が予測精度の向上に効果を示していた。降雨発生予測とは異なり、衛星観測のみを入力データに利用した場合には相対的に予測精度が低く、利用する変数により抽出される特徴や出力値がわずかに異なることを確認した。学習に利用したデータに類似したデータに対しては十分な予測精度が確認できたが、学習に利用していないデータに対しては強雨域が予測されないなどの課題が見受けられた。

本研究ではアメダスの地点観測を空間内挿したデータを予測に利用したが、モデルの適用性を詳細に検討するためにも、気象レーダーをはじめとした他の観測情報や解像度の高いデータを用いたさらなる実験が必要となる。また、画像内の全ての画素を均等に扱う画像処理に基づいた既存の学習アルゴリズムでは、地域特性や強雨域を考慮するのは難しいと思われる。そのため、短時間降雨予測に対して CNN に基づく深層学習手法を応用する上では、降雨予測に適したアルゴリズムや学習法の導入や開発といったアプローチも重要であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 鈴木紹晟・キムスンミン・立川康人・市川温・萬和明	4. 巻 74
2. 論文標題 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	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_295-I_300
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2208/jscejhe.74.5_I_295	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 Sunmin Kim and Yasuto Tachikawa	4. 巻 73
2. 論文標題 Real-Time River-Stage Prediction With Artificial Neural Network Based On Only Upstream Observation Data	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_1375-I_1380
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2208/jscejhe.74.I_1375	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 滝口修司・キムスンミン・立川康人・市川温・萬和明	4. 巻 73
2. 論文標題 ニューラルネットワークを用いた積雪地域の河川流量予測における重要入力因子の抽出	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_877-I_881
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2208/jscejhe.74.I_877	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 Sumaiya TAZIN, Sunmin KIM, Yasuto TACHIKAWA	4. 巻 75
2. 論文標題 Real time river-stage prediction by ANN with observed rainfall and river-stage information	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1(Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_145-I_150
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 Moonsun PARK, Sunmin KIM, Tsuguaki SUZUKI, Yasuto TACHIKAWA	4. 巻 75
2. 論文標題 Sensitivity analysis on data array and model structure of convolutional neural network for rainfall occurrence prediction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1(Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_1183-I_1188
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 -

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 1件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Sunmin Kim and Yasuto Tachikawa
2. 発表標題 Real-Time River-Stage Prediction with ANN Based on Upstream River-Stage Data
3. 学会等名 KWRA 2018 Annual Conference
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sunmin Kim and Yasuto Tachikawa
2. 発表標題 River-stage Prediction with Artificial Neural Network based on Only Upstream Observation Data
3. 学会等名 The 12th International Symposium on Climate Change and UAV Application on Floods and Droughts in Asia Region (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 滝口 修司, キム スンミン, 立川 康人, 市川 温, 萬 和明
2. 発表標題 ANNを用いた河川流量予測における入力データ選択に関する考察
3. 学会等名 水文・水資源学会研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sunmin Kim and Yasuto Tachikawa
2. 発表標題 Hydrologic Forecasting In Snow Dominent Region With Ann Algorithm
3. 学会等名 KWRA 2017 Annual Conference
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sumaiya TAZIN, Sunmin KIM, Yasuto TACHIKAWA
2. 発表標題 Real time river-stage prediction by ANN with observed rainfall and river-stage information
3. 学会等名 Annual Conference of Hydraulic Engineering, JSCE
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Moonsun PARK, Sunmin KIM, Tsuguaki SUZUKI, Yasuto TACHIKAWA
2. 発表標題 Sensitivity analysis on data array and model structure of convolutional neural network for rainfall occurrence prediction
3. 学会等名 Annual Conference of Hydraulic Engineering, JSCE
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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