

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01748

研究課題名（和文）極端気象予測を拓くビッグデータ機械学習基盤の研究

研究課題名（英文）Research on machine learning system toward prediction of extreme weather

研究代表者

建部 修見（Tatebe, Osamu）

筑波大学・計算科学研究センター・教授

研究者番号：70357432

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,300,000円

研究成果の概要（和文）：豪雨・突風・高温などの極端気象は人類に甚大な被害をもたらすが、その予測は極端気象に関する膨大な知識が必要である。本研究では、その知識を効率的に生成する機械学習基盤の構築を目的とする。これまで、豪雨予測などの知識獲得を想定して、全国の気象レーダで観測したデータと大気中の水分データを用い機械学習のための気象データの整備を行った。また、大規模学習データを用いた分散深層学習のための基盤研究を行った。学習データが大規模となると学習データの読込性能がネックとなるが、従来できなかった先読みを行うことによりこの問題を解決した。これにより、大規模な学習データを用いた分散深層学習の効率を上げることが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

豪雨・突風・高温などの極端気象は人類に甚大な被害をもたらすため、その予測を行うことは人類にとり重要な意味を持っている。その予測のためには、大規模観測データ、シミュレーションデータのデータ解析、機械学習が有効であると考えられている。本研究では、大規模データに対する分散深層学習を行うときに問題となる読込性能のボトルネックの解消を行っており、これにより分散深層学習の効率を上げることが可能となる。本成果は、極端気象の予測だけでなく、あらゆるビッグデータ解析における分散深層学習の効率を上げることとなり、極めて影響範囲が大きい。

研究成果の概要（英文）：Extreme weather like heavy rain, gust of wind and high temperature may damage the human race greatly, however, the prediction requires vast knowledge about the extreme weather. This research aims at developing a machine learning system to efficiently generate the knowledge. This research prepared the weather data to learn the knowledge for sudden heavy rain. It also proposed a prefetching strategy to overcome the poor read performance that causes the poor learning performance. It improves the performance of large-scale distributed deep learning.

研究分野：情報科学

キーワード：分散深層学習 極端気象 機械学習 並列I/O

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

気象の予測にはスーパーコンピュータによるシミュレーションが用いられるが、豪雨、突風、高温などの人類に甚大な被害をもたらす極端気象の予測については、まだシミュレーションで予測することは難しい。一方、膨大な気象データ、シミュレーションデータの分析により、科学的知識を得られることが明らかになってきた。図1に山形県酒田市における低気圧と突風の相関性について我々が調査した結果を示す。データ分析により極端気象の予測が可能であると考えられる。このデータ分析を行うためには、気象の大規模データの整備とデータ解析、特に大規模機械学習を行うシステムの研究開発が必要である。

#### 低気圧通過

急増：接近・通過時  
事例数 1190

急減：中心・通過後  
事例数 369

春・秋と  
冬の日本海側で多い

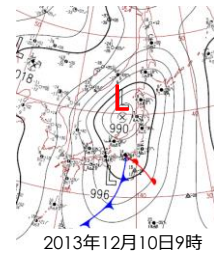


図1 低気圧と突風の関係 (酒田市)

### 2. 研究の目的

人類に甚大な被害をもたらす極端気象(豪雨・突風・高温)の予測には、極端気象に関する膨大な知識が必要である。この知識は観測・シミュレーションデータの分析により得られる可能性がある。しかし現在その知識は散発的である。本研究はその知識を効率的に生成する機械学習基盤の構築を目的とする。

### 3. 研究の方法

機械学習基盤の構築を行うため、気象・機械学習・データベース・高性能計算の研究者が連携する。本研究を実施するために、極端気象予測に必要な大規模気象データの整備、大規模気象データと極端気象予測とを結びつける機械学習手法の研究、大規模気象データによる深層機械学習基盤の研究を行う。大規模気象データの整備については、散在している気象観測データの収集、シミュレーションデータの整備など、極端気象予測に関係すると考えられるデータの整備を行う。機械学習については、気象データのさまざまなパラメータについて、極端気象との関連性を探る。大規模深層学習基盤の研究については、大規模気象データを想定して、大規模データによる分散深層学習を実施することを可能とするシステム研究を行う。

### 4. 研究成果

大規模な観測データを用いた機械学習を進めるための準備として、2006年から2018年までの全国合成レーダGPVと、海洋研究開発機構の協力により得た可降水量のデータを用い、機械学習のための気象データの整備を行った。このデータは、可降水量の急な変化と豪雨などの関連性を学習することを想定している。

一方で、実際に、大規模データを用いた学習を行う場合、学習の演算性能ではなく、大規模学習データの読込性能がボトルネックとなることが分かった。並列ファイルシステムに格納されている数多くの小規模データに対し、多数の計算ノードが一斉にランダムにアクセスすることにより、読込性能が低下してしまうためである。これまで、大規模学習データを用いた分散深層学習が行われているが、それらは読込性能のボトルネックを避けるため、あらかじめ計算ノードのローカルストレージにデータをステージングしている。あらかじめステージングして、必要な学習データをすべてローカルストレージに格納することにより、学習時にはローカルストレージへのアクセスとなり、並列ファイルシステムの読込性能の低下を回避することが可能となる。しかしながら、大規模入力データの場合はこのステージング時間が問題となる。例えば、学習時間が75秒で完了するものの、ステージング時間は10分ほどかかるという報告もある。ステージング時間が学習時間の8倍もかかっており、明らかにステージング時間がボトルネックとなっている。本研究では、このステージング時間を短縮、隠蔽するため、並列ファイルシステムのデータを計算ノードのローカルSSDにプリフェッチする方法を提案した。これまで、読込データはランダムに読込まれるため先の先までのプリフェッチは難しいと考えられていたが、分散機械学習フレームワークにプリフェッチ機構を組み込むことによりこの問題の解決を図った。この方式では、あらかじめ全データをステージングするのではなく、学習をしている間に以降の学習に必要なデータを次々読み込む。次の学習に必要なデータのプリフェッチはこれまでも行われているが、本手法では、プリフェッチを学習の進捗とは関係なく行っていく。従来の方法でも、理想的な場合は学習をしている最中に次の学習に必要なデータのプリフェッチが完了するが、大規模分散深層学習の場合、読込性能は一定ではなく、時々読込に時間がかかることがある。この現象はテールレイテンシとも呼ばれる。そのために、読込時間の方が学習時間より長くなり、読込時間が学習のボトルネックになってしまう。本提案手法では、学習の進捗とは関係なく次々とプリフェッチを行うため、テールレイテンシの影響を排除することに成功した。筑波大学のCygnusスーパーコンピュータにおいて評価を行い、プリフェッチを効果的に行うことにより、ノードローカルSSDにあらかじめステージングしておいたときとほぼ変わらない性能で大規模データの深層学習を行うことが可能であることを示した。

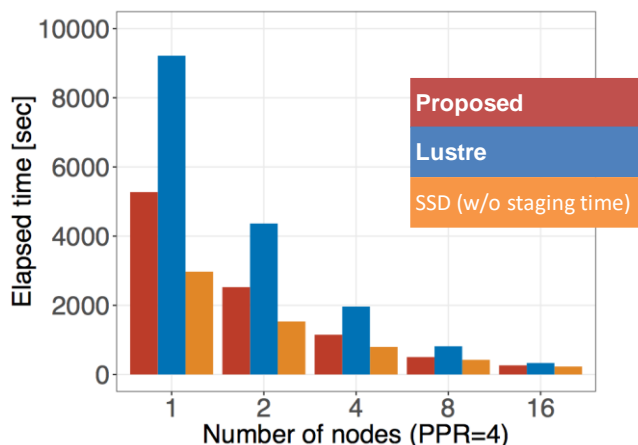


図 2 Cygnus スーパーコンピュータによるプリフェッチの性能

図 2 に Cygnus スーパーコンピュータにおける評価結果を示す。SSD は、あらかじめステージングを行ったときの処理時間で、この処理時間はステージング時間がプリフェッチ処理により完全に隠蔽されたときの最高値を示している。本プリフェッチを用いることにより、従来手法である並列ファイルシステムから次の学習データのプリフェッチする手法に比べ、1 ノードで 1.74 倍、16 ノードで 1.26 倍高速に処理することが可能となった。これにより、大規模データの深層学習において読込データのボトルネックを解消することができると考えられる。本成果は国際会議 6th IEEE/ACM International Conference on Big Data Computing, Applications and Technologies (BDCAT 2019) において発表した。

また、上記の方式では、計算ノードのローカルストレージに必要な全学習データが格納できることを想定している。一方で、学習データの規模が大きくなると、計算ノードのローカルストレージに必要な全データが格納できなくなる。この解決方法として、一度格納したデータを追い出して別のデータを格納する方法、別の計算ノードのローカルストレージに格納されているデータを直接アクセスする方法がある。この後者をを行うためには、計算ノードのローカルストレージに格納されているデータについて、他の計算ノードから共有する方法、ネットワークを用いて高速にアクセスする方法の研究開発が必要となる。これを実現するため、計算ノードのローカルストレージを用いた並列ファイルシステムの研究開発を行った。本研究開発にあたり、これまで研究開発を進めてきた Gfarm ファイルシステムをベースとした。Gfarm ファイルシステムは、もともと計算ノードのローカルストレージを用いた並列ファイルシステムであり、ノードローカルストレージの局所性を利用する特徴を持っている。この Gfarm ファイルシステムに対し、遠隔ファイルアクセスの高速化を行うため、これまでの通信プロトコルに対し上位互換となるように RDMA を用いた通信プロトコルの設計を行った。また、メタデータ性能を高速化するため、メタデータの冗長性と性能のトレードオフについて評価を行った。

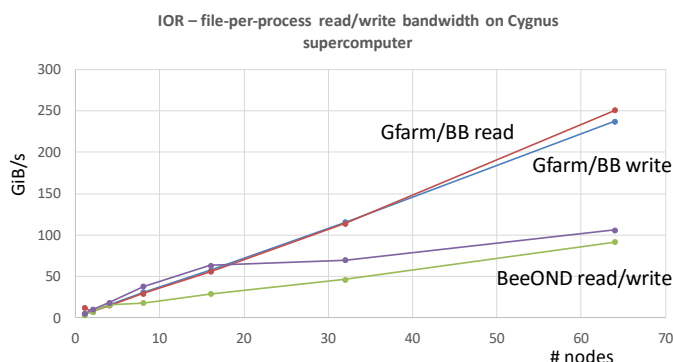


図 3 並列ファイルアクセス性能

図 3 に Cygnus スーパーコンピュータにおける並列ファイルアクセス性能を示す。Gfarm/BB は本研究で実装した並列ファイルシステムである。ノード数を増加させると性能が向上していることが分かる。BeeOND は、同様のシステムであるが、ノード当たりの性能が低いことが分かる。Gfarm/BB はノードローカルストレージの局所性を考慮して書込みを行っているのに対し、BeeOND は複数のストレージにストライピングして書き込んでいるため、この性能差となっている。本成果は、論文誌 Journal of Computer Science and Technology において公表した。またソフトウェアは <https://github.com/oss-tsukuba/gfarm> において公開している。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Osamu Tatebe, Shukuko Moriwake, Yoshihiro Oyama	4. 巻 35
2. 論文標題 Gfarm/BB - Gfarm file system for node-local burst buffer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Computer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 61-71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11390-020-9803-z	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 Kohei Hiraga, Osamu Tatebe, Hideyuki Kawashima	4. 巻 26
2. 論文標題 Scalable Distributed Metadata Server Based on Nonblocking Transactions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Universal Computer Science	6. 最初と最後の頁 89-106
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 Kenta Machida, Osamu Tatebe	4. 巻 -
2. 論文標題 GHOSTZ PW/GF: Distributed Parallel Homology Search System for Large-scale Metagenomic Analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the Third IEEE International Workshop on Benchmarking, Performance Tuning and Optimization for Big Data Applications (BPOD 2019)	6. 最初と最後の頁 3492-3700
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/BigData47090.2019.9006499	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 Kazuhiro Serizawa, Osamu Tatebe	4. 巻 -
2. 論文標題 Accelerating Machine Learning I/O by overlapping data staging and mini-batch generations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 6th IEEE/ACM International Conference on Big Data Computing, Applications and Technologies	6. 最初と最後の頁 31-34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3365109.3368768	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 Takuto Sato, Osamu Tatebe, Hiroyuki Kusaka	4. 巻 -
2. 論文標題 In-situ data analysis system for high resolution meteorological large eddy simulation model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 6th IEEE/ACM International Conference on Big Data Computing, Applications and Technologies	6. 最初と最後の頁 155-158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3365109.3368769	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 Harunobu Daikoku, Hideyuki Kawashima, Osamu Tatebe	4. 巻 E102-D
2. 論文標題 Skew-Aware Collective Communication for MapReduce Shuffling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 2389-2399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2019PAP0019	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 Yasuhiro Nakamura, Hideyuki Kawashima, Osamu Tatebe	4. 巻 9
2. 論文標題 Integration of TicToc Concurrency Control Protocol with Parallel Write Ahead Logging Protocol	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Networking and Computing	6. 最初と最後の頁 339-353
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15803/ijnc.9.2_339	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 Hayato Watanabe, Hideitsu Hino, Shotaro Akaho, Noboru Murata	4. 巻 11678
2. 論文標題 Retrieved Image Refinement by Bootstrap Outlier Test	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 505-517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-29888-3_41	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 Yusuke Taguchi, Keisuke Kameyama, Hideitsu Hino	4. 巻 -
2. 論文標題 Active Learning with Interpretable Predictor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 2019 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IJCNN.2019.8852041	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 Takuto Sato, Hiroyuki Kusaka, Hideitsu Hino	4. 巻 -
2. 論文標題 Quantitative Assessment of the Contribution of Meteorological Variables to the Prediction of the Number of Heat Stroke Patients for Tokyo	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Online Letters on the Atmosphere (SOLA)	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) 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 Takayuki Tanabe, Hideyuki Kawashima, and Osamu Tatebe	4. 巻 -
2. 論文標題 Integration of Parallel Write Ahead Logging and Cicada Concurrency Control Method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 2nd IEEE International Workshop on Big Data and IoT Security in Smart Computing (BITS)	6. 最初と最後の頁 291-296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SMARTCOMP.2018.00018	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 Kohei Hiraga, Osamu Tatebe, and Hideyuki Kawashima	4. 巻 -
2. 論文標題 PPMDS: A Distributed Metadata Server Based on Nonblocking Transactions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of The Second International Workshop on Data Science Engineering and its Applications	6. 最初と最後の頁 202-208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SNAMS.2018.8554478	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 Yasuhiro Nakamura, Hideyuki Kawashima, Osamu Tatebe	4. 巻 -
2. 論文標題 Integrating TicToc with Parallel Logging	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 6th International Workshop on Computer Systems and Architectures	6. 最初と最後の頁 105-111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CANDARW.2018.00028	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 Harunobu Daikoku, Hideyuki Kawashima, and Osamu Tatebe	4. 巻 -
2. 論文標題 Skew-Aware Collective Communication for MapReduce Shuffling	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 6th Workshop on Scalable Cloud Data Management	6. 最初と最後の頁 3331-3340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/BigData.2018.8622088	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 岩井 厚樹、建部 修見	4. 巻 2018-HPC-165(4)
2. 論文標題 サイエンティフィックビッグデータアプリケーションのためのベンチマークセットの提案	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC)	6. 最初と最後の頁 1-5
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 高橋 宗史、建部 修見	4. 巻 2018-HPC-167(15)
2. 論文標題 高性能計算のための分散オブジェクトストレージのCeph性能評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC)	6. 最初と最後の頁 1-8
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 畑中 智之、建部 修見	4. 巻 2018-HPC-167(13)
2. 論文標題 コンテナ型仮想化におけるNVMe-oFの性能評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC)	6. 最初と最後の頁 1-7
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 杉原 航平、建部 修見	4. 巻 2019-HPC-168(22)
2. 論文標題 ノードローカルバーストバッファのためのMPI-IOの設計	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC)	6. 最初と最後の頁 1-7
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 芹沢 和洋、建部 修見	4. 巻 2019-HPC-168(26)
2. 論文標題 深層ニューラルネットワークにおける訓練高速化のための自動最適化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC)	6. 最初と最後の頁 1-10
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 河合祐輔、日野英逸、建部修見	4. 巻 2018-HPC-163
2. 論文標題 pbdMPIを用いたエントロピー推定プログラムの並列化と性能評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC)	6. 最初と最後の頁 1-8
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 渡邊隼人、日野英逸、赤穂昭太郎、村田昇	4. 巻 117
2. 論文標題 ブートストラップ分布に基づく外れ値検定	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 27-33
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 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Osamu Tatebe
2. 発表標題 Gfarm/BB - Gfarm file system for burst buffers
3. 学会等名 CCS-LBNL Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤拓人, 日下博幸, 日野英逸
2. 発表標題 熱中症患者搬送者数予測モデルのための温熱要素の調査
3. 学会等名 第57回日本生気象学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤拓人, 日下博幸, 日野英逸
2. 発表標題 熱中症患者搬送者数予測に資する温熱要素の同定
3. 学会等名 日本ヒートアイランド学会 第13回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河合祐輔、日野英逸、建部修見
2. 発表標題 pdMPIを用いたエントロピー推定プログラムの並列化と性能評価
3. 学会等名 第163回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊隼人、日野英逸、赤穂昭太郎、村田昇
2. 発表標題 ブートストラップ分布に基づく外れ値検定
3. 学会等名 情報論的学習理論研究会
4. 発表年 2018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
研究分担者	日下 博幸  (Kusaka Hiroyuki)  (10371478)	筑波大学・計算科学研究センター・教授   (12102)	
研究分担者	日野 英逸  (Hino Hideitsu)  (10580079)	統計数理研究所・モデリング研究系・准教授   (62603)	
研究分担者	川島 英之  (Kawashima Hideyuki)  (90407148)	慶應義塾大学・環境情報学部(藤沢)・准教授   (32612)	